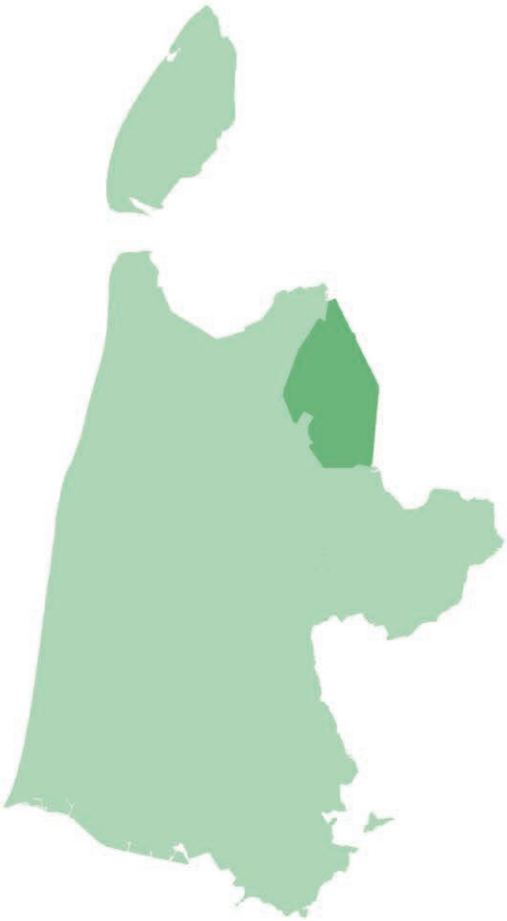




Achtergrondconcentraties in het oppervlaktewater van HHNK

Deelrapport 33: Analyse achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor op basis van water- en nutriëntenbalansen voor deelgebied Wieringermeer Oost

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 33: Analyse achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor op basis van water- en nutriëntenbalansen voor deelgebied Wieringermeer Oost

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, december 2014

Alterra-rapport 2475.33
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 33: Analyse achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor op basis van water- en nutriëntenbalansen voor deelgebied Wieringermeer Oost.* Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2475.33. 62 blz.; 14 fig.; 32 tab.; 31 ref.

In dit technisch wetenschappelijk onderzoeksrapport zijn de **theoretische stikstof- en fosforconcentraties** van het **oppervlaktewater in deelgebied Wieringermeer Oost** 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 Wieringermeer Oost bedraagt 27% voor stikstof en 28% voor fosfor.

Trefwoorden: Europese Kaderrichtlijn Water, nutriënten, achtergrondconcentraties, nutriëntenbalans, oppervlaktewaterkwaliteit, landbouw, maatregelen, Wieringermeer Oost, 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 2475.33 | 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 Wieringermeer Oost **13**

3 Methodiek **17**

3.1 Inleiding en stappenplan 17
3.2 Stap 1: Opstellen waterbalans 17
3.3 Stap 2: Dataverzameling en data- analyse 21
3.4 Stap 3: Opstellen nutriëntenbalans 22
3.5 Stap 4: Plausibiliteit nutriëntenbalans 27
3.6 Stap 5: Afleiden theoretische achtergrondconcentraties 27

4 Resultaten **31**

4.1 Stap 1: Waterbalans 31
4.2 Stap 2: Dataverzameling en data-analyse 31
4.3 Stap 3: Nutriëntenbalans 33
4.3.1 Onderdeel I: Gebiedsanalyse 33
4.3.2 Onderdeel II en III: herschikking en opstellen nutriëntenbalans 36
4.3.3 Onderdeel IV: Regionalisatie nutriëntenbelasting uit- en afspoeling 38
4.4 Stap 5: Afleiden theoretische achtergrondconcentraties 40
4.4.1 Herkomst bronnen 40
4.4.2 Theoretische achtergrondconcentraties 43

5 Conclusies **45**

Literatuur **47**

Bijlage 1 **49**

Bijlage 2 **53**

Bijlage 3 **57**

Bijlage 4 **59**

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 Wieringermeer Oost 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 Wieringermeer Oost
De waterbalans van deelgebied Wieringermeer Oost is in tabel A weergegeven.

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

2000-2009	Term	mm/jaar
Inkomende termen	Neerslag	862
	Beregening (inlaat via hevels)	244
	Kwel	386
	Rwzi	12
	Totaal	1504
Uitgaande termen	Actuele verdamping	531
	Uitlaat via gemalen	976
	Totaal	1507
Bergingsverschil		3

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 Wieringermeer Oost voor de periode 2000-2009.

2000-2009	Stikstof			Fosfor		
	kg/ha/jaar	ton/jaar	%	kg/ha/jaar	ton/jaar	%
Uit- en afspoeling	49.2	501	85	6,2	63,5	91
Landbouw overig [1]	0,83	8,4	1,4	0,06	0,59	0,8
Atmosferische depositie [2]	0,65	6,7	1,1	-	-	-
Rwzi	0,59	6,0	1,0	0,21	2.1	3,1
Industriële lozingen	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Overige bronnen [3]	0,16	1,6	0,3	0,02	0,17	0,2
Inlaat via hevels	5,71	58,2	9,9	0,25	2,6	3,7
Directe kwel [4]	0,67	6,8	1,2	0,10	1,0	1,4
Totaal IN	57,8	589		6,9	70,0	
Retentie [5]	3,7	38	6,4	3,2	32,8	47
Totaal IN – retentie	54,1	551		3,7	37,2	

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 (85% voor N en 91% 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 27% voor N en 28% voor P. Deze natuurlijke belasting bestaat voor een belangrijk deel uit 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 groot (73% voor N en 72% voor P) en vooral afkomstig van de actuele bemesting (57% voor N en 63% voor P).

Tabel C

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

Categorie		Areaal gewogen gemiddelde relatieve bijdrage (%)	
		Stikstof	Fosfor
Antropogeen	Actuele bemesting	57	63
	Historische bemesting	3,8	1,6
	Rwzi	1,0	3,1
	Landbouw overig	1,4	0,8
	Industriële lozingen	0,0	0,0
	Overige bronnen	0,3	0,2
	Inlaat	9,9	3,7
	Totaal antropogeen	73	72
Natuurlijk	Bodem (geogeen)	14	11
	Infiltratiewater	0,3	1,3
	Atmosferische depositie	6,6	-
	Kwel	4,3	12
	Natuur	2,1	3,3
	Totaal natuurlijk	27	28

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 Wieringermeer Oost voor de periode 2000-2009. De afgeleide theoretische achtergrondconcentratie van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater in deelgebied Wieringermeer Oost is voor stikstof 1,39 mg/l N en voor fosfor 0,16 mg/l P.

Tabel D

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

Wieringermeer Oost	Stikstof	Fosfor
Gemiddelde concentratie in het oppervlaktewater (mg/l)	5,14	0,58
Relatieve bijdrage natuurlijke bronnen (%)	27	28
Theoretische achtergrondconcentratie (mg/l)	1,39	0,16

Door de heterogeniteit van deelgebied Wieringermeer Oost 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 Wieringermeer Oost beschreven.

1.2 Projectdoelstelling

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

- Welke bronnen van nutriënten in deelgebied Wieringermeer Oost 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 Wieringermeer Oost?

1.3 Leeswijzer

Het studiegebied en de methodiek voor het afleiden van de theoretische achtergrondconcentraties van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater in deelgebied Wieringermeer Oost 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 Wieringermeer Oost

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.

Naar aanleiding van een plan van ingenieur Cornelis Lely kwam op 14 juni 1918 de “Wet tot afsluiting en droogmaking der Zuiderzee (latere IJsselmeer)” tot stand. De Proefpolder Grootslag was de eerste Zuiderzeepolder die droog werd gemalen. De Wieringermeer was de tweede Zuiderzeepolder die droog viel, op 21 augustus 1930. De Zuiderzee was op dat moment nog niet afgesloten door de Afsluitdijk, dat vond plaats op 28 mei 1932. Op 29 juli 1920 werd de eerste grond in het Amsteldiep (Amstelmeer) gegooid om een dijk te maken tussen het vaste land van Noord-Holland en het eiland Wieringen. Op 31 juli 1924 werd het laatste gat in deze Amsteldiepdijk (korte Afsluitdijk) gedicht, zodat het eiland Wieringen met het vaste land was verbonden.
Vervolgens werd begonnen met de drooglegging van de Wieringermeer. In open zee werd er een dijk om de Wieringermeer gebouwd. Vanuit de werkhaven “De Oude Zeug” werd van twee kanten gewerkt aan de aanleg van de Wieringermeerdijk. Deze dijk verbond Medemblik met Den Oever.
De Wieringermeer werd van de Zuiderzee afgesloten op 29 juli 1929. Het duurde toen nog enige maanden voordat de gemalen de Leemans en de Lely gereed waren. Op 10 februari 1930 werden beide gemalen in bedrijf gesteld en op 21 augustus van datzelfde jaar viel de Wieringermeer droog.
Aan het einde van de Tweede Wereldoorlog (april 1945) werden de dijken van de Wieringermeer door de bezetters doorgestoken. Na de bevrijding werd een dijk om de bestaande dijk gelegd en in augustus 1945 kon opnieuw begonnen worden met de drooglegging van de Wieringermeer. Op 11 december 1945 was de polder Wieringermeer weer droog.

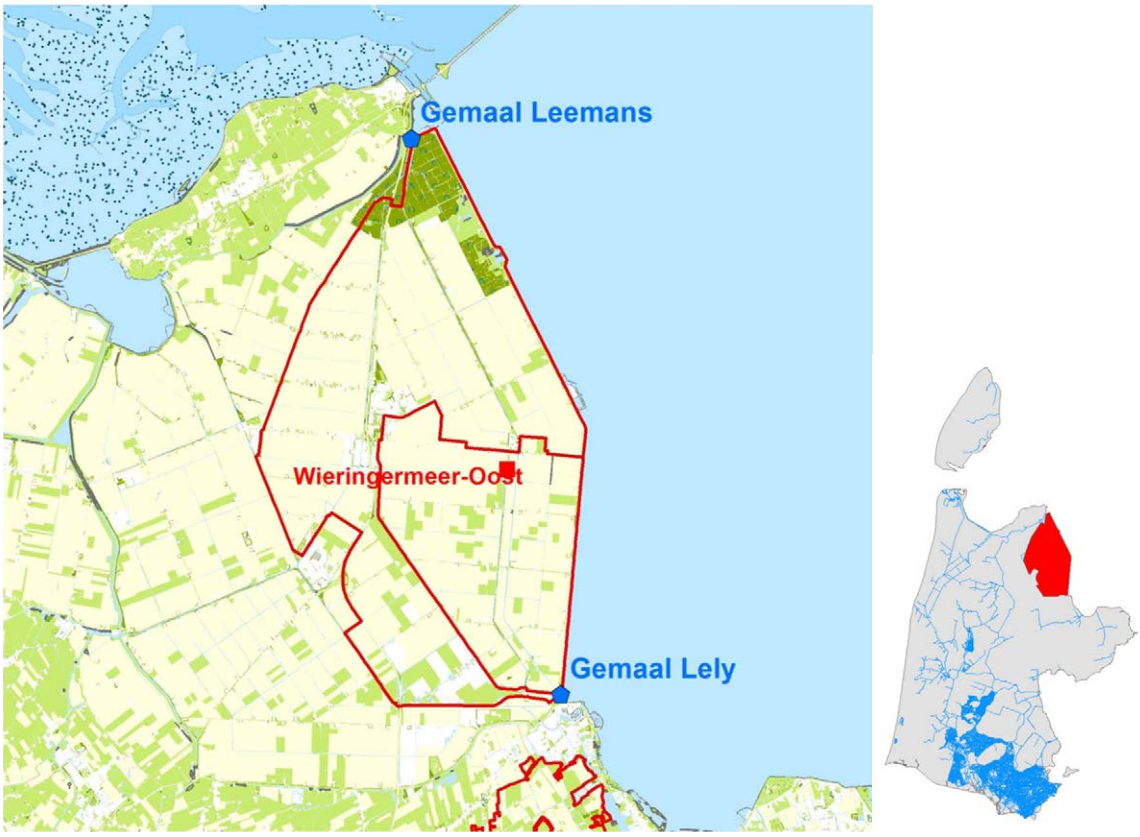
De inrichting van de drooggevallen gronden (ontginning, boerderijenbouw, aanleg van dorpen en uitgifte van grond) werd verzorgd door de Directie van de Wieringermeer, later genoemd de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. In 1942 werd het Heemraadschap De Wieringermeer opgericht. In 1995 is het heemraadschap opgeheven en vervolgens opgenomen in het waterschap Hollands Kroon om vervolgens in 2003 op te gaan in het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.
Binnen deelgebied Wieringermeer-Oost liggen de plaatsen Wieringerwerf en Kreileroord.

Beschrijving watersysteem
Wieringermeer Oost is opgesplitst in 2 delen met ieder een eigen peil, nl. afdeling III en afdeling IV.
Het water in afdeling III stroomt via een stelsel van hoofdwatergangen in noordoostelijke richting en wordt door het gemaal Leemans uitgeslagen in de Waddenzee.
Het water in afdeling IV stroomt via meerdere hoofdwatergangen in noordwestelijke richting en wordt door het gemaal Hoekvaart afgevoerd naar afdeling III.

In het verleden verliep de afvoer van water via de hoofdwatergangen naar de gemalen Leemans in het noorden en Lely in het zuiden van de Wieringermeer. Deze gemalen sloegen het overtollige (zoute) water uit op het IJsselmeer. Dit gaf echter problemen omdat het water uit het IJsselmeer tevens wordt gebruikt voor de drinkwaterproductie. Daarom is het natuurlijke proces van waterstromen omgedraaid. Het water uit de Wieringermeer wordt van het laagste punt nabij Medemblik opgepompt naar het hoogste punt bij Den Oever (gemaal Leemans). Hiertoe zijn twee nieuwe tussengemalen gebouwd. Het gemaal Hoekvaart nabij Wieringerwerf pompt het water van afdeling IV naar afdeling III terwijl het gemaal Slootsluis bij Slootdorp het water van afdeling II naar afdeling I pompt.

Om het polderwater te kunnen verwerken is de capaciteit van het gemaal Leemans uitgebreid. Via een 1100 meter lange afvoerleiding wordt het zoute water uit de Wieringermeer afgevoerd naar de Waddenzee. In geval van wateroverlast en calamiteiten wordt het oude systeem weer ingesteld en wordt het water op natuurlijke wijze afgevoerd naar gemaal Lely.

In afdeling III en IV zijn geen inlaten gesitueerd, wel liggen er veel hevels in het gebied van Wieringermeer Oost. Volgens de toelichting bij het peilbesluit liggen er in Afdeling III dertig hevels en in Afdeling IV achtentwintig hevels. In het voorjaar en tijdens de zomer wordt in beide afdelingen water ingelaten via deze particuliere inlaten of hevelleidingen. Dit gebeurt vanuit het IJsselmeer, alle hevels zijn gesitueerd langs de Wieringermeerdijk. Binnendijks vindt het verdere transport van het water plaats via de weg- en kavelgrenssloten. Dit water wordt voornamelijk gebruikt voor de beregening van gewassen.

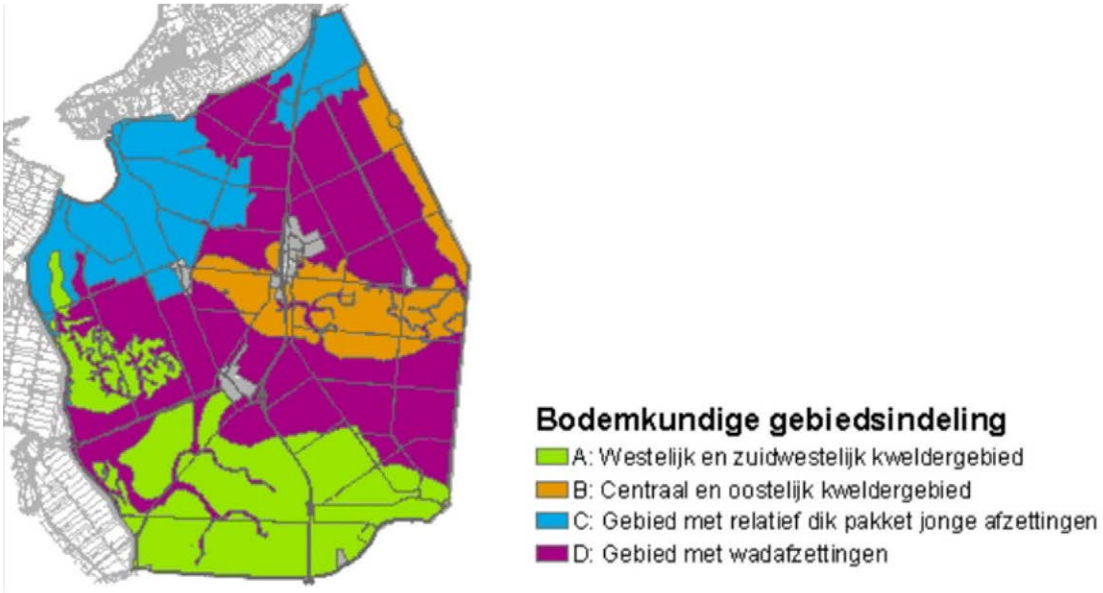


Figuur 1 *Ligging van deelgebied Wieringermeer Oost in het beheergebied van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.*

Grondgebruik
Deelgebied Wieringermeer Oost bestaat voor 92% uit landelijk gebied, voor 2,0% uit water en voor 5,8 % uit stedelijk gebied. Het landelijk gebied bestaat voor 76% uit akkerbouw en 14% uit grasland, verder zijn er kleine arealen mais (3%) en natuur (7%).

Bodem en Geologie
Bij een geohydrologische schematisatie worden watervoerende pakketten en slecht doorlatende (scheidende) lagen onderscheiden. In een watervoerend pakket treedt een overwegend horizontale grondwaterstroming op, terwijl in een scheidende laag voornamelijk verticale grondwaterstroming optreedt. De geohydrologische basis is een slecht doorlatende laag, die vanwege de dikte en/of de opbouw vrijwel ondoorlatend is. In de Wieringermeer bevindt deze laag zich op NAP -300 tot -380 m. Voor de Wieringermeer is vooral de bovenkant van het hydrologisch pakket van belang, het afdekkend pakket, en het direct daaronder aanwezige watervoerende pakket. Het afdekkend pakket bestaat hoofdzakelijk uit holocene kleien, venen en slibhoudende zanden (Westland Formatie).

Tussen de hydrologische basis en het afdekkend pakket bevinden zich meerdere watervoerende pakketten al dan niet onderbroken door scheidende lagen, die in het Pleistoceen zijn afgezet.
Rond 6500 jaar voor heden is ter plaatse van de huidige Wieringermeer nog het pleistocene landschap aanwezig. Wel liggen zuidelijk van de Wieringermeer al getijdengeulen vanuit de stijgende Noordzee in het westen. Rond 5100 jaar voor heden is het getijdengebied opgerukt tot in het zuidelijke deel van de Wieringermeer. In het noordelijke deel wordt dan veenmoeras weergegeven. Dit veenmoeras breidt zich verder zuidwaarts uit waardoor het rond 3800 jaar voor heden de hele Wieringermeer bedekt. Rond 2600 jaar voor heden ligt de zuidgrens van het veenmoeras nog steeds op de grens van de Wieringermeer. Ondertussen sluit het zeegat bij Bergen, waardoor het veenmoeras zich zuidwaarts uitbreidt. Daarna maakt het veenmoeras in de Wieringermeer plaats voor een getijdengebied dat dit maal niet vanuit het westen, maar vanuit het noorden (Waddenzee / Zuiderzee) komt.
De Wieringermeer kan bodemkundig worden opgesplitst in vier deelgebieden (figuur 2).



Figuur 2 *Bodemkundige situatie van de Wieringermeer.*

A. Westelijke en zuidwestelijk kweldergebied
In het westelijk en zuidwestelijk kwelderkleigebied is het profiel opgebouwd uit een pakket afzettingen van Calais die onder wisselende omstandigheden zijn gesedimenteerd. Aanvankelijk bestond de sedimentatie uit sterk zandige afzettingen die geleidelijk lutumrijker werden. Uiteindelijk ging het sediment over in afzettingen van Calais die sterk doorgroeid waren. Op deze doorgroeide afzettingen werd de opslibbing beduidend minder en lutumrijker waardoor uiteindelijk een venig laagje werd gevormd. Op verschillende plaatsen vond hierop wadafzetting plaats. De oude geulen en kreken zijn later gevuld met sterk zandige afzettingen.

B. Centraal en oostelijk kweldergebied
Het holocene pakket in het centrale en oostelijke kweldergebied is aanzienlijk dunner en is hoofdzakelijk opgebouwd uit afzettingen van Calais. Tussen deze afzettingen en het pleistocene zand is op de meeste plaatsen, maar vooral in het centrale deel, nog een laag van 0,30 à 0,40 m klei aanwezig. De geulen en kreken die in dit gebied voorkomen en die vaak tot in het pleistocene zand zijn uitgesneden, zijn opgevuld met wadzand waarin voornamelijk bovenin kleiige bandjes voorkomen.

C. Gebied met relatief dik pakket jonge afzettingen
In het gebied met jonge afzettingen is het profiel ten zuiden van Wieringen vanaf het Pleistoceen opgebouwd uit een zware wadafzetting, uiteenlopend in dikte van 1,0 tot 3,0m. Deze afzettingen zijn afgedekt met een circa 1,0 m dikke laag lichte zavel en zand. Meer naar het zuiden neemt de zware wadafzetting af tot een dikte van circa 1,0 m, terwijl op sommige plaatsen helemaal geen zware wadafzettingen meer voorkomen. Het profiel is hier opgebouwd uit wadzand met een enkel zwavelbandje.

Daar waar de zware wadafzettingen in dikte afnemen, neemt de laag wadzand in dikte toe tot 2,0 à 3,0m. De wadafzetting is achter het Amsteldiep het dikst. Tevens is hier de zandfractie het grootst en bevat de afzetting weinig lutum.
Naar het oosten en zuiden neemt de dikte langzaam af tot 0,1m. Naarmate de laag in dikte afneemt, neemt de zandfractie eveneens af, terwijl het lutumgehalte toeneemt.
Het voorkomen van veen in dit gebied beperkt zich tot het noordelijk gebied onder Wieringen en het westelijk deel langs de dijk bij Nieuwe Sluis. De dikte van het voorkomende veen loopt nogal uiteen, evenals de diepte van het veen ten opzichte van het maaiveld.

D. Gebied met wadafzettingen
Het gebied met wadafzettingen bestaat uit twee delen. Het noordelijke gedeelte ligt boven Wieringerwerf. Het zuidelijke gedeelte begint ten westen van Middenmeer en loopt van daar naar de Wieringermeerdijk. De twee gedeelten met wadafzettingen hebben een verschillende profielopbouw. Het zuidelijke gedeelte is een grote zeearm geweest die diep in het Pleistoceen is ingesneden. Uit beschikbare gegevens is bekend dat het Pleistoceen niet voorkomt binnen een diepte van circa NAP –17 m. De zeearm is in zijn geheel opgevuld met wadzand waarin geen schelpen of plantenresten voorkomen. Alleen boven in het profiel komen enkele kleiige bandjes voor.

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 Wieringermeer Oost 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. In sommige andere gevallen zijn de GAF70 gebieden geclusterd tot één waterbalansgebied, afhankelijk van het watersysteem in het gebied. Wieringermeer Oost bestaat uit twee eenheden, Afdeling 3 en Afdeling 4. De resulterende begrenzing en inliggende KRW-afwateringseenheden voor deelgebied Wieringermeer Oost zijn weergegeven in figuur 3.



Figuur 3 *Gebiedsbegrenzing voor deelgebied Wieringermeer Oost 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 vijf neerslagstations in de omgeving van deelgebied Wieringermeer Oost (tabel 4). Voor het opstellen van de waterbalans is gebruik gemaakt van het meteostation Kreileroord. De Thiessen polygoon van dit station bestrijkt ca. 42% van het oppervlak.

Tabel 4

Neerslagstations in de buurt van deelgebied Wieringermeer Oost.

Neerslagstation		Oppervlak	
		ha	%
236	Medemblik	3335	32,7
238	De Haukes	1381	13,6
239	Den Oever	1218	12,0
240	Kreileroord	4233	41,6
252	Kolhorn	20	0,2
Totaal		10187	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 Wieringermeer Oost wordt een gebiedsgemiddelde **kwelflux** van 386 mm/jaar berekend.

Tabel 5

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

Type oppervlak	Kweldruk (mm/jaar)
Open water	14762 (2,3% van het totale oppervlak)
Overig	39 (97,7% van het totale oppervlak)
Gebiedsgemiddeld	386

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 Wieringermeer Oost ligt één rwzi (Wieringerwerf) die een bijdrage levert aan de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater. Er zijn verder 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 kan 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).

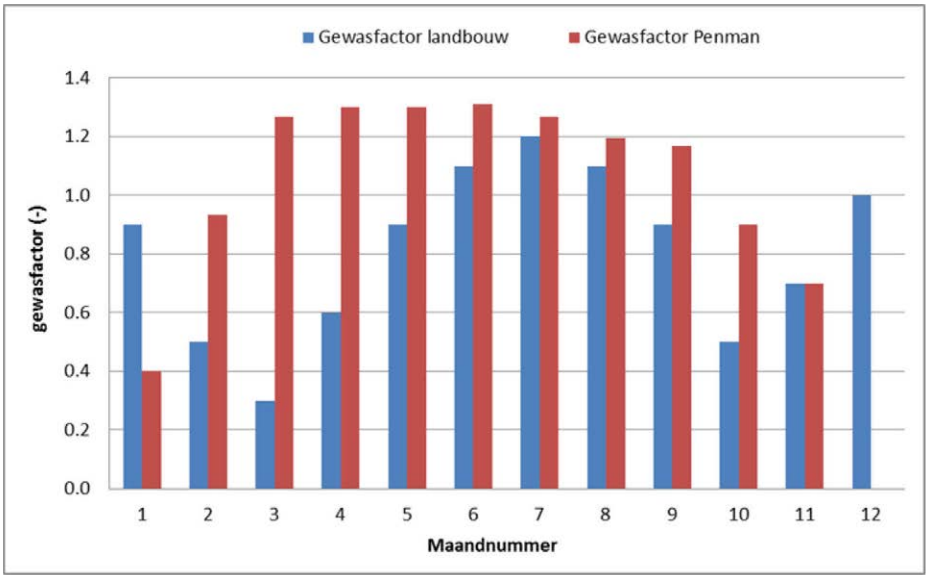
Uit de analyse voor de periode 2002 t/m 2010 is gebleken dat de verdampingshoeveelheden tussen de stations structureel lijken te verschillen. Op jaarbasis is de verdamping voor station De Kooy het grootst, op de voet gevolgd door Wijk aan zee, de verdamping voor station Berkhout is het laagst:

- 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 Wieringermeer Oost 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 4).



Figuur 4 *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 Wieringermeer Oost wordt bemalen door het gemaal Leemans, onder bepaalde omstandigheden wordt ook het gemaal Lely gebruikt. 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 Wieringermeer Oost 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 (inlaat vanuit IJsselmeer) wordt bepaald door de hoeveelheid inlaatwater te vermenigvuldigen met de gemeten nutriëntenconcentraties in het IJsselmeer. 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.

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 Wieringermeer Oost. 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 Wieringermeer Oost 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 inlaatwater
	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 Wieringermeer Oost 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 Wieringermeer Oost (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. Ook voor 'overgangsgebieden' (deel polder, deel vrij afwaterend) worden deze retentiefactoren 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 Wieringermeer Oost.

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 Wieringermeer Oost 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.

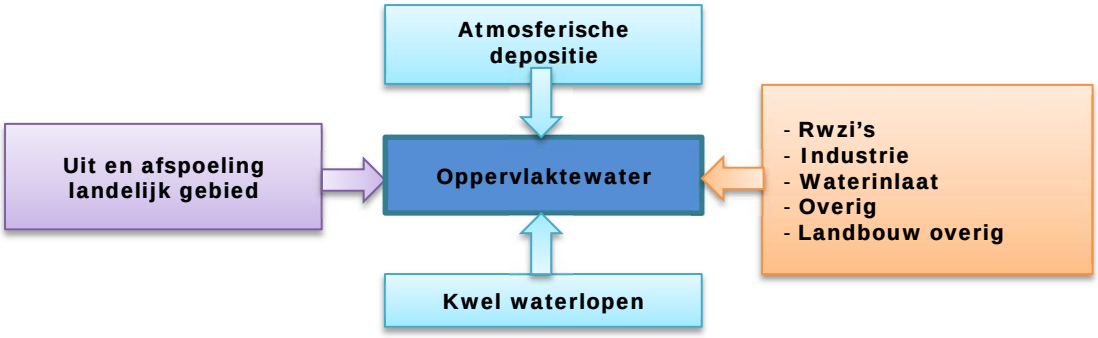
3.6 Stap 5: Afleiden theoretische achtergrond-concentraties

In de vorige paragrafen is de werkwijze toegelicht om tot een plausibele nutriëntenbalans te komen voor deelgebied Wieringermeer Oost. 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 5 zijn de **belangrijkste** bronnen/emissieroutes weergegeven die bijdragen aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater.

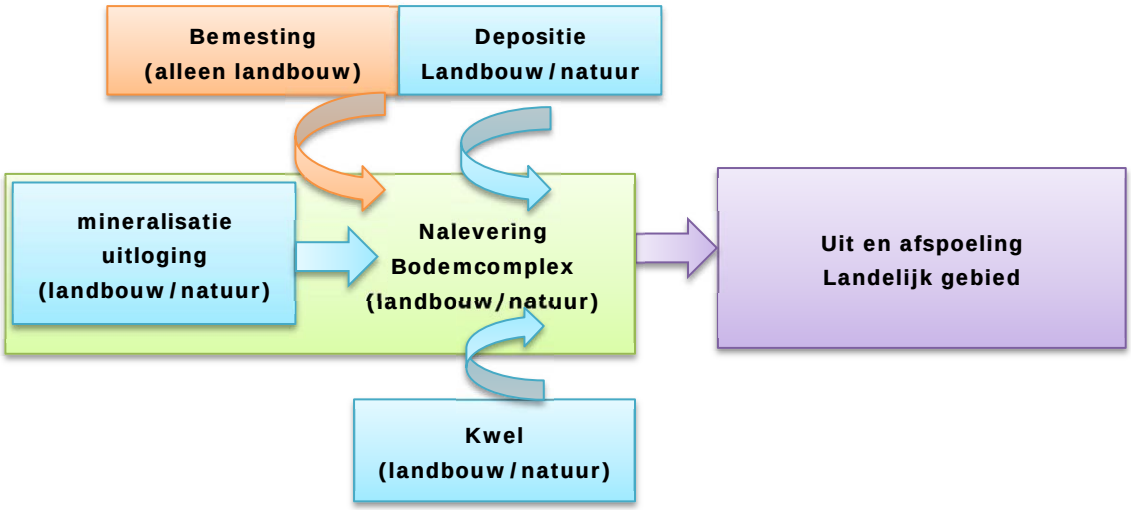


Figuur 5 *Overzicht van de belangrijkste bronnen/emissieroutes naar het oppervlaktewater.*

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 5), omdat deze voor zowel voor stikstof als fosfor een resultante is van achterliggende bronnen en verschillende fysisch-geochemische processen (figuur 6). 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 6 *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 Wieringermeer Oost zijn meegenomen.

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 Wieringermeer Oost 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 Wieringermeer Oost voor de periode 2000-2009.

Jaar	Inkomende termen				Uitgaande termen		Bergingsverschil
	Neerslag	Beregening [1]	Kwel	rwzi	Verdamping actueel [2]	Uitlaat	
	mm	mm	mm		mm	mm	mm
2000	962	252	394	18	501	1154	-29
2001	951	252	385	13	537	1060	4
2002	849	252	387	12	520	975	5
2003	615	252	395	9	553	725	-8
2004	915	252	388	12	515	1060	-9
2005	886	252	384	12	529	1003	1
2006	792	107	391	10	534	771	-4
2007	883	251	387	12	526	1013	-6
2008	1003	233	388	12	536	1102	-2
2009	766	341	364	9	566	899	16
Gem	862	244	386	12	531	976	-3

1 inlaat via de hevels in de zomerperiode

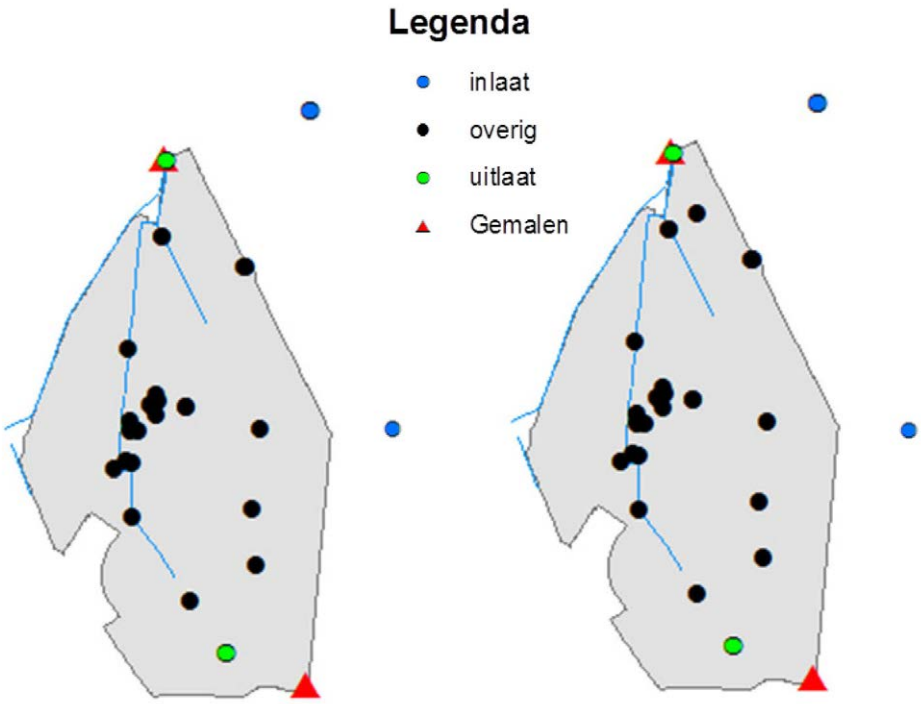
2 Verdampingsreductie voor gewassen bij klein bodemvochtvolumes en de beperkte verdamping van verhard oppervlak.

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*. Deelgebied Wieringermeer Oost bestaat uit twee waterbalansen. De waterbalans voor balansgebied Afdeling 3 heeft de status *goed*, aan balansgebied Afdeling 4 is de status *matig* toegekend.

4.2 Stap 2: Dataverzameling en data-analyse

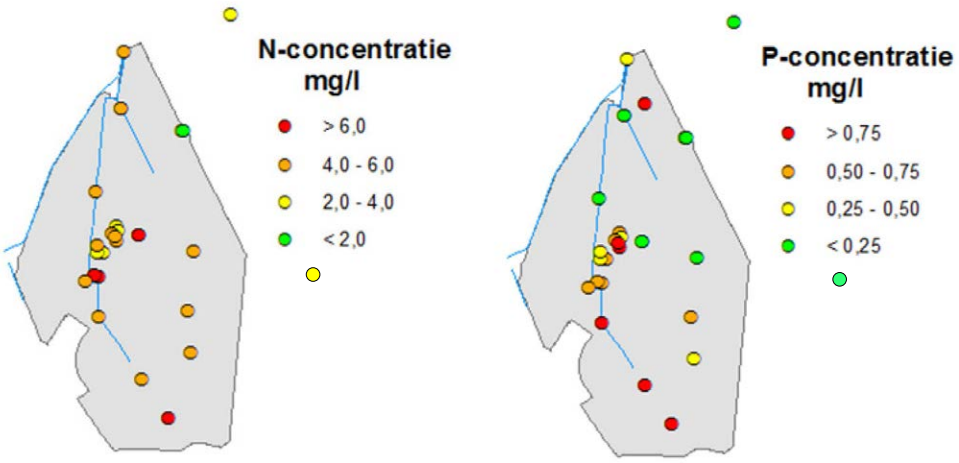
In paragraaf 3.3 is aangegeven dat voor het afleiden van de inkomende en uitgaande nutriëntenvracht (stikstof en fosfor) gebruik gemaakt wordt van de berekende debieten en dat voor de concentraties representatieve meetpunten zijn gezocht. In figuur 7 is een overzicht gegeven van de meetpunten waarvoor 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 zijn meetpunten geselecteerd die representatief zijn voor de kwaliteit van het water dat via de gemalen wordt uitgeslagen (groene meetpunten). Naast de kwaliteitsmeetpunten is ook de locatie van het gemaal Leemans (noord) en gemaal Lely (zuidoost) weergegeven (rode driehoeken).



Figuur 7 *Overzicht van meetpunten in en nabij deelgebied Wieringermeer Oost 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 Wieringermeer Oost geanalyseerd waarvoor metingen beschikbaar zijn in de periode 2000-2009 (figuur 8 en bijlage 2). Opgemerkt moet worden dat de gemiddelde concentraties betrekking kunnen hebben op **verschillende meetjaren** waardoor geen zuivere vergelijking gemaakt kan worden.



Figuur 8 *Gemiddelde stikstof- en fosforconcentratie (mg/l) van meetpunten in en nabij deelgebied Wieringermeer Oost voor de periode 2000-2009.*

De variatie in gemiddelde stikstof- en fosforconcentraties van de meetpunten binnen Wieringermeer Oost is groot. Er zijn zowel meetpunten met nutriëntenconcentraties in de klasse groen (lage nutriëntenconcentraties) als in klasse rood (hoge nutriëntenconcentraties). De stikstofconcentratie van de meetpunten in het IJsselmeer liggen tussen de 2,0 en 4,0 mg/l N (klasse geel), de fosforconcentraties liggen in klasse groen (< 0,25 mg/l P).

Tabel 11

Overzicht van de geselecteerde meetpunten voor deelgebied Wieringermeer Oost.

Meetpunt	x-coördinaten	y-coördinaten	Richting	Meetperiode	
				Stikstof	fosfor
770304	131556	548252	Uitlaat	2000-2009	2000-2009
VG0101	133399	533169	Uitlaat	2008, 2009	2008, 2009
VROUWZD	155400	535900	Inlaat	2000-2009	2000-2009
DENOVR	135950	549760	Inlaat	2002, 2003	2002, 2003

De gemiddelde nutriëntenconcentraties, weergegeven in figuur 8, 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 VG0101 zijn bijvoorbeeld alleen metingen beschikbaar voor de jaren 2008 en 2009.
Voor het afleiden van de uitgaande nutriëntenvracht voor de periode 2000-2009 is het nodig om de bestaande reeks voor meetpunt VG0101 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 Wieringermeer Oost 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 ruim 90% van deelgebied Wieringermeer Oost uit landelijk gebied (landbouw en natuur), 2,0% is open water, het overige deel is stedelijk gebied (5,8%, tabel 12). Het landelijk gebied bestaat voornamelijk uit akkerbouw (76%) en grasland (14%). Het areaal landelijk gebied dat in de waterbalansapplicatie van HHNK wordt aangehouden beslaat ruim 90% van het totale areaal en is 120 ha groter dan op basis van LGN6. Ook het areaal open water is iets groter (verschil van 34 ha).

Tabel 12

Landgebruik in deelgebied Wieringermeer Oost 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	1279	13,6			511	5,5
Maïs	2	295	3,1			30	0,3
Akkerbouw	3	7158	76,2			8458	91,6
Natuur	4	663	7,1			235	2,5
Subtotaal		9395	100			9234	100
Landelijk gebied		9395	92,2	9515	93,4		
Water		204	2,0	238	2,3		
Stedelijk gebied		589	5,8	435	4,3		
Totaal		10188	100	10188	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 akkerbouw in STONE ruim 90% bedraagt, op basis van LGN6 is het areaal akkerbouw 76%. Het areaal grasland, mais en natuur wordt onderschat.

Bodemtype
Het bodemtype (grondsoort) in deelgebied Wieringermeer Oost 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 Wieringermeer Oost op basis van de 1:50.000 bodemkaart en STONE 2.4.

Grondsoort	Bodemfysische eenheid	Beschrijving	Bodemkaart		STONE 2.4	
			ha	%	ha	%
Veen	2	Veengronden met veraarde bovengrond en zand in de ondergrond	45	0,5	-	-
	3	Veengronden met kleidek	-	-	5,0	0,1
	4	Veengronden met kleidek en zand in de ondergrond	23	0,2	-	-
	5	Veengronden met zanddek en zand in de ondergrond	21	0,2	-	-
		Veen totaal	89	0,9	5,0	0,1
Zand	7	Stuifzandgronden	588	6,0	273	3,0
	9	Podzolgrond in zwak lemig, fijn zand	64	0,6	131	1,4
	12	Enkeerdgrond in zwak lemig, fijn zand	-	-	6,6	0,1
		Zand totaal	652	6,6	411	4,4
Zavel	15	Homogene zavelgronden	3646	37,1	3438	37,2
		Zavel totaal	3646	37,1	3438	37,2
Klei	16	Homogene, lichte kleigronden	2501	25,4	3059	33,1
	17	Kleigrond, met zware tussenlaag of ondergrond	-	-	31	0,3
	18	Kleigronden op veen	95	1,0	85	0,9
	19	Klei op zandgronden	2852	29,0	2193	23,7
	21	Leemgronden	-	-	13	0,1
	-	Klei totaal	5449	55,4	5380	58,1
Totaal			9836	100	9234	100

Het grootste gedeelte van deelgebied Wieringermeer Oost zijn kleigronden (55%), waarvan het grootste gedeelte klei op zandgronden (29%) of homogene lichte kleigronden (25%) zijn. Het overige deel is voornamelijk homogene zavelgrond (37%). Zand en vooral veen komt bijna niet voor. De verdeling die in de STONE-schematisatie wordt aangehouden komt aardig goed overeen met de verdeling op basis van de 1:50.000 bodemkaart.

Hydrologische toestand (Gt-klassen)
De grondwatertrappenindeling in zeven Gt-klasse voor deelgebied Wieringermeer Oost 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

Op basis van de 1: 50.000 bodemkaart bestaat het deelgebied Wieringermeer Oost voornamelijk uit matig droge gronden (bijna 90%), ca. 5% is nat en ca. 6% zijn droge gronden. Op basis van de SWAP-berekeningen is ook het merendeel matig droog (78%). Ten opzichte van de bodemkaart is het areaal droge gronden beduidend groter (568 ha versus 1733 ha).

Tabel 14

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

Cluster	Bodemkaart		SWAP-berekeningen	
	ha	%	ha	%
Nat	480	4,9	292	3,2
Matig droog	8788	89,3	7209	78,1
Droog	568	5,8	1733	18,8
Totaal	9836	100	9234	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 2,6%, op basis van de informatie van het Hoogheemraadschap is het percentage open water 2,3%. 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	2,6
Waterbalansmodule	2,3

Kwelflux en kwelconcentraties

De gebiedsgemiddelde kwelflux voor deelgebied Wieringermeer Oost is 386 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 zijn gemeten 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 Wieringermeer Oost op basis van de verschillende informatiebestanden (Waterbalans HHNK, STONE-schematisering, studie van TNO (Griffioen et al., 2006)).

Kwelflux (mm/jaar)	STONE	Waterbalans HHNK
Gebiedsgemiddeld	313	386
kwelconcentratie (mg/l)	STONE	TNO
Stikstof	11,1	7,4
Fosfor	1,5	1,1

De gemiddelde kwelflux op basis van de STONE 2.4 schematisatie van 313 mm/jaar is 73 mm lager dan de gemiddelde kwelflux op basis van de waterbalans (386 mm/jaar). De gemiddelde nutriëntenconcentraties van het kwelwater in de STONE-schematisering zijn hoger dan de gemiddelde nutriëntenconcentraties in het 1e watervoerende pakket uit de TNO/Alterra-studie.

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	13,6	5,5	13,6
Maïs	3,1	0,3	3,1
Akkerbouw	76,2	91,6	76,2
Natuur	7,1	2,5	7,1
Bodemtype [1]			
15: Homogene zavelgronden	37,1	37,2	37,3
16: Homogene, lichte kleigronden	25,4	33,1	25,2
19: Klei op zandgronden	29,0	23,7	29,2
Hydrologische toestand			
Droog	5,8	18,8	6,3
Matig droog	89,3	78,1	90,0
Nat	4,9	3,2	3,6
percentage open water	2,3	2,6	2,3

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

Na herschikking komt het landgebruik exact overeen met het landgebruik in LGN6 (referentiewaarde). Het areaal akkerbouw is afgenomen van bijna 92% naar ongeveer 76%. Het areaal grasland, mais en natuur is toegenomen. De hydrologische toestand en het bodemtype komt na herschikking ook beter overeen. Het percentage droge gronden is met ca. 12% afgenomen, het percentage matig droge gronden is met ca. 12% toegenomen.

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	912	912
Irrigatie	1,2	0,8
Infiltratie	2,1	2,8
Kwel	313	334
Verdamping	507	517
Runoff	22	19
Uit- en afspoeling	699	715
kwelconcentraties		
Stikstofconcentratie (mg/L)	11,1	10,9
Fosforconcentraties (mg/L)	1,5	1,5

De veranderingen als gevolg van de herschikking zijn vrij beperkt. De uit- en afspoeling neemt toe met gemiddeld 16 mm/jaar. De toename kan voor een belangrijk deel worden toegeschreven aan een hogere kwelflux (toename van 21 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 Wieringermeer Oost (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	52,6	55,8	5,8	6,2
Landbouw overig [1]	0,83	0,83	0,06	0,06
Atmosferische depositie [2]	0,65	0,65	-	-
Industriële lozingen	0,59	0,59	0,21	0,21
Overige bronnen [3]	0,16	0,16	0,02	0,02
Inlaat	5,71	5,71	0,25	0,25
Directe kwel [4]	0,89	0,85	0,12	0,12
Totaal IN	61,4	64,6	6,4	6,9

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. De veranderingen in landgebruik (afname areaal akkerbouw), bodemtypen (verschuiving type kleigrond) en de hydrologische toestand (nattere Gt-klasse) resulteren in een toename van de stikstofbelasting via de uit- en afspoeling met 3,2 kg/ha/jaar N, de fosforbelasting via de uit- en afspoeling neemt toe met 0,4 kg/ha/jaar P.

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 Wieringermeer Oost 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 Wieringermeer Oost na herschikking (stap 2) en na regionalisatie (stap 3) voor de periode 2000-2009.

Balanstermen	Stap 2 (ECHO mm/jaar	Stap 3 (Reg)
Neerslag	912	871
Irrigatie	0,8	0,8
Infiltratie	2,8	2,2
Kwel	334	386
Verdamping	517	507
Runoff	19	21
Uit- en afspoeling	715	733
Kwelconcentraties		
Stikstofconcentratie (mg/L)	10,9	7,4
Fosforconcentraties (mg/L)	1,5	1,1

Het gebruik van regionale informatie m.b.t. de neerslag en kwelflux resulteert in een toename van de uit- en afspoeling met gemiddeld 18 mm/jaar. De toename kan voornamelijk verklaard worden door een toename van de kwelflux met 52 mm/jaar. De toename van de kwelflux wordt gedeeltelijk 'gecompenseerd' door een lagere neerslag met gemiddeld 41 mm/jaar.

Tabel 21

Belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor (kg/ha/jaar) voor deelgebied Wieringermeer Oost 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	52,6	55,8	49.2	5,8	6,2	6,2
Landbouw overig [1]	0,83	0,83	0,83	0,06	0,06	0,06
Atmosferische depositie [2]	0,65	0,65	0,65	-	-	-
Industriële lozingen	0,59	0,59	0,59	0,21	0,21	0,21
Overige bronnen [3]	0,16	0,16	0,16	0,02	0,02	0,02
Inlaat	5,71	5,71	5,71	0,25	0,25	0,25
Directe kwel [4]	0,89	0,85	0,67	0,12	0,12	0,10
Totaal IN	61,4	64,6	57,8	6,4	6,9	6,9

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 afname van de stikstofbelasting van het oppervlaktewater via de uit- en afspoeling met 6,6 kg/ha N. De fosforbelasting via de uit- en afspoeling blijft gelijk. Op basis van tabel 18 zou echter een toename van de uit- en afspoeling met stikstof en fosfor verwacht kunnen worden omdat, als gevolg van een hogere kwelflux, de uit- en afspoelingsflux toeneemt met gemiddeld 18 mm/jaar. Dat de stikstofvracht naar het oppervlaktewater toch afneemt kan wellicht worden verklaard doordat de gemiddelde stikstofconcentratie van het kwelwater is afgenomen van 10,9 mg/l N naar 7,4 mg/l N.

Naast de totale inkomende nutriëntenvracht voor deelgebied Wieringermeer Oost 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

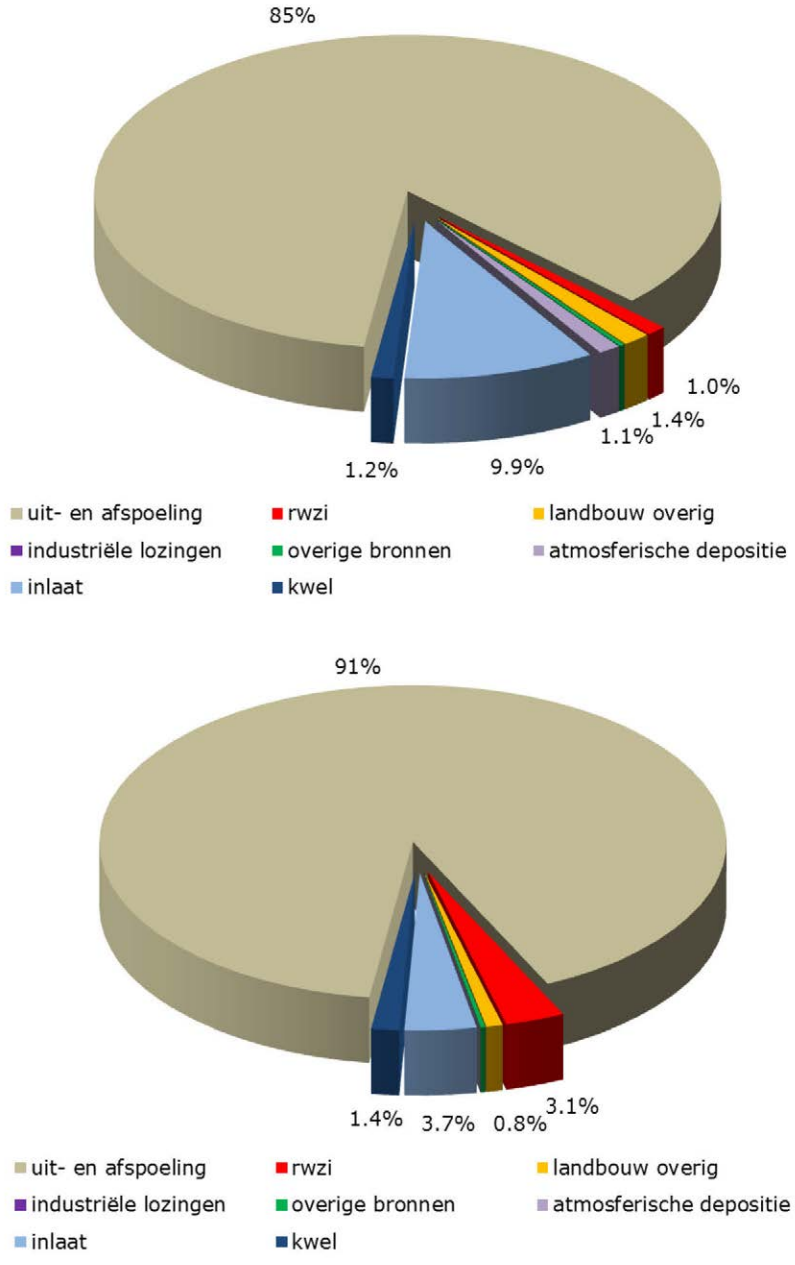
Gemiddelde retentie (kg/ha/jaar en %) voor stikstof en fosfor voor deelgebied Wieringermeer Oost voor de periode 2000-2009.

Stof	Stap 1 (STONE)		Stap 2 (ECHO)		Stap 3 (REG)	
	kg/ha/jaar	%	kg/ha/jaar	%	kg/ha/jaar	%
Stikstof	3,7	6,1	3,7	5,7	3,7	6,4
Fosfor	3,0	47	3,2	47	3,2	47

4.4 Stap 5: Afleiden theoretische achtergrondconcentraties

4.4.1 Herkomst bronnen

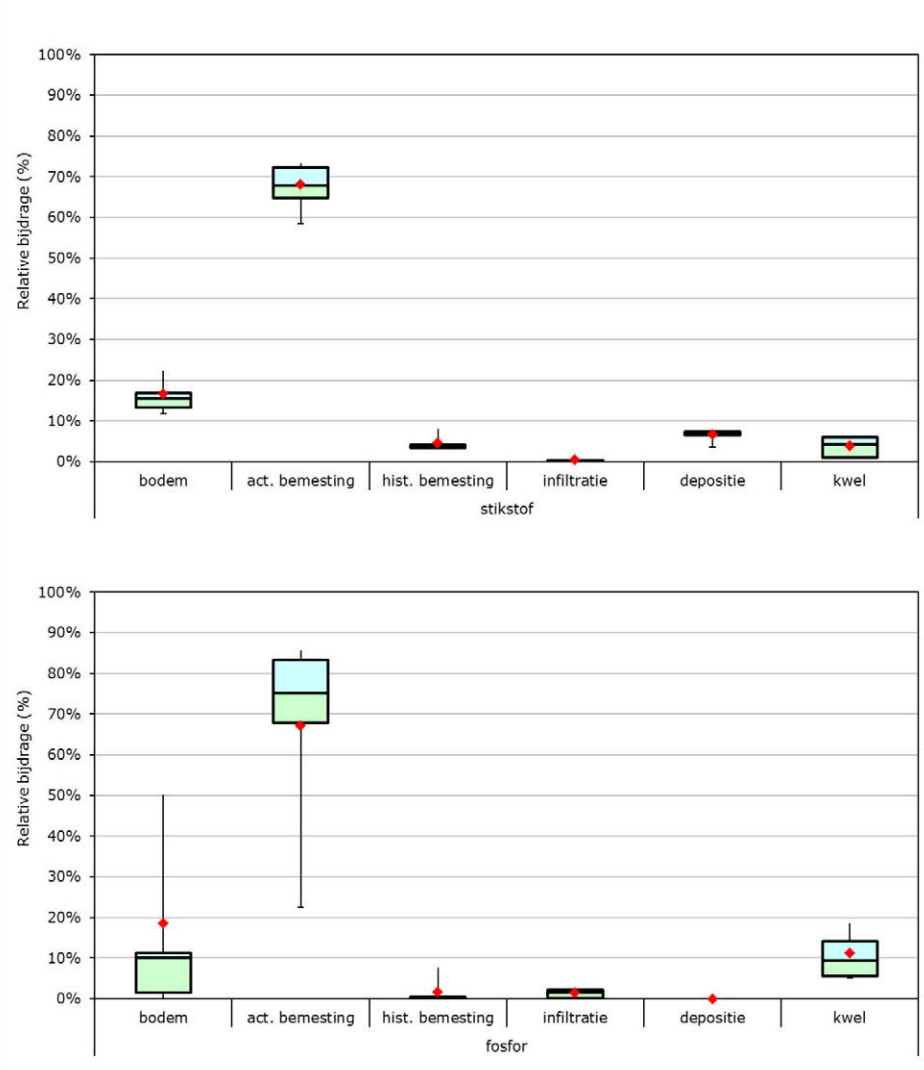
In paragraaf 4.3 is de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater voor deelgebied Wieringermeer Oost berekend, waarbij verschillende stappen zijn doorlopen. In figuur 9 is de relatieve bijdrage van de verschillende bronnen aan de belasting van het oppervlaktewater weergegeven na het uitvoeren van stap 3 (regionalisatie).



Figuur 9 *Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater voor deelgebied Wieringermeer Oost (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 (85% voor N en 91% voor P). De bijdrage van de andere bronnen is beperkt.

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 10). 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 10 *Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden voor deelgebied Wieringermeer Oost (boven stikstof, onder fosfor).*

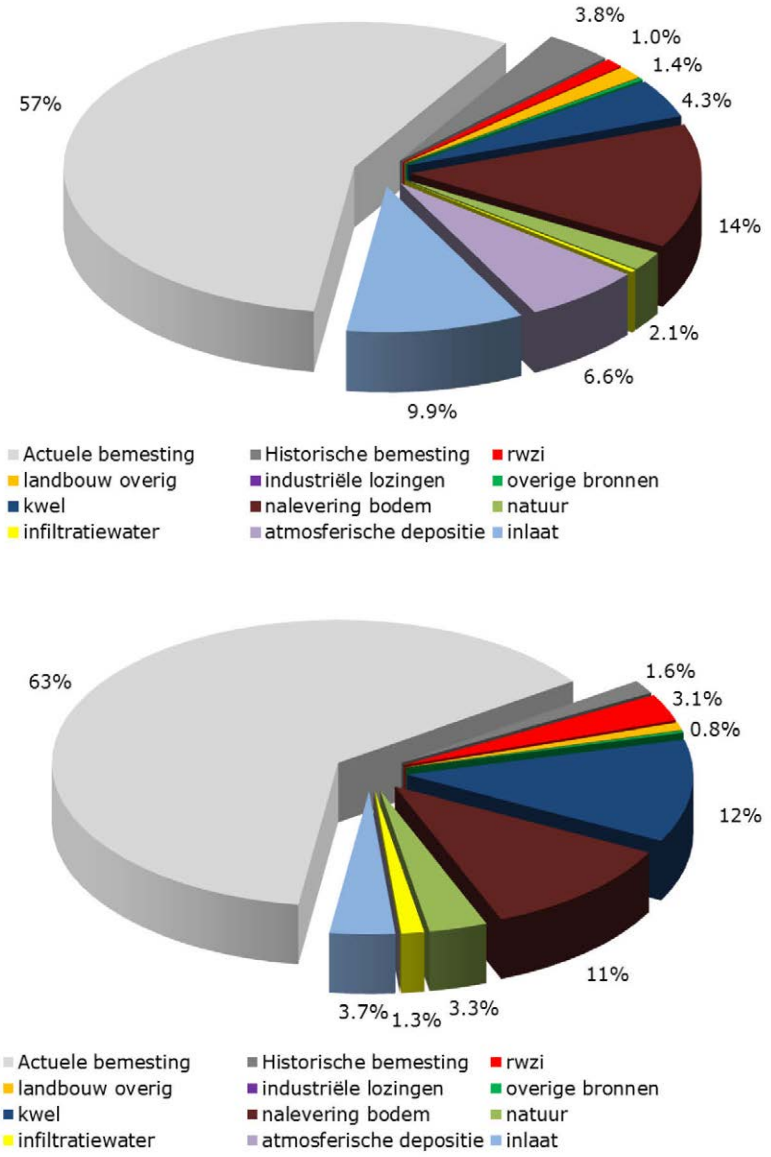
De stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater vanuit landbouwpercelen is voornamelijk afkomstig van de actuele bemesting (areaal gewogen gemiddelde van bijna 70% voor N en 70% voor P). De bijdrage van de bodem (natuurlijke levering) is voor stikstof ca. 17% en voor fosfor bijna 20%. De areaal gewogen gemiddelde bijdrage van de andere bronnen is minder dan 10%, met uitzondering van de bijdrage van de kwel aan de fosforbelasting van het oppervlaktewater (ca. 12%).

Door de heterogeniteit van deelgebied Wieringermeer Oost 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 11).



Figuur 11 *Relatieve bijdrage van de verschillende nutriëntenbronnen aan de belasting van het oppervlaktewater voor deelgebied Wieringermeer Oost (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 de belangrijkste bron is voor de belasting van het oppervlaktewater.

De stikstofbelasting van het oppervlaktewater is voor 57% afkomstig van de actuele bemesting, gevolgd door de natuurlijke levering van de bodem (14%) en inlaatwater (9,9%). Het overige deel (ca. 20%) is voornamelijk afkomstig van atmosferische depositie (6,6%), kwel (4,3%) en historische mestgift (3,8%).

Actuele bemesting draagt voor 63% bij aan de fosforbelasting van het oppervlaktewater, gevolgd door de bijdrage van kwel (12%) en de natuurlijke levering van de bodem (11%). Het overige deel (ca. 15%) is afkomstig van verschillende bronnen, o.a. inlaat vanuit het IJsselmeer (3,7%), uit- en afspoeling vanuit natuurgronden (3,3%) en de rwzi (3,1%).

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 Wieringermeer Oost in het beheergebied van het hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

Categorie		Areaal gewogen gemiddelde relatieve bijdrage (%)	
		Stikstof	Fosfor
Antropogeen	Actuele bemesting	57	63
	Historische bemesting	3,8	1,6
	Rwzi	1,0	3,1
	Landbouw overig [1]	1,4	0,8
	Industriële lozingen	0,0	0,0
	Overige bronnen [2]	0,3	0,2
	Inlaat	9,9	3,7
	Totaal antropogeen	73	72
Natuurlijk	Bodem (geogeen)	14	11
	Infiltratiewater	0,3	1,3
	Atmosferische depositie [3]	6,6	-
	Kwel [4]	4,3	12
	Natuur	2,1	3,3
	Totaal natuurlijk	27	28

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 27% voor N en 28% voor P. Deze natuurlijke belasting bestaat voor een belangrijk deel uit 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.

Op basis van de verhouding *natuurlijk* versus *antropogeen* en de gemeten nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater is de theoretische achtergrondconcentratie afgeleid (tabel 24). 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 Wieringermeer Oost voor de periode 2000-2009. De afgeleide theoretische achtergrondconcentratie van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater in deelgebied Wieringermeer Oost is voor stikstof 1,39 mg/l N en voor fosfor 0,16 mg/l P.

Tabel 24

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

Wieringermeer Oost	Stikstof	Fosfor
Gemiddelde concentratie in het oppervlaktewater (mg/l)	5,14	0,58
Relatieve bijdrage natuurlijke bronnen (%)	27	28
Theoretische achtergrondconcentratie (mg/l)	1,39	0,16

5 Conclusies

De achtergrondconcentraties van stikstof en fosfor voor waterlichamen in deelgebied Wieringermeer Oost 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 1,39 mg/l N en 0,16 mg/l P.
- De gemiddelde areaal gewogen bijdrage van natuurlijke bronnen aan de stikstofbelasting van het oppervlaktewater is 27%, de gemiddelde areaal gewogen bijdrage van natuurlijke bronnen aan de fosforbelasting is 28%.
- Op basis van de herkomstberekeningen blijkt dat zowel voor stikstof als voor fosfor de actuele bemesting de belangrijkste bron is voor de belasting van het oppervlaktewater.
- De stikstofbelasting van het oppervlaktewater is voor 57% afkomstig van de actuele bemesting, gevolgd door de natuurlijke levering van de bodem (14%) en inlaatwater (9,9%). Het overige deel (ca. 20%) is voornamelijk afkomstig van atmosferische depositie (6,6%), kwel (4,3%) en historische mestgift (3,8%).
- Actuele bemesting draagt voor 63% bij aan de fosforbelasting van het oppervlaktewater, gevolgd door de bijdrage van kwel (12%) en de natuurlijke levering van de bodem (11%). Het overige deel (ca. 15%) is afkomstig van verschillende bronnen, o.a. inlaat vanuit het IJsselmeer (3,7%), uit- en afspoeling vanuit natuurgronden (3,3%) en de rwzi (3,1%).
- Het herschikken van de STONE-plots resulteert in een betere overeenstemming tussen de ‘werkelijke’ gebiedskenmerken (landgebruik, bodemtype en hydrologische toestand) van deelgebied Wieringermeer Oost 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 57,8 kg/ha N en 6,9 kg/ha P. Rekening houdend met retentie in het oppervlaktewater (6,4% voor N en 47% voor P) wordt een uitgaande stikstofvracht berekend van 54,1 kg/ha N en een uitgaande fosforvracht van 3,7 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 12 (stikstof) en figuur 13 (fosfor) zijn de gemeten stikstof- en fosforconcentraties weergegeven van de meetpunten die in deelgebied Wieringermeer Oost 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	Fosfor
●	< 2,0 mg/l	< 0,25 mg/l
●	2,0 – 4,0 mg/l	0,25 – 0,50 mg/l
●	4,0 – 6,0 mg/l	0,50 – 0,75 mg/l
●	> 6,0 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
770303	5.56	5.8	5.8	5.6	5.6	3.6	5.3													5.3	5.32	5.27	5.31
770304	4.77			5.3	5.5			4.2	6.3	5.1	5.5	5.0	5.3	5.4	5.4	5.4	5.3	5.2	4.4	5.2	5.19	5.20	5.20
770305	5.20			3.8	3.0						4.9					4.2		4.7	4.8	4.2	3.98	4.55	4.34
770307	7.20			6.5	6.6								5.4								6.78	5.42	6.44
770311	6.63			4.7	6.9									4.1							6.08	4.05	5.57
770312	9.10			7.5	8.3						6.5										8.28	6.55	7.85
770314	2.67			5.0	5.4																4.37		4.37
770315				1.9	2.7								2.1				2.9				2.26	2.50	2.38
770402	7.03			5.5	7.1							5.7									6.55	5.66	6.33
770404	9.50			5.9	8.6								3.9							5.2	8.00	4.59	6.63
BDV017									1.9	1.8	2.0	2.0		1.6	1.9	1.8				2.1	1.84	1.93	1.91
BDV043									5.1	4.3	4.4	4.5		3.7	4.2	4.3					4.70	4.24	4.37
NOR001																2.2						2.24	2.24
NOR002																2.6						2.62	2.62
NOR003																4.0						4.04	4.04
NOR004																5.2						5.19	5.19
NOR005																10.8						10.80	10.80
NOR006																13.0						12.95	12.95
NOR007																5.9						5.89	5.89
NOR008																4.8						4.80	4.80
NOR009																3.5						3.48	3.48
NOR010																2.2						2.17	2.17
STNH35											6.0											5.96	5.96
STNH36											6.4											6.43	6.43
VG0101																			6.8	6.8		6.81	6.81
VG0103																			5.1			5.05	5.05

Figuur 12 *Gemiddelde stikstofconcentraties voor de meetpunten in deelgebied Wieringermeer Oost.*

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
770303	0.48	0.79	0.53	0.37	0.30	0.35	0.37													0.23	0.46	0.23	0.43
770304	0.21			0.34	0.22			0.39	0.36	0.27	0.20	0.21	0.21	0.25	0.23	0.33	0.36	0.39	0.23	0.24	0.30	0.27	0.28
770305	0.25			0.75	0.49					0.45	0.17				0.14	0.26		0.28	0.22	0.11	0.49	0.20	0.31
770307	0.15			0.33	0.23					0.39			0.19				0.24				0.27	0.21	0.25
770311	0.39			0.49	0.40					0.65				0.93				1.13			0.48	1.03	0.67
770312	0.17			0.46	0.30					0.19	0.26				0.16						0.28	0.21	0.26
770314	0.38			0.26	0.21					0.52				0.95				0.98			0.34	0.97	0.55
770315				0.25	0.29					0.28			0.15				0.29				0.27	0.22	0.25
770402	0.23			0.46	0.42					0.42		0.27				0.34					0.38	0.30	0.36
770404	0.20			0.45	0.28					1.01			0.71				0.94			0.48	0.49	0.71	0.58
BDV017									0.39	0.33	0.14	0.11		0.13	0.13	0.12				0.15	0.36	0.13	0.19
BDV043									0.50	0.48	0.22	0.14		0.17	0.16	0.20					0.49	0.18	0.27
NOR001																0.67						0.67	0.67
NOR002																0.37						0.37	0.37
NOR003																0.73						0.73	0.73
NOR004																1.14						1.14	1.14
NOR005																0.67						0.67	0.67
NOR006																0.73						0.73	0.73
NOR007																0.56						0.56	0.56
NOR008																1.02						1.02	1.02
NOR009																0.55						0.55	0.55
NOR010																0.29						0.29	0.29
STNH35											0.32											0.32	0.32
STNH36											0.18											0.18	0.18
VG0101																			1.85	1.28		1.57	1.57
VG0103																			2.07			2.07	2.07

Figuur 13 *Gemiddelde fosforconcentraties voor de meetpunten in deelgebied Wieringermeer Oost.*

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 Wieringermeer Oost 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

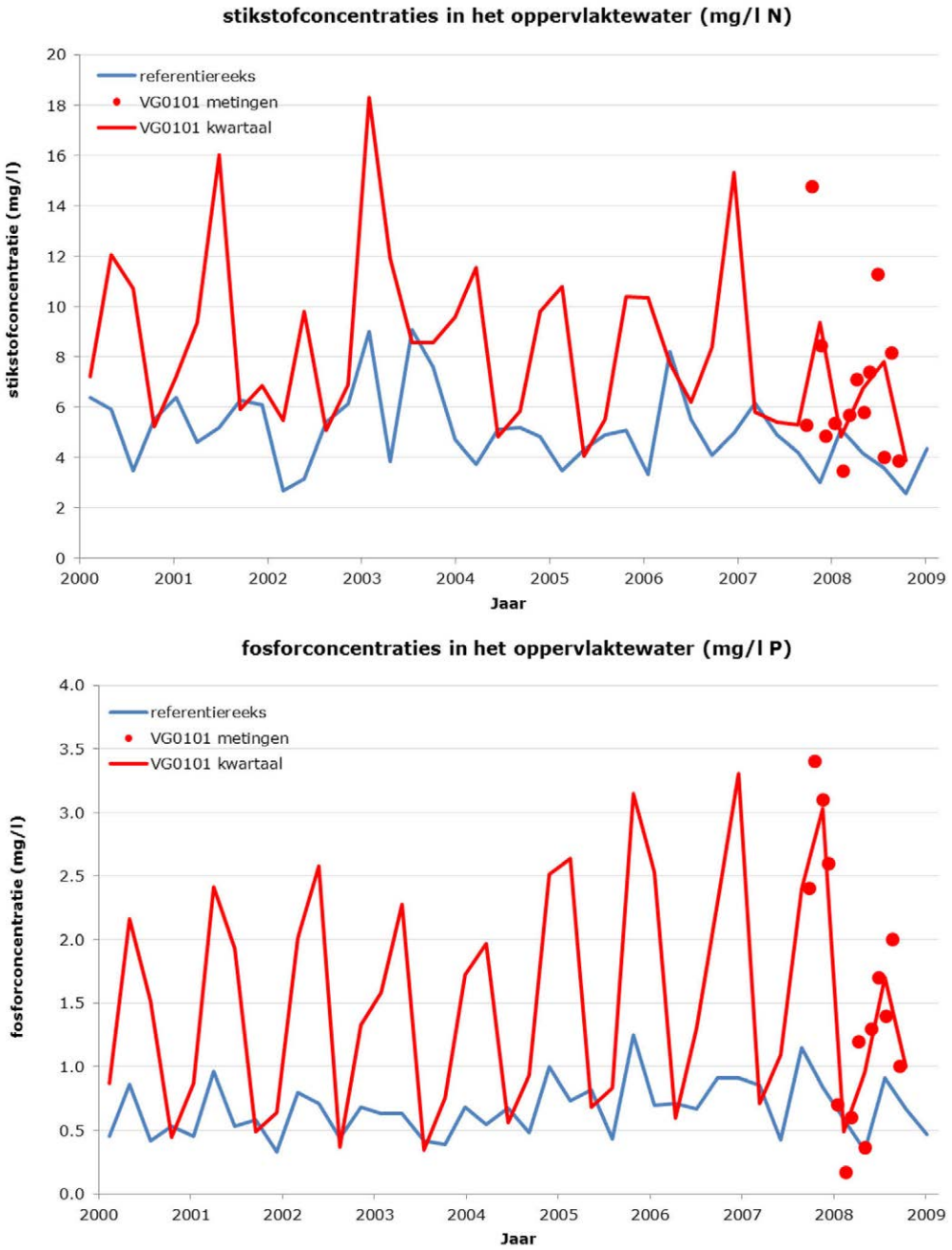
$$C_{1_}k_{2_}y_{2005} = C_{1_}k_{2_}y_{2008} / C_{2_}k_{2_}y_{2008} * C_{2_}k_{2_}y_{2005} \quad 4)$$

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 14 zijn de gemeten en opgevulde stikstof- en fosforconcentraties voor de periode 2000 – 2009 weergegeven voor deelgebied Wieringermeer Oost.



Figuur 14 *Gemeten stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater voor meetpunt VG0101 (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 Wieringermeer Oost is weergegeven in tabel 31. De totale belasting van het oppervlaktewater met bijbehorende bandbreedte als gevolg van de heterogeniteit van het gebied is weergegeven in tabel 32.

Tabel 30

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

Bron	Relatieve bijdrage (%)	
	Stikstof	fosfor
Actuele bemesting	68 (65 – 72)	72 (68 – 85)
Historische bemesting	4,5 (3,4 – 4,2)	1,8 (0,0 – 0,6)
Depositie	6,6 (6,6 – 7,2)	-
Kwel	3,8 (1,1 – 6,0)	12 (5,6 – 16)
Natuurlijke nalevering bodem	17 (13 – 17)	13 (0,6 – 11)
Infiltratiewater	0,4 (0,1 – 0,3)	1,5 (0,1 – 2,1)

Tabel 31

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

Categorie		Areaal gewogen gemiddelde relatieve bijdrage (%) (25-75 percentiel)	
		Stikstof	Fosfor
Antropogeen	Actuele bemesting	57 (54 - 60)	63 (59 - 74)
	Historische bemesting	3,8 (2,8 – 3,5)	1,6 (0,0 – 0,5)
	Rwzi	1,0	3,1
	Landbouw overig	1,4	0,8
	Industriële lozingen	0,0	0,0
	Overige bronnen	0,3	0,2
	Inlaat	9,9	3,7
	Totaal antropogeen	**73 (69 - 76)**	**72 (67 - 82)**
Natuurlijk	Bodem (geogeen)	14 (11 - 14)	11 (0,5 - 10)
	Infiltratiewater	0,3 (0,0 – 0,2)	1,3 (0,1 – 1,9)
	Atmosferische depositie	6,6 (6,6 – 7,1)	-
	Kwel	4,3 (2,0 – 6,1)	12 (6,3 - 16)
	Natuur	2,1	3,3
	Totaal natuurlijk	**27 (22 - 30)**	**28 (10 - 30)**

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

Alterra-rapport 2475.33
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 2475.33
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.