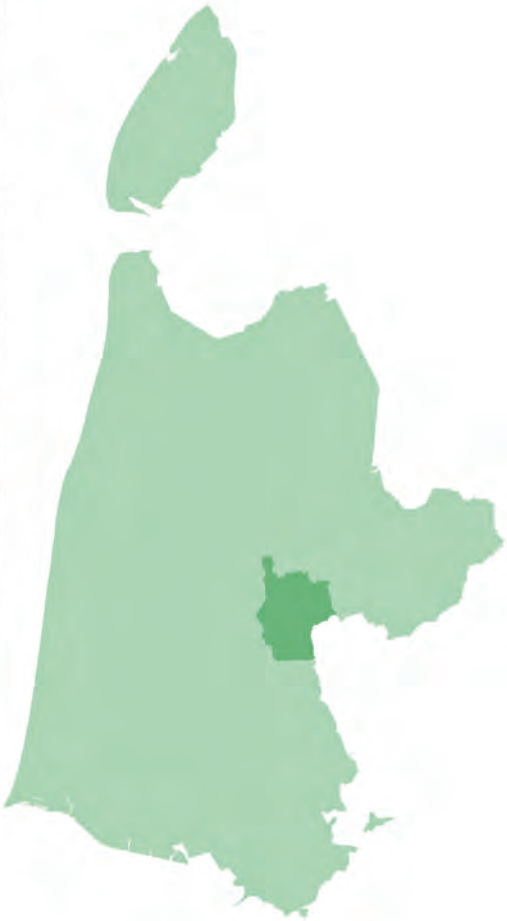




Achtergrondconcentraties in het oppervlaktewater van HHNK

Deelrapport 23: Analyse achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor op basis van water- en nutriëntenbalansen voor deelgebied Westerkogge

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

ALTERRA WAGENINGEN UR

hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

Achtergrondconcentraties in het oppervlaktewater van HHNK

Deelrapport 23: Analyse achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor op basis van water- en nutriëntenbalansen voor deelgebied Westerkogge

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

Alterra Wageningen UR
Wageningen, november 2014

Alterra-rapport 2475.23
ISSN 1566-7197



ALTERRA
WAGENINGEN UR

Boekel, E.M.P.M. van, J. Roelsma, H.T.L. Massop, H.M. Mulder, L.V. Renaud en R.F.A. Hendriks, 2014. *Achtergrondconcentraties in het oppervlaktewater van HHNK; Deelrapport 23: Analyse achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor op basis van water- en nutriëntenbalansen voor deelgebied Westerkogge.* Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2475.23. 60 blz.; 13 fig.; 31 tab.; 31 ref.

In dit technisch wetenschappelijk onderzoeksrapport zijn de **theoretische stikstof- en fosforconcentraties** van het **oppervlaktewater in deelgebied Westerkogge** afgeleid op basis van **water- en nutriëntenbalansen**. De waterbalans is opgebouwd in een waterbalansapplicatie die is ontwikkeld voor HHNK en Waternet waarin de waterbalans elke dag geactualiseerd wordt met de nieuwste meetgegevens van **gemaalafvoer, verdamping en neerslag**. De nutriëntenbalans is opgesteld met behulp van het modelinstrumentarium ECHO waarin **beschikbare metingen, data en kennis** zijn gecombineerd met regionale informatie (landgebruik, bodemtype, Gt-klasse). Daarnaast is de herkomst van de nutriënten in het oppervlaktewater in beeld gebracht en opgesplitst naar **antropogeen (rwzi's, bemesting,** etc.) of **natuurlijk (kwel, veenoxidatie**, etc.). De bijdrage van de natuurlijke bronnen aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater in deelgebied Westerkogge bedraagt 40% voor stikstof en 43% voor fosfor.

Trefwoorden: Europese Kaderrichtlijn Water, nutriënten, achtergrondconcentraties, nutriëntenbalans, oppervlaktewaterkwaliteit, landbouw, maatregelen, Westerkogge, ECHO

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2013 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wageningenUR.nl/alterra. Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- 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 2475.23| ISSN 1566-7197

Inhoud

Woord vooraf 5

Samenvatting 7

1 Inleiding 11

1.1 Achtergrond 11
1.2 Projectdoelstelling 12
1.3 Leeswijzer 12

2 Studiegebied Westerkogge 13

3 Methodiek 15

3.1 Inleiding en stappenplan 15
3.2 Stap 1: Opstellen waterbalans 15
3.3 Stap 2: Dataverzameling en data- analyse 19
3.4 Stap 3: Opstellen nutriëntenbalans 20
3.5 Stap 4: Plausibiliteit nutriëntenbalans 25
3.6 Stap 5: Afleiden theoretische achtergrondconcentraties 25

4 Resultaten 29

4.1 Stap 1: Waterbalans 29
4.2 Stap 2: Dataverzameling en data-analyse 29
4.3 Stap 3: Nutriëntenbalans 31
4.3.1 Onderdeel I: Gebiedsanalyse 31
4.3.2 Onderdeel II en III: herschikking en opstellen nutriëntenbalans 34
4.3.3 Onderdeel IV: Regionalisatie nutriëntenbelasting uit- en afspoeling 36
4.4 Stap 5: Afleiden theoretische achtergrondconcentraties 38
4.4.1 Herkomst bronnen 38
4.4.2 Theoretische achtergrondconcentraties 41

5 Conclusies 43

Literatuur 45

Bijlage 1 47

Bijlage 2 51

Bijlage 3 53

Bijlage 4 55

Woord vooraf

De ecologische waterkwaliteitsdoelstellingen van de KRW kunnen deels worden gerealiseerd door hydromorfologische maatregelen. Om de gewenste ecologische waterkwaliteit te bereiken moeten naar verwachting ook de nutriëntenvrachten naar het oppervlaktewater worden verlaagd. Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier wil graag inzicht hebben in de theoretische achtergrondconcentraties van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater in het beheergebied. Alterra heeft gezamenlijk met het hoogheemraadschap een onderzoekstraject ontwikkeld waarmee het mogelijk is om de theoretische achtergrondconcentraties op basis van water- en nutriëntenbalansen in beeld te brengen. Dit rapport is een technisch wetenschappelijk rapport waarin de resultaten voor deelgebied Westerkogge zijn beschreven. Een nadere beschrijving van de methodiek en de uitgebreide discussie wordt in het hoofdrapport besproken (Van Boekel et al., in voorbereiding).

De auteurs bedanken Gert van Ee, Marcel Boomgaard, Jeroen Hermans, Martin Meirink en Nanette Valster (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) voor het beschikbaar stellen van data en de constructieve bijdrage aan de discussie.

Voor meer informatie over het onderzoekstraject kunt u contact opnemen met:

Erwin van Boekel
Alterra, Wageningen UR
0317-48 65 95
Erwin.vanboekel@wur.nl

Gert van Ee
Hoogheemraadschap HHNK
072- 582 7126
G.vanEe@hhnk.nl

Samenvatting

Deze rapportage maakt deel uit van een uitgebreide studie naar de achtergrondbelasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor in het beheergebied van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Voor 42 deelgebieden zijn afzonderlijke studies verricht en wordt een reeks rapporten opgesteld. De deelrapporten zijn technisch wetenschappelijk waarin op basis van water- en nutriëntenbalansen de theoretische achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor zijn afgeleid. Met de theoretische achtergrondconcentratie wordt het volgende bedoeld:

De theoretische achtergrondconcentratie is de theoretisch afgeleide stikstof- en fosforconcentratie in het oppervlaktewater die verwacht kan worden indien er alleen sprake is van natuurlijke nutriëntenbronnen en de bijdrage van antropogene bronnen buiten beschouwing worden gelaten.

In de afzonderlijke deelrapporten worden de resultaten van de water- en nutriëntenbalansen gepresenteerd, de herkomst van de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater en de daarvan afgeleide theoretische achtergrondconcentraties. Ook wordt in de deelrapporten de methodiek kort toegelicht.

Aan het einde van het onderzoekstraject wordt een eindrapport uitgebracht waarin een beeld wordt gegeven van het totale beheergebied. Hierin wordt tevens aandacht gegeven aan de betrouwbaarheid van de gegevens, de zeggingskracht van het onderzoek en de beperkingen en begrenzingen van het onderzoek (discussie). In de afzonderlijke deelrapporten worden deze achterwege gelaten.

Waterbalans deelgebied Westerkogge
De waterbalans van deelgebied Westerkogge is in tabel A weergegeven.

Tabel A
Waterbalans (mm/jaar) voor deelgebied Westerkogge voor de periode 2000-2009.

2000-2009	Term	mm/jaar
Inkomende termen	Neerslag	889
	Inlaat	92
	Kwel	74
	Totaal	1055
Uitgaande termen	Actuele verdamping	472
	Uitlaat via gemalen	584
	Totaal	1056
Bergingsverschil		1

Stikstof- en fosforbelasting oppervlaktewater + herkomst
Om inzicht te krijgen in de bijdrage van de verschillende bronnen aan de belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor is gebruikt gemaakt van verschillende informatiebronnen: het modelinstrumentarium STONE, de Emissieregistratie en gegevens van het Hoogheemraadschap (kwaliteit- en kwantiteitgegevens). Het modelinstrumentarium STONE is ingezet om de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater vanuit het landelijk gebied te berekenen.

Omdat het STONE-model uitgaat van een landelijke schematisering en landelijke modelinvoer is in deze studie de methodiek ECHO gebruikt waarbij het modelinstrument stapsgewijs wordt aangepast zodat de schematisatie zo goed mogelijk aansluit bij de kenmerken van de deelgebieden waarbij regionale informatie over landgebruik, bodemtype en hydrologische toestand (o.a. de kwelflux) is meegenomen. De nutriëntenbelasting voor de periode 2000-2009 is weergegeven in tabel B.

Tabel B

Belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor (kg/ha/jaar, ton/jaar en procentuele bijdrage bronnen) voor deelgebied Westerkogge voor de periode 2000-2009.

2000-2009	Stikstof			Fosfor		
	kg/ha/jaar	ton/jaar	%	kg/ha/jaar	ton/jaar	%
Uit- en afspoeling	20,1	100	83	2,4	12,1	89
Landbouw overig [1]	0,80	4,0	3,3	0,06	0,29	2,1
Atmosferische depositie [2]	0,94	4,7	3,9	-	-	-
Industriële lozingen	0,00	0,01	0,0	0,00	0,00	0,0
Overige bronnen [3]	0,69	3,4	2,9	0,04	0,21	1,5
Inlaat	1,0	5,1	4,2	0,09	0,44	3,2
Directe kwel [4]	0,57	2,8	2,3	0,11	0,57	4,2
Totaal IN	24,2	120		2,7	13,6	
Retentie [5]	7,4	37	30	1,2	6,2	46
Totaal IN – retentie	16,8	83		1,5	7,4	

1 landbouw overig: meemesten sloten, glastuinbouw, overige landbouwemissies.

2 dit betreft **alleen** de depositie op open water. De atmosferische depositie op het land zit verdisconteerd in de uit- en afspoeling.

3 overige bronnen: huishoudelijke, ongerioleerde lozingen, verkeer, vervoer, etc.

4 dit betreft **alleen** de directe kwel naar open water. De kwel onder landbouw en natuurgronden zit verdisconteerd in de uit- en afspoeling.

5 Retentie in het oppervlaktewater staat voor het vastleggen van nutriënten in de waterlopen. Dit kan door tijdelijke en permanente opslag in onder andere waterplanten en in de waterbodem en/of door gasvormige emissies naar de atmosfeer (denitrificatie).

Uit de tabel komt naar voren dat de uit- en afspoeling vanuit het landelijke gebied een groot aandeel heeft in de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater (83% voor N en 89% voor P). De berekende uit- en afspoeling vanuit het landelijk gebied is een resultante van achterliggende bronnen (bemesting, kwel, atmosferische depositie, etc.) en verschillende fysisch-geochemische processen. De bijdrage van deze bronnen is bepaald op basis van een nieuwe methode die is ontwikkeld in het kader van de Evaluatie Meststoffenwet 2012 (Groenendijk et al., 2012). In deze methode wordt er rekening mee gehouden dat de bronsterkte (bemesting, depositie, kwel) invloed heeft op de omzettingsprocessen in de bodem en de gewasopname en deze processen elkaar ook onderling beïnvloeden.

Voordeel van de nieuwe methode is de mogelijkheid om de bijdrage van de historische mestgift, de actuele mestgift, natuurlijke kwel en de natuurlijke levering door de bodem aan de uit- en afspoeling afzonderlijk af te leiden, waardoor een beter onderscheid gemaakt kan worden in de bijdrage van natuurlijke en antropogene bronnen aan de belasting van het oppervlaktewater. Daarnaast wordt de meest recente kennis met betrekking tot de uit- en afspoeling vanuit landbouw- en natuurgronden meegenomen.

De nutriëntenbronnen zijn vervolgens onderverdeeld in antropogeen en natuurlijk (tabel C). De indeling in natuurlijk of antropogeen is in overleg met de Nutriëntenwerkgroep Rijn-West vastgesteld (Schipper et al., 2012). De bijdrage van de natuurlijke bronnen aan de stikstof- en fosforbelasting is 40% voor N en 43% voor P. Deze natuurlijke belasting is voornamelijk afkomstig van mineralisatie e.a. omzettingsprocessen in de bodem die de geogeen aanwezige nutriënten in de bodem vrijmaken (stikstof en fosfor), atmosferische depositie (alleen voor N) en kwel (voornamelijk voor P).

De bijdrage van de antropogene bronnen is 60% voor N en 57% voor P en vooral afkomstig van de actuele bemesting (47% voor N en 36% voor P). Voor fosfor is ook de bijdrage van de historische bemesting van belang (14%).

Tabel C

Areaal gewogen relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater voor deelgebied Westerkogge, uitgesplitst in antropogeen en natuurlijk.

Categorie		Areaal gewogen gemiddelde relatieve bijdrage (%)	
		Stikstof	Fosfor
Antropogeen	Actuele bemesting	47	36
	Historische bemesting	2,7	14
	Landbouw overig	3,3	2,1
	Industriële lozingen	0,0	0,0
	Overige bronnen	2,9	1,5
	Inlaat	4,2	3,2
	Totaal antropogeen	60	57
Natuurlijk	Bodem (geogeen)	25	26
	Infiltratiewater	1,1	2,8
	Atmosferische depositie	7,0	-
	Kwel	4,3	12
	Natuur	2,0	2,7
	Totaal natuurlijk	40	43

Theoretische achtergrondconcentratie

Op basis van de verhouding *natuurlijk* versus *antropogeen* en de gemeten nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater is de theoretische achtergrondconcentratie afgeleid (tabel D).
De gemiddelde stikstof- en fosforconcentratie is bepaald op basis van metingen in het oppervlaktewater voor meetpunten die representatief worden geacht voor de waterkwaliteit in deelgebied Westerkogge voor de periode 2000-2009. Hierbij moet opgemerkt worden dat de meetpunten met de code MM42 niet zijn meegenomen omdat dit geheel of grotendeels geïsoleerde bijzondere meetpunten zijn, afkomstig van een specifiek project rond natuurontwikkeling in het verleden. De afgeleide theoretische achtergrondconcentratie van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater in deelgebied Westerkogge is voor stikstof 1,55 mg/l N en voor fosfor 0,39 mg/l P.

Tabel D

Theoretische achtergrondconcentraties van stikstof- en fosfor in het oppervlaktewater in deelgebied Westerkogge op basis van de gemiddelde gemeten nutriëntenconcentraties en de relatieve bijdrage van de natuurlijke nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater.

Westerkogge	Stikstof	Fosfor
Gemiddelde concentratie in het oppervlaktewater (mg/l)	3,92	0,91
Relatieve bijdrage natuurlijke bronnen (%)	40	43
Theoretische achtergrondconcentratie (mg/l)	1,55	0,39

Door de heterogeniteit van deelgebied Westerkogge wat betreft landgebruik, bodemopbouw, hydrologische toestand, etc. is de bijdrage van de natuurlijke bronnen niet één waarde, maar heeft een bandbreedte. De bandbreedte is in bovenstaande tabel niet weergegeven.

De bandbreedte als gevolg van de heterogeniteit van het gebied zegt niets over de onzekerheden van de gegeven waarden. Factoren die onzekerheden veroorzaken zijn:

- de kwaliteit en nauwkeurigheid van de metingen, zowel waterkwaliteit als waterafvoeren;
- de kwaliteit, de nauwkeurigheid en representativiteit van de waterbalans;
- de kwaliteit, de nauwkeurigheid en representativiteit van de dataverzameling die achter de schattingen zitten van de verschillende emissiebronnen (Emissieregistratie, STONE-berekeningen);
- onzekerheden die samenhangen met het bepalen van de herkomst van bronnen voor de uit- en afspoeling.

In deze studie is geen onzekerheidsanalyse uitgevoerd waardoor de bandbreedte als gevolg van deze onzekerheden niet gekwantificeerd zijn.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De Kaderrichtlijn Water (2000/60/EC; KRW) heeft als belangrijkste doel de kwaliteit van watersystemen te beschermen en waar nodig te verbeteren. De ecologische doelstellingen worden door de waterbeheerders zelf afgeleid. Het is van belang dat de bijbehorende nutriëntennormen goed onderbouwd zijn. Daartoe worden door het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) verschillende onderzoeken uitgevoerd. Het afleiden van de theoretische achtergrondconcentraties en het herleiden naar de bron voor stikstof en fosfor van het oppervlaktewater in het beheergebied van HHNK past hierbinnen. Dit levert de noodzakelijke basisinformatie waarmee de KRW-doelstellingen kunnen worden afgeleid en keuzes voor maatregelen beter kunnen worden onderbouwd.

De stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater in het beheergebied van HHNK zijn te hoog om aan de huidige landelijke doelstellingen van de KRW te kunnen voldoen. Als gevolg daarvan zijn grote inspanningen voorzien voor het terugdringen van de belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor. Voor een goede onderbouwing van de gewenste nutriëntendoelen (Goede Ecologische Potentieel, GEP-waarden) enerzijds en het juist schatten van de effectiviteit van maatregelen anderzijds, is het van belang om inzicht te krijgen in de bijdragen van verschillende emissiebronnen aan de stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater.

In 2010 heeft Alterra Wageningen UR, gezamenlijk met het Hoogheemraadschap een onderzoekstraject ontwikkeld waarmee het mogelijk is om op basis van water- en nutriëntenbalansen de theoretische achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor in het oppervlaktewater af te leiden. Het onderzoekstraject is onderverdeeld in verschillende fases (tabel 1).

Tabel 1
Overzicht van de fases in het onderzoekstraject.

Fase	Omschrijving
Pilotfase	Ontwikkeling methodiek voor afleiden van de theoretische achtergrondconcentraties voor de Wieringermeer
Fase 1	Verdere ontwikkeling methodiek; Afleiden theoretische achtergrondconcentraties voor 16 deelgebieden
Fase 2	Afleiden theoretische achtergrondconcentraties voor 26 deelgebieden
Fase 3	Ontwikkeling methodiek voor afleiden van de theoretische achtergrondconcentraties voor de boezemsystemen

In de pilotfase is een methodiek ontwikkeld waarmee met modelberekeningen, metingen en bestaande emissiedata een water- en nutriëntenbalans kan worden opgesteld. Vervolgens is op basis van de bijdrage van verschillende emissiebronnen de theoretische achtergrondconcentratie afgeleid. De resultaten van deze pilot zijn beschreven in Alterra-rapport 2199 getiteld: *Achtergrondbelasting van waterlichamen met stikstof en fosfor in het beheergebied van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, deel 1. Wieringermeer* (Van Boekel en Massop, 2011).

De methodiek voor de bepaling welke nutriëntenbronnen antropogeen dan wel natuurlijk zijn is verder aangescherpt in 2012 (Schipper et al., 2012). Daarnaast is ervoor gekozen om de herkomst van bronnen te bepalen op basis van een nieuwe methode die is ontwikkeld in het kader van de Evaluatie Meststoffenwet 2012 (Groenendijk et al., 2012).

Voordeel van de nieuwe methode is de mogelijkheid om de bijdrage van de historische mestgift, de actuele mestgift, natuurlijke kwel en de natuurlijke levering door de bodem aan de uit- en afspoeling afzonderlijk af te leiden, waardoor een beter onderscheid gemaakt kan worden in de bijdrage van natuurlijke en antropogene bronnen aan de belasting van het oppervlaktewater. Daarnaast wordt de meest recente kennis met betrekking tot de uit- en afspoeling vanuit landbouw- en natuurgronden meegenomen.

Op basis van de uitgangspunten (fasering, gebiedsindeling, methodische keuzes) is de methodiek uit de pilotfase verder aangescherpt en toegepast voor 16 deelgebieden, fase 1. In fase 2 van het onderzoek zijn de theoretische achtergrondconcentraties van stikstof en fosfor voor nog eens 26 deelgebieden afgeleid, waarmee een overzicht is verkregen voor het overgrote deel van het beheergebied.

Een aantal waterlichamen ligt in de boezem of in het duingebied. Van deze systemen is het niet mogelijk om water- en nutriëntenbalansen op te stellen conform de werkwijze in fase 1 en fase 2 en moet een alternatieve aanpak worden ontwikkeld (fase 3). Dit zal verder worden uitgewerkt tijdens de uitvoering van fase 2.

Aan het einde van het onderzoekstraject zijn de theoretische achtergrondconcentraties van stikstof en fosfor voor alle gebieden in kaart gebracht. De resultaten en conclusies van alle afwateringseenheden worden samengevat in het hoofdrapport (Van Boekel et al., in voorbereiding). In het hoofdrapport zal ook een uitgebreidere beschrijving van de methodiek worden gegeven. In het voor u liggende deelrapport worden de resultaten en conclusies voor deelgebied Westerkogge beschreven.

1.2 Projectdoelstelling

De kennisvragen waar in dit rapport een antwoord op wordt gegeven zijn:

- Welke bronnen van nutriënten in deelgebied Westerkogge dragen significant bij aan de belasting van het oppervlaktewater?
- Welk deel van deze bronnen kan worden toegeschreven aan antropogene bronnen en welk deel kan worden toegeschreven aan de gebiedseigen achtergrondbelasting?
- Wat is, gegeven het aandeel van de natuurlijke bronnen en de gemeten nutriëntenconcentraties in de periode 2000-2009, de theoretische achtergrondconcentratie van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater in deelgebied Westerkogge?

1.3 Leeswijzer

Het studiegebied en de methodiek voor het afleiden van de theoretische achtergrondconcentraties van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater in deelgebied Westerkogge zijn beschreven in hoofdstuk 2 en hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 zijn de resultaten van de verschillende onderdelen in het onderzoek gerapporteerd. De conclusies komen in hoofdstuk 5 aan de orde. De discussiepunten met betrekking tot de methodiek worden in dit deelrapport niet behandeld, maar worden in het hoofdrapport beschreven.

2 Studiegebied Westerkogge

Het beheergebied van HHNK ligt in het lage deel van Nederland dat wordt gekenmerkt door de vele polders en droogmakerijen. De polders liggen als gevolg van veenafgravingen, maaivelddaling en zeespiegelrijzing beneden zeeniveau, het waterpeil wordt door bemaling gereguleerd. Het waterbeheer is over het algemeen gericht op het handhaven van een streefpeil. Het overtollige water wordt via de gemalen uitgeslagen (meestal in de winter), water wordt ingelaten vanuit een boezemsysteem (vaak in de zomer). Inlaat vindt plaats voor peilhandhaving en kwaliteitsverbetering (bestrijding algenbloei en verzilting). In Noord-Holland liggen veel 'oude' polders relatief hoog, dit zijn grotendeels veenweidegebieden. Daaromheen liggen de diepere droogmakerijen, ontstaan door droogmaking van meren (door veenwinning voor de turfwinning en afslag). De diepe droogmakerijen zijn vaak kwelgebieden, in de veenweidegebieden vindt veelal wegzijging plaats.

Het laag gelegen land van West-Friesland werd door dijken beschermd tegen hoge vloeden. Sinds het midden van de dertiende eeuw vormden diverse dijken een aaneengesloten ring om West-Friesland, die bekend kwam te staan als de Westfriese Omringdijk. Anders dan tegenwoordig lag al het land nog boven de zeespiegel en kon de afwatering van het land op de zee en de binnenmeren (Beemster, Schermer, Heerhugowaard) op natuurlijke wijze plaatsvinden. De techniek van bemaling werd pas sinds de vijftiende eeuw toegepast, toen het land door de voortdurende inklinking van het veen zo laag kwam te liggen dat afwatering op natuurlijke wijze steeds moeilijker werd. De dijken, lage dijken van wier en aarde, waren bedoeld als laatste barrière tegen hoge vloeden en lagen niet direct aan het water. West-Friesland was oorspronkelijk opgesplitst in vier ambachten, nl Schager en Niedorperkoggen, Vier-Noorderkoggen, Geestmerambacht en Drechterland. Drechterland was is 1350 opgesplitst in vier koggen, nl Oosterkogge, Zuiderkogge, Middelkogge en Westerkogge of Veenhoop. Westerkogge bestond in 1350 uit de bannen Hoorn, Dampten, Berkhout, Scharwoude, Grosthuizen, Oudendijk, Avenhorn. De storm van januari 1916, die op diverse plaatsen rond de Zuiderzee tot overstromingen leidde en bijna een dijkdoorbraak te Andijk veroorzaakte, betekende het einde van het beheer van de Westfriese Omringdijk door de ambachten van West-Friesland. In 1921 werd daarvoor het Hoogheemraadschap Noord-Hollands Noorderkwartier opgericht. In 1948 werden de bannen in Drechterland opgeheven en ging hun taak over op de binnen Drechterland gelegen polders. In 1 januari 1973 werden de ambachten Drechterland en de Vier Noorder Koggen met de inliggende polders samengevoegd tot het Waterschap West-Friesland. In 2002 ging waterschap West-Friesland op in het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.
Binnen deelgebied Westerkogge ligt een deel van de stad Hoorn en verder de dorpen Scharwoude, Oudendijk, Avenhorn, Grosthuizen, De Goorn, Berkhout, Spierdijk, Zandwerven, Noordermeer, Baarsdorpermeer, Zuidermeer en Bobeldijk.

Beschrijving watersysteem
Deelgebied Westerkogge is opgedeeld in 21 peilgebieden. De waterpeilen van de bemalingseenheid variëren van NAP -4.65 m tot NAP -1.00 m. In het gebied liggen enkele onderbemalingen die ca. 1% van het oppervlak beslaan.

De bemalingseenheid wordt bemalen door één gemaal, gemaal Westerkogge, in het zuidoosten van de bemalingseenheid en uitgeslagen op het Markermeer vanuit twee hoofdwatergangen met respectievelijk een peil van NAP -3.15 en van NAP -4,20 m. Wateraanvoer voor peilhandhaving in de zomer en bescherming funderingen kan plaatsvinden via diverse inlaten:

- Hoofdinlaat, inlaat Westerkogge, in het oosten van de bemalingseenheid laat water in vanuit het Markermeer.
- Water uit de Achterkogge kan worden ingelaten via een aantal duikers en een stuw in het westen en noorden van de bemalingseenheid.
- In het noordoosten van de Westerkogge is een verbinding met afwateringseenheid De Vier Noorderkoggen.



Figuur 1 *Ligging van deelgebied Westerkogge in het beheergebied van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.*

Grondgebruik

Westerkogge bestaat voor 80% uit landelijk gebied, voor 5% uit water en voor 15% uit stedelijk gebied (Bron LGN6). Het landelijk gebied bestaat voor 75% uit grasland en 18% uit akkerbouw. De percentages mais en natuur zijn resp. 5% en 3%.

Bodem en geologie

Tot aan het begin van de bedijkingen in de vroege middeleeuwen had de zee in het gebied vrij spel. In de loop van duizenden jaren werden periode met hoge zeewaterstanden afgewisseld door tijden dat het land droog viel en plantengroei mogelijk was, hierdoor ontstond een afwisseling van zeeklei en (laag)veen. De ondergrond van de bemalingseenheid Westerkogge bestaat uit een enkele honderden meters dik pakket. Dit pakket bestaat uit een aantal watervoerende grofzandige lagen, al dan niet gescheiden door voor water weinig doorlatende of ondoorlatende (klei)lagen. Dit hydrologische pakket wordt aan de onderkant begrensd door een ondoorlatend veronderstelde kleilaag: de hydrologische basis. Aan de bovenkant bevindt zich een afdekkend pakket. Kenmerkend voor het gebied is de buitengewoon gelijkmatige opbouw van dit afdekkend pakket, die praktisch overal uit een metersdikke laag van zavel en klei bestaat, waarvan zware klei in de bovenste 2 a 3 meter. Dit afdekkende pakket is gevormd in het Holoceen en behoort tot de Westlandformatie, voornamelijk afzettingen van Calais. Op de geologische kaart wordt het bemalingsgebied Westerkogge dan ook aangegeven met afzettingen van Calais IV op oudere afzettingen van Calais.

Binnen de bemalingseenheid liggen zeeklei-, dikke eerdgronden, moerige gronden, veengronden en vaaggronden. De zeekleigronden kunnen worden opgesplitst in eerdgronden en vaaggronden. De eerdgronden betreffen tochteerdgronden in het midden en westen van de bemalingseenheid, liedeerdgrond en leek-/woudeerdgronden in de Baarsdorpermeer. In het buitendijkse gebied in het zuidoosten liggen drechtvaaggronden of nesvaaggronden.

Dikke eerdgronden liggen in het middel van het gebied nabij Berkhout en worden aangeduid als tuineerdgronden. Moerige gronden liggen verspreid door de bemalingseenheid en zijn geclassificeerd als moerige eerdgronden en tochteerdgronden. In het noordoosten van de bemalingseenheid ligt een venig gebied met bodemtype koopveengrond.

3 Methodiek

3.1 Inleiding en stappenplan

Voor het afleiden van theoretische achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor is een methodiek ontwikkeld die uit verschillende stappen bestaat (tabel 2). In hoofdstuk 3 worden de verschillende stappen nader toegelicht, waarna in hoofdstuk 4 de resultaten worden gegeven, met uitzondering van stap 4 (plausibiliteit). Voor een uitgebreidere beschrijving van de methodiek voor de verschillende onderdelen, de resultaten van de plausibiliteitstoets en bijbehorende discussiepunten wordt verwezen naar het hoofdrapport (Van Boekel et al., in voorbereiding).

Tabel 2

Overzicht van de stappen bij het afleiden van de theoretische achtergrondconcentraties.

Proces	Werkzaamheden
Stap 1: Waterbalans	I Vaststellen gebiedsindeling II Opstellen waterbalans
Stap 2: Dataverzameling en gebiedsindeling	I Verzamelen en analyseren meetgegevens
Stap 3: Emissies/nutriëntenbalansen	I Analyse studiegebied II Herschikking STONE-plots III Opstellen nutriëntenbalans, inclusief vaststellen retentie IV Regionalisatie nutriëntenbelasting uit- en afspoeling
Stap 4: Plausibiliteit [1]	I Plausibiliteit nutriëntenbalans
Stap 5: Achtergrondconcentraties	I Bepalen herkomst nutriëntenbelasting II Afleiden theoretische achtergrondconcentratie

1) Met plausibiliteit wordt bedoeld de vergelijking tussen in het veld gemeten waarden en de resultaten van de modellen en berekeningen. De resultaten van de plausibiliteit van de nutriëntenbalansen worden niet per deelgebied besproken, maar worden in het hoofdrapport in haar totaliteit besproken.

3.2 Stap 1: Opstellen waterbalans

De waterbalans voor deelgebied Westerkogge is opgesteld door HHNK. De balans is opgebouwd in een waterbalansapplicatie die is ontwikkeld voor HHNK en Waternet waarin de waterbalans elke dag geactualiseerd wordt met de nieuwste meetgegevens van gemaalafvoer, verdamping en neerslag. Hieronder worden een aantal uitgangspunten en de werkwijze verder toegelicht. Voor een uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar het hoofdrapport (Van Boekel et al., in voorbereiding) en naar de Gebruikershandleiding VSS; Nelen en Schuurmans rapport M0131 (STOWA, 2012).

Gebiedsbegrenzing

De begrenzing van de KRW-afwateringseenheden is vastgelegd in het GAF90 bestand (http://krwportaal.nl/portaal/). Deze gebieden zijn opgebouwd uit kleinere deelafvoergebieden die zijn opgenomen in het GAF70 bestand (http://krwportaal.nl/portaal/). De GAF70-eenheden zijn soms erg klein (tot 2,2 ha) en het zijn niet altijd op zich staande hydrologische grenzen. Deze eenheid leent zich daarom niet altijd goed voor het opstellen van een waterbalans.

In de meeste gevallen zijn de GAF70 grenzen aangehouden voor het opstellen van de waterbalans, zo ook voor Westerkogge. In sommige andere gevallen zijn de GAF70 gebieden geclusterd tot één waterbalansgebied, afhankelijk van het watersysteem in het gebied. De resulterende begrenzing en inliggende KRW-afwateringseenheden voor deelgebied Westerkogge zijn weergegeven in figuur 2.



Figuur 2 *Gebiedsbegrenzing voor deelgebied Westerkogge op basis van het GAF70-bestand.*

Balansperiode

Voor de waterbalansen is het wenselijk om een langjarige reeks te hebben zodat zowel droge, gemiddelde als natte jaren in de balans zijn opgenomen. Op deze manier kan het waterbeheer in de polder beter worden vastgesteld en worden trends in beheer of gebiedsontwikkeling zichtbaar.
De waterbalans wordt opgesteld voor de periode 2000-2010 om de volgende redenen:

- groot aantal aaneengesloten jaren waarin trends zichtbaar kunnen zijn;
- beheer in die periode is in veel gevallen uitgevoerd door de huidige peilbeheerder;
- gegevens over het grondgebruik in de gebieden zijn nog relatief onveranderd;
- beste beschikbaarheid van de meetgegevens;
- naar verwachting zijn dit voldoende jaren om betrouwbare uitspraken te kunnen doen.

Omdat de nutriëntenbalansen alleen opgesteld kunnen worden voor de periode 2000-2009 en niet voor 2010 worden de resultaten van de waterbalans voor de periode 2000-2009 weergegeven.

Balanstermen

De waterbalans bestaat uit verschillende balanstermen (tabel 3).

Tabel 3

Overzicht van de waterbalanstermen.

	Balansterm	Bron	Aanvullende informatie
Inkomende termen	Neerslag	KNMI-gegevens	Meteostations
	Kwel	Grondwatermodel van Acacia	Inclusief grondwateronttrekkingen
	Inlaat	Waterbalansapplicatie HHNK	Op basis van peilhandhaving en doorspoeling
	Gasbronnen	Regionale studie 1982	Indien aanwezig
Uitgaande termen	Lozingen/ onttrekking	Waterbalansapplicatie HHNK	Afvoer naar RWZI (verhard oppervlak)
	Verdamping	KNMI-gegevens	Meteostations
	Wegzijging	Grondwatermodel van Acacia	Inclusief grondwateronttrekkingen
	Uitlaat	Gemaalafvoer	

Neerslag

Voor het bepalen van de hoeveelheid neerslag is gebruik gemaakt van de neerslagdata van de KNMI neerslagstations. In de buurt van een waterbalansgebied zullen in de meeste gevallen meerdere neerslagstations liggen. Er wordt echter maar één neerslagstation aan een gebied toegekend. Met behulp van Thiessenpolygonen is bepaald welk neerslagstation het grootste aandeel van het waterbalansgebied bestrijkt, die is vervolgens gebruikt voor het hele waterbalansgebied.

Er liggen vier neerslagstations in de omgeving van deelgebied Westerkogge (tabel 4). Voor het opstellen van de waterbalans is gebruik gemaakt van het meteostation Hoorn (NH). De Thiessen polygoon van dit station bestrijkt ca. 78% van het oppervlak.

Tabel 4

Neerslagstations in de buurt van deelgebied Westerkogge.

Neerslagstation		Oppervlak	
		ha	%
222	Hoorn (NH)	3903	78,3
251	West Beemster	460	9,2
257	Hoogwoud	161	3,2
255	Obdam (nieuw)	461	9,3
Totaal		4985	100

Kwel/wegzijging

Voor het hele beheergebied van het hoogheemraadschap zijn twee grondwatermodellen beschikbaar die rekening houden met dichtheidsverschillen door chlorideconcentraties. Het ene grondwatermodel heeft betrekking op het ‘vaste land’ (Velstra et al., 2013.), het andere grondwatermodel is alleen toegepast voor Texel (Witteveen en Bos). Met deze grondwatermodellen is de verticale kwelstroom en gemiddelde chlorideconcentratie op dagbasis bepaald per waterbalansgebied voor de periode 2000-2010. Uit deze reeksen is ook een langjarig daggemiddelde bepaald dat kan worden gebruikt voor de waterbalansen buiten de genoemde periode. Voor deelgebied Westerkogge wordt een gebiedsgemiddelde **kwelflux** van 74 mm/jaar berekend.

Tabel 5

Kwelflux (mm/jaar) in deelgebied Westerkogge zoals deze zijn opgenomen in de waterbalansmodule.

Type oppervlak	Kweldruk (mm/jaar)
Open water	74 (6,9% van de totale kwel)
Overig	74 (93,1% van de totale kwel)
Gebiedsgemiddeld	74

Inlaat

De hoeveelheid ingelaten water is een onbekende balanspost. De inlaatpost is gesplitst in bron voor peilbeheer en doorspoelbeheer. De post inlaat voor peilbeheer wordt door de waterbalans berekend. Als het oppervlaktewaterpeil uitzakt tot onder het minimum wordt water ingelaten. Het inlaatwater voor doorspoeling is geschat als een vast zomerdebiet. Deze post is voor elk jaar apart ingesteld zodat de afvoer uit de waterbalans vergelijkbaar is met de gemeten afvoer in de zomer.

Gasbronnen

In de gebieden kunnen gasbronnen voorkomen (Regionale studie, 1982). Dit zijn natuurlijke of aangelegde wellen waar diep grondwater omhoog borrelt naar het oppervlaktewater. Het gas dat vrijkomt uit het diepe grondwater wordt gewonnen, het opgewelde water wordt vervolgens geloosd op het oppervlaktewater.

In het grondwatermodel van Acacia (zie kopje kwel) zijn deze grondwateronttrekkingen verdisconteerd in de gebiedsgemiddelde kwel. Gasbronnen zijn daarom niet als aparte post meegenomen.

Lozingen

In deelgebied Westerkogge wordt geen effluent van rwzi's geloosd en er zijn volgens de gebruikte gegevens ook geen andere puntbronnen aanwezig/bekend die een significante bijdrage leveren aan de waterbalans. Dit wil echter niet zeggen dat de bijdrage van (punt)lozingen aan de stoffenbalans (paragraaf 3.4) ook gelijk aan nul moet worden gesteld, omdat bij het opstellen van de stoffenbalans gebruik gemaakt wordt van een andere bron, namelijk de Emissieregistratie.

Verdamping

Voor verdamping zijn de gegevens van de volgende drie KNMI-stations beschikbaar:

- Berkhout (vanaf maart 1999);
- Wijk aan Zee (vanaf mei 2001);
- De Kooy (vanaf november 1964).

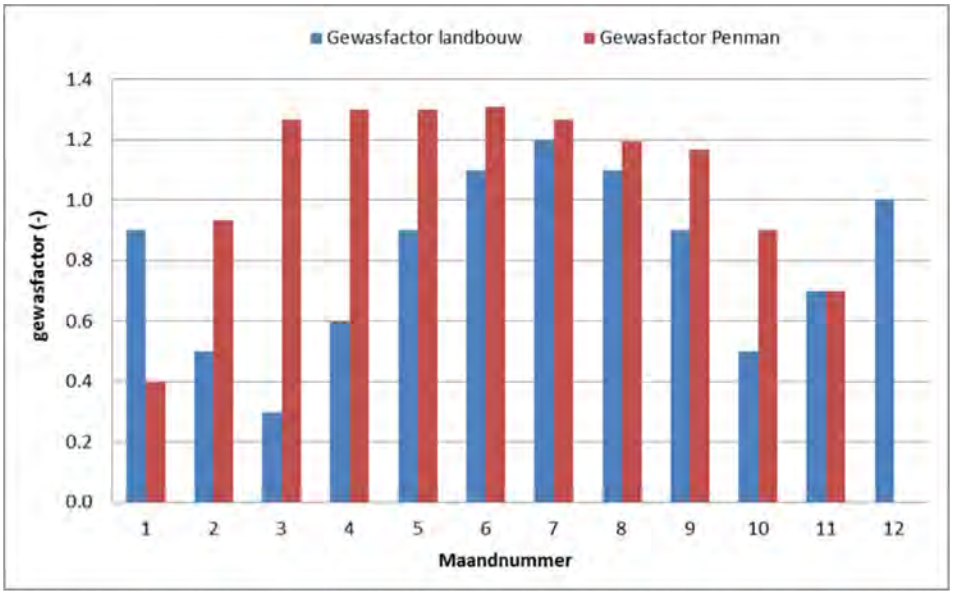
Uit de analyse voor de periode 2002 t/m 2010 is gebleken dat de verdampingshoeveelheden tussen de stations structureel lijken te verschillen. Op jaarbasis is de verdamping voor station De Kooy het grootst, op de voet gevolgd door Wijk aan zee, de verdamping voor station Berkhout is het laagst:

- De Kooy: ➔ 626 mm/jaar;
- Wijk aan Zee: ➔ 619 mm/jaar;
- Berkhout: ➔ 603 mm/jaar.

Deze getallen laten zien dat de jaarlijkse verdamping aan de kust hoger is dan meer landinwaarts. Dit komt overeen met studies naar de ruimtelijke verdeling van verdamping in Noord-Holland (http://www.klimaatatlas.nl/klimaatatlas.php). Omdat de verdamping voor station Wijk aan Zee niet voor de gehele balansperiode beschikbaar is, is dit station niet in deze studie meegenomen.

Het beheergebied van HHNK is conform deze gedachte ingedeeld in twee zones waaraan de verdampingsdata van de Kooy of Berkhout is gekoppeld. Aan elk GAF90 gebied is één van beide verdampingsreeksen toegewezen.

Voor het bepalen van de verdamping in deelgebied Westerkogge is gebruik gemaakt van het KNMI-station Berkhout. De KNMI verdampingsdata is de referentie gewasverdamping, de potentiële verdamping voor kort gras. Ander grondgebruik zal een andere potentiële verdamping hebben. In de waterbalans is rekening gehouden met twee onderscheidende typen grondgebruik waarvan de potentiële verdamping via de volgende gewasfactoren is afgeleid van de referentie gewasverdamping (figuur 3).



Figuur 3 *Gewasfactoren voor de omrekening van de referentie gewasverdamping naar de potentiële verdamping van open water (Penman) en landbouwgewassen.*

In de waterbalans wordt bij klein bodemvochtvolumes een verdampingsreductie toegepast zodat met de zogenoemde actuele verdamping wordt gerekend. Voor verharde oppervlakken wordt er rekening mee gehouden dat de verdamping beperkt is tot de berging op de straat.

Uitlaat
In tegenstelling tot de hoeveelheid inlaatwater zijn voor de meeste afwateringseenheden wel gemeten afvoeren beschikbaar. Waterbalansgebied Westerkogge wordt bemalen door gemaal Westerkogge. De gemeten waterafvoeren zijn echter niet altijd voor de volledige balansperiode beschikbaar, vaak zitten er 'gaten' in de meetreeks, of is de afvoer nul terwijl er wel een debiet zou moeten zijn. Bij het opstellen van de waterbalans is dan ook gebruikt gemaakt van de berekende afvoeren. Bijkomend voordeel is dat de berekende afvoer in 'balans' is met de opgelegde kwelflux plus de berekende inlaathoeveelheden in de waterbalansmodule.

Kalibratie
De begrenzing van de waterbalansgebieden is, indien mogelijk, een afgebakende bemalingseenheid, zodat per gebied een maalstaat (gemeten afvoer) beschikbaar is voor de kalibratie van de waterbalans. De waterbalans is gekalibreerd op de beschikbare meetgegevens van de afvoer en chloride.

De volgende onderstaande factoren zijn hierbij relevant geacht voor het kalibreren van de balans:
- inlaat;
- bodemparameters;
  - bergingscoëfficiënt bodem;
  - drainageweerstand onverhard gebied ➔ water;
  - infiltratieweerstand water ➔ onverhard gebied.

Voor deze factoren is een gevoeligheidsanalyse gedaan op basis waarvan standaard waarden zijn gekozen. De factoren zijn beperkt bijgesteld als dat leidde tot een betere 'fit' van de berekende afvoerflux en de gemeten afvoer bij de gemalen. Voor een uitgebreidere beschrijving van de kalibratie wordt naar het hoofdrapport (van Boekel et al., in voorbereiding) verwezen.

3.3 Stap 2: Dataverzameling en data- analyse

In stap 2 zijn de waterkwantiteit en waterkwaliteitgegevens van het oppervlaktewater in deelgebied Westerkogge verzameld en geanalyseerd. De waterkwaliteitgegevens worden gebruikt voor:
- afleiden van de inkomende vracht via het inlaatwater;
- afleiden van de nutriëntenvracht dat via de gemalen wordt uitgeslagen;
- afleiden van de theoretische achtergrondconcentraties (nader toegelicht in paragraaf 3.6).

Inkomende vracht via inlaatwater
De inkomende vracht wordt bepaald door de hoeveelheid inlaatwater te vermenigvuldigen met de gemeten nutriëntenconcentraties in het inlaatwater. De hoeveelheid inlaatwater is over het algemeen niet goed bekend en is berekend met de waterbalansmodule. Voor de kwaliteit van het inlaatwater zijn representatieve meetlocaties gezocht. Wateraanvoer voor deelgebied Westerkogge vindt plaats via diverse inlaten:
- Hoofdinlaat, inlaat Westerkogge, in het oosten van de bemalingseenheid laat water in vanuit het Markermeer.
- Water uit de Achterkogge kan worden ingelaten via een aantal duikers en een stuw in het westen en noorden van de bemalingseenheid.
- In het noordoosten van de Westerkogge is een verbinding met afwateringseenheid De Vier Noorderkoggen.

Bij het afleiden van de inkomende vracht is, in overleg met het waterschap, gebruik gemaakt van de nutriëntenconcentraties in het Markermeer en de concentraties van de Schermboezem-Zuid (Beemsteruitwatering). Er is geen gebruik gemaakt van de nutriëntenconcentraties vanuit het bemalingseenheid De Vier Noorderkoggen.

De reden hiervoor is dat er geen informatie beschikbaar over de hoeveelheid inlaatwater dat via de verschillende inlaatlocaties wordt aangevoerd (alleen totale hoeveelheid is bekend).
De hoofdinlaat ligt in het oostelijk deel van het gebied waar water vanuit het Markermeer wordt ingelaten, waardoor gekozen is om in ieder geval nutriëntenconcentraties van meetpunten in het Markermeer mee te nemen bij het afleiden van de inkomende vracht.

Uitgaande vracht (voornamelijk) via de gemalen
Het bepalen van de uitgaande vracht gaat op dezelfde wijze als voor de inkomende vracht. De uitgaande vracht wordt berekend door de ***berekende*** waterafvoer te vermenigvuldigen met de ***gemeten*** nutriëntenconcentraties nabij het gemaal. Voor het afleiden van de uitgaande vracht wordt dus **geen** gebruik gemaakt van de gemeten afvoeren.

De nutriëntenconcentraties worden over het algemeen tweewekelijks of maandelijks gemeten. Om de meetreeks te continueren tussen twee metingen is gebruikt gemaakt van lineaire interpolatie. Ook is het mogelijk dat voor de gewenste periode (2000-2009) geen volledige meetreeksen beschikbaar zijn. Wanneer voor een meetlocatie niet een aaneensluitende langere reeks metingen beschikbaar is zijn deze afgeleid van meetpunten waar deze er wel zijn. Dit is gedaan door kwartaalgemiddelden te gebruiken van de bestaande langere meetreeks (zie ook bijlage 3).

3.4 Stap 3: Opstellen nutriëntenbalans

Voor het opstellen van nutriëntenbalansen voor de afwateringseenheden zijn vier onderdelen onderscheiden:
- onderdeel I: analyse studiegebied;
- onderdeel II: herschikking STONE-plots;
- onderdeel III: opstellen nutriëntenbalans;
- onderdeel IV: regionalisatie nutriëntenbelasting uit- en afspoeling.

De onderdelen maken onderdeel uit van het modelinstrumentarium ECHO (Kroes et al., 2011) dat is ontwikkeld om stofbalansen op te stellen voor regionale toepassingen, waarin tevens de betrouwbaarheid van emissies, waaronder de uit- en afspoeling 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 inzicht in de:
- in- en uitgaande nutriëntenvrachten op basis van metingen (debieten en concentraties)
- uit- en afspoeling vanuit landbouw- en natuurbodems (regionale optimalisatie STONE-plots)
- bronnen achter de uit- en afspoeling (aandeel bemesting, kwel, depositie)
- overige punt- en diffuse bronnen uit de Emissieregistratie, aangescherpt met regionale gegevens
- retentie van nutriënten in het oppervlaktewater
- mismatch tussen berekende en uit metingen afgeleide N- en P- vrachten
- onzekerheden in de uit metingen afgeleiden vrachten en in de berekende vrachten

Onderdeel I: analyse studiegebied
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, Wolf et al., 2003).

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, kationenadsorptiecapaciteit (CEC);
- indeling naar overige kenmerken: o.a. meteorologische kenmerken.

Omdat de huidige schematisatie dateert uit 2000 en omdat het een landelijke schematisatie betreft is het mogelijk dat deze niet goed overeenkomt met de regionale of lokale situatie voor deelgebied Westerkogge. Om inzicht te krijgen of er verschillen zijn tussen de regionale of lokale kenmerken van het gebied en de huidige STONE-schematisering is een aantal ruimtelijke kenmerken van deelgebied Westerkogge geanalyseerd.
De volgende kenmerken zijn in ogenschouw genomen:

- landgebruik;
- bodemtype;
- hydrologische toestand.

Voor het huidig landgebruik is gebruik gemaakt van het LGN6-bestand (Hazeu et al., 2010). Het LGN6 bestand onderscheidt 39 landgebruikstypen. Het is een grid-bestand met een ruimtelijke resolutie van 25*25 meter met als referentiejaar 2007/ 2008. In het bestand worden de belangrijkste landbouwgewassen, bos, water, natuur en stedelijke klassen onderscheiden. Voor deze studie zijn de landgebruikstypen geclusterd tot zes landgebruiksvormen: grasland, akkerbouw, maïs, natuur, stedelijk gebied en open water.

Om inzicht te krijgen in de verschillen in bodemtype is gebruik gemaakt van de 1:50.000 bodemkaart. Een veel gebruikte indeling voor het clusteren van de eenheden van de bodemkaart is de indeling naar bodemopbouw. Deze indeling wordt ook wel de PAWN-indeling genoemd. (Wösten et al., 1988) en onderscheidt naar bodemopbouw 21 verschillende eenheden.
De 1:50.000 bodemkaart wordt ook gebruikt om informatie te krijgen over de diepte en fluctuatie van het grondwater (Vries et al., 2003). In de bodemkaart worden deze weergegeven met Gt-klassen (tabel 6).

Tabel 6
Overzicht van grondwatertrappenindeling voor de Bodemkaart van Nederland 1:50.000.

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

De grondwatertrappen zijn op basis van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) geclusterd in drie groepen:

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

Onderdeel II: herschikking STONE-plots (ECHO)
Op basis van de resultaten uit onderdeel I wordt een zodanige ruimtelijke herverdeling gemaakt van de STONE-plots dat deze beter aansluiten bij het landgebruik, bodemtype en hydrologische toestand (waaronder kwel) van het deelgebied.

Dit wordt bewerkstelligd door rekenplots uit 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. Voor een uitgebreide beschrijving van de werkwijze bij het herschikken van de STONE-plots wordt verwezen naar het hoofdrapport (Van Boekel et al., in voorbereiding).

Onderdeel III: opstellen nutriëntenbalans
Tabel 7 geeft een overzicht van de (belangrijkste) balanstermen en bijbehorende informatiebronnen die bij het opstellen van een nutriëntenbalans zijn gehanteerd. De nutriëntenbalansen zijn opgesteld voor de periode 2000-2009. De nutriëntenbelasting voor het jaar 2010 is niet opgesteld, omdat de data uit de EmissieRegistratie, die Alterra heeft gebruikt, alleen de belasting tot 2009 weergeeft. Vervolgens zijn de verschillende balanstermen kort toegelicht. Het bepalen van de inkomende vracht via inlaatwater en de uitgaande vracht via de gemalen is in paragraaf 3.3 al behandeld.

Tabel 7

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

Balanstermen	Bron
Uit- en afspoeling	STONE (versie 2.4)
Landbouw overig [1]	Emissieregistratie (versie 2009)
Atmosferische depositie [2]	
Rwzi's	
Industriële lozingen	
Overige bronnen [3]	
Inkomende vracht via inlaatwater	Nutriëntenconcentraties Markermeer/Schemerboezem
	Inlaathoeveelheden op basis van de waterbalans
Directe kwel naar het oppervlaktewater [4]	Kwelconcentraties uit STONE 2.4
	Kwelflux op basis van de waterbalans
Gasbronnen	Regionale studie, 1982
Retentie in het oppervlaktewater	Alterra (EMW, 2012, Van Boekel et al., 2012)
Uitgaande vracht via gemalen	Nutriëntenconcentraties in het studiegebied
	afvoeren op basis van de waterbalans

1 landbouw overig: meemesten sloten, glastuinbouw, overige landbouwemissies.

2 dit betreft **alleen** de depositie op open water. De atmosferische depositie op het land zit verdisconteerd in de uit- en afspoeling.

3 overige bronnen: huishoudelijke, ongerioleerde lozingen, verkeer, vervoer, etc.

4 dit betreft **alleen** de directe kwel naar open water. De kwel onder landbouw en natuurgronden zit verdisconteerd in de uit- en afspoeling.

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 berekenen van de uit- en afspoeling voor deelgebied Westerkogge worden drie stappen onderscheiden:

1. berekeningen van de uit- en afspoeling op basis van de huidige STONE-schematisatie;
2. berekeningen van de uit- en afspoeling op basis van een nieuwe STONE-schematisatie waarbij STONE-plots zijn geselecteerd die beter overeenkomen met het landgebruik, bodemtype en hydrologische toestand voor deelgebied Westerkogge (Onderdeel II, herschikking);
3. berekeningen van de uit- en afspoeling met nieuwe STONE-plots die zijn aangemaakt op basis van regionale data, waaronder de kwelflux en kwelconcentraties (Onderdeel IV).

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

Directe kwel

Voor het schatten van de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater via de directe kwel is informatie over het areaal open water, de kwel of wegzijgingsflux en de kwelconcentraties noodzakelijk. Voor het schatten van het areaal open water en de gebiedsgemiddelde kwel- of wegzijgingsflux wordt gebruik gemaakt van de gegevens uit de waterbalansmodule. Voor de nutriënten zijn de concentraties overgenomen die in STONE 2.4 zijn gebruikt.

Gasbronnen

Gasbronnen zijn niet apart meegenomen bij het opstellen van de nutriëntenbalans. Het effect van de gasbronnen is verdisconteerd in de c-waarde en daarmee in de kwel.

Retentie

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

De retentie is 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.
- Voor de fosforretentie in poldersystemen en de stikstofretentie in zandige polders zijn dezelfde retentiefactoren aangehouden die zijn gehanteerd bij de evaluatie van de Meststoffenwet (Van Boekel et al., 2012). Voor de uit- en afspoeling is een vaste retentiefactor gebruikt van 0,5 en voor de andere bronnen is een vaste retentiefactor van 0,2 aangehouden.

De grootte van deze retentieprocessen is afgeleid uit metingen (PLONS-project, www.plons.wur.nl). In bijlage 1 is aangegeven op welke wijze de retentie is geschat voor poldersystemen. Op basis van de eigenschappen van de polders is de capaciteit van het oppervlaktewatersysteem bepaald om stikstof vast te leggen, uitgedrukt in gram per m^2 waterbodem. De zo berekende absolute stikstofretentie is van toepassing voor alle nutriëntenbronnen in de polder (tabel 8). Voor een uitgebreidere toelichting bij de vastgestelde retentiewaarden wordt naar bijlage 1 en het hoofdrapport verwezen (Van Boekel et al., in voorbereiding)

Tabel 8

Inschatting van de retentie per emissiebron voor deelgebied Westerkogge.

Emissiebron	Stikstof gram / m^2 waterbodem	Fosfor fractie (-)
Uit- en afspoeling	Gebiedsspecifiek	0,5
Landbouw overig [1]		0,2
Atmosferische depositie [2]		0,2
Industriële lozingen		0,2
Overige bronnen [3]		0,2
Inlaat		0,2
Directe kwel [4]		Geen retentie

1 landbouw overig: meemesten sloten, glastuinbouw, overige landbouwemissies.

2 dit betreft **alleen** de depositie op open water. De atmosferische depositie op het land zit verdisconteerd in de uit- en afspoeling.

3 overige bronnen: huishoudelijke, ongerioleerde lozingen, verkeer, vervoer, etc.

4 dit betreft **alleen** de directe kwel naar open water. De kwel onder landbouw en natuurgronden zit verdisconteerd in de uit- en afspoeling.

Onderdeel IV: regionalisatie nutriëntenbelasting via de uit- en afspoeling (stap 4)

In fase 2 van het project 'Monitoring Stroomgebieden' zijn voor vier gebieden nutriëntenbalansen opgesteld (Woestenburg en Van Tol-Leenders, 2011). De plausibiliteit van de nutriëntenbalansen voor de vier stroomgebieden zijn in deze studie in beeld gebracht door gebruik te maken van metingen in het oppervlaktewater. Eén van de belangrijkste aanbevelingen uit deze systeemanalyse is een regionalisatie van de modelinvoer voor het STONE-instrumentarium (Siderius et al., 2007; Kroes et al., 2006; Jansen et al., 2006; Roelsma et al., 2006).

In de studie voor het afleiden van de theoretische achtergrondconcentratie zijn de aanbevelingen uit 'Monitoring Stroomgebieden' overgenomen. Per afwateringseenheid is de uit- en afspoeling van nutriënten opnieuw met STONE (in feite de rekenmodellen SWAP en ANIMO) berekend, waarbij gebiedsspecifieke gegevens worden gebruikt (regionalisatie). Hierbij worden de volgende data in ogenschouw genomen:

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

3.5 Stap 4: Plausibiliteit nutriëntenbalans

De nutriëntenbalans wordt in deze studie als basis gebruikt voor het afleiden van de theoretische achtergrondconcentraties. De plausibiliteit van de nutriëntenbalans kan in beeld worden gebracht door de berekende uitgaande vracht en de uit metingen afgeleide vracht voor deelgebied Westerkogge met elkaar te vergelijken. Het absolute en/of relatieve verschil tussen de berekende en uit metingen afgeleide nutriëntenvracht geeft een indicatie van de zeggingskracht van de uiteindelijke theoretische achtergrondconcentratie. De berekende uitgaande vracht is als volgt berekend (formule 1):

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

Waarin:

- $L_{uit\ berekend}$ gemiddelde (jaarlijkse) berekende uitgaande vracht;
- L_{STONE} de berekende uit- en afspoeling uit het landelijk gebied (STONE 2.4);
- L_{RWZI} belasting van nutriënten uit RWZI's (Emissieregistratie 2009);
- L_{ER} belasting van nutriënten uit industriële bronnen, stedelijk gebied, atmosferische depositie open water, scheepvaart en overige bronnen (Emissieregistratie 2009);
- L_{inlaat} inkomende vracht via inlaatwater;
- L_{kwel} belasting van nutriënten via directe kwel naar oppervlaktewater;

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

De resultaten hiervan worden in dit deelrapport **niet** verder besproken, maar worden in het hoofdrapport (Van Boekel et al., in voorbereiding) beschreven.

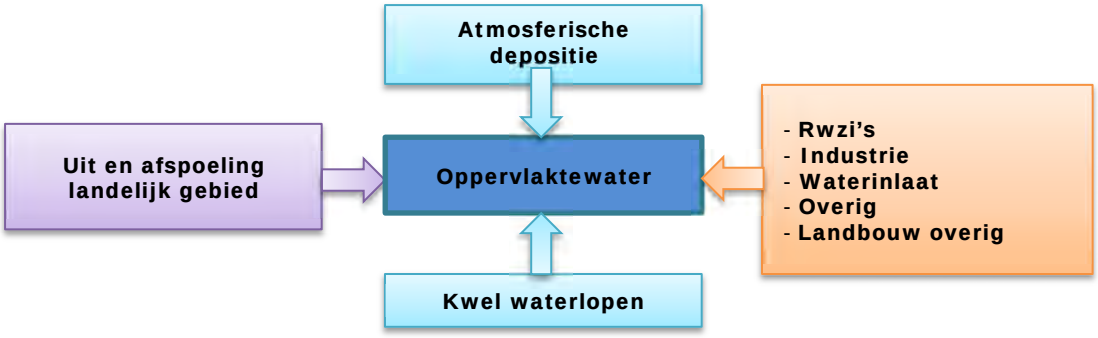
3.6 Stap 5: Afleiden theoretische achtergrond-concentraties

In de vorige paragrafen is de werkwijze toegelicht om tot een plausibele nutriëntenbalans te komen voor deelgebied Westerkogge. Op basis van de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater kan de theoretische achtergrondconcentratie voor stikstof en fosfor worden afgeleid. Met de theoretische achtergrondconcentratie wordt het volgende bedoeld:

De theoretische achtergrondconcentratie is de theoretisch afgeleide stikstof- en fosforconcentratie in het oppervlaktewater die verwacht kan worden indien er alleen sprake is van natuurlijke nutriëntenbronnen en de bijdrage van antropogene bronnen buiten beschouwing worden gelaten.

Herkomst nutriëntenbelasting oppervlaktewater

Op basis van deze definitie is het nodig om de bronnen in te delen in *antropogeen* versus *natuurlijk.* In figuur 4 zijn de **belangrijkste** bronnen/emissieroutes weergegeven die bijdragen aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater.

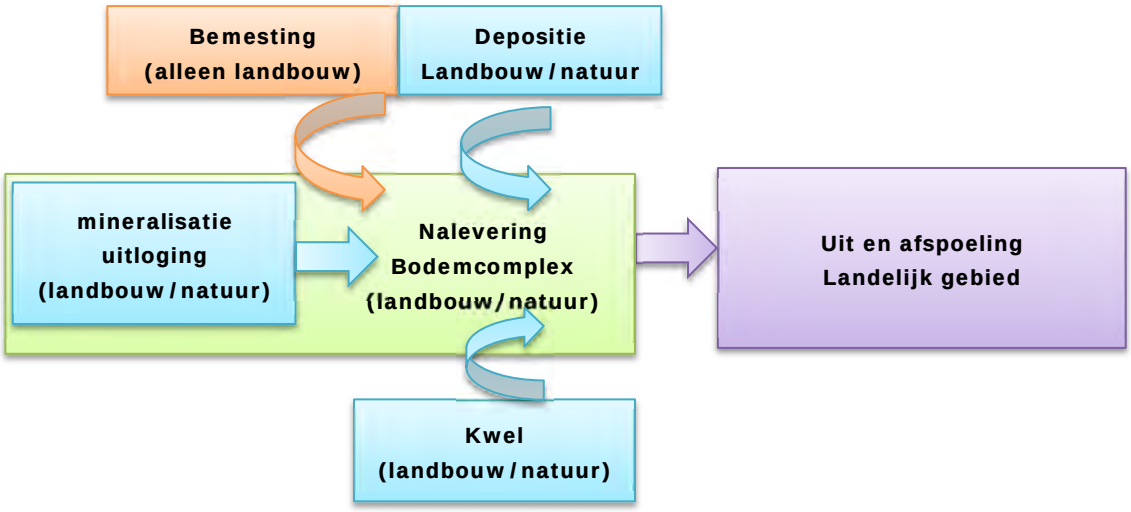


Figuur 4 *Overzicht van de belangrijkste bronnen/emissieroutes naar het oppervlaktewater.*

De herkomst (antropogeen of natuurlijk) van stoffen is duidelijk voor puntbronnen die een antropogene achtergrond hebben (oranje kader), waaronder rwzi's, industriële lozingen, landbouw overig en overige bronnen (huishoudelijk afval, verkeer). Voor waterinlaat is dit een arbitraire aanname, omdat de nutriënten die via het inlaatwater worden aangevoerd ook (deels) een natuurlijke achtergrond kunnen hebben. De atmosferische depositie (open water) en de directe bijdrage van kwel aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater zijn toegekend aan de categorie natuurlijk. Voor atmosferische depositie is dit voor stikstof een arbitraire aanname, omdat de N-depositie voor een belangrijk deel antropogeen is (ammoniakemissies veehouderij, industrie, verkeer, energiecentrales). Atmosferische depositie speelt voor fosfor geen rol. Ook voor kwel kunnen nutriëntenconcentraties hoger zijn dan natuurlijke concentraties door menselijke invloed (lokale bronnen zoals vuilstorten, regionale invloed verzuring en dergelijke).

De uit- en afspoeling kan niet eenvoudig aan één van beide categorieën worden toegekend (paars kader in figuur 4), omdat deze voor zowel voor stikstof als fosfor een resultante is van achterliggende bronnen en verschillende fysisch-geochemische processen (figuur 5). De te onderscheiden achterliggende bronnen zijn:

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



Figuur 5 *Bronnen achter de emissieroute uit- en afspoeling landelijk gebied.*

De ‘aanvoer’ van nutriënten op de bodem vindt plaats via de 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 ook een deel zal worden 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, verwering, 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 en andere omzettings- en vastlegginsprocessen 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 simulatiemodel dat de relatie tussen bron 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). In deze studie is ervoor gekozen om de herkomst van bronnen te bepalen op basis van deze nieuwe methode, omdat hierin de meest recente kennis is verwerkt.

Afleiden theoretische achtergrondconcentratie
Nadat de herkomst van nutriënten voor de uit- en afspoeling is bepaald, kunnen theoretische achtergrondconcentraties worden afgeleid op basis van gemeten nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater (formule 2).

$C_a = C_{gem} * f_{nat}$ waarin: 2)

C_a: de theoretische achtergrondconcentratie;
C_{gem}: de gemiddelde gemeten nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater voor de periode 2000-2009;
f_{nat}: relatieve bijdrage van de natuurlijke nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater voor de periode 2000-2009.

Voor het bepalen van de gemiddelde gemeten stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater worden niet alle meetpunten gebruikt. **Alleen** meetpunten waarvoor metingen beschikbaar zijn in de periode 2000-2009 en die gelegen zijn in deelgebied Westerkogge zijn meegenomen. Voor deelgebied Westerkogge is daarnaast een uitzondering gemaakt. De meetpunten met de code MM42 zijn niet meegenomen omdat dit geheel of grotendeels geïsoleerde bijzondere meetpunten zijn, afkomstig van een specifiek project rond natuurontwikkeling in het verleden.

De relatieve bijdrage van de natuurlijke nutriëntenbronnen is bepaald door gebruik te maken van de indeling die in overleg met de Nutriëntenwerkgroep Rijn-West is vastgesteld (tabel 9) (Schipper et al., 2012). Opgemerkt moet worden dat de indeling voor een aantal onderdelen arbitrair is. Waterinlaat is toegekend aan de categorie antropogeen maar een deel van de nutriënten die via het inlaatwater worden aangevoerd kunnen (deels) een natuurlijke achtergrond hebben. Atmosferische depositie is juist toegekend aan natuurlijk terwijl de N-depositie voor een deel antropogeen is (ammoniakemissies veehouderij, industrie, verkeer, energiecentrales).

Tabel 9

Onderverdeling in antropogene en natuurlijke nutriënten bronnen.

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

1) meemesten sloten, glastuinbouw, erfafspoeling.

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

3) Direct naar open water en indirect via uit- en afspoeling.

4 Resultaten

4.1 Stap 1: Waterbalans

De waterbalans voor deelgebied Westerkogge is door HHNK opgesteld voor de periode 2000-2010, maar het jaar 2010 is niet opgenomen in tabel 10, omdat de belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor t/m 2009 berekend zijn en niet voor het jaar 2010 (zie paragraaf 3.4).

Tabel 10

Waterbalans voor deelgebied Westerkogge voor de periode 2000-2009.

Jaar	Inkomende termen			Uitgaande termen		Bergingsverschil
	Neerslag	Inlaat	Kwel	Verdamping actueel [1]	Uitlaat	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2000	1010	92	73	456	732	-13,0
2001	987	92	73	480	670	2,6
2002	933	92	74	459	633	6,8
2003	683	92	76	481	381	-10,9
2004	936	92	73	455	651	-4,9
2005	890	92	72	476	578	0,3
2006	859	92	73	474	552	-2,3
2007	965	92	73	480	654	-4,0
2008	874	92	76	477	567	-1,3
2009	749	92	73	482	422	11,0
Gem	889	92	74	472	584	1

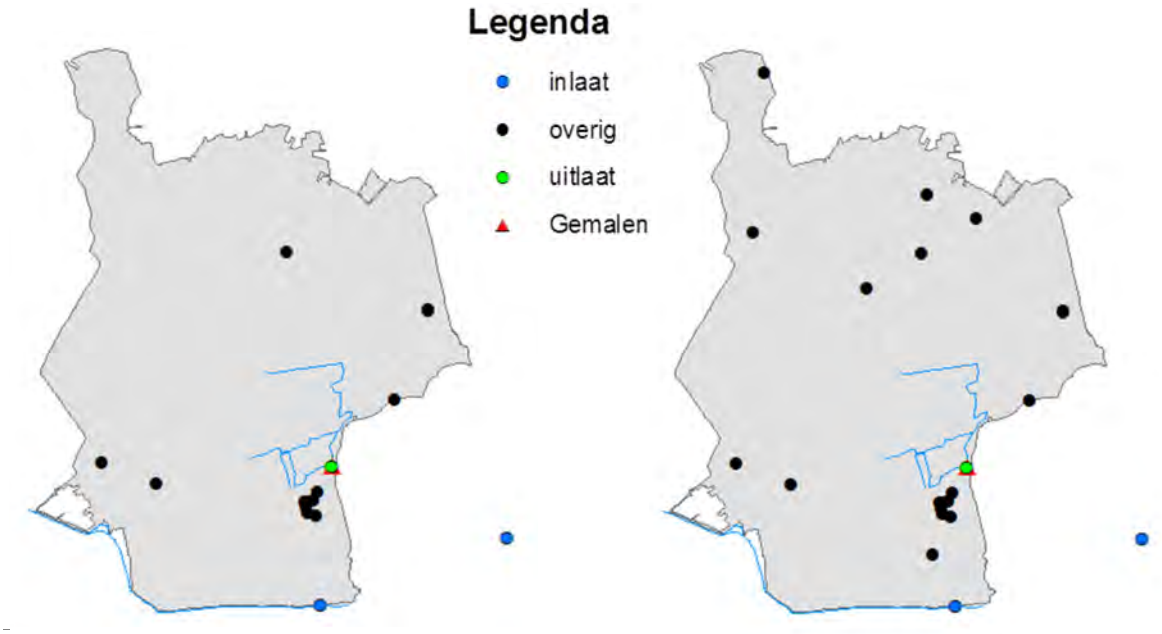
1 Verdampingsreductie voor gewassen bij klein bodemvochtvolumes en de beperkte verdamping van verhard oppervlak.

De waterbalansen die zijn verkregen op basis van de gekozen invoergegevens zijn na kalibratie door HHNK beoordeeld op betrouwbaarheid. Als de gemeten afvoer goed wordt benaderd in zowel winter als zomer dan krijgt het de status *goed*. Als er sprake is van een kleine structurele onder- of overschatting of incidenteel maanden voorkomen waarin de afvoer niet goed overeenkomt wordt de status *voldoende* toegekend. Bij groter afwijkingen kunnen de balansen worden geclassificeerd als *matig* of *onvoldoende*. De waterbalans voor deelgebied Westerkogge heeft de status *voldoende.*

4.2 Stap 2: Dataverzameling en data-analyse

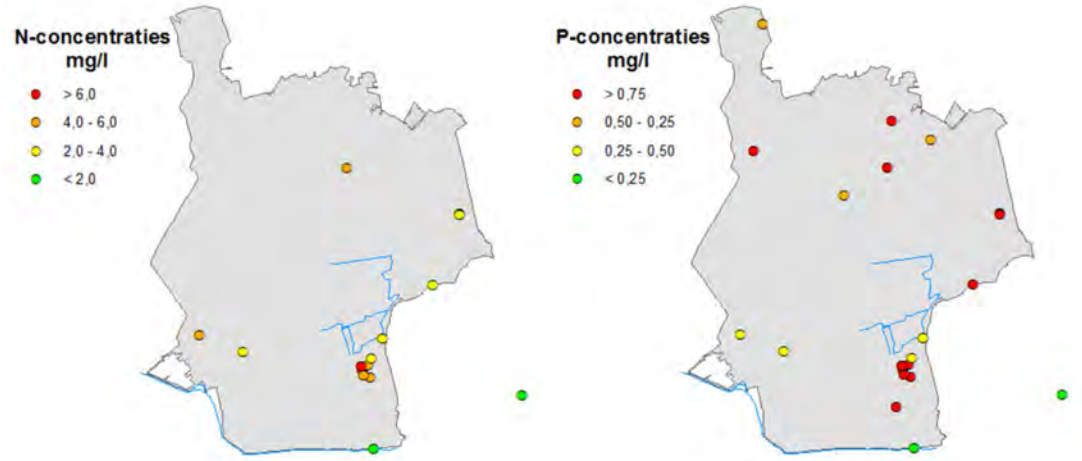
In paragraaf 3.3 is aangegeven dat voor het afleiden van de inkomende en uitgaande nutriëntenvracht (stikstof en fosfor) gebruik gemaakt wordt van de berekende debieten en dat voor de concentraties representatieve meetpunten zijn gezocht. In figuur 6 is een overzicht gegeven van de meetpunten waarvoor meetgegevens beschikbaar zijn in de periode 2000-2009.

In overleg met het hoogheemraadschap zijn representatieve meetpunten geselecteerd voor de kwaliteit van het inlaatwater (blauwe meetpunten) en is een meetpunt geselecteerd dat representatief is voor de kwaliteit van het water dat via het gemaal wordt uitgeslagen (groen meetpunt). Naast de kwaliteitsmeetpunten is ook de locatie van het gemaal weergegeven (rode driehoek).



Figuur 6 *Overzicht van meetpunten in en nabij deelgebied Westerkogge waarvoor stikstof (links) en/of fosformetingen (rechts) beschikbaar zijn in de periode 2000-2009.*

Om na te gaan of de geselecteerde meetpunten geen afwijkende stikstof- en/of fosforconcentratie hebben, zijn de stikstof- en fosforconcentraties van alle meetpunten in deelgebied Westerkogge geanalyseerd waarvoor metingen beschikbaar zijn in de periode 2000-2009 (figuur 7 en bijlage 2). Opgemerkt moet worden dat de gemiddelde concentraties betrekking kunnen hebben op **verschillende meetjaren** waardoor geen zuivere vergelijking gemaakt kan worden.



Figuur 7 *Gemiddelde stikstof- en fosforconcentratie (mg/l) van meetpunten in en nabij deelgebied Westerkogge voor de periode 2000-2009.*

De gemiddelde stikstofconcentratie liggen overwegend in de klasse geel (N-concentratie tussen de 2,0 en 4,0 mg/l N) en de klasse oranje (N-concentratie tussen de 4,0 en 6,0 mg/l N). Eén meetpunt heeft een gemiddelde stikstofconcentratie boven de 6,0 mg/l N. De variatie in gemiddelde fosforconcentraties van de meetpunten in deelgebied Westerkoggen is groot. Er liggen in totaal 20 meetpunten in deelgebied Westerkogge waarvan vier meetpunten in klasse geel (0,25 - 0,50 mg/l P), drie meetpunten in klasse oranje (0,50 - 0,75 mg/l P) en 13 meetpunten (waarvan zes vlak bij elkaar) in klasse rood (> 0,75 mg/l P). De gemiddelde N- en P-concentraties van het inlaatwater liggen in de klasse groen (N-concentratie < 2,0 mg/l N, P-concentratie < 0,25 mg/l P).

Tabel 11

Overzicht van de geselecteerde meetpunten voor deelgebied Westerkogge.

Meetpunt	x-coördinaten	y-coördinaten	Richting	Meetperiode	
				Stikstof	fosfor
613005	129768	515320	Uitlaat	2000, 2008, 2009	2000, 2004, 2008, 2009
002002	129544	512754	Inlaat	2000-2009	2000-2009
HOORNSP	133000	514000	Inlaat	2002, 2004-2009	2002, 2004-2009

De gemiddelde nutriëntenconcentraties, weergegeven in figuur 7, hebben betrekking op verschillende meetjaren. Niet voor alle geselecteerde meetpunten zijn de stikstof- en fosforconcentraties beschikbaar voor de periode 2000-2009 (tabel 11). Voor meetpunt 613005 zijn bijvoorbeeld alleen metingen beschikbaar voor de jaren 2000, 2008 en 2009 (voor P ook in 2004).

Voor het afleiden van de uitgaande nutriëntenvracht voor de periode 2000-2009 is het nodig om de bestaande reeks voor meetpunt 613005 uit te breiden. Wanneer voor een meetlocatie niet een aaneensluitende langere reeks metingen beschikbaar is zijn deze afgeleid van meetpunten waar deze er wel zijn. Dit is gedaan door kwartaalgemiddelden te gebruiken van de bestaande langere meetreeks. In bijlage 3 is de werkwijze weergegeven voor het opvullen van de reeks. Voor een uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar het hoofdrapport (Van Boekel et al., in voorbereiding).

4.3 Stap 3: Nutriëntenbalans

4.3.1 Onderdeel I: Gebiedsanalyse

In onderdeel I zijn een aantal kenmerken van het deelgebied Westerkogge vastgesteld door middel van verschillende informatiebestanden en vergeleken met kenmerken op basis van de STONE 2.4 schematisatie:

- oppervlakteverdeling (landgebruik op basis van LGN6 en HHNK);
- bodemtype op basis van de 1:50.000 bodemkaart, vertaald naar PAWN-bodemeenheden;
- hydrologische toestand (grondwatertrappen);
- areaal open water (gegevens HHNK).

Oppervlakteverdeling

Op basis van LGN6 bestaat ca. 80% van deelgebied Westerkogge uit landelijk gebied (landbouw en natuur), 4,6% is open water, het overige deel is stedelijk gebied (15%, tabel 12). Het landelijk gebied bestaat voornamelijk uit grasland (74,7%) en akkerbouw (17.5%).

De verdeling in landgebruik op basis van LGN6 is vergeleken met de areaal verdeling die is aangehouden in de waterbalans. In de waterbalans wordt onderscheid gemaakt in open water, verhard gebied, gemengd gerioleerd gebied en onverhard gebied. Voor de vergelijking met het landgebruik op basis van LGN6 wordt verhard gebied en gemengd gerioleerd gebied samengevoegd tot stedelijk gebied, het onverharde gebied wordt landelijk gebied genoemd.

Er is een duidelijk verschil met het areaal landelijk gebied dat in de waterbalans wordt aangehouden. In de waterbalansapplicatie wordt een percentage landelijk gebied aangehouden van 65%, het percentage landelijk gebied op basis van LGN6 is 80%. Het percentage stedelijk gebied op basis van LGN6 is lager (15% versus 28%). Het percentage open water is iets groter dan op basis van LGN6. Het percentage open water op basis van LGN6 wordt in deze studie verder niet gebruikt, maar hiervoor wordt het areaal open water uit de waterbalans aangehouden.

Tabel 12

Landgebruik in deelgebied Westerkogge op basis van LGN6, informatie uit de waterbalans en STONE 2.4.

Landgebruik	Kenmerk	Areaal LGN 6		Areaal Waterbalans		Areaal STONE 2.4	
		ha	%	ha	%	ha	%
Landelijk gebied							
Grasland	1	2985	74,7			2326	53,8
Maïs	2	188	4,7			69	1,6
Akkerbouw	3	699	17,5			484	11,2
Natuur	4	122	3,0			1442	33,4
Subtotaal		3994				4321	
Landelijk gebied		3994	80,1	3230	65,1		
Water		232	4,6	343	6,9		
Stedelijk gebied		760	15,2	1386	28,0		
Totaal		4985	100	4959	100		

Indien het landgebruik van het landelijk gebied op basis van LGN6, referentiejaar 2008, vergeleken wordt met het landgebruik in STONE 2.4, valt op dat het areaal landelijk gebied 327 ha groter is dan op basis van LGN6. Het verschil met het areaal landelijke gebied in de waterbalans is zelfs 1091 ha. Daarnaast valt op dat het areaal natuur in de STONE-schematisering (1442 ha) beduidend groter is dan op basis van LGN6 (122 ha). Het areaal akkerbouw, maar voornamelijk het areaal grasland wordt onderschat.

Bodemtype

Het bodemtype (grondsoort) in deelgebied Westerkogge is afgeleid op basis van de 1:50.000 bodemkaart. De bodemkaart is hierbij vertaald naar 21 PAWN-bodemeenheden. De arealen en percentages van de PAWN-bodemeenheden zijn in tabel 13 weergegeven.

Tabel 13

PAWN-bodemtype voor deelgebied Westerkogge 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	0,1	0,0	-	-
	3	Veengronden met kleidek	-	-	108	2,5
	6	Veengronden met moerige gronden op ongerijpte klei	2063	44,0	1900	44,0
		Veen totaal	2063	44,0	2008	46,5
Zand	13	Beekeerdgronden in sterk lemig, fijn zand	0,1	0,0	-	-
	14	Podzolgrond in grof zand	15	0,3	1,4	0,0
		Zand totaal	15	0,3	1,4	0,0
Zavel	15	Homogene zavelgronden	406	8,7	559	12,9
		Zavel totaal	406	8,7	559	12,9
Klei	16	Homogene, lichte kleigronden	2140	45,7	1615	37,4
	17	Kleigrond, met zware tussenlaag of ondergrond	-	-	108	2,5
	18	Kleigronden op veen	61	1,3	24	0,6
	19	Klei op zandgronden	-	-	4,6	0,1
		Klei totaal	2201	47,0	1752	40,5
Totaal			4685	100	4321	100

Deelgebied Westerkogge bestaat zowel uit veengronden (44%) als uit kleigronden (47%). De veengronden bestaan vrijwel volledig uit moerige gronden op ongerijpte klei, de kleigronden zijn voornamelijk homogene, lichte kleigronden. Het overige deel van deelgebied Westerkogge zijn voornamelijk homogene zavelgronden. De verdeling in grondsoorten op basis van STONE komen aardige overeen met de verdeling op basis van de bodemkaart. Het areaal kleigronden wordt licht onderschat, het areaal homogene zavelgronden word iets overschat.

Hydrologische toestand (Gt-klassen)

De grondwatertrappenindeling in zeven Gt-klasse voor deelgebied Westerkogge is op twee manieren bepaald:

- op basis van de 1:50.000 bodemkaart;
- op basis van berekeningen met SWAP (hydrologisch model in STONE).

De Gt-klassen zijn op basis van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) geclusterd in drie groepen:

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

Er is een duidelijk verschil in hydrologische toestand van het gebied wanneer gebruik gemaakt wordt van de 1:50.000 bodemkaart of de SWAP-berekeningen t.b.v. STONE. Op basis van de 1: 50.000 bodemkaart bestaat het deelgebied bijna volledig uit natte gronden (ca. 97%). Op basis van de SWAP-berekeningen is ongeveer 67% nat. Het overige deel zijn voornamelijk matig droge gronden.

Tabel 14

Gt-klasse in deelgebied Westerkogge op basis van de 1:50.000 bodemkaart en berekeningen met SWAP ten behoeve van STONE.

Cluster	Bodemkaart		SWAP-berekeningen	
	ha	%	ha	%
Nat	4547	97,1	2972	68,8
Matig droog	138	2,9	953	22,1
Droog	-	-	395	9,2
Totaal	4685	100	4321	100

Percentage open water

Voor het schatten van de bijdrage van directe kwel naar het oppervlaktewater is het percentage open water van belang. In 2009 heeft HHNK een vlakkenbestand gemaakt van haar wateren. Dit vlakkenbestand is opgebouwd uit het GBKN lijnenbestand waarbij de lijnelementen, die zijn gecodeerd als waterlijn, zijn omgezet naar vlakken. Dit basisbestand is later diverse malen aangevuld en of gecorrigeerd als daar in toepassingen aanleiding tot was. Momenteel is dit het meest betrouwbare vlakkenbestand van het watersysteem van HHNK. Voor het schatten van het percentage open water heeft HHNK het vlakkenbestand voor deze studie opnieuw gecorrigeerd, waarna dit gecorrigeerde basisbestand gebruikt is voor het schatten van het percentage open water (tabel 15). Het percentage open water in de huidige STONE-schematisatie is 1,0%, terwijl dit op basis van de informatie van het Hoogheemraadschap 6,9% is. Voor de verdere berekeningen is gebruik gemaakt van het percentage open water dat door HHNK is geschat.

Tabel 15

Percentage open water op basis van de verschillende informatiebronnen.

Informatiebron	Percentage open water
STONE 2.4	1,0
Waterbalansmodule	6,9

Kwelflux en kwelconcentraties

De gebiedsgemiddelde kwelflux voor deelgebied Westerkogge is 74 mm/jaar en is vergeleken met de kwel/wegzijgingsflux die is opgelegd in de STONE-schematisering. Ook zijn de stikstof- en fosforconcentraties van het kwelwater in de STONE-schematisatie vergeleken met meetgegevens uit de studie van TNO waarin stikstof- en fosforconcentraties gemeten zijn in het 1^{e} watervoerende pakket (Griffioen et al., 2006). De resultaten zijn in tabel 16 weergegeven.

Tabel 16

Gemiddelde kwelflux (mm/jaar) en kwelconcentraties (mg/l) voor stikstof en fosfor voor deelgebied Westerkogge op basis van de verschillende informatiebestanden (Waterbalans HHNK, STONE-schematisering, studie van TNO (Griffioen et al., 2006)).

Kwelflux (mm/jaar)	STONE	Waterbalans HHNK
Gebiedsgemiddeld	98	74
kwelconcentratie (mg/l)	STONE	TNO
Stikstof	16,4	11,1
Fosfor	2,4	2,2

De gemiddelde kwelflux op basis van de STONE 2.4 schematisatie van 98 mm/jaar is 24 mm hoger dan de gemiddelde kwelflux op basis van de waterbalans (74 mm/jaar). De gemiddelde stikstofconcentratie van het kwelwater in de STONE-schematisering is beduidend hoger dan de gemiddelde stikstofconcentratie op basis van de TNO/Alterra-studie, de gemiddelde fosforconcentratie komt aardig overeen.

4.3.2 Onderdeel II en III: herschikking en opstellen nutriëntenbalans

In de vorige paragraaf is geconcludeerd dat er duidelijke verschillen zijn in de gebiedskenmerken zoals ingevoerd in het landelijke model STONE en de 'werkelijke' gebiedskenmerken op basis van LGN6 (landgebruik), 1: 50.000 bodemkaart (bodemtype en hydrologische toestand) en het areaal open water (waterbalansapplicatie).

In onderdeel II (herschikking) zijn rekenplots uit de landelijke schematisering, die niet representatief blijken te zijn, vervangen door rekenplots die beter aansluiten bij de regiospecifieke informatie over bodemtypen, grondwatertrappen en landgebruik. In tabel 17 zijn de veranderingen in landgebruik, bodemtype, hydrologische toestand en het percentage open water weergegeven.

Tabel 17

Veranderingen in landgebruik, bodemtype, hydrologie en percentage open water (percentage, %) als gevolg van de herschikking van de STONE-plots.

Kenmerken	Referentiewaarden	Stap 1 (STONE)	Stap 2 (ECHO)
Landgebruik	Areaal verdeling (%)		
Grasland	74,7	53,8	74,7
Maïs	4,7	1,6	4,7
Akkerbouw	17,5	11,2	17,5
Natuur	3,0	33,4	3,0
Bodemtype [1]			
6: Veengronden met moerige gronden op ongerijpte klei	44,0	44,0	43,7
15: Homogene zavelgronden	8,7	12,9	9,3
16: Homogene, lichte kleigronden	45,7	37,4	45,4
Hydrologische toestand			
Droog	-	9,2	8,2
Matig droog	2,9	22,1	39,8
Nat	97,1	68,8	52,0
Percentage open water	6,9	1,0	6,9

1 Bij het bodemtype zijn alleen de belangrijkste veranderingen weergegeven waardoor de som niet 100% hoeft te zijn.

De belangrijkste veranderingen zijn:

- Afname van het percentage natuur (ca. 30%), toename van het percentage grasland (ca. 20%);
- Lichte toename (ca. 8%) van het percentage homogene lichte kleigronden;
- afname van het percentage natte gronden (ca. 14%), toename van het percentage matig droge gronden (ca. 17%);
- toename van het percentage open water van 1,0% naar 6,9%.

Het vervangen van niet-representatieve STONE-plots heeft niet alleen effect op bovenstaande kenmerken, maar ook op de waterbalans van het landelijk gebied (tabel 18). In de tabel zijn ook de veranderingen in de stikstof- en fosforconcentraties van het kwelwater weergegeven.

Tabel 18

Veranderingen in de bijdrage van de verschillende waterbalanstermen aan de uit- en afspoeling vanuit het landelijk gebied en de veranderingen in stikstof- en fosforconcentraties van het kwelwater als gevolg van de herschikking van STONE-plots.

Balanstermen	Stap 1 (STONE) mm/jaar	Stap 2 (ECHO)
Neerslag	913	913
Irrigatie	0,4	0,03
Infiltratie	67	56
Kwel	98	70
Verdamping	548	543
Runoff	30	30
Uit- en afspoeling	501	466
kwelconcentraties		
Stikstofconcentratie (mg/L)	16,4	17,0
Fosforconcentraties (mg/L)	2,4	2,4

De herschikking van de STONE-plots resulteert in een afname van de gemiddelde uit- en afspoeling met 35 mm/jaar. De afname van de uit- en afspoeling kan worden verklaard door een lagere kwelflux (28 mm/jaar) en een afname van de hoeveelheid infiltratiewater vanuit het oppervlaktewater met gemiddeld 11 mm/jaar.

Op basis van de nieuwe STONE-berekeningen, data uit de Emissieregistratie en meetgegevens in het oppervlaktewater (kwaliteit en kwantiteit) is de belasting van het oppervlaktewater afgeleid voor de periode 2000-2009 (tabel 19), waarbij de uit- en afspoeling is berekend op basis van de huidige STONE-schematisatie (stap 1) en de aangepaste STONE-schematisatie (stap 2). De belasting van het oppervlaktewater is hierbij uitgedrukt in kg/ha/jaar voor het totale gebied (landelijke gebied, stedelijk gebied en het oppervlaktewater).

Tabel 19

Belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor voor deelgebied Westerkogge (kg/ha/jaar) voor de periode 2000-2009 op basis van de huidige STONE-schematisatie en de nieuwe schematisering (na herschikking).

2000-2009	N-Load (kg/ha/jaar)		P-Load (kg/ha/jaar)	
	Stap 1 (STONE)	Stap 2 (ECHO)	Stap 1 (STONE)	Stap 2 (ECHO)
Uit- en afspoeling	24,4	20,6	2,9	2,5
Landbouw overig [1]	0,80	0,80	0,06	0,06
Atmosferische depositie [2]	0,94	0,94	-	-
Industriële lozingen	0,00	0,00	0,00	0,00
Overige bronnen [3]	0,69	0,69	0,04	0,04
Inlaat	1,0	1,0	0,09	0,09
Directe kwel [4]	0,16	0,82	0,02	0,12
Totaal IN	28,0	24,9	3,1	2,8

1 landbouw overig: meemesten sloten, glastuinbouw, overige landbouwemissies.

2 dit betreft **alleen** de depositie op open water. De atmosferische depositie op het land zit verdisconteerd in de uit- en afspoeling.

3 overige bronnen: huishoudelijke, ongerioleerde lozingen, verkeer, vervoer, etc.

4 dit betreft **alleen** de direct kwel naar open water. De kwel onder landbouw en natuurgronden zit verdisconteerd in de uit- en afspoeling.

De grootste bijdrage aan de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater is de uit- en afspoeling vanuit het landelijk gebied. Na herschikking van de STONE-plots neemt de gemiddelde uit- en afspoeling via de uit- en afspoeling voor stikstof af met 3,8 kg/ha/jaar N, de fosforbelasting neemt af met 0,4 kg/ha/jaar P.

De veranderingen in stikstof- en fosforvracht naar het oppervlaktewater is een resultante van verschillende factoren. De afname van de N- en P-vracht is het gevolg van:
- Afname areaal landelijk gebied (7,6%)
- Afname van de uit- en afspoelingsflux met 35 mm/jaar als gevolg van een lagere kwelflux vanuit het grondwater en infiltratieflux vanuit het oppervlaktewater (dit komt dus bovenop het effect van een kleiner areaal)
- Afname van het areaal natte gronden (natte gronden hebben over het algemeen een hogere uit- en afspoelingsflux)

De afname van de stikstof- en fosforvracht als gevolg van bovenstaande veranderingen wordt voor een deel gecompenseerd door de verschuiving van het areaal natuur naar grasland (30%). Door de herschikkingsprocedure wordt echter niet alleen het landgebruik, bodemtype en hydrologische toestand van het deelgebied afgestemd op de werkelijke situatie, maar worden ook natuurplots met een uitzonderlijk hoge nutriëntenbelasting vervangen door natuurplots met een meer realistische nutriëntenbelasting. De nutriëntenbelasting vanuit natuurgebieden neemt hierdoor ook af.

4.3.3 Onderdeel IV: Regionalisatie nutriëntenbelasting uit- en afspoeling

De herschikking van de STONE-plots heeft geresulteerd in een betere ‘match’ tussen het werkelijke landgebruik, de bodemtypen die voorkomen en het voorkomen van droge, matig droge en natte gronden (tabel 17). Het selecteren van nieuwe STONE-plots heeft ook invloed op de waterbalans van het landelijke gebied en de stikstof- en fosforconcentraties van het kwelwater (tabel 18). De waterbalanstermen (waaronder de kwel, neerslag en verdamping) kunnen echter nog steeds afwijken van de ‘werkelijke’ situatie. Dit geldt ook voor de opgelegde stikstof- en fosforconcentraties van het kwelwater.

In onderdeel IV is de uit- en afspoeling van nutriënten in deelgebied Westerkogge opnieuw met STONE berekend waarbij gebiedsspecifieke gegevens zijn ingezet. Hierbij moet gedacht worden aan de (regionale) neerslag en verdamping (afkomstig uit de waterbalansmodule van het waterschap) en de kwelconcentraties uit de studie van TNO (Griffioen et al., 2006). De effecten op de waterbalans en veranderingen in de kwelconcentraties zijn in tabel 20 weergegeven.

Tabel 20

Waterbalansposten (mm/jaar) en kwelconcentraties (mg/l) voor het landelijk gebied voor deelgebied Westerkogge na herschikking (stap 2) en na regionalisatie (stap 3) voor de periode 2000-2009.

Balanstermen	Stap 2 (ECHO mm/jaar	Stap 3 (Reg)
Neerslag	913	893
Irrigatie	0,03	0,03
Infiltratie	56	59
Kwel	70	74
Verdamping	543	534
Runoff	30	40
Uit- en afspoeling	466	452
Kwelconcentraties		
Stikstofconcentratie (mg/L)	17,0	11,1
Fosforconcentraties (mg/L)	2,4	2,2

Het toepassen van regionale informatie met betrekking tot de neerslag, verdamping en kwel resulteert in een verdere afname van de uit- en afspoeling met gemiddeld 14 mm/jaar. De afname kan voornamelijk verklaard worden door een afname van de hoeveelheid neerslag (20 mm/jaar). Ondanks een afname van de hoeveelheid neerslag neemt de runoff wel toe met gemiddeld 10 mm/jaar. Het effect op de stikstof- en fosforbelasting naar het oppervlaktewater is in tabel 21 weergegeven.

Tabel 21

Belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor (kg/ha/jaar) voor deelgebied Westerkogge voor de periode 2000-2009 voor de verschillende stappen.

2000-2009	N-Load (kg/ha/jaar)			P-Load (kg/ha/jaar)		
	Stap 1 (STONE)	Stap 2 (ECHO)	Stap 3 (REG)	Stap 1 (STONE)	Stap 2 (ECHO)	Stap 3 (REG)
Uit- en afspoeling	24,4	20,6	20,1	2,9	2,5	2,4
Landbouw overig [1]	0,80	0,80	0,80	0,06	0,06	0,06
Atmosferische depositie [2]	0,94	0,94	0,94	-	-	-
Industriële lozingen	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Overige bronnen [3]	0,69	0,69	0,69	0,04	0,04	0,04
Inlaat	1,0	1,0	1,0	0,09	0,09	0,09
Directe kwel [4]	0,16	0,82	0,57	0,02	0,12	0,11
Totaal IN	28,0	24,9	24,2	3,1	2,8	2,7

1 landbouw overig: meemesten sloten, glastuinbouw, overige landbouwemissies.

2 dit betreft **alleen** de depositie op open water. De atmosferische depositie op het land zit verdisconteerd in de uit- en afspoeling.

3 overige bronnen: huishoudelijke, ongerioleerde lozingen, verkeer, vervoer, etc.

4 dit betreft **alleen** de direct kwel naar open water. De kwel onder landbouw en natuurgronden zit verdisconteerd in de uit- en afspoeling.

Het gebruik van de regionale informatie (stap 3) resulteert t.o.v. stap 2 in een lichte afname van de stikstofbelasting van het oppervlaktewater via de uit- en afspoeling met 0,5 kg/ha N en een afname van de fosforbelasting met 0,1 kg/ha P. De afname van de uit- en afspoeling met stikstof en fosfor kan voor een belangrijk deel verklaard worden door een afname van de gemiddelde neerslag met 20 mm/jaar.

Naast de totale inkomende nutriëntenvracht voor deelgebied Westerkogge is de gemiddelde retentie in het oppervlaktewater geschat voor de periode 2000-2009 (tabel 22, bijlage 1). Retentie in het oppervlaktewater staat voor het vastleggen van nutriënten in de waterlopen. Dit kan door tijdelijke en permanente opslag in onder andere waterplanten en in de waterbodem en/of door gasvormige emissies naar de atmosfeer (denitrificatie van stikstof).

Tabel 22

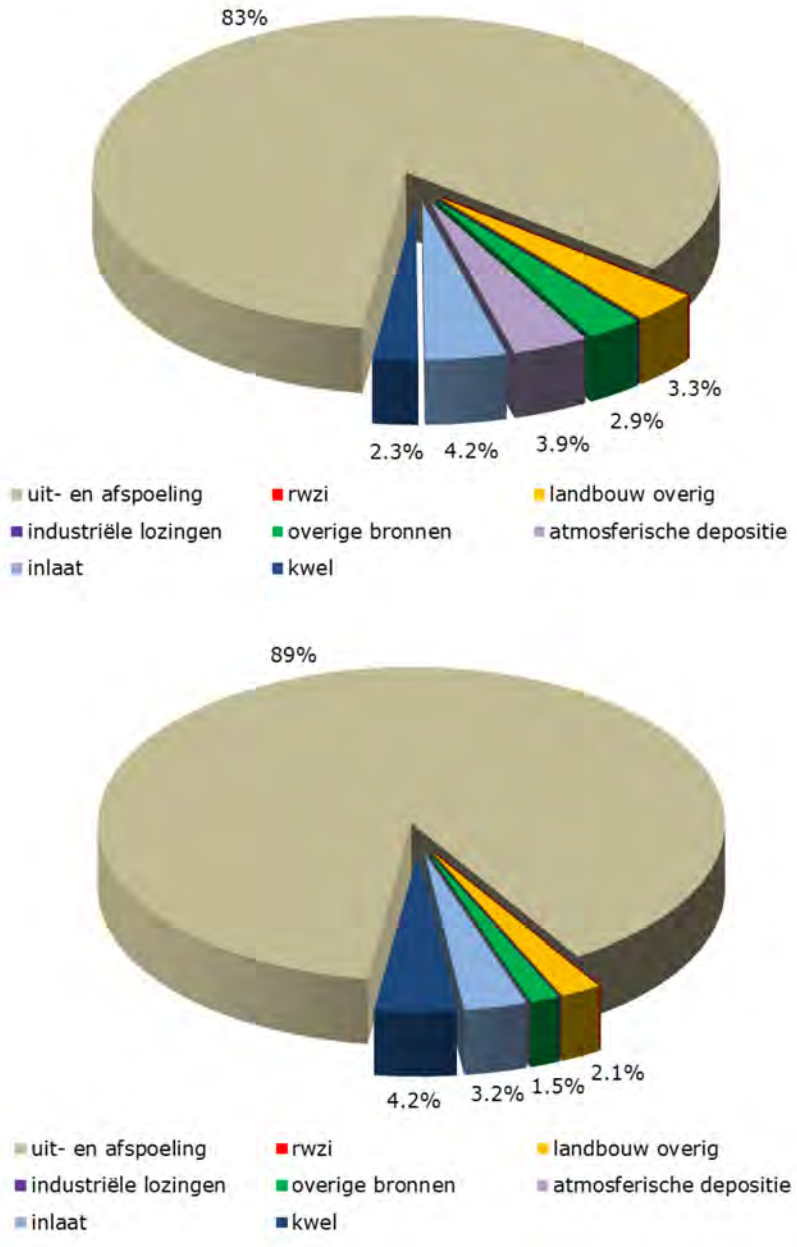
Gemiddelde retentie (kg/ha/jaar en %) voor stikstof en fosfor voor deelgebied Westerkogge voor de periode 2000-2009.

Stof	Stap 1 (STONE)		Stap 2 (ECHO)		Stap 3 (REG)	
	kg/ha/jaar	%	kg/ha/jaar	%	kg/ha/jaar	%
Stikstof	8,0	29	7,4	30	7,4	30
Fosfor	1,5	48	1,3	46	1,2	46

4.4 Stap 5: Afleiden theoretische achtergrondconcentraties

4.4.1 Herkomst bronnen

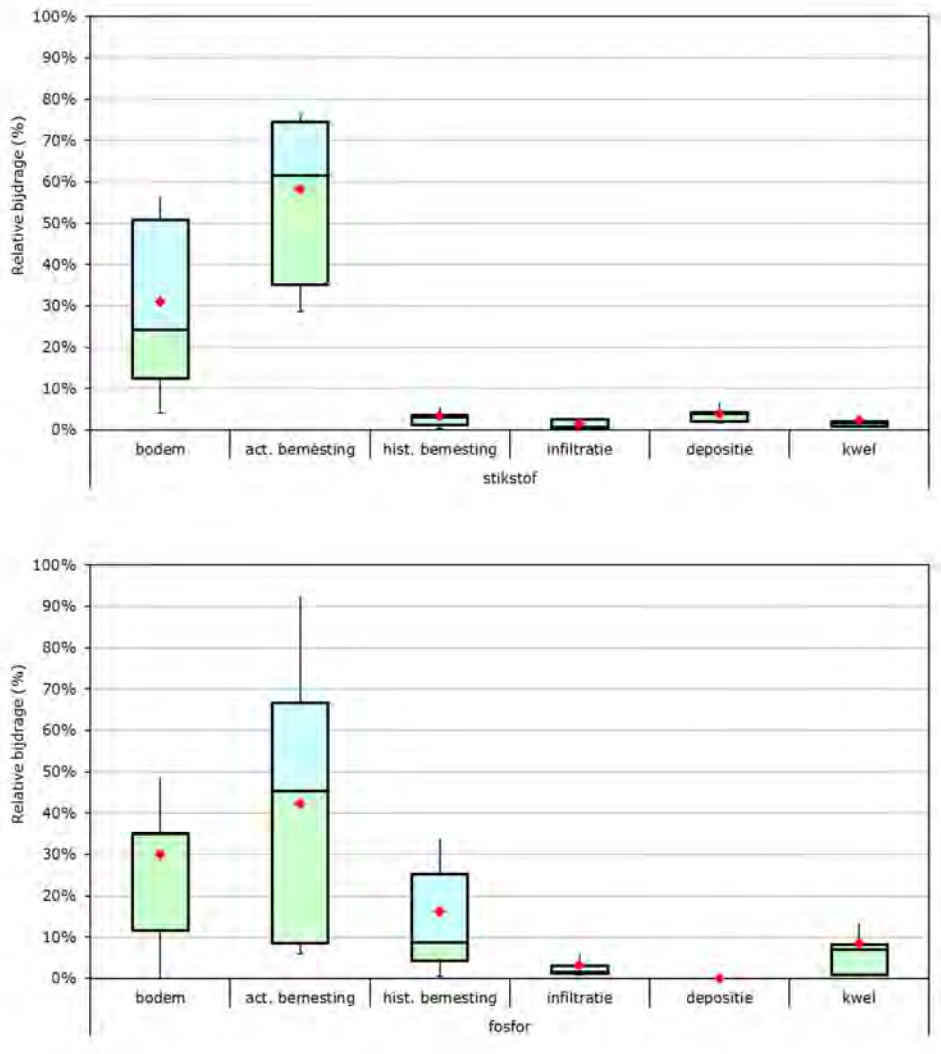
In paragraaf 4.3 is de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater voor deelgebied Westerkogge berekend, waarbij verschillende stappen zijn doorlopen. In figuur 8 is de relatieve bijdrage van de verschillende bronnen aan de belasting van het oppervlaktewater weergegeven na het uitvoeren van stap 3 (regionalisatie).



Figuur 8 *Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater voor deelgebied Westerkogge (bovenste figuur stikstof, onderste figuur fosfor).*

Uit de analyse van de stoffenbalans voor stikstof en fosfor blijkt dat de uit- en afspoeling de belangrijkste bron is voor de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater (83% voor N en 89% voor P). De bijdrage van de andere bronnen aan de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater varieert tussen de 1,5% en 4,2%.

Op basis van een nieuwe methode (Groenendijk et al., 2012) is de uit- en afspoeling vanuit het landelijk gebied verder onderverdeeld op basis van de herkomst (figuur 9). De rode stip is de areaal gewogen gemiddelde bijdrage van de betreffende bron aan de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden. De groene en blauwe blokken 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. De areaal gewogen gemiddelde, 25- en 75-percentiel waarden zijn weergegeven in bijlage 4.



Figuur 9 *Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden voor deelgebied Westerkogge (boven stikstof, onder fosfor).*

De actuele bemesting draagt het meeste bij aan de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor vanuit landbouwpercelen, de areaal gewogen gemiddelde bijdrage (rode stip) aan de stikstofbelasting is bijna 60% en voor fosfor ca. 45%. Ook de natuurlijke levering van de bodem draagt voor een belangrijk deel bij aan de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater (voor beide ca. 30%). De areaal gewogen gemiddelde bijdrage van de historische bemesting (ca. 15%) en de kwel (bijna 10%) aan de fosforbelasting is ook relevant.

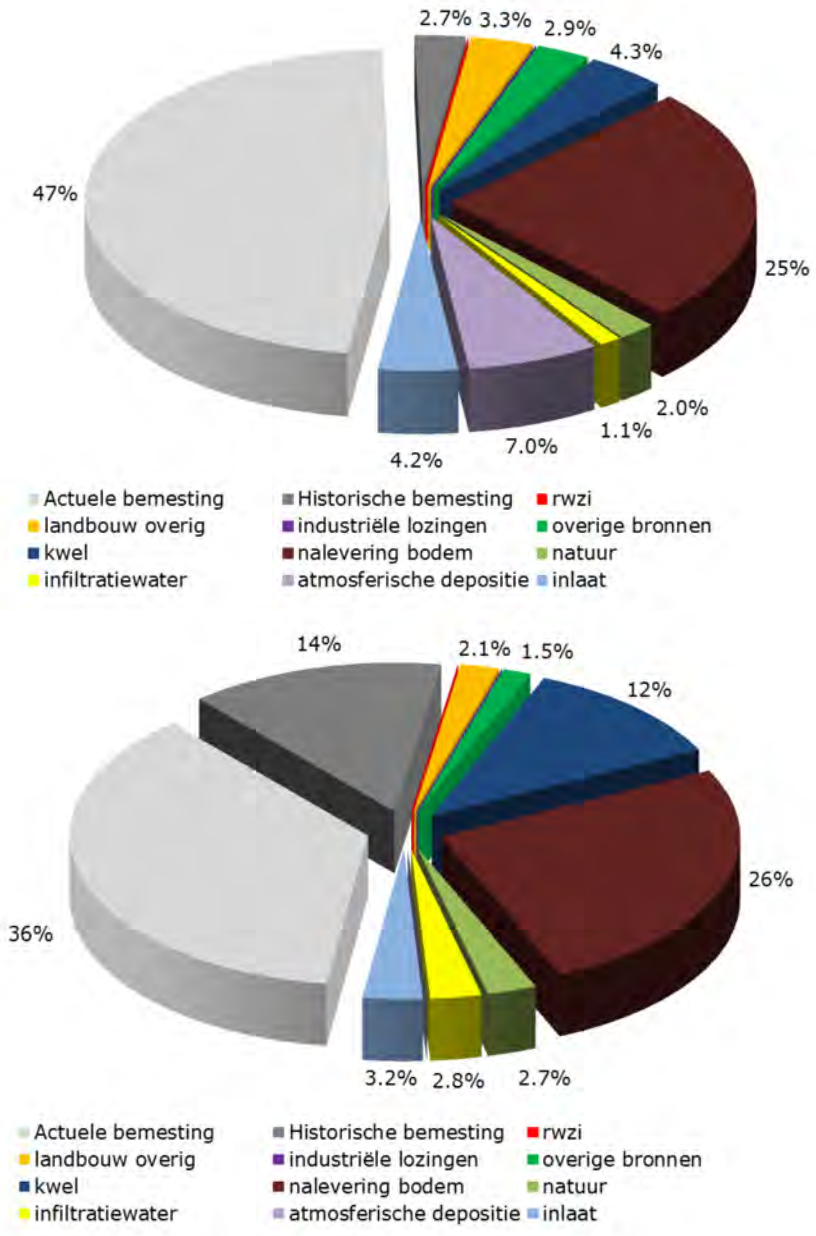
Door de heterogeniteit van deelgebied Westerkogge wat betreft landgebruik, bodemopbouw, hydrologische toestand, etc. is de bijdrage van de verschillende bronnen niet één waarde, maar heeft een bandbreedte (zie ook bijlage 4). Een heterogeen gebied heeft een grotere bandbreedte dan een homogeen gebied.

De verschillen in bandbreedtes voor stikstof en fosfor hebben o.a. te maken met het feit dat stikstof en fosfor andere omzettings- en vastlegginsprocessen volgen. Een verdere toelichting hierover wordt in het hoofdrapport (Van Boekel et al., in voorbereiding) gegeven.

De bandbreedte als gevolg van de heterogeniteit van het gebied zegt niets over de onzekerheden van de gegeven waarden. Factoren die onzekerheden veroorzaken zijn:

- de kwaliteit en nauwkeurigheid van de metingen, zowel waterkwaliteit als waterafvoeren;
- de kwaliteit, de nauwkeurigheid en representativiteit van de waterbalans;
- de kwaliteit, de nauwkeurigheid en representativiteit van de dataverzameling die achter de schattingen zitten van de verschillende emissiebronnen (Emissieregistratie, STONE-berekeningen);
- onzekerheden die samenhangen met het bepalen van de herkomst van bronnen voor de uit- en afspoeling.

In deze studie is geen onzekerheidsanalyse uitgevoerd waardoor de bandbreedte als gevolg van deze onzekerheden niet gekwantificeerd kunnen worden. De areaal gewogen gemiddelde relatieve bijdrage van de bronnen is gebruikt voor de verdere onderverdeling van de uit- en afspoeling (figuur 10).



Figuur 10 *Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater voor deelgebied Westerkogge (boven stikstof, onder fosfor), waarbij de uit- en afspoeling is onderverdeeld naar herkomst.*

Op basis van de herkomstberekeningen blijkt dat zowel voor stikstof als voor fosfor de actuele bemesting en de natuurlijke levering van de bodem de belangrijkste bronnen zijn voor de belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor.

De stikstofbelasting van het oppervlaktewater is voor 47% afkomstig van de actuele bemesting, gevolgd door de natuurlijke levering van de bodem (25%). Het overige deel (28%) is afkomstig van meerdere bronnen, o.a. atmosferische depositie (7,0%), kwel (4,3%) en inlaat (4,2%).

De bijdrage van de actuele bemesting aan de fosforbelasting van het oppervlaktewater is 36%, de bodem draagt voor 26% bij aan de fosforbelasting. In vergelijking met stikstof is de bijdrage van de historische bemesting (14%) en kwel (12%) groot. De bijdrage van de andere bronnen varieert tussen de 1,5% en 3,2%.

4.4.2 Theoretische achtergrondconcentraties

De verschillende nutriëntenbronnen zijn vervolgens ingedeeld naar *antropogeen* of *natuurlijk* (tabel 23). In bijlage 4 is de bandbreedte van de bijdrage van de verschillende bronnen weergegeven als gevolg van de heterogeniteit van het gebied.

Tabel 23

Areaal gewogen relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen, onderverdeeld in antropogeen en natuurlijk, voor deelgebied Westerkogge in het beheergebied van het hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

Categorie		Areaal gewogen gemiddelde relatieve bijdrage (%)	
		Stikstof	Fosfor
Antropogeen	Actuele bemesting	47	36
	Historische bemesting	2,7	14
	Landbouw overig [1]	3,3	2,1
	Industriële lozingen	0,0	0,0
	Overige bronnen [2]	2,9	1,5
	Inlaat	4,2	3,2
	Totaal antropogeen	60	57
Natuurlijk	Bodem (geogeen)	25	26
	Infiltratiewater	1,1	2,8
	Atmosferische depositie [3]	7,0	-
	Kwel [4]	4,3	12
	Natuur	2,0	2,7
	Totaal natuurlijk	40	43

1 landbouw overig: meemesten sloten, glastuinbouw, overige landbouwemissies.

2 overige bronnen: huishoudelijke, ongerioleerde lozingen, verkeer, vervoer, etc.

3 dit is de som van de atmosferische depositie op open water en de atmosferische depositie op landbouwgronden.

4 dit is de som van de directe kwel naar open water en de kwel onder landbouwgronden.

De bijdrage van de natuurlijke bronnen aan de stikstof- en fosforbelasting is 40% voor N en 43% voor P. Deze natuurlijke belasting is voor voornamelijk afkomstig van mineralisatie e.a. omzettingsprocessen in de bodem die de geogeen aanwezige nutriënten in de bodem vrijmaken (stikstof en fosfor), atmosferische depositie (alleen voor N) en kwel (voornamelijk voor P).
De nutriëntenbelasting van de antropogene bronnen is voornamelijk afkomstig van de actuele bemesting, voor fosfor speelt ook de historische bemesting een rol.

Op basis van de verhouding *natuurlijk* versus *antropogeen* en de gemeten nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater is de theoretische achtergrondconcentratie afgeleid (tabel D).
De gemiddelde stikstof- en fosforconcentratie is bepaald op basis van metingen in het oppervlaktewater voor meetpunten die representatief worden geacht voor de waterkwaliteit in deelgebied Westerkogge voor de periode 2000-2009. Hierbij moet opgemerkt worden dat de meetpunten met de code MM42 niet zijn meegenomen omdat dit geheel of grotendeels geïsoleerde bijzondere meetpunten zijn, afkomstig van een specifiek project rond natuurontwikkeling in het verleden. De afgeleide theoretische achtergrondconcentratie van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater in deelgebied Westerkogge is voor stikstof 1,55 mg/l N en voor fosfor 0,39 mg/l P.

Tabel 24

Theoretische achtergrondconcentraties van de waterlichamen in deelgebied Westerkogge op basis van de gemiddelde gemeten nutriëntenconcentraties en de relatieve bijdrage van de natuurlijke nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater.

Westerkogge	Stikstof	Fosfor
Gemiddelde concentratie in het oppervlaktewater (mg/l)	3,92	0,91
Relatieve bijdrage natuurlijke bronnen (%)	40	43
Theoretische achtergrondconcentratie (mg/l)	1,55	0,39

5 Conclusies

De achtergrondconcentraties van stikstof en fosfor voor waterlichamen in deelgebied Westerkogge zijn afgeleid op basis van de waterbalans en de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. De discussiepunten over de methodiek (opstellen waterbalansen en berekenen van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater, plausibiliteit, herkomst van bronnen en het afleiden van de theoretische achtergrondconcentraties) zijn in dit rapport niet aan de orde gekomen. Een beschrijving van de methodiek en bijbehorende discussiepunten worden in het hoofdrapport (Van Boekel et al., in voorbereiding) beschreven.

De belangrijkste conclusies zijn:

- Op basis van de concentratiemetingen in het oppervlaktewater en het relatieve aandeel van de natuurlijke bronnen aan de bijdrage van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater is een theoretische achtergrondconcentratie afgeleid van 1,55 mg/l N en 0,39 mg/l P.
- De gemiddelde areaal gewogen bijdrage van natuurlijke bronnen aan de stikstofbelasting van het oppervlaktewater is 40%, de gemiddelde areaal gewogen bijdrage van natuurlijke bronnen aan de fosforbelasting is 43%.
- Op basis van de herkomstberekeningen blijkt dat zowel voor stikstof als voor fosfor de actuele bemesting en de natuurlijke levering van de bodem de belangrijkste bronnen zijn voor de belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor.
- De stikstofbelasting van het oppervlaktewater is voor 47% afkomstig van de actuele bemesting, gevolgd door de natuurlijke levering van de bodem (25%). Het overige deel (28%) is afkomstig van meerdere bronnen, o.a. atmosferische depositie (7,0%), kwel (4,3%) en inlaat (4,2%).
- De bijdrage van de actuele bemesting aan de fosforbelasting van het oppervlaktewater is 36%, de bodem draagt voor 26% bij aan de fosforbelasting. In vergelijking met stikstof is de bijdrage van de historische bemesting (14%) en kwel (12%) groot. De bijdrage van de andere bronnen varieert tussen de 1,5% en 3,2%.
- Het herschikken van de STONE-plots resulteert in een betere overeenstemming tussen de ‘werkelijke’ gebiedskenmerken (landgebruik, bodemtype en hydrologische toestand) van deelgebied Westerkogge en de gebiedskenmerken van de (nieuwe) STONE-schematisatie.
- Nieuwe berekeningen met ANIMO en SWAP, waarin gebruik is gemaakt van informatie over het landgebruik, bodemtype hydrologische toestand (stap 2) in combinatie met regionale gegevens van de neerslag, verdamping, kwelflux en kwelconcentraties (stap 3) resulteren in een belasting van het oppervlaktewater van 24,2 kg/ha N en 2,7 kg/ha P. Rekening houdend met retentie in het oppervlaktewater (30% voor N en 46% voor P) wordt een uitgaande stikstofvracht berekend van 16,8 kg/ha N en een uitgaande fosforvracht van 1,5 kg/ha P.

Literatuur

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. van, H.T.L. Massop, 2011. *Achtergrondconcentraties waterlichamen Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Analyse achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor op basis van water- en stoffenbalansen voor de Wieringermeer.* Alterra rapport 2199. Alterra Wageningen UR, Wageningen 2011.

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.

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

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

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.

Gaast, J.W.J. van der, J.M.P.M. Peerboom, 1996. *Effecten van de sanering van gasbronnen in Noord-Holland benoorden het IJ op de nutriënten- en chloridebelasting van het oppervlaktewater*: Rapport 411, Staring Centrum, Wageningen.

Griffioen, J., P.G.B. de Louw, H.L. Boogaard en R.F.A. Hendriks, 2002. *De achtergrondbelasting van het oppervlaktewatersysteem met N, P en Cl, en enkele ecohydrologische parameters in West – Nederland.* TNO-rapport NITG 02-166-A. Delft.

Griffioen, J., R. Heerdink, L.Marings, S. Vermooten, D. Maljers, J. Hettelaar, 2006. *Enkele (hydro)geochemische karakteristieken van het topsysteem van de Nederlandse ondergrond t.b.v. parametrisering van het nutriëntenmodellensysteem STONE.* TNO-rapport 2006-U-R0161/A, Utrecht.

Groenendijk, P., R.F.A. Hendriks, F.J.E. van der Bolt, H.M. Mulder, 2012. *Bronnen van diffuse nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Evaluatie Meststoffenwet 2012: deelrapport ex post*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2328.

Hazeu, G.W., C.Schuiling, G.J. Dorland, J. Oldengarm en H.A. Gijsbertse, 2010. *Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland versie 6 (LGN6); Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2012

Hendriks, R.F.A., R. Kruyne, 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 Schuitenbeek Fase 2.* Alterra rapport 1387, ISSN 1566-7197. Reeks Monitoring stroomgebieden 8-II. Wageningen.

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

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; methodiekbeschrijving en toepassing Drentse Aa.* Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1913.

MNP 2008. *Kwaliteit voor later. Ex ante evaluatie Kader Richtlijn Water.* Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), Bilthoven. MNP-publicatienummer 50014000.

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

Regionale studies 16, 1982. *Grond- en oppervlaktewater Noord-Holland benoorden het IJ.* Werkgroep Noord-Holland. Wageningen.

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.

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

Schipper, P, Oscar Schoumans, Piet Groenendijk, Erwin van Boekel, 2012. *Nutriëntenbelasting oppervlaktewater; Herkomst en bijdrage landelijke gebied. Notitie ter ondersteuning KRW-Rijn West aanpak Nutriënten.* 11 mei 2012. Alterra, Wageningen 19 pag.

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.

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.

STOWA, 2012. Gebruikershandleiding VSS; Nelen & Schuurmans rapport M0131. Hoofdstuk 4.

Velstra, Jouke., Goswin. van Staveren, Jacob Oosterwijk, Rianne van der Werf, Lieselotte Tolk en Koos Groen, 2013. *Verziltingsstudie Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.* Acacia Water.

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

Vries, F. de, W.J.M. de Groot, T. Hoogland,. J. Denneboom, 2003. *De bodemkaart van Nederland digitaal; Toelichting bij inhoud, actualiteit en methodiek en korte beschrijving van additionele informatie.* Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 811.

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, H. van Zeijts, 2003. *The integrated modelling system STONE for calculating emissions from agriculture in the Netherlands.* Environmental Modelling & Software 18: 597-617

Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. *Generalisatie en bodemfysische vertaling van de Bodemkaart van Nederland, 1: 250 000, ten behoeve van de Pawnstudie*. Stiboka, Wageningen. Rapport 2055.

Bijlage 1

Poldersystemen

De retentie van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater varieert per polder en is afhankelijk van de onderliggende retentieprocessen. De grootte van deze retentieprocessen is afgeleid uit metingen in het oppervlaktewater (PLONS). Op deze manier is de capaciteit van het oppervlaktewatersysteem bepaald om stikstof vast te leggen, uitgedrukt in gram per m^2 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 zand-polders (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 en de watertemperatuur tijdens het meten, ingedeeld naar het bodemtype klei of veen, zijn weergegeven in tabel 25 (Veraart et al., in voorbereiding). 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:

$$D_T = D_{20} \cdot \theta_S^{(T-20)} \qquad (3)$$

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 3 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 25). De maandgemiddelde denitrificatiesnelheden zijn opgeschaald naar zomer- en winterhalfjaargemiddelden (tabel 26).

Tabel 25

Gemeten denitrificatiesnelheden in veen- en kleigebieden (µmol N m^{-2} h^{-1}) en de watertemperatuur (°C) op het moment van meten (Veraart et al. in voorbereiding). n=aantal waarnemingen, std=standaarddeviatie.

bodemtype	n	Denitrificatie (µmol N m^{-2} h^{-1}) gemiddeld	Denitrificatie (µmol N m^{-2} h^{-1}) minimum	Denitrificatie (µmol N m^{-2} h^{-1}) maximum	Temperatuur (°C) gemiddeld	std
klei	4	180,2	31,0	496,8	16,8	0,9
veen	7	62,9	5,9	166,6	21,3	0,8

Tabel 26

Afgeleide denitrificatiesnelheden (g N m^{-2}) voor klei- en veenpolders, voor het winter- en zomerhalfjaar.

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

Waterplanten en stikstof

Uit verschillende databronnen is een inschatting gemaakt van de hoeveelheid waterplanten aan het einde van het groeiseizoen, gemiddeld over de klei- en veenpolders (tabel 27). 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 27

Gemiddelde hoeveelheid waterplanten(g droge stof $m^{-2)}$ aan het einde van het groeiseizoen, volgend uit verschillende databronnen.

	Waterplanten (g droge stof m^{-2})		
bodemtype	*waterpest*	*kroos*	*ondergedoken*
klei	8	43	12
veen	29	14	25

Tabel 28 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 28

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 (g N m^{-2})	sterfte (g N m^{-2})
klei	1,92	0,38
veen	1,85	0,37

Totale stikstofretentie

Tabel 29 geeft de geschatte hoeveelheid stikstofretentie in de klei- en veenpolders; het opgetelde effect van denitrificatie en waterplanten. Deze hoeveelheden, in gram per m^2 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/hydrotypen' 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 - draagt waarschijnlijk bij aan de stikstofretentie, al zal het talud per strekkende meter waarschijnlijk in mindere mate bijdragen. Daarom is het openwateroppervlak bij benadering een goede maat voor het effectieve retentieoppervlak.

Tabel 29

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

bodemtype	zomerhalfjaar (g N m^{-2})	winterhalfjaar (g N m^{-2})
klei	11,8	5,0
veen	4,4	1,0

Bijlage 2

In figuur 11 zijn de gemeten stikstofconcentraties weergegeven van de meetpunten die in deelgebied Westerkogge liggen. De meetpunten met een groene achtergrond zijn gebruikt om de theoretische achtergrondconcentratie te bepalen voor de periode 2000-2009. De legenda bij de figuur is als volgt:

Stikstof

- < 2,0 mg/l
- 2,0 – 4,0 mg/l
- 4,0 – 6,0 mg/l
- > 6,0 mg/l

locatie	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	1990-1999	2000-2009	1990-2009
613002						2.7			4.5	4.4	3.5	4.3	2.8	4.0	3.4	3.4	3.9	3.2			3.85	3.55	3.63
613005		5.4	7.6	6.6	6.3	4.7					3.9								2.9	3.1	6.11	3.28	5.05
613010			5.6	5.6		3.3															4.83		4.83
613011			5.9	6.2		5.2										3.8	3.7				5.78	3.70	4.95
613013			7.6	9.1																	8.36		8.36
613019			9.6	6.4		4.1															6.71		6.71
613020			5.8	5.8		1.9															4.50		4.50
613023														5.2								5.23	5.23
617002						6.3															6.32		6.32
676501			5.2	6.3		2.2															4.54		4.54
MM4201												12.1	14.1	12.1	10.8							12.27	12.27
MM4202												3.5	5.9	5.1	4.8	4.3						4.72	4.72
MM4203												3.2	3.8	5.1	4.7	4.6						4.29	4.29
MM4204												4.2	4.6	5.2	3.6	2.9						4.11	4.11
MM4205												4.4	4.1	5.2	4.5	4.3						4.50	4.50
MM4206												2.2	2.9	2.3	2.4	2.4						2.44	2.44
MM4207												5.2	7.7	9.5	8.2	10.5						8.23	8.23
STHO05														4.5	3.2	2.4	2.9	2.1	2.7	2.1		2.84	2.84
STHO10														2.6	4.2	3.4						3.39	3.39
STUS06										2.7	5.4										2.65	5.43	4.04

Figuur 11 *Gemiddelde stikstofconcentraties voor de meetpunten in deelgebied Westerkogge.*

In figuur 12 zijn de gemeten fosforconcentraties weergegeven van de meetpunten die in deelgebied Westerkogge liggen. De meetpunten met een groene achtergrond zijn gebruikt om de theoretische achtergrondconcentratie te bepalen voor de periode 2000-2009. De legenda bij de figuur is als volgt:

Fosfor

- < 0,25 mg/l
- 0,25 – 0,50 mg/l
- 0,50 – 0,75 mg/l
- > 0,75 mg/l

locatie	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	1990-1999	2000-2009	1990-2009
613002						0.54			0.35	0.51	0.31	0.59	0.34	0.29	0.25	**0.38**	0.53	0.26			0.47	0.37	0.40
613005		0.76	0.78	0.58	0.61	0.59					0.41				0.34				0.37	0.37	0.66	0.37	0.53
613010			0.54	0.31		0.89			0.44				0.57				0.56				0.54	0.56	0.55
613011			2.25	2.27		2.18										2.20	1.34				2.23	1.77	2.05
613013			1.24	1.13					0.88					0.95				0.87			1.08	0.91	1.01
613019			1.02	0.25		1.24			0.70		0.81				0.68						0.80	0.74	0.78
613020			0.72	0.44		0.52			0.73			0.85				0.69					0.60	0.77	0.66
613023									1.05					0.99				0.71			1.05	0.85	0.92
617002						1.66			1.17				1.48				1.29				1.41	1.38	1.40
676501			0.70	0.36		0.53			0.91			0.59				0.50					0.62	0.54	0.60
MM4201												**2.40**	2.70	2.45	2.15							2.43	2.43
MM4202												1.24	1.91	1.22	1.11	0.80						1.26	1.26
MM4203												0.89	1.29	1.21	1.09	0.89						1.07	1.07
MM4204												1.13	1.02	1.32	1.01	0.69						1.03	1.03
MM4205												1.51	1.63	1.22	1.11	0.94						1.28	1.28
MM4206												0.31	0.79	0.33	0.46	0.32						0.44	0.44
MM4207												1.79	2.27	2.43	2.08	2.65						2.24	2.24
STHO05													1.35	0.96	0.76	1.25	0.97	1.10	1.03	0.65		1.01	1.01
STHO10														2.20	1.35	1.40						1.65	1.65
STUS06										0.66	0.38										0.66	0.38	0.52

Figuur 12 *Gemiddelde fosforconcentraties voor de meetpunten in deelgebied Westerkogge.*

Bijlage 3

Voor het uitbreiden van bestaande meetreeksen zijn de deelgebieden in fase 1 gegroepeerd naar hoofdgebied (i.c. jonge klei, droogmakerijen en laagveen). Per hoofdgebied is gezocht naar meetpunten met een lange meetreeks (voor de periode 2000-2009). De deelgebieden in fase 2 zijn vervolgens ingedeeld in één van de deze hoofdgebieden. Deelgebied Westerkogge is toegekend aan hoofdgebied *Droogmakerijen*.

Voor het hoofdgebied *droogmakerijen* is slechts één meetpunt beschikbaar (540012) met metingen voor de periode 2000-2008. Voor deze meetlocatie is voor ieder jaar een kwartaalgemiddelde concentratie bepaald. Er is gekozen voor een kwartaalgemiddelde concentratie omdat:

- er niet voor een specifieke meetdatum van de meetlocatie van de langste meetreeks een uitspraak gedaan kan worden voor het opvullen van de reeks van een andere meetlocatie. Bijvoorbeeld, voor meetlocatie 540012 is een meting uitgevoerd op 12 februari 2005. Het is moeilijk te voorspellen wat de meetwaarde zou zijn voor meetlocatie x exact op 12 februari 2005. Voor alleen het kwartaalgemiddelde is de voorspellingskans groter.
- sommige meetlocaties maar één meting per kwartaal hebben.

Door gebruik te maken van de gemeten kwartaalgemiddelde concentraties van de langste meetreeks kan een schatting gemaakt worden voor de kwartaalgemiddelde concentraties van de meetlocatie waarvoor geen meting is uitgevoerd. In onderstaand kader is een voorbeeld gegeven hoe een kwartaalgemiddelde concentratie wordt geschat voor een meetpunt waarvoor geen metingen beschikbaar zijn in het specifieke jaar.

Het opvullen van meetreeksen door het schatten van kwartaalgemiddelde concentraties door middel van een complete meetreeks

Voor het schatten van de kwartaalgemiddelde concentraties in een bepaalde periode wordt gebruik gemaakt van formule 4

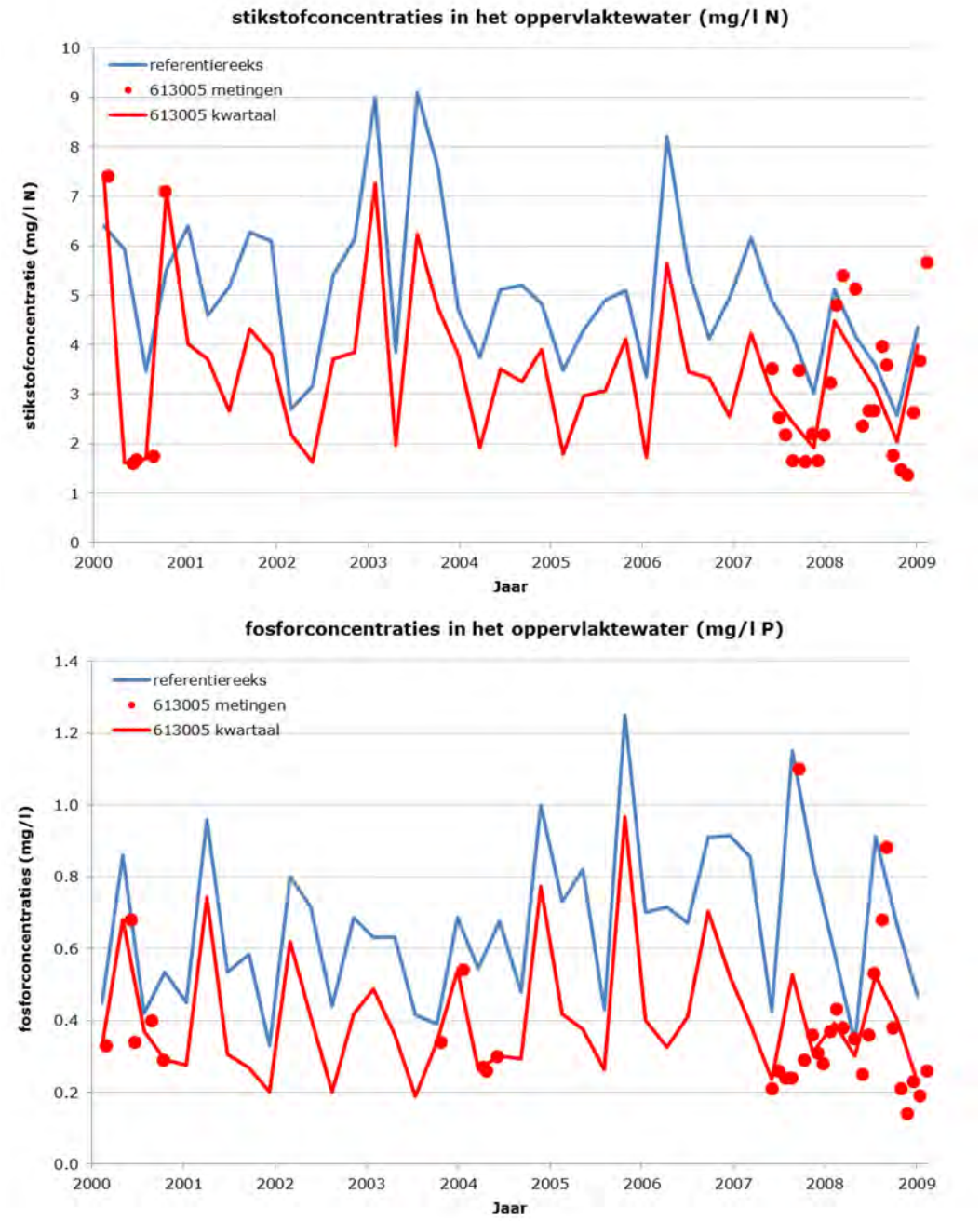
$$C_1_k_2_y_{2005} = C_1_k_2_y_{2008} / C_2_k_2_y_{2008} * C_2_k_2_y_{2005} \quad 4)$$

Waarin:
$C_1_k_2_y_{2005}$= *afgeleide* kwartaalconcentratie (mg/l) voor meetpunt ***1*** in het ***tweede*** kwartaal van **2005**
$C_1_k_2_y_{2008}$= *gemeten* kwartaalconcentratie (mg/l) voor meetpunt ***1*** in het ***tweede*** kwartaal van **2008**
$C_2_k_2_y_{2008}$= *gemeten* kwartaalconcentratie (mg/l) voor meetpunt ***2*** in het ***tweede*** kwartaal van **2008**
$C_2_k_2_y_{2005}$= *gemeten* kwartaalconcentratie (mg/l) voor meetpunt ***2*** in het ***tweede*** kwartaal van **2005**

Hieronder wordt een voorbeeldberekening gegeven voor het afleiden van de stikstofconcentraties (mg/l N-totaal) voor meetpunt 1 (c_1) en meetpunt 2 (c_2).

$$C1_k2_y2005 = 4{,}83 / 4{,}21 * 4{,}83 = 5{,}54 \quad 5)$$

In figuur 13 zijn de gemeten en opgevulde stikstof- en fosforconcentraties voor de periode 2000 – 2009 weergegeven voor deelgebied Westerkogge.



Figuur 13 *Gemeten stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater voor meetpunt 613005 (symbolen) en de (berekende) kwartaalgemiddelde stikstof- en fosforconcentraties (lijn). Daarnaast is de referentiereeks weergegeven.*

Bijlage 4

Door de heterogeniteit van een deelgebied wat betreft landgebruik, bodemopbouw, hydrologische toestand, etc. is de bijdrage van de verschillende bronnen niet één waarde, maar heeft een bandbreedte. Een heterogeen gebied heeft een grotere bandbreedte dan een homogeen gebied.

De bandbreedte als gevolg van de heterogeniteit van het gebied zegt niets over de onzekerheden van de gegeven waarden. Factoren die onzekerheden veroorzaken zijn:

- de kwaliteit en nauwkeurigheid van de metingen, zowel waterkwaliteit als waterafvoeren;
- de kwaliteit, de nauwkeurigheid en representativiteit van de waterbalans;
- de kwaliteit, de nauwkeurigheid en representativiteit van de dataverzameling die achter de schattingen zitten van de verschillende emissiebronnen (Emissieregistratie, STONE-berekeningen);
- onzekerheden die samenhangen met het bepalen van de herkomst van bronnen voor de uit- en afspoeling.

In deze studie is geen onzekerheidsanalyse uitgevoerd waardoor de bandbreedte als gevolg van deze onzekerheden niet gekwantificeerd kunnen worden.

De bijdrage van de verschillende bronnen aan de uit- en afspoeling met stikstof en fosfor voor deelgebied Westerkogge is weergegeven in tabel 30. De totale belasting van het oppervlaktewater met bijbehorende bandbreedte als gevolg van de heterogeniteit van het gebied is weergegeven in tabel 31.

Tabel 30

*Relatieve bijdrage (gemiddelde, 25-75 percentiel) van de bronnen aan de **uit en afspoeling** vanuit landbouwgronden naar regionaal oppervlaktewater voor deelgebied Westerkogge.*

Bron	Relatieve bijdrage (%)	
	Stikstof	fosfor
Actuele bemesting	58 (35 – 74)	42 (8,6 – 67)
Historische bemesting	3,3 (1,1 – 3,5)	16 (4,3 – 25)
Depositie	3,8 (2,0 – 4,3)	-
Kwel	2,3 (0,8 – 2,1)	8,5 (0,9 – 8,1)
Natuurlijke nalevering bodem	31 (12 – 51)	30 (12 – 35)
Infiltratiewater	1,4 (0,3 – 2,5)	3,2 (1,1 – 3,2)

Tabel 31

Areaal gewogen relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen, onderverdeeld in antropogeen en natuurlijk, voor deelgebied Westerkogge in het beheergebied van het hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

Categorie		Areaal gewogen gemiddelde relatieve bijdrage (%) (25-75 percentiel)	
		Stikstof	Fosfor
Antropogeen	Actuele bemesting	47 (29 – 61)	36 (7,4 – 58)
	Historische bemesting	2,7 (0,9 – 2,9)	14 (3,7 – 22)
	Landbouw overig	3,3	2,1
	Industriële lozingen	0,0	0,0
	Overige bronnen	2,9	1,5
	Inlaat	4,2	3,2
	Totaal antropogeen	60 (40 – 74)	57 (18 – 86)
Natuurlijk	Landbouwbodems	25 (10 – 41)	26 (10 – 30)
	Infiltratiewater	1,1 (0,3 – 2,1)	2,8 (1,0 – 2,8)
	Atmosferische depositie	7,0 (5,6 – 7,4)	-
	Kwel	4,3 (3,0 – 4,1)	12 (5,0 – 11)
	Natuur	2,0	2,7
	Totaal natuurlijk	40 (21 – 57)	43 (19 – 47)

Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2475.23
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét 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.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

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



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2475.23
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét 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.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.