



Herkomst nutriëntenbelasting afvoergebieden HDSR, pilotstudie ECHO

Regionale bronnenanalyse nutriëntenbelasting: Keulevaart, Eiland van Schalkwijk,
Langbroekerwetering en Zegveld

Alterra-rapport 2408
ISSN 1566-7197

E.M.P.M. van Boekel, P.N.M. Schipper, R.F.A. Hendriks, H.T.L. Massop, H.M. Mulder en J. Roelsma

Herkomst nutriëntenbelasting
afvoergebieden HDSR pilotstudie ECHO

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Herkomst nutriëntenbelasting afvoergebieden HDSR, pilotstudie ECHO

Regionale bronnenanalyse nutriëntenbelasting: Keulevaart, Eiland van Schalkwijk,
Langbroekerwetering en Zegveld

E.M.P.M. van Boekel, P.N.M. Schipper, R.F.A. Hendriks, H.T.L. Massop, H.M. Mulder en J. Roelsma

Alterra-rapport 2408

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2013

Referaat

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. 108 blz.; 36 fig.; 61 tab.; 35 ref.

In dit rapport is de herkomst van de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater voor vier pilotgebieden in het beheergebied van hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden afgeleid op basis van stofbalansen. De stoffenbalansen zijn opgesteld met het modelinstrumentarium ECHO waarin beschikbare metingen, data en kennis zijn gecombineerd met regionale informatie over het landgebruik, bodemtype en hydrologische eigenschappen. De herkomst van de nutriënten in het oppervlaktewater is in beeld gebracht door de nutriëntenbronnen op te splitsten naar antropogeen (rwzi's, bemesting, etc.) of natuurlijk (kwel, veenoxidatie, etc.). De bijdrage van de natuurlijke bronnen aan de nutriëntenbelasting van de vier pilotgebieden varieert tussen de 27% en 50% voor stikstof en tussen 21% en 67% voor fosfor.

Trefwoorden: Europese Kaderrichtlijn Water, nutriënten, achtergrondbelasting, stofbalansen, oppervlaktewaterkwaliteit, landbouw, maatregelen, ECHO

ISSN 1566-7197

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

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

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

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

Alterra-rapport 2408

Wageningen, februari 2013

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Doel van het onderzoek	10
1.3 Afbakening en leeswijzer	10
2 Methodiek	11
2.1 Stappenplan onderzoek	11
2.2 Stap 1: Gebiedsindeling	11
2.3 Stap 2: Emissies en stofbalansen	12
2.3.1 Analyse afvoergebieden	13
2.3.2 Selectie en herschikking STONE-plots	13
2.3.3 Opstellen stoffenbalans	14
2.3.4 Evaluatie stoffenbalans	18
2.4 Stap 3: Regionalisatie STONE met nieuwe SWAP-ANIMO plots	18
2.5 Stap 4: Herkomst nutriëntenbelasting	19
3 Resultaten Keulevaart	23
3.1 Gebiedsanalyse	23
3.2 Selectie meetpunten kwantiteit en kwaliteit	25
3.3 Waterbalans	29
3.4 Stoffenbalans	30
3.5 Toetsing	32
3.6 Herkomst nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater	33
4 Resultaten Eiland van Schalkwijk	39
4.1 Gebiedsanalyse	39
4.2 Selectie meetpunten kwantiteit en kwaliteit	41
4.3 Waterbalans	45
4.4 Stoffenbalans	47
4.5 Toetsing	48
4.6 Herkomst nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater	49
5 Resultaten Langbroekerwetering	55
5.1 Gebiedsanalyse	55
5.2 Selectie meetpunten kwantiteit en kwaliteit	57
5.3 Waterbalans	61
5.4 Stoffenbalans	63
5.5 Toetsing	64
5.6 Herkomst nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater	65

6	Resultaten Zegveld	71
6.1	Gebiedsanalyse	71
6.2	Selectie meetpunten kwantiteit en kwaliteit	73
6.3	Waterbalans	75
6.4	Stoffenbalans	77
6.5	Toetsing	78
6.6	Herkomst nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater	79
7	Synthese	85
7.1	Evaluatie deelresultaten	85
7.2	Inlaat, uitlaat en vrachtberekeningen	85
7.3	Aansluiting STONE-plots op landgebruik, bodemtype en GT's	86
7.4	Aansluiting STONE-plots op de waterbalans	87
7.5	Modelresultaten uit- en afspoeling	88
7.6	Stoffenbalans	88
8	Conclusies en aanbevelingen	93
8.1	Conclusies	93
8.2	Aanbevelingen	95
	Literatuur	97
Bijlage 1	Stofbalansen individuele jaren	99
Bijlage 2	Retentieschatting oppervlaktewater	103

Samenvatting

Te hoge concentraties van nutriënten in het oppervlaktewater vormen in delen van het beheersgebied van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnland (HDSR) een belemmering om waterkwaliteit doelen voor de Kader Richtlijn Water (KRW) te bereiken. In landelijk gebied komt de belasting vooral door uit- en afspoeling. Vanwege het diffuse karakter wordt deze belasting met modellen berekend. Alterra heeft hiervoor het modelinstrumentarium STONE ontwikkeld. Dit berekend de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater op landelijke schaal en de rekenresultaten worden standaard opgenomen in de database van Emissie Registratie. HDSR heeft echter behoefte aan meer gedetailleerde inzicht en de betrouwbaarheid daarvan. Deze informatie wil HDSR gebruiken om de water- en stofbalansen die zij voor al hun afvoergebieden hebben opgezet in Excel te verfijnen en de uit- en afspoeling onder te verdelen in de herkomst.

De afgelopen jaren heeft Alterra het modelinstrumentarium ECHO ontwikkeld waarmee met regio specifieke informatie de STONE-schematisering wordt verfijnd en de nutriënten bronnen meer gedetailleerd in beeld worden gebracht qua ruimtelijke resolutie en de bronnen achter de uit- en afspoeling. Dit vormde de aanleiding om ECHO in te zetten in 4 pilotgebieden van HDSR. De belangrijkste doelen voor deze toepassing zijn om:

- meer inzicht te bieden in de betrouwbaarheid van de berekende nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater, met name de diffuse belasting door af- en uitspoeling vanuit het landelijk gebied;
- regionale informatie te benutten om ten opzichte van de landelijke schematisering de rekenplots van het uit- en afspoelingsmodel STONE beter af te stemmen op de afvoergebieden (regionale schaal);
- de bronnen achter de uit- en afspoeling te kwantificeren, met name om onderscheid te maken tussen de belasting die wordt veroorzaakt door mestgiften en de belasting die wordt veroorzaakt door veenafbraak en mineralisatie.

ECHO is toegepast voor de afvoergebieden Keulevaart, Eiland van Schalkwijk, Langbroekerwetering en Zegveld. Voor deze gebieden zijn de regionale kenmerken bestudeerd die van belang zijn voor de modelberekeningen en de berekening van de stoffenbalans met ECHO. Vervolgens zijn op basis van bestaande meetpunten de hoeveelheden in- en uitlaat en bijbehorende stofvrachten van de gebieden afgeleid. Met de berekende uit- en afspoeling en informatie over de andere punt- en diffuse bronnen is voor ieder gebied een stofbalans opgezet (fosfor en stikstof). Om deze te kunnen vergelijken met de berekende belasting is een inschatting gemaakt van de retentie, waarmee rekening wordt gehouden met afbraak en vastlegging van de stoffen in het oppervlaktewatersysteem.

Uit de resultaten komt naar voren dat het modelconcept een af- en uitspoeling berekend die qua orde van grootte in overeenstemming is met wat uit waterkwaliteitsmetingen en (berekende) debieten kan worden afgeleid. Door de STONE-rekenplots op een ruimtelijk kleinere schaal toe te passen (25 x 25 m in plaats van 250 x 250 m) en door de niet/minder representatieve rekenplots te vervangen, sluiten de rekenplots van ECHO nauw aan op de regionale informatie over het landgebruik en voorkomende bodemtypen en, hoewel in iets mindere mate, ook op de grondwatertrappen. Dit resulteert in een berekende af- en uitspoeling van nutriënten die beter dan het landelijke model (STONE 2.4) aansluit op de uit metingen afgeleide vrachten. In de toepassing van ECHO biedt het gebruik van de regio specifieke informatie duidelijke meerwaarde. De berekende herkomst is weergegeven in boxplots, die de relatieve bijdrage van de verschillende bronnen achter de uit- en afspoeling weergeven, alsmede in figuren die de bijdrage van de bronnen per zomer- en winter halfjaar weergeven. Dit levert voor HDSR waardevolle informatie ter ondersteuning van de gebiedsanalyses en de te organiseren KRW-gebiedsprocessen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In stofstroomanalyses en detailanalyses voor KRW-waterlichamen is inzicht nodig in de emissies van punt- en diffuse bronnen. Voor de emissies van nutriënten vanuit het landelijk gebied kunnen waterschappen gebruik maken van de met STONE berekende af- en uitspoeling (Wolf et al., 2003). De rekenkern van STONE bestaat o.a. uit een model voor de mestverdeling in tijd en ruimte (MAMBO), het hydrologische model SWAP en het model ANIMO voor de nutriëntenhuishouding in de ondiepe bodem. Op basis van de hydrologie, bodemtype, landgebruik en mestgiften zijn in totaal ongeveer 6500 rekenplots binnen STONE gedefinieerd die samen landsdekkend zijn voor het landelijk gebied in Nederland. Rekenresultaten van het landelijke model STONE worden standaard opgenomen in de database van de Emissie Registratie (ER, www.Emissieregistratie.nl).

Waterschappen hebben echter, mede vanwege de KRW, behoefte aan meer informatie, zoals:

- hoe betrouwbaar is de nutriëntenbelasting vanuit landbouw- en natuurbodems?
- kan de diffuse nutriëntenbelasting vanuit landbouw met betere regionale gegevens worden berekend?
- wat is de temporele variatie (zomer, winter)?
- wat zijn de bronnen achter de uit- en afspoeling? Wat is bijvoorbeeld het aandeel van historische en actuele bemesting in de belasting versus (natuurlijke) uitloging door veenafbraak en mineralisatie?

Omdat de uit- en afspoeling in de ER zijn berekend met STONE met de landelijke schematisering, bevat STONE niet alle informatie die op regionaal niveau beschikbaar is over de bodem, mestdruk en hydrologie. De afgelopen jaren heeft Alterra het modelinstrumentarium ECHO (Kroes et al., 2011) ontwikkeld om stoffenbalansen op te stellen voor regionale toepassingen, waarin tevens de betrouwbaarheid van emissies, waaronder de af- en uitspoeling van nutriënten, zijn gekwantificeerd (zie kader).

ECHO is ontwikkeld door Alterra. De methode combineert model- en data analyse-technieken die zijn ontwikkeld voor de Ex Ante evaluatie van de KRW, de Evaluatie van de Meststoffenwet en monitoring- en modelstudies op regionaal niveau. ECHO biedt transparant inzicht in de stoffenbalans, de betrouwbaarheid van de berekende uit- en afspoeling, ontrafelt de herkomst en stuurbaarheid van de nutriënten bronnen, verbetert de landelijke geschematiseerde rekenplots van STONE met regionale informatie, berekent de achtergrondbelasting en kan ook ingezet worden om effecten van maatregelen te kwantificeren. ECHO levert voor waterlichamen of afvoergebieden een water- en stoffenbalans met:

- In- en uitgaande nutriëntenvrachten op basis van metingen (debieten en concentraties).
- Uit- en afspoeling landbouw- en natuurbodems (regionale optimalisatie STONE-plots).
- Bronnen achter de uit- en afspoeling (aandeel bemesting, kwel, depositie).
- Overige punt- en diffuse bronnen Emissieregistratie, aangescherpt met regionale gegevens.
- Retentie van nutriënten in het oppervlaktewater.
- Vergelijking berekende versus uit metingen afgeleide N- en P vrachten.
- Onzekerheden in de uit metingen afgeleiden vrachten en in de berekende vrachten.
- 'Witte plekken' in de monitoring waardoor de onzekerheden in de balans relatief groot zijn.

Dit vormde de aanleiding voor HDSR om met Alterra na te denken hoe met ECHO een model kan worden ontwikkeld om de diffuse nutriënten belasting te kwantificeren voor de veenweidegebieden en andere afvoergebieden in het beheergebied van het hoogheemraadschap.

Tijdens werksessies met het hoogheemraadschap kwam naar voren dat het de voorkeur heeft om stapsgewijs, met inbreng van gebiedskennis van HDSR, toe te werken naar een betrouwbaar modelinstrumentarium voor het gehele beheergebied volgens de door Alterra ontwikkelde methode ECHO.

1.2 Doel van het onderzoek

Doel is om voor vier verschillende type afvoergebieden met ECHO een modelinstrumentarium op te zetten en daarmee transparant inzicht te verkrijgen in de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten. Doelen voor de toepassing van ECHO zijn om:

- meer inzicht te bieden in de betrouwbaarheid van de berekende nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater, vooral de diffuse belasting door af- en uitspoeling vanuit het landelijk gebied;
- regionale informatie te benutten om ten opzichte van de landelijke schematisering de rekenplots van het uit- en afspoelingsmodel STONE beter af te stemmen op de afvoergebieden (regionale schaal);
- de bronnen achter de uit- en afspoeling te kwantificeren, vooral om onderscheid te maken tussen de belasting die wordt veroorzaakt door mestgiften en de belasting die wordt veroorzaakt door veenaafbraak en mineralisatie.

Nevendoelen zijn om de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

- Zijn naast het beschikken van de rekenplots ook nieuwe rekenplots met ANIMO en SWAP nodig om de uit- en afspoeling voldoende betrouwbaar te kwantificeren?
- Is het nodig en nuttig om overige diffuse bronnen beter te berekenen?
- Is het nodig en nuttig om de retentie met PC-Ditch of andere modellen te berekenen?
- Biedt het meerwaarde om interactief het model ANIMO, dat de nutriënten huishouding in de bodem beschrijft, te koppelen aan het hydrologische model Hydromedah?
- Hoe kan de uit- en afspoeling voor de overige afvoergebieden gekwantificeerd worden?

1.3 Afbakening en leeswijzer

De bronnenanalyse is uitgevoerd voor vier afvoergebieden van HDSR: Keulevaart, Eiland van Schalkwijk, Langbroekerwetering en Zegveld. Voor deze gebieden zijn de kenmerken bestudeerd die van belang zijn voor de modelberekeningen van de uit- en afspoeling en de berekening van de stoffenbalans met ECHO. Vervolgens zijn de meetpunten verzameld waarmee de hoeveelheden in- en uitlaat en bijbehorende stofvrachten kunnen worden afgeleid. HDSR heeft zelf de waterbalans-termen per gebied aangeleverd. Met aanvullende informatie over de punt- en diffuse bronnen en retentie is voor ieder gebied een stofbalans opgezet (fosfor en stikstof), uitgaande van modeloutput voor de uit- en afspoeling zoals landelijk berekend met STONE. Deze balans is opgesteld voor een periode van enkele aaneengesloten jaren. Op basis van de gebiedsanalyse en stofbalans is per afvoergebied een nieuwe indeling gemaakt. De (uit de 6405) geselecteerde rekenplots sluiten qua input beter aan bij de regionale situatie. Met deze nieuwe indeling is opnieuw de stofbalans berekend. Als er nog belangrijke afwijkingen zijn met de werkelijke situatie, kunnen ook nieuwe rekenplots met SWAP-ANIMO worden opgezet en doorgerekend. In overleg met HDSR is besloten deze stap nu nog niet uit te voeren.

De methodiek wordt nader omschreven in hoofdstuk 2. De resultaten van de bronnenanalyse wordt per afvoergebied behandeld in de hoofdstukken 3 tot en met 6. Hoofdstuk 7 beschrijft de synthese van de resultaten voor de vier gebieden. De conclusies zijn beschreven in hoofdstuk 8. In bijlage 1 zijn de resultaten van de stofbalansen voor de individuele jaren opgenomen.

2 Methodiek

2.1 Stappenplan onderzoek

Voor een plausibele schatting van de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater via uit- en afspoeling is een stappenplan opgesteld dat bestaat uit meerdere stappen (tabel 2.1). In overleg met het hoogheemraadschap is ervoor gekozen om de regionalisatie met nieuwe modelinvoer voor STONE-rekenplots (stap 3) (nog) niet uit te voeren.

Tabel 2.1

Stappenplan: Herkomst nutriëntenbelasting afvoergebieden HDSR.

Proces	Werkzaamheden
Stap 1: Gebiedsindeling en waterbalans	I Vaststellen definitieve gebiedsindeling II Opstellen waterbalans
Stap 2: Emissies en stofbalansen	I Analyse afvoergebieden II Selectie en herschikking STONE-plots III Opstellen en toetsing stoffenbalans en afleiden retentie IV Evaluatie stofbalansen
Stap 3: Regionalisatie STONE met nieuwe SWAP-ANIMO rekenplots	I Aanpassen modelinvoer SWAP en/of ANIMO II Modelberekening en toetsing nieuwe SWAP-ANIMO plots III Opstellen nieuwe stofbalansen
Stap 4: Herkomst nutriëntenbelasting	I Bepalen herkomst nutriëntenbelasting II Evaluatie belasting, herkomst nutriëntenbronnen

In dit hoofdstuk wordt de werkwijze per stap toegelicht. Uitzondering hierop is de werkwijze voor het opstellen van de waterbalans, omdat dit geen onderdeel uitmaakt van het onderzoek. De waterbalans is aangeleverd door het hoogheemraadschap. Deze zijn ontleend aan het hydrologische model Hydromedah. Hydromedah (Borren et al., 2009) is een cluster van verschillende gebiedspecifieke modellen, waarbij de essentie wordt gevormd door een SIMGRO7-model (met MODFLOW als grondwatermodule en MetaSWAP als module voor de onverzadigde zone), waarmee dynamisch in ruimte en tijd kan worden gerekend aan oppervlaktewater, bodemvocht, plant-atmosfeer relaties en het lokale en regionale grondwater, en ook de interacties tussen deze deelsystemen.

2.2 Stap 1: Gebiedsindeling

Het beheergebied van HDSR kan worden opgedeeld in meerdere KRW-gebieden (figuur 2.1). Voor de pilotstudie zijn vier afvoergebieden geselecteerd. Deze zijn weergegeven in figuur 2.2. De gekozen afvoergebieden zijn de (veenweide)polders Zegveld (noordwest), Keulevaart (zuidwest), Eiland van Schalkwijk (zuidoost) en het vrij afwaterende afvoergebied Langbroekerwetering (oost).

In de volgende paragrafen wordt per onderdeel de werkwijze toegelicht.

2.3.1 Analyse afvoergebieden

Eén van de bronnen die bijdragen aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater is de uit- en afspoeling van nutriënten vanuit het landelijk gebied. De nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater vanuit het landelijk gebied (uit- en afspoeling) is berekend met het STONE-instrumentarium (versie STONE 2.4). 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 dateert van 2000 (Kroon et al., 2001) en is gemaakt op basis van hydrologische en bodemchemische eigenschappen. Nederland is hierbij ingedeeld in 6405 ruimtelijke eenheden (plots) voor het landelijk gebied, één plot voor het bebouwde gebied en één plot voor water. Een plot bestaat uit meerdere gridcellen van 250 * 250 meter die dezelfde unieke combinatie van eigenschappen hebben. De 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).

Omdat de huidige schematisatie dateert uit 2000 en omdat het een landelijke schematisatie betreft, zijn de rekenplots niet toegespitst op de regionale informatie die op het niveau van afvoergebieden beschikbaar is. Per gebied is geanalyseerd wat de verschillen zijn tussen de landelijke STONE-schematisering en de regionale informatie. Hierbij is gekeken naar:

- landgebruik op basis van LGN6;
- bodemtype op basis van de 1:50.000 bodemkaart, vertaald naar PAWN-bodemeenheden;
- hydrologie (GHG, GLG) op basis van informatie van het hoogheemraadschap;
- areaal open water op basis van informatie van het hoogheemraadschap.

Verder is per gebied de waterhuishouding en dan vooral de routing van het water geïnventariseerd met de bijbehorende meetpunten voor inlaat en uitlaat. In overleg met HDSR zijn waterkwaliteitsmeetpunten geselecteerd waarmee vrachtberekeningen voor de inlaat en uitlaat kunnen worden uitgevoerd.

2.3.2 Selectie en herschikking STONE-plots

Op basis van de resultaten uit onderdeel I wordt een zodanige gerichte (ruimtelijke) herverdeling gemaakt van de STONE-plots dat deze beter aansluiten bij de regionale kenmerken van het afvoergebied. Dit wordt bewerkstelligd door rekenplots van de landelijke schematisering die niet representatief blijken te zijn te vervangen door rekenplots die beter aansluiten bij de regiospecifieke informatie over bodemtypen, grondwatertrappen en landgebruik (zie onderdeel I). Daarnaast wordt gerekend met een resolutie van 25x25m in plaats van 250x250m.

2.3.3 Opstellen stoffenbalans

Een overzicht van de (belangrijkste) balanstermen en bijbehorende informatiebronnen die bij het opstellen van een stoffenbalans zijn meegenomen, staan in tabel 2.2.

Tabel 2.2

Overzicht van de balanstermen die gebruikt zijn bij het opstellen van een stoffenbalans.

Balansterm	Bron
Inkomende vrachten	
– Uit- en afspoeling landelijk gebied	STONE 2.4
– Landbouw overig: (meemesten sloten, glastuinbouw, e.o.)*	Emissieregistratie (versie 2009)
– Atmosferische depositie open water	
– Rwzi's	
– Industriële lozingen	
– Overige bronnen	
– (Verkeer, huishoudelijk afval, overige emissies)	
– Inkomende vracht via inlaatwater	Gemeten nutriëntenconcentraties oppervlaktewater Inlaathoeveelheden o.b.v. waterbalans
– Directe kwel	Kwelflux o.b.v. de waterbalans Kwelconcentraties op basis van STONE 2.4
Uitgaande vrachten	
– Retentie in oppervlaktewater	Alterra-methode
– Uitgaande vracht	Gemeten nutriëntenconcentraties oppervlaktewater Berekende afvoer (o.b.v. waterbalans)

** Erfafspoeling is nog niet meegenomen omdat er nog geen methode is ontwikkeld om deze te kwantificeren.*

Uit en afspoeling nutriënten landelijk gebied

De nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater vanuit het landelijk gebied (uit- en afspoeling) is berekend met het STONE-instrumentarium (versie STONE 2.4). Bij het bepalen van de uit- en afspoeling worden per afvoergebied de volgende berekeningen uitgevoerd:

- 1) Berekening van de uit- en afspoeling met de huidige STONE-schematisatie;
- 2) Berekening van de uit- en afspoeling met een naar regionale data aangepaste STONE-schematisatie (herschikking op basis van gebiedsanalyse);
- 3) Opzetten nieuwe rekenplots met SWAP-ANIMO en daarmee nieuwe berekeningen uitvoeren voor de uit- en afspoeling.

In het onderhavige onderzoek is stap 3 niet uitgevoerd. Op basis van de resultaten van stap 1 en 2 en de resulterende stofbalans is bekeken of het meerwaarde biedt om nieuwe rekenplots met SWAP-ANIMO op te zetten.

Onderscheid uit- en afspoeling

Onder afspoeling wordt de afvoer van water (met nutriënten) verstaan dat niet in de bodem dringt maar oppervlakkig over het maaiveld afstroomt. Afspoeling is in Nederlandse omstandigheden meestal gering ten opzichte van de uitspoeling, in de orde van enkele procenten. Dit komt omdat de Nederlandse landbouw-bodems bijna allemaal vrij vlak liggen en afspoeling alleen speelt als er erg veel regen valt die niet door de

bodem kan worden geborgen of niet infiltreert. Grote verliezen door afspoeling treden vooral op bij afspoeling net nadat er is bemest (Assinck en Van der Salm, 2012). In STONE wordt weliswaar modelmatig onderscheid gemaakt tussen afspoeling en uitspoeling, maar de resultaten worden als één post opgevat en gepresenteerd. De redenen hiervoor zijn:

- het onderscheid tussen afspoeling en uitspoeling is arbitrair. In een ideaal vlakke bodem kan modelmatig een strikt onderscheid worden aangehouden tussen afspoeling en ondiepe uitspoeling, maar omdat percelen vaak bol liggen en er altijd sprake is van enig reliëf is het niet mogelijk een strikte uitsplitsing te maken. In STONE wordt afspoeling verondersteld als neerslagwater in de bovenste 5 cm van de bodem door hoge grondwaterstanden of doordat het door beperkte infiltratiecapaciteit niet kan infiltreren.
- Mestgiften worden modelmatig (m.u.v. strenge vorst) niet gekoppeld aan de actuele weersomstandigheden. Idealiter zou modelmatig mest over het land worden uitgereden als er qua lokale weersomstandigheden, vochttoestand van de bodem en bijbehorende bereikbaarheid van het perceel geen belemmeringen zijn om mest uit te rijden en de mestopslag al (vrij) vol is. Dit detailniveau is niet zinvol en de gegevens daarover zijn ontoereikend.
- Afspoeling hangt sterk af van de infiltratiecapaciteit van de bovenste bodemlagen. Deze kan lokaal of van tijd tot tijd gering zijn door verslemping van de toplaag en/of verdichting van de bodem net onder de ploegzool. De manier van grondbewerking en resulterende bodemstructuur is dan ook zeer bepalend voor het wel/niet optreden van afspoeling. Het is weliswaar bekend dat de bodemstructuur in Nederlandse en Vlaamse bodems de afgelopen decennia door de zware machines voor grondbewerking is verslechterd (Zwart et al., 2011), maar adequate gegevens hierover en effecten ervan op de vochthuishouding en nutriëntenhuishouding worden niet verzameld.

EmissieRegistratie

De EmissieRegistratie is een 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 (rwzi's, industriële lozingen) en diffuse bronnen (verkeer, landbouw) voor de periode vanaf 1990.

De bronnen van de EmissieRegistratie zijn voor het opstellen van de nutriëntenbelasting geclusterd tot vijf groepen:

- landbouw overig: meesten sloten, glastuinbouw, overige landbouwemissies;
- atmosferische depositie open water;
- rwzi's;
- industriële lozingen;
- overige bronnen: verkeer, huishoudelijk afval, overige emissies.

Erfafspoeling:

Water dat van het erf van een veehouderij afstroomt, kan in contact komen met onder andere voer(resten), mest(resten), perssappen en percolaat. Ondanks dat lozingen van het erf op het oppervlaktewater wettelijk niet zijn toegestaan, stroomt dit water vaak rechtstreeks naar het oppervlaktewater. De laatste jaren is op initiatief van waterschappen door het Platform Landbouwemissies onderzoek in gang gezet om te weten te komen hoeveel verontreinigingen via erfafspoeling in het oppervlaktewater terecht komen. In totaal hebben zes waterschappen afzonderlijk van elkaar in de periode 2000 - 2003 onderzoek gedaan naar de belasting van het oppervlaktewater als gevolg van erfafspoeling. Bij tientallen bedrijven zijn monsters genomen van het water dat via een lozingspijp van het erf afspoelt (Stowa 2009, 2011). De metingen betreffen zowel steek als verzamelmonsters. Ook in het project 'praktische bedrijfsinnovaties in de landbouw' zijn nog vele bedrijven gemonitord. Tabel 2.3 geeft een overzicht van de meetresultaten.

Tabel 2.3*Overzicht gemeten concentraties dat van het erf van veehouderijen afstroomt.*

Type bedrijf	Aantal bedrijven *	Gemeten concentraties erfafspoeling water	
		mg P/	mg N/
gemiddeld bedrijf	14	30	138
schoon bedrijf	19	19	124

* Alleen meetreeksen met meer dan tien metingen per jaar zijn meegenomen.

De gemeten concentraties zijn zodanig hoog, dat geconcludeerd is dat erfafspoeling een belangrijke bijdrage kan leveren aan de totale nutriëntenbelasting en dat het zuurstofverbruik van de erfafspoeling is zodanig dat het problemen kan geven voor het lokale ontvangende oppervlaktewater. De vervuilingsgraad van de erfafspoeling hangt sterk af van de manier waarop het erf wordt schoongehouden en 'netjes' met de opslag van voer en (vaste) mest wordt gewerkt.

Naar aanleiding van een workshop over erfafspoeling tijdens een landelijk Emissiesymposium in maart 2012 is aan de projectleiding van Emissie Registratie gevraagd een methodiek te ontwikkelen om de vrachten van erfafspoeling te kwantificeren zodat het opgenomen kan worden in de database van EmissieRegistratie. Naar verwachting wordt hier in 2013 invulling aan gegeven. Naast de grote variatie in gemeten concentraties is de hoeveelheid hemelwater dat daadwerkelijk via een lozingspijp in het oppervlaktewater afstroomt een belangrijk aandachtspunt in de kwantificering. Voor zover bekend zijn hier nog geen debietmetingen van verzameld. Omdat een methode voor de kwantificering nu nog ontbreekt, is zoals aangegeven de bijdrage van erfafspoeling nog niet in de stoffenbalans meegenomen. Wel kan op basis van de gegevens (concentraties, erfoppervlak, aantal veehouderijen per polder) geschat worden dat de bijdrage aan de totale nutriëntenbelasting zowel voor fosfor als stikstof significant kan zijn.

Inkomende stikstof- en fosforvrachten vanuit boezemsysteem/Amsterdam-Rijnkanaal

Voor het bepalen van de aanvoer van nutriënten is het noodzakelijk om zowel inzicht te hebben in de hoeveelheid water dat wordt ingelaten, als in de stikstof- en fosforconcentratie van het ingelaten water. De hoeveelheid water is berekend door het hoogheemraadschap en is op decadebasis beschikbaar. Voor de nutriëntenconcentraties is gebruik gemaakt van de gemeten nutriëntenconcentraties, die in de praktijk veelal één of twee keer per maand worden bemonsterd. Per jaar zijn er dan 12 of 24 metingen beschikbaar. In overleg met het hoogheemraadschap zijn de meetpunten geselecteerd die representatief zijn voor de kwaliteit van het ingelaten water.

Voor het berekenen van de inkomende vracht op jaarbasis is het nodig om de nutriëntenconcentraties voor de data waarop geen metingen beschikbaar zijn te schatten. In deze studie is gekozen voor lineaire interpolatie. De betrouwbaarheid van de lineaire interpolatie neemt toe naarmate het aantal meetgegevens groter is.

Directe kwel

Voor het bepalen van de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater via directe kwel is gebruik gemaakt van de kwelflux uit de waterbalans en het areaal open water dat door HDSR is aangegeven. Voor de nutriëntenconcentraties zijn de waarden genomen die in STONE 2.4 zijn opgelegd.

Retentie nutriënten in oppervlaktewater

Naast de bronnen van nutriënten wordt ook de retentie gekwantificeerd. Retentie in het oppervlaktewater staat voor het vastleggen van nutriënten in de waterlopen. Dit kan door tijdelijke en permanente opslag in o.a. waterplanten en in de waterbodem en/of door gasvormige emissies naar de atmosfeer (denitrificatie).

De retentie is geschat conform de werkwijze die is gehanteerd binnen de Evaluatie Meststoffenwet 2012 (Van Boekel et al., 2012). Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

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

De grootte van deze retentieprocessen is afgeleid uit metingen. Op basis van de eigenschappen van de polder is de capaciteit van het oppervlaktewatersysteem bepaald om stikstof vast te leggen, uitgedrukt in gram per m² waterbodem.

De zo berekende absolute stikstofretentie is van toepassing voor alle nutriëntenbronnen in de polder. In tabel 2.4 zijn de retentiefactoren per emissiebron gegeven voor stikstof en fosfor. In bijlage 2 wordt de werkwijze voor het afleiden van retentiewaarden nader toegelicht.

Tabel 2.4

Inschatting van de retentie per emissiebron voor de vier pilotgebieden.

Emissiebron	De Keulevaart, Zegveld, Eiland van Schalkwijk	Langbroekerwetering	
		Stikstof	Fosfor
Uit en afspoeling	Vaste retentiewaarde (gram per m ² waterbodem)	0,5	Regio specifiek
RWZI's		0,2	RWZI specifiek
Atmosferische depositie		0,2	0,2
Industriële lozingen		0,2	0,2
Overige landbouwmismissies		0,2	0,2
Overige punt- en diffuse bronnen		0,2	0,2
Inlaat		0,2	Inlaat specifiek

Uitgaande vracht (voornamelijk) via de gemalen

Vergelijking van de totale inkomende stofvrachten minus de retentie in het oppervlaktewatersysteem met de uit metingen af te leiden uitgaande vrachten geeft inzicht in de betrouwbaarheid van de modelmatig berekende diffuse uit- en afspoeling wanneer deze in belangrijke mate bijdragen aan de totale belasting. Dit is gelet op het landgebruik waarschijnlijk in alle vier gebieden het geval. Voor het berekenen van de totale nutriëntenvracht die het stroomgebied verlaat, is net als voor de inlaat gebruik gemaakt van de door HDSR berekende debieten. Daarbij zijn voor vrachtberekeningen waterkwaliteitsmeetpunten van HDSR geselecteerd.

Het bepalen van de uitgaande vracht gaat op dezelfde manier als voor de inkomende vracht. Het verschil is echter dat er voor de meeste waterlichamen, in tegenstelling tot de inlaat, er wel gemeten afvoeren

beschikbaar zijn. Op verzoek van het hoogheemraadschap zijn deze echter niet gebruikt, omdat de 'gemeten' gemaalafvoeren een structurele overschatting kennen van 10-20% (mededeling HDSR). De uitgaande vracht is berekend op basis van de berekende afvoer uit de waterbalans en bijbehorende nutriëntenconcentraties.

Toetsing

Nadat de inkomende vracht, de retentie en de uitgaande vracht is bepaald, is op basis van een balansmethode getoetst in hoeverre de berekende vrachten in de uitstroompunten overeenkomen met de metingen in het oppervlaktewater (plausibiliteit).

2.3.4 Evaluatie stoffenbalans

Aandachtspunten voor de evaluatie zijn de volgende vragen:

- Sluit het resultaat (de uit- en afspoeling) aan bij de stoffenbalans? Zijn er in dat opzicht verschillen tussen de vier gebieden? Wat is de betrouwbaarheid van de modelberekeningen en wordt het geschikt geacht om in te zetten voor de KRW-analyse en gebiedsoverleggen die voorde op te stellen stroomgebiedbeheerplan worden georganiseerd?
- Resulteert de methode in een wezenlijk andere schatting van de uit- en afspoeling in vergelijking met de landelijke gegevens uit de ER.
- Zijn naast het herschikken van de rekenplots ook nieuwe rekenplots met ANIMO en SWAP nodig om de uit- en afspoeling voldoende betrouwbaar te kwantificeren?
- Wat zijn de belangrijke onzekerheden in de kwantificering?
- Is er voor belangrijke onzekere bronnen betere of meer gedetailleerde informatie beschikbaar en zo niet, hoe kan dit worden verzameld?
- Zijn er aanwijzingen dat er in de gebieden zogenaamde hotspots zijn waar de uit- en afspoeling van nutriënten veel hoger is dan gemiddeld? En zo ja, biedt het meerwaarde om met PLEASE of andere modellen hotspots in beeld te brengen?
- Biedt het meerwaarde om de retentie (beter) in te schatten met PC-Ditch of andere modellen?
- Is het nodig en nuttig om overige diffuse bronnen beter te berekenen?
- Biedt het meerwaarde om interactief het model ANIMO, dat de nutriënten huishouding in de bodem beschrijft, te koppelen aan het hydrologische model Hydromedah?
- Hoe kan de uit- en afspoeling voor de overige afvoergebieden van HDSR gekwantificeerd worden?

2.4 Stap 3: Regionalisatie STONE met nieuwe SWAP-ANIMO plots

In fase 2 van het project 'Monitoring Stroomgebieden' is voor vier gebieden een uitgebreide bronnenanalyse voor de nutriënten stikstof en fosfor uitgevoerd. (Woestenburg en Van ToLeenders, 2011). Voor deze vier stroomgebieden zijn stofbalansen opgesteld waarbij de resultaten getoetst zijn aan metingen in het oppervlaktewater. Eén van de belangrijkste aanbevelingen uit deze systeemanalyse is een regionalisatie van de modelinvoer (Siderius et al., 2007; Kroes et al., 2006; Jansen et al., 2006; Roelsma et al., 2006).

Op basis van de uitkomsten kan het zinvol zijn om de uit- en afspoeling van nutriënten opnieuw met STONE (in feite SWAP en ANIMO) te berekenen, waarbij gebiedsspecifieke gegevens worden ingezet (regionalisatie).

Hierbij worden de volgende data in ogenschouw genomen:

- meteorologische gegevens (neerslag, verdamping);
- onderrandflux (wegzijging, kwel);
- nutriëntenconcentraties van het (diepe) grondwater (kwelkwaliteit);
- drainageweerstand en -peilen.

Zoals aangegeven valt het genereren van nieuwe modelinvoer voor de STONE-rekenplots (SWAP-ANIMO) buiten het kader van deze studie. Wel zal geëvalueerd worden wat de verwachte meerwaarde en aandachtspunten zijn om het model verder op de regionale informatie toe te spitsen.

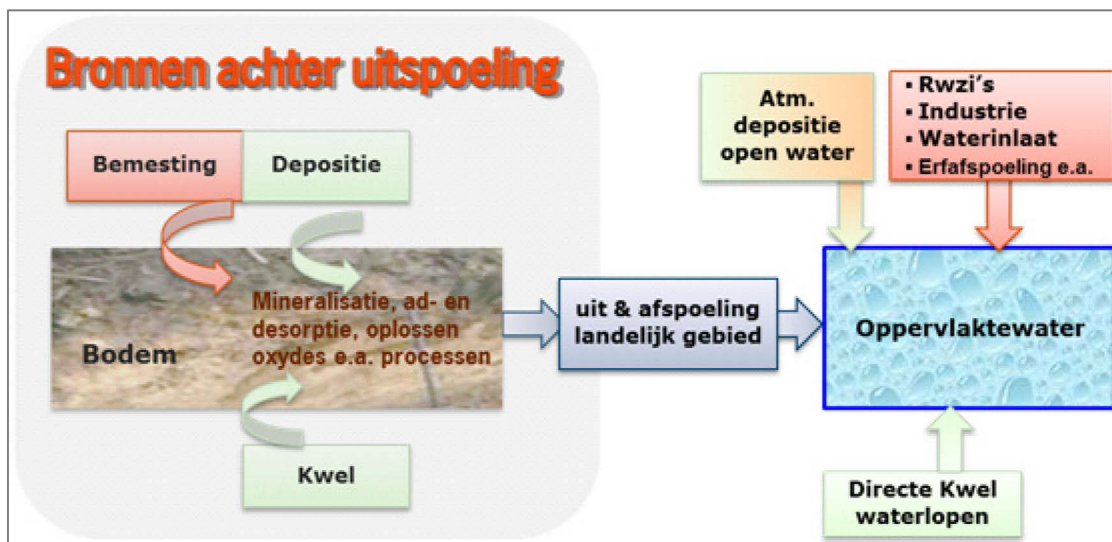
2.5 Stap 4: Herkomst nutriëntenbelasting

Herkomst

In paragraaf 2.2 is de werkwijze toegelicht om tot betere schattingen te komen van de uit- en afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater zodat een plausibele stoffenbalans voor deze gebieden kan worden opgesteld. De berekende uit- en afspoeling is een resultante van achterliggende bronnen en verschillende fysisch-geochemische processen. De te onderscheiden achterliggende bronnen zijn:

- atmosferische depositie;
- bemestingsoverschot (historisch en actueel);
- kwel;
- natuurlijke nalevering bodem (geogeen);
- uit- en afspoeling vanuit natuurgebieden;
- in een vorige zomer seizoen geïnfiltreerd oppervlaktewater. In laag-Nederland kunnen in het winterseizoen nutriënten uitspoelen naar het oppervlaktewater die in het vorige zomerseizoen vanuit het oppervlaktewater zijn geïnfiltreerd vanuit hetzelfde oppervlaktewater.

De bovengenoemde informatie is schematisch weergegeven in figuur 2.3.



Figuur 2.3

Bronnen achter de emissieroute uit- en afspoeling landelijk gebied.

De 'aanvoer' van nutriënten op de bodem vindt plaats via de (historische en actuele) mestgiften, atmosferische depositie (alleen voor stikstof) en via de kwelflux. Een deel van de nutriënten zal direct af- of uitspoelen naar grond- en oppervlaktewater, maar er wordt een deel vastgelegd in de bodem. De nutriënten kunnen vervolgens op een later tijdstip via mineralisatie en uitloging weer vrijkomen. Een deel van de nalevering vanuit de bodem is echter ook geogeen; nutriënten die van nature in het sediment aanwezig zijn en door natuurlijke processen zoals kationuitwisseling, vertering, oxidatie en reductie oplossen in het grondwater.

Het is niet eenvoudig om de precieze herkomst en daarmee de bijdrage van bronnen achter uit- en afspoeling te kwantificeren, omdat de verschillende emissiebronnen op verschillende plaatsen in het plant-bodem-water systeem aangrijpen en verschillende emissieroutes andere omzettings- en vastleggingsprocessen volgen. De herkomst van stikstof en fosfor in het regionaal oppervlaktewater, en de rol die landbouw daarin speelt, is in de afgelopen jaren op verschillende manieren uitgewerkt (Hendriks et al., 2002; Van der Bolt et al., 2007; Van Boekel et al., 2008; Planbureau voor de Leefomgeving, 2008). In alle gevallen is gebruik gemaakt van een model dat de relatie tussen bronsterkte en stikstof- en fosfortransport naar het oppervlaktewater simuleert.

Omdat de bronsterkte (bemesting, depositie, kwel) invloed heeft op de omzettingsprocessen in de bodem en de gewasopname en deze processen elkaar ook onderling beïnvloeden, kan de bijdrage van de afzonderlijke bronnen niet met eenvoudige aan/uit modelscenario's worden berekend. Alterra heeft daarom een nieuwe rekenmethode ontwikkeld, waarbij de bronsterkte in elke nieuwe rekenrun steeds een klein stapje wordt verminderd. Uit de resultaten van deze rekenruns wordt vervolgens een regressie berekend tussen de bronsterkte en de resulterende uit- en afspoeling. Deze methode is toegepast en nader toegelicht in de achtergrondrapportage *Bronnen van diffuse nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Evaluatie Meststoffenwet 2012:* (Groenendijk et al., 2012). De herkomst van de bronnen is in de onderhavige studie ook met deze methode berekend.

Op basis van de herkomst kunnen de bronnen/emissieroutes op basis van herkomst ingedeeld worden naar *antropogeen* versus *natuurlijk* (tabel 2.5)

Tabel 2.5

Onderverdeling in antropogene en natuurlijke nutriëntenbronnen.

Categorie	Bronnen/emissieroutes
Antropogeen	Rwzi's
	Industriële lozingen
	Landbouw direct ¹⁾
	Overige bronnen ²⁾
	Waterinlaat
	Bemesting (actueel en historisch)
	Atmosferische depositie ³⁾
Natuurlijk	Kwel ³⁾
	Uitspoeling van eerder geïnfiltreerd oppervlaktewater
	Natuurlijke nalevering (mineralisatie, uitloging) bodem (geogeen)
	Natuurgebieden

¹⁾ meemesten sloten, glastuinbouw, erfafspoeling

²⁾ huishoudelijke ongerioleerde lozingen, verkeer en vervoer, overstorten e.a.

³⁾ direct naar openwater en indirect via uit- en afspoeling

Stuurbaarheid:

Nadat de bijdrage van de herkomst van de achterliggende bronnen op de belasting van het oppervlaktewater in de loop van de tijd is bepaald, kunnen de bronnen qua stuurbaarheid worden ingedeeld in drie categorieën: 1. *Beïnvloedbaar, direct effect*, 2. *Beïnvloedbaar, effect op korte en lange termijn*, 3. *Niet of nauwelijks beïnvloedbaar*. In tabel 2.6 is de indeling weergegeven die Alterra in nauwe samenwerking met de KRW-nutriëntenprojectgroep van Rijn-West heeft opgezet om voor het komende stroomgebiedbeheerplan inzichtelijk te maken hoe op de nutriëntenbronnen gestuurd kan worden. De tabellen 2.5 en 2.6 en onderliggende notitie

(Schipper, 2012) is door de nutriëntenprojectgroep Rijn-West opgenomen in haar eindadvies 'Nutriëntenmaatwerk in de polder' aan het RBO Rijn-West (nutriënten projectgroep 2012).

Tabel 2.6

Indeling nutriëntenbronnen naar beïnvloedbaar (direct en op korte / lange termijn) en niet beïnvloedbaar.

Categorie	Bronnen / emissieroutes	Effect bronreductie	Type emissie	Achterliggende bronnen
Beïnvloedbaar, direct effect	RWZI's	Direct effect	Effluentlozing	Huishoudelijk afvalwater, Lozingen op riool
	Industriële lozingen	Direct effect	Effluentlozing	Industrie
	Landbouw direct	Direct effect	Diffuse lozingen	Meemesten sloten, erfafspoeling glastuinbouw
	Waterinlaat	Direct effect	Waterinlaat vanuit boezems, Rijkswateren e.a.	Bronnen buiten het gebied
	Overige bronnen	Direct effect	Punt en diffuus	Ongerioleerde lozingen, overstorten
Beïnvloedbaar korte en lange termijn	Actuele bemesting	Korte en lange termijn ¹⁾	Afspoeling en uitspoeling (sloten, greppels, buisdrainage)	Huidige grondgebonden landbouw
	Natuurlijke nalevering bodem landbouwbodems ²⁾	Lange termijn (via uitlogen)	Uitspoeling (sloten, greppels buisdrainage.	Geogeen, historische bemesting, kwel en depositie
Bronreductie niet beïnvloedbaar ¹⁾	Atmosferische depositie open water en bodem	Niet haalbaar	depositie open water en natuur/landbouw bodems ³⁾	Luchtemissies landbouw, verkeer, industrie, energie, buitenland
	Kwel waterlopen	Niet haalbaar ⁴⁾	Kwel direct naar waterlopen en naar bodem	Geogeen, mogelijk verhoogd door antropogene invloed
	Infiltratie oppervlaktewater	Niet haalbaar	diffuse infiltratie lokaal oppervlaktewater	Lokale en bovenstroomse bronnen
	Natuurgronden		Diffuse uit- en afspoeling	Geogeen, door antropogene invloed verhoogde depositie

- 1) korte termijn effect voornamelijk de reductie van de route afspoeling, hotspots, korte stromingspatronen. Zowel voor stikstof als fosfor zal bronreductie voor een deel snel effect hebben. Voor fosfor kan het uiteindelijke effect decennia lang duren, voor stikstof is deze termijn meestal korter.
- 2) nalevering door verwerking, oplossen metaal(hydr)oxides, oxidatie, historische bemesting, historische kwel en historische depositie.
- 3) Bronreductie niet haalbaar, maar atmosferische depositie op landbouwbodems zou meegerekend kunnen worden in het bepalen van de mestgiften om te komen tot evenwichtsbemesting. In het voorgenomen landelijk mestbeleid wordt atmosferische depositie niet meegerekend.
- 4) Significante bronreductie niet haalbaar, omdat de bron gerelateerd is aan de functie van het gebied c.q. de drooglegging en daardoor is op te vatten als onomkeerbare hydromorfologische ingreep.

3 Resultaten Keulevaart

3.1 Gebiedsanalyse

In deze paragraaf worden de resultaten van de gebiedsanalyse gepresenteerd. In de gebiedsanalyse is onderzocht in hoeverre de schematisering van STONE (kenmerken van de rekenplots) aansluit op de regionale informatie over het huidige landgebruik, bodemtype en grondwatertrappen. Het gaat hierbij voornamelijk om de gebiedskenmerken van het landelijk gebied.

Landgebruik

Op basis van LGN 6 is ruim 90% van de Keulevaart landelijk gebied (landbouw en natuur), 3,3% is open water en 5,4% is stedelijk gebied (tabel 3.1). Het grootste gedeelte van het landelijk gebied bestaat uit grasland (90%).

Tabel 3.1

Landgebruik in de Keulevaart op basis van LGN6 en STONE 2.4.

Landgebruik	Kenmerk	LGN 6		STONE 2.4	
		ha	%	ha	%
<u>Landelijk gebied</u>					
Grasland	1	2699	90,3	3031	98.0%
Mais	2	141	4,7	6.3	0.2%
Akkerbouw	3	48	1,6	4.7	0.2%
Natuur	4	101	3,4	52	1.7%
<i>Subtotaal</i>		2989		3094	
Landelijk gebied		2989	91,3		
Water		108	3,3		
Stedelijk gebied		177	5,4		
Totaal		3274			

Als het landgebruik op basis van LGN6 vergeleken wordt met het landgebruik in STONE 2.4 valt op dat het areaal gras in STONE wordt overschat (verschil van 332 ha), dat ten koste gaat van andere landgebruiksvormen (vooral voor mais). Daarnaast valt op dat het areaal landelijk gebied in De Keulevaart op basis van STONE 2.4 ca. 105 ha groter is dan op basis van LGN6 (verschil van 3,2%).

Bodemtype

Het bodemtype (grondsoort) in De Keulevaart is bepaald door gebruik te maken van de 1:50.000 bodemkaart. De bodemkaart is hierbij vertaald naar 21 PAWN-bodemeenheden. Op basis van de 1:50.000 bodemkaart bestaat ruim 90% van het gebied uit veen, waarvan 80% een veengrond met een kleidek en 12% met een veraarde bovengrond (tabel 3.2). Het percentage veengronden op basis van de STONE-schematisering komt aardig overeen. Er zijn wel verschillen zichtbaar tussen de type veengronden. Zo heeft op basis van de 1:50.000 bodemkaart ongeveer 12% van de veengronden een veraarde bovengrond, terwijl deze op basis van

STONE 2.4 maar 0,8% is. Daarnaast valt op dat het totale areaal op basis van de bodemkaart ca. 159 ha groter is dan het areaal landelijk gebied op basis van de STONE-schematisatie.

Tabel 3.2

PAWN-bodemtype voor De Keulevaart op basis van de 1:50.000 bodemkaart en STONE 2.4.

Grondsoort	Bodemfysische eenheid	Beschrijving	Bodemkaart		STONE 2.4	
			ha	%	ha	%
Veen	1	Veengronden met veraarde bovengrond	402	12	24	0,8
	3	Veengronden met kleidek	2608	80	2883	93
	6	Veengronden met moerige gronden op ongerijpte klei	16	0,5	8.4	0.3
	-	<i>Veen totaal</i>	<i>3026</i>	<i>93</i>	<i>2915</i>	<i>94</i>
Klei	16	Homogene, lichte kleigronden	63	1,9	54	1,7
	17	Kleigrond, met zware tussenlaag of ondergrond	15	0,5	0.6	0.0
	18	Kleigronden op veen	150	4,6	124	4,0
	-	<i>Klei totaal</i>	<i>228</i>	<i>7,0</i>	<i>179</i>	<i>5,7</i>
Totaal			3253		3094	

Hydrologie (Gt-klassen)

De grondwatertrappenindeling in 7 Gt-klasse voor de Keulevaart is bepaald op basis van de gegevens van HDSR en de STONE-schematisatie. De Gt-klasse zijn op basis van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) geclusterd in drie groepen, *nat*, *matig droog* en *droog* (tabel 3.3).

Tabel 3.3

Gt-klasse in de Keulevaart op basis van de HDSR-kaart en de STONE-schematisatie.

Cluster	HDSR-kaart		STONE 2.4	
	ha	%	ha	%
Nat	2849	87	2937	95
Matig droog	360	11	152	4,9
Droog	66	2,0	5	0,2
Totaal	3274		3094	

Op basis van de STONE-schematisering valt 95% in het cluster *nat*, de rest van de polder is overwegend *matig droog*. Op basis van de HDSR-kaart is het areaal *natte gronden* iets lager (87%). 2,0% van het areaal heeft volgens de HDSR-kaart een droge Gt-klasse, in STONE 2.4 is dit 0,2%.

Areaal open water

Voor het schatten van de bijdrage van directe kwel naar het oppervlaktewater is het areaal open water van belang. Het areaal open water is geschat door het hoogheemraadschap (tabel 3.4). Het areaal open water is vergeleken met het areaal open water in de huidige STONE-schematisatie (1,7 %). Dit percentage is veel lager dan HDSR heeft geschat (11,8%). Voor de verdere berekeningen is gebruik gemaakt van het areaal open water dat door HDSR is geschat.

Tabel 3.4

Percentage open-water op basis van de verschillende informatiebronnen voor De Keulevaart.

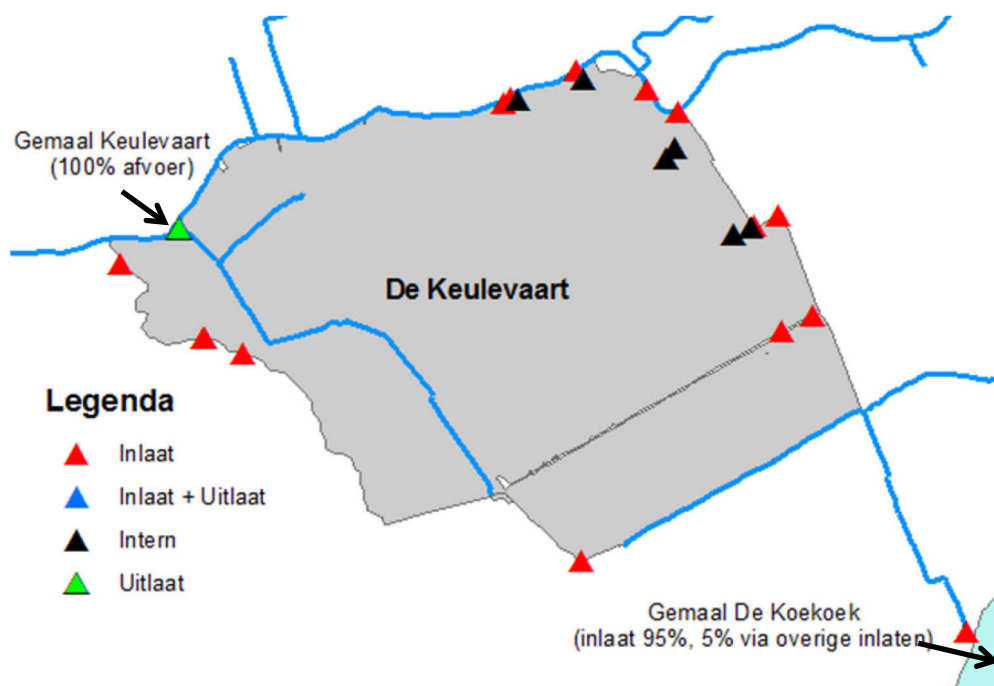
Informatiebron	Percentage open-water
STONE 2.4	1,7%
Gegevens HDSR	11,8%

3.2 Selectie meetpunten kwantiteit en kwaliteit

Voor de maken van een stoffenbalans voor de Keulevaart worden berekeningen met ECHO ingezet. Hiervoor moeten o.a. meetpunten worden geselecteerd (kwantiteit en kwaliteit) die representatief zijn voor het gebied. Vervolgens moet aangegeven worden of de meetpunten een uitlaatpunt, inlaatpunt, intern of extern meetpunt is. Op basis van de meetpunten die als inlaat of uitlaat zijn gedefinieerd kan een inkomende en uitgaande nutriëntenvracht worden afgeleid. De interne en externe meetpunten wordt in dit onderzoek verder niet meer meegenomen. In overleg met HDSR zijn meetpunten geselecteerd. In het navolgende wordt de keuze van de meetpunten toegelicht.

Meetpunten kwantiteit

Voor het deelgebied De Keulevaart is één uitlaatpunt gedefinieerd, vijftien inlaatpunten en zes interne meetpunten (figuur 3.1 en tabel 3.5).



Figuur 3.1

Overzicht van de gemalen en inlaatpunten voor De Keulevaart.

Tabel 3.5*Kenmerken van de debietmeetpunten voor De Keulevaart.*

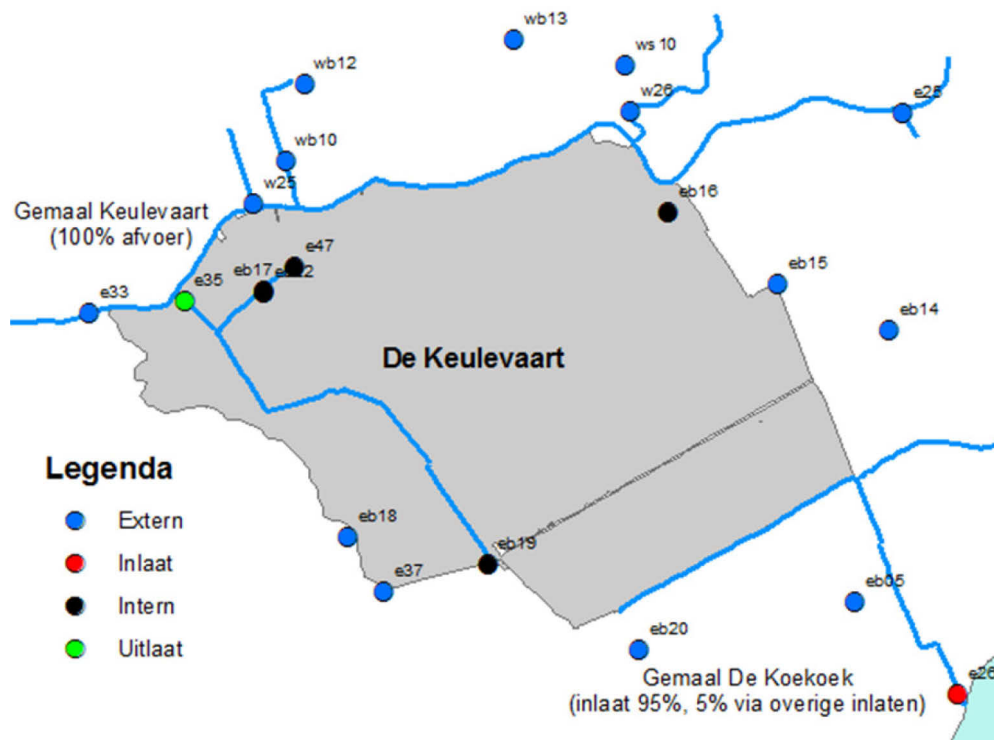
KGMIDNET	x-coördinaten	y-coördinaten	richting
G3025	113983	446351	Uitlaatpunt
G5002	123555	441450	Inlaatpunt
I0003	120980	446380	Inlaatpunt
I0008	117933	447875	Inlaatpunt
I0036	114308	445011	Inlaatpunt
I0761	118017	447943	Inlaatpunt
I0862	118880	442306	Inlaatpunt
I0867	118819	448264	Inlaatpunt
I0869	121266	446517	Inlaatpunt
I0874	113274	445933	Inlaatpunt
I0875	114286	445018	Inlaatpunt
I0898	119670	448043	Inlaatpunt
I6139	120047	447766	Inlaatpunt
I6180	121678	445293	Inlaatpunt
I6200	114768	444828	Inlaatpunt
I7090	121314	445097	Inlaatpunt
G0018	119896	447202	Intern meetpunt
I0002	120935	446360	Intern meetpunt
I0715	118092	447921	Intern meetpunt
I0866	118896	448160	Intern meetpunt
I6206	120008	447321	Intern meetpunt
I6207	120728	446283	Intern meetpunt

Berekening hoeveelheden uitlaat en inlaat

Alterra heeft van HDSR de afvoergegevens ontvangen van het gemaal Keulevaart (G3025) voor 2009. De 'gemeten' gemaalafvoer kent echter een structurele overschatting tussen de 10% en 20% (mededeling HDSR). Daarnaast heeft Alterra berekende afvoeren ontvangen van de Keulevaart voor de periode 2003-2008. Op basis van de structurele overschatting van de 'gemeten' gemaalafvoer is gekozen om **alleen** de berekende afvoer te gebruiken. De hoeveelheid inlaatwater voor De Keulevaart is niet bemeten, wel is de hoeveelheid inlaatwater berekend. Daarom wordt ook voor de hoeveelheid inlaatwater gebruik gemaakt van berekende debieten.

Meetpunten kwaliteit

Voor het deelgebied De Keulevaart is één uitlaatpunt gedefinieerd, één inlaatpunt, vijf interne en veertien externe meetpunten (figuur 3.2 en tabel 3.6).



Figuur 3.2

Overzicht van de kwaliteitsmeetpunten in en nabij De Keulevaart.

Het grootste deel van het inlaatwater komt vanaf de Lek en stroomt noordelijk naar De Keulevaart. Het juiste meetpunt voor het inlaatwater is e26 Polderweteringgemaal de Koekoek. Bij de metingen moet nog wel opgemerkt worden dat deze achter het gemaal in de polder zijn gedaan. Daarbij is niet bekend of de metingen in een uitlaat- of een inlaatsituatie zijn gedaan. Bij een inlaatsituatie zal de waterkwaliteit sterk lijken op die van de Lek. Bij een uitlaatsituatie komt er voornamelijk water uit de polder langs het meetpunt. Maar omdat het water vanaf de inlaat een lange weg aflegt voordat het in de Keulevaart is, is het aannemelijk dat de kwaliteit van het ingelaten water onderweg verandert en meer gaat lijken op het polderwater van de polder waar het doorheen is gestroomd. HDSR weet niet of deze aanname helemaal correct is, maar heeft voor deze studie geen beter alternatief.

Tabel 3.6*Kenmerken van de kwaliteitsmeetpunten voor De Keulevaart.*

Naam	MPT_code	x-coördinaten	y-coördinaten	richting
e35	20932	114064	446301	Uitlaat
e26	20112	123530	441480	Inlaat
e47	20832	115417	446714	Intern
eb16	20766	119988	447385	Intern
eb17	20767	115041	446429	Intern
eb19	20769	117776	443077	Intern
eb22	20196	115037	446406	Intern
e33	20933	112892	446162	Extern
w25	20930	114907	447493	Extern
wb10	20842	115303	448022	Extern
w26	20929	119521	448631	Extern
wb12	20844	115536	448973	Extern
wb13	20845	118102	449505	Extern
ws10	20264	119461	449196	Extern
e25	20111	122860	448600	Extern
eb15	20765	121324	446515	Extern
eb14	20764	122692	445947	Extern
eb05	20755	122282	442605	Extern
eb20	20770	119625	442027	Extern
e37	20993	116508	442725	Extern
eb18	20768	116075	443416	Extern

De meetpunten die gebruik zijn voor het berekenen van de inkomende en uitgaande vracht zijn in tabel 3.7 bij elkaar gezet. Voor alle meetpunten zijn stikstof- en fosforconcentraties bekend voor de periode 2000-2009.

Tabel 3.7*Overzicht van de kwaliteitsmeetpunten die gebruikt zijn voor het bepalen van de inkomende en uitgaande vracht voor De Keulevaart.*

Meetpunten vrachtberekeningen	Parameter	Zomerhalfjaar		Winterhalfjaar	
		Periode	Aantal	Periode	Aantal
Inlaat: meetpunt e26 Polderwetering	Stikstof	2000-2009	66	2000-2009	59
gemaal de Koekoek	Fosfor	2000-2009	66	2000-2009	59
Uitlaat: meetpunten e35 Gemaal	Stikstof	2000-2009	65	2000-2009	58
Keulevaart	Fosfor	2000-2009	66	2000-2009	58

3.3 Waterbalans

De waterbalans voor De Keulevaart is opgesteld voor de periode 2003-2008 (tabel 3.8). HDSR heeft voor deze studie de waterbalanstermen ontleend aan het hydrologische model Hydromedah.

Tabel 3.8

Waterbalans voor De Keulevaart voor de periode 2003-2008.

Jaar	Inkomende termen			Uitgaande termen		Berging
	Neerslag mm	Inlaat mm	Kwel mm	Verdamping mm	Uitlaat mm	
2003	621	181	26	530	303	-4
2004	854	166	24	553	488	4
2005	888	149	25	583	476	3
2006	880	182	25	535	555	-3
2007	1039	198	25	555	712	-5
2008	859	163	26	563	490	-4
Gemiddeld	857	173	25	553	504	-2

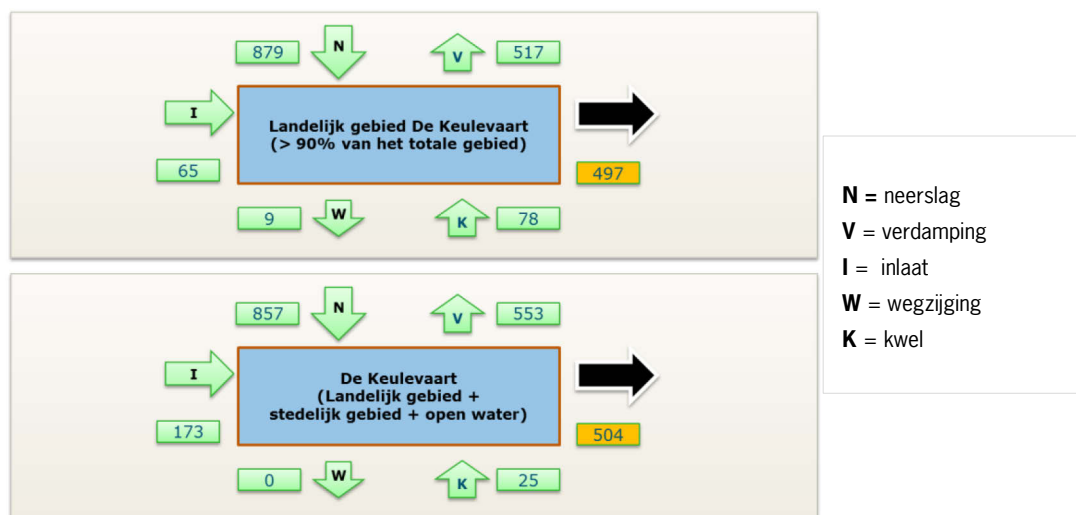
De grootste bijdrage aan de totale wateraanvoer is de neerslag (ongeveer 81%), gevolgd door een relatieve bijdrage van ca. 16% voor de inlaat. De bijdrage van de kwel aan de totale wateraanvoer voor De Keulevaart is beperkt (ca. 2,4 %). De verdamping (553 mm) en de waterafvoer (504 mm) hebben ongeveer dezelfde orde van grootte.

De waterbalans voor het landelijk gebied in De Keulevaart is ook opgesteld voor de periode 2003-2008 op basis van de STONE-berekeningen. Door de herschikking van de STONE-plots zijn veranderingen zichtbaar in de bijdrage van de verschillende balanstermen. De belangrijkste verschillen zijn:

- neerslag neemt af met 23 mm
- infiltratie neemt af met 65 mm
- kwelflux neemt toe met 23 mm

Voor de overige balanstermen zijn de verschillen klein. De veranderingen resulteren uiteindelijk in een afname van de uit- en afspoeling met 65 mm (558 mm voor herschikking en 497 mm na herschikking).

De berekende waterbalanstermen van HDSR zijn vergeleken met de waterafvoer op basis van STONE 2.4 **na herschikking** (figuur 3.3). Hierbij moet worden bedacht, dat de waterbalans volgens Hydromedah betrekking heeft op het gehele afvoergebied, terwijl die van STONE alleen betrekking heeft op het landelijk gebied, dus niet de directe neerslag en verdamping van open water en ook niet de waterbalanstermen in stedelijk gebied.



Figuur 3.3

Waterbalans voor het landelijk gebied op basis van STONE 2.4 **na herschikking** (boven) en de waterbalans voor De Keulevaart voor het landelijk gebied, stedelijk gebied en open water op basis van de data van HDSR (onder) in mm/jaar voor de periode 2003-2008.

De bovenste figuur geeft de balanstermen weer voor het landelijk gebied conform de STONE2.4 schematisering **na herschikking**. De balanstermen hebben alleen betrekking op het landelijk gebied (ca. 90% van het totale gebied).

De onderste figuur geeft de balanstermen voor het totale deelgebied (landelijk gebied inclusief stedelijk gebied en open water) op basis van de gegevens van HDSR.

Er zijn duidelijke verschillen zichtbaar tussen de bijdrage van de verschillende balanstermen aan de waterbalans. Dit geldt bijna voor alle balanstermen. Voor de totale waterafvoer zijn de verschillen tussen beide benaderingen echter gering (7 mm).

3.4 Stoffenbalans

Herschikking STONE-plots.

De herschikking is voor de Keulevaart vooral gericht op het corrigeren van de STONE-plots voor de volgende regio specifieke kenmerken:

- overschatting van het areaal gras (vooral ten koste van het areaal mais);
- ondervertegenwoordiging van veengronden met veraarde bovengrond;
- Gt-klasse: oververtegenwoordiging Gt I, II, III en V (cluster nat), ondervertegenwoordiging Gt IV en VI (cluster matig droog);
- onderschatting van het areaal open water.

Met de herschikking zijn uit de 6.405 beschikbare rekenplots, de meest representatieve rekenplots geselecteerd zodat het landgebruik goed overeen komt met LGN6, het areaal van de voorkomende veengronden nu wel goed aansluit bij de bodemkaart en ook de verdeling van de Gt-klassen redelijk in overeenstemming zijn met het regionale hydrologische model Hydromedah. Enerzijds is deze verbetering mogelijk doordat de rekenplots nu niet op een schaal van 250 x 250 rekenen maar op een veel gedetailleerdere schaal 25 x 25 m. Anderzijds is deze verbetering bewerkstelligd door rekenplots die weinig representatief waren te vervangen door rekenplots die wel goed aansluiten op het landgebruik, bodemtype en

GT-klasse. De kwelflux is na herschikking nog steeds duidelijk minder dan de kwelflux die met Hydromedah is berekend (zie paragraaf 3.3). Dit komt omdat er geen alternatieve rekenplots voorhanden zijn die zowel qua landgebruik, bodemtype en GT-klassen ook qua kwelflux goed passen bij de regio specifieke situatie.

Totale N- en P-belasting

De N- en P-belasting is gekwantificeerd op basis van de met STONE berekende uit- en afspoeling volgens de landelijke schematisering en na herschikking en op basis van EmissieRegistratie voor de overige bronnen. Hiermee is de stoffenbalans opgesteld voor de periode 2003- 2008 (tabel 3.9). De stikstof- en fosforbelasting voor de afzonderlijke jaren staan in bijlage 1.

Tabel 3.9

Gemiddelde stikstof- en fosforvrucht (kg/ha) naar op het oppervlaktewater in de periode 2003-2008 voor de nutriëntenbronnen in De Keulevaart, waarbij de uit- en afspoeling is berekend op basis van de huidige STONE-schematisatie en na herschikking.

2003-2008	N-vracht				P-vracht			
	Stap 1		Stap 2		Stap 1		Stap 2	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
Uit- en afspoeling	37	84	23	76	7.0	94	2.7	85
Landbouw overig	0.8	1.9	0.8	2.8	0.1	0.8	0.1	1.9
Atmosferische depositie	0.9	2.1	0.9	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Rwzi's	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industriële lozingen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Overig	0.1	0.3	0.1	0.4	0.0	0.2	0.0	0.4
Inlaat	5.2	12	5.2	17	0.4	5.0	0.4	12
Directe kwel	0.2	0.4	0.3	1.1	0.0	0.2	0.0	0.7
Totaal IN	44.4		30.5		7.4		3.2	
Standaard deviatie IN	7.0		5.6		1.3		0.7	

De grootste bijdrage aan de stikstof- en fosforvrucht naar het oppervlaktewater voor De Keulevaart is afkomstig van de uit- en afspoeling uit het landelijk gebied. De relatieve bijdrage van de uit- en afspoeling aan de stikstofbelasting van het oppervlaktewater is 84% (stap 1) en 76% (stap 2). De relatieve bijdrage voor fosfor is nog groter (94% voor stap 1 en 85% voor stap 2). Ook de aanvoer van nutriënten via inlaatwater heeft een significante bijdrage (12% en 17% stikstof en 5,0% en 12% fosfor). De bijdrage van andere bronnen is beperkt.

Na herschikking van de STONE-plots neemt de gemiddelde jaarlijkse uit- en afspoeling voor stikstof af met 14 kg/ha en fosfor met 6,3 kg/ha. De lagere uit- en afspoeling kan voor een deel verklaard worden doordat het areaal landelijk gebied in de nieuwe schematisering lager is dan in de huidige schematisatie (ruim 100 ha, zie tabel 3.1).

De nieuwe schematisering heeft niet alleen effect op de uit- en afspoeling, maar ook op de bijdrage van de directe kwel aan de nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater. Omdat bij herschikking een groter areaal open water is aangehouden, neemt de directe kwel iets toe. Ten opzichte van de uit- en afspoeling is deze toename echter niet significant.

Nadat de totale inkomende nutriëntenvrucht voor De Keulevaart is berekend, is de gemiddelde retentie in het oppervlaktewater bepaald volgens de in paragraaf 2.2 beschreven methode. De retentie van de uit- en afspoeling is voor fosfor gesteld op 50%, voor de andere bronnen (inlaat, rwzi's, overige bronnen etc.) is de

retentie gesteld op 20%. Voor stikstof is een jaarlijkse retentie voor wateren met een veenbodem aangehouden van 2,4 gram/m² waterbodem. De totaal berekend retentie over de periode 2003-2008 is weergegeven in tabel 3.10.

Tabel 3.10

Gemiddelde retentie (kg/ha) voor stikstof en fosfor voor afvoergebied De Keulevaart voor de periode 2003-2008.

Stof	Retentie (kg/ha)	
	Stap 1	Stap 2
Stikstof	6,1	6,1
Fosfor	3,6	1,4

3.5 Toetsing

Om na te gaan om de stoffenbalans voor de periode 2003-2008 met bijbehorende geschatte retentie in het oppervlaktewater plausibel zijn, is de berekende stikstof- en fosforvracht bij het uitstroompunt van De Keulevaart vergeleken met de uit metingen afgeleide stikstof- en fosforvracht nabij het uitstroompunt. De berekende en uit metingen afgeleide uitgaande vracht voor De Keulevaart is als volgt berekend:

$$L_{in} - L_{ret} = L_{uit_b} \quad \text{en} \quad C_{uit} * Q_{uit} = L_{uit_g} \quad 1)$$

Waarin:

- L_{in} : som van de berekende inkomende vracht;
- L_{ret} : geschatte retentie in de waterlopen;
- L_{uit_b} : totale berekende uitgaande vracht bij het uitstroompunt;
- C_{uit} : gemeten nutriëntenconcentraties bij het uitstroompunt;
- Q_{uit} : berekende uitgaande waterflux bij het uitstroompunt;
- L_{uit_g} : uit metingen afgeleide uitgaande vracht

Op basis van de gemeten nutriëntenconcentraties en de berekende afvoer voor de periode 2003-2008 wordt een uitgaande vracht berekend van 26 kg/ha stikstof en 2,4 kg/ha fosfor (tabel 3.11).

Tabel 3.11

Gemiddelde inkomende nutriëntenvracht, retentie in het oppervlaktewater en de uitgaande nutriëntenvracht voor De Keulevaart voor de periode 2003-2008.

2003-2008	N-Load (kg/ha)		P-Load (kg/ha)	
	Stap 1	Stap 2	Stap 1	Stap 2
Totaal IN (berekend)	44,4	30,5	7,4	3,2
Retentie	6,1	6,1	3,6	1,4
Totaal IN - retentie	38	24	3,9	1,7
Totaal UIT (afgeleid uit metingen)	26	26	2,4	2,4
Verschil	12	-1,5	1,5	-0,6
Relatief verschil	46%	-5,8%	63%	25%

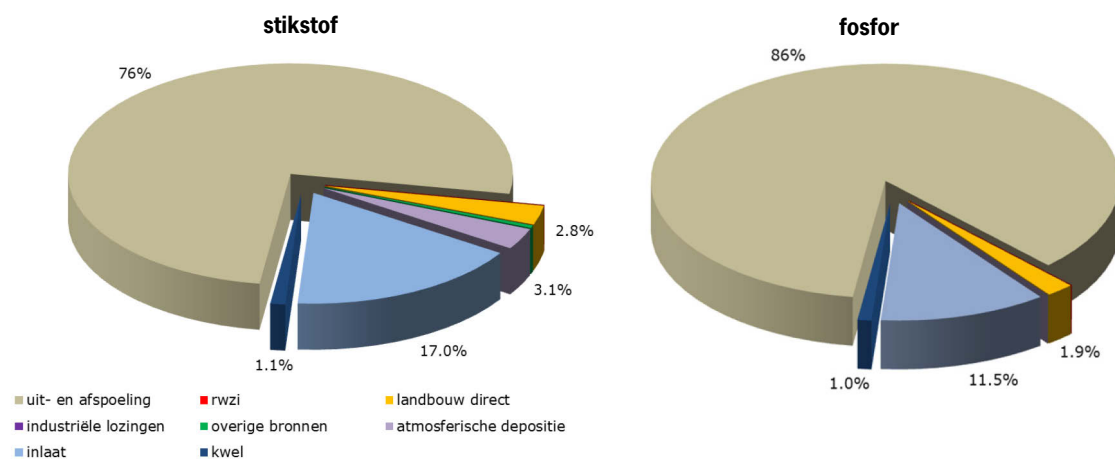
De berekende inkomende vracht voor het stroomgebied De Keulevaart voor stap 1 is 44 kg/ha stikstof en 7,4 kg/ha ton fosfor. Rekening houdend met de (geschatte) retentie in het gebied (6,1 kg/ha stikstof en 3,6 kg/ha fosfor) is de berekende uitgaande vracht voor de eerste stap 38 kg/ha stikstof en 3,9 kg/ha fosfor. Op basis van de uit metingen afgeleide uitgaande vracht is dit een overschatting van 12 kg/ha (46%) stikstof en 1,6 kg/ha (63%) fosfor.

Na stap 2 (herschikking STONE-plots) neemt de berekende uitgaande vracht af met 14 kg/ha stikstof en 2,2 kg/ha fosfor. De berekende vracht komt dan duidelijk beter overeen met uit metingen afgeleide uitgaande nutriëntenvracht. De stikstofvracht wordt nu licht onderschat (5,8%), de onderschatting van de fosforvracht ligt wat hoger (25%).

3.6 Herkomst nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater

Jaarvrachten (2003-2008)

Zoals uit de resultaten van paragraaf 3.5 blijkt is de belangrijkste bron van de belasting naar het oppervlaktewater de uit- en afspoeling vanuit het landsysteem, 76% voor stikstof en 86% voor fosfor (figuur 3.4). Naast de uit- en afspoeling is ook de inkomende vracht via inlaatwater significant, respectievelijk 17,0% voor stikstof en 11,5% voor fosfor.



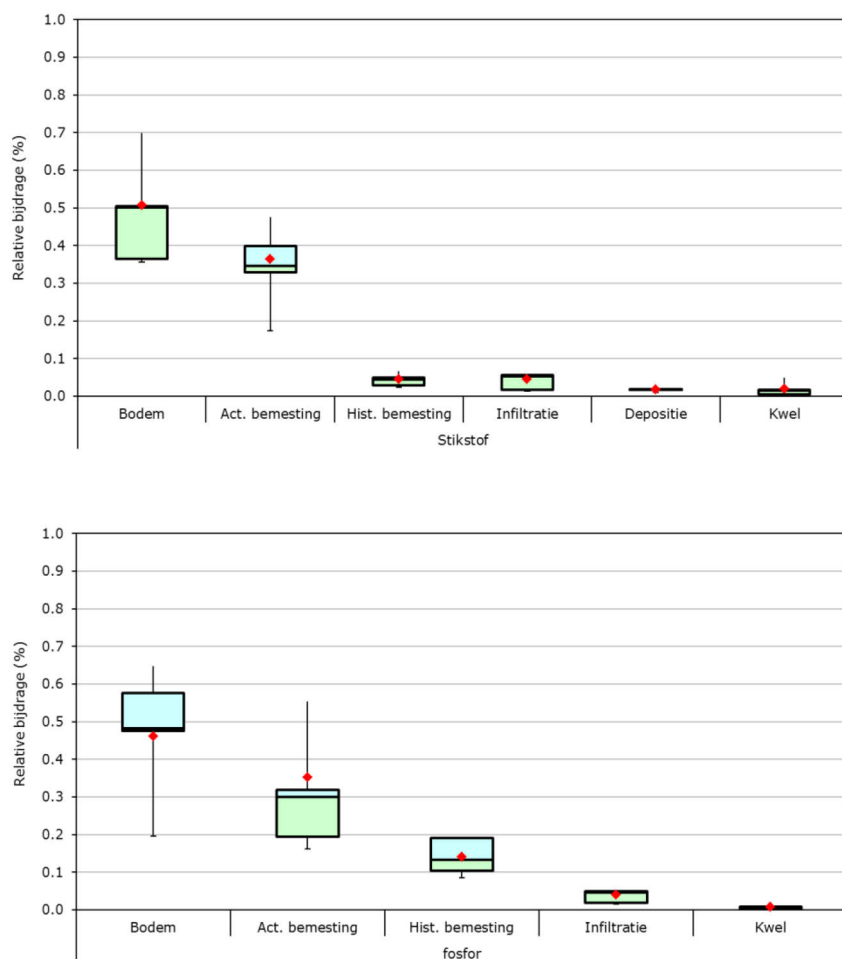
Figuur 3.4

Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater (links stikstof, rechts fosfor).

De uit- en afspoeling is een resultante van de volgende bronnen:

- atmosferische depositie;
- actuele bemesting (vanaf 2001);
- historische bemesting (voor 2001);
- kwel;
- natuurlijke nalevering bodem (geogeen);
- infiltratiewater;
- uit- en afspoeling vanuit natuurgebieden.

Op basis van een nieuwe methode (Groenendijk et al., 2012) is de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden verder onderverdeeld op basis van de herkomst (figuur 3.5). De rode stip is de areaal gewogen bijdrage van de betreffende bron aan de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden. Het groene en blauwe blok geven respectievelijk het 25- en 75-percentiel weer. In 50% van het areaal ligt de bijdrage van de betreffende bron binnen deze blokken. Het streepje tussen beide blokken is de mediane waarde. De haardraden geven het 10- en 90-percentiel weer en geven de range waarbinnen 80% van de resultaten zijn gelegen.



Figuur 3.5

Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden (boven stikstof, onder fosfor).

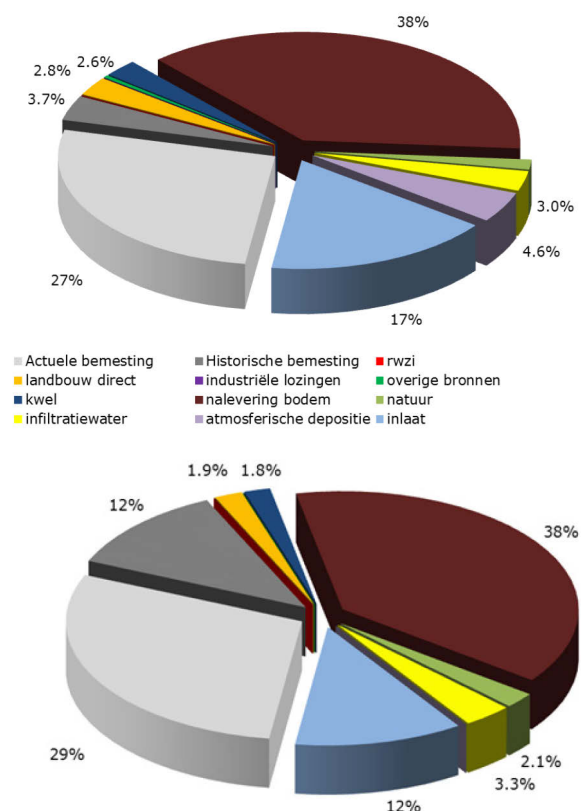
Zowel voor stikstof als voor fosfor draagt de natuurlijk nalevering door de bodems (geogeen) het meeste bij aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater, gevolgd door de bijdrage van de actuele bemesting (vanaf 2001). De 'bron' historische bemesting is voor fosfor ook nog relevant. De 25 en 75-percentiel waarden zijn gegeven in tabel 3.12.

Tabel 3.12

Relatieve bijdrage (25-75 percentiel) van de bronnen aan de uit en afspoeling vanuit landbouwgronden naar regionaal oppervlaktewater voor De Keulevaart.

Bron	Relatieve bijdrage (%)	
	Stikstof	Fosfor
Actuele bemesting	33 – 40	19 – 32
Historische bemesting	3 – 5	10 – 19
Depositie	2 – 2	0 – 0
Kwel	0 – 2	0 – 1
Natuurlijke nalevering bodem (geogeen)	36 – 51	48 – 58
Vegetatie	0 – 0	0 – 0
Infiltratiewater	2 – 6	2 – 5

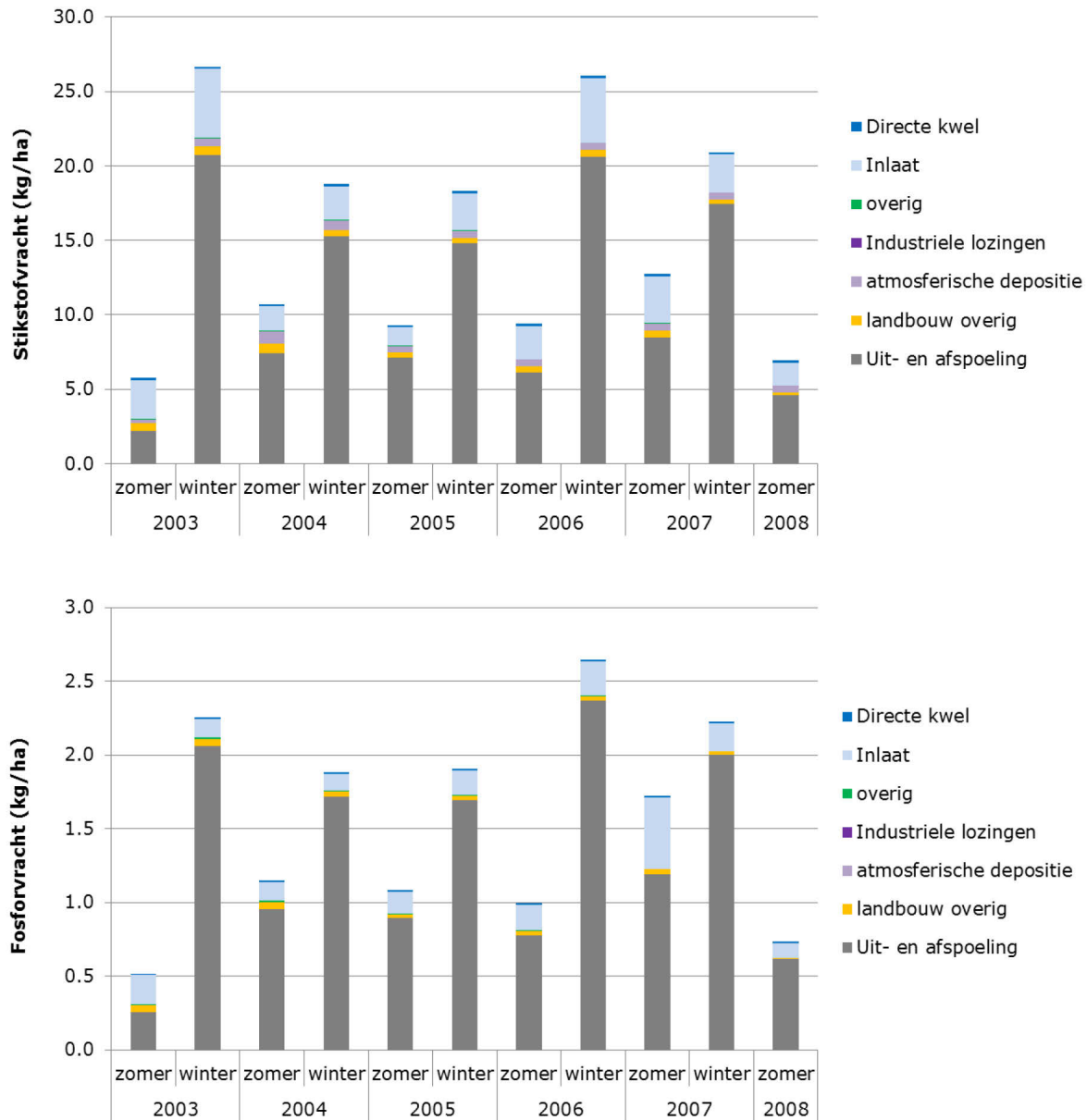
De relatieve bijdrage van de bronnen (areaal gewogen gemiddelde) is gebruikt voor de verdere onderverdeling van de uit- en afspoeling (figuur 3.6). Op basis van de herkomstberekeningen blijkt dat de natuurlijke nalevering vanuit de bodem de grootste bijdrage levert (38%) aan de stikstofbelasting van het oppervlaktewater, op de voet gevolgd door de actuele bemesting (27%). De bijdrage van de historische bemesting is beperkt (3,7%). Voor fosfor is de bijdrage van bodem (38%), actuele bemesting 29% en de bijdrage van de historische bemesting 12%.

**Figuur 3.6**

Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater (boven stikstof, onder fosfor), waarbij de uit- en afspoeling is onderverdeeld naar herkomst.

Temporele variatie

In tabel 3.9 is de gemiddelde nutriëntenbelasting (kg/ha/jr.) van het oppervlaktewater weergegeven voor de periode 2003-2008. Voor de Kaderrichtlijn Water/Ecologie zijn vooral de zomervrachten van belang. Uitsplitsing van de nutriëntenvrachten in de zomer- en winterperiode is dus gewenst (figuur 3.7).



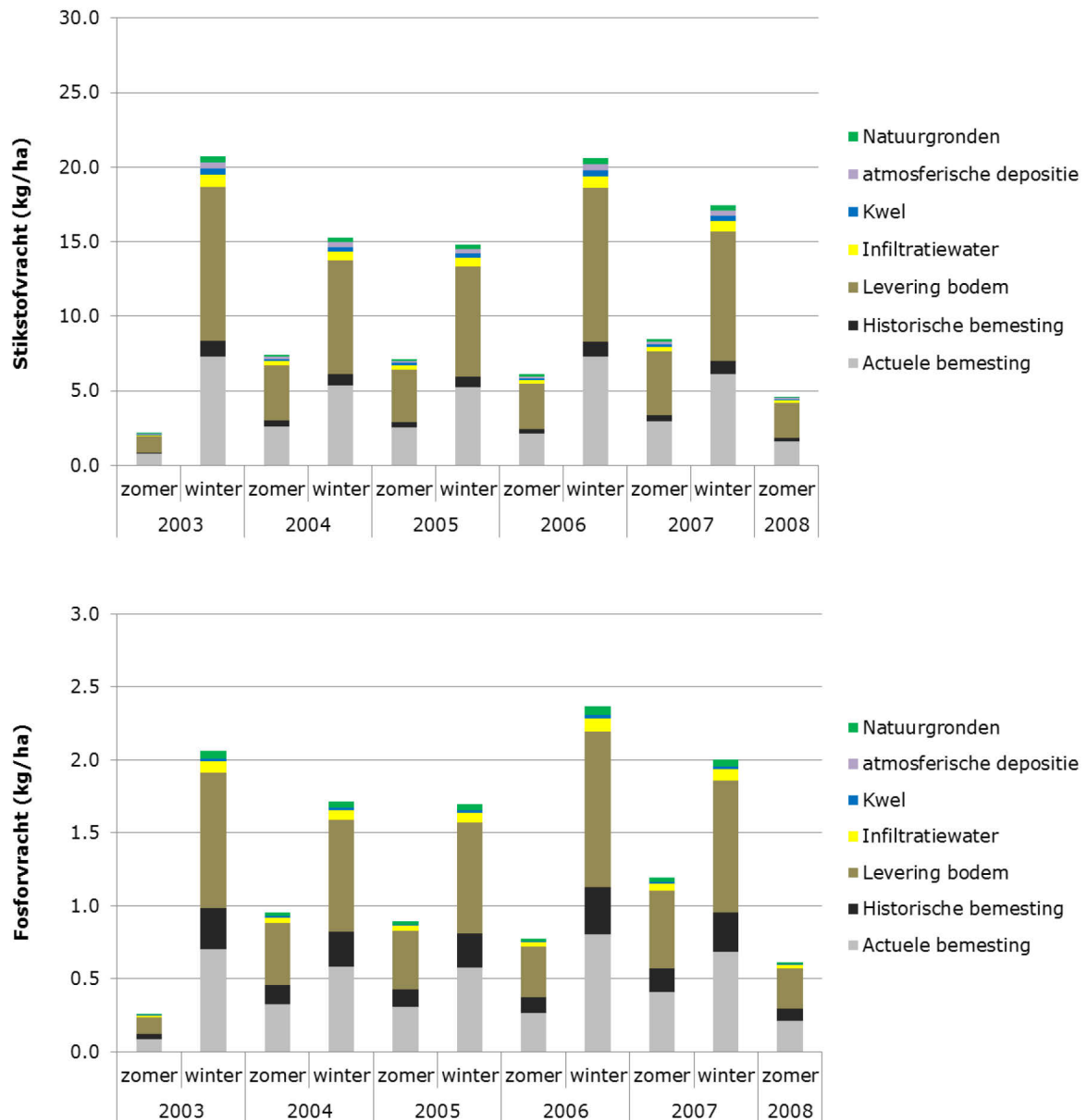
Figuur 3.7

Absolute bijdrage (kg/ha) van de verschillende nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater voor De Keulevaart (boven stikstof, onder fosfor).

De stikstof- en fosforbelasting in het winterhalfjaar (oktober -maart) is in alle jaren groter dan in het zomerhalfjaar (april-september). De grotere nutriëntenbelasting kan volledig worden toegeschreven aan de grotere uit- en afspoeling. Voor de overige bronnen is er geen dynamiek binnen een jaar. Uitzondering hierop is

de aanvoer van nutriënten via inlaatwater. Deze is in het zomerhalfjaar doorgaans groter dan in het winterhalfjaar.

De uit- en afspoeling voor de verschillende perioden zijn vervolgens weer onderverdeeld naar herkomst (figuur 3.8).



Figuur 3.8

Absolute bijdrage (kg/ha) van de verschillende nutriëntenbronnen (herkomst) aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater via de uit- en afspoeling van het landelijk gebied (boven stikstof, onder fosfor).

Uit de resultaten van de herkomstbepaling blijkt dat zowel in het winter- als het zomerhalfjaar de nutriëntenbelasting vanuit landbouwbodems (met mineralisatie etc.) de grootste bijdrage levert, gevolgd door de bijdrage van de actuele bemesting (vanaf 2001). Er is geen onderscheid gemaakt in relatieve bijdrage van de verschillende bronnen tussen de jaren.

4 Resultaten Eiland van Schalkwijk

4.1 Gebiedsanalyse

In deze paragraaf worden de resultaten van de gebiedsanalyse gepresenteerd. In de gebiedsanalyse is onderzocht in hoeverre de schematisering van STONE (kenmerken van de rekenplots) aansluit op de regionale informatie over het huidige landgebruik, bodemtype en grondwatertrappen. Het gaat hierbij voornamelijk om de gebiedskenmerken van het landelijk gebied.

Landgebruik

Op basis van LGN6 bestaat het Eiland van Schalkwijk uit ca. 90% landelijk gebied (landbouw en natuur), 1,5% is open water en 8,6% is stedelijk gebied (tabel 4.1). Het grootste gedeelte van het landelijk gebied bestaat uit grasland (77,5%), het aandeel akkerbouw 13,7%, mais (6,4%) en natuur (2,4%) is beperkt.

Tabel 4.1

Landgebruik in het Eiland van Schalkwijk op basis van LGN6 en STONE 2.4.

Landgebruik	Kenmerk	LGN 6		STONE 2.4	
		ha	%	ha	%
<u>Landelijk gebied</u>					
Grasland	1	2266	77,5	2247	74,9
Mais	2	187	6,4	62	2,1%
Akkerbouw	3	401	13,7	330	11,0%
Natuur	4	71	2,4	361	12,0
<i>Subtotaal</i>		2925		3000	
Landelijk gebied		2925	89,9		
Water		49	1,5		
Stedelijk gebied		280	8,6		
Totaal		3254		3253	

Als het landgebruik op basis van LGN6 vergeleken wordt met het landgebruik volgens STONE 2.4 valt op dat het areaal natuur in STONE wordt overschat (verschil van 290 ha), dat vooral ten koste gaat van het areaal mais. Daarnaast valt op dat het areaal landelijk gebied voor Eiland van Schalkwijk op basis van STONE 2.4 ongeveer 75 ha groter is dan op basis van LGN6.

Bodemtype

Het bodemtype (grondsoort) in het Eiland van Schalkwijk is bepaald door gebruik te maken van de 1:50.000 bodemkaart. De bodemkaart is hierbij vertaald naar 21 PAWN-bodemeenheden. Op basis van de 1:50.000 bodemkaart bestaat het landelijk gebied voor 100% uit kleigrond (tabel 4.2). Het grootste gedeelte van de kleigronden is een kleigrond met een zware tussenlaag of ondergrond (ca. 65%). Het percentage kleigronden op basis van de STONE-schematisering komt goed overeen (99%), hoewel er duidelijke verschillen zijn in type kleigrond. Op basis van STONE zijn er ook nog een paar veen- en zandgebieden (< 1,0%).

Tabel 4.2

PAWN-bodemtype voor Eiland van Schalkwijk op basis van de 1:50.000 bodemkaart en STONE 2.4.

Grondsoort	Bodemfysische eenheid	Beschrijving	Bodemkaart		STONE 2.4	
			ha	%	Ha	%
Veen	1	Veengronden met veraarde bovengrond	-	-	3.8	0.1
	3	Veengronden met kleidek	-	-	18.7	0.6
		Veen totaal	-	-	22.5	0.7
Zand	7	stuifzandgronden	-	-	6.8	0,2
		Zand totaal	-	-	6.8	0,2
Klei	15	Homogene zavelgronden	38	1.2	62	2,1
	16	Homogene, lichte kleigronden	408	13	707	24
	17	Kleigrond, met zware tussenlaag of ondergrond	2115	65	1524	51
	18	Kleigronden op veen	492	15	672	22
	19	Klei op zandgronden	76	2.3	6.3	0.2
	-	Klei totaal	3129	100	2971	99
Totaal			3129		3000	

Hydrologie (Gt-klassen)

De grondwatertrappenindeling in zeven Gt-klasse voor het Eiland van Schalkwijk is bepaald op basis van de gegevens van HDSR en de STONE-schematisatie (tabel 4.3).

Tabel 4.3

Gt-klasse voor het Eiland van Schalkwijk op basis van de HDSR-kaart en de STONE-schematisatie.

Cluster	HDSR-kaart		STONE 2.4	
	ha	%	ha	%
Nat	1621	49,8	1036	34,5
Matig droog	1131	34,8	1783	59,4
Droog	502	15,4	181	6,0
Totaal	3254		3000	

De Gt-klasse zijn op basis van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) geclusterd in drie groepen, *nat*, *matig droog* en *droog*. De helft van het gebied heeft een natte Gt-klasse, ongeveer 35% is matig droog en ca. 15% droog. Op basis van de STONE-schematisering valt ca. 60% in het cluster *matig droog*, 35% in *nat* en ca. 6% in *droog*.

Areaal open water

Voor het schatten van de bijdrage van directe kwel naar het oppervlaktewater is het areaal open water van belang. Het areaal open water is geschat door het hoogheemraadschap (tabel 4.4). Het areaal open water is

vergeleken met het areaal open water in de huidige STONE-schematisatie (2,2 %). Dit percentage is lager dan HDSR heeft geschat (3,9%). Voor de verdere berekeningen is gebruik gemaakt van het areaal open water dat door HDSR is geschat.

Tabel 4.4

Percentage open-water op basis van de verschillende informatiebronnen voor het Eiland van Schalkwijk.

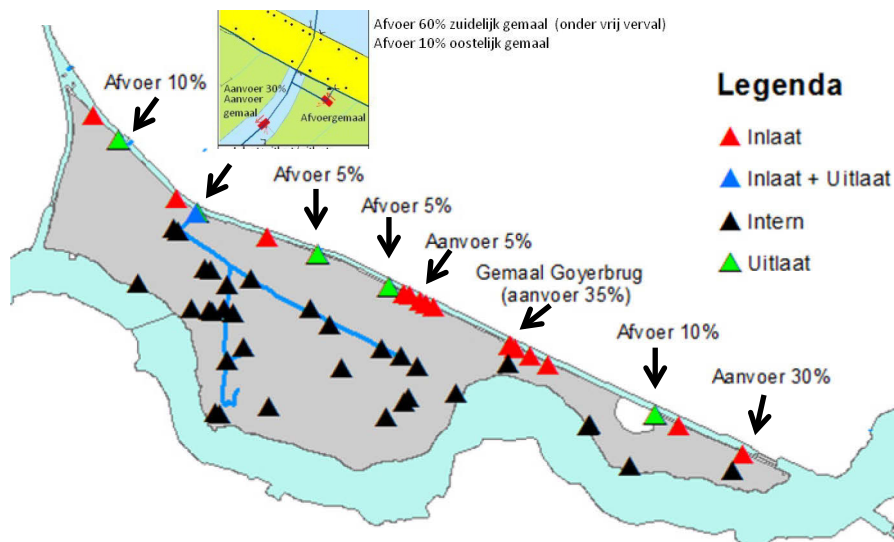
Informatiebron	Percentage open-water
STONE 2.4	2,2%
Gegevens HDSR	3,9%

4.2 Selectie meetpunten kwantiteit en kwaliteit

Voor de maken van een stoffenbalans voor het Eiland van Schalkwijk worden berekeningen met ECHO inzet. Hiervoor moeten o.a. meetpunten worden geselecteerd (kwantiteit en kwaliteit) die representatief zijn voor het gebied. Vervolgens moet aangegeven worden of de meetpunten een uitlaatpunt, inlaatpunt, intern of extern meetpunt is. Op basis van de meetpunten die als inlaat of uitlaat zijn gedefinieerd kan een inkomende en uitgaande nutriëntenvracht worden afgeleid. De interne en externe meetpunten wordt in dit onderzoek verder niet meer meegenomen. In overleg met HDSR zijn meetpunten geselecteerd. In het navolgende wordt de keuze van de meetpunten toegelicht.

Meetpunten kwantiteit

Voor het deelgebied Eiland van Schalkwijk zijn vijf uitlaatpunten gedefinieerd, één meetpunt is zowel inlaat als uitlaat, vijftien inlaatpunten en 32 interne meetpunten (figuur 4.1 en tabel 4.5).



Figuur 4.1

Overzicht van de gemalen en inlaatpunten voor het Eiland van Schalkwijk.

Tabel 4.5*Kenmerken van de debietmeetpunten voor het Eiland van Schalkwijk.*

KGMIDNET	x-coördinaten	y-coördinaten	richting
G4025 (Vuylcop-West)	137285	448551	Uitlaat
G4027 (Vuylcop-Oost)	138865	447100	Uitlaat
ST4032	141317	446247	Uitlaat
ST7220	142728	445603	Uitlaat
ST3029	148112	443021	Uitlaat
G4026 (Kerkeland)	138839	447090	Inlaat + Uitlaat
G4024 (Goyerbrug)	145195	444432	Inlaat
I0880	145956	444035	Inlaat
I0900	145284	444365	Inlaat
I0901	145176	444417	Inlaat
I0902	136785	449069	Inlaat
I0912	149864	442247	Inlaat
I0919	145587	444213	Inlaat
I6122	148585	442822	Inlaat
I6125	140296	446617	Inlaat
I6127	143027	445472	Inlaat
I6128	143147	445439	Inlaat
I6129	143360	445334	Inlaat
I6130	143501	445259	Inlaat
I6131	143624	445204	Inlaat
I9990	138450	447392	Inlaat
G4020	144089	443459	Intern
G4016	139341	443047	Intern
G8002	139465	444129	Intern
G4013	139131	445150	Intern
G6030	137681	445669	Intern
G4023	143031	443291	Intern
G4015	143304	444016	Intern
G4901	142966	444213	Intern
G4022	141141	445158	Intern
I0892	139249	443071	Intern
I0909	140305	443182	Intern
I0913	149647	441908	Intern
I0914	138404	446793	Intern
I0915	138484	446737	Intern
I0916	139018	445971	Intern
I0917	139154	445954	Intern
I0918	145140	444066	Intern
I1004	139173	445126	Intern
I1005	139428	445168	Intern
I1006	146765	442818	Intern
I1007	146766	442830	Intern
I6086	138758	445157	Intern
I6090	147603	441987	Intern
I6166	139812	444384	Intern
I6181	142586	444364	Intern
I8006	139958	445756	Intern
I8007	141549	444834	Intern
I8008	139476	445657	Intern
I8009	139595	445082	Intern
I9991	141770	443977	Intern
I9992	142681	442979	Intern
I9993	143133	443382	Intern

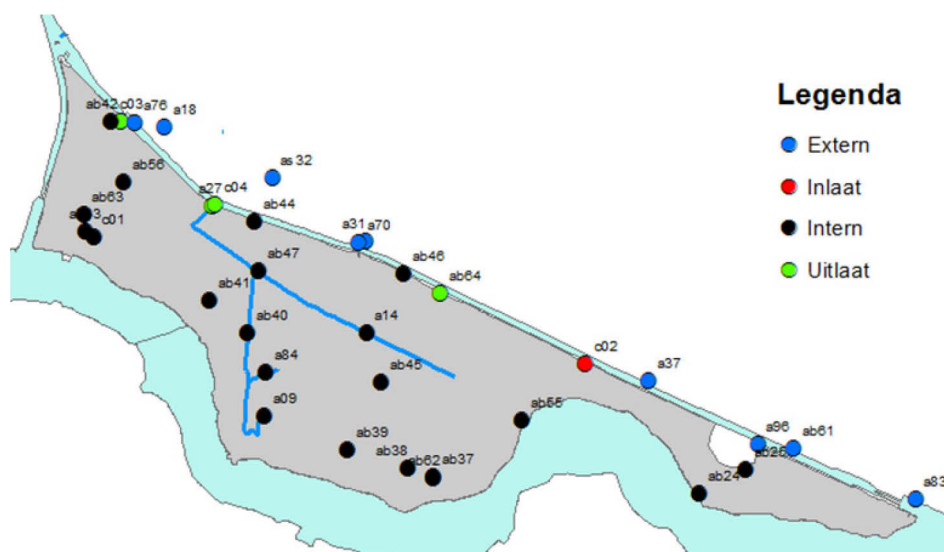
Berekening hoeveelheden uitlaat en inlaat

Alterra heeft van HDSR de afvoergegevens ontvangen van het gemaal Vuylcop-West (G4025) en gemaal Kerkeland/ Vuylcop-Oost (G4026,4027) voor de periode 2005-2009. Ook heeft Alterra berekende afvoeren ontvangen van Schalkwijk voor de periode 2003-2008. De 'gemeten' gemaalafvoer kent echter een structurele overschatting tussen de 10% en 20% (mededeling HDSR).

Op basis van de structurele overschatting van de 'gemeten' gemaalafvoer is gekozen om **alleen** de berekende afvoer te gebruiken. De hoeveelheid inlaatwater voor het Eiland van Schalkwijk is niet bemeten, wel is de hoeveelheid inlaatwater berekend. Daarom wordt ook voor de hoeveelheid inlaatwater gebruik gemaakt van berekende debieten.

Meetpunten kwaliteit

Voor het deelgebied Eiland van Schalkwijk zijn vier uitlaatpunten gedefinieerd, één inlaatpunt, 21 interne en negen externe meetpunten (figuur 4.2 en tabel 4.6).



Figuur 4.2

Overzicht van de kwaliteitsmeetpunten in en nabij het Eiland van Schalkwijk.

Tabel 4.6*Kenmerken van de kwaliteitsmeetpunten voor het Eiland van Schalkwijk.*

Naam	MPT_code	x-coördinaten	y-coördinaten	Richting
a27	20023	138829	447084	Uitlaat
ab64	20301	142714	445593	Inlaat
c03	20919	137272	448522	Uitlaat
c04	20920	138878	447100	Uitlaat
c02	20924	145179	444416	Inlaat
a09	20117	139716	443514	Intern
ab46	20746	142091	445945	Intern
a14	20011	141450	444930	Intern
a84	20806	139736	444252	Intern
ab24	20724	147121	442213	Intern
ab25	20725	147910	442620	Intern
ab38	20738	142153	442638	Intern
ab39	20739	141125	442940	Intern
ab41	20741	138780	445494	Intern
ab44	20744	139540	446825	Intern
ab45	20745	141781	443759	Intern
ab55	20781	144098	443455	Intern
ab56	20782	137313	447490	Intern
ab62	20215	142598	442467	Intern
ab63	20216	136640	446939	Intern
c01	20921	136812	446567	Intern
ab42	NB	137100	448514	Intern
ab43	NB	136683	446645	Intern
ab47	NB	139624	445978	Intern
ab40	NB	139426	444921	Intern
ab37	NB	142593	442480	Intern
a18	20184	138015	448424	Extern
a31	20080	141441	446494	Extern
a37	20033	146250	444120	Extern
a96	20044	148108	443031	Extern
ab61	20214	148715	442958	Extern
as32	20213	139846	447556	Extern
a70	NB	141327	446453	Extern
a76	NB	137515	448510	Extern
a83	NB	150788	442110	Extern

De meetpunten die gebruikt zijn voor het berekenen van de inkomende en uitgaande vracht zijn in tabel 4.7 bij elkaar gezet. Voor bijna alle meetpunten zijn stikstof- en fosforconcentraties bekend voor de periode 2000-2009. Alleen voor meetpunt ab64 (Marckenburghsewetering) zijn geen gegevens voor de betreffende periode beschikbaar.

Tabel 4.7

Overzicht van de kwaliteitsmeetpunten die gebruikt zijn voor het bepalen van de inkomende en uitgaande vracht voor het Eiland van Schalkwijk.

Meetpunten vrachtberekeningen	Parameter	Zomerhalfjaar		Winterhalfjaar	
		Periode	Aantal	Periode	Aantal
Inlaat: meetpunt c02 Gemaal Goyerbrug	Stikstof	2000-2009	59	2000-2009	58
	Fosfor	2000-2009	59	2000-2009	58
Uitlaat: meetpunt a27 Polderwetering gemaal Kerkeland	Stikstof	2000-2009	58	2000-2009	57
	Fosfor	2000-2009	58	2000-2009	57
Uitlaat: meetpunt c03 Gemaal Vuylcop-west	Stikstof	2000-2009	58	2000-2009	55
	Fosfor	2000-2009	58	2000-2009	55
Uitlaat: meetpunt c04 Gemaal Vuylcop-oost	Stikstof	2000-2009	59	2000-2009	56
	Fosfor	2000-2009	59	2000-2009	56
Uitlaat: meetpunt ab64	Stikstof	-	-	-	-
Marckenburghsewetering	Fosfor	-	-	-	-

4.3 Waterbalans

De waterbalans voor het Eiland van Schalkwijk is opgesteld voor de periode 2003-2008 (tabel 4.8). HDSR heeft voor deze studie de waterbalanstermen ontleend aan het hydrologische model Hydromedah.

Tabel 4.8

Waterbalans voor het Eiland van Schalkwijk voor de periode 2000-2008.

Jaar	Inkomende termen		Uitgaande termen			Berging
	Neerslag	Inlaat	Wegzijging	Verdamping	Uitlaat	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2003	600	91	18	472	211	-10
2004	852	52	28	533	345	-2
2005	884	45	27	569	325	7
2006	838	52	46	497	348	-2
2007	1029	35	47	544	480	-8
2008	851	53	45	537	328	-5
Gemiddeld	842	55	35	525	340	-3

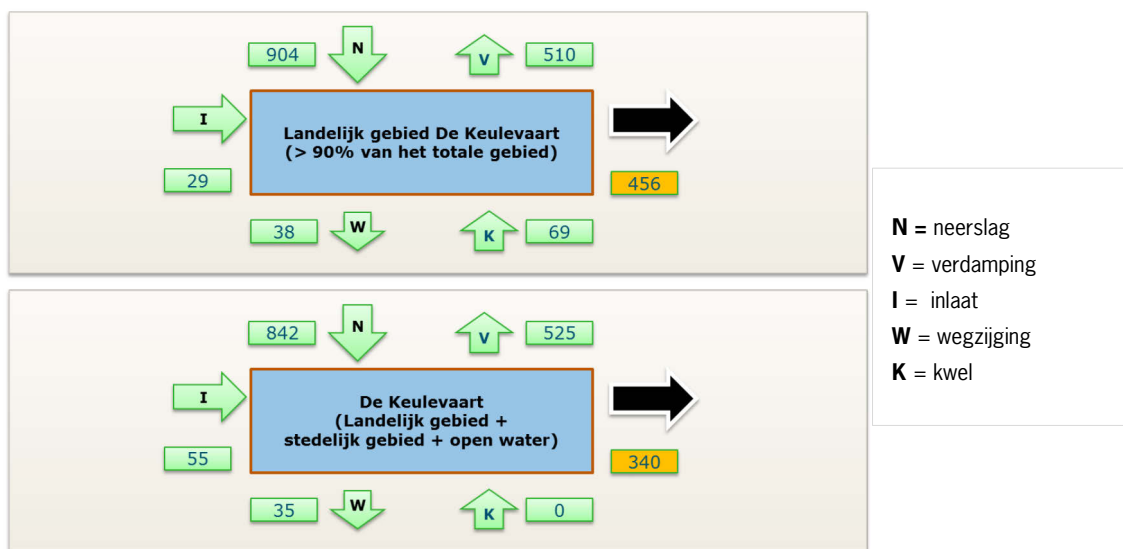
De bijdrage van de inlaat aan de wateraanvoer voor het Eiland van Schalkwijk is ongeveer 6%, het overige deel is afkomstig van de neerslag. De grootste afvoerpost is de verdamping (58%), gevolgd door de afvoer via de gemalen (38%), het overige deel (4%) is de wegzijging naar het grondwater.

De waterbalans voor het landelijk gebied in het Eiland van Schalkwijk is ook opgesteld voor de periode 2003-2008 op basis van de STONE-berekeningen. Door de herschikking van de STONE-plots zijn veranderingen zichtbaar in de bijdrage van de verschillende balanstermen. De belangrijkste verschillen zijn:

- infiltratie neemt toe met 16 mm;
- kwelflux neemt af met 11 mm

Voor de overige balanstermen zijn de verschillen kleiner. De veranderingen resulteren uiteindelijk in een afname van de uit- en afspoeling met 4 mm (452 mm voor herschikking en 456 mm na herschikking).

De berekende waterbalanstermen van HDSR zijn vergeleken met de waterafvoer op basis van STONE 2.4 **na herschikking** (figuur 4.3). Hierbij moet worden bedacht, dat de waterbalans volgens Hydromedah betrekking hebben op het gehele afvoergebied, terwijl die van STONE alleen betrekking heeft op het landelijk gebied, dus niet de directe neerslag en verdamping van open water en ook niet de waterbalanstermen in stedelijk gebied.



Figuur 4.3

Waterbalans voor het landelijk gebied op basis van STONE 2.4 **na herschikking** (boven) en de waterbalans voor Eiland van Schalkwijk voor het landelijk gebied, stedelijk gebied en open water op basis van de data van HDSR (onder) in mm/jaar voor de periode 2003-2008.

De bovenste figuur geeft de balanstermen weer voor het landelijk gebied conform de STONE2.4 schematisering **na herschikking**. De onderste figuur geeft de balanstermen voor het totale deelgebied (landelijk gebied inclusief stedelijk gebied en open water) op basis van de gegevens van HDSR. Uit de figuur blijkt dat er duidelijke verschillen zijn tussen de bijdrage van de verschillende balanstermen aan de waterbalans en dit resulteert ook in een duidelijk verschil tussen de totale waterafvoer (116 mm). Dit kan voor een groot gedeelte verklaard worden door de verschil in neerslagoverschot (77 mm) en kwel/wegzijging (66 mm).

4.4 Stoffenbalans

Herschikking STONE-plots.

De herschikking is voor het Eiland van Schalkwijk vooral gericht op het corrigeren van de STONE-plots voor de volgende regio specifieke kenmerken:

- Overschatting van het areaal natuur en enige onderschatting mais.
- Ondervertegenwoordiging kleibodems met zware tussenlaag, overschatting homogene lichte klei.
- Gt-klasse: oververtegenwoordiging Gt IV en VI (cluster matig droog), ondervertegenwoordiging cluster nat (I, II, III en IV).
- Onderschatting van het areaal open water.

Met de herschikking zijn uit de 6405 beschikbare rekenplots, de meest representatieve rekenplots geselecteerd zodat het landgebruik goed overeen komt met LGN6, het areaal van de kleibodems met zware tussenlaag en homogene lichte klei wel goed aansluit bij de bodemkaart en ook de verdeling van de Gt-klassen beter in overeenstemming zijn het regionale hydrologische model Hydromedah. De kwelflux is na herschikking nog steeds duidelijk minder dan de kwelflux die met Hydromedah is berekend (zie paragraaf 4.3). Dit komt omdat er geen alternatieve rekenplots voorhanden zijn die zowel qua landgebruik, bodemtype en GT-klassen ook qua kwelflux goed passen bij de regio specifieke situatie.

Totale N- en P-belasting

De N- en P-belasting is gekwantificeerd op basis van de met STONE berekende uit- en afspoeling volgens de landelijke schematisering en na herschikking en op basis van EmissieRegistratie voor de overige bronnen. Hiermee is de stoffenbalans opgesteld voor de periode 2003- 2008 (tabel 4.9).

Tabel 4.9

Stoffenbalans voor het Eiland van Schalkwijk voor de periode 2003-2008 op basis van de huidige STONE-schematisatie en na herschikking.

2003-2008	N-vracht				P-vracht			
	Stap 1		Stap 2		Stap 1		Stap 2	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
Uit- en afspoeling	18,4	77	17,5	76	1.3	88	1.6	89
Landbouw overig	0.8	3.4	0.8	3.5	0.1	3.6	0.1	3.0
Atmosferische depositie	2.3	10	2.3	10	0.0	0.0	0.0	0.0
Rwzi's	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industriële lozingen	0.1	0.3	0.1	0.3	0.0	0.2	0.0	0.2
Overig	0.4	1.6	0.4	1.6	0.0	2.2	0.0	1.8
Inlaat	1.6	6.7	1.6	6.9	0.1	4.1	0.1	3.4
Directe kwel	0.2	0.8	0.3	1.4	0.0	1.7	0.0	2.5
Totaal IN	24		23		1.5		1.8	
Standaard deviatie IN	4.5		4.4		0.3		0.4	

De grootste bijdrage aan de stikstof- en fosforvracht naar het oppervlaktewater voor het Eiland van Schalkwijk is afkomstig van de uit- en afspoeling uit het landelijk gebied. De relatieve bijdrage van de uit- en afspoeling aan de stikstofbelasting van het oppervlaktewater is 77% (stap 1) en 76% (stap 2).

De relatieve bijdrage voor fosfor is groter (88% voor stap 1 en 89% voor stap 2). Ook de aanvoer van nutriënten via atmosferische depositie (10% voor N) en inlaat (ca. 7% voor N) is significant. De bijdrage van andere bronnen is beperkt. Na herschikking van de STONE-plots neemt de gemiddelde jaarlijkse uit- en afspoeling voor stikstof af met 0,9 kg/ha, de fosforbelasting neemt toe met ca. 0,3 kg/ha.

De nieuwe schematisering heeft niet alleen effect op de uit- en afspoeling, maar ook op de bijdrage van de directe kwel aan de nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater. Het areaal open water in STONE 2.4 (2,2%) is lager dan het areaal open water uit de gegevens van het hoogheemraadschap (3,9%). Een groter areaal open water resulteert in een hogere nutriëntenbelasting via directe kwel naar het oppervlaktewater.

Nadat de totale inkomende nutriëntenvracht voor het Eiland van Schalkwijk is berekend, is de gemiddelde retentie in het oppervlaktewater bepaald volgens de in paragraaf 2.2 beschreven methode. De retentie van de uit- en afspoeling is voor fosfor gesteld op 50%, voor de andere bronnen (inlaat, rwzi's, overige bronnen etc.) is de retentie gesteld op 20%. Voor stikstof is een jaarlijkse retentie voor wateren met een kleibodem aangehouden van 16,8 gram/m² waterbodem. De totaal berekende retentie over de periode 2003-2008 is weergegeven in tabel 4.10.

Tabel 4.10

Gemiddelde retentie (kg/ha) voor stikstof en fosfor voor afvoergebied Eiland van Schalkwijk voor de periode 2003-2008.

Stof	Retentie (kg/ha)	
	Stap 1	Stap 2
Stikstof	6,0	6,0
Fosfor	0,7	0,8

4.5 Toetsing

Om na te gaan om de stoffenbalans voor de periode 2003-2008 met bijbehorende geschatte retentie in het oppervlaktewater plausibel zijn, is de berekende stikstof- en fosforvracht bij de uitstroompunten van het Eiland van Schalkwijk vergeleken met de uit metingen afgeleide stikstof- en fosforvracht nabij de uitstroompunten. De berekende en uit metingen afgeleide uitgaande vracht voor het Eiland van Schalkwijk is als volgt berekend:

$$L_{in} - L_{ret} = L_{uit_b} \quad \text{en} \quad C_{uit} * Q_{uit} = L_{uit_g} \quad 2)$$

Waarin:

- L_{in} : som van de berekende inkomende vracht;
- L_{ret} : geschatte retentie in de waterlopen;
- L_{uit_b} : totale berekende uitgaande vracht bij het uitstroompunt;
- C_{uit} : gemeten nutriëntenconcentraties bij het uitstroompunt;
- Q_{uit} : berekende uitgaande waterflux bij het uitstroompunt;
- L_{uit_g} : uit metingen afgeleide uitgaande vracht.

Op basis van de gemeten nutriëntenconcentraties en de berekende afvoer voor de periode 2003-2008 wordt een uitgaande vracht berekend van 10,0 kg/ha stikstof en 0,8 kg/ha fosfor (tabel 4.11).

Tabel 4.11

Gemiddelde inkomende nutriëntenvracht, retentie in het oppervlaktewater en de uitgaande nutriëntenvracht voor het Eiland van Schalkwijk voor de periode 2003-2008.

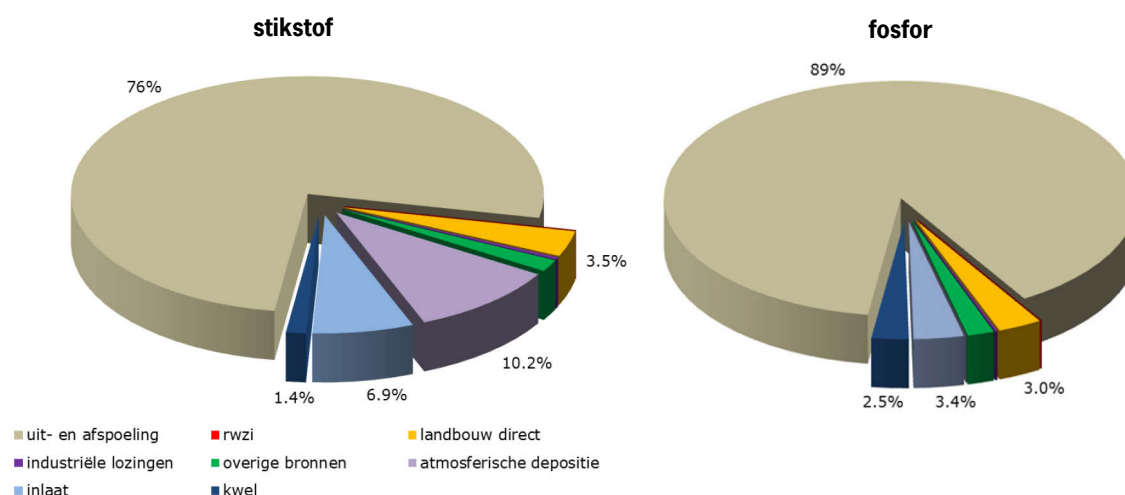
2003-2008	N-Load (kg/ha)		P-Load (kg/ha)	
	Stap 1	Stap 2	Stap 1	Stap 2
Totaal IN (berekend)	23,8	23,0	1,5	1,8
Retentie	6,0	6,0	0,7	0,8
Totaal IN - retentie	17,8	17,0	0,8	1,0
Totaal UIT (uit metingen afgeleid)	10,0	10,0	0,8	0,8
Vershil	7,8	7,0	0,05	0,21
Relatief verschil	78%	70%	6,3%	26%

De berekende inkomende vracht voor het afvoergebied in stap 1 is 23,8 kg/ha stikstof en 1,5 kg/ha fosfor. Rekening houdend met de (geschatte) retentie in het gebied (6,0 kg/ha stikstof en 0,7 kg/ha fosfor) is de berekende uitgaande vracht voor de eerste stap 17,8 kg/ha stikstof en 0,8 kg/ha fosfor. Op basis van de uit metingen afgeleide vracht is dit een overschatting van 7,8 kg/ha (78%) stikstof en 0,05 kg/ha (6,3%) fosfor. Na stap 2 (herschikking STONE-plots) neemt de uit- en afspoeling van stikstof af met 0,8 kg/ha, de fosforbelasting neemt toe met 0,3 kg/ha. De berekende stikstofvracht neemt iets af, waardoor de overschatting licht afneemt, maar nog steeds fors is (70%). Voor fosfor neemt de overschatting toe van 6,8% naar 26%. De (forse) overschatting van de stikstof- en fosforvracht kan mogelijk verklaard worden doordat de berekende waterafvoer met STONE 2.4 voor het landelijk gebied fors hoger is (116 mm) dan de berekende afvoer met Hydromedah voor het hele afvoergebied (landelijk gebied inclusief stedelijk gebied en open water).

4.6 Herkomst nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater

Jaarvrachten (2003-2008)

In paragraaf 4.4 is de stoffenbalans voor het Eiland van Schalkwijk opgesteld, waarbij verschillende verbeterlagen zijn doorgevoerd. De belangrijkste bron van de belasting naar het oppervlaktewater is de uit- en afspoeling vanuit het landsysteem, 76% voor stikstof en 89% voor fosfor (figuur 4.4). Naast de uit- en afspoeling draagt ook de atmosferische depositie een significante bijdrage (10,2%). Inlaatwater en landbouw direct dragen respectievelijk 6,9% en 3,5% bij aan de stikstofbelasting. Voor de fosforbelasting draagt het inlaatwater en de bron landbouw direct respectievelijk 3,4% en 3,0% bij.



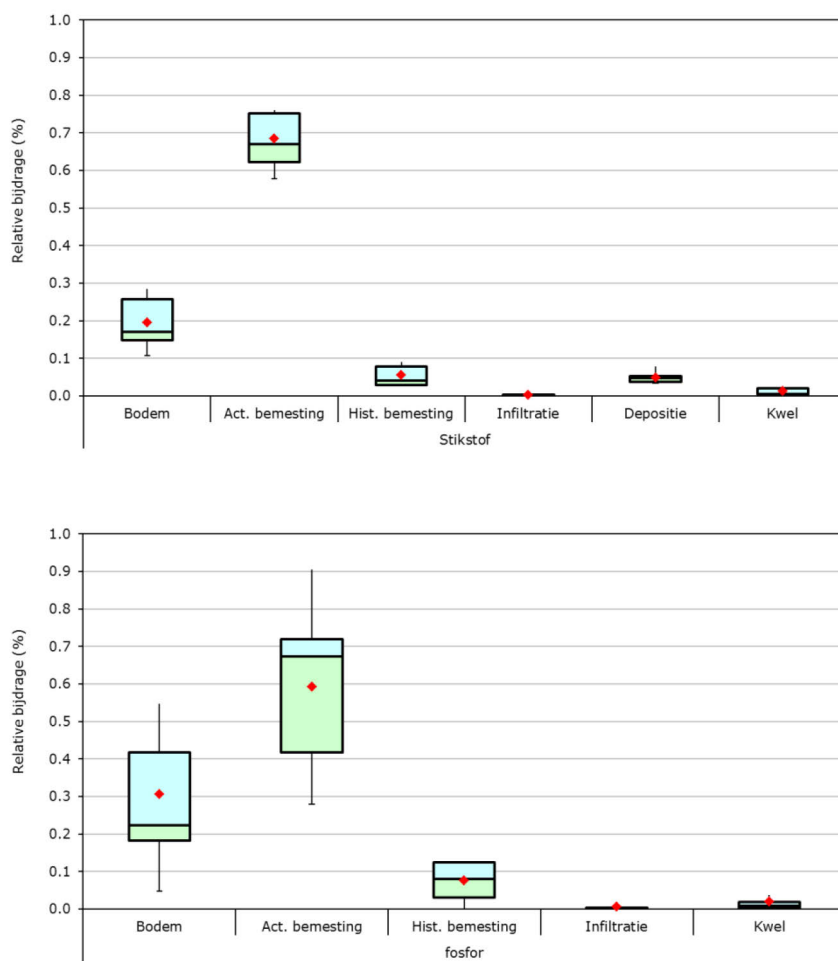
Figuur 4.4

Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater (links stikstof, rechts fosfor).

De uit- en afspoeling is een resultante van de volgende bronnen:

- atmosferische depositie;
- actuele bemesting (vanaf 2001);
- historische bemesting (voor 2001);
- kwel;
- natuurlijke nalevering bodem (geogeen);
- infiltratiewater;
- uit- en afspoeling vanuit natuurgebieden.

Op basis van een nieuwe methode (Groenendijk et al., 2012) is de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden verder onderverdeeld op basis van de herkomst (figuur 4.5). De rode stip is de areaal gewogen bijdrage van de betreffende bron aan de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden. Het groene en blauwe blok geven respectievelijk het 25- en 75-percentiel weer. In 50% van het areaal ligt de bijdrage van de betreffende bron binnen deze blokken. Het streepje tussen beide blokken is de mediane waarde. De haardraden geven het 10- en 90-percentiel weer en geven de range waarbinnen 80% van de resultaten zijn gelegen.



Figuur 4.5

Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden (boven stikstof, onder fosfor).

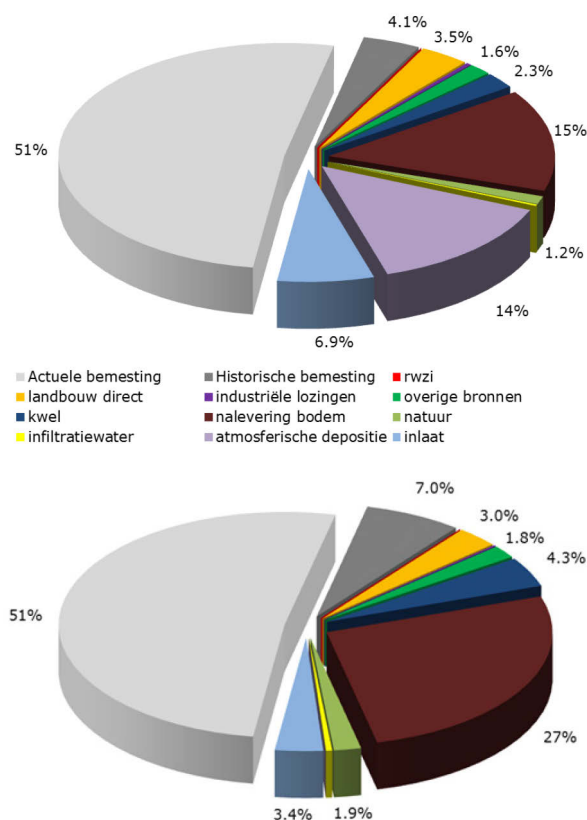
Zowel voor stikstof als voor fosfor draagt de actuele bemesting (vanaf 2001) het meeste bij aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater, gevolgd door de natuurlijke nalevering van de bodem (geogeen). De 'bron' historische bemesting (voor 2001) draagt ook nog bij aan de nutriëntenbelasting. De 25- en 75-percentiel waarden zijn gegeven in tabel 4.12.

Tabel 4.12

Relatieve bijdrage (25-75 percentiel) van de bronnen aan de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden naar regionaal oppervlaktewater voor het Eiland van Schalkwijk.

Bron	Relatieve bijdrage (%)	
	Stikstof	Fosfor
Actuele bemesting	62 - 75	42 - 72
Historische bemesting	3 - 8	3 - 12
Depositie	4 - 5	0 - 0
Kwel	0 – 2	0 – 2
Natuurlijke nalevering bodem (geogeen)	15 – 26	18 – 42
Vegetatie	0 – 0	0 – 0
Infiltratiewater	0 – 0	0 – 0

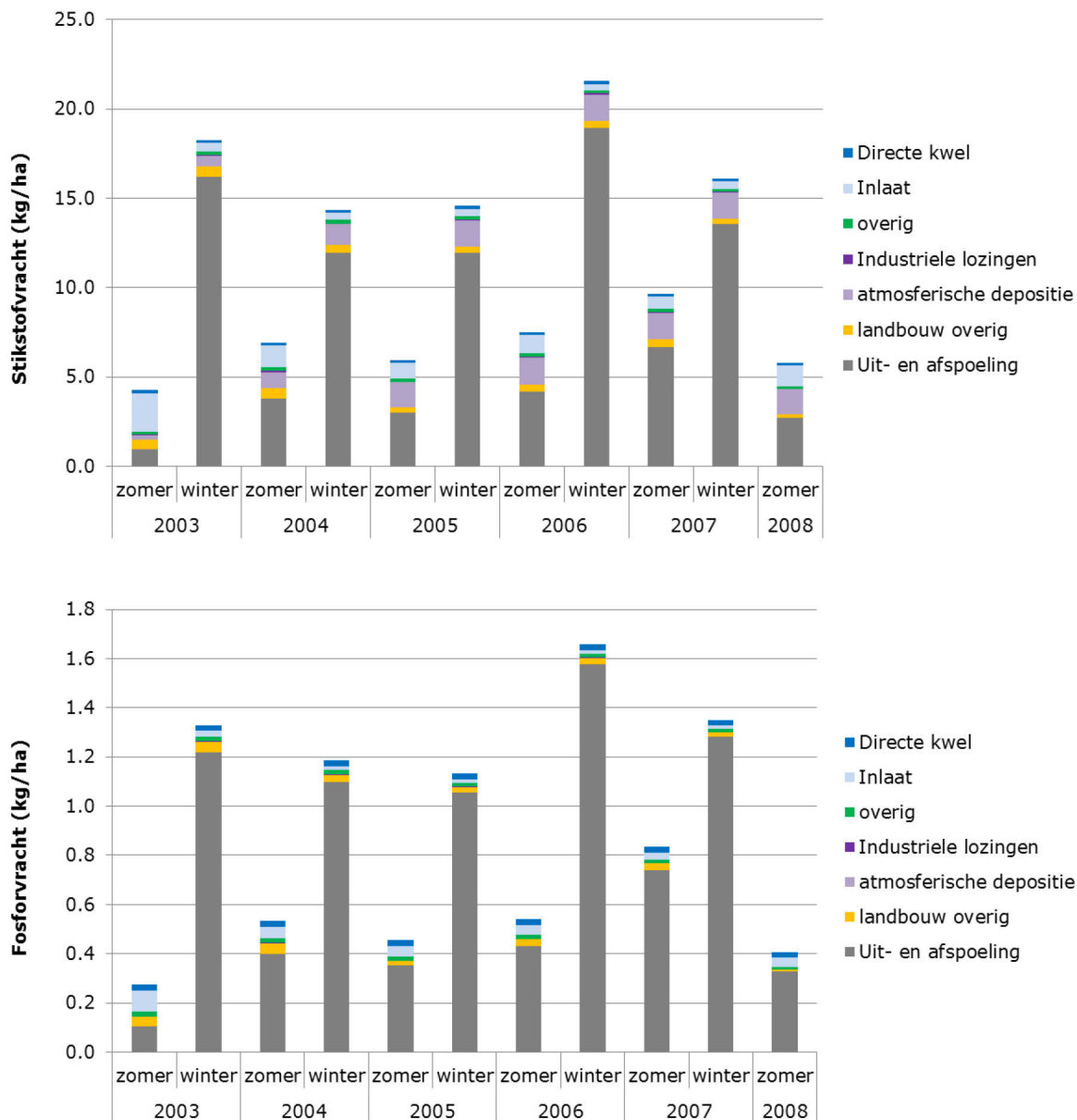
De relatieve bijdrage van de bronnen (areaal gewogen gemiddelde) is gebruikt voor de verdere onderverdeling van de uit- en afspoeling (figuur 4.6). Op basis van de herkomstberekeningen blijkt dat de actuele bemesting (vanaf 2001) de grootste bijdrage levert (51%) aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater, gevolgd door de natuurlijke nalevering van de bodem (15%) en atmosferische depositie (14%). Voor fosfor is de bijdrage van de actuele bemesting 51% en de natuurlijke nalevering van de bodem 27%.

**Figuur 4.6**

Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater (boven stikstof, onder fosfor), waarbij de uit- en afspoeling is onderverdeeld naar herkomst.

Temporele variatie

In tabel 4.9 is de gemiddelde nutriëntenbelasting (kg/ha/jr.) van het oppervlaktewater weergegeven voor de periode 2003-2008. Voor de Kaderrichtlijn Water/Ecologie zijn vooral de zomervrachten van belang. Uitsplitsing van de nutriëntenvrachten in de zomer- en winterperiode is dus gewenst (figuur 4.7).



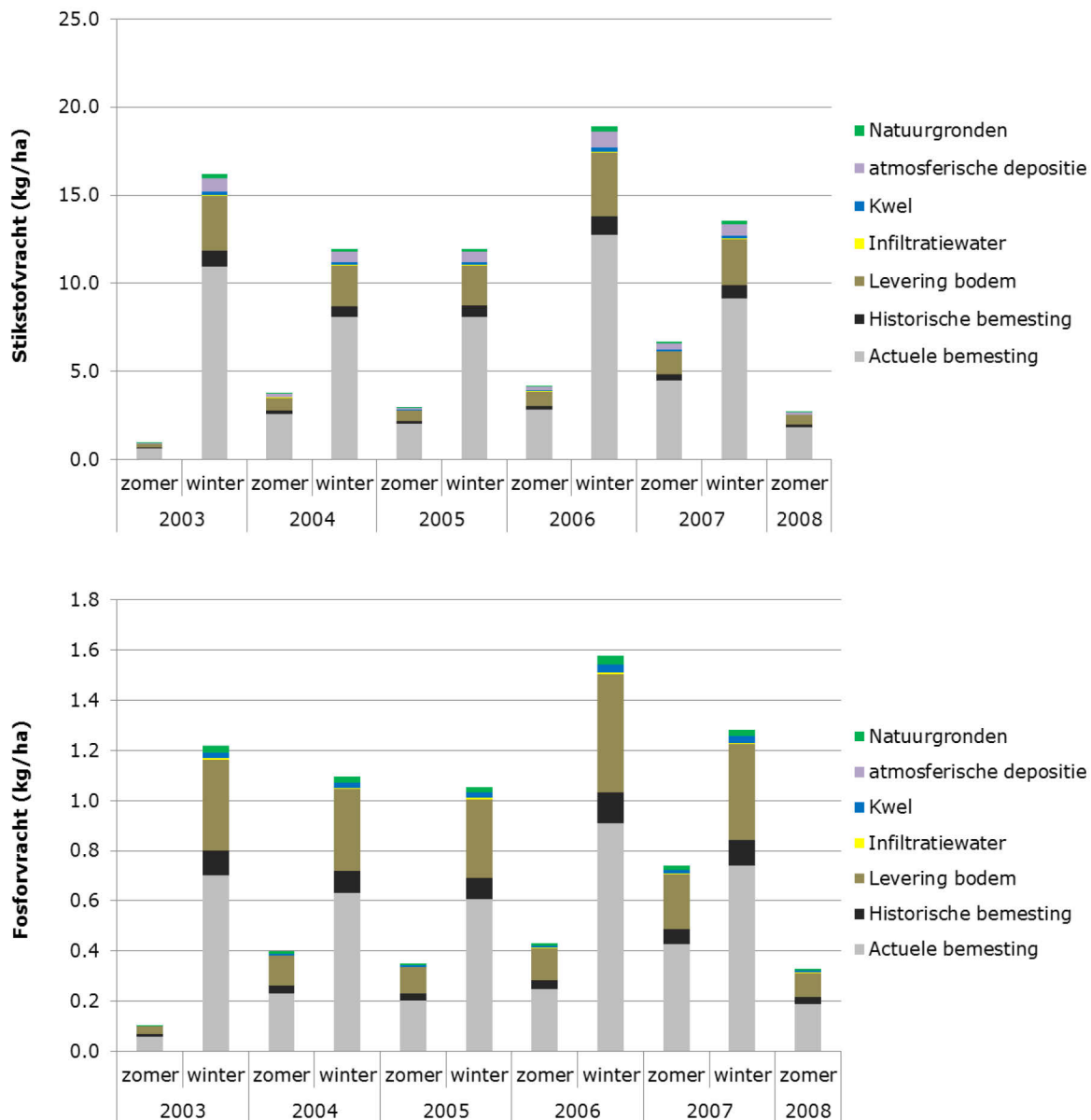
Figuur 4.7

Absolute bijdrage (kg/ha) van de verschillende nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater voor het Eiland van Schalkwijk (boven stikstof, onder fosfor).

De stikstof- en fosforbelasting in het winterhalfjaar (oktober - maart) is in alle jaren groter dan in het zomerhalfjaar (april-september). De grotere nutriëntenbelasting kan volledig worden toegeschreven aan de grotere uit- en afspoeling. Voor de overige bronnen is er geen dynamiek binnen een jaar. Uitzondering hierop is

de aanvoer van nutriënten via inlaatwater. Deze is in het zomerhalfjaar doorgaans groter dan in het winterhalfjaar.

De uit- en afspoeling voor de verschillende periode zijn vervolgens weer onderverdeeld naar herkomst (figuur 4.8).



Figuur 4.8

Absolute bijdrage (kg/ha) van de verschillende nutriëntenbronnen (herkomst) aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater via de uit- en afspoeling van het landelijk gebied (boven stikstof, onder fosfor).

Uit de resultaten van de herkomstbepaling blijkt dat de actuele bemesting (vanaf 2001) de grootste bijdrage levert aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater, gevolgd door de natuurlijke nalevering vanuit de bodem (met mineralisatie etc.). Er is geen onderscheid gemaakt in relatieve bijdrage van de verschillende bronnen tussen de jaren.

5 Resultaten Langbroekerwetering

5.1 Gebiedsanalyse

In deze paragraaf worden de resultaten van de gebiedsanalyse gepresenteerd. In de gebiedsanalyse is onderzocht in hoeverre de schematisering van STONE (kenmerken van de rekenplots) aansluit op de regionale informatie over het huidige landgebruik, bodemtype en grondwatertrappen. Het gaat hierbij **voornamelijk** om de gebiedskenmerken van het landelijk gebied.

Landgebruik

Op basis van LGN6 is ongeveer 81% van Langbroekerwetering landelijk gebied (landbouw en natuur), 0,7% open water en 18,2% is stedelijk gebied (tabel 5.1). Het grootste gedeelte van het landelijk gebied bestaat uit grasland (55,1%), ook het aandeel natuur is groot (33,8%). Het aandeel mais (6,5%) en akkerbouw (4,5%) is laag.

Tabel 5.1

Landgebruik voor Langbroekerwetering op basis van LGN6 en STONE 2.4.

Landgebruik	Kenmerk	LGN 6		STONE 2.4	
		ha	%	ha	%
<u>Landelijk gebied</u>					
Grasland	1	3181	55.1	3003	50,1
Mais	2	376	6,5	199	3.3
Akkerbouw	3	262	4,5	68	1.1
Natuur	4	1949	33,8	2725	45.5
Subtotaal		5769		5995	
Landelijk gebied		5769	81,2		
Water		47.6	0,7		
Stedelijk gebied		1289.8	18,2		
Totaal		7106			

Wanneer het landgebruik op basis van LGN6 vergeleken wordt met het landgebruik volgens STONE 2.4 valt op dat het areaal natuur in STONE wordt overschat (verschil van 776 ha) en het areaal gras wordt onderschat (5%). Daarnaast valt op dat het areaal landelijk gebied in de Langbroekerwetering op basis van STONE 2.4 ongeveer 226 ha groter is dan op basis van LGN6.

Bodemtype

Het bodemtype (grondsoort) in Langbroekerwetering is bepaald door gebruik te maken van de 1:50.000 bodemkaart. De bodemkaart is hierbij vertaald naar 21 PAWN-bodemeenheden. Ruim 60% van deelgebied bestaat uit kleigronden, ca. 38% zandgrond (tabel 5.2). Het grootste gedeelte van de kleigronden is een klei op zandgrond, ook kleigronden met een zware tussenlaag of ondergrond komen vaak voor. Het percentage

kleigronden op basis van de STONE-schematisering is ca. 5% te hoog, het percentage zandgronden is ca. 5% te laag. Op basis van STONE is een zeer klein areaal (0,2%) ook nog veen.

Tabel 5.2

PAWN-bodemtype voor Langbroekerwetering op basis van de 1:50.000 bodemkaart en STONE 2.4.

Grondsoort	PAWN-bodem	Beschrijving	Bodemkaart		STONE 2.4	
			ha	%	ha	%
veen	2	Veengronden met veraarde bovengrond en zand in ondergrond	-	-	12.5	0.2
		Veen totaal	-	-	12.5	0.2
zand	7	Stuifzandgronden	419	6,5	266	4,4
	8	Podzolgronden in leemarm, fijn zand	119	1,8	71.7	1,2
	9	Podzolgronden in zwak lemig, fijn zand	537	8,3	733	12,2
	10	Podzolgronden in zwak lemig, fijn zand op grof zand	-	-	116	1,9
	11	Podzolgronden sterk lemig, fijn zand op keileem of leem	-	-	18.8	0.3
	12	Enkeergronden in zwak lemig, fijn zand	1326	20,5	194	3,1
	13	Beekeerdgronden in sterk lemig, fijn zand	-	-	476	7,9
	14	Podzolgronden in grof zand	55.1	0.9	51.1	0,9
		Zand totaal	2456	37,9	1926	32,1
klei	16	Homogene, lichte kleigronden	72.9	1,1	262	4,4
	17	Kleigrond, met zware tussenlaag of ondergrond	1533	23,6	1381	23,0
	18	Kleigronden op veen	434	6,7	144	2,4
	19	Klei op zandgronden	1986	30,6	2256	37,6
	20	Klei op grof zand	-	-	13.2	0.2
	-	Klei totaal	4026	62,1	4056	67,7
Totaal			6482		5995	

Hydrologie (Gt-klassen)

De grondwatertrappenindeling in zeven Gt-klasse voor het gebied is bepaald op basis van de gegevens van HDSR en de STONE-schematisatie (tabel 5.3).

Tabel 5.3

Gt-klasse voor het Langbroekerwetering op basis van de HDSR-kaart en de STONE-schematisatie.

Cluster	HDSR-kaart		STONE 2.4	
	ha	%	ha	%
Nat	1605	22,6	3411	56,9
Matig droog	2721	38,3	1650	27,5
Droog	2780	39,1	934	15,6
Totaal	7106		5995	

De Gt-klasse zijn op basis van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) geclusterd in drie groepen, *nat*, *matig droog* en *droog*. Ongeveer 40% van het gebied heeft een matig droog of droge Gt-klasse, de rest van het gebied (ruim 20%) heeft een natte Gt-klasse. Op basis van de STONE-schematisering valt bijna 60% in het cluster *nat*, ongeveer 27,5% is matig droog en ca. 16% droog.

Areaal open water

Voor het schatten van de bijdrage van directe kwel naar het oppervlaktewater is het areaal open water van belang. Het areaal open water is geschat door het hoogheemraadschap (tabel 5.4). Het areaal open water is vergeleken met het areaal open water in de huidige STONE-schematisatie (0,1%). Dit percentage is lager dan HDSR heeft geschat (2,7%). Voor de verdere berekeningen is gebruik gemaakt van het areaal open water dat door HDSR is geschat.

Tabel 5.4

Percentage open water op basis van de verschillende informatiebronnen voor Langbroekerwetering.

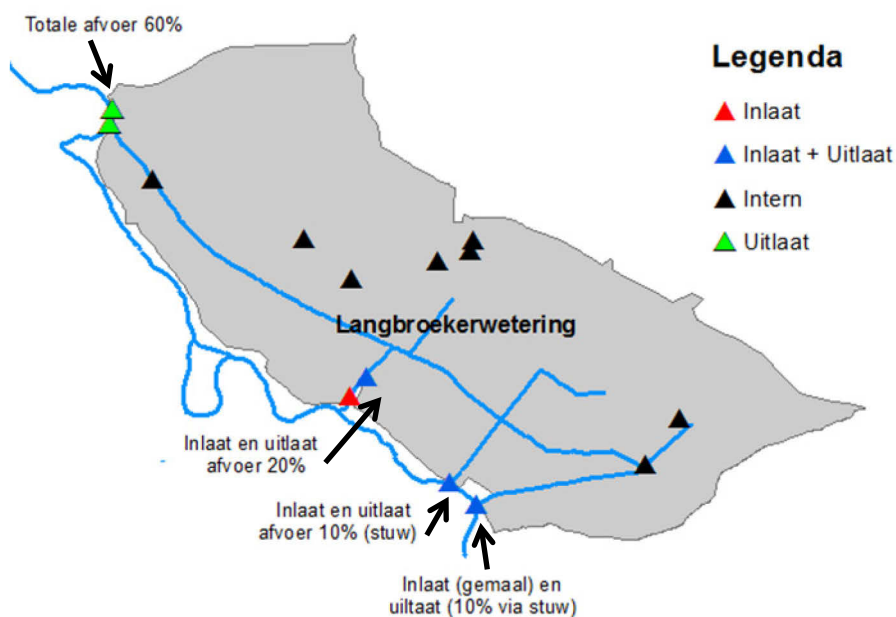
Informatiebron	Percentage open-water
STONE 2.4	0,1
Gegevens HDSR	2,7

5.2 Selectie meetpunten kwantiteit en kwaliteit

Voor de maken van een stoffenbalans voor Langbroekerwetering worden berekeningen met ECHO inzet. Hiervoor moeten o.a. meetpunten worden geselecteerd (kwantiteit en kwaliteit) die representatief zijn voor het gebied. Vervolgens moet aangegeven worden of de meetpunten een uitlaatpunt, inlaatpunt, intern of extern meetpunt is. Op basis van de meetpunten die als inlaat of uitlaat zijn gedefinieerd kan een inkomende en uitgaande nutriëntenvracht worden afgeleid. De interne en externe meetpunten wordt in dit onderzoek verder niet meer meegenomen. In overleg met HDSR zijn hiervoor meetpunten geselecteerd. In het navolgende wordt de keuze van de meetpunten toegelicht.

Meetpunten kwantiteit

Voor het deelgebied Langbroekerwetering zijn twee uitlaatpunten gedefinieerd, één inlaatpunt, drie meetpunten zijn zowel inlaat als uitlaat en acht interne meetpunten (figuur 5.1 en tabel 5.5).



Figuur 5.1
Overzicht van de gemalen en inlaatpunten voor Langbroekerwetering.

Tabel 5.5
Kenmerken van de debietmeetpunten voor Langbroekerwetering.

KG MIDNET	x-coördinaten	y-coördinaten	richting
ST2029	145214	451438	Uitlaat
ST2030	145266	451738	Uitlaat
G3011	152616	443766	Inlaat + Uitlaat
ST3011	152616	443766	Inlaat + Uitlaat
ST2009	152076	444209	Inlaat + Uitlaat
G2001	150066	445931	Inlaat
G2006	149151	449103	Intern
G2005	150093	448297	Intern
G2014	151840	448656	Intern
G2015	152498	448874	Intern
G2016	152567	449084	Intern
I6099	156712	445509	Intern
I6008	146091	450318	Intern
I6136	156027	444565	Intern

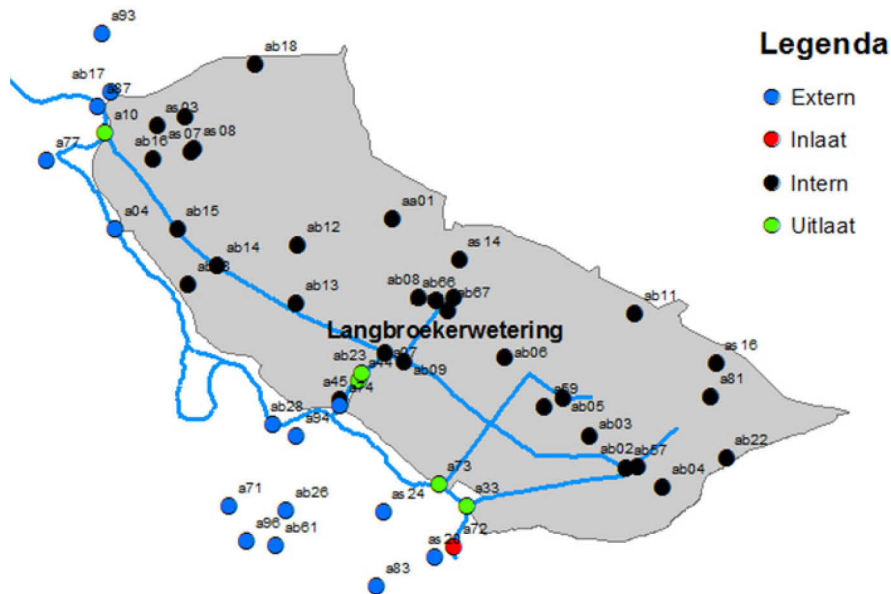
Berekening hoeveelheden uitlaat en inlaat

Alterra heeft van HDSR de afvoergegevens ontvangen van de Langbroekerwetering (KG MIDNET onbekend), Weerdesteindsesloot (G2001), Melkwegwetering (G2007) en Amerongerwetering (G3011) voor de periode 2005-2009. Ook heeft Alterra berekende afvoeren ontvangen van het gebied voor de periode 2003-2008. De 'gemeten' gemaalafvoer kent echter een structurele overschatting tussen de 10% en 20% (mededeling HDSR).

Op basis van de structurele overschatting van de 'gemeten' gemaalafvoer is gekozen om **alleen** de berekende afvoer te gebruiken. De hoeveelheid inlaatwater voor Langbroekerwetering is niet bemeten, wel is de hoeveelheid inlaatwater berekend. Daarom wordt ook voor de hoeveelheid inlaatwater gebruik gemaakt van berekende debieten.

Meetpunten kwaliteit

Voor het deelgebied Langbroekerwetering zijn vier uitlaatpunten gedefinieerd, één inlaatpunt, 33 interne en vijftien externe meetpunten (figuur 5.2 en tabel 5.6).



Figuur 5.2

Overzicht van de kwaliteitsmeetpunten in en nabij de Langbroekerwetering.

Tabel 5.6

Kenmerken van de kwaliteitsmeetpunten voor de Langbroekerwetering.

Naam	MPT_code	x-coördinaten	y-coördinaten	Richting
a10	20007	145222	451426	Uitlaat
a33	20029	152624	443770	Uitlaat
a73	20913	152053	444195	Uitlaat
ab23	NB	150490	446475	Uitlaat
a44	20119	150411	446345	Uitlaat
A72	20925	152358	442914	Inlaat
a07	20006	150946	446918	Intern
a44	20119	150411	446345	Intern
a45	20174	150020	445951	Intern
a59	20055	154237	445806	Intern
a81	20998	157644	446017	Intern
ab02	20702	156130	444561	Intern
ab03	20703	155162	445187	Intern

Naam	MPT_code	x-coördinaten	y-coördinaten	Richting
ab04	20704	156640	444145	Intern
ab05	20705	154600	445980	Intern
ab06	20706	153420	446819	Intern
ab08	20708	151657	448034	Intern
ab11	20711	156076	447707	Intern
ab12	20712	149158	449110	Intern
ab13	20713	149147	447916	Intern
ab15	20715	146696	449439	Intern
ab16	20716	146212	450880	Intern
ab18	20718	148288	452825	Intern
ab22	20722	157955	444743	Intern
ab58	20172	146930	448311	Intern
aa01	NB	151120	449650	Intern
ab07	NB	152368	448050	Intern
ab09	NB	151362	446724	Intern
ab14	NB	147505	448704	Intern
ab23	NB	150490	446475	Intern
ab57	NB	155890	444540	Intern
ab66	NB	152016	447990	Intern
ab67	NB	152250	447782	Intern
as01	NB	146856	451767	Intern
as03	NB	146279	451563	Intern
as07	NB	146969	451039	Intern
as08	NB	147035	451105	Intern
as14	NB	152481	448828	Intern
as16	NB	157748	446691	Intern
a04	20003	145410	449444	Extern
a71	20922	147769	443763	Extern
a87	20822	145069	451969	Extern
a94	20041	149142	445211	Extern
ab17	20717	145341	452264	Extern
ab26	20726	148933	443665	Extern
ab28	20728	148664	445436	Extern
a96	20044	148108	443031	Extern
ab61	202014	148715	442958	Extern
as20	20201	151976	442698	Extern
as24	20205	150922	443640	Extern
a74	NB	150024	445839	Extern
a77	NB	144003	450856	Extern
a93	NB	145164	453475	Extern
a83	NB	150788	442110	Extern

De meetpunten die gebruikt zijn voor het berekenen van de inkomende en uitgaande vracht zijn in tabel 5.7 bij elkaar gezet. Voor bijna alle meetpunten zijn stikstof- en fosforconcentraties bekend voor de periode 2000-2009. Alleen voor de meetpunten a44 (Schiploot te Cothen) en ab23 (Cothengrift) zijn geen gegevens voor de betreffende periode beschikbaar.

Tabel 5.7

Overzicht van de kwaliteitsmeetpunten die gebruikt zijn voor het bepalen van de inkomende en uitgaande vracht voor Langbroekerwetering.

Meetpunten vrachtberekeningen	Parameter	Zomerhalfjaar		Winterhalfjaar	
		Periode	Aantal	Periode	Aantal
Inlaat: a72	Stikstof	2000-2009	59	2000-2009	58
ADM te Wijk bij Duurstede	Fosfor	2000-2009	59	2000-2009	59
Uitlaat: a27	Stikstof	2000-2009	58	2000-2009	57
Polderwetering gemaal Kerkeland	Fosfor	2000-2009	58	2000-2009	57
Uitlaat: c03	Stikstof	2000-2009	58	2000-2009	55
Gemaal Vuylcop-west	Fosfor	2000-2009	58	2000-2009	55
Uitlaat: c04	Stikstof	2000-2009	59	2000-2009	56
Gemaal Vuylcop-oost	Fosfor	2000-2009	59	2000-2009	56
Uitlaat: a44	Stikstof	-	-	-	-
Schipsloot te Cothen	Fosfor	-	-	-	-
Uitlaat: ab23	Stikstof	-	-	-	-
Cothegrift	Fosfor	-	-	-	-

5.3 Waterbalans

De waterbalans voor de Langbroekerwetering is opgesteld voor de periode 2003-2008 (tabel 5.8). HDSR heeft voor deze studie de waterbalanstermen ontleend aan het hydrologische model Hydromedah.

Tabel 5.8

Waterbalans voor Langbroekerwetering voor de periode 2003-2010.

Jaar	Inkomende termen		Uitgaande termen			Berging
	Neerslag mm	Inlaat mm	Wegzijging mm	Verdamping mm	Uitlaat mm	mm
2003	602	10	30	497	185	-41
2004	862	6	7	547	316	12
2005	886	6	15	581	314	12
2006	855	6	17	532	330	16
2007	1028	9	35	556	514	2
2008	868	8	60	561	385	-10
Gemiddeld	850	8	27	546	341	-1

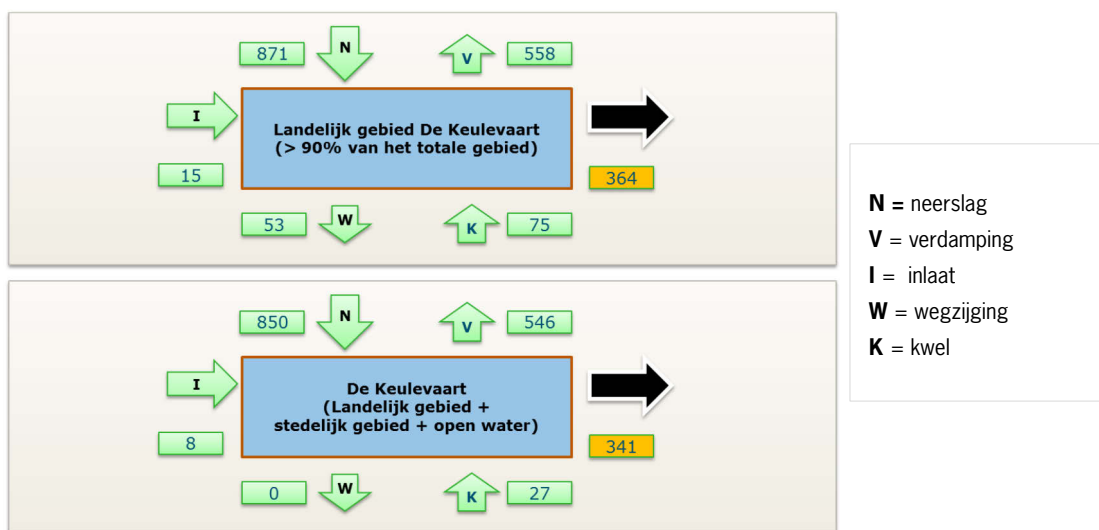
De bijdrage van de inlaat aan de wateraanvoer voor Langbroekerwetering is beperkt (0,9%), het overige deel is afkomstig van de neerslag. De grootste afvoerpost is de verdamping (60%), gevolgd door de afvoer via de uitstroompunten van het afvoergebied (37%), het overige deel (3%) is de wegzijging naar het grondwater.

De waterbalans voor het landelijk gebied in de Langbroekerwetering is ook opgesteld voor de periode 2003-2008 op basis van de STONE-berekeningen. Door de herschikking van de STONE-plots zijn veranderingen zichtbaar in de bijdrage van de verschillende balanstermen. De belangrijkste verschillen zijn:

- neerslag neemt af met 11 mm;
- kwelflux neemt af met 127 mm;
- wegzijging neemt af met 36 mm.

Voor de overige balanstermen zijn de verschillen kleiner. De veranderingen resulteren uiteindelijk in een afname van de uit- en afspoeling met 87 mm (451 mm voor herschikking en 364 mm na herschikking).

De berekende waterbalanstermen van HDSR zijn vergeleken met de waterafvoer op basis van STONE 2.4 **na herschikking** (figuur 5.3). Hierbij moet worden bedacht, dat de waterbalans volgens Hydromedah betrekking hebben op het gehele afvoergebied, terwijl die van STONE alleen betrekking heeft op het landelijk gebied, dus niet de directe neerslag en verdamping van open water en ook niet de waterbalanstermen in stedelijk gebied.



Figuur 5.3

Waterbalans voor het landelijk gebied op basis van STONE 2.4 **na herschikking** (boven) en de waterbalans voor Langbroekerwetering voor het landelijk gebied, stedelijk gebied en open water op basis van de data van HDSR (onder) in mm/jaar voor de periode 2003 - 2008.

De bovenste figuur geeft de balanstermen weer voor het landelijk gebied conform de STONE2.4 schematistering **na herschikking**. De onderste figuur geeft de balanstermen voor het totale deelgebied (landelijk gebied inclusief stedelijk gebied en open water) op basis van de gegevens van HDSR.

Uit de figuur blijkt dat er duidelijke verschillen zijn tussen de bijdrage van de verschillende balanstermen aan de waterbalans. De grootste verschillen zijn zichtbaar voor de neerslag (21 mm) en de verdamping (12 mm). Het verschil in de **netto** kwel is klein (5 mm/jaar). Voor de totale waterafvoer zijn de verschillen tussen beide benaderingen gering (23 mm).

5.4 Stoffenbalans

Herschikking STONE-plots.

De herschikking is voor de Langbroekerwetering vooral gericht op het corrigeren van de STONE-plots voor de volgende regio specifieke kenmerken:

- Overschatting van het areaal natuur en enige onderschatting mais, akkerbouw en gras.
- Ondervertegenwoordiging enkeerdgrond in zwak lemig fijn zand, enige overschatting klei op zand, podzolgronden in zwak lemig fijn zand en niet voorkomende beekeerdgrond in sterk lemig fijn zand.
- Gt-klasse: oververtegenwoordiging Gt I, II, III en V (cluster nat), ondervertegenwoordiging cluster matig droog (Gt IV en VI) en droog (Gt VII).
- Onderschatting van het areaal open water.
- Enige overschatting van het totale areaal landelijk gebied.

Met de herschikking zijn uit de 6405 beschikbare rekenplots, de meest representatieve rekenplots geselecteerd zodat het landgebruik goed overeen komt met LGN6 en het areaal van de genoemde bodemtypen wel goed aansluit bij de bodemkaart.

De herschikking resulteert ook in een betere benadering van de Gt-klasse, hoewel het areaal met GT VII (droge gronden) nog te weinig is vertegenwoordigd. De kwelflux is na herschikking nog steeds duidelijk minder dan de kwelflux die met Hydromedah is berekend (paragraaf 5.3). Dit komt omdat er geen alternatieve rekenplots voorhanden zijn die zowel qua landgebruik, bodemtype en GT-klassen ook qua kwelflux goed passen bij de regio specifieke situatie.

Totale N- en P-belasting

De N- en P-belasting is gekwantificeerd op basis van de met STONE berekende uit- en afspoeling volgens de landelijke schematisering en na herschikking en op basis van EmissieRegistratie voor de overige bronnen. Hiermee is de stoffenbalans opgesteld voor de periode 2003- 2008 (tabel 5.9).

Op basis van de beschikbaarheid van de gegevens is voor het gebied een stoffenbalans opgesteld voor de periode 2003- 2008 (tabel 5.9), waarbij de uit- en afspoeling is berekend op basis van de huidige STONE-schematisatie en de nieuwe STONE-schematisatie (herschikking).

Tabel 5.9

Stoffenbalans voor Langbroekerwetering voor de periode 2003-2008 op basis van de huidige STONE-schematisatie en na herschikking.

2003-2008	N-vracht				P-vracht			
	Stap 1		Stap 2		Stap 1		Stap 2	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
Uit- en afspoeling	12.0	88	12.9	89	0.77	87	0.73	88
Landbouw overig	0.4	2.8	0.4	2.6	0.03	3.0	0.03	3.2
Atmosferische depositie	0.3	1.9	0.3	1.8	0.00	0.0	0.00	0.0
Rwzi's	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0
Industriële lozingen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0
Overig	0.5	3.7	0.5	3.5	0.03	3.9	0.03	4.1
Inlaat	0.2	1.8	0.2	1.7	0.01	1.0	0.01	1.0
Directe kwel	0.3	2.2	0.3	1.8	0.05	5.1	0.04	4.2
Totaal IN	13.7		14.5		0.88		0.84	
Standaard deviatie IN	3.7		4.0		0.18		0.19	

De grootste bijdrage aan de stikstof- en fosforvrucht naar het oppervlaktewater voor Langbroekerwetering is afkomstig van de uit- en afspoeling uit het landelijk gebied. De relatieve bijdrage van de uit- en afspoeling aan de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater is zowel voor stikstof als voor fosfor bijna 90%. Dit geldt zowel voor stap 1 als voor stap 2. De bijdrage van andere bronnen is beperkt.

De nieuwe schematisering heeft niet alleen effect op de uit- en afspoeling, maar ook op de bijdrage van de directe kwel aan de nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater. Het areaal open water in STONE 2.4 (0,1%) is lager dan het areaal open water uit de gegevens van het hoogheemraadschap (2,7%). Een groter areaal open water resulteert in een hogere kwelflux via directe kwel naar het oppervlaktewater. Bij het herschikken van de STONE-plots veranderen echter ook de nutriëntenconcentraties van het kwelwater, waardoor een toename van de kwelflux niet automatisch resulteert in een toename van de stikstof- en/of fosforbelasting.

Nadat de totale inkomende nutriëntenvrucht voor het afvoergebied is berekend, is de gemiddelde retentie in het oppervlaktewater bepaald volgens de in paragraaf 2.2 beschreven methode. Omdat de Langbroekerwetering een afvoergebied is dat vrij afwatert, is de retentie hier afhankelijk gesteld van de specifieke afvoer. De totaal berekende retentie over de periode 2003-2008 is weergegeven in tabel 5.10.

Tabel 5.10

Gemiddelde retentie (kg/ha) voor stikstof en fosfor voor afvoergebied de Langbroekerwetering voor de periode 2003-2008.

Stof	Retentie (kg/ha)	
	Stap 1	Stap 2
Stikstof	2,6	3,1
Fosfor	0,05	0,06

5.5 Toetsing

Om inzicht te krijgen of de berekende uit- en afspoeling plausibel is wordt de berekende uitgaande vrucht vergeleken met de 'gemeten' uitgaande vrucht. De uit metingen afgeleide vrucht en de berekende uitgaande vrucht voor het afvoergebied is als volgt berekend:

$$L_{in} - L_{ret} = L_{uit_b} \quad \text{en} \quad C_{uit} * Q_{uit} = L_{uit_g} \quad 3)$$

Waarin:

- L_{in} : som van de berekende inkomende vrucht;
- L_{ret} : geschatte retentie in de waterlopen;
- L_{uit_b} : totale berekende uitgaande vrucht bij het uitstroompunt;
- C_{uit} : gemeten nutriëntenconcentraties bij het uitstroompunt;
- Q_{uit} : berekende uitgaande waterflux bij het uitstroompunt;
- L_{uit_g} : uit metingen afgeleide uitgaande vrucht.

Op basis van de gemeten nutriëntenconcentraties en de berekende afvoer voor de periode 2003-2008 wordt een uitgaande vrucht berekend van 11,4 kg/ha stikstof en 0,94 kg/ha fosfor (tabel 5.11).

Tabel 5.11

Gemiddelde inkomende nutriëntenvracht, retentie in het oppervlaktewater en de uitgaande nutriëntenvracht voor de Langbroekerwetering voor de periode 2003-2008.

2003-2008	N-Load (kg/ha)		P-Load (kg/ha)	
	Stap 1	Stap 2	Stap 1	Stap 2
Totaal IN (berekend)	13.7	14.5	0.88	0.84
Retentie	2.6	3.1	0.05	0.06
Totaal IN - retentie	11.0	11.4	0.83	0.77
Totaal UIT (uit metingen afgeleid)	11.4	11.4	0.94	0.94
Vershil	-0.32	0.08	-0.11	-0.17
Toetsing jaarbasis	-2,8%	0,7%	-11,7%	-18,0%

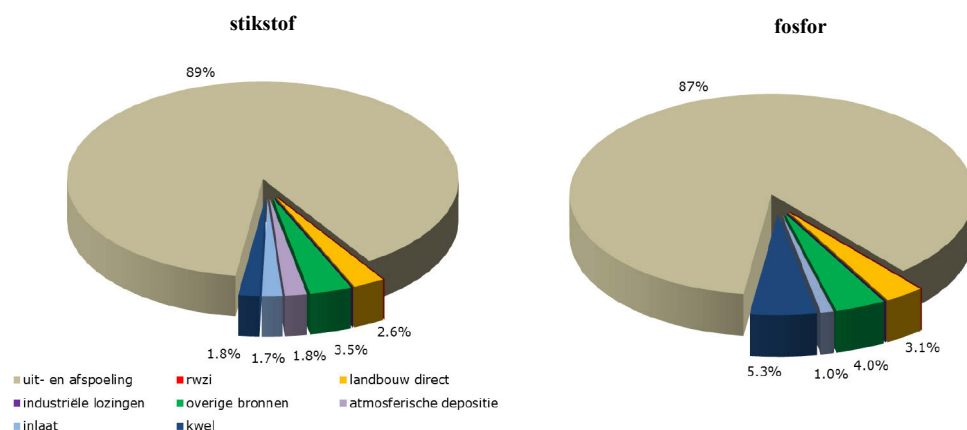
De berekende inkomende vracht voor het afvoergebied in stap 1 is 13,7 kg/ha stikstof en 0,88 kg/ha fosfor. Rekening houdend met de (geschatte) retentie in het gebied (2,6 kg/ha stikstof en 0,05 kg/ha fosfor) is de berekende uitgaande vracht voor de eerste stap 11,0 kg/ha N en 0,83 kg/ha fosfor. Op basis van de uit metingen afgeleide vracht is dit (lichte) onderschatting van 0,32 kg/ha (2,8%) stikstof en 0,11 kg/ha (12%) fosfor.

Na stap 2 (herschikking STONE-plots) neemt de uit- en afspoeling voor stikstof toe met ca. 0,8 kg/ha, de fosforuitspoeling neemt af met 0,04 kg/ha. De berekende stikstofvracht wordt daardoor licht overschat (0,7%), de onderschatting van de fosforvracht neemt iets toe (18%).

5.6 Herkomst nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater

Jaarvrachten (2003-2008)

In paragraaf 5.4 is de stoffenbalans voor de Langbroekerwetering opgesteld, waarbij verschillende verbeterlagen zijn doorgevoerd. De belangrijkste bron van de belasting naar het oppervlaktewater is de uit- en afspoeling vanuit het landsysteem, 89% voor stikstof en 87% voor fosfor (figuur 5.4). De bijdrage van de overige bronnen is beperkt.

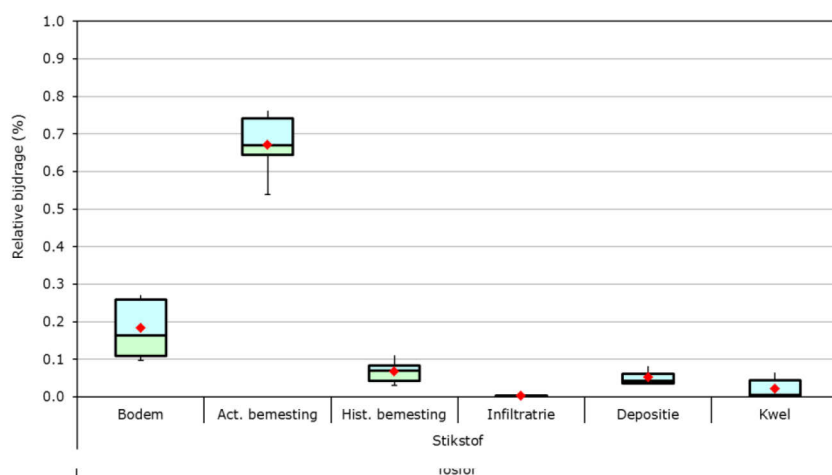
**Figuur 5.4.**

Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater (links stikstof, rechts fosfor).

De uit- en afspoeling is een resultante van de volgende bronnen:

- atmosferische depositie.
- actuele bemesting (vanaf 2001).
- historische bemesting (voor 2001).
- kwel.
- natuurlijke nalevering bodem (geogeen).
- infiltratiewater.
- uit- en afspoeling vanuit natuurgebieden.

Op basis van een nieuwe methode (Groenendijk et al., 2012) is de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden verder onderverdeeld op basis van de herkomst (figuur 5.5). De rode stip is de areaal gewogen bijdrage van de betreffende bron aan de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden. Het groene en blauwe blok geven respectievelijk het 25- en 75-percentiel weer. In 50% van het areaal ligt de bijdrage van de betreffende bron binnen deze blokken. Het streepje tussen beide blokken is de mediane waarde. De haardraden geven het 10- en 90-percentiel weer en geven de range waarbinnen 80% van de resultaten liggen.



Figuur 5.5

Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden (boven stikstof, onder fosfor).

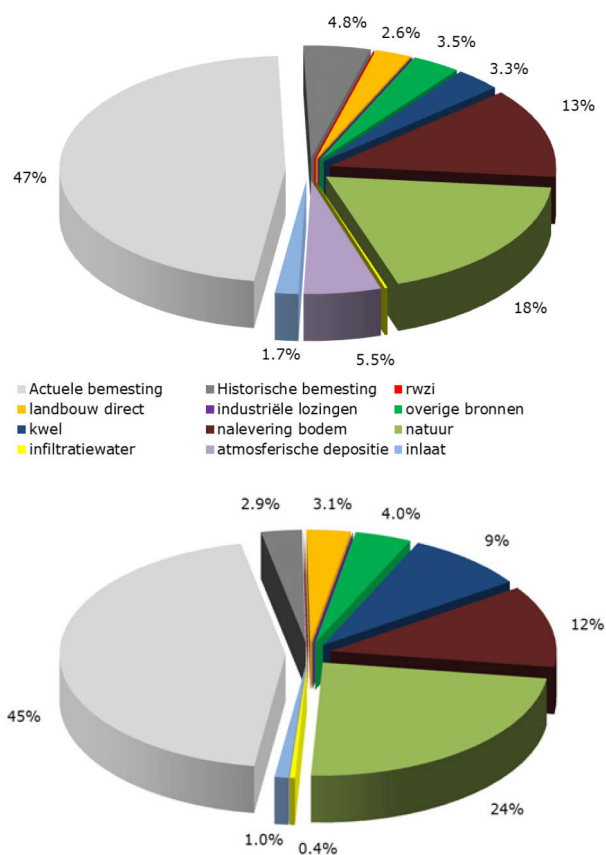
Zowel voor stikstof als voor fosfor draagt de actuele bemesting (vanaf 2001) het meeste bij aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater, gevolgd door de natuurlijke nalevering van de bodem. De 'bron' historische bemesting (voor 2001) draagt ook nog bij aan de nutriëntenbelasting. De 25 en 75-percentiel waarden zijn gegeven in tabel 5.12.

Tabel 5.12

Relatieve bijdrage (25-75 percentiel) van de bronnen aan de uit en afspoeling vanuit landbouwgronden naar regionaal oppervlaktewater voor de Langbroekerwetering.

Bron	Relatieve bijdrage (%)	
	Stikstof	Fosfor
Actuele bemesting	62 - 74	60 - 94
Historische bemesting	4 - 8	0 - 8
Depositie	4 - 6	0 - 0
Kwel	0 - 4	0 - 5
Natuurlijke nalevering bodem (geogeen)	11 - 26	2 - 29
Vegetatie	0 - 0	0 - 0
Infiltratiewater	0 - 0	0 - 0

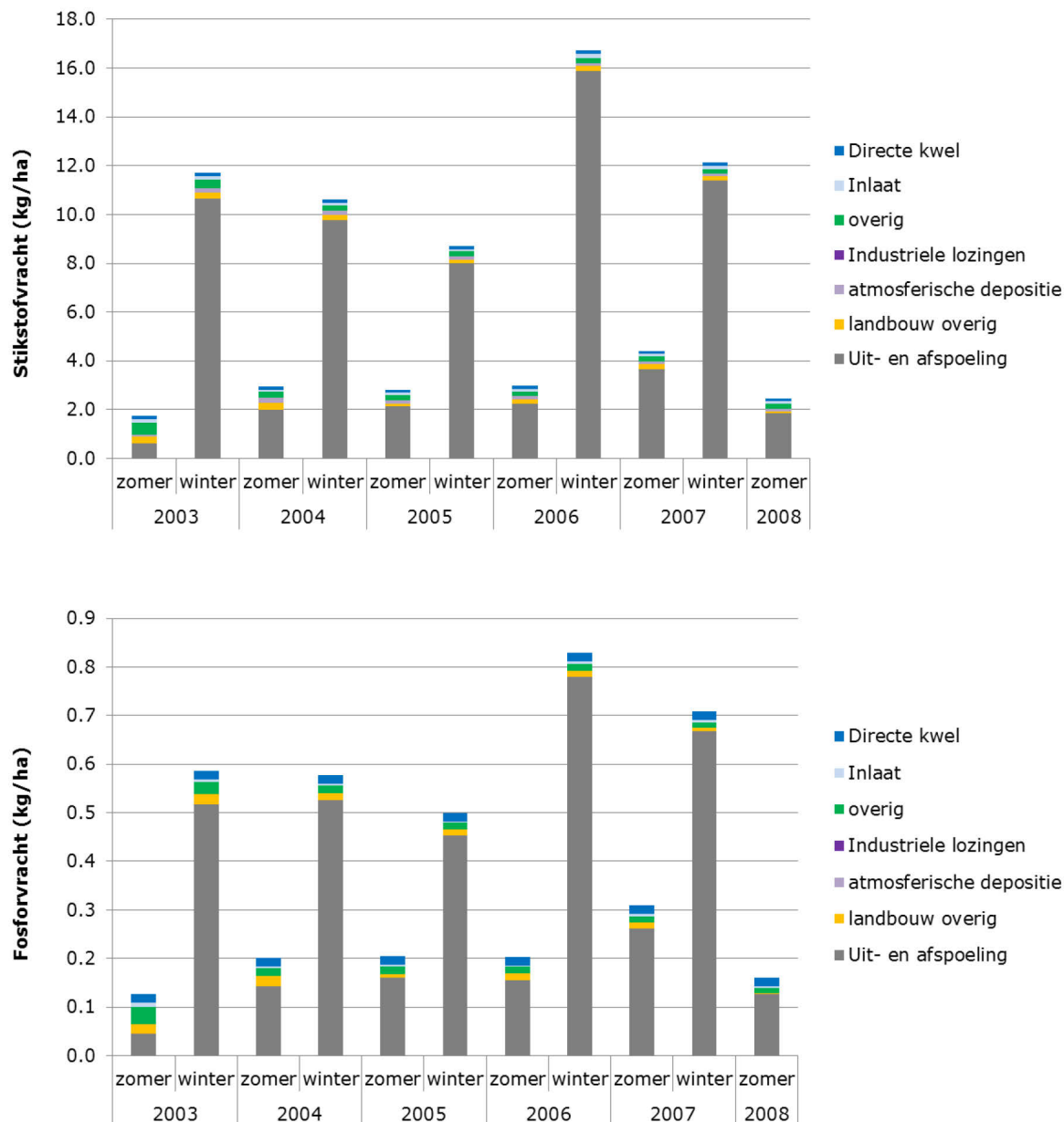
De relatieve bijdrage van de bronnen (areaal gewogen gemiddelde) is gebruikt voor de verdere onderverdeling van de uit- en afspoeling (figuur 5.6). Op basis van de herkomstberekeningen blijkt dat de actuele bemesting de grootste bijdrage levert (47% voor N en 45% voor P) aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. De bijdrage van de uit- en afspoeling vanuit natuurgebieden is ook groot (18% voor N en 24% voor P). De natuurlijke nalevering van de bodem (ca. 13%) is ook significant.

**Figuur 5.6**

Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater (boven stikstof, onder fosfor), waarbij de uit- en afspoeling is onderverdeeld naar herkomst.

Temporele variatie

In tabel 5.9 is de gemiddelde nutriëntenbelasting (kg/ha/jr.) van het oppervlaktewater weergegeven voor de periode 2003-2008. Voor de Kaderrichtlijn Water/Ecologie zijn vooral de zomervrachten van belang. Uitsplitsing van de nutriëntenvrachten in de zomer- en winterperiode is dus gewenst (figuur 5.7).

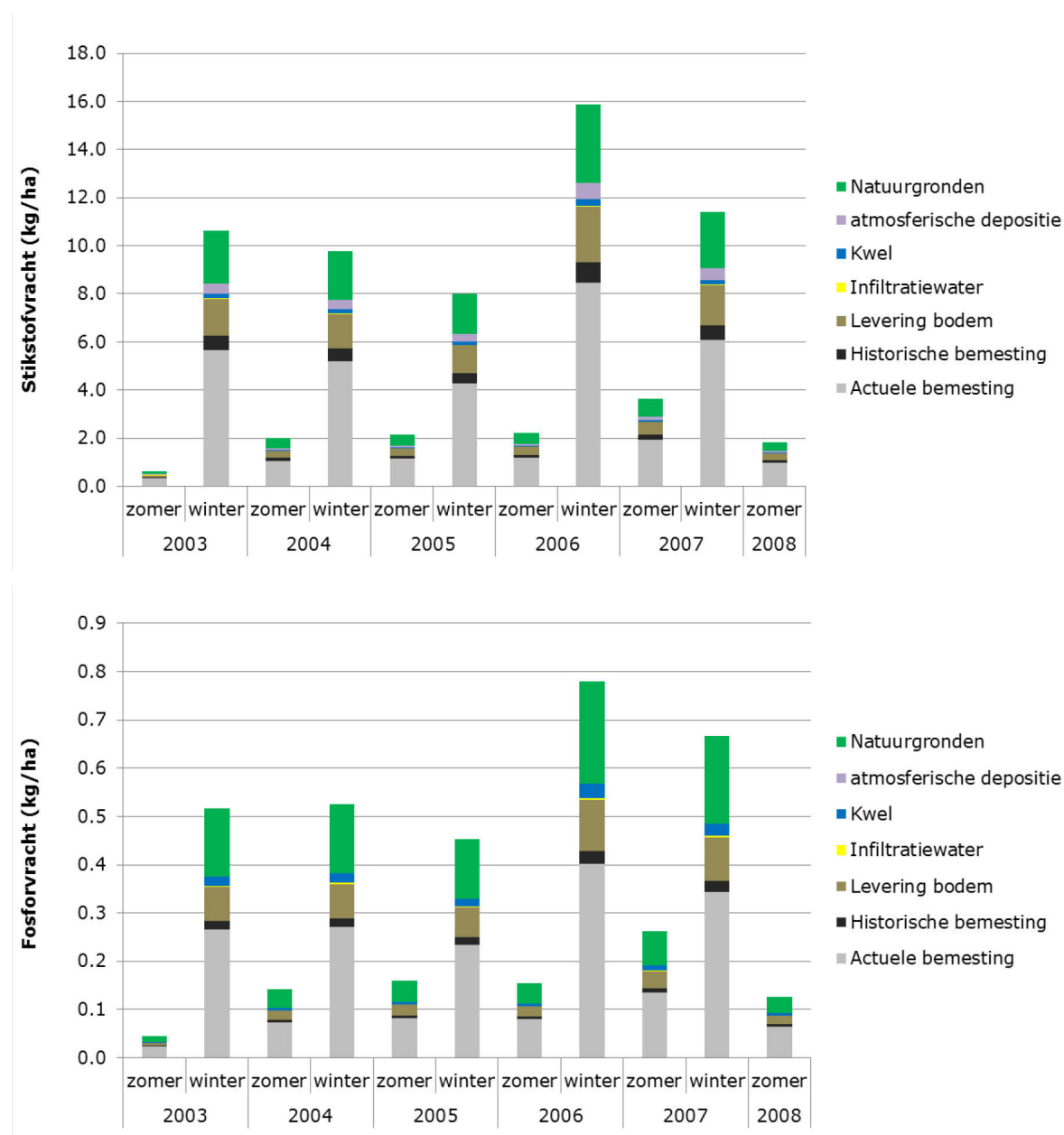


Figuur 5.7

Absolute bijdrage (kg/ha) van de verschillende nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater voor de Langbroekerwetering (boven stikstof, onder fosfor).

De stikstof- en fosforbelasting in het winterhalfjaar (oktober - maart) is in alle jaren groter dan in het zomerhalfjaar (april-september). De grotere nutriëntenbelasting kan volledig worden toegeschreven aan de grotere uit- en afspoeling. Voor de overige bronnen is er geen dynamiek binnen een jaar. Uitzondering hierop is de aanvoer van nutriënten via inlaatwater. Deze is in het zomerhalfjaar doorgaans groter dan in het winterhalfjaar.

De uit- en afspoeling voor de verschillende periode zijn vervolgens weer onderverdeeld naar herkomst (figuur 5.8).



Figuur 5.8

Absolute bijdrage (kg/ha) van de verschillende nutriëntenbronnen (herkomst) aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater via de uit- en afspoeling van het landelijk gebied (boven stikstof, onder fosfor).

Uit de resultaten van de herkomstbepaling blijkt dat de actuele bemesting (vanaf 2001) de grootste bijdrage levert aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. De nutriëntenbelasting vanuit natuurgebieden draagt ook voor een belangrijk deel bij aan de eutrofiering van het oppervlaktewater. De natuurlijke bijdrage van de bodem is fors lager. Er is geen onderscheid gemaakt in relatieve bijdrage van de verschillende bronnen tussen de jaren.

6 Resultaten Zegveld

6.1 Gebiedsanalyse

In deze paragraaf worden de resultaten van de gebiedsanalyse gepresenteerd. In de gebiedsanalyse is onderzocht in hoeverre de schematisering van STONE (kenmerken van de rekenplots) aansluit op de regionale informatie over het huidige landgebruik, bodemtype en grondwatertrappen. Het gaat hierbij voornamelijk om de gebiedskenmerken van het landelijk gebied.

Landgebruik

Op basis van LGN 6 is bijna 90% van Zegveld landelijk gebied (landbouw en natuur), 6,6% is open water en 5,1% is stedelijk gebied (tabel 6.1). Het grootste gedeelte van het landelijk gebied bestaat uit grasland (90%).

Tabel 6.1

Landgebruik in Zegveld op basis van LGN6 en STONE 2.4.

Landgebruik	Kenmerk	LGN 6		STONE 2.4	
		ha	%	ha	%
<u>Landelijk gebied</u>					
Grasland	1	1557	90,1	1647	91,8
Mais	2	24	1,4	-	-
Akkerbouw	3	26	1,5	0.3	0,0
Natuur	4	122	7,0	147	8,2
Subtotaal		1728		1795	
Landelijk gebied		1728	88,3		
Water		130	6,6		
			5,1 tabel is		
Stedelijk gebied		100	niet mooi uitgelijnd		
Totaal		1958			

Het landgebruik op basis van de STONE-schematisering komt goed overeen met het landgebruik op basis van LGN6. Het areaal landelijk gebied op basis van STONE 2.4 is ongeveer 67 ha groter is dan op basis van LGN6.

Bodemtype

Het bodemtype (grondsoort) in Zegveld is bepaald door gebruik te maken van de 1:50.000 bodemkaart. De bodemkaart is hierbij vertaald naar 21 PAWN-bodemeenheden. Op basis van de 1:50.000 bodemkaart bestaat 95% van het gebied uit veen, waarvan 88,8% een veengrond met veraarde bovengrond en 6,9% met kleidek (tabel 6.2). Het percentage veengronden op basis van de STONE-schematisering komt goed overeen (ca. 95%). Er zijn wel verschillen zichtbaar tussen de type veengronden. Zo heeft op basis van de 1:50.000 bodemkaart ongeveer 88% van de veengronden een veraarde bovengrond, terwijl deze op basis van STONE 2.4 ongeveer 57% is. Het areaal veengronden met een kleidek is voor STONE 2.4 (ca. 37%) hoger dan op basis van de bodemkaart (ca. 7%).

Tabel 6.2

PAWN-bodemtype voor Zegveld op basis van de 1:50.000 bodemkaart en STONE 2.4.

Grondsoort	Bodemfysische eenheid	Beschrijving	Bodemkaart		STONE 2.4	
			ha	%	ha	%
Veen	1	Veengronden met veraarde bovengrond	1737	88,8	1025	57,1
	3	Veengronden met kleidek	136	6,9	671	37,4
	-	Veen totaal	1873	95,7	1696	94,5
Klei	15	Homogene zavelgronden			0,3	0,0
	17	Kleigrond, met zware tussenlaag of ondergrond			12,5	0,7
	18	Kleigronden op veen	84	4,3	86	4,8
	-	Klei totaal	84	4,3	98	5,5
Totaal			1957		1958	

Hydrologie (Gt-klassen)

De grondwatertrappenindeling in 7 Gt-klasse voor Zegveld is bepaald op basis van de gegevens van HDSR en de STONE-schematisatie (tabel 6.3).

Tabel 6.3

Gt-klasse in Zegveld op basis van de HDSR-kaart en de STONE-schematisatie.

Cluster	HDSR-kaart		STONE 2.4	
	ha	%	Ha	%
Nat	1847	94,4	1794	100%
Matig droog	93	4,8	-	-
Droog	17	0,9	0,3	0,0
Totaal	1957		1795	

De Gt-klasse zijn op basis van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) geclusterd in drie groepen, *nat*, *matig droog* en *droog*. Op basis van de STONE-schematisering vallen nagenoeg alle plots in cluster *nat*. Op basis van de HDSR-kaart is het areaal *natte gronden* iets lager (94,4%).

Areaal open water

Voor het schatten van de bijdrage van directe kwel naar het oppervlaktewater is het areaal open water van belang. Het areaal open water is geschat door het hoogheemraadschap (tabel 5.4). Het areaal open water is vergeleken met het areaal open water in de huidige STONE-schematisatie (3,7%). Dit percentage is veel lager dan HDSR heeft geschat (12,2%). Voor de verdere berekeningen is gebruik gemaakt van het areaal open water dat door HDSR is geschat.

Tabel 6.4

Percentage open-water op basis van de verschillende informatiebronnen voor Zegveld.

Informatiebron	Percentage open-water
STONE 2.4	3,7
Gegevens HDSR	12,2

6.2 Selectie meetpunten kwantiteit en kwaliteit

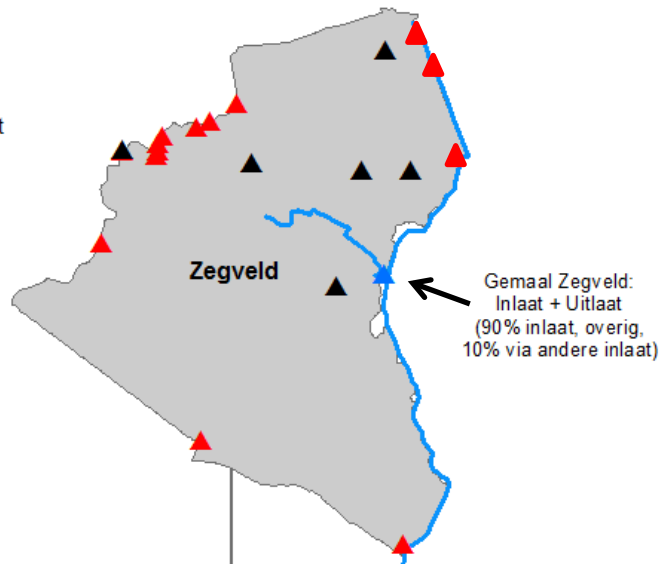
Voor de maken van een stoffenbalans voor Zegveld worden berekeningen met ECHO inzet. Hiervoor moeten o.a. meetpunten worden geselecteerd (kwantiteit en kwaliteit) die representatief zijn voor het gebied. Vervolgens moet aangegeven worden of de meetpunten een uitlaatpunt, inlaatpunt, intern of extern meetpunt is. Op basis van de meetpunten die als inlaat of uitlaat zijn gedefinieerd kan een inkomende en uitgaande nutriëntenvracht worden afgeleid. De interne en externe meetpunten wordt in dit onderzoek verder niet meer meegenomen. In overleg met HDSR zijn meetpunten geselecteerd. In het navolgende wordt de keuze van de meetpunten toegelicht.

Meetpunten kwantiteit

Voor het deelgebied Zegveld is één meetpunt zowel als inlaat als uitlaat gedefinieerd, veertien inlaatpunten en zes interne meetpunten (figuur 6.1 en tabel 6.5).

Legenda

- ▲ Inlaat
- ▲ Inlaat + Uitlaat
- ▲ Intern
- ▲ Uitlaat



Figuur 6.1

Overzicht van de gemalen en inlaatpunten voor Zegveld.

Berekening hoeveelheden uitlaat en inlaat

Alterra heeft van HDSR de afvoergegevens ontvangen van het gemaal Zegveld (G4053) voor de periode 2005-2009. De 'gemeten' gemaalafvoer kent echter een structurele overschatting tussen de 10% en 20% (mededeling HDSR). Op basis van de structurele overschatting van de 'gemeten' gemaalafvoer is gekozen om **alleen** de berekende afvoer te gebruiken. De hoeveelheid inlaatwater voor Zegveld is niet bemeten, wel is de hoeveelheid inlaatwater berekend. Daarom wordt ook voor de hoeveelheid inlaatwater gebruik gemaakt van berekende debieten.

Tabel 6.5

Kenmerken van de debietmeetpunten voor Zegveld.

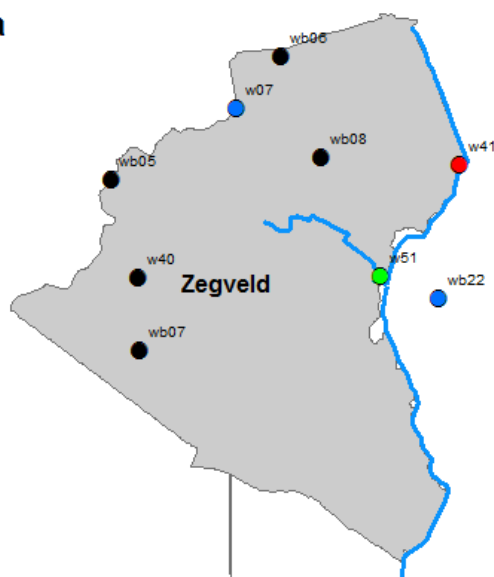
KGMIDNET	x-coördinaten	y-coördinaten	richting
G4053	118778	459870	Inlaat + Uitlaat
I0933	116675	461720	Inlaat
I0934	116518	461655	Inlaat
I0935	116100	461546	Inlaat
I0936	116047	461456	Inlaat
I0937	116039	461362	Inlaat
I0938	116018	461318	Inlaat
I6012	116998	461948	Inlaat
I6031	119009	456598	Inlaat
I6105	115359	460256	Inlaat
I6500	115602	461366	Inlaat
I6501	115619	461381	Inlaat
G0029	119094	461139	Intern
G4054	118200	459727	Intern
G4050	117181	461229	Intern
G4052	118789	462580	Intern
I6501	115619	461381	Intern
I6161	118510	461129	Intern

Meetpunten kwaliteit

Voor het deelgebied Zegveld is één uitlaatpunt gedefinieerd, één inlaatpunt, vijf interne en twee externe meetpunten (figuur 6.2 en tabel 6.6).

Legenda

- Extern
- Inlaat
- Intern
- Uitlaat



Figuur 6.2

Overzicht van de kwaliteitsmeetpunten in en nabij Zegveld.

Tabel 6.6*Kenmerken van de kwaliteitsmeetpunten voor Zegveld.*

Naam	MPT_code	x-coördinaten	y-coördinaten	richting
w51	20181	118742	459911	Uitlaat
w41	20828	119686	461257	Inlaat
w40	20827	115810	459900	Intern
wb05	20837	115478	461080	Intern
wb06	20838	117538	462562	Intern
wb07	20839	115822	459015	Intern
wb08	20840	118022	461340	Intern
wb22	20854	119445	459640	Extern
W07	20839	115822	459015	Extern

De meetpunten die gebruik zijn voor het berekenen van de inkomende en uitgaande vracht zijn in tabel 6.7 bij elkaar gezet. Voor de inlaatmeetpunten zijn gegevens over de periode 2004-2009 beschikbaar, voor de uitlaatpunten is dit de periode 2006-2009.

Tabel 6.7*Overzicht van de kwaliteitsmeetpunten die gebruikt zijn voor het bepalen van de inkomende en uitgaande vracht voor Zegveld.*

Meetpunten vrachtberekeningen	Parameter	Zomerhalfjaar		Winterhalfjaar	
		Periode	Aantal	Periode	Aantal
Inlaat: w41	Stikstof	2004-2009	35	2004-2009	36
Grecht "de Toegang 2	Fosfor	2004-2009	35	2004-2009	36
Uitlaat: w51	Stikstof	2006-2009	24	2006-2009	24
Slimmenwetering Gemaal Zegveld	Fosfor	2006-2009	24	2006-2009	24

6.3 Waterbalans

De waterbalans voor Zegveld is opgesteld voor de periode 2003-2008 (tabel 6.8). HDSR heeft voor deze studie de waterbalanstermen ontleend aan het hydrologische model Hydromedah.

De bijdrage van de inlaat aan de wateraanvoer voor het Zegveld is ongeveer 15%, het overige deel is afkomstig van de neerslag. De grootste afvoerpost is de verdamping (54%), gevolgd door de afvoer via de gemalen (40%), het overige deel (6%) is de wegzijging naar het grondwater.

Tabel 6.8*Waterbalans voor Zegveld voor de periode 2003-2008.*

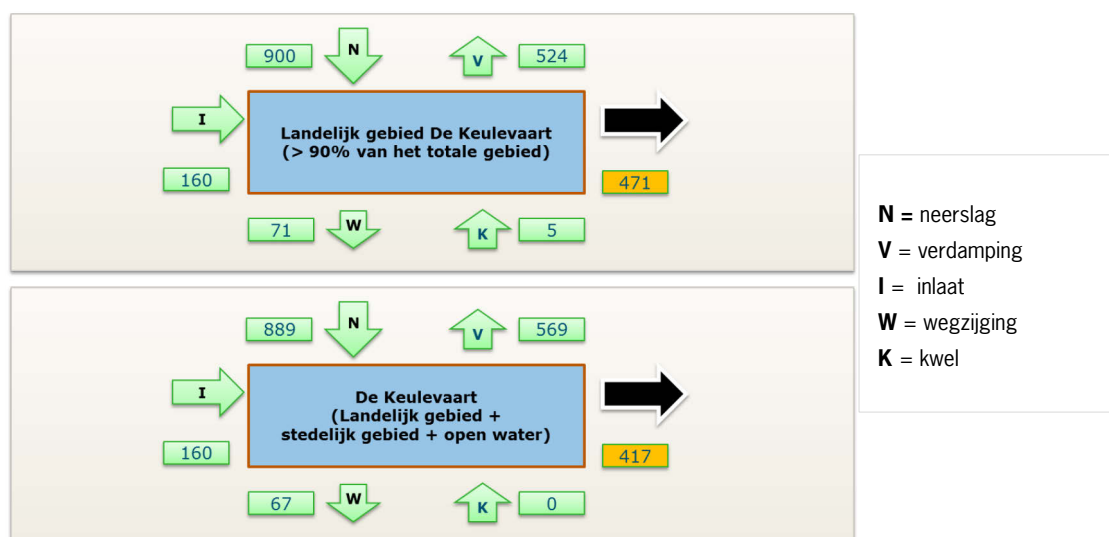
Jaar	Inkomende termen		Uitgaande termen		Berging	
	Neerslag	Inlaat	Wegzijging	Verdamping	Uitlaat	
	Mm	mm	mm	mm	mm	mm
2003	655	264	73	573	290	-16
2004	877	141	66	557	394	1
2005	942	124	64	587	412	2
2006	890	172	65	559	440	-2
2007	1033	121	64	565	530	-5
2008	935	140	68	574	435	-2
Gemiddeld	889	160	67	569	417	-4

De waterbalans voor het landelijk gebied in Zegveld is ook opgesteld voor de periode 2003-2008 op basis van de STONE-berekeningen. Door de herschikking van de STONE-plots zijn veranderingen zichtbaar in de bijdrage van de verschillende balanstermen. De belangrijkste verschillen zijn:

- infiltratie neemt af met 15 mm;
- wegzijging neemt toe met 36 mm.

Voor de overige balanstermen zijn de verschillen kleiner. De veranderingen resulteren uiteindelijk in een afname van de uit- en afspoeling met 25 mm (496 mm voor herschikking en 471 mm na herschikking).

De berekende waterbalanstermen van HDSR zijn vergeleken met de waterafvoer op basis van STONE 2.4 **na herschikking** (figuur 6.3). Hierbij moet worden bedacht, dat de waterbalans volgens Hydromedah betrekking heeft op het gehele afvoergebied, terwijl die van STONE alleen betrekking heeft op het landelijk gebied, dus niet de directe neerslag en verdamping van open water en ook niet de waterbalanstermen in stedelijk gebied.

**Figuur 6.3**

Waterbalans voor het landelijk gebied op basis van STONE 2.4 **na herschikking** (boven) en de waterbalans voor Zegveld voor het landelijk gebied, stedelijk gebied en open water op basis van de data van HDSR (onder) in mm/jaar voor de periode 2003-2008.

De bovenste figuur geeft de balanst termen weer voor het landelijk gebied conform de STONE2.4 schematisering **na herschikking**. De onderste figuur geeft de balanst termen voor het totale deelgebied (landelijk gebied inclusief stedelijk gebied en open water) op basis van de gegevens van HDSR.

Uit de figuur blijkt dat er duidelijke verschillen zijn tussen de bijdrage van de verschillende balanst termen aan de waterbalans en dit resulteert ook in een duidelijk verschil tussen de totale waterafvoer (54 mm). Het verschil kan voornamelijk verklaard worden doordat het neerslagoverschot in STONE 2.4 (376 mm) ongeveer 56 mm lager is dan op basis van de berekeningen van HDSR (320 mm).

6.4 Stoffenbalans

Herschikking STONE-plots.

De herschikking is voor de Zegveld vooral gericht op het corrigeren van de STONE-plots voor de volgende regio specifieke kenmerken:

- Aanwezigheid van mais (hoewel het areaal gering is).
- Oververtegenwoordiging areaal veen met kleidek, onderverteenwoordiging veen met veraarde bovengrond.
- Gt-klasse: onderverteenwoordiging cluster matig droog (Gt IV en VI).
- Onderschatting van het areaal open water.

Met de herschikking zijn uit de 6405 beschikbare rekenplots, de meest representatieve rekenplots geselecteerd zodat bovengenoemde kenmerken goed aansluiten bij de regionale informatie.

Totale N- en P-belasting

De N- en P-belasting is gekwantificeerd op basis van de met STONE berekende uit- en afspoeling volgens de landelijke schematisering en na herschikking en op basis van EmissieRegistratie voor de overige bronnen. Hiermee is de stoffenbalans opgesteld voor de periode 2006-2008 (tabel 6.9).

Tabel 6.9

Stoffenbalans voor Zegveld voor de periode 2006-2008 op basis van de huidige STONE-schematisatie en na herschikking.

2006-2008	N-vracht				P-vracht			
	Stap 1		Stap 2		Stap 1		Stap 2	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
Uit- en afspoeling	29.8	83	25.4	81	6.7	95	6.4	95
Landbouw overig	0.6	1.8	0.6	2.0	0.04	0.6	0.05	0.8
Atmosferische depositie	1.7	4.8	1.7	5.5	0.00	0.0	0.00	0.0
Rwzi's	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0
Industriële lozingen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0
Overig	0.1	0.4	0.1	0.4	0.01	0.1	0.00	0.0
Inlaat	3.5	9.8	3.5	11.1	0.29	4.2	0.31	4.6
Directe kwel	0.0	0.1	0.0	0.1	0.01	0.1	0.00	0.0
Totaal IN	35.9		31.5		7.0		6.7	
Standaard deviatie IN	6.3		5.6		1.0		1.0	

De grootste bijdrage aan de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater is afkomstig van de uit- en afspoeling vanuit het landelijk gebied (zowel voor als na herschikking). De bijdrage van inlaat (3,5 kg/ha stikstof en 0,29 kg/ha fosfor) is de tweede belangrijke bron, maar is fors lager dan de bijdrage van de uit- en afspoeling. Na herschikking van de STONE-plots neemt de uit- en afspoeling voor stikstof af met 4,4 kg/ha en fosfor met 0,3 kg/ha.

Nadat de totale inkomende nutriëntenvracht voor het afvoergebied Zegveld is berekend, is de gemiddelde retentie in het oppervlaktewater bepaald volgens de in paragraaf 2.2 beschreven methode. De retentie van de uit- en afspoeling is voor fosfor gesteld op 50%, voor de andere bronnen (inlaat, rwzi's, overige bronnen etc.) is de retentie gesteld op 20%. Voor stikstof is een jaarlijkse retentie voor wateren met een veenbodem aangehouden van 5,4 gram/m² waterbodem. De totaal berekend retentie over de periode 2006-2008 is weergegeven in tabel 6.10.

Tabel 6.10

Gemiddelde retentie (kg/ha) voor stikstof en fosfor voor afvoergebied Zegveld voor de periode 2006-2008.

Stof	Retentie (kg/ha)	
	Stap 1	Stap 2
Stikstof	6.4	6.3
Fosfor	3.4	3.3

6.5 Toetsing

Om inzicht te krijgen of de berekende uit- en afspoeling plausibel is wordt de berekende uitgaande vracht vergeleken met uit metingen afgeleide uitgaande vracht. De berekende en uit metingen afgeleide uitgaande vracht voor het Zegveld is als volgt berekend:

$$L_{in} - L_{ret} = L_{uit_b} \quad \text{en} \quad C_{uit} * Q_{uit} = L_{uit_g} \quad 4)$$

Waarin:

- L_{in} : som van de berekende inkomende vracht;
- L_{ret} : geschatte retentie in de waterlopen;
- L_{uit_b} : totale berekende uitgaande vracht bij het uitstroompunt;
- C_{uit} : gemeten nutriëntenconcentraties bij het uitstroompunt;
- Q_{uit} : berekende uitgaande waterflux bij het uitstroompunt;
- L_{uit_g} : uit metingen afgeleide uitgaande vracht.

Op basis van de gemeten nutriëntenconcentraties en de berekende afvoer voor de periode 2006-2008 wordt een uitgaande vracht berekend van 19,2 kg/ha stikstof en 1,4 kg/ha fosfor (tabel 6.11).

Tabel 6.11

Gemiddelde inkomende nutriëntenvracht, retentie in het oppervlaktewater en de uitgaande nutriëntenvracht voor Zegveld voor de periode 2006-2008.

2006-2008	N-Load (kg/ha)		P-Load (kg/ha)	
	Stap 1	Stap 2	Stap 1	Stap 2
Totaal IN	35.9	31.5	7.0	6.7
Retentie	6.4	6.3	3.4	3.3
Totaal IN - retentie	29.5	25.2	3.6	3.5
Totaal UIT ¹	19.2	19.2	1.4	1.4
Verschil	10.4	6.0	2.2	2.0
Toetsing jaarbasis	54%	31%	152%	143%

De berekende inkomende vracht voor het afvoergebied in stap 1 is 35,9 kg/ha stikstof en 7,0 kg/ha fosfor. Rekening houdend met de (geschatte) retentie in het gebied (6,4 kg/ha stikstof en 3,4 kg/ha fosfor) is de berekende uitgaande vracht voor de eerste stap ca. 29,5 kg/ha stikstof en 3,6 kg/ha fosfor. Op basis van de uit metingen afgeleide vracht is dit een overschatting van 10,4 kg/ha (54%) stikstof en 2,2 kg/ha (152%) fosfor.

Na stap 2 (herschikking STONE-plots) neemt de uit- en afspoeling af met ca. 4,4 kg/ha stikstof en 0,3 kg/ha fosfor. De berekende stikstof- en fosforvracht neemt fors af, maar is nog steeds fors (32% voor stikstof en 143% voor fosfor). De (forse) overschatting van de stikstof- en fosforvracht kan voor een deel verklaard worden doordat de berekende waterafvoer met STONE 2.4 voor het landelijk gebied hoger is (54 mm) dan de berekende afvoer met Hydromedah voor het hele afvoergebied (landelijk gebied inclusief stedelijk gebied en open water).

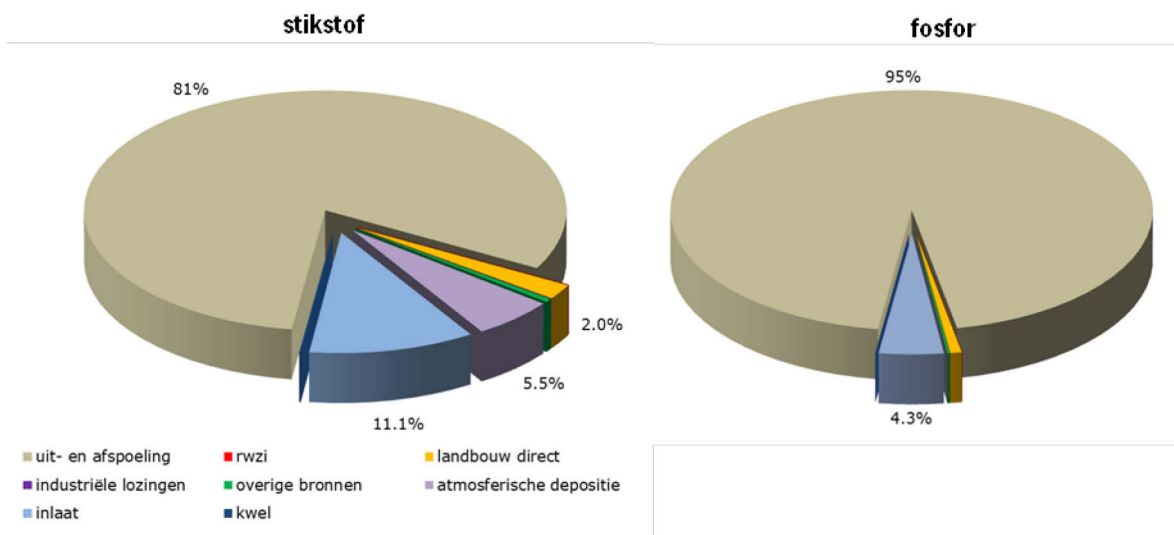
6.6 Herkomst nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater

Jaarvrachten (2006-2008)

In paragraaf 6.4 is de stoffenbalans voor Zegveld opgesteld, waarbij verschillende stappen zijn doorlopen. De belangrijkste bron van de belasting naar het oppervlaktewater is de uit- en afspoeling vanuit het landsysteem, 81% voor stikstof en 95% voor fosfor (figuur 6.4). Naast de uit- en afspoeling draagt ook inlaat bij aan de stikstof- en fosforbelasting (11,1% voor N en 4,3% P). Atmosferische depositie naar open water (alleen voor stikstof) draagt voor 5,5% bij aan de stikstofbelasting van het oppervlaktewater.

De uit- en afspoeling is een resultante van de volgende bronnen:

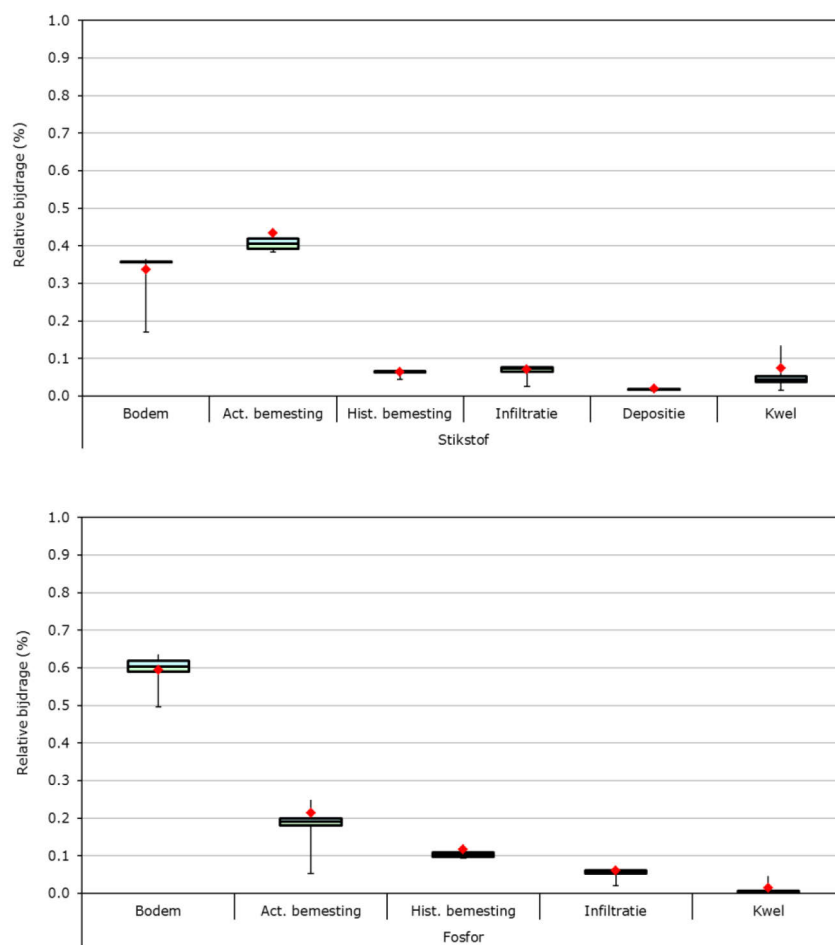
- atmosferische depositie.
- actuele bemesting (vanaf 2001).
- historische bemesting (voor 2001).
- kwel.
- natuurlijke nalevering bodem (geogeen).
- infiltratiewater.
- uit- en afspoeling vanuit natuurgebieden.



Figuur 6.4

Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater (links stikstof, rechts fosfor).

Op basis van een nieuwe methode (Groenendijk et al., 2012) is de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden verder onderverdeeld op basis van de herkomst (figuur 5.5). De rode stip is de areaal gewogen bijdrage van de betreffende bron aan de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden. Het groene en blauwe blok geven respectievelijk het 25- en 75-percentiel weer. In 50% van het areaal ligt de bijdrage van de betreffende bron binnen deze blokken. Het streepje tussen beide blokken is de mediane waarde. De haardraden geven het 10- en 90-percentiel weer en geven de range waarbinnen 80% van de resultaten zijn gelegen.



Figuur 6.5

Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden (boven stikstof, onder fosfor).

De grootste bijdrage aan de uit- en afspoeling van stikstof is de natuurlijke nalevering van de bodem en de actuele bemesting (vanaf 2001). Ook voor fosfor is de natuurlijke nalevering van de bodem het grootst, gevolgd door de actuele bemesting (vanaf 2001) en de historische bemesting (voor 2001). De 25 en 75-percentiel waarden zijn gegeven in tabel 6.12.

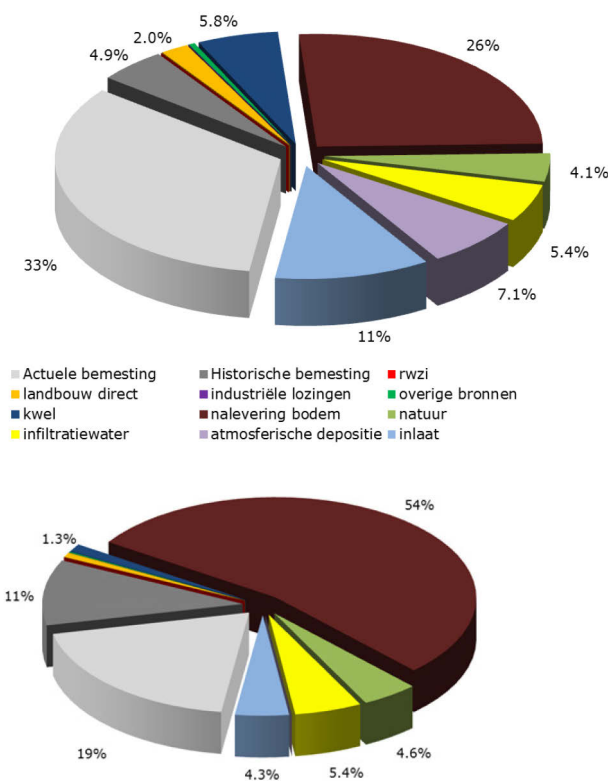
Tabel 6.12

Relatieve bijdrage (25-75 percentiel) van de bronnen aan de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden naar regionaal oppervlaktewater voor Zegveld.

Bron	Relatieve bijdrage (%)	
	Stikstof	Fosfor
Actuele bemesting	39 - 42	18 - 20
Historische bemesting	6 - 7	10 - 11
Depositie	2 - 2	0 - 0
Kwel	4 - 5	0 - 1
Natuurlijke nalevering bodem (geogeen)	36 - 36	59 - 62
Vegetatie	0 - 0	0 - 0
Infiltratiewater	7 - 8	5 - 6

De relatieve bijdrage van de bronnen (areaal gewogen gemiddelde) is gebruikt voor de verdere onderverdeling van de uit- en afspoeling (figuur 6.6).

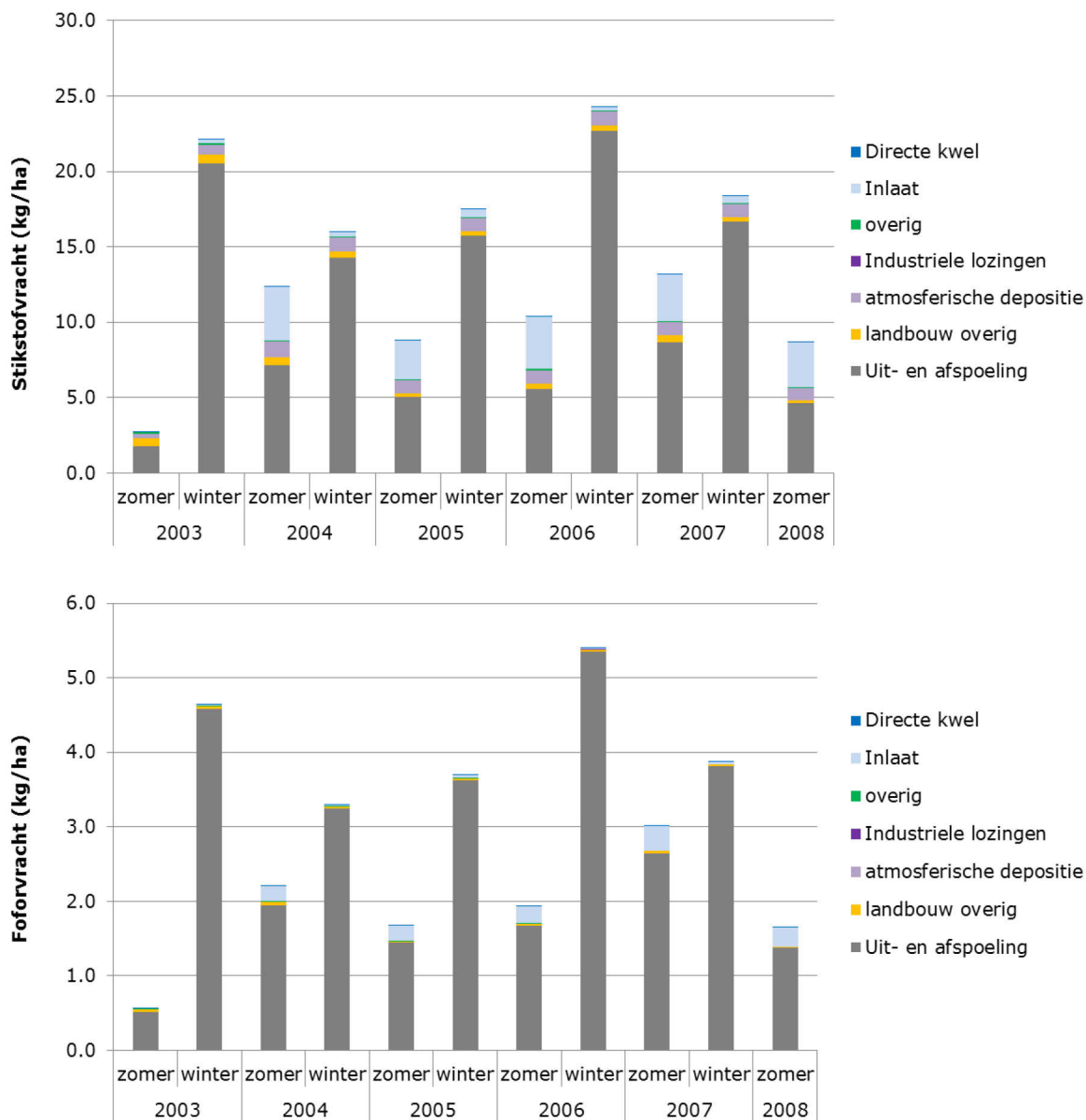
Op basis van de herkomstberekeningen blijkt dat de actuele (vanaf 2001) bemesting (33%) en de natuurlijke nalevering van de bodem (26%) de grootste bijdrage levert aan de stikstofbelasting van het oppervlaktewater. Ook inlaat (11%) en atmosferische depositie (7,1%) dragen significant bij. Ook voor fosfor zijn de belangrijkste bronnen, de geogene bodem (54%) en de actuele (vanaf 2001) bemesting (19%) de belangrijkste bronnen. Voor fosfor draagt de historische bemesting (voor 2001) ook voor een deel bij aan de fosforbelasting van het oppervlaktewater (11%).

**Figuur 6.6**

Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater (boven stikstof, onder fosfor), waarbij de uit- en afspoeling is onderverdeeld naar herkomst.

Temporele variatie

In tabel 6.9 is de gemiddelde nutriëntenbelasting (kg/ha/jr.) van het oppervlaktewater weergegeven voor de periode 2006-2008. Voor de Kaderrichtlijn Water/Ecologie zijn vooral de zomervrachten van belang. Uitsplitsing van de nutriëntenvrachten in de zomer- en winterperiode is dus gewenst (figuur 6.7).



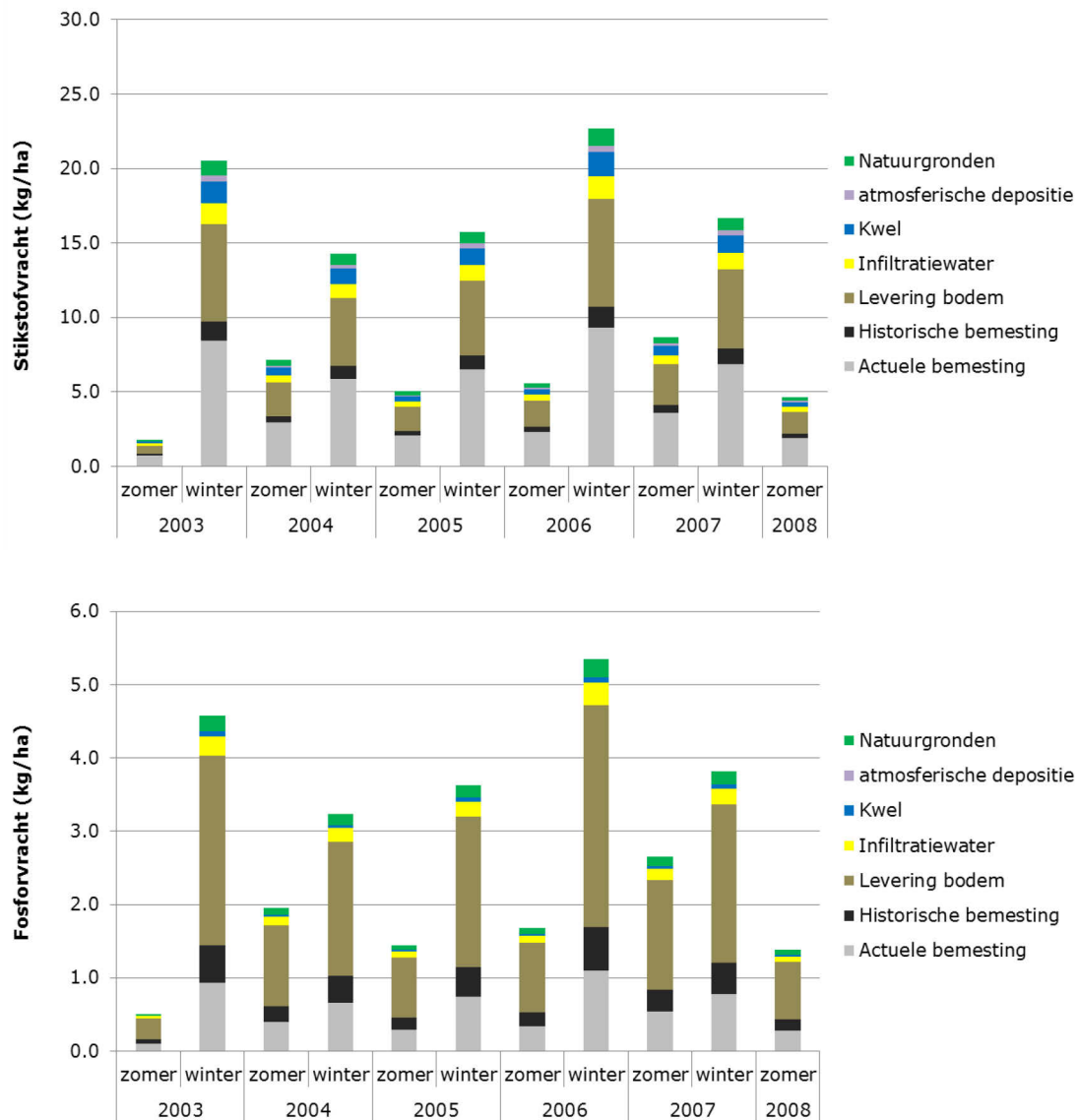
Figuur 6.7

Absolute bijdrage (kg/ha) van de verschillende nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater voor Zegveld (boven stikstof, onder fosfor).

De stikstof- en fosforbelasting in het winterhalfjaar (oktober - maart) is in alle jaren groter dan in het zomerhalfjaar (april-september). De grotere nutriëntenbelasting kan volledig worden toegeschreven aan de grotere uit- en afspoeling. Voor de overige bronnen is er geen dynamiek binnen een jaar. Uitzondering hierop is

de aanvoer van nutriënten via inlaatwater. Deze is in het zomerhalfjaar doorgaans groter dan in het winterhalfjaar.

De uit- en afspoeling voor de verschillende periode zijn vervolgens weer onderverdeeld naar herkomst (figuur 6.8).



Figuur 6.8

Absolute bijdrage (kg/ha) van de verschillende nutriëntenbronnen (herkomst) aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater via de uit- en afspoeling van het landelijk gebied (boven stikstof, onder fosfor).

Uit de resultaten van de herkomstbepaling blijkt dat de nutriëntenbelasting vanuit de geogene bodem (door mineralisatie etc.) de grootste bijdrage levert, gevolgd door de bijdrage van de actuele bemesting (vanaf 2001). Er is geen onderscheid gemaakt in relatieve bijdrage van de verschillende bronnen tussen de jaren.

7 Synthese

7.1 Evaluatie deelresultaten

Voor elk van de vier gebieden is achtereenvolgens geanalyseerd:

- met welke meetpunten de debieten van de inlaat en uitlaat kunnen worden afgeleid;
- welke waterkwaliteitsmeetpunten representatief zijn om de stofvrachten voor inlaat en uitlaat af te leiden;
- in hoeverre de landelijke schematisering voor modellering van uit- en afspoeling aansluit op de regionale informatie over het huidige landgebruik, bodemtypen en grondwatertrappen. En hoe deze aansluiting door het beschikbaar maken van bestaande rekenplots (dus uit de pool van 6405 plots) kan worden verbeterd.

Op basis van de resultaten van deze analyse zijn vrachtberekeningen uitgevoerd voor stikstof en fosfor. In de volgende paragrafen worden de resultaten van de gebiedsanalyse geëvalueerd en vervolgens de resultaten van de berekende stoffenbalans.

7.2 Inlaat, uitlaat en vrachtberekeningen

In de twee veenweidegebieden Keulevaart en Zegveld wordt veel water ingelaten. Ook wordt water ingelaten in de polder Eiland van Schalkwijk, maar in mindere mate. Voor geen van deze gebieden heeft HDSR adequate meetpunten beschikbaar om de debieten uit af te leiden. Daarom zijn voor de inlaat hoeveelheden aangehouden die zijn berekend met het regionale hydrologische model Hydromedah dat voor HDSR is opgezet.

De afvoer uit de gebieden gebeurt in de polders door gemalen. Met gegevens over de maalcapaciteit en het aantal draaiuren kunnen voor deze gemalen debieten worden afgeleid. Uit metingen met een debietmeetboot is gebleken dat debieten die op basis van de gemaakte informatie worden afgeleid een structurele overschatting van het debiet geven van 10 à 20% (Mulder et al., 2012). Daarom is analoog aan de inlaat ook voor de afvoer gebruik gemaakt van de debieten die met het regionale hydrologische model Hydromedah zijn berekend. Dit geldt ook voor het vrij afwaterende afvoergebied van de Langbroekerwetering.

Voor de vrachtberekeningen zijn in overleg met HDSR voor ieder gebied waterkwaliteitsmeetpunten geselecteerd die representatief kunnen worden gesteld voor de waterkwaliteit van het inlaatwater en afgevoerde (uitlaat) water. Met de beschikbare gegevens konden vrachtberekeningen worden uitgevoerd voor de periode 2003 tot en met 2008. Voor Zegveld waren in de periode 2003 - 2005 geen adequate meetgegevens voor de uitlaat beschikbaar, zodat de vrachten van de uitlaat alleen voor de jaren 2006-2008 zijn berekend. Het aantal dat door het waterschap zijn verzameld varieert nogal over de jaren. In totaal zijn per afvoergebied zo'n 125 metingen beschikbaar verdeeld over de periode 2003 - 2008 (7 jaren); waarvan iets meer dan de helft zijn genomen in het zomerhalfjaar. De onzekerheidsmarge van de vrachtberekeningen is in het onderhavige onderzoek niet gekwantificeerd, maar zal gelet op de onzekerheden over de inlaathoeveelheden en de vrij lage meetfrequentie van de waterkwaliteit vrij groot zijn.

7.3 Aansluiting STONE-plots op landgebruik, bodemtype en GT's

Het landgebruik zoals ingevoerd in het landelijke model STONE wijkt op het niveau van de afvoergebieden significant af van LGN6. Een overzicht van deze verschillen wordt gegeven in tabel 7.1. Ten opzichte van het LGN6 overschat STONE het areaal gras en/of natuur en wordt het areaal mais en akkerbouw in STONE onderschat. Deze afwijkingen komen vooral voort uit het feit dat het landelijke model een ruimtelijke resolutie heeft van 6405 rekenplots en elke plot is opgebouwd uit ruimtelijke eenheden van 250 x 250 m. Dit is gering ten opzichte van het areaal van de beschouwde afvoergebieden. Met ECHO worden de rekenplots opgebouwd voor ruimtelijke eenheden van 25 x 25 m, zodat ook een combinatie van kenmerken met een relatief klein oppervlak goed in de schematisatie kunnen worden vertegenwoordigd. Het herschikken van de STONE-rekenplots (in tabel 7.1 aangeduid als ECHO) resulteert in een goede aansluiting op LGN6.

Tabel 7.1

Landgebruik (%) volgens respectievelijk LGN6, STONE → ECHO.

Landgebruik	Percentage Gras	Percentage Mais	Percentage Akkerbouw	Percentage Natuur
Keulevaart	90 98 → 90	4,7 0,2 → 4,7	1,6 0,2 → 1,7	3,4 1,7 → 3,2
Eiland van Schalkwijk	78 75 → 77	6,4 2,1 → 6,6	14 11 → 14	2,4 12 → 2,4
Langbroekerwetering	55 50 → 55	6,5 3,3 → 6,6	4,5 1,1 → 4,6	34 45 → 34
Zegveld	90 92 → 90	1,4 0 → 1,4	1,5 0 → 1,5	7,0 8,2 → 7,0

De bodemtypen zoals die in STONE met de landelijke schematisatie in de afvoergebieden zijn ingevoerd, komen weliswaar op hoofdlijnen wel overeen met de recente 1:50.000 bodemkaart, maar qua areaal zijn er wel enkele belangrijke verschillen. De meest voorkomende bodemtypen en belangrijke afwijkingen zijn samengevat in tabel 7.2. Het herschikken resulteert in een veel betere aansluiting van de rekenplots op de gekarteerde bodemtypen.

Tabel 7.2

Overzicht belangrijkste afwijkingen bodemtypen bodemkaart 1:50.000, STONE → ECHO.

Afvoergebied	Bodemtypen met significante afwijkingen tussen 1:50.000 bodemkaart en STONE	Areaal (%) bodemkaart STONE → ECHO
Keulevaart	Veen met kleidek	80 93 → 81
	Veen met veraarde bovengrond	12 1 → 13
	Overig (totaal)	8 6 → 6
Eiland van Schalkwijk	Klei met zware tussenlaag of ondergrond	68 51 → 70
	Homogene lichte klei	13 24 → 13
	Klei op veen	16 22 → 13
Langbroekerwetering	Klei op zand	31 38 → 32
	Enkeerdgrond in zwak lemig fijn zand	21 3 → 19
	Podzolgronden in zwak lemig fijn zand	8 12 → 7
	Beekeerdgrond in sterk lemig fijn zand	0 8 → 0
	stuifzand	7 4 → 5
Zegveld	Veengrond met veraarde bovengrond	89 57 → 89
	Veengrond met kleidek	6,9 37 → 7,1
	Klei op veen	4,3 4,8 → 4,3

In het modelinstrumentarium van STONE worden de grondwaterstanden dynamisch in de tijd op dagbasis berekend met het hydrologische model SWAP. In de gebiedsanalyse is nagegaan in hoeverre de verdeling van de Gt-klassen volgens de HDSR-kaart overeen komen met de Gt-klassen die uit de SWAP-berekeningen zijn afgeleid (tabel 7.3). Na het herschikken komen de rekenplots duidelijk beter overeen met de GT's volgens de bodemkaart, maar er blijven wel duidelijke verschillen tussen de modelschematisatie en de bodemkaart-GT's. Zo is in de vier afvoergebieden de modelschematisatie zodanig, dat het areaal met droge GT's (VII en VIII) significant wordt onderschat, met name geldt dit voor Eiland van Schalkwijk en Langbroekerwetering.

Tabel 7.3

Areaal (%) grondwatertrappen volgens de HDSR-kaart, STONE → ECHO.

Landgebruik	Percentage nat (% Gt I, II III en V)	Percentage matig droog (% Gt IV en VI)	Percentage droog (% Gt VII en VIII)
Keulevaart	87 95 → 90	11 4,9 → 9,4	2,0 0,2 → 0,6
Eiland van Schalkwijk	50 35 → 55	35 59 → 41	15 6,0 → 4,5
Langbroekerwetering	23 57 → 35	38 28 → 48	39 16 → 17
Zegveld	94 100 → 95	4,8 0 → 4,3	0,9 0 → 0,5

7.4 Aansluiting STONE-plots op de waterbalans

De waterbalanstermen die met STONE worden berekend, kunnen niet goed worden vergeleken met de balanstermen zoals die uit het regionale model Hydromedah van HDSR worden verkregen. Dit komt enerzijds omdat de waterbalans van STONE uitsluitend betrekking heeft op het landsysteem en dus niet op het areaal open water en stedelijk. Het feit dat STONE alleen betrekking heeft op het landelijke gebied geeft bijvoorbeeld verschillen met de actuele verdamping; in stedelijk gebied is de verdamping kleiner en in open water juist groter dan verdamping van landbouwgewassen en natuur. Ook zal het verschillen geven voor de wegzijging en kwel omdat de drainage in stedelijk gebied anders is en veel regenwater via het riool wordt afgevoerd. Anderzijds kan de hoeveelheid inlaatwater niet worden vergeleken. Dit komt omdat de inlaat volgens STONE alleen betrekking heeft op de hoeveelheden oppervlaktewater die vanuit de watergangen infiltreren naar het grondwater, terwijl met het model Hydromedah ook hoeveelheden inlaat voor het doorspoelen en andere doeleinden worden meegenomen.

Tabel 7.4

Waterbalanstermen zoals berekend met respectievelijk ECHO (STONE na herschikking) en Hydromedah in mm/jaar.

Waterbalansterm	Neerslag mm	Verdamping mm	Kwel mm	Wegzijging mm	Inlaat mm	Uitlaat mm
De Keulevaart	857 879	553 517	25 8	0 9	65 173	504 497
Eiland van Schalkwijk	842 904	525 510	0 69	35 38	29 55	340 456
Langbroekerwetering	850 871	546 558	27 75	0 53	15 8	341 364
Zegveld	889 900	569 524	0 5	67 71	160 160	417 471

De verschillen in vooral kwel, wegzijging en inlaat zijn significant (tabel 7.4). Dat de neerslag tussen beide modellen ook verschilt, komt doordat met STONE voor diverse rekenplots een meetstation van een andere meteo-regio is genomen omdat het zwaartepunt van de rekenplots niet allemaal in het betreffende afvoergebied liggen. De verschillen voor Zegveld zijn opvallend klein.

De verschillen in bijdrage van de afzonderlijke balanst termen resulteert niet altijd tot grote verschillen tussen de uitlaat, deze zijn gering voor De Keulevaart en Langbroekerwetering.

Bij de interpretatie van de genoemde verschillen moet zoals aangegeven worden bedacht dat de vergelijking tussen de balans van het Hydromedah model en STONE niet helemaal representatief is omdat de balans van STONE alleen betrekking heeft op landelijk gebied.

7.5 Modelresultaten uit- en afspoeling

Een overzicht van de berekende uit- en afspoeling met de landelijke niet-aangepaste STONE-schematisatie (stap 1) en de uitspoeling zoals berekend na herschikking van de STONE-rekenplots zijn samengevat in tabel 7.6. De herschikking van rekenplots (stap 2) is uitgevoerd door weinig en niet-representatieve rekenplots te vervangen door plots die beter aansluiten op het landgebruik, bodemtype en kwel/wegzijging. Deze herschikking resulteert tot veranderingen in de berekende stikstof en fosfor uit- en afspoeling. De verandering in de stikstofvrucht naar het oppervlaktewater varieert tussen de 38% (Keulevaart) en 4,9% (Langbroekerwetering). De relatieve verandering voor de fosforbelasting varieert tussen de 4,3% (Zegveld) en 61% (Keulevaart).

Tabel 7.6

Uit- en afspoeling stikstof- en fosfor (kg/ha) zoals berekend met STONE 2.4 (stap 1) en na herschikking (stap 2).

	Uit- en afspoeling Stikstof			Uit- en afspoeling Fosfor		
	Stap 1 kg/ha	Stap 2 kg/ha	Verschil %	Stap 1 kg/ha	Stap 2 kg/ha	verschil %
De Keulevaart	37.2	23.1	38	7.0	2.7	61
Eiland van Schalkwijk	18.4	17.5	4,9	1.3	1.6	21
Langbroekerwetering	12.0	12.9	7,5	0.77	0.73	4,5
Zegveld	29.8	25.4	15	6.7	6.4	4,3

Uit de modelberekeningen volgt dat voor de vier afvoergebieden de uit- en afspoeling vooral gedurende het winterhalfjaar plaatsvindt. In de Veenweidepolders is de uit- en afspoeling in de winter ruim tweemaal zo groot als in de zomer, in de twee overige polders ruim drie tot vier maal zo groot. Dit geldt zowel voor stikstof als voor fosfor.

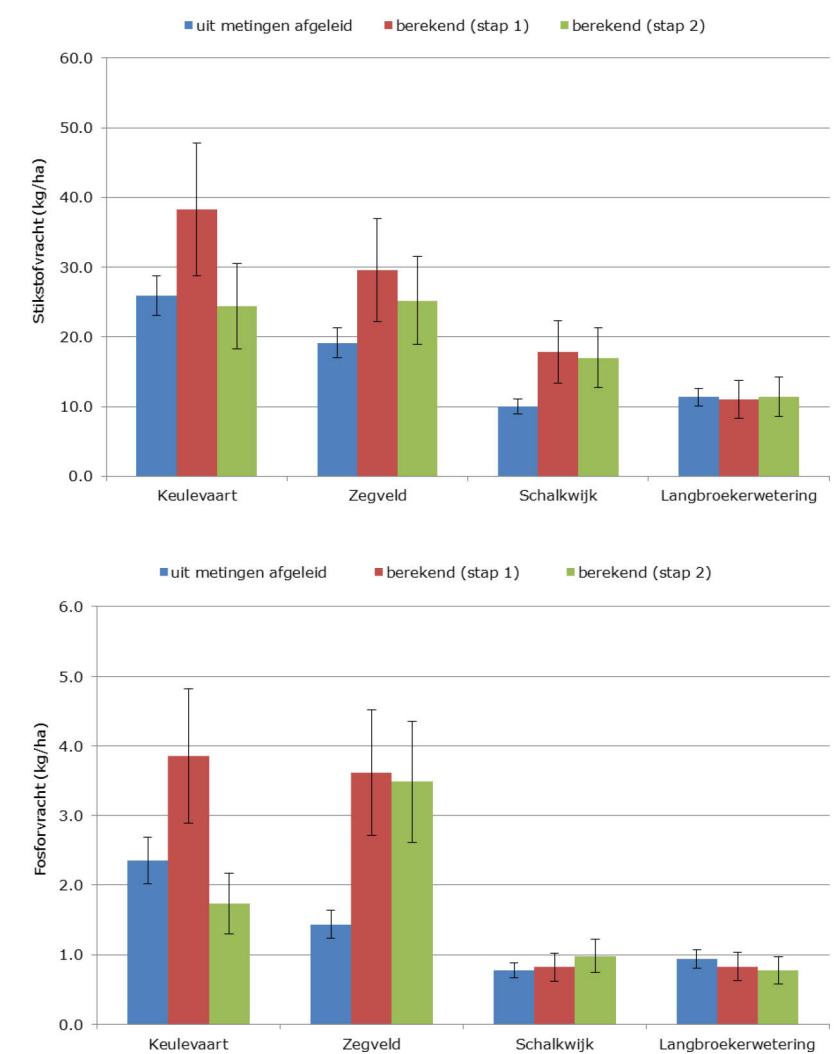
7.6 Stoffenbalans

De inkomende balanst termen voor stikstof en fosfor zijn:

- puntbronnen (lozingen industrie, directe landbouwlozingen);
- atmosferische depositie op open water;
- uit- en afspoeling vanuit landbouw en natuur bodems;
- inlaatwater.

De uitgaande termen is de afvoer via het oppervlaktewatersysteem en de retentie in het oppervlaktewater (door afvoer van waterplanten, vastlegging in de waterbodem en afbraak van nitraat in stikstofgas). In alle vier gebieden wordt het oppervlaktewater hoofdzakelijk belast door uit- en afspoeling (70% en hoger). Verder levert alleen inlaat in de veenweidegebieden ook een significante bijdrage (4 tot 17%). Er zijn geen RWZI's die in de afvoergebieden lozen en andere puntbronnen leveren slechts een geringe bijdrage. Hierbij moet wel worden bedacht dat de onlangs in EmissieRegistratie opgenomen erfafspoeling weliswaar relatief gering is, maar dat de omvang van deze bron nog erg onzeker is.

De inkomende vrachten minus de retentie moet idealiter overeenkomen met de vrachten die via de gemalen of onder vrij verval worden afgevoerd naar de boezem of andere afvoergebieden. De berekende inkomende vracht minus de geschatte retentie is daarom vergeleken met de 'uit metingen afgeleide' uitgaande vracht (berekend debiet * gemeten nutriëntenconcentraties) voor stap 1 (uitspoeling conform STONE 2.4) en stap 2 (herschikking van de rekenplots). De resultaten zijn samengevat in figuur 7.1. De rechthoeken representeren de gemiddelde uit metingen afgeleide (gemeten) en berekende nutriëntenvracht (ton/jaar) in het uitstroompunt van de vier pilotgebieden.



Figuur 7.1

Gemeten en berekende stikstof- (boven) en fosforvracht (onder) in kg/ha met een indicatie voor onzekerheidsmarge.

De berekeningen van de inkomende vrachten minus de retentie komen qua orde van grootte in stap 1 al redelijk overeen met de uit metingen afgeleide uitgaande vrachten. De resultaten van stap 2 sluiten voor de veenweidegebieden beter aan op de uit metingen afgeleide vrachten.

De herschikking geeft voor De Keulevaart en Zegveld een duidelijk lagere uit- en afspoeling wat een duidelijk betere fit geeft met de uit metingen afgeleide uitgaande stofvrachten. Omdat de inkomende vrachten vooral bepaald worden door de uit- en afspoeling, geeft dit een indicatie dat de STONE-modellering en dan vooral ná herschikking qua orde van grootte redelijk aansluit bij de metingen. Wel is de onzekerheid voor de aangenomen *retentie* waarschijnlijk erg groot. Dat blijkt ook uit een recente studie die door Royal Haskoning en B-Ware is uitgevoerd (zie kader 1).

Resultaten monitoring proefsloten onderzoek Haskoning - B-ware 2011

Om inzicht te verkrijgen in de water- en nutriëntenstromen is in de Lopikerwaard veldonderzoek gedaan. Een jaar lang (april 2010 tot april 2011) zijn de in- en uitgaande water- en stofstromen gemeten in drie proefsloten; sloot 1 in een extensief beheerd grasland met onderbemaling, sloot 2 in een extensief beheerd grasland met polderpeil en sloot 3 in een intensief beheerd grasland met polderpeil. Deze sloten waren voor het onderzoek afgedamd zodat zij alleen het water van de percelen langs de sloot afvoerden. Uit de studie is naar voren gekomen dat sloot 1 en 2 vooral gevoed worden door fosfaat- en ijzerrijk grondwater en hier ook relatief veel fosfor in de waterplanten wordt vastgelegd. In sloot 3 infiltreert vrij veel water vanuit de sloot naar het perceel (wegzijging) en wordt de sloot vooral gevoed door eutroof inlaatwater.

De retentie is voor fosfor in sloot 1 en 2 gedurende de meetperiode erg groot (72 en 80 %); als de waterplanten jaarlijks zouden worden verwijderd zou de retentie nog groter zijn. Deze retentie komt doordat fosfor voornamelijk via ijzerrijk grondwater wordt aangevoerd. Bij het uittreden oxideert het ijzer en co-precipiteert fosfaat aan de neerslaande ijzer(hydr)oxides. In sloot 3 wordt weinig fosfor aangevoerd maar is de retentie ook gering (grootweg 30%) omdat er geen gereduceerd ijzer wordt aangevoerd en daarom in de waterbodem weinig fosfaat wordt vastgelegd. In de studie is niet gekeken naar de stikstofbalans.

Betrouwbaarheid berekende uit- en afspoeling en meerwaarde SWAP-ANIMO berekeningen

Afgaande op de indicatieve onzekerheidsmarges valt de berekende belasting na herschikking binnen de bandbreedtes van de onzekerheidsmarges van de uit metingen afgeleide vrachten, met uitzondering van de fosforbelasting in Zegveld. Omdat die belasting sterk wordt bepaald door de berekende uit- en afspoeling, is dit resultaat een aanwijzing dat de berekende uit- en afspoeling qua orde van grootte redelijk aansluit bij de werkelijkheid. Een mogelijke verklaring voor de overschatting van de fosforbelasting in Zegveld is dat het uitspoelende fosfor zodanig co-precipiteert aan neerslaande ijzer(hydr)oxides, dat de retentie in werkelijkheid significant groter is dan nu gemiddeld is aangenomen.

Geconcludeerd wordt dat de nu berekende uit- en afspoeling voldoende betrouwbaar is om (voor de KRW) de haalbaarheid van de doelen voor stikstof en fosfor te bepalen en maatregelen op te baseren. Gelet op de overeenkomsten tussen de in- en uitgaande vrachten heeft het geen duidelijke meerwaarde om voor de uit- en afspoeling een geheel nieuwe regionale STONE-schematisatie te maken met nieuwe SWAP-ANIMO rekenplots.

Zoals aangegeven zijn in de onderhavige studie de onzekerheden alleen indicatief geschat. Om meer te kunnen zeggen over de betrouwbaarheid van de berekende nutriëntenbelasting zouden deze onzekerheidsmarges beter bepaald moeten worden. Binnen ECHO is een onzekerheidstool ontwikkeld die de onzekerheidsmarges van de onderscheiden bronnen kwantificeert. Hiervoor moeten dan onzekerheidskenmerken van de afzonderlijke bronnen worden ingevoerd. Voor de emissiebronnen en de uit metingen afgeleide in- en uitgaande vrachten kan dan goed gewerkt worden met 'default' waarden. Voor de retentie zal zo'n onzekerheidskenmerk gebiedspecifiek met expertkennis geschat kunnen worden.

Nadere uitsplitsing herkomst bronnen

Op basis van de stoffenbalans en de herkomstanalyse kunnen de bronnen worden ingedeeld naar antropogeen versus natuurlijk zoals aangegeven in tabel 7.5. Bij deze indeling wordt aangesloten bij de indeling die is beschreven in de notitie die is opgesteld tijdens discussiebijeenkomsten met de Nutriëntenwerkgroep Rijn-West (Schipper et al., 2012).

Tabel 7.5

Relatieve bijdrage (%) van de verschillende nutriëntenbronnen, onderverdeeld in antropogeen en natuurlijk, voor de vier gebieden in het beheergebied van het hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden.

Stikstof		Relatieve bijdrage (%)			
		De Keulevaart	Eiland van Schalkwijk	Langbroekerwetering	Zegveld
Antropogeen	Actuele bemesting	24 - 30	47 - 56	44 - 52	30 - 32
	Historische bemesting	2,2 - 3,7	2,2 - 5,9	3,0 - 5,9	4,9 - 5,1
	Landbouw direct	2,8	3,5	2,6	2,0
	Industriële lozingen	0,0	0,3	0,0	0,0
	Overige bronnen	0,4	1,6	3,5	0,4
	Inlaat	17	6,9	1,7	11
	Totaal antropogeen	47 - 53	61 - 75	55 - 66	49 - 51
Natuurlijk	Bodem (geogeen)	27 - 37	11 - 19	8 - 18	27 - 27
	Infiltratiewater	1,3 - 4,2	0,1 - 0,2	0,0 - 0,3	5,3 - 6,3
	Atmosferische depositie	4,3	13 - 14	4,4 - 6,2	6,8 - 6,9
	Kwel	1,4 - 2,3	1,7 - 2,9	1,9 - 4,8	2,9 - 4,2
	Natuur	1,5	1,2	18	4,1
	Totaal natuurlijk	36 - 50	27 - 38	32 - 48	46 - 49
Fosfor		De Keulevaart	Eiland van Schalkwijk	Langbroekerwetering	Zegveld
Antropogeen	Actuele bemesting	16 - 27	36 - 63	38 - 59	16 - 18
	Historische bemesting	8,7 - 16	2,7 - 11	0,2 - 4,8	8,7 - 9,8
	Landbouw direct	1,9	3,0	3,1	0,8
	Industriële lozingen	0,0	0,2	0,0	0,0
	Overige bronnen	0,0	1,8	4,0	0,2
	Inlaat	12	3,4	1,0	4,3
	Totaal antropogeen	38 - 56	48 - 82	46 - 72	30 - 33
Natuurlijk	Bodem (geogeen)	40 - 48	16 - 36	1,0 - 19	53 - 56
	Infiltratiewater	1,6 - 4,3	0,1 - 0,4	0,0 - 0,3	5,0 - 5,9
	Atmosferische depositie	0	0	0	0
	Kwel	1,2 - 1,5	2,8 - 4,2	5,5 - 8,4	0,3 - 0,6
	Natuur	2,1	1,9	24	4,6
	Totaal natuurlijk	45 - 56	21 - 43	30 - 51	63 - 67

De bijdrage van de natuurlijke bronnen aan de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater varieert tussen de 27% en 50% voor stikstof en tussen de 21% en 67% voor fosfor. De natuurlijke nalevering van de bodem en in mindere mate de atmosferische depositie (alleen voor stikstof) en kwel dragen van de natuurlijke bronnen het meeste bij. Uitzondering hierop is de bijdrage van de natuurgebieden voor Langbroekerwetering (18% voor N en 24% voor P). De bijdrage van de antropogene bronnen is voornamelijk afkomstig van de

bemesting, maar ook inlaat draagt in een aantal gebieden ook significant bij aan de stikstof en fosforbelasting van het oppervlaktewater.

Wat verder opvalt is dat de actuele bemesting (de bemesting vanaf 2000) veel meer bijdraagt aan de nutriëntenbelasting dan de historische mestgiften. Alleen in de veenweide gebieden (Zegveld en Keulevaart) is de bijdrage van de historische bemesting voor fosfor significant, hoewel ook hier geldt dat deze bijdrage ongeveer de helft is van de bijdrage van de actuele bemesting.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

Het doel van de studie is om de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater voor afvoergebieden te kwantificeren, op een zodanige manier, dat inzicht wordt verkregen in de betrouwbaarheid, de ruimtelijke en temporele variatie en de herkomst. Nevendoel is om na te gaan in hoeverre de methodiek van ECHO hiervoor voldoet en hoe de uit- en afspoeling en herkomst van de nutriëntenbronnen voor de overige afvoergebieden van HDSR in beeld kan worden gebracht.

Uit de resultaten komt naar voren dat het modelconcept een af- en uitspoeling berekend die qua orde van grootte in overeenstemming is met wat uit waterkwaliteitsmetingen en (berekende) debieten kan worden afgeleid. Door de STONE-rekenplots op een ruimtelijk kleinere schaal toe te passen (25 x 25 m in plaats van 250 x 250 m) en door de niet/minder representatieve rekenplots te vervangen, sluiten de rekenplots van ECHO nauw aan op de regionale informatie over het landgebruik en voorkomende bodemtypen en, hoewel in iets mindere mate, ook op de grondwatertrappen. Dit resulteert in een berekende af- en uitspoeling van nutriënten die beter dan het landelijke model (STONE 2.4) aansluit op de uit metingen afgeleide vrachten.

Bij het opstellen van de stofbalansen ontstaat inzicht in de onzekerheden die gepaard gaan met de kwantificering van de punt- en diffuse bronnen. Om de betrouwbaarheid van de berekende uit- en afspoeling beter in te kunnen schatten, zou vooral meer betrouwbare informatie moeten worden verzameld van de andere posten die bepalend zijn voor de stofbalans van de afvoergebieden. Dit zijn in de onderzochte gebieden steeds de inlaat, de uitlaaten de retentie. Ook zijn er aanwijzingen dat erfafspoeling een significante bron zou kunnen zijn in gebieden met veel veehouderijen; maar om deze te kwantificeren ontbreekt het (nog) vooral aan inzicht in afstromende debieten. De onzekerheidsmarges van de diverse nutriëntenbronnen, inclusies die van de in- en uitlaat, zijn in het onderhavige onderzoek alleen indicatief geschat. De betrouwbaarheid van de stoffenbalans en onderliggende modellering van de uit- en afspoeling kan weliswaar beter worden bepaald als de onzekerheden worden gekwantificeerd, maar dit geeft nog niet een meer betrouwbare kwantificering.

Het doel van het onderzoek was om meer inzicht te bieden in de betrouwbaarheid van voorafde uit- en afspoeling, om hierbij regionale informatie te benutten en de bronnen achter de uitspoeling te kwantificeren. Het belangrijkste resultaat van het onderzoek is dat met het state-of-the-art model de uit- en afspoeling is gekwantificeerd én getoetst aan de stoffenbalans op het niveau van afvoergebieden, dat het gebruik van de regio specifieke informatie duidelijke meerwaarde heeft geboden en dat de bronnen achter de uit- en afspoeling zijn gekwantificeerd. Vooral de boxplots waarin de relatieve bijdrage van de verschillende bronnen achter de uit- en afspoeling wordt weergegeven en de figuren met de bijdrage van de bronnen per zomer- en winter halfjaar worden door HDSR als waardevol beschouwd ter ondersteuning van de gebiedsanalyses en de te organiseren KRW-gebiedsprocessen.

Met de verkregen inzichten kunnen de onderzoeksvragen en de vragen voor de aandachtspunten bij de evaluatie als volgt worden beantwoord:

- Sluit het resultaat (de uit- en afspoeling) aan bij de stoffenbalans? Zijn er in dat opzicht verschillen tussen de vier gebieden?

Ja, met ECHO wordt een uit- en afspoeling berekend die aansluit bij de stoffenbalans. Voor Zegveld wordt wel een duidelijk te grote fosfor belasting berekend. Mogelijk is de retentie hier significant groter dan aangenomen als de uitspoeling gepaard gaat met ijzerrijke kwel, omdat fosfaat wordt gebonden aan de neerslaande ijzer(hydr)oxides.

- Wat de betrouwbaarheid is van het modelresultaat en wordt het geschikt geacht om in te zetten voor de KRW-analyse en gebiedsoverleggen die voor de op te stellen stroomgebied beheerplan worden georganiseerd?

De nu berekende uit- en afspoeling kan gelet op de stoffenbalans en expertkennis als voldoende betrouwbaar worden beoordeeld om (voor de KRW) de haalbaarheid van de doelen voor stikstof en fosfor te bepalen en maatregelen op te baseren. De bepalende posten in de stoffenbalans zijn de uit- en afspoeling, retentie, inlaat en uitlaat. De onzekerheden over met name de retentie maar ook de inlaat, uitlaat en mogelijk ook de nu niet gekwantificeerde erfafspoeling brengen met zich mee dat de betrouwbaarheid van de kwantificering niet explicieter kan worden aangeduid.

- Resulteert de methode in een wezenlijk andere schatting van de uit- en afspoeling in vergelijking met de landelijke gegevens uit de ER?

Ja, de met ECHO gemaakte regiospecifieke schematisatie geeft in de meeste deelgebieden een significant andere schatting van de uit- en afspoeling.

- Zijn naast het herschikken van de rekenplots ook nieuwe rekenplots met ANIMO en SWAP nodig om de uit- en afspoeling voldoende betrouwbaar te kwantificeren?

Omdat de berekende stoffenbalans redelijk aansluit bij de uit metingen afgeleide uitgaande vrachten en de in- en uitlaat alsmede de retentie relatief onzeker zijn, heeft het voor deze vier pilotgebieden geen duidelijke meerwaarde om voor de uit- en afspoeling een geheel nieuwe regionale STONE-schematisatie te maken met nieuwe SWAP-ANIMO rekenplots.

- Wat zijn de belangrijke onzekerheden in de kwantificering van de uit- en afspoeling?

Tal van factoren bepalen de uit- en afspoeling, zoals de bodemeigenschappen, het grondwaterregiem, de meteorologische omstandigheden, de bemesting en agrarische bedrijfsvoering (gewas-rotatie, grondbewerking, etc.). De onzekerheden over deze factoren en de mate waarin deze doorwerken in de uit- en afspoeling is locatie specifiek en kan niet generiek worden aangegeven.

- Is er voor belangrijke onzekere bronnen betere of meer gedetailleerde informatie beschikbaar en zo niet, hoe kan dit worden verzameld?

Voor zover bekend is er geen gedetailleerdere informatie over de belangrijke bronnen beschikbaar. Het is redelijk eenvoudig om meer gedetailleerde informatie te verzamelen van de in- en uitlaat door frequenter de kwaliteit te meten en (vaker) de debietmeetboot in te zetten, maar dit kost uiteraard wel tijd en kosten voor chemische laboratorium analyses. Het meten van stikstofisotopen in het oppervlaktewater zal waarschijnlijk meer inzicht bieden in de retentie. De uit- en afspoeling kan betrouwbaarder worden berekend als locatie specifiekere informatie wordt verzameld over het niveau en regime van bemesting. Om erfafspoeling betrouwbaar te kunnen kwantificeren is naast de nu al verzamelde kwaliteitsgegevens informatie nodig over de debieten (de afstromende hoeveelheden water).

- Zijn er aanwijzingen dat er in de gebieden zogenaamde hotspots zijn waar de uit- en afspoeling van nutriënten veel hoger is dan gemiddeld? En zo ja, biedt het meerwaarde om met PLEASE of andere modellen hotspots in beeld te brengen?

In het onderhavige onderzoek is hierover geen informatie naar voren gekomen. Mogelijk dat gebiedskundigen van het Hoogheemraadschap hier zicht op hebben. PLEASE biedt meerwaarde om op basis van meetbare kenmerken inzicht te krijgen in hotspots. Voor veengebieden is de operationele versie onvoldoende betrouwbaar.

- Biedt het meerwaarde om de retentie (beter) in te schatten met PC-Ditch of andere modellen?
Ten tijde van het onderhavige onderzoek wordt een promotie onderzoek uitgevoerd (Luuk van Gerven, NIOO-KNAW, Wageningen UR) om PC-Ditch verder te ontwikkelen en geschikt te maken om in kleine wateren toe te passen. De kracht van dit model is dat niet alleen de biochemische processen worden gesimuleerd, maar ook integraal de groei (en het afsterven) van waterplanten wordt gesimuleerd. Toepassing in de veenweide afvoergebieden kan een belangrijke meerwaarde bieden omdat hier intensieve meetcampagnes zijn uitgevoerd, zoals het onderzoek in de Lopikerwaard. Als PC-Ditch daarop succesvol gevalideerd kan worden, kan het worden ingezet om op afvoergebied niveau de retentie in kleine wateren te bepalen.
- Biedt het meerwaarde om interactief ANIMO te koppelen aan Hydromedah?
Zo'n koppeling verbetert in feite de hydrologische invoer van de in deze studie gemaakte ECHO-schematisatie. Maar ook hierbij geldt dat het geen duidelijke meerwaarde voor de betrouwbaarheid van de kwantificering biedt omdat deze nu al redelijk aansluit bij de stoffenbalans en de retentie, inlaat en uitlaat ook belangrijke onzekere posten zijn. Wel biedt het meerwaarde omdat het effect van hydrologische maatregelen op de uit- en afspoeling modelmatig vrij eenvoudig uitgevoerd kan worden.
- Hoe kan de uit- en afspoeling voor de overige afvoergebieden van HDSR effectief gebiedsdekkend gekwantificeerd worden?
In de studie is duidelijk geworden hoe met ECHO de landelijke schematisatie van het STONE-model regio specifieker gemaakt kan worden. De uit- en afspoeling kan daarom voor de overige gebieden op een zelfde manier regiospecifiek berekend worden. De tijdbesteding hiervoor kan vanuit kosten overwegingen worden geminimaliseerd door uitsluitend de gebiedsanalyse,erschikking van de rekenplots en bronnenanalyse uit te voeren. Het verdient echter wel de aanbeveling om de uit- en afspoeling te toetsen op basis van een stoffenbalans, omdat anders optionele maatregelen om de waterkwaliteit te verbeteren moeilijk kunnen worden onderbouwd.

8.2 Aanbevelingen

Om meer zicht te krijgen in de betrouwbaarheid van het modelinstrumentarium voor de uit- en afspoeling, wordt aanbevolen om nader onderzoek te doen naar de retentie van stikstof en fosfor in de polders. Mogelijk kan daarbij worden aangesloten bij promotie onderzoek van Luuk van Gerven. In dit onderzoek wordt toegewerkt naar een verbeterd modelconcept in PC-Ditch om de waterkwaliteitsprocessen van nutriënten in kleine oppervlaktewateren en de samenhang met de groei van waterplanten te beschrijven, inclusief de interactie met de waterbodem. Daarnaast kan meer inzicht in de betrouwbaarheid worden verkregen door gerichte hoog-frequente meetcampagnes te verrichten, zowel op de inlaat en uitstroompunten van de afvoergebieden als in kleine wateren waar de concentraties van de nutriënten hoog zijn en waar de nutriëntenbelasting vrijwel uitsluitend wordt bepaald door uit- en afspoeling.

Ook wordt aanbevolen om na te gaan wat de kenmerkende onzekerheden zijn van het inlaat- en uitlaatwater, niet alleen de water hoeveelheden maar ook de bijbehorende vrachtberekeningen. Daarbij wordt aanbevolen om de onzekerheden kwantitatief uit te werken door toepassing van de aan ECHO gekoppelde onzekerheidstool. Een andere optie is om deze onzekerheden te kwantificeren met een tool die in 2012 in opdracht voor STOWA is ontwikkeld.

Gelet op de al verzamelde informatie wordt sterk aanbevolen om erfafspoeling te kwantificeren. Aanvullend op de al gedane metingen wordt daarbij aanbevolen om metingen te verrichten die inzicht geven in de hoeveelheid afstromende erf water.

Verder wordt aanbevolen om in gebiedsprocessen voor de polders na te gaan of er aanwijzingen zijn dat er zogenaamde hotspots voor de uit- en afspoeling zijn; ofwel percelen of delen van percelen waar sprake is van onevenredig hoge uit- en afspoeling. Als er zulke aanwijzingen zijn, biedt het meerwaarde om deze met PLEASE in beeld te brengen, omdat dan (veel) efficiëntere KRW-maatregelen kunnen worden geïdentificeerd.

Literatuur

- Assinck, F.B.T. en C. Van der Salm, 2012. *Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden: bemestingstool: een instrument ter voorkoming van incidentele nutriëntenverliezen door oppervlakkige afvoer*. Wageningen: Alterra, (Alterra-rapport 2271) - p. 44.
- 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.M.P.M., L.V. Renaud, F.L.V. van der Bolt en P. Groenendijk, 2008. *Bronnen van nutriënten in het landelijke gebied: analyse van de bijdrage van landbouw aan oppervlaktewaterkwaliteit met STONE 2.3 resultaten*. Wageningen, Alterra-rapport 1816.
- Bolt, F.J.E. van der, H.P. Oosterom, R.F.A. Hendriks en P. Groenendijk, 2007. *Bronnen van nutriënten in het landelijke gebied. De bijdrage van de landbouw aan oppervlaktewaterkwaliteit in perspectief*. Alterra, Wageningen. Alterra-rapport 1483.
- Borren, W. W. Berendrecht, J. Heijkers, J. Snepvangers en A. Veldhuizen, 2009. *Ontwikkeling HDSR hydrologisch modelinstrumentarium – HYDROMEDAH, Deelrapport 1: Beschrijving MODFLOW-model*. Deltares rapport, 2009.
- Groenendijk, P., R.F.A. Hendriks, F.J.E. van der Bolt en H.M. Mulder, 2012. *Bronnen van diffuse nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Evaluatie Meststoffenwet 2012: deelrapport ex post*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2328.
- Haskoning en BWare, 2011. Monitoring proefsloten Lopikerwaard. Rapportnummer 2011.30.
- Hendriks, R.F.A., R. Kruijse, J. Roelsma, K. Oostindie, H.P. Oosterom en O.F. Schoumans, 2002. *Berekening van de nutriëntenverliezen van het oppervlaktewater vanuit landbouwgronden in vier poldergebieden. Analyse van de bronnen*. Alterra-rapport 408, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen.
- Jansen, H.C., M.E. Sicco Smit, T.P. Leenders, F.J.E. van der Bolt en L.V. Renaud, 2006. *Systeemanalyse voor het stroomgebied van de Schuivenbeek Fase 2*. Alterra rapport 1387, ISSN 1566-7197. Reeks Monitoring stroomgebieden 8-II. Wageningen.
- Klein, J. M. de en A. Koelmans, 2011. *Quantifying seasonal export and retention of nutrients in West European lowland rivers at catchment scale*. Hydrological Processes 25 (13), 2102-2111.
- Klein, J.J.M. de, 2008. *From Ditch to Delta, Nutrient retention in running waters*. PhD-thesis Wageningen University, Wageningen. ISBN: 978-90-8504-930-2.
- Kroes, J.G., P.E. Dik, F. J.E. van der Bolt, T.P. Leenders en L.V. Renaud, 2006. *Systeemanalyse voor het stroomgebied van de Krimpenerwaard, fase 2*. Alterra rapport 1388, ISSN 1566-7197. Reeks Monitoring stroomgebieden 8-II.
- Kroes, J.G., E.M.P.M. van Boekel, F.J.E. van der Bolt, L.V. Renaud en J. Roelsma, 2011. *ECHO, een methodiek ter ondersteuning van waterbeleid; methodiekb beschrijving en toepassing Drentse Aa*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1913.
- Kroon, T., P. Finke, I. Peereboom 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.
- Massop, H.Th.L., J.W.J. van der Gaast en A.G.M. Hermans; *Kenmerken van het ontwateringssysteem in Nederland*. Alterra rapport 1397, gepubliceerd: 28 feb 2007; 94 pp.
- MNP, 2008. *Kwaliteit voor later. Ex ante evaluatie Kader Richtlijn Water*. Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), Bilthoven. MNP-publicatienummer 50014000.
- Muhammetoglu, A. en S. Soyupak, 2000. *A three-dimensional water quality-macrophyte interaction model for shallow lakes*. Ecological Modelling, Vol. 133, pp. 161-180.

- Mulder, M., P. Schipper, E. Jongman en J. Heijkers, 2012, 'Onzekere debietschattingen'. Artikel in het vakblad Stomingen, jaargang 16, nummer 3, bldz. 33 - 43.
- Nutrieten projectgroep Rijn-West, 2012. Nutriëntenmaatwerk in de polder, advies Nutriëntenproject Rijn-West. Concept-eindadvies versie 9 oktober 2012.
- Roelsma, J., B. van der Grift, H.M. Mulder en T.P. van Tol-Leenders, 2011a. *Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Drentse Aa. Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden*. Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-I. Alterra rapport 2218, Alterra, Wageningen.
- Roelsma, J., B. van der Grift, H.M. Mulder en T.P. van Tol-Leenders, 2011b. *Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Schuitenbeek. Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden*. Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-II. Wageningen, Alterra, rapportnummer 2219.
- Roelsma, J., F.J.E. van der Bolt, T.P. Leenders, L.V. Renaud, I. de Vries en K. van der Molen, 2006. *Systeemanalyse voor het stroomgebied van de Drentse Aa Fase 2*; Alterra-rapport 1386, ISSN 1566-7197. Reeks Monitoring Stroomgebieden 8-I. Alterra, Wageningen.
- Rojackers, R., S. Szabó en M. Scheffer, 2004. *Experimental analysis of the competition between algae and duckweed*. Hydrobiologie 160, 401-412.
- Schipper, P. O. Schoumans, P. Groenendijk en E. van Boekel, 2012. *Nutriëntenbelasting oppervlaktewater; Herkomst en bijdrage landelijke gebied. Notitie ter ondersteuning KRW-Rijn West aanpak Nutriënten* - 11-5-2012. Alterra Wageningen UR.
- Seitzinger S.P., R.V. Styles, E.W. Boyer, R.B. Alexander, G. Billen, R.W. Howarth, B. Mayer en N. van Breemen, 2002. *Nitrogen retention in rivers: model development and application to watersheds in the northeastern USA*. Biogeochemistry 57: 199-237.
- 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.
- Siderius C., P. Groenendijk, L.P.A. van Gerven, M.H.J.L. Jeuken en A.A.M.F.R Smit, 2008. *Process description of NuswaLite; a simplified model for the fate of nutrients in surface waters*. Alterra Report 1226.2, Alterra, Wageningen.
- Siderius C., J. Roelsma, F.J.E. van der Bolt, T.P. Leenders, L.V. Renaud en H. de Ruiter, 2007. *Systeemanalyse voor het bemalingsgebied Quarles van Ufford Fase 2*. Alterra-rapport 1389, ISSN 1566-7197. Reeks Monitoring Stroomgebieden 8-IV. Alterra, Wageningen.
- STOWA, 2011. *Erfafspoeling : een inventarisatie van de problematiek en mogelijke oplossingen [Boek]*.
- STOWA, 2009. *Erfafspoeling van veehouderijbedrijven : onderzoek naar de kwaliteit van afspoelwater van erven op 'schone' bedrijven [Boek]*.
- Venohr, M., I. Donohue, S. Fogelberg, B. Arheimer, K. Irvine en H. Behrendt, 2005. *Nitrogen retention in a river system and the effects of river morphology and lakes*. Water Science and Technology, 51, 19-29.
- Veraart, A.J., M. Rocha Dimitrov, A. Schrier-Uijl, F. Gillissen, H. Smidt en J.J.M. de Klein, in voorbereiding. *Denitrification in Dutch drainage ditches, relations with nitrate and nirK abundance*. (tentative title)
- Veraart, A.J., J.J.M. de Klein en M. Scheffer, 2011b. *Warming Can Boost Denitrification Disproportionately Due to Altered Oxygen Dynamics*. PLoS ONE 6(3): e18508.
- Woestenburg, M. en T.P. van Tol-Leenders, 2011. *Sturen op schoon water: eindrapportage project Monitoring Stroomgebieden*.
- Wolf J., A.H.W.Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rötter en H. van Zeijts, 2003. *The integrated modeling system STONE for calculating emissions from agriculture in the Netherlands*. Environmental Modelling & Software 18: 597-617.
- Zwart, K.B., J.J.H. van den Akker, D.W. Bussink, M.J.O.M. de Haas, R.Y. van der Weide, J.G.M. Paauw, W. Saathoff, D. Goense en A.J. Doornbos, 2011. *Waterkwaliteit bij de wortel aangepakt*, gepubliceerd: 12 mei 2011; 92 pp.

Bijlage 1 Stofbalansen individuele jaren

De Keulevaart

Tabel B1.1

Stoffenbalans stikstof (ton/jaar) voor de Keulevaart voor de periode 2003-2008

Jaar	Inkomende termen (ton/jaar)								Uitlaat	
	Uit- en afspoeling		Landbouw overig	Depositie	Industriële lozingen	Overige bronnen	Inlaat	Directe kwel		
	Stap 1	Stap 2								
2003	87	52	3,6	1,5	0,00	0,58	15,2	0,52	90	74
2004	129	89	3,9	5,4	0,00	0,54	20,3	0,52	138	99
2005	111	71	1,9	2,9	0,00	0,47	12,2	0,52	110	69
2006	124	75	2,8	3,0	0,00	0,29	16,7	0,52	126	78
2007	144	91	3,3	3,0	0,00	0,23	22,9	0,52	153	101
2008	136	76	1,1	2,8	0,00	0,20	14,5	0,52	134	76
Gem.	122	76	2,8	3,1	0,00	0,38	17,0	0,52	125	83

Tabel B1.2

Stoffenbalans fosfor (ton/jaar) voor de Keulevaart voor de periode 2003-2008

Jaar	Inkomende termen (ton/jaar)								Uitlaat	
	Uit- en afspoeling		Landbouw overig	depositie	Industriële lozingen	Overige bronnen	Inlaat	Directe kwel		
	Stap 1	Stap 2								
2003	15,9	5,8	0,29	-	0,00	0,05	0,99	0,05	9,1	4,0
2004	23,4	9,9	0,32	-	0,00	0,06	0,90	0,05	12,8	6,0
2005	21,2	8,6	0,13	-	0,00	0,07	0,97	0,05	11,6	5,3
2006	23,1	8,7	0,20	-	0,00	0,04	1,11	0,05	12,7	5,5
2007	27,2	11,2	0,20	-	0,00	0,02	2,40	0,05	15,8	7,8
2008	25,8	9,2	0,04	-	0,00	0,02	0,97	0,05	13,8	5,5
Gem.	22,8	8,9	0,20	-	0,00	0,04	1,22	0,05	12,6	5,7

Eiland van Schalkwijk

Tabel B1.3

Stoffenbalans stikstof (ton/jaar) voor het Eiland van Schalkwijk voor de periode 2003-2008

Jaar	Inkomende termen (ton/jaar)								Uitlaat	
	Uit- en afspoeling	Landbouw overig	Depositie	Industriële lozingen	Overige bronnen	Inlaat	Directe kwel			
	Stap 1	Stap 2							Stap 1	Stap 2
2003	39,5	37,6	3,5	1,8	0,27	1,02	8,6	0,60	38,0	36,3
2004	71,0	64,5	3,7	5,9	0,44	1,47	5,2	0,60	68,4	62,3
2005	48,9	47,7	1,8	9,3	0,00	1,36	4,1	0,60	46,4	45,2
2006	62,3	59,2	2,6	9,7	0,41	1,17	4,6	0,60	61,3	58,9
2007	77,1	77,4	2,8	9,6	0,44	1,18	3,5	0,60	75,1	75,7
2008	61,0	55,6	1,3	9,1	0,01	1,10	4,9	0,60	58,4	53,5
Gem.	60,0	57,0	2,6	7,6	0,26	1,22	5,2	0,60	57,9	55,3

Tabel B1.4

Stoffenbalans fosfor (ton/jaar) voor het Eiland van Schalkwijk voor de periode 2003-2008

Jaar	Inkomende termen (ton/jaar)								Uitlaat	
	Uit- en afspoeling	Landbouw overig	Depositie	Industriële lozingen	Overige bronnen	Inlaat	Directe kwel			
	Stap 1	Stap 2							Stap 1	Stap 2
2003	2,7	3,3	0,26	-	0,00	0,14	0,35	0,09	2,0	2,4
2004	4,6	5,5	0,29	-	0,02	0,12	0,20	0,09	2,9	3,4
2005	3,9	4,8	0,12	-	0,00	0,13	0,19	0,09	2,4	2,9
2006	4,4	5,3	0,18	-	0,02	0,09	0,18	0,09	2,6	3,2
2007	5,7	7,2	0,17	-	0,01	0,09	0,14	0,09	3,3	4,1
2008	5,0	5,7	0,05	-	0,00	0,08	0,16	0,09	2,8	3,2
Gem.	4,4	5,3	0,18	-	0,01	0,11	0,20	0,09	2,7	3,2

Langbroekerwetering

Tabel B1.5

Stoffenbalans stikstof (ton/jaar) voor Langbroekerwetering voor de periode 2003-2008

Jaar	Inkomende termen (ton/jaar)								Uitlaat	
	Uit- en afspoeling	Landbouw overig	Depositie	Industriële lozingen	Overige bronnen	Inlaat	Directe kwel			
	Stap 1	Stap 2							Stap 1	Stap 2
2003	51	53	3,7	1,1	6,8	2,1	2,1	6,8	55	56
2004	95	106	4,0	3,1	3,4	1,5	2,1	3,4	88	95
2005	72	77	1,7	1,7	3,1	1,4	2,1	3,1	65	68
2006	81	84	2,7	1,8	2,9	1,4	2,1	2,9	74	74
2007	131	138	2,9	1,8	2,7	2,2	2,1	2,7	114	116
2008	81	90	1,1	1,7	2,6	1,8	2,1	2,6	73	78
Gem.	85	91	2,7	1,9	3,6	1,7	2,1	3,6	78	81

Tabel B1.6*Stoffenbalans fosfor (ton/jaar) voor Langbroekerwetering voor de periode 2003-2008*

Jaar	Inkomende termen (ton/jaar)								Uitlaat	
	Uit- en afspoeling	Landbouw overig	Depositie	Industriële lozingen	Overige bronnen	Inlaat	Directe kwel			
	Stap 1	Stap 2							Stap 1	Stap 2
2003	3,7	3,2	0,29	-	0,00	0,49	0,09	0,32	4,7	4,1
2004	5,4	5,4	0,32	-	0,00	0,23	0,05	0,32	5,9	5,8
2005	4,9	4,8	0,11	-	0,00	0,22	0,04	0,32	5,3	4,9
2006	4,9	4,7	0,20	-	0,00	0,19	0,04	0,32	5,3	4,9
2007	7,9	7,6	0,17	-	0,00	0,18	0,07	0,32	8,1	7,6
2008	5,9	5,6	0,04	-	0,00	0,14	0,06	0,32	6,1	5,7
Gem.	5,5	5,2	0,19	-	0,00	0,24	0,06	0,32	5,9	5,5

Zegveld**Tabel B1.7***Stoffenbalans stikstof (ton/jaar) voor Zegveld voor de periode 2003-2008*

Jaar	Inkomende termen (ton/jaar)								Uitlaat	
	Uit- en afspoeling	Landbouw overig	Depositie	Industriële lozingen	Overige bronnen	Inlaat	Directe kwel			
	Stap 1	Stap 2							Stap 1	Stap 2
2003	37,0	32,4	2,1	1,2	0,01	0,33	0,00	0,06	34,7	30,2
2004	56,2	49,3	2,2	3,9	0,03	0,36	7,73	0,06	58,2	51,4
2005	47,1	40,3	0,9	3,3	0,00	0,33	5,84	0,06	45,4	38,8
2006	53,7	46,0	1,3	3,5	0,03	0,28	7,39	0,06	54,2	46,6
2007	62,1	52,8	1,7	3,4	0,03	0,28	6,80	0,06	61,7	52,4
2008	58,9	50,2	0,7	3,3	0,00	0,26	6,32	0,06	57,1	48,5
Gem.	58,2	49,7	1,2	3,4	0,02	0,27	6,84	0,06	57,7	49,2

Tabel B1.8*Stoffenbalans fosfor (ton/jaar) voor Zegveld voor de periode 2003-2008*

Jaar	Inkomende termen (ton/jaar)								Uitlaat	
	Uit- en afspoeling	Landbouw overig	Depositie	Industriële lozingen	Overige bronnen	Inlaat	Directe kwel			
	Stap 1	Stap 2							Stap 1	Stap 2
2003	8,1	7,8	0,16	-	0,00	0,04	0,92	0,01	5,0	4,8
2004	12,0	11,6	0,18	-	0,00	0,03	0,44	0,01	6,5	6,3
2005	10,7	10,1	0,07	-	0,00	0,03	0,47	0,01	5,8	5,5
2006	11,9	11,4	0,10	-	0,00	0,02	0,47	0,01	6,4	6,2
2007	14,0	13,5	0,10	-	0,00	0,02	0,70	0,01	7,7	7,4
2008	13,2	12,5	0,02	-	0,00	0,02	0,54	0,01	7,1	6,7
Gem.	13,0	12,5	0,08	-	0,00	0,02	0,57	0,01	7,1	6,8

Bijlage 2 Retentieschatting oppervlaktewater

Vrij afwaterende stroomgebieden

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

$$SR = \frac{Q}{OW} \quad (1)$$

Waarin:

SR	Specifieke afvoer	($\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$)
Q	Afvoer bij uitstroompunt stroomgebied	($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
OW	Openwateroppervlak in stroomgebied	(ha)

De 'specifieke afvoer' is vergelijkbaar met hydraulische verblijftijd met het verschil dat de 'specifieke afvoer' geen informatie bevat over de waterdiepte in tegenstelling tot de hydraulische verblijftijd. De waterdiepte is erg variabel in een vrij afwaterend stroomgebied van voldoende grootte, zoals in de Evaluatie Landbouw en KRW zijn onderscheiden (Van Boekel et al., 2012). Omdat de variabele waterdiepte naar verwachting weinig verband houdt met de variabiliteit in de retentieprocessen is de retentie waarschijnlijk niet goed te relateren aan de waterdiepte en daarmee de hydraulische verblijftijd, althans op het schaalniveau van de stroomgebieden van dit project. Daarom is ervoor gekozen de retentie in de vrij afwaterende gebieden te relateren aan de 'specifieke afvoer', zoals vaak wordt gedaan (o.a. Klein et al., 2011; Seitzinger et al., 2002).

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

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

Het eerste criterium is van belang omdat de af te leiden retentie alleen betrekking heeft op de diffuse nutriëntenuitspoeling vanuit het landsysteem; de andere nutriëntenbronnen zijn in de Evaluatie Landbouw en KRW voorzien van een retentiewaarde (Van Boekel et al., 2012).

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

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

Bepaling retentie

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

$$R_a = L_{\text{uitspoeling}} - L_{\text{uitstroom}}^* \quad (2)$$

Waarin:

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

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

Bij de correctie van de uitstromende nutriëntenvracht ($L^*_{uitstroom}$) voor de nutriëntenbronnen buiten de uitspoeling (zoals RWZI's en industriële lozingen) is rekening gehouden met de retentie die aangrijpt op deze nutriëntenbronnen (volgens EmissieRegistratie), zoals eerder bepaald in het project Evaluatie Landbouw en KRW (Van Boekel et al., 2012). Tabel B2.1 geeft aan welke data per stroomgebied zijn gebruikt om de (ongecorrigeerde) uitstromende nutriëntenvracht te bepalen.

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

Tabel B2.1

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

	Debiet		Nutriëntenconcentraties		
	Meetlocatie	Meetfrequentie	Meetlocatie	Meetfrequentie	Meetmethode
Drentse Aa	*	Dagelijks	1112	Wekelijks	Debietsprop.
Schuitenbeek	25210	Dagelijks/ elk kwartier	25210	Wekelijks	Debietsprop.
HBE beek	4070	Dagelijks	29738	Maandelijks	Steekmonster
WV Aa	Stuw Wulpen	Dagelijks	1STE8RO	Maandelijks	Steekmonster

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

Verband tussen retentie en 'specific' runoff

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

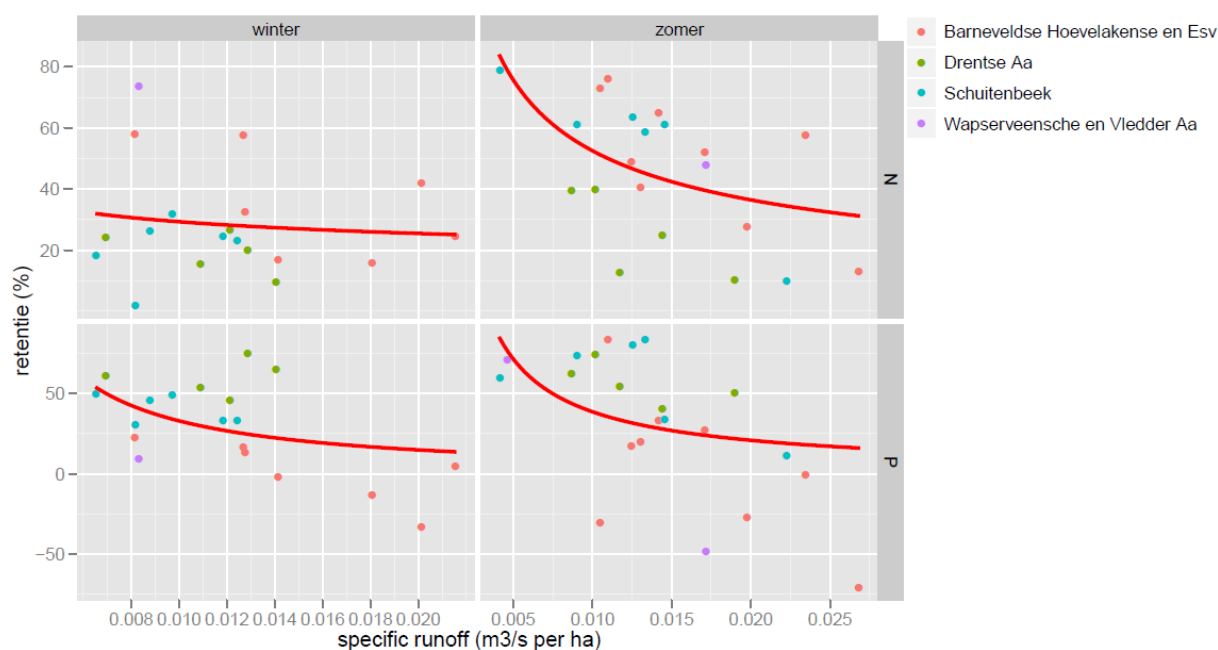
$$R_f = a \cdot SR^b \quad (3)$$

Waarbij a en b nader te bepalen coëfficiënten zijn.

Voor de vier stroomgebieden zijn deze coëfficiënten bepaald voor het winter- en het zomerhalfjaar. In elk stroomgebied is voor elk zomer- en winterhalfjaar met voldoende meetdata de retentie en de 'specifieke afvoer' bepaald en dat resulteert in de puntenwolken in figuur B2.1.

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

De puntenwolken in figuur B2.1 zijn gefit met vergelijking 3, en dat resulteert in waarden voor de coëfficiënten a en b (tabel B2.2). Te zien is dat de fit in alle gevallen matig is. Dit suggereert dat de ‘specifieke afvoer’ niet de enige verklarende variabele is voor de retentie, uitgaande van juiste meet- en modeldata. Het gevonden verband voor N is in figuur B2.2 vergeleken met verbanden afgeleid in andere studies (Klein et al., 2008; Venohr et al., 2005; Seitzinger et al., 2002), echter afgeleid voor per studie verschillende temporele en ruimtelijke schaalniveaus.



Figuur B2.1

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 3).

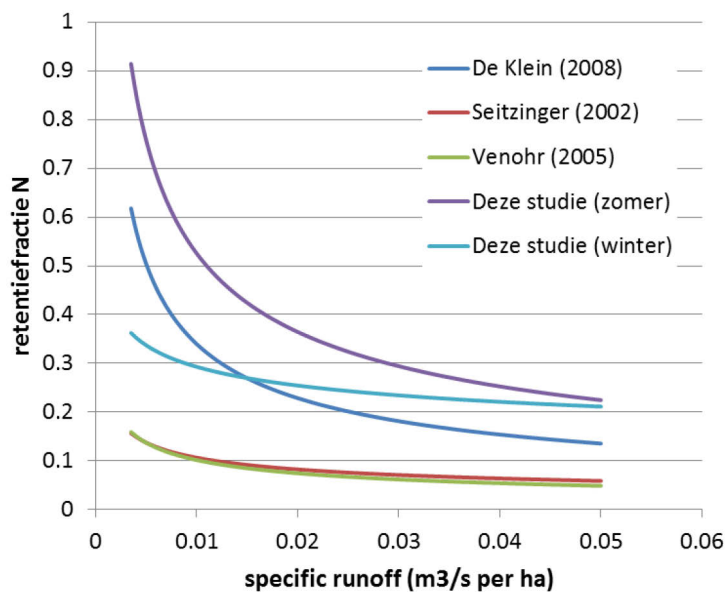
Een bekend nadeel van de machtsbenadering (vergelijking 3) is dat de retentiefraction groter dan 1 kan worden bij kleine waarden voor de ‘specifieke afvoer’. In deze gevallen is de retentiefraction afgekapt tot 0,9 omdat grotere retentiewaarden onrealistisch worden geacht. Voor de vrij afwaterende stroomgebieden komen hogere waardes dan 0,9 alleen voor in het zomerhalfjaar, voor 15% van de stroomgebieden, voor zowel N als P.

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

Tabel B2.2

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

	stikstof		fosfor	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Winterhalfjaar	0,1153	-0,2025	0,0017	-1,1449
Zomerhalfjaar	0,0462	-0,5277	0,0065	-0,8884

**Figuur B2.2**

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

Poldersystemen

Voor de polders in Nederland is de retentie van stikstof aangepast; de retentie is niet meer constant voor elk stroomgebied, zoals eerder in de evaluatie Landbouw en KRW is toegepast (Van Boekel et al., 2012), maar varieert per polder afhankelijk van de onderliggende retentieprocessen. De grootte van deze retentieprocessen is afgeleid uit metingen. Op deze manier is de capaciteit van het oppervlaktewatersysteem bepaald om stikstof vast te leggen, uitgedrukt in gram per m² waterbodem. De zo berekende absolute N retentie heeft betrekking op alle nutriëntenbronnen in de polder. De volgende retentieprocessen zijn gekwantificeerd:

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

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

Denitrificatie

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

$$D_T = D_{20} \cdot \theta_s^{(T-20)} \quad (4)$$

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

Met formule 4 zijn maandgemiddelde denitrificatiesnelheden berekend voor de klei- en veenpolders, uitgaande van maandgemiddelde luchttemperaturen gemeten in de Bilt in de jaren 1990-2009 (data KNMI) (tabel B2.3). De maandgemiddelde denitrificatiesnelheden zijn opgeschaald naar zomer- en winterhalfjaargemiddelden (tabel B2.4).

Tabel B2.3

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

<i>bodemtype</i>	<i>n</i>	Denitrificatie ($\mu\text{mol N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Temperatuur (°C)	Denitrificatie ($\mu\text{mol N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Temperatuur (°C)	<i>std</i>
		<i>gemiddeld</i>	<i>minimum</i>	<i>maximum</i>	<i>gemiddeld</i>	
klei	4	180,2	31,0	496,8	16,8	0,9
veen	7	62,9	5,9	166,6	21,3	0,8

Tabel B2.4

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

<i>bodemtype</i>	Denitrificatie (g N m^{-2})	
	<i>zomerhalfjaar</i>	<i>winterhalfjaar</i>
klei	9,9	5,3
veen	2,5	1,4

Waterplanten en stikstof

Uit verschillende databronnen is een inschatting gemaakt van de hoeveelheid waterplanten aan het einde van het groeiseizoen, gemiddeld over de klei- en veenpolders (tabel B2.5). Om een inschatting te kunnen maken van de stikstof die gemoeid is met de groei en sterfte van waterplanten is geschat welk deel van de biomassa 'overwintert'. Modelresultaten van het oppervlaktewaterkwaliteitsmodel NuswaLite (Siderius et al., 2008) geven aan dat ongeveer 20% van de kroosbiomassa overwintert en ongeveer 25% van de waterpest en ondergedoken waterplanten overwintert.

Tabel B2.5

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 B2.6 geeft een overzicht van de geschatte hoeveelheid stikstof die gemoeid is bij de groei en sterfte van waterplanten, aangenomen dat:

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

Tabel B2.6

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

bodemtype	groei	sterfte
klei	1,92	0,38
veen	1,85	0,37

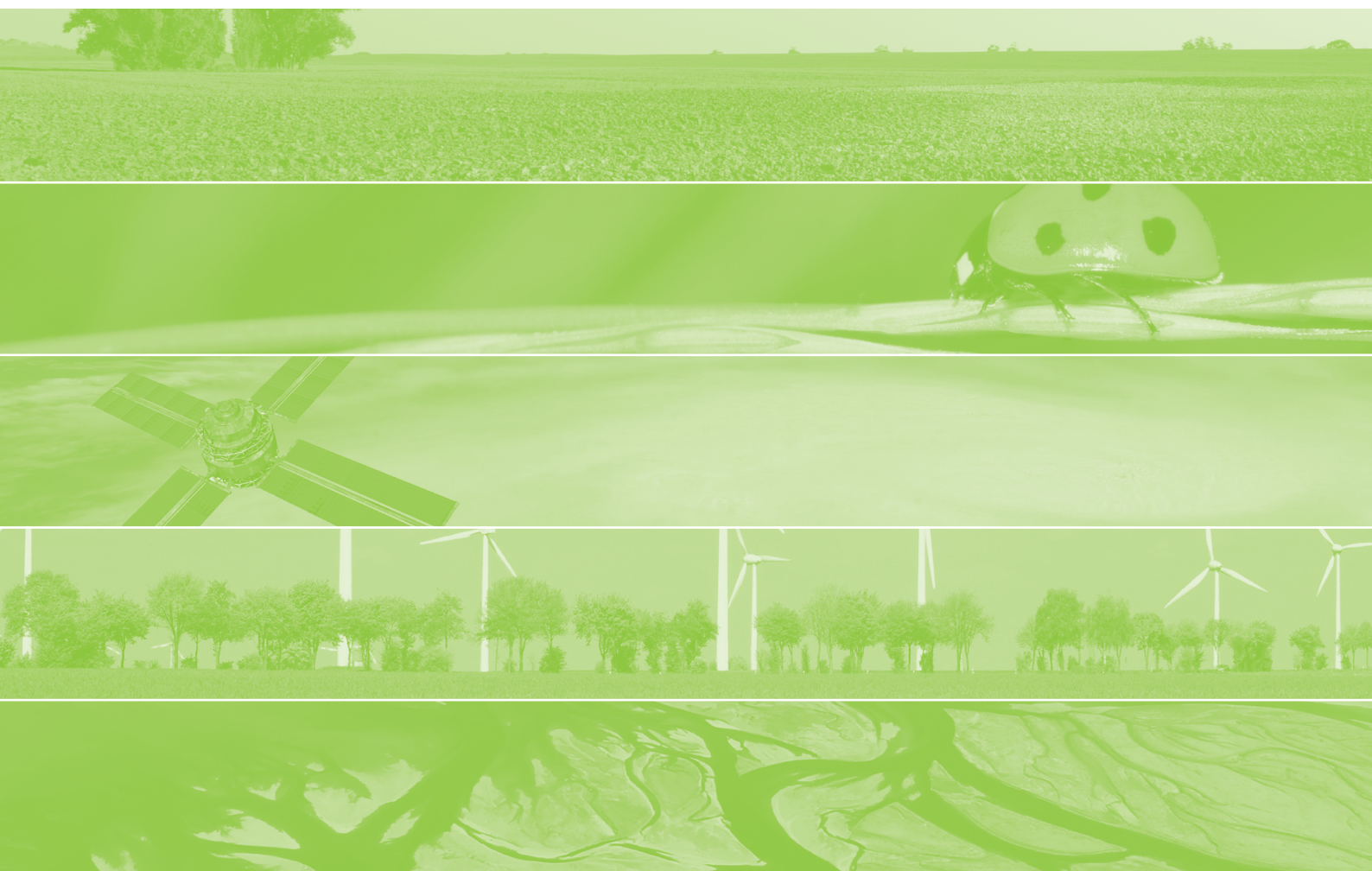
Totale stikstofretentie

Tabel B2.7 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 openwater volgens het NHI (www.nhi.nu). Voor polders waar geen NHI-openwateroppervlak beschikbaar is (polder Texel) is het openwateroppervlak gebruikt dat is bepaald met de 'TOP10/hydropotypen' benadering. Het is de vraag of het openwateroppervlak een goede benadering geeft van het oppervlak waarover stikstofretentie plaatsvindt. De gehele natte omtrek - waterbodem en talud - zullen waarschijnlijk bijdragen 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 B2.7

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

bodemtype	zomerhalfjaar	winterhalfjaar
klei	11,8	5,0
veen	4,4	1,0



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

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

Meer informatie: www.wageningenUR.nl/alterra