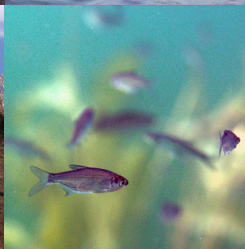



Systemanalyses Delfland



Systeemanalyses Delfland

referentie	projectcode	status
DT320-3/strg/004	DI320-3	concept 01
projectleider	projectdirecteur	datum
ir. N.G. Jaarsma	drs. M. Klinge	3 december 2012

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	R.J. Brederveld MSc.	

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. INLEIDING	1
1.1. Aanleiding	1
1.2. Doel	1
1.3. Leeswijzer	2
2. BESCHRIJVING LOCATIES EN KENNISVRAGEN	3
2.1. Kenmerken onderzoekslocaties	3
2.2. Eerste indruk na veldbezoek en aanvulling kennisvragen	4
2.2.1. Karitaat-Molensloot	4
2.2.2. Ackerdijkse plassen	5
2.2.3. Vlaardingervaart	6
2.2.4. Slinksloot	7
2.2.5. Haarvaten Westboezem	8
3. ANALYSE VAN MEETDATA	11
3.1. Fysisch-chemische parameters in de waterkolom	11
3.2. Biologische data	17
4. WATER- EN STOFSTROMEN	19
4.1. Waterbalansen	19
4.1.1. Herkomst water	19
4.1.2. Analyse van verblijftijden	19
4.2. Stoffenbalansen	20
4.2.1. Belangrijkste externe belastingsbronnen	20
4.2.2. Belasting vanuit de waterbodem	20
4.3. Berekende kritische belastingen met PCLake en PCDitch	23
4.3.1. Dynamische modellering Karitaat-Molensloot met PCDitch	24
4.3.2. Dynamische modellering Ackerdijkse plassen met PCLake	25
4.3.3. Kritische belastingsgrenzen alle locaties	29
4.4. Berekening van de interne belasting met PCLake en PCDitch	30
5. SYNTHESE	33
5.1. Overzicht relevante kenmerken systeemfunctioneren	33
5.2. Analyse van belasting versus kritische belasting	34
5.3. Rol van de waterbodem	37
6. SAMENVATTING PER LOCATIE EN DOORKIJK NAAR MOGELIJKE MAATREGELEN	39
6.1. Algemeen	39
6.2. Ackerdijkse plassen	39
6.3. Vlaardingervaart	40
6.4. Slinksloot	42
6.5. Karitaat-Molensloot	43
6.6. Haarvaten Westboezem	44
7. LITERATUUR	47
laatste bladzijde	47
BIJLAGEN	aantal blz.
I Grafieken meetwaarden fysisch chemische parameters 2000-2011	4

II	Fysisch-chemische oppervlaktewaterkwaliteit, gemiddelden 2000-2011	1
III	Water- en stoffenbalansen BaggerNut Delfland	36
IV	Quick-scans nalevering waterbodem BaggerNut	5

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding

Het onderzoeksproject BaggerNut is een samenwerkingsverband van 12 waterschappen, een waterschapslaboratorium, 2 kennisinstituten, 2 ingenieurbureaus en STOWA. Het project beslaat een uitvoering- en onderzoeksperiode van 2 jaar. Een belangrijk doel van BaggerNut is het ontwikkelen van tools om de interne nalevering te kwantificeren en te beoordelen ten opzichte van andere bronnen. Uiteindelijk is het project gericht op het identificeren en demonstreren van effectieve maatregelen om de effecten van interne eutrofiering te bestrijden. In het kader van het project worden daartoe op 25 proeflocaties experimenten gedaan met de waterbodem. Monsters van de waterbodem (van verschillende diepte), waterbodemvocht en het oppervlaktewater worden grondig geanalyseerd op samenstelling en uiteindelijk wordt de nalevering van nutriënten gekwantificeerd; de zogenaamde watersysteemanalyses. Op basis van de gekwantificeerde nalevering en watersysteemanalyses wordt door middel van een bodemdiagnose een advies gegeven over kansrijke maatregelen aan de waterbodem om deze bijdrage indien nodig te reduceren.

Als projectpartner is Witteveen+Bos betrokken bij het ontwikkelen en de opzet van de experimenten en het ontwikkelen van een zogenaamde 'quick-scan', een methode om snel en goedkoop een inschatting te geven van de interne nutriëntenbelasting. Zijdellings zijn we ook betrokken bij de bodemdiagnose, Arcadis is hierbij leidend.

Delfland participeert met 5 proeflocaties in BAGGERNUT. Deze proeflocaties zijn beschreven in het projectplan van BaggerNut. Het betreft 2 locaties in Delflands boezemstelsel ('Vlaardingervaart' in Midden Delfland & 'Haarvaten Westboezem' in het Westlanden), twee polderwateren ('Slinksloot in de Holierhoekse en Zouteveense polder' & 'Karitaat Molen-sloot in de Zuidpolder van Delfgauw') en een locatie in de Waterparel 'Ackerdijkse Plas-sen'. Al deze locaties kennen overlappende en systeemspecifieke kennisvragen.

De watersysteemanalyses in dit rapport zijn door Witteveen+Bos, in nauwe samenwerking met hoogheemraadschap van Delfland uitgevoerd.

1.2. Doel

De doelstelling van de watersysteemanalyses moet worden gezien in het bredere kader van het onderzoeksprogramma BaggerNut. Delfland stelt binnen het onderzoeksprogramma de volgende projectdoelen centraal:

1. vaststellen van de omvang van de waterbodem (en het veen) als bron van nutriënten voor het watersysteem van Delfland;
2. in beeld brengen van de manier waarop belasting van de waterkolom door de waterbodem (en het veen) plaatsvindt en het identificeren van de stuurfactoren daarvan;
3. vaststellen of, waar en in welke mate de belasting vanuit de waterbodem (en het veen) het behalen van de ecologische KRW doelen in de weg staat en op welke manier een belemmering (kosten) efficiënt geminimaliseerd of opgeheven kan worden.

Voor de watersysteemanalyses worden de volgende subdoelen en daarbij behorende producten onderscheiden:

- opstellen synthese/visie ten aanzien van de rol van de waterbodem in het watersysteem;
- afleiden van 'kritische belastingen' voor de watersystemen;
- gereedzetten van de benodigde invoer voor de 'bodemdiagnose' die Arcadis ontwikkelt in het kader van BaggerNut.

1.3. Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de systematische analyse van het ecologisch functioneren van de 5 Delflandse watersystemen uit het onderzoeksprogramma BaggerNut. In hoofdstuk 2 worden de wateren kort gekarakteriseerd naar aanleiding van een veldbezoek en worden de belangrijkste kennisvragen die er spelen kort benoemd. In hoofdstuk 3 worden de fysisch-chemische en in beperkte mate ook de biologische meetgegevens van deze locaties gepresenteerd en geanalyseerd. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de water- en stofstromen. De focus ligt daarbij op P en N en er wordt zowel naar de externe belasting als de interne belasting gekeken. Er wordt daarbij grotendeels geput uit bijlage III, die een aparte rapportage bevat over de water- en stoffenbalansen BaggerNut. In hoofdstuk 5 wordt de informatie uit de voorgaande hoofdstukken bijeengebracht in een synthese. Hoofdstuk 6 ten slotte, wordt per locatie een samenvatting gegeven over de bevindingen in deze studie, en wordt ingegaan op de meest kansrijke maatregelen voor ecologische verbetering.

2. BESCHRIJVING LOCATIES EN KENNISVRAGEN

2.1. Kenmerken onderzoekslocaties

Voor de systeemanalyses zijn 5 onderzoekslocaties geselecteerd, dit zijn de locaties die door hoogheemraadschap van Delfland zijn ingebracht in het onderzoeksprogramma BaggerNut. De locaties hebben de volgende overeenkomsten, het zijn:

- allemaal hoogbelaste systemen;
- met een zeer voedselrijke waterbodem;
- en hebben (delen met) relatief lange verblijftijden.

Vooraf het laatste punt is van belang, de wateren (of delen daarvan) hebben een relatief lange verblijftijd, wat wil zeggen dat verwacht mag worden dat de waterbodem ook daadwerkelijk een belangrijke bron kan zijn. In systemen met erg korte verblijftijden is de ervaring dat de bodem vrij snel in evenwicht komt met de waterlaag en dat daarom vooral de externe belasting bepalend is. NB! Ook in wateren met gemiddeld korte verblijftijden maar periodiek lange verblijftijden kan de waterbodem echter een belangrijke bron zijn.

In tabel 2.1 staan nog enkele kenmerken van de onderzoekslocaties, die relevant zijn voor de aanpak van de systeemanalyse. De meeste locaties zijn lijnvormige wateren, deze wijken in een aantal opzichten af van meren en plassen:

- in lijnvormige wateren zijn algen minder snel abundant, een van de redenen is dat de verblijftijden vaak vrij kort zijn. Mogelijk vormen de doodlopende uiteinden en overgedimensioneerde watergangen hierop een uitzondering;
- in ondiepe watergangen is de rol van vis vaak beperkt, vooral die van bodemwoelende vis als brasem;
- in kleine watergangen is de rol van de wind beperkt;
- in de kleinere (lijnvormige) wateren zal kroos juist eerder een probleem vormen of overmatige groei van waterpest en hoornblad;
- de kritische grenzen voor lijnvormige wateren worden op een andere wijze afgeleid (met PCDitch) dan die voor meren en plassen (PCLake);
- vaak is er al vroeg in het seizoen sprake van een zeer sterke zuurstofdynamiek door afbraak van organisch materiaal. Dit heeft als gevolg dat de P-nalevering sterk toeneemt maar ook de denitrificatie, waardoor deze wateren in de zomer een overmaat aan P hebben maar N-gelimiteerd kunnen raken.

Bij de systeemanalyse worden deze aspecten belicht. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen lijnvormige wateren en plassen. Aanvullend daarop is het onderscheid in bodemtype van belang, in de veenwateren kan afbraak van veen leiden tot een extra nalevering van nutriënten. In de kleiwateren kunnen de kleideeltjes juist P binden.

Tabel 2.1. Overzicht kenmerken onderzoekslocaties en vragen maatregelen

locatie	watertype	hydrologie	specifieke kenmerken	maatregelen
Karitaat Molen-sloot	sloot/kanaal	open	klei en veenbodem, baggeren voorzien voor 2010 en 2011	baggeren zinvol?
Akerdijkse plassen	plas	geïsoleerd, flexibel peil	belasting vanuit waterbodem en veen, hoge belasting door vogels	aanpak waterbodem zinvol?
Vlaardingervaart	kanaal	open, langere verblijftijden	aan- en afvoerkanaal, beïnvloed door glastuinbouw, overgedimensioneerd, recreatievaart	opgave aanleg NVO's, waterbodem beperkend?
Slinksloot	sloot/kanaal	open	veengebied, afbraak van veen?	baggeren zinvol?
Haarvaten Westboezem	sloot/kanaal	klein, open, langere verblijftijden	doodlopende watergangen, westland, glastuinbouw, opgeladen waterbodem	aanpak waterbodem zinvol?

2.2. Eerste indruk na veldbezoek en aanvulling kennisvragen

Onderstaand wordt kort per locatie een weerslag gegeven van de indrukken die zijn opgedaan tijdens het startoverleg en het aansluitende veldonderzoek. Enerzijds is dit een korte karakterisering van de locatie en anderzijds zijn dit vragen die dit heeft opgeroepen. Dit is de basis voor de vervolgstap, de analyse van beschikbare gegevens per locatie (hoofdstuk 2).

2.2.1. Karitaat-Molensloot

Hier is op 1 locatie gekeken, vlakbij de snelweg A13, net ten zuiden van bedrijvenpark Ruyven. Het water was vrij helder met her en der ook wel redelijk wat ondergedoken watervegetatie (waterpest, hoornblad), drijfblad (gele plomp) en oeervegetatie. Dominant was het kroosdek wat over het grootste deel van de watergang lag met een bedekking van ca. 100 %. De visstand wordt binnenkort bemonsterd en is ook in 2006 bemonsterd. Verwachting is relatief groot aandeel plantminnende vis. De watergang zal in ecologisch opzicht dus wellicht niet eens zo slecht scoren, hoewel de nutriëntenbelasting zeer hoog is. Hier is vooral ook de nalevering uit de waterbodem dominant, zoals de balansen laten zien. De invloed van kassen is hier nog groot, de nutriënten (vooral ook N) kunnen zich wellicht onder deze belasting goed vertalen in kroos. Wat gebeurt er als de nutriëntenbelasting uit de kassen stopt? Deze vormt vooral in de zomer een continue aanvoer van stikstof die van belang is als aanvulling op de N-verwijdering door denitrificatie. Kan kroos zich dan nog goed handhaven?



Vragen voor de systeemanalyse:

- wat is de verblijftijd? Is er 's zomers sprake van verblijftijd of processturing?
- wat is de rol van stikstof, N- of P-limitatie? Is er sprake van een continue belasting in de zomer?
- hoe erg zijn de kroosproblemen? Ondergedoken waterplanten kunnen zich blijkbaar prima handhaven. Doorzicht ten opzichte van de diepte is blijkbaar voldoende;
- wat is ruimtelijke variatie in waterkwaliteit?

2.2.2. Ackerdijkse plassen

Het gebied is ruimtelijk erg divers en bestaat uit onderling verbonden plassen met hoge aantallen aalscholvers, geïsoleerde plassen met hoog P gehalte en sloten met interessante vegetaties (krabbenscheer etc.). Het gebied kent een seizoensmatige peilfluctuatie! Er wordt (zelden tot) nooit water ingelaten. Er is geen externe aanvoer van sulfaat dus! In het verleden was dit overigens anders. De water- en stoffenbalans kan goed de waterkwaliteitsmetingen verklaren maar heeft natuurlijk niet de ruimtelijke component in zich. Het is interessant om op basis van beschikbare metingen te kijken wat de ruimtelijke variatie in het gebied is! Hier ook ervaringen van RUN (L. v/d Berg (Leon)) bij betrekken. Kijken naar retentie van P, je verwacht hier een hoge retentie (plassen met lange verblijftijden). Ook is het goed de (ken)getallen van belangrijkste bron (Aalscholvers) nog eens nader onder de loep leggen en te bekijken in relatie tot de bodemnalevering (waarom is die niet nog hoger?).



Vragen voor de systemanalyse:

- wat is de ruimtelijke variatie in waterkwaliteit;
- hoe kan dit verklaard worden (aalscholvers, bodem, ontbreken van inlaat);
- hoe vertaalt dit zich ecologie (algen, helderheid, planten);
- wat is de rol van stikstoflimitatie?

2.2.3. Vlaardingervaart

Dit is een lange Vaart, die aan de zuidzijde (Vlaardingen) begrenst wordt door schutsluizen met schut- en lekverliezen. Hier is sinds enige tijd een retourpompje opgezet. Tijdens het veldbezoek aan Vlaardingen was het water helder en groeiden er gele plompen en slabladen (onderwaterbladen van gele plomp) langs de oever. Aan het andere uiteinde, ter hoogte van de Vlietlanden, was de situatie heel anders. Hier was het water zeer troebel, een mengeling van veen (polderwater) en boezemwater (Brielse meer water, aangereikt met water uit kassengebied, polders etc.). Wellicht is het een goed idee om eens te kijken naar de herkomst van dit water en naar gegevens over doorzicht en zwevend stof (met model UITZICHT) om te bepalen welke componenten hier het doorzicht bepalen. Ongeveer halverwege het traject Vlaardingen - Vlietlanden komen twee polders uit op de Vlaardingervaart. Eén ervan watert alleen af (voormalige vuilstort), de andere ontvangt ook water. Wellicht is er sprake van een stagnant deel (polders - Vlaardingen) en een meer doorstroomd deel (polders - Vlietlanden).



Vragen voor de systeemanalyse:

- de tweedeling komt niet uit de balansen naar voren, anders modelleren?
- hoe uit de tweedeling zich in de bodem?
- en in de waterkwaliteit en ecologie?
- hoe zit het met N-limitatie, kan dit verklaren dat het water lokaal erg helder is ondanks alle P? NB! blauwalgen doen het meestal niet goed in lijnvormig water, groenalgen/kroos groeien niet zonder N!
- wat gebeurt er als je gaat baggeren? Neemt dan denitrificatie af? En problemen wellicht toe?

2.2.4. Slinksloot

De Slinksloot is op 2 locaties bezocht, bij het nieuwe gemaal Holierhoekse en Zouteveense polder en verderop waar de weg de Slinksloot kruist. Het beeld dat van de Slinksloot is blijven hangen is dat het, anders dan de voorgaande locaties, weinig eigen karakter heeft. Hiermee wordt het volgende bedoeld:

- het water is troebel, maar niet door algen;
- er waren geen ondergedoken waterplanten of kroosdekken te zien;
- de voeding van het systeem is divers, en wordt op verschillende plaatsen boezemwater ingelaten;

- verblijftijden zijn waarschijnlijk kort dus wat je ziet is een mengsel van boezemwater (Brielse meer water, kassengebied, polderwater) en gebiedseigen polderwater;
- de oevers lijken overwegend zacht (geen beschoeiing te zien) maar zijn slecht ontwikkeld, in de NVO/paaiplaats nabij het gemaal staat het riet vooral op de oever.

Het systeem lijkt (zomers) vooral door inlaat en gebiedsvreemd water te worden bepaald. Processen zijn (weinig of) niet bepalend.



Vragen:

- kloppen bovenstaande bevindingen?
- zo ja, kan dit anders en/of wat is de ruimtelijke variatie?
- waarom zijn de oevers zo slecht ontwikkeld? Is dat elders beter?
- kun je de bijdrage van de bodem aan de P/N belasting in de zomer zien?
- is er sprake van N-limitatie?

2.2.5. Haarvaten Westboezem

De haarvaten Westboezem zijn op een later tijdstip bezocht, hier zijn 2 locaties bekeken. Op basis van het veldbezoek werd duidelijk dat er een groot verschil was tussen de stilstaande zijwatergangen en de hoofdwatgangen. De zijwatergangen worden vooral beïnvloed door uit- en afspoeling vanuit de percelen en bedrijfsemisies vanuit de (glas)tuinbouw. Hier worden veel kroos gedomineerde watergangen aangetroffen. De hoofdwatgangen, die voor een belangrijk deel worden gevoed door water uit het Brielse meer, zijn soms juist zeer helder met ondergedoken waterplanten (o.a. sterrekroos).

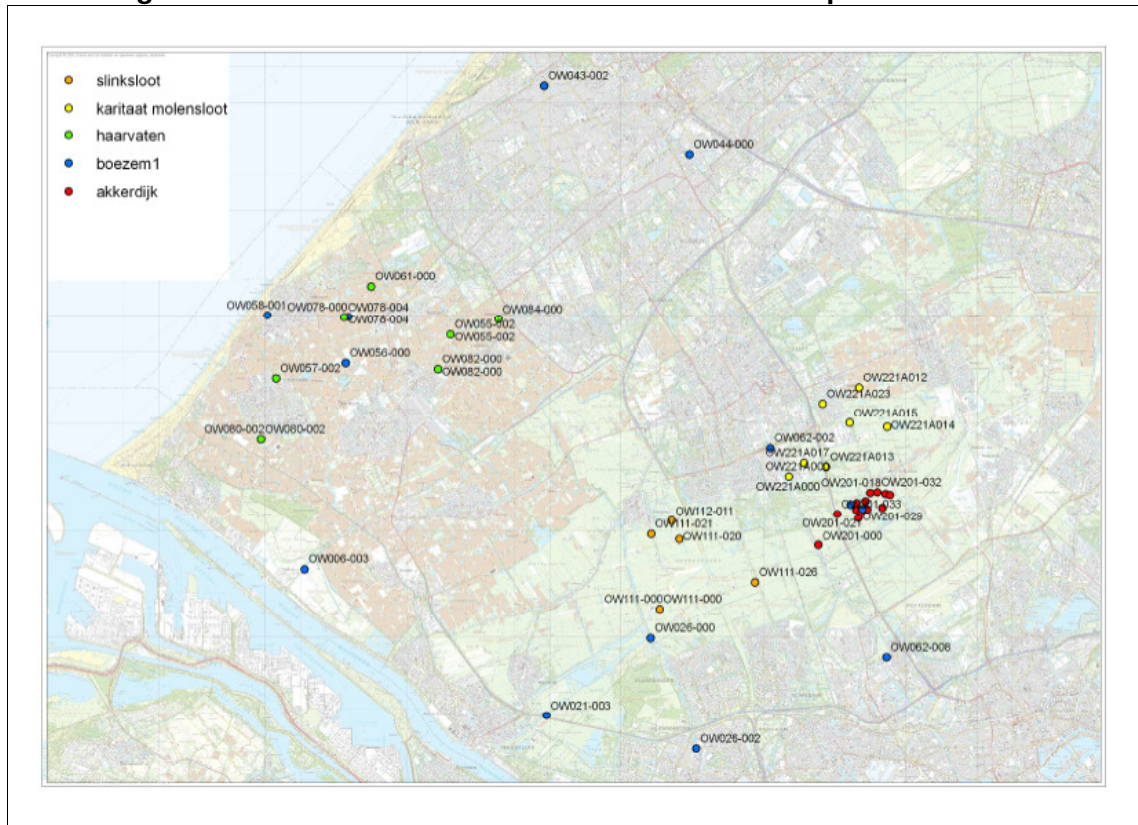
Vragen voor de systeemanalyse:

- wat is de ruimtelijke variatie in waterkwaliteit;
- wat is de rol van de verblijftijd?
- wat is de rol van de bodem?
- wat is de voorraad van P in de bodem wat betekent dit voor de interne belasting in de toekomst (na saneren glastuinbouw)?

3. ANALYSE VAN MEETDATA

Van de 5 onderzoek locaties zijn meetgegevens aangeleverd. In onderstaande paragrafen wordt het verloop van enkele fysisch-chemische en biologische parameters over de periode 2000 - 2011 besproken. Afbeelding 3.1 geeft de ligging van de betreffende meetpunten per locatie weer.

Afbeelding 3.1. Overzicht van de onderzoekslocaties en meetpunten



3.1. Fysisch-chemische parameters in de waterkolom

Bij aanvang van de studie zijn van hoogheemraadschap van Delfland fysisch-chemische meetgegevens ontvangen. Uit deze gegevens is een selectie gemaakt van de representatieve meetpunten voor de waterlichamen, daarbij is uitgegaan van het representatieve meetpunt dat ook in de waterbalans is gebruikt. Op de meetgegevens van deze punten zijn enkele bewerkingen uitgevoerd.

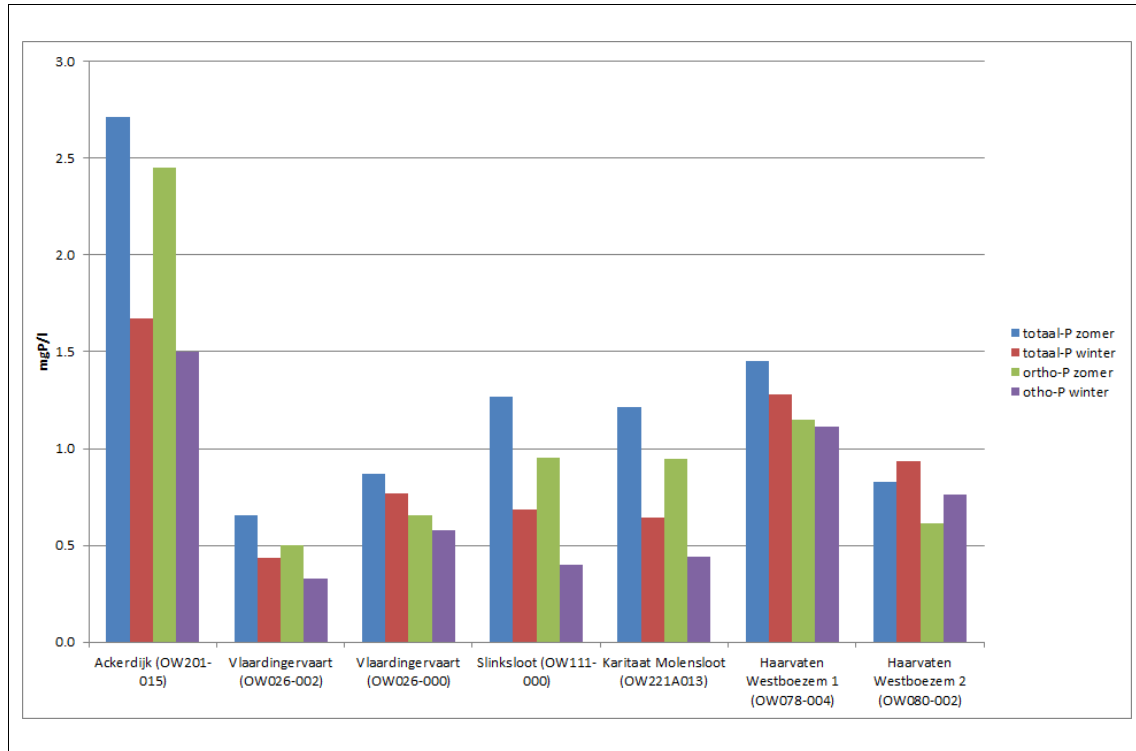
Voor een aantal belangrijke fysisch-chemische parameters zijn zomergemiddelden (1 april - 1 oktober) en wintergemiddelden bepaald. In bijlage I zijn grafieken opgenomen van het verloop van deze waarden, over de periode 2000-2011. De grafieken geven inzicht in de variatie in meetwaarden in tijd (zomer/winter, trends) en voor een aantal locaties ook in de ruimte (meerdere meetlocaties per waterlichaam).

Op de zomer- en wintergemiddelden zijn weer enkele nadere bewerkingen uitgevoerd. Afbeeldingen 3.1 tot en met 3.6 geven deze weer, eveneens gebaseerd op data van de periode 2000-2011. De waarden zijn ook opgenomen in bijlage II.

Fosfaat

Afbeelding 3.2 laat de opgeloste (ortho)-P en totaal-P gehalten per locatie zien. Opvallend is dat de (totaal) P-concentraties vaak erg hoog zijn. De zomergemiddelde concentraties zijn (afgezien van Haarvaten Westboezem 2) hoger dan de winterconcentraties. Het meeste P is ook aanwezig in de vorm van (beschikbaar) ortho-P. De figuren in bijlage I laten zien dat in Akerdijk er de laatste jaren een stijgende trend is in het P-gehalte.

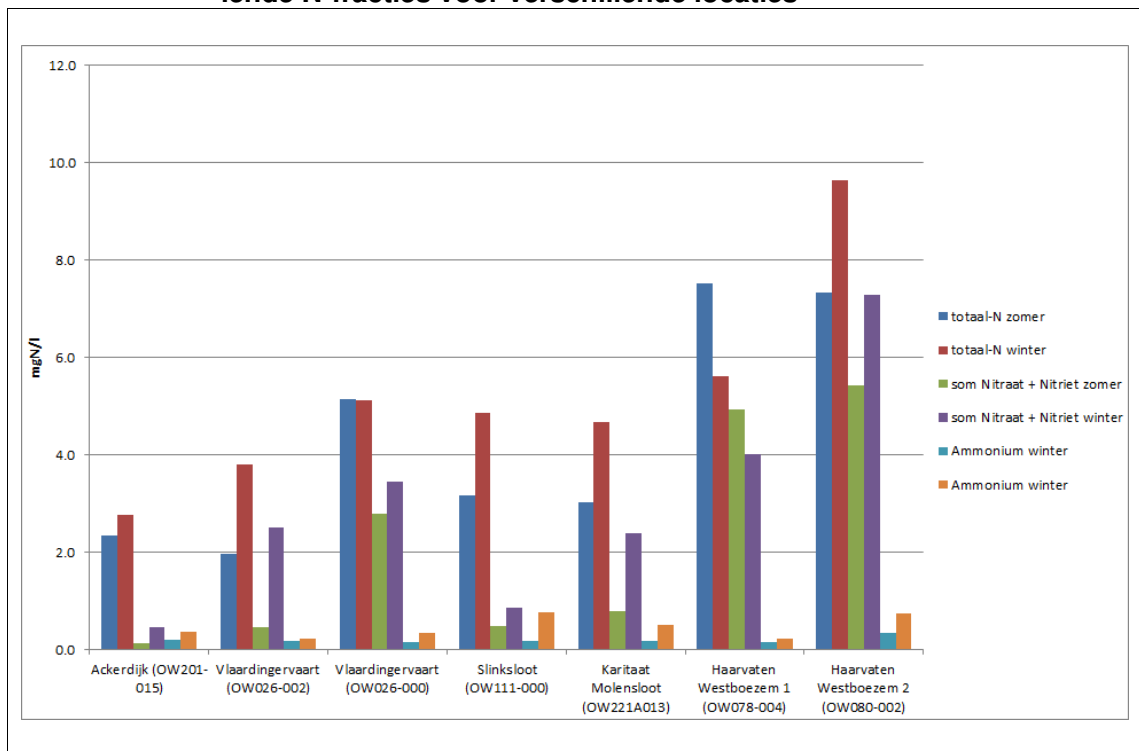
Afbeelding 3.2. Zomer en wintergemiddelde gemeten totaal-P en ortho-P concentraties voor verschillende locaties



Stikstof

Afbeelding 3.3 laat de fracties van N in zomer- en winterhalfjaar per locatie zien. De totaal-N concentraties zijn over het algemeen hoger in de winter dan in de zomer (afgezien van Westboezem 1). Zowel ammoniumconcentraties als nitraat + nitrietconcentraties zijn gedurende het gehele jaar in Akerdijk erg laag, hier treedt 's zomers dus waarschijnlijk N-limitatie op. Ook in de andere systemen is 's zomers regelmatig sprake van zeer lage beschikbaar ($\text{NO}_3/\text{NO}_2/\text{NH}_4$) N-concentraties (zie ook bijlage I).

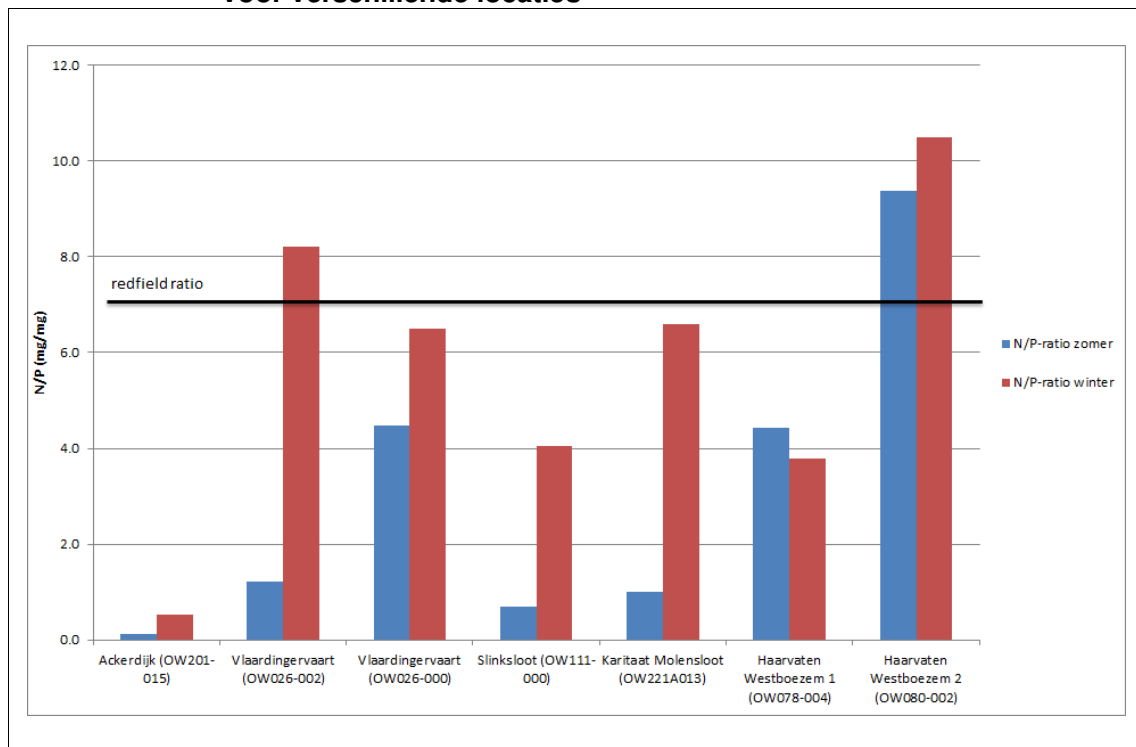
Afbeelding 3.3. Zomer en wintergemiddelde gemeten N-concentraties en de verschillende N-fracties voor verschillende locaties



Verhouding N en P

In afbeelding 3.4 zijn de N/P-ratio's afgebeeld voor de verschillende locaties. Opvallend is dat de N/P-ratio van de beschikbare fracties ($(\text{NH}_4 + \text{NO}_3 + \text{NO}_2)/\text{ortho-P}$) over het algemeen (veel) lager is dan de Redfield-ratio (7.2 g/g). Fosfaat is dus in de meeste gevallen in overmaat aanwezig in deze systemen, stikstof is limiterend wanneer de beschikbare stikstof-fracties ook daadwerkelijk uitgeput raken (zie afbeelding 3.3).

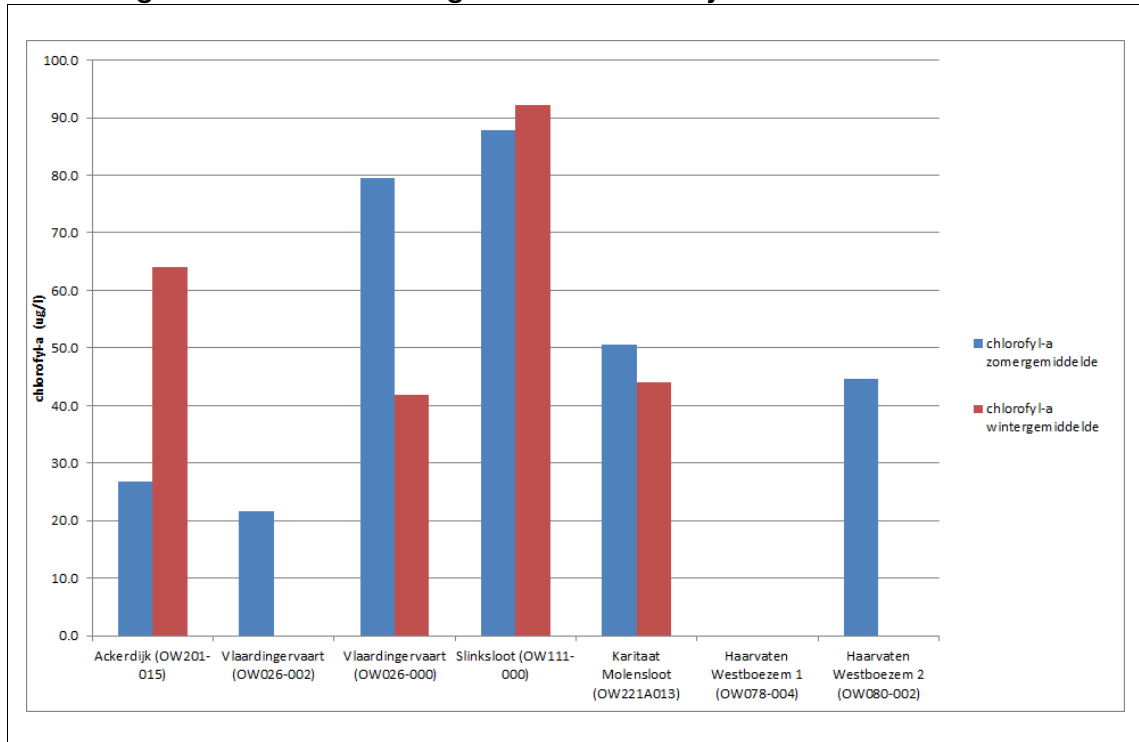
Afbeelding 3.4. Zomer- en wintergemiddelde N/P-ratio van beschikbare nutriënten voor verschillende locaties



Chlorofyl-a

De chlorofylgehalten zijn vooral in Ackerdijk opvallend laag. Gezien de hoge P-gehalten mag een behoorlijke algenbiomassa worden verwacht, dit is niet het geval. De gehalten zijn juist goed en benaderen in een aantal gevallen streefwaarden voor de KRW (circa 20 µg/l, van der Molen en Pot (red), 2007). NB, Ackerdijk wordt niet jaarlijks gemeten! De hoogste waarden worden gemeten in de slinksloot en de Vlaardingervaart (nabij de Vlietlanden). Dit is in beide gevallen boezemwater, de boezem is algenrijk hoewel ook dit in absolute zin ook nog wel meevalt, gezien de P-gehalten. De Vlaardingervaart nabij Vlaardingen lijkt beter, hoewel hier maar incidenteel wordt gemeten. De overige locaties zijn niet of nauwelijks bemonsterd.

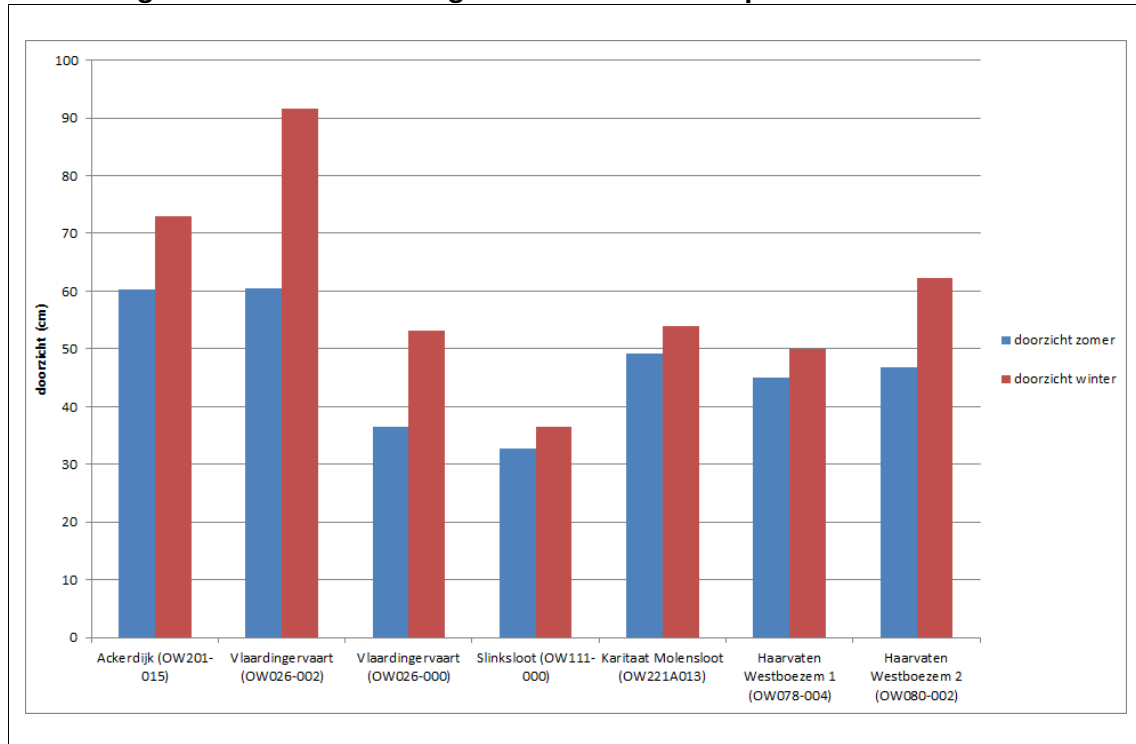
Afbeelding 3.5. Zomer- en wintergemiddelde chlorofyl-a voor verschillende locaties



Doorzicht

Ook de doorzichten (afbeelding 3.5) zijn ondanks de hoge nutriëntenconcentraties in sommige gevallen toch relatief groot. Vooral Ackerdijk en Vlaardingervaart (OW026-002, zuidelijke deel) vallen in positieve zin op. Dit hangt samen met de relatief lage chlorofylgehalten.

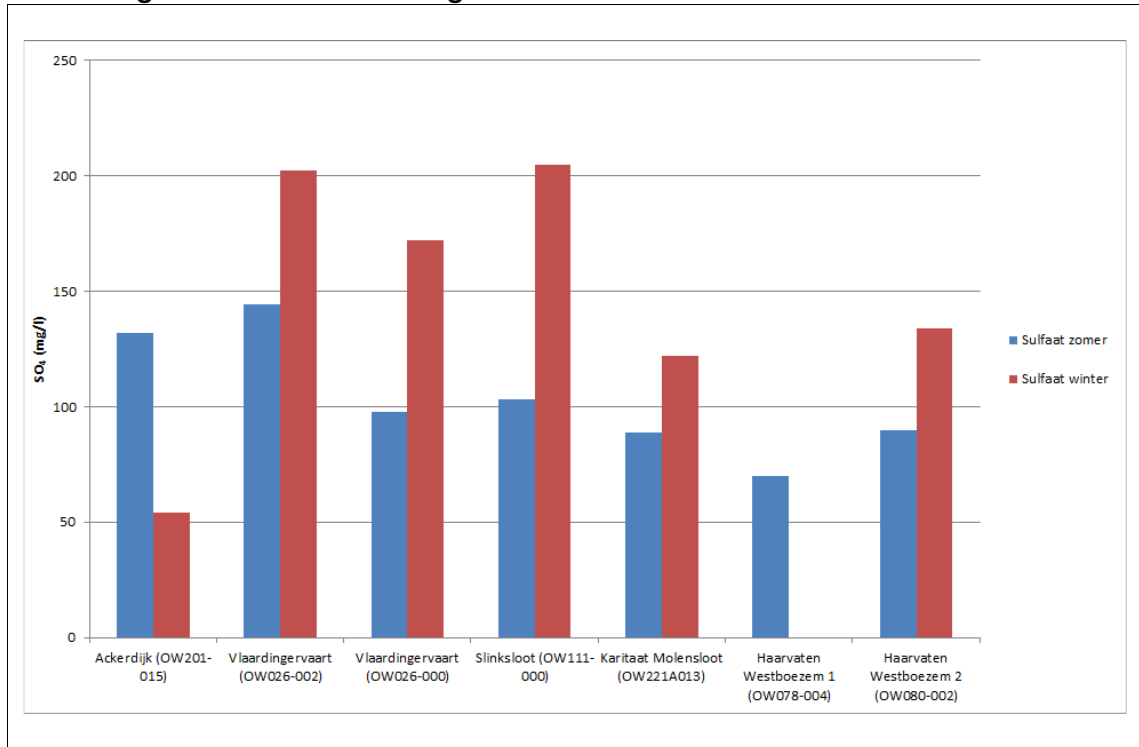
Afbeelding 3.6. Zomer- en wintergemiddelde doorzicht per locatie



Sulfaat

Opvallend is dat in Ackerdijk in de zomer de hoogste sulfaatconcentraties gemeten worden en in de winter lager (NB! Er is slechts een beperkt aantal metingen), terwijl de andere locaties een tegenovergesteld patroon laten zien (afbeelding 3.6). Sulfaat is in Delfland meestal afkomstig uit de (landbouw)percelen. Het is als FeS (pyriet) aanwezig in de bodem en kan door oxidatie (door zuurstof of nitraat) worden omgezet in sulfaat. Dit spoelt dan in de winterperiode in sterke mate uit. In de meeste ('s winters door polderwater gevoede) systemen is het sulfaatgehalte in de winter dan ook het hoogst. 's Zomers 'verdwijnt' sulfaat juist weer in de bodem, doordat het bij de afbraak van organisch materiaal wordt gebruikt. Dat het in de Ackerdijkse plassen andersom is, heeft mogelijk te maken met de isolatie en het flexibele peil en de gevolgen die dit heeft voor de uitwisseling tussen polderwatergangen en plassen. 's Zomers is er door een neerslagtekort een netto aanvoer vanuit de polderwatergangen naar de plassen, terwijl er 's winters door het neerslagoverschot sprake is van afvoer van water vanuit de plassen het gebied uit. De nalevering van de bodem in de Ackerdijkse plassen is lager dan gedacht, wat wijst op een geringere afbraak van organisch materiaal (de motor voor de nalevering) en daarmee een beperktere rol van sulfaat. Er zijn echter te weinig metingen om een en ander nader te bekijken (zie ook bijlage I). De sulfaatgehalten zijn over het algemeen hoog. Gehalten beneden de 20 mg/l, maar liever nog beneden 10 mg/l, zijn wenselijk met het oog op het beperken van veenafbraak en de beschikbaarheid van ijzer voor P-binding (Jaarsma, *et. al.*, 2008).

Afbeelding 3.7. Zomer- en wintergemiddelde sulfaatconcentraties



3.2. Biologische data

Voor de systemen zijn ook een aantal andere biologische kenmerken op een rijtje gezet, zie tabel 3.1. De chlorofyl-a-concentraties zijn zoals gezegd, gezien de belastingen en nutriëntenconcentraties (vooral P) niet heel hoog. Blijkbaar komen niet alle nutriënten tot uitdrukking. Het lijkt erop dat N in veel van de systemen limiterend is voor de algengroei. Ook komen er in een aantal systemen ondergedoken waterplanten voor. Er valt in systemen met ondergedoken waterplanten dus voldoende licht op de waterbodem. Voor het invullen van een aantal van de kenmerken is nog onvoldoende informatie aanwezig.

Tabel 3.1. Biologische kenmerken

parameter	eenheid	Ackerdijk (OW201-015)	Vlaardingervaart (OW026-002)	Vlaardingervaart (OW026-000)	Slinksloot (OW111-000)	Karitaat Molensloot (OW221A013)	Haarovaten Westboezem 1 (OW078-004)	Haarovaten Westboezem 2 (OW080-002)
chlorofyl-a	ug/l ZGM	26.8	21.6	79.6	87.9	50.7	-	44.6
chlorofyl-a	ug/l ZGM	64.0	-	41.8	92.3	44.0	-	-
blauwalgenbloeien	ja/nee							
submerse vegetatie	%	nee?	submerse gele plomp	nee	nee?	20%?	nee?	nee?
kroos	%	nee?	nee?	nee	?	50%?	?	?
visbiomassa (2006)	kg/ha		(829)	(829)	366	497		

4. WATER- EN STOFSTROMEN

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de water- en stofstromen van de watersystemen. Daarbij staan P en N centraal en wordt ook expliciet naar van de watersystemen de belasting vanuit de waterbodem gekeken. Voor een uitgebreide beschrijving van de water- en stofbalans wordt verwezen naar bijlage III.

4.1. Waterbalansen

De waterbalansen zijn gebaseerd op SOBEK. Uit de SOBEK modellen zijn balansen gedestilleerd die gelden voor het gehele watersysteem van hoofdwatgang tot de haarvaten. In bepaalde gevallen zijn wel onderdelen hieruit nader bekeken, dit geldt bijvoorbeeld voor de verblijftijden van de hoofdwatgangen. De balansen staan beschreven in bijlage III.

4.1.1. Herkomst water

Per watersysteem is de herkomst van het water in de balans weergegeven, dit is uiteraard systeemspecifiek. In het algemeen geldt dat een belangrijk deel van het water in de boezem, en daarmee uiteindelijk ook het water dat wordt ingelaten in de polders, 's zomers afkomstig is uit het Brielse meer. Dit water wordt in het Westland ingelaten om door te spoelen, maar verspreid zich voor een deel over het verdere boezemsysteem.

4.1.2. Analyse van verblijftijden

Hydrologie speelt een belangrijke rol in het systeemfunctioneren van oppervlaktewateren. In tabel 2 staan voor de systemen een aantal parameters uitgewerkt.

NB! Om balansposten onderling (tussen systemen) vergelijkbaar te maken, en met het oog op het toepassen van PCLake en PCDitch (zie 4.3), worden waterstromen vaak weergegeven in mm/dag.
--

Opvallend is dat de hydraulische belasting (ingående debiet) voor de watersystemen met een groot achterland over het algemeen laag is. Van Ackerdijk is dit te verwachten aangezien hierin niet wordt ingelaten. Er valt gemiddeld ongeveer 2.2 mm/d aan regen. Het overige debiet is dus inlaat, uit/afspoeling vanuit landpercelen of kwel. De verblijftijd is vrij lang, circa 100 dagen. De overige poldersystemen hebben eveneens een relatief lage hydraulische belasting. Door de geringe diepte is de gemiddelde verblijftijd met circa 25-35 dagen echter veel korter dan die van Ackerdijk.

De hoofdwatgangen hebben juist zeer korte verblijftijden, gemiddeld een dag of 3.

De Vlaardingervaart zit er qua hydraulische een beetje tussenin, de verblijftijd is gemiddeld circa 25 dagen en daarmee nog vrij lang. Overigens moet worden opgemerkt dat er een groot verschil zit tussen het noordelijke en het zuidelijk deel (zie ook bijlage III).

Tabel 4.1. Hydrologische gegevens watersystemen, uit waterbalansen (bijlage III)

parameter	eenheid	Akerdijkse plassen	Vlaardingervaart	Slinksloot hoofdwatergang	Slinksloot gehele polder	Karitaat Molensloot hoofdwatergang	Karitaat Molensloot gehele polder	Haarvaten Westboezem hoofdwatergang	Haarvaten Westboezem gehele watersysteem
hydraulische belasting	mm/d	9	65	220	16	220	23	275	28
gemiddelde waterdiepte	meter	0.9	1.6	0.75	0.4	0.75	0.5	0.95	0.95
verblijftijd (diepte/hydr.bel)	dagen	98	25	3	25	3	22	3	34

4.2. Stoffenbalansen

De stoffenbalansen zijn opgesteld in MS Excel. Veel belastingen zijn berekend door concentraties te koppelen aan de posten uit de waterbalans. Voor een aantal posten zijn kentallen gehanteerd (bijv. P en N-flux per landgebruiktype en hectare). Voor de waterbodem is gebruik gemaakt van de resultaten van BaggerNut. Belastingen zijn bepaald op het niveau van het gehele watersysteem (hoofdwatergangen en haarvaten). De stoffenbalansen staan toegelicht in bijlage III.

4.2.1. Belangrijkste externe belastingbronnen

In het beheersgebied van Delfland worden hoge nutriëntengehalten in het oppervlaktewater. Met name P is vaak erg hoog. Belangrijke bronnen van P zijn drainage uit landbouwgronden (bemesting en veenafbraak) en emissies uit de (glas)tuinbouw, in Akerdijk zijn de Aalscholvers verantwoordelijk voor een zeer hoge belasting. Voor specifieke systemen geldt dat inlaat (van boezemwater) soms een belangrijke externe bron vormt.

4.2.2. Belasting vanuit de waterbodem

Tabel 4.1 laat enkele karakteristieken zien van de waterbodem van de 5 locaties die zijn onderzocht in het kader van BaggerNut. De nalevering van P en N is onder labcondities bepaald bij 15 graden, bij hoge en lage SO₄ gehalten en hoge en lage alkaliniteit (Poelen, *et. al.*, 2012). De naleveringen in de tabel zijn van de behandeling met hoog S en hoge Alkaliniteit. Opvallend is dat de nalevering van N in verhouding tot de P nalevering vrij klein is. Op de meeste locaties is de P-nalevering zelfs groter dan de N-nalevering vanuit de bodem, uitgezonderd Akerdijk en Slinksloot. In organisch materiaal, zoals algen, is de N:P verhouding circa 7 (zie ook 3.1, Redfield ratio). Bij nalevering vanuit de waterbodem, waarbij de afbraak van organisch materiaal een centrale rol speelt, ligt de N:P verhouding dus volstrekt anders. Dit hangt samen met denitrificatie, waarbij N als luchtstikstof naar de atmosfeer verdwijnt. Ook dit werkt N-limitatie in de hand. Tabel 4.1 laat zien dat de bijdrage van de waterbodem aan de totale P-belasting op jaarbasis substantieel is (circa 10-60 %) en dat de bijdrage aan de N belasting relatief gering is, meestal in de orde van enkele procenten tot circa 10 %. De bijdrage van de bodem aan de belasting in de zomerperiode is groter omdat nalevering vooral in zomerperiode plaatsvindt.

Tabel 4.1. Fysisch-chemische waterbodemparameters uit de MIND-rapportage en bijdrage waterbodem aan belastingen uit stoffenbalansen (zie bijlage III)

parameter	eenheid	Akerdijk (OW201-015)	Vlaardingervaart (OW026-002)	Vlaardingervaart (OW026-000)	Slinksloot (OW111-000)	Karitaat Molensloot (OW221A013)	Haarvaten Westboezem 1 (OW078-004)	Haarvaten Westboezem 2 (OW080-002)
Slibdikte	m	0.05-0.10	0.05-0.10			0.2	variabel	
organische stof	%	20-40 %	20 %		7 %	20-40 %	10-15 %	
nalevering P (onder hoog S en hoge Alk)	mg P/m ² /d bij 15 °C	2	15		14	12	40	
nalevering N (onder hoog S en hoge Alk)	mg N/m ² /d bij 15 °C	5	12		18	10	30	
bijdrage P belasting	% jaar	9	18		46	30	58	
	% zomer	15	26		59	44	niet bepaald	
bijdrage N belasting	% jaar	7	2		10	2	5	
	% zomer	12	5		17	5	niet bepaald	

Rol van sulfaat en toepassing QuickScan BaggerNut

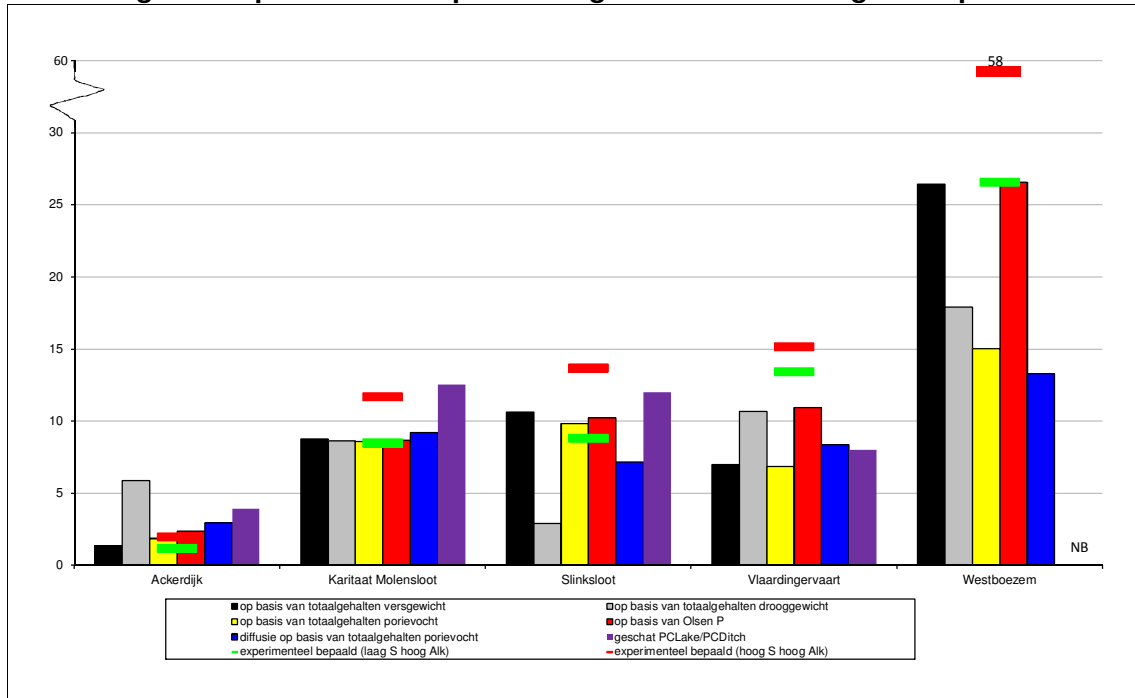
Afbeelding 4.1 laat de experimenteel bepaalde (gemeten) nalevering van P zien, voor de waterbodems van de vijf BaggerNut locaties. Deze is onder labcondities bepaald bij 15 graden. De groene lijntjes geven de nalevering weer die is gemeten bij de behandeling met laag S en hoge alkaliniteit, de rode lijntjes bij hoog S en hoge alkaliniteit. Wat opvalt is dat de nalevering sterk verschilt tussen de locaties en tussen behandelingen. De behandeling met hoog S (de behandeling die het meest lijkt op de condities die in het veld heersen op deze locaties) levert stelselmatig de hoogste nalevering op. Het grootste verschil laat de locatie haarvaten Westboezem zien (nb. let op de schaal van de y-as), de nalevering onder hoog S is hier ruim een factor 2 hoger! Dit duidt er op dat deze bodem zeer gevoelig is voor S. Uit de verdere gegevens die voor BaggerNut zijn verzameld blijkt dat deze bodem een groot aandeel 'labiel-P' heeft, losjes gebonden P. Dit komt bij de hoge S behandeling kenmerkend vrij. Vooral P dat gebonden is aan ijzer komt bij hoge S gehalten vrij, omdat S onder gereduceerde omstandigheden bindt aan ijzer (FeS) en daarmee bindingsplaatsen voor fosfaat inneemt.

Binnen BaggerNut is een zogenaamde 'quickscan' ontwikkeld om de (experimenteel bepaalde) nalevering vanuit de waterbodem te schatten. Deze quickscan maakt gebruik van meetgegevens van (de toplaag van) de waterbodem in het veld. Er zijn relaties afgeleid voor totaalgehalten van P, Fe en S in het porievocht, totaalgehalten van P, Fe en S in de waterbodem en voor Olsen-P (Poelen, *et. al.*, 2011 en 2012, Jaarsma *et. al.*, 2012). In bijlage IV zijn de ingevulde quickscans per locatie opgenomen. Afbeelding 4.1 laat de schattingen zien van de naleveringsfluxen op basis van de verschillende relaties uit de quickscan (zie kader). Tevens zijn relaties opgenomen voor diffusie vanuit het porievocht naar de waterlaag en de berekende waarde van de nalevering op basis van de ecosysteemmodellen PCLake voor Akerdijk en PCDitch voor Karitaat Molensloot, Slinksloot en Vlaardingervaart (zie ook 4.4).

Relaties quickscan

De afgeleide relaties uit de quick scan van BaggerNut gelden voor de nalevering onder laag S en hoge alkaliniteit. Voor een inschatting van de nalevering onder hoog S kan een correctiefactor worden gehanteerd (geschatte nalevering hoog S = 2 x geschatte nalevering laag S). Deze correctiefactor zal nog worden ingebouwd in de definitieve quickscan (Jaarsma *et. al.*, 2012). Als laag S kan een gehalte in het bovenstaande water < 10 mgSO₄/l worden aangehouden, voor hoog S moet worden gedacht aan gehalten van enkele tientallen tot honderden mgSO₄/l. Dit laatste is typerend voor de (meeste) wateren van Delfland.

Afbeelding 4.1. Experimenteel bepaalde en geschatte nalevering van P per locatie



Uit afbeelding 4.1 blijkt dat de geschatte nalevering nogal kan verschillen, afhankelijk van de gebruikte relatie. Binnen het totale spectrum aan waterbodems die binnen BaggerNut zijn onderzocht (29 locaties), presteerden achtereenvolgens de relaties op basis van Olsen-P, totaalgehalten in verse bodem en totaalgehalten in het porievocht het best. Relaties met totaalgehalten in droge bodem presteerden matig, deze worden dan onderstaand ook niet nader beschouwd. De figuur laat zien dat voor de Delflandse bodems de relaties o.b.v. Olsen-P en totaalgehalten in de verse bodem het dichtst bij de experimenteel bepaalde nalevering zitten (NB! de Delflandse bodems maakten onderdeel uit van de 29 locaties waarop de relaties zijn gebaseerd). Diffusie is niet opgenomen in de quickscan, maar is weergegeven als referentie voor de flux die mag worden verwacht als gevolg van diffusie van P vanuit het porievocht naar de waterlaag. Ditzelfde geldt voor de nalevering die is geschat met PCLake/PCDitch.

De resultaten voor Ackerdijk, Karitaat Molensloot en Slinksloot zijn vrij eenduidig, de absolute waarden van de schattingen en metingen (groene lijn) zitten in dezelfde orde van grootte. Voor Ackerdijk geldt echter wel dat de schattingen - relatief gezien - nog behoorlijk verschillen (tussen 1,3 en 2,3 mgP/m²/d). In dit bereik zijn de relaties minder nauwkeurig.

Voor de Vlaardingervaart en de haarvaten Westboezem lopen schattingen en metingen soms nogal uiteen. Dit geldt vooral voor de schattingen op basis van porievocht. Olsen P levert voor beide locaties de beste schatting. Dit kan er op wijzen dat er tijdens de experimenten nog extra P is gemobiliseerd naar het porievocht. De metingen aan het porievocht in het veld, voorafgaand aan de experimenten, zijn indicatief voor de actuele nalevering ten tijde van de bemonstering. Ze geven echter een te lage schatting van de nalevering van de bodem over langere periode in het lab. Olsen-P kan dat wel. Overigens laten de bodems in het Westland een hoge gevoeligheid zien voor S, bij een behandeling met hoog S verdubbelt de nalevering!

4.3. Berekende kritische belastingen met PCLake en PCDitch

Een belangrijk onderdeel van de watersysteemanalyses is de inschatting van de draagkracht, ofwel kritische belasting, van de systemen. In de meeste gevallen volstaat hiervoor een analyse met een van de *metamodellen* van de ecologische modellen PCLake of PCDitch (Janse, 2005). De metamodellen zijn gebaseerd op een zeer uitgebreide dataset van modeluitkomsten, het metamodel van PCLake is te vinden op: <http://themasites.pbl.nl/modellen/pclake>. Om het metamodel te gebruiken moeten de volgende systeemkenmerken worden ingevoerd: diepte (m), aandeel moeras (m^2/m^2), strijklengte (m), debiet in (mm/d), extinctie (-) en sedimenttype.

Het metamodel levert op basis van deze invoer, kritische grenzen voor de P-belasting die in het geval van de Delflandse wateren veel lager zijn dan de actuele belasting. Wat echter een (belangrijke) rol speelt is de N/P-ratio (g/g) in de belasting. Het metamodel is afgeleid voor een N/P-ratio van 34 (uitgaande van volledige P-limitatie). Voor de Delflandse wateren is deze ratio veel lager. Daarom zijn ook specifieke runs uitgevoerd met PCLake en PCDitch zelf.

Uitgangspunten berekenen kritische grenzen

Gewoonlijk wordt er door ons bij het berekenen van kritische grenzen uitgegaan van een constante belasting en een vaste N/P-ratio en belasting bijgesteld (geïnitieerd) tot aan de criteria van de kritische grens wordt voldaan. Kritische grenzen zijn dus gebaseerd op een langdurige constante situatie met continue P-belastingen en met een constante N/P-ratio.

Omdat in de betrokken watersystemen de rol van stikstof waarschijnlijk groot is, is het belangrijk aandacht te besteden aan de N- en P-dynamiek in het systeem. Met het berekenen van kritische grenzen is dit lastig in te schatten vanwege de statische benaderingswijze. Met een dynamische berekening (doorrekenen van tijdsreeksen, zie ook onder dynamische berekening) kan de seizoensdynamiek in N- en P-belastingen en de verhouding tussen deze posten (N/P-ratio) wel worden meegenomen. Het is de verwachting dat in deze systemen in werkelijkheid N- en P-limitatie afwisselend bepalend zijn voor de waterkwaliteit. De effecten hiervan kunnen niet worden gemodelleerd met de statische/kritische grenzen methode.

Dynamische berekeningen

Vanwege de beperkingen van de statische methode hebben we dynamische berekeningen met PCLake en PCDitch uitgevoerd. Hierbij zijn een aantal uitgangspunten hard opgedrukt, dit zijn dezelfde uitgangspunten als bij het berekenen van kritische grenzen.

In tabel 1 zijn per locatie de algemene uitgangspunten opgenomen. Naast de deze uitgangspunten zijn er nog een aantal uitgangspunten die als tijdreeks worden meegegeven aan het model: debiet, P- en N-belastingen. Deze reeksen worden gebaseerd op de water- en stoffenbalansen. Normaliter wordt er bij het berekenen van kritische grenzen voor het

debiet en waterdiepte een vast getal aangenomen; doordat de waterbalans op dagbasis wordt aangeboden aan het model, zal het op basis hiervan een diepte berekenen. Er is dus ook sprake van peilfluctuatie.

Tabel 4.2. Vaste uitgangpunten PCLake/PCDitch modelleringen

plas	PCLake/PCDitch	oppervlak (ha)	gemiddelde waterdiepte (m)*	bodemtype
Ackerdijk	PCLake	13.0	0.9	veen (/klei)
Vlaardingervaart	PCDitch	20.2	1.6	?
Sliksloot	PCDitch	107.3	0.4	veen/klei
Karitaat Molensloot	PCDitch	99.1	0.95	veen (/zand)
Haarvaten Westboezem	PCDitch	3.2/3.8	0.95	zand

*waterdiepte wordt dynamisch (per dag) berekend op basis van waterbalans

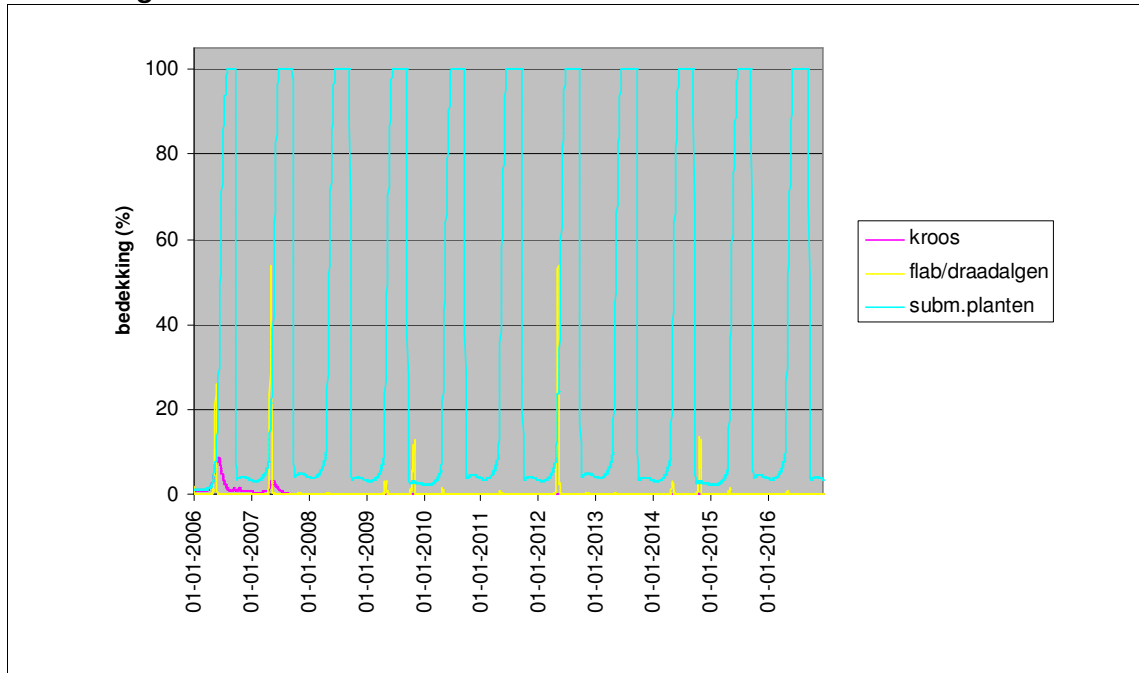
Voor de meeste systemen is gekozen om deze door te rekenen met PCDitch, omdat het om lijnvormige systemen gaat waarin het voedselweb een kleine rol speelt. Ackerdijk is hierop een uitzondering: hierin spelen watervlooiën wellicht een grote rol als grazers van fytoplankton.

Voor de locaties Ackerdijk en de Karitaat-Molensloot zijn detailmodelleringen uitgevoerd vanwege de complexiteit van de gebieden. Verder zijn er voor alle locaties kritische grenzen berekend.

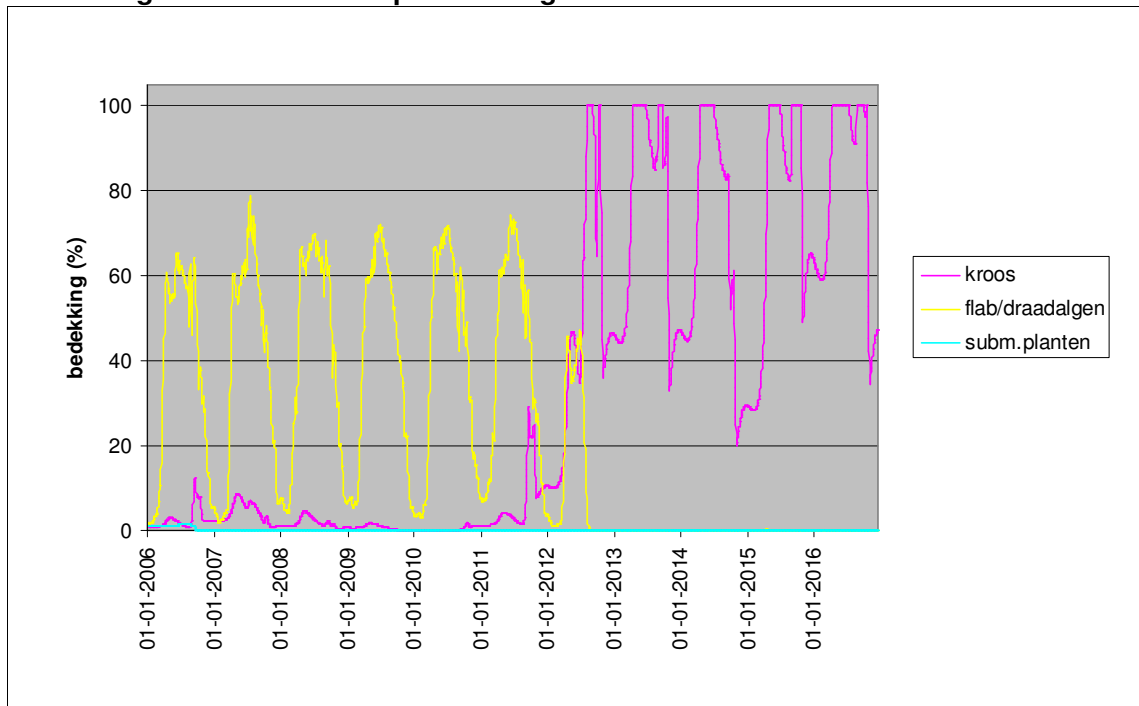
4.3.1. Dynamische modellering Karitaat-Molensloot met PCDitch

Voor de Karitaat-Molensloot is een uitgebreide PCDitch-modellering uitgevoerd. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de hoofdwatgang (Karitaat-Molensloot) en het gehele gebied waarin deze sloot ligt (Polder Delfgauw). In de modellering is te zien dat voor de Karitaat-Molensloot (afbeelding 4.2) een heldere toestand wordt voorspeld met ondergedoken waterplanten. De gehele polder van Delfgauw (afbeelding 4.3) wordt voorspeld dat hier vooral flab en kroos aanwezig zal zijn. Dit lijkt te kloppen met de waarnemingen: in de hoofdwatgang komen ondergedoken waterplanten voor. Af en toe is er echter ook een grote hoeveelheid kroos aanwezig. Dit kan verklaard worden door productie van kroos in de haarvaten en uitspoeling richting hoofdwatgang bij hevige neerslag of wanneer de polder bemalen wordt. Tijdens dit soort gebeurtenissen wordt het kroos uit de haarvaten richting hoofdwatgang getransporteerd.

Afbeelding 4.2. Karitaat-Molensloot



Afbeelding 4.3. Gehele polder Delfgauw



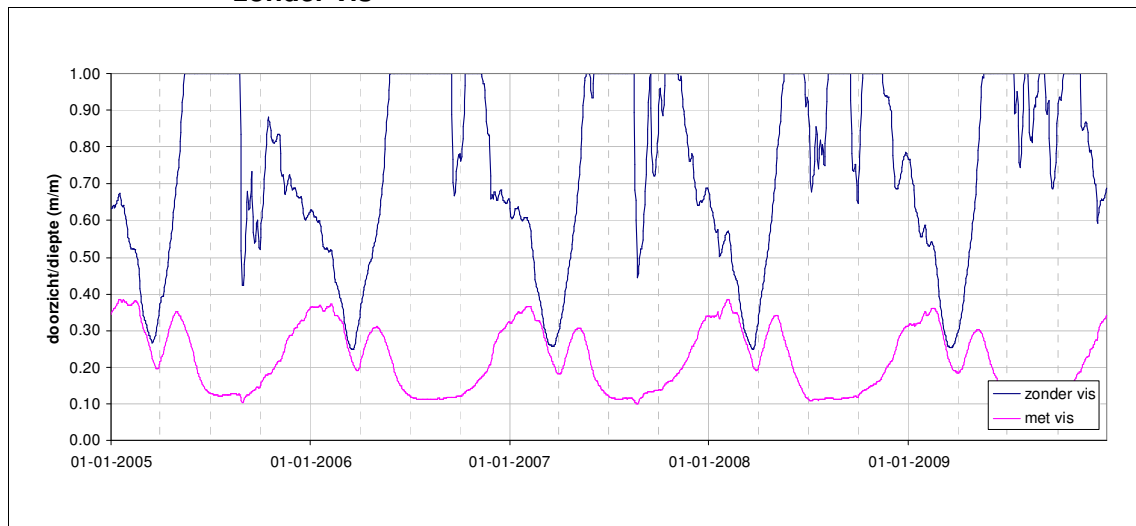
4.3.2. Dynamische modellering Akerdijkse plassen met PCLake

Voor Akerdijk zijn er modelleringen met PCLake uitgevoerd. In Akerdijk speelt vis mogelijk een rol: de visstand is laag en het is aannemelijk dat deze fors wordt uitgedund door de aalscholverkolonie die aanwezig is in het gebied. Verder zijn er (bijna) geen ondergedoken of drijvende waterplanten aanwezig in de plassen. Het plassensysteem is doorgerekend op dagbasis met als input de water- en stofvrachten uit de waterbalans. Hierbij is zowel een si-

tuatie met vis (zonder ingrijpen) en een situatie zonder vis (predatie op vis, 99 % van de vis wordt ieder jaar weggevangen) doorgerkend. Verder is gekeken naar (stikstoflimitatie).

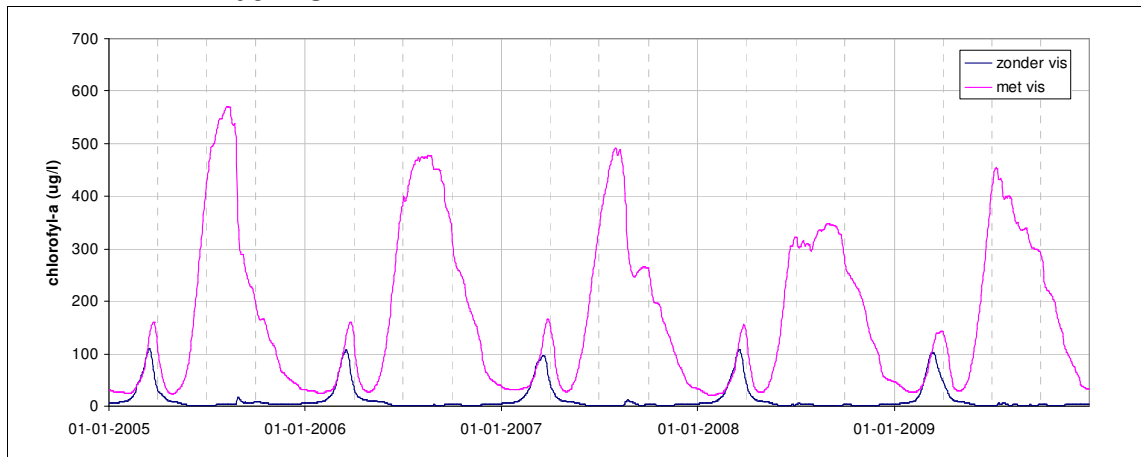
In afbeelding 4.4 is te zien dat in de situatie wanneer er niet gevist wordt het doorzicht laag is (< 0.5 m), wanneer de vis wordt weggevangen (door aalscholvers) neemt het doorzicht toe. Dit is te wijten aan het feit dat (grote) vis in het model vooral als benthivore vis wordt gemodelleerd en dus bodemmateriaal omwoeld.

Afbeelding 4.4. Gemodelleerde doorzicht/diepte verhouding voor Ackerdijk met en zonder vis

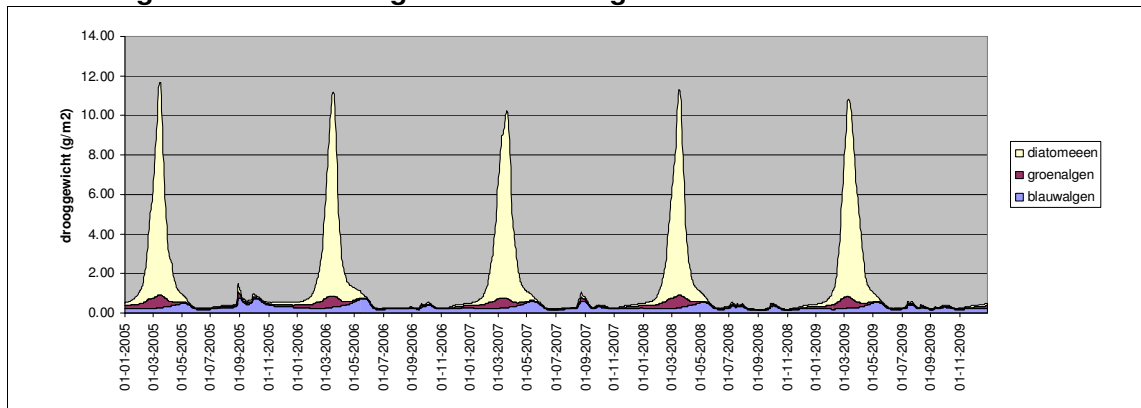


In afbeelding 4.5 zijn de gemodelleerde chlorofyl-a concentraties voor beide scenario's te zien. In het scenario waar vis wordt weggevangen zijn de concentraties aan algen beduidend lager dan in het scenario met vis. In afbeelding 4.6 en 4.7 is te zien dat zonder vis er alleen een (voorjaars-) piek van diatomeeën te zien is, maar in het scenario met vis in de zomer ook blauwalgen in hoge biomassa's voorkomen. In afbeelding 4.8 is te zien dat het model voor het scenario zonder vis een plantenrijke situatie voorspelt en in het scenario met vis er bijna geen planten aanwezig zijn. Dit is interessant, in werkelijkheid zijn namelijk geen (nauwelijks) planten aanwezig in Ackerdijk, ondanks dat er bijna geen vis wordt aangetroffen. Er is dus blijkbaar een andere factor dan belastingen en of vis die het (niet) voorkomen van ondergedoken waterplanten bepaald in Ackerdijk. Hierbij kan gedacht worden aan bijvoorbeeld sulfidotoxiciteit of een slecht substraat (dikke sliblaag). Hoge sulfidegehalten zijn ook aangetoond tijdens de metingen voor BaggerNut, de dikte van de sliblaag leek daarbij juist mee te vallen.

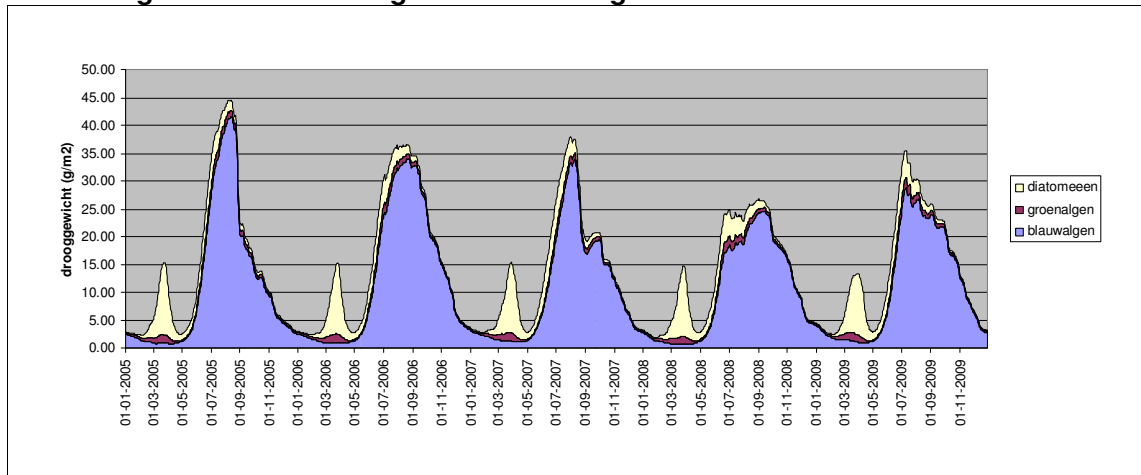
Afbeelding 4.5. Gemodelleerde chlorofyl-a concentraties voor Ackerdijk met en zonder vis



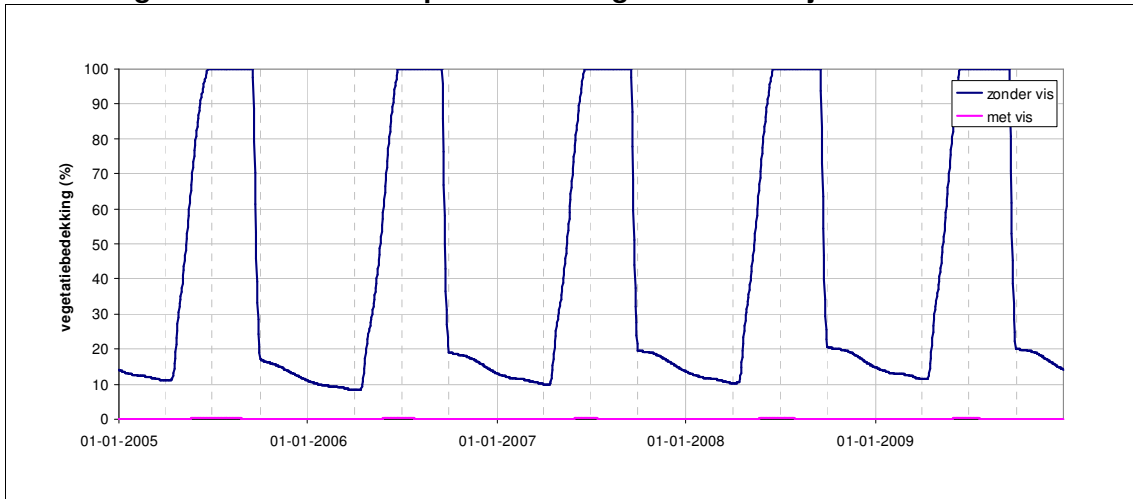
Afbeelding 4.6. Berekende algensamenstelling zonder vis



Afbeelding 4.7. Berekende algensamenstelling met vis

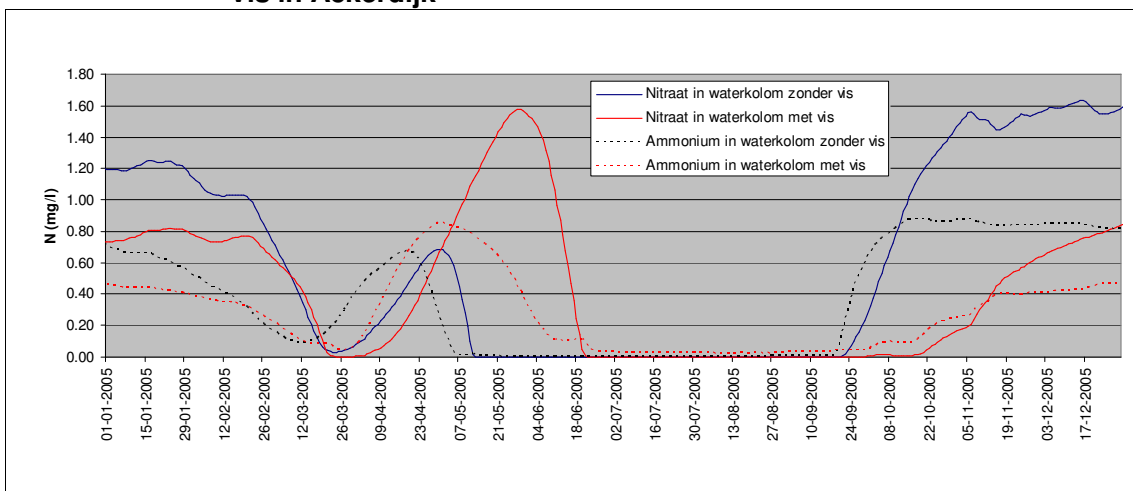


Afbeelding 4.8. Gemodelleerde plantbedekking voor Ackerdijk

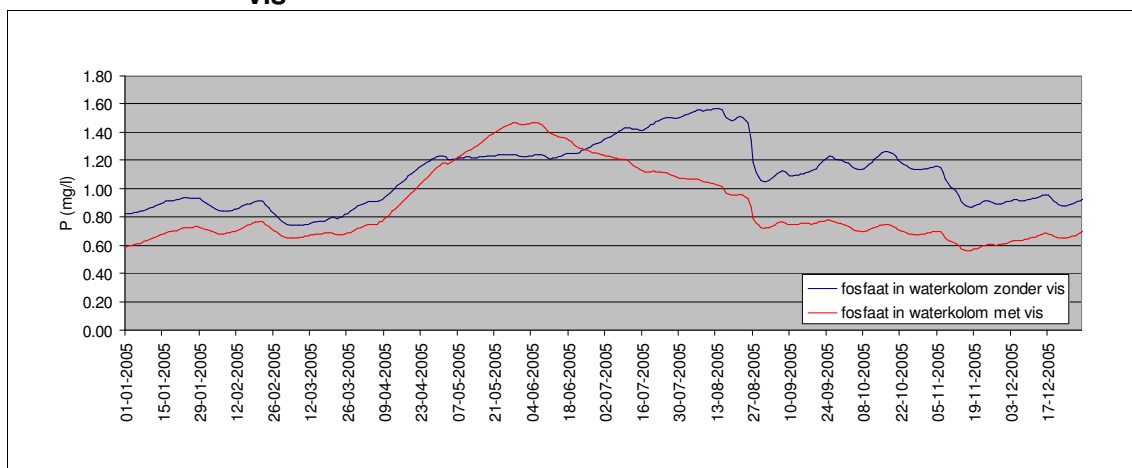


Toch is het dan wel opvallend dat ondanks dat er weinig of geen planten aanwezig zijn in Ackerdijk, algen nauwelijks aanwezige nutriënten kunnen gebruiken in dit systeem. In afbeelding 4.9 zijn de concentraties van nitraat en ammonium weergegeven zoals gemodelleerd. Te zien is dat er in de zomer (van bijvoorbeeld 2005) de beschikbare stikstofconcentraties tot praktisch nul worden gereduceerd. Tegelijkertijd is er ruim voldoende fosfor beschikbaar (afbeelding 4.10). Dit betekent dat er (vooral in de zomer) stikstoflimitatie optreedt. Dit kan voordelig zijn voor de ontwikkeling van stikstoffixerende blauwalgen. In werkelijkheid worden er relatief weinig blauwalgen gevonden in Ackerdijk, blijkbaar is er ook voor blauwalgen een andere beperkende factor (naast nutriënten) waardoor blauwalgen niet (goed) tot ontwikkeling komen in dit systeem.

Afbeelding 4.9. Gemodelleerde ammonium- en nitraatconcentraties met en zonder vis in Ackerdijk



Afbeelding 4.10. Gemodelleerde fosfaatconcentraties in de waterlaag met en zonder vis



De PCLake modelleringen kunnen het plassensysteem van Ackerdijk niet goed benaderen, er is een verschil tussen de uitkomsten die worden gemodelleerd en de werkelijkheid. Waarschijnlijk zijn er factoren die meer bepalend zijn in dit systeem dan belastingen of vis. Er moet hierbij gedacht worden aan bijvoorbeeld sulfidotoxiciteit. Toch geeft het model wel inzicht in de rol van aalscholvers en vis: ondanks dat aalscholvers een forse nutriëntenbelasting opleveren, vangen ze mogelijk een groot gedeelte van de vis weg. Het uitdunnen van de (benthivore) visstand heeft volgens deze modelresultaten een positieve uitwerking voor het systeem Ackerdijk. Zonder deze uitdunning wordt een troebele situatie met blauwalgen verwacht, met visstandbeperking door aalscholvers wordt een heldere plantenrijke situatie verwacht.

4.3.3. Kritische belastingsgrenzen alle locaties

Naast de dynamische berekeningen met PCDitch zijn er ook kritische grenzen afgeleid op een statische manier: tijdens de berekeningen zijn de parameters in tabel 4.3 constant gehouden. De verblijftijd is berekend op basis van de waterdiepte en het hydraulische debiet. De externe belasting is een uitgangspunt overgenomen uit de stoffenbalans; deze is benodigd voor het berekenen van de interne nalevering volgens PCDitch.

Tabel 4.3. Uitgangspunten berekeningen PCDitch

watersysteem (meetpunt)	N/P-ratio (g/g)	hydraulisch debiet (mm/d, water)	waterdiepte (m)	sedimenttype	verblijftijd (dagen)
Ackerdijk (OW201-015)	3.50	9.2	0.90	veen	98
Vlaardingervaart (OW026-002)	7.90	64.6	1.60	veen	25
Vlaardingervaart (OW026-000)	7.90	64.6	1.60	veen	25
Slinksloot (OW111-000)	6.00	16.0	0.40	veen	25
Slinksloot (OW111-000)	6.00	220.0	0.75	veen	3
Karitaat Molensloot (OW221A013)	9.00	23.3	0.50	veen	21
Karitaat Molensloot (OW221A013)	9.00	220.0	0.75	veen	3
Karitaat Molensloot (OW221A013)	9.00	216.0	0.75	veen	3
Haarvaten Westboezem 1 (OW078-004)	5.13	27.7	0.95	zand	34
Haarvaten Westboezem 1 (OW078-004)	5.13	27.7	0.95	veen	34
Haarvaten Westboezem 1 (OW078-004)	5.13	275.0	0.95	zand	3
Haarvaten Westboezem 1 (OW078-004)	5.13	275.0	0.95	veen	3

In tabel 4.4 zijn de resultaten van de berekeningen met PCDitch weergegeven. Hierin staan de kritische P en N belasting.

Tabel 4.4. Resultaten berekeningen PCDitch

naam	kritische P-belasting (mg/m ² /d)	kritische N-belasting (mg/m ² /d)
Ackerdijk (OW201-015)	16.5	57.9
Vlaardingervaart (OW026-002)	5.51	43.6
Vlaardingervaart (OW026-000)	5.53	43.7
Slinksloot (OW111-000)	27.6	165
Slinksloot (OW111-000)	38.5	231
Karitaat Molensloot (OW221A013)	16.0	144
Karitaat Molensloot (OW221A013)	24.9	224
Karitaat Molensloot (OW221A013)	24.7	222
Haarvaten Westboezem 1 (OW078-004)	11.5	59.0
Haarvaten Westboezem 1 (OW078-004)	13.1	67.1
Haarvaten Westboezem 1 (OW078-004)	44.6	229
Haarvaten Westboezem 1 (OW078-004)	46.6	240

4.4. Berekening van de interne belasting met PCLake en PCDitch

De interne belasting wordt ook door beide ecologische modellen berekend. Hierdoor zal de post interne belasting aanvullend moeten worden bekeken. Voorstel is om eerst het systeem door te rekenen zonder aanvullende interne belasting. Vervolgens kan er gekeken worden hoe groot de berekende interne belasting is volgens het model en kan dit worden vergeleken met de bodemfluxen zoals bepaald in Baggernut. Op basis van deze vergelijking kan vervolgens eventueel een aanvullende interne belasting toegevoegd worden in de modellering

Tabel 4.5. Uitgangspunten voor berekening interne belasting

naam	externe P-belasting (mg/m ² /d)
Ackerdijk (OW201-015)	16.5
Vlaardingervaart (OW026-002)	30
Slinksloot (OW111-000)	16
Karitaat Molensloot (OW221A013)	20

Naast de kritische grenzen is er ook berekend wat de autonome naleveringsflux is vanuit de waterbodem op basis van het model. In feite is er in alle systemen sprake van meer of mindere bodemnalevering. De vraag is of wat er in het veld gemeten meer is dan er normaal uit de waterbodem zou moeten komen.

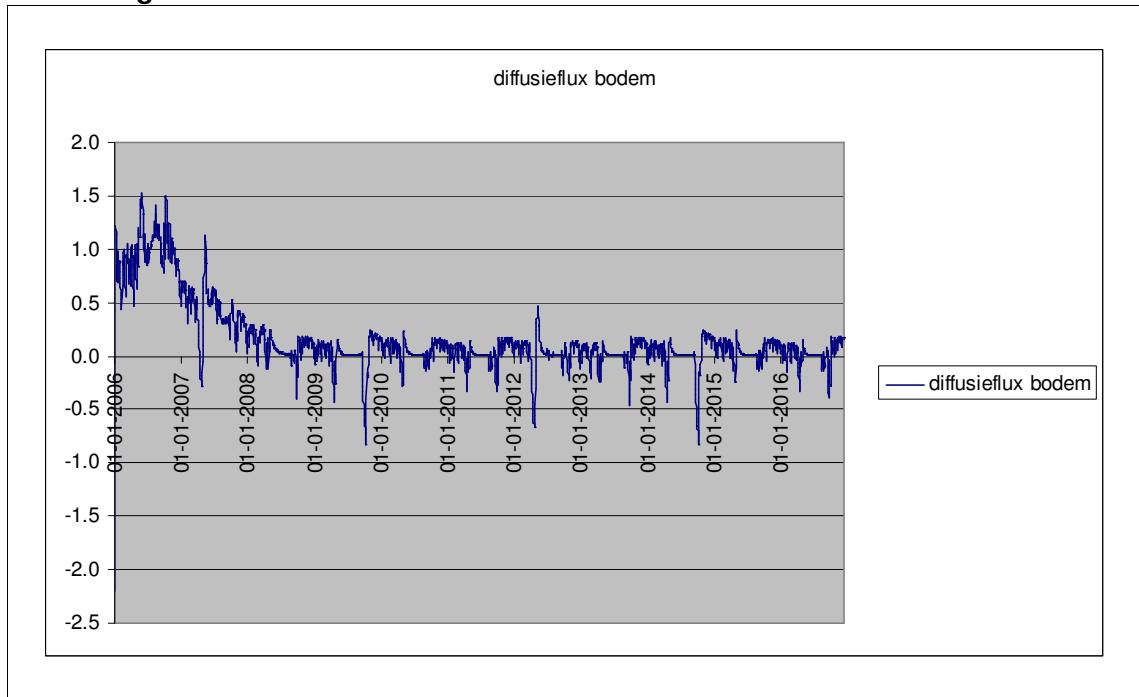
Tabel 4.6. Resultaten interne belasting PCDitch

naam	berekende interne flux op basis PCDitch (mg P/m ² /d)
Ackerdijk (OW201-015)	3.9
Vlaardingervaart (OW026-002)	8
Slinksloot (OW111-000)	12
Karitaat Molensloot (OW221A013)	12.5

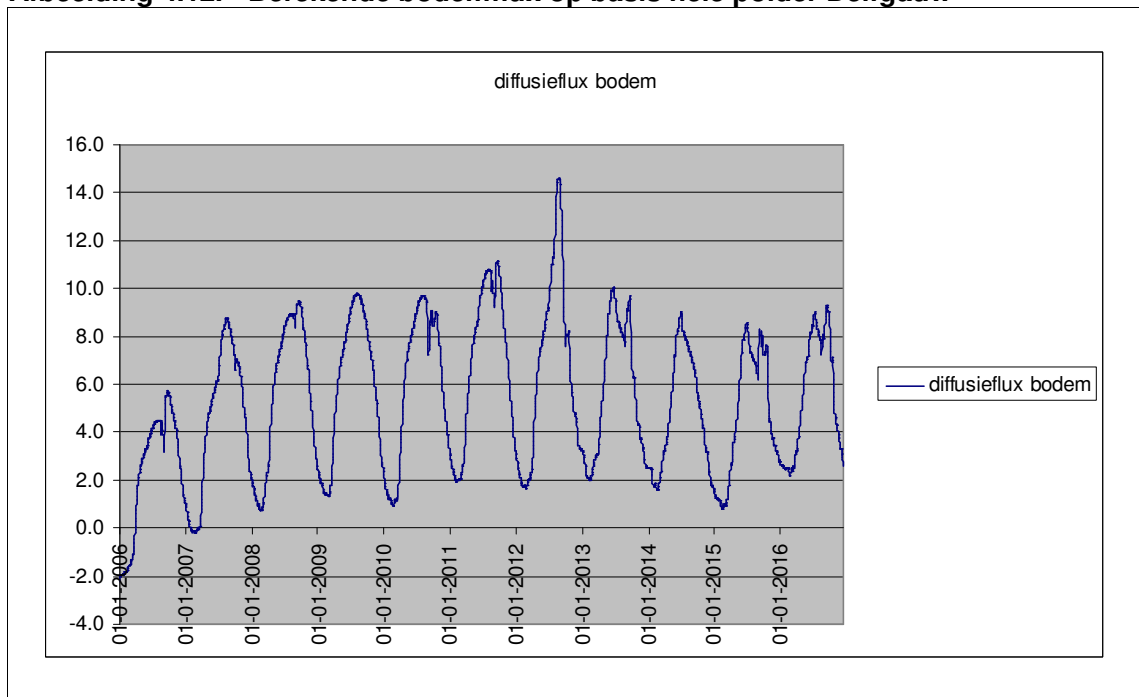
Interne belasting is echter niet constant, afhankelijk van interne (afbraak)processen; bijvoorbeeld wanneer er veel biomassa-productie van planten of kroos is, zal er een gedeelte van de 'standing stock' afsterven en bezinken. Dit vormt dan een sliblaag op de bodem en komt na afbraak vervolgens weer vrij naar de waterlaag. Te zien is in afbeelding 4.11 dat onder heldere plantenrijke condities de netto nalevering vanuit de waterbodem bijna nul is,

terwijl voor de hele polder Delfgauw (afbeelding 4.12) de nalevering in de zomer ongeveer de helft van de externe belasting kan zijn (8-10 mg/m²/d). Deze getallen wijken af van de resultaten in tabel 4.6; dit komt omdat deze modelleringen op basis van dynamische data (hydrologie, belasting etc.) is gemaakt en de getallen in tabel 4.6 zijn gebaseerd op modelleringen met een vaste (gemiddelde) belasting en hydrologie.

Afbeelding 4.11. Berekende bodemflux Karitaat Molensloot



Afbeelding 4.12. Berekende bodemflux op basis hele polder Delfgauw



5. SYNTHESE

5.1. Overzicht relevante kenmerken systeemfunctioneren

In tabel 5.1 is een aantal kenmerken uit de voorgaande tabellen en figuren samengevoegd. In geen van de systemen treedt er P-limitatie op. Een aantal systemen is in de zomer (juni-september) N-gelimiteerd. Beschikbaar N (zowel nitraat + nitriet als ammonium) zijn dan onder de detectielimiet (≤ 0.1 mg/l). Akerdijk heeft een dusdanig lage N/P-ratio dat er vrijwel altijd N-sturing zal plaatsvinden. Het doorzicht lijkt in een aantal systemen (Akerdijk, Karitaat Molensloot, Vlaardingervaart zuidelijke deel, na 2008) voldoende voor plantengroei. Bij een doorzicht van 0,6 maal de diepte (doorzicht/diepte $> 0,6$) wordt verondersteld dat er voldoende licht op de bodem doordringt voor plantengroei (o.a. Scheffer, 1998, Jaarsma *et. al.*, 2008). Toch worden er in Akerdijkse plassen niet of nauwelijks planten gezien. Er worden overigens wel waterplanten aangetroffen in de kleinere, meer geïsoleerde delen (haarvaten). Blijkbaar is er iets anders limiterend of remmend (sulfide- of ammoniumtoxiciteit) voor de groei van ondergedoken planten. In de Karitaat-molensloot en in het zuidelijke deel van de Vlaardingervaart worden wel ondergedoken waterplanten aangetroffen. Overigens zijn ook in de Slinksloot aan het einde van de zomer van 2012 ondergedoken waterplanten aangetroffen (valt buiten de periode waarover in dit rapport data zijn geanalyseerd).

Vrijwel alle systemen hebben delen met een dusdanig lange verblijftijd (>7 dagen) dat processen sturend zijn. De Slinksloot, de Karitaat Molensloot en de Haarvaten Westboezem 1 (Musschenwatering) hebben een kortere verblijftijd. Hier is de verblijftijd en dus de waterkwaliteit van het inlaatwater bepalend.

De ruimtelijke variatie is in de meeste systemen vrij groot. Bijvoorbeeld de meetpunten in Akerdijkse plassen zelf hebben een lage N/P-ratio, terwijl meer richting het gemaal de N/P-ratio veel hoger is. Er is dus een duidelijk verschil in functioneren tussen de plassen en de polderdelen in Akerdijk. Ook een aantal andere systemen vertonen soortgelijke ruimtelijke variatie. Binnen het project was er slechts beperkte mogelijkheid om hier verder op in te gaan, dit aspect verdient dit echter aanvullende aandacht.

Uit de stoffenbalansen blijkt dat P uit de waterbodem in een aantal systemen een substantieel aandeel van de totale P-belasting levert. Voor N levert de waterbodem een beperkt tot zeer beperkt aandeel van de totale N-belasting. Omdat stikstof een belangrijke rol in deze systemen lijkt te hebben, zijn bodemprocessen als (de)nitrificatie belangrijk voor het systeemfunctioneren.

Tabel 5.1. Kenmerken indicatief voor systeemfunctioneren

parameter	eenheid	Ackerdijk (OW201-015)	Vlaardingervaart (OW026-002)	Vlaardingervaart (OW026-000)	Slinksloot (OW111-000)	Karitaat Molensloot (OW221A013)	Haarvaten Westboezem 1 (OW078-004)	Haarvaten Westboezem 2 (OW080-002)
Nutriëntenlimitatie								
P	ja/nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee
N	ja/nee/seizoen	zomer en winter	zomer	nee	zomer	zomer	nee	nee
Helderheid van het water (op meetpunten)								
doorzicht	m (ZGM)	0.60	0.60 1.1 (na 2008)	0.36	0.33	0.49	0.45	0.47
diepte	m	0.90	1.60	1.60	0.75	0.75	0.95	0.95
door-zicht/diepte	m/m (ZGM)	0.67	0.38 0.7 (na 2008)	0.23	0.44	0.66	0.47	0.49
Verblijftijd								
hoofdwaters	-	proces	proces	proces	verblijftijd	verblijftijd	verblijftijd	proces
haarvaten	-	proces	n.v.t.	n.v.t.	proces	proces	n.v.t.	n.v.t.
Bijdrage van de bodem aan de totale belasting								
P		relatief beperkt	substantieel	substantieel	relatief beperkt	fors	beperkt	substantieel
N		beperkt	zeer beperkt	zeer beperkt	zeer beperkt	zeer beperkt	zeer beperkt	zeer beperkt

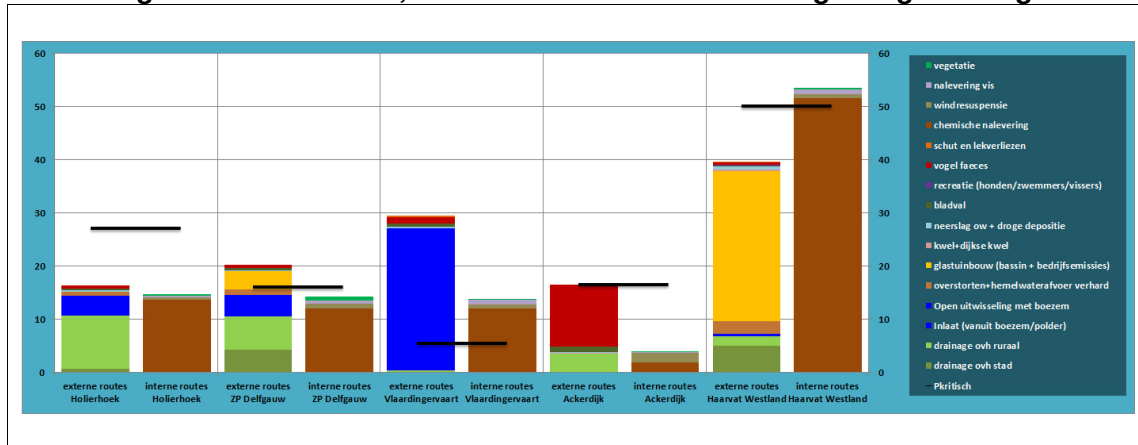
5.2. Analyse van belasting versus kritische belasting

In deze paragraaf wordt voor alle locaties de belasting van het watersysteem met P en N getoetst aan de kritische belasting. Hiervoor gelden de volgende uitgangspunten en overwegingen:

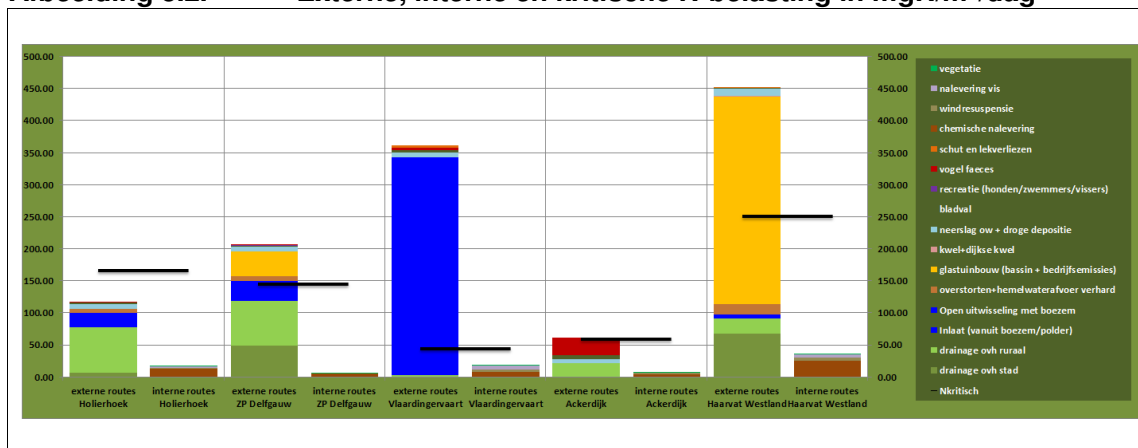
- het schaalniveau waarover uitspraken worden gedaan, verschilt per watersysteem. Voor de poldersystemen (Delfgauw en Midden Delfland) maar ook voor de Westboezem geldt dat de belasting op het niveau van het hele watersysteem, inclusief hoofdwatertgangen en haarvaten, wordt getoetst aan de kritische belasting. Voor de Vlaardingervaart en voor Ackerdijk ligt dat anders, daar zijn belasting en kritische belasting bepaald voor de hoofdwaters, respectievelijk de Vlaardingervaart zelf en de plassen in de Ackerdijkse polder;
- bij het berekenen van de kritische belastingsgrenzen is uitgegaan van de verhouding tussen N en P in de totale (externe + interne) belasting. Deze zijn afgeleid van de water- en stoffenbalansen in de bijlage. Hierdoor lijken de figuren waarbij de externe belasting wordt vergeleken met de kritische grenzen, voor N en P vrij sterk op elkaar (de verhouding tussen de belasting en kritische belasting is ongeveer gelijk voor N en P);
- de berekende kritische grenzen voor de lijnvormige wateren zijn bepaald met PCDitch en vertegenwoordigen de belasting waarbij er theoretisch een omslag naar kroos wordt verwacht. Voor Ackerdijk (plassen) is de kritische grens bepaald met PCLake en gebaseerd op de omslag naar een troebele, algengedomineerde toestand. In de toekomst, bij verdere ontwikkeling van PCLake/PCDitch, kunnen er wellicht kritische grenzen worden afgeleid voor vegetatietypen of -gemeenschappen op een eutrofiëringgradiënt. Bijvoorbeeld voor kranswier, fonteinkruid, waterpest/hoornblad, waterlelie drijfblad en uiteindelijk kroos;

- in werkelijkheid zal er een grote ruimtelijke variatie binnen een polder bestaan. Kroos ontwikkelt zich het best in de rustigere delen (haarvaten/sloten) van de polder. Het kroos dat zich hier ontwikkelt, verplaatst zich vaak naar de hoofdwatergang. Het kroos in de hoofdwatergangen is eerder afkomstig uit sloten, dan dat het lokaal wordt geproduceerd. Vanwege stroming (verblijftijd vaak circa 3 dagen!) en/of andere factoren is er vaak weinig kroosgroei in de hoofdwatergangen. Soms wel, maar dan is er vaak sprake van ophoping bij een duiker of balk;

Afbeelding 5.1. Externe, interne en kritische P-belasting in mgP/m²/dag



Afbeelding 5.2. Externe, interne en kritische N-belasting in mgN/m²/dag



Holierhoek (inclusief Slinksloot)

De berekende externe belasting van de Holierhoekse en Zouteveense ligt duidelijk onder de berekende kritische grens. Op basis hiervan wordt geen kroosdominantie verwacht. In de haarvaten van de Holierhoek wordt lokaal helder en plantenrijk water gevonden. Dat laat zien dat de belasting daar niet extreem hoog is, dit past in het beeld. Het is overigens niet zo dat de Holierhoekse en Zouteveense polder helemaal geen kroosproblemen kent. In andere polders, zoals de Zuidpolder Delfgauw (Karitaat-Molensloot), zijn ze wel groter. Daar staat tegenover dat in de hoofdwatergang van de Zuidpolder Delfgauw, de Karitaat-Molensloot, een interessantere ecologie waargenomen wordt dan in de Slinksloot, de hoofdwatergang van de Holierhoekse en Zouteveense polder. Dit hangt samen met de voeding van de Slinksloot door (troebel en algenrijk) boezemwater, terwijl de Karitaat-Molensloot in grotere mate door gebiedseigen water wordt gevoed. In de haarvaten is de waterkwaliteit en ecologische kwaliteit van de Holierhoekse en Zouteveense polder echter beter. Dit past bij het beeld uit figuur 5.1 en 5.2. Afgezien daarvan geeft de vergelijking ge-

voelsmatig een iets te rooskleurig beeld. Dit kan deels te maken hebben met de geringe waterdiepte, waardoor de berekende kritische grens hoog ligt.

Eigenlijk zou de vergelijking een verdere nuancering behoeven. Hoewel de belasting lager is dan de kritische belasting, is er ook geen sprake van een gezond, laagproductief, soortenrijk systeem. Zolang er nog geen aanvullende kritische grenzen beschikbaar zijn (zie ook bovenstaande overwegingen), kan worden gekozen voor een pragmatische kritische grens voor een gezond systeem, namelijk 1/2 x omslag naar kroos. Ligt de belasting daaronder dan wordt een gezonde sloot verwacht, daarboven is er sprake van een hoogbelaste sloot. Polder Delfgauw ligt daar nog boven.

Zuidpolder van Delfgauw (inclusief Karitaatmolensloot)

Voor de Zuidpolder van Delfgauw ligt de externe belasting duidelijk hoger dan de kritische grens, op basis daarvan wordt kroosdominantie verwacht. Er is inderdaad ook veel kroos aanwezig in de polder, wat past bij de analyse. De Karitaat-Molensloot zelf is, zoals gezegd, beter van kwaliteit. Hier is vrij helder water en worden ondergedoken waterplanten aangetroffen. Echter ook vaak volledige bedekking met kroos. Gezien de korte verblijftijden wordt verwacht dat de kroosontwikkeling in de hoofdwatgang zelf beperkt is, maar dat dit vooral in de haarvaten ontstaat en dan naar de hoofdwatgang wordt afgevoerd.

Vlaardingervaart

Voor de Vlaardingervaart liggen de externe belastingen ver boven de kritische grenzen. De belastingen zijn zeer hoog en de kritische grenzen liggen duidelijk lager dan bij de voorgaande systemen. De reden voor dat laatste is dat de waterdiepte (1.6 m) veel groter is, hierdoor hebben ondergedoken waterplanten relatief slechtere groeimogelijkheden. Aardig is dat de analyse in grote lijnen wel klopt voor het noordelijke deel van de Vlaardingervaart, nabij de Vlietlanden, maar niet voor het zuidelijke deel. Dit is verklaarbaar. Het noordelijke deel wordt veel hoger belast vanuit de boezem en de polders. Dit deel is ook algenrijk en zeer troebel, er groeien niet of nauwelijks ondergedoken waterplanten. Het zuidelijke deel is - zeker de laatste jaren - feitelijk een stilstaande tak. De doorstroming en daarmee de belasting is er laag, het water helder en lokaal ontwikkelen zich ondergedoken waterplanten. De figuren hebben dus vooral betrekking op het noordelijke deel. Om een goede analyse te kunnen maken, zou de Vlaardingervaart moeten worden opgedeeld in 2 delen.

Ackerdijkse plassen

Voor de Ackerdijkse plassen vallen de externe belastingen samen met de kritische belastingen. De kritische P-belasting ligt hier extreem hoog, dit is vanwege de N-limitatie (P is in overmaat aanwezig en doet er eigenlijk niet meer toe). De kritische belasting ligt sowieso al vrij hoog als gevolg van de geringe diepte en geringe strijklengte van de plassen. Op basis van deze analyse zou zowel een helder, plantenrijk systeem als een troebel systeem verwacht mogen worden. In werkelijkheid is er nog iets anders aan de hand. Het water is relatief helder, maar in de plassen groeien geen ondergedoken waterplanten. Deze hebben dus ook geen stabiliserend effect op de heldere toestand. Op basis van waarnemingen in het systeem lijken er meerdere processen van belang te zijn. Er lijkt sprake te zijn van N-limitatie, gedurende het gehele jaar is het N-gehalte in de plassen laag. Verder lijkt er sprake te zijn van een top down controle van de algen door watervlooiën, dit hangt weer samen met de lage visbiomassa. Wellicht spelen de aalscholvers daarbij weer een rol (predatie). Het (vrijwel) ontbreken van ondergedoken waterplanten kan weer samenhangen met sulfidotoxiciteit van de bodem, hoewel er ook planten zijn die daar minder gevoelig voor zijn. Al met al lijkt het een fragiel evenwicht waarbij de balans gunstig uitlaat (helder water, zonder algenproblemen). Tegelijkertijd zijn de aquatische natuurwaarden van de plassen gering. Hoge natuurwaarden in de plassen zijn echter ook niet realistisch bij de hoge belastingdruk door aalscholvers.

Haarvaten Westboezem

Voor de haarvaten Westboezem ligt de externe N-belasting duidelijk hoger dan de kritische grens. Voor P is de externe belasting lager, maar is als enige locatie de interne belasting veel groter dan de externe belasting. Dit laat enerzijds zien dat de bodem zeer veel P nalevert, zoals mag worden verwacht in een hoogbelast watersysteem. Anderzijds is deze nalevering zo groot, dat de bodem hier ook daadwerkelijk als **netto** P-bron beschouwd moet worden. Wanneer deze interne belasting wordt opgeteld bij de externe belasting, komen deze samen boven de kritische grens en wordt kroosdominantie verwacht. Er is inderdaad ook veel kroos aanwezig in het Westland. Echter ook hier zijn grote verschillen tussen haarvaten en hoofdwatgangen. De eerste zijn vaak bedekt met een dichte krooslaag. De laatste worden veelal gevoed (doorspoeld) door inlaatwater vanuit het Brielse meer. Daarom kennen de hoofdwatgangen soms juist een goede waterkwaliteit.

5.3. Rol van de waterbodem

Verschillen in nalevering tussen watersystemen

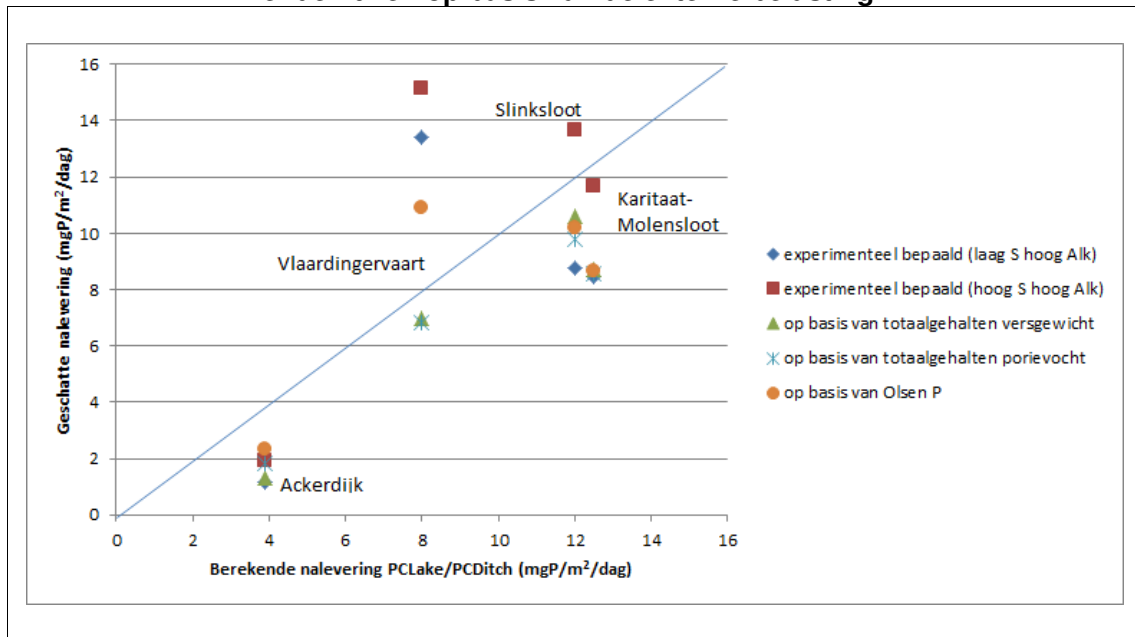
Vier van de vijf watersystemen zijn lijnvormige wateren waar de bodem is gemeten op locaties in (hoofd)watgangen met vrij korte verblijftijden. In Karitaat Molensloot, Slinksloot en de Vlaardingervaart liggen de geschatte fluxen uit BaggerNut rond de 12-15 mgP/m²/dag, in de haarvaten Westboezem op circa 60 mgP/m²/dag. Deze laatste locatie kent de kortste verblijftijden (geldt voor de hoofdwatgangen, in verband met doorspoelen) en een hoge belasting vanuit kassen.

Opvallend is Ackerdijk, waar de P-flux (circa 1,9 mgP/m²/dag) vanuit de waterbodem in verhouding tot de externe belasting (vooral door aalscholvers) laag is. Overigens moet worden bedacht dat een dergelijke flux in een watersysteem met een lange verblijftijd nog steeds tot problemen kan leiden. De N-belasting vanuit de bodem is hier, in vergelijking met de P-flux, juist relatief hoog. Hoge N-fluxen werden binnen BaggerNut waargenomen in bodems met een P-nalevering van circa 1 mgP/m²/dag of lager. Een en ander lijkt te duiden op een geringe afbraak van organisch materiaal (hoge P-nalevering hangt gewoonlijk samen met hoge afbraak en denitrificatie). In Ackerdijk is het water opvallend helder en zijn de chlorofylgehalten (de laatste jaren) vrij laag. Dit duidt op een geringe algenproductie of veel graas. Het lijkt er in ieder geval op dat de afbraak van organisch materiaal (bezonken algen) in Ackerdijk relatief gering is en daarmee de P-nalevering.

Verhouding tussen interne en externe belasting

De bodem levert een substantiële bijdrage aan de totale fosfaatfluxen in de watersystemen, de bijdrage op de totale balans (extern + intern) varieert van circa 18 % voor Ackerdijk tot circa 58 % voor de haarvaten Westboezem. Voor stikstof is de bijdrage (veel) geringer, van circa 3 % tot 13 %. Om te bepalen of de bodem daadwerkelijk een 'bron' van P is, kan de geschatte flux worden vergeleken met bodemflux die verwacht mag worden bij de specifieke systeemkenmerken en heersende externe belasting. Dit is gedaan door de bodemflux die is geschat op basis van de BaggerNut experimenten te vergelijken met de flux die is berekend met PCLake en PCDitch. Afbeelding 5.3 laat dit zien voor enkele verschillende schattingsmethoden.

Afbeelding 5.3. Vergelijking tussen geschatte P-fluxen uit BaggerNut met berekende fluxen op basis van de externe belasting



Uit de figuur is af te lezen dat in de meeste gevallen de schatting op basis van veldmetingen (BaggerNut) lager uitvallen dan de berekende naleveringsflux op basis van PCLake/PCDitch. Uitzondering is de Vlaardingervaart, hier ligt de experimenteel bepaalde flux met hoog S bijna een factor 2 hoger dan de flux die wordt berekend met PCDitch. De bodem lijkt hier als een belangrijke bron te fungeren. Mogelijk kan dit worden verklaard doordat de bodemmetingen alleen zijn uitgevoerd in het hoogbelaste deel, terwijl de externe belasting is bepaald voor het gehele systeem (hoog- en laagbelaste deel). Voor Ackerdijk is juist het omgekeerde aan de hand, hier ligt de geschatte flux een factor 2 lager dan berekend met PCLake. Hier werd op basis van de hoge belasting ook een zeer hoge bodemflux verwacht, dat dit niet optreedt heeft naar verwachting te maken met de geringe (algen)productiviteit. Hierdoor is ook de afbraak van organisch materiaal, de motor voor de nalevering, gering. Voor de overige locaties, Slinksloot en Karitaat Molensloot, wijken de berekende fluxen niet sterk af van de schattingen op basis van BaggerNut. Helaas is de interne flux voor de haarvaten Westboezem niet berekend.

Rol van de bodem in het ecosysteemfunctioneren

De absolute naleveringsfluxen zijn veelal hoog tot extreem hoog, de hoogste waarnemingen binnen BaggerNut zijn allen afkomstig van de Delflandse wateren. Dit hangt samen met hoge externe P-belastingen en hoge sulfaatbelastingen.

De bodem levert veel P en relatief weinig N na. In paragraaf 3.1 is reeds geconstateerd dat de N:P verhouding van de meeste wateren ook laag is en N soms limiterend. Dit hangt samen met denitrificatie onder invloed van afbraakprocessen in de waterbodem. De N-verwijdering door afbraakprocessen in de waterbodem is daarom in ecologisch opzicht wellicht nog relevanter dan de hoge P-nalevering. Anders gezegd, hoewel de bodems veel P naleveren, hebben ze door stikstofverwijdering op dit moment eerder een positief dan een negatief effect op de waterkwaliteit.

6. SAMENVATTING PER LOCATIE EN DOORKIJK NAAR MOGELIJKE MAATREGELEN

6.1. Algemeen

In het algemeen zien we op alle locaties een zeer hoog P-gehalte. Dit is een vrij algemeen beeld in laag-Nederland. Naast de hoge belasting vanuit drainage, glastuinbouw, inlaat en overige bronnen, is de voormalige mariene historie verklarend; het grondwater is P-rijk, de bodem bindt slecht P, een hoge SO₄-concentratie zorgt voor slechte binding en anaerobe afbraak van organisch materiaal. N-limitatie is kenmerkend voor deze voormalige brakke/mariene systemen. Ook de waterbodems laten dit zien: uit de resultaten van BaggerNut blijkt dat er veel S, veel mobiel P en veel naleveringspotentie is in de bodems. In een aantal gevallen is er echter, ondanks extreem hoge P-gehalten, niet of nauwelijks sprake van waterkwaliteitsproblemen. Er zijn echter ook weinig bijzondere natuurwaarden. De N-gehalten zijn vooral in de zomer vaak ten opzichte van P relatief laag en op een aantal locaties is (in de zomer) sprake van N-limitatie.

Wat in het bijzonder:

- Akerdijk: zeer lage N/P-ratio, N-limitatie, goed doorzicht, maar geen plantengroei;
- Karitaat-Molensloot: forse kroosbedekking, enige plantengroei, 's zomers N-limitatie;
- Vlaardingervaart: grote verschillen, gradiënt van stagnant tot doorspoeld;
- Slinksloot: weinig eigen karakter, 's zomers hoge chlorofyl-a-concentraties, N-limitatie;
- Westboezem: grote gradiënt: zowel in N/P-sturing als verblijftijd, zeer hoge belastingen.

Onderstaand wordt per locatie een nadere toelichting gegeven op het ecologisch functioneren, de belangrijkste vragen vanuit het beheer, de belangrijkste knelpunten vanuit waterkwaliteit en ecologie en wordt een beschouwing gegeven ten aanzien van mogelijke maatregelen.

6.2. Akerdijkse plassen

Ecologisch functioneren

De Akerdijkse plassen kennen lange verblijftijden. Het gebied is relatief geïsoleerd en heeft een flexibel waterpeil, er wordt weinig tot geen water ingelaten. Er is sprake van een hoge nutriëntenbelasting door Aalscholvers, vooral de P-belasting is hoog. Er worden dan ook hoge P-gehalten in het water gemeten, tot circa 4 mgP/l. De nalevering van P vanuit de waterbodem speelt hierin echter een ondergeschikte rol. De nalevering is opvallend laag, dit hangt waarschijnlijk samen met de geringe productie van organisch materiaal (algen en/of planten) en daardoor geringe afbraak. Verder bestaat de bodem ook grotendeels uit klei en zand (veenafgravingen), zodat veenafbraak wordt beperkt. Nalevering wordt voor een belangrijk deel gestuurd door afbraakprocessen.

Ondanks de hoge belasting is het water toch helder en er zijn weinig algenproblemen. Er is vrijwel gedurende het gehele jaar sprake van N-limitatie. Dit zorgt, samen met een geringe visbiomassa en een hoge zoöplanktondichtheid, voor een geringe algenontwikkeling. In het verleden werd er wel water ingelaten, toen was de situatie duidelijk slechter. Toen was de waterkwaliteit van de boezem echter ook veel slechter en waren de plassen bijna geheel verland.

In de plassen worden weinig ondergedoken waterplanten aangetroffen, wellicht hangt dit samen met sulfidetoxiciteit. Er worden vrij hoge sulfaatgehalten gemeten en de bodem ruikt naar rotte eieren (H₂S). In de sloten is de situatie anders, hier worden diverse plantengemeenschappen gevonden.

Vraag vanuit beheer (Natuurmonumenten)

- is doorspoelen van de plassen een kansrijke maatregel?
- in hoeverre worden de sloten in het gebied negatief beïnvloed door de hoge nutriëntengehalten in de plassen?

Knelpunten

Het belangrijkste knelpunt vanuit waterkwaliteit en ecologie is het ontbreken van waterplanten. Ondanks de hoge fosfaatgehalten, die vooral worden veroorzaakt door de aalscholvers, zijn er geen algenproblemen, N-limitatie in combinatie met graas door zoöplankton is daarvoor waarschijnlijk de verklaring.

Maatregelen

De belasting door vogels moet worden gezien als een gegeven. De vraag is wat er binnen deze randvoorwaarden nog mogelijk is:

- doorspoelen betekent aanvoer van stikstof, extra sulfaat en vis, het risico op algenproblemen neemt daardoor toe. Deze maatregel wordt daarom niet geadviseerd. Hoewel de verblijftijd bij doorspoelen wordt verkort, waardoor de draagkracht toeneemt, zal de belasting toch de draagkracht blijven overstijgen. De P concentratie zal lager worden, echter voor een P-gelimiteerde plas is een zomergemiddelde P-gehalte van circa 0,1 mgP/l nodig. Dit betekent een factor 30 lager dan de huidige P-gehalten! Dit lijkt niet realistisch;
- het isoleren van de overige watergangen van de plassen met Aalscholvers. Op dit moment is niet bekend in hoeverre de sloten negatief worden beïnvloed door fosfaatrijk water uit de plassen, onduidelijk is dus ook wat hiervan mag worden verwacht. In hoeverre de uiteinden van de sloten inderdaad betere kwaliteit kennen, wordt in het kader van het project 'Rol van het veen' nader onderzocht.

6.3. Vlaardingervaart

Ecologisch functioneren

De Vlaardingervaart kent qua waterkwaliteit en ecologisch functioneren twee gezichten:

- het zuidelijke deel, nabij Vlaardingen, kent sinds 2008 een goede waterkwaliteit. Het water is weliswaar fosfaatrijk, maar stikstof is een groot deel van de zomer limiterend, het water is helder (doorzicht van 1-2 m!!) en lokaal ontwikkelen zich waterplanten in de ondiepere delen. Overigens is het water de laatste jaren als licht brak te karakteriseren, met een chloridegehalte tussen 200 en 800 mg/l. De verbetering sinds 2008 hangt waarschijnlijk samen met het uitvallen van het gemaal aan de zuidkant in Vlaardingen. Dit heeft er voor gezorgd dat dit deel van de Vlaardingervaart als een 'doodlopende boezemtak' heeft gefunctioneerd met een geringe aanvoer van voedselrijk water vanuit het noordelijke deel. Sinds 2012 is de waterkwaliteit weer verslechterd, dit kan mogelijk worden verklaard doordat er een noodgemaal is geplaatst (verziltingbestrijding). Mogelijk dat ook een extra belasting vanuit Vlaardingen, als gevolg van de natte zomer, dit kan verklaren. Het verdient aanbeveling dit nader te bekijken;
- het noordelijke deel, nabij de Vlietlanden, is kwalitatief veel slechter. Het water is rijker aan fosfaat en vooral stikstof, het is troebel en in de zomer zeer algenrijk. Dit deel wordt vooral gevoed door polderwater vanuit de aangrenzende polders (Broekpolder en Vlaarding Holier). 's zomers wordt het gevoed door boezemwater dat via de Vlaardingervaart wordt ingelaten in de polders. Overigens geven de balansen nog niet een volledig beeld van de uitwisseling met de boezem. De verblijftijd in dit deel is veel geringer dan die van het zuidelijk deel en de belasting met nutriënten veel hoger. Tevens is de waterdiepte hier vrij groot (circa 1,6 m). De belasting ligt derhalve ver (een factor 5!) boven de kritische belasting. Hoewel de oppervlaktewaterkwaliteit dus slecht is,

herbergen de plasdrasgebieden van de Vlietlanden wel bijzondere plantengemeenschappen als dotterbloemen en orchissen.

Vraag vanuit beheer

Voor de Vlaardingervaart is er een opgave voor de aanleg van natuurvriendelijke oevers (NVO's). In hoeverre is de waterbodem beperkend hiervoor en voor de ecologische ontwikkeling in het algemeen?

Knelpunten

De waterbodem speelt een rol in de belasting van de Vlaardingervaart, maar lijkt zeker niet het belangrijkste probleem te zijn. De verschillen in kwaliteit tussen het noordelijke en het zuidelijke deel, en de kwaliteitsverbetering van het zuidelijke deel sinds 2008, laten zien waar het belangrijkste knelpunt zit. De aanvoer van voedselrijk en algenrijk polder- en boezemwater is het belangrijkste knelpunt voor de ecologische ontwikkeling. Dit geldt zowel voor de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten als voor oeverplanten. Een ander mogelijk knelpunt voor plantenontwikkeling is sulfidetoxiciteit. Sulfide ontstaat onder invloed van sulfaatreductie bij afbraak van organisch materiaal en is giftig voor waterplanten.

Maatregelen

De aanleg van NVO's, in de vorm van ondiepe zones voor ondergedoken waterplanten en/of oeverplanten, is alleen zinvol bij een goede waterkwaliteit (met name helder water). Voor oeverplanten is daarnaast peilfluctuatie wenselijk of zelfs nodig bij voedselrijke condities. Het meest voor de hand ligt in dit geval de aanleg van ondiepe zones voor ondergedoken waterplanten. Hiervoor is het echter eerst nodig om de helder water te creëren en dus om de nutriëntenbelasting fors te verminderen (deze is nu bij een diepte van 1,6 m een factor 5 te hoog!).

Mogelijkheden voor belastingreductie zijn voor het noordelijke deel van de Vlaardingervaart beperkt. Hiervoor zou de kwaliteit van het polderwater sterk moeten verbeteren (is niet waarschijnlijk) of zouden de polders afgekoppeld moeten worden (dit wordt vanwege de afwateringsfunctie van de boezem niet als een realistisch alternatief gezien). Dan is er nog de uitwisseling met de boezem, ook deze moet worden beperkt en/of de kwaliteit moet sterk worden verbeterd. Al met al is de huidige situatie nog zeer ver verwijderd van de gewenste toestand en mag weinig worden verwacht van de aanleg van NVO's.

Voor het zuidelijke deel is de situatie anders, hier is een goede waterkwaliteit wellicht wel mogelijk (zie onderstaand). Voor de aanleg van NVO's is dit deel daarom het meest kansrijk. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat de meeste ruimte binnen het profiel vooral ligt in het noordelijke deel.

De laatste jaren is duidelijk geworden wat de ecologische potenties zijn van het zuidelijke deel van de Vlaardingervaart. De waterkwaliteit is in korte tijd sterk verbeterd en in de ondiepe delen ontwikkelen zich ondergedoken waterplanten. Na het in gebruik stellen van het noodgemaal lijkt de situatie weer te verslechteren. Een goede waterkwaliteit lijkt dus af te hangen van de mogelijkheden om het 'geïsoleerde' karakter van dit deel van de Vlaardingervaart te behouden. Hiervoor is het nodig om het noodgemaal stop te zetten of de inzet te beperken. Uiteraard moet worden bekeken in hoeverre dit ook daadwerkelijk mogelijk is met het oog op andere functies en doelen.

Overigens weten we niet hoever dit effect reikt, de metingen zijn in het meest zuidelijke deel gedaan. Wat de gradiënt in kwaliteit is tussen dit meetpunt en de polder in- en uitlaten, is niet bekend. Aanbevolen wordt om hier gericht naar te kijken (in relatie met het gemeelbeheer) door middel van metingen van doorzicht, geleidbaarheid en nutriënten.

6.4. Slinksloot

Ecologisch functioneren

Voor de Slinksloot en de bijbehorende Holierhoekse en Zouteveensepolder geldt dat er een groot verschil is in ecologisch functioneren van de verschillende delen:

- de Slinksloot is aangewezen als KRW waterlichaam en kan worden gekarakteriseerd als een watersysteem met een verblijftijd van gemiddeld circa 3 dagen, dit is zeer kort. 's Zomers wordt de waterkwaliteit in sterke mate beïnvloed door de inlaat van boezemwater, het water in de Slinksloot heeft dan een zeer gering doorzicht wat vooral wordt bepaald door algen en onopgeloste bestanddelen (zwevend stof). Er worden dan meestal ook weinig of geen ondergedoken waterplanten aangetroffen. Er kan hier echter wel heel veel groeien, zoals aan het eind van 2012 het geval was zoals fonteinkruiden, waterpest, hoornblad en kroos. Mogelijk dat de natte zomer (weinig inlaat) hier een gunstig effect op heeft gehad;
- de waterbodem levert zeer veel P na, uit de analyse blijkt dat dit bijna gelijk is aan de externe belasting. Gezien de korte verblijftijd in de Slinksloot is er echter te weinig tijd voor processen, zoals algengroei en nalevering door de waterbodem, om bepalend te zijn voor de ecologische waterkwaliteit. Het is daarom ook niet zozeer de nutriëntenbelasting maar eerder de troebelheid van het water die op dit moment beperkend is voor de ecologische ontwikkeling. Deze troebelheid wordt naar verwachting vooral bepaald door het inlaatwater. 's Winters is het aandeel polderwater dominant, het water is dan overwegend helderder;
- in de haarvaten van het systeem, de poldersloten, is de situatie heel anders. Hier wordt helderder water aangetroffen en komen (diverse) vegetaties voor. Kroos is geen dominant probleem in de polder als geheel, lokaal kan dit wel voor problemen zorgen. De systeemanalyse laat zien dat de nutriëntenbelasting voor het watersysteem als geheel ook duidelijk onder de kritische grens ligt. Dit komt dus overeen met de waarnemingen. Ondanks de soms hoge P-gehalten wordt er dus toch een relatief goede ecologische waterkwaliteit gevonden. De mate van isolatie (dode uiteinden) en de daarmee samenhangende stikstoflimitatie spelen daarbij naar verwachting een cruciale rol. In het kader van het project 'Rol van het veen' wordt dit verder onderzocht.

Vraag vanuit beheer

De belangrijkste vraag vanuit het beheer is of aanpak van de waterbodem (baggeren, afzanden, fosfaatbinding) zinvol is.

Knelpunten

Zoals uit bovenstaande al blijkt is de troebelheid van het water in de Slinksloot het belangrijkste knelpunt voor de ecologische ontwikkeling. Omdat dit water vooral van elders (uit de boezem) afkomstig is, is de kwaliteit van het inlaatwater dus het belangrijkste knelpunt. Van de haarvaten in de polder is op dit moment onvoldoende bekend om iets te kunnen zeggen over de knelpunten. Wel is uit een aanvullend bodemonderzoek van BWare gebleken dat de waterbodem lokaal erg fosfaatrijk is en flink nalevert. In hoeverre dit beperkend is voor de ecologie is niet bekend, wellicht dat de resultaten van het project 'Rol van het veen' hier meer inzicht in geven.

Maatregelen

Baggeren lijkt geen zinvolle maatregel ten behoeve van waterkwaliteit en ecologie in de Slinksloot. De externe belasting is te hoog en de verblijftijd te kort om een (duurzaam) effect te mogen verwachten. Wellicht dat baggeren in de haarvaten wel zinvol is, nader onderzoek ('Rol van het veen') moet dit uitwijzen. Bezien vanuit het watersysteem (hoofdwatertgang en haarvaten) liggen de hoogste ecologische waarden en potenties in de haarvaten. In het KRW waterlichaam Slinksloot zelf is, gezien de slechte waterkwaliteit en hoge

belasting, weinig winst te halen. Ook het ontwikkelen van NVO's (oevervegetatie) zal naar verwachting maar beperkte slagingskansen hebben door de slechte waterkwaliteit en het vaste peil. Dat er in 2012 minder water is ingelaten, en er zich toen wel planten hebben ontwikkeld, laat zien dat er wel potenties zijn in de Slinksloot. Deze hangen dus samen met een vermindering van de inlaat van boezemwater. Wellicht zijn hier mogelijkheden door een ander inlaat- en gemaalbeheer. Risico is echter dat er explosieve plantengroei optreedt, waardoor de afvoerfunctie wordt belemmerd. Zolang vermindering van de inlaat echter niet duurzaam mogelijk is, is de meeste ecologische winst is te behalen door de haarvaten te beschouwen als onderdeel van het KRW waterlichaam. Daarbij wordt geadviseerd om in de haarvaten, waar zinvol, in te zetten op verminderen van de belasting en aanpak van de bodem. Voor de vis is zijn polders vaak erg versnipperd en is er onvoldoende dieper (meer dan 1-1,5 m) water. Daarvoor kan worden gedacht aan het verbinden van de hoofd- en zijwateren en het op diepte houden van delen van de watergangen.

6.5. Karitaat-Molensloot

Ecologisch functioneren

Ook hier is net als bij de Slinksloot een groot verschil in functioneren tussen de hoofdwatergang en de haarvaten. Een groot verschil is de helderheid van het water, wat verklaard kan worden door een veel geringere algenbiomassa:

- de Karitaat-Molensloot zelf kent, afhankelijk van het traject, een mediane verblijftijd van 2-4 dagen. Dit is zeer kort en betekent dat processen gewoonlijk geen dominante rol zullen spelen. Daarbij moet worden opgemerkt dat periodiek het water natuurlijk wel gedurende langere tijd kan stilstaan. De bodem is zeer voedselrijk en als bron van P duidelijk zichtbaar in de waterkwaliteitsmetingen. De bijdrage van de waterbodem aan de totale fosfaatbelasting is in de zomer ruim 40 %. Toch is het water relatief helder en worden er ondergedoken waterplanten aangetroffen. Tegelijkertijd wordt er vaak een dichte krooslaag waargenomen. Wellicht is deze afkomstig uit de haarvaten. Er lijkt 's zomers in de Karitaat-Molensloot sprake te zijn van N-limitatie;
- de haarvaten zijn zwaar belast met nutriënten, deze zijn voor het grootste deel afkomstig uit drainage en vanuit de kassen. Hier wordt ook veel kroos aangetroffen. De verblijftijden zijn hier duidelijk hoger, mediane waarden liggen rond de 60 dagen. De polder is ook zeer heterogeen.

Vraag vanuit beheer

De belangrijkste vraag vanuit het beheer is of aanpak van de waterbodem (baggeren, afzanden, fosfaatbinding) zinvol is.

Knelpunten

Het belangrijkste knelpunt is de hoge nutriëntenbelasting.

Maatregelen

Op basis historische metingen blijkt het effect van baggeren beperkt te zijn tot 1 jaar. In de Karitaat-Molensloot zijn in de zomer van 2012 P-gehalten gemeten tot 1.2 mgP/l of lager, waar in de jaren daarvoor gehalten boven 2 mgP/l werden gevonden. Er is in de tussenliggende winter gebaggerd. Het effect is dus zichtbaar, maar duurt kort als gevolg van de hoge externe belasting en de hoge baggerproductie/aanwas. Alvorens effectief te zijn is het dus nodig de externe belasting te verminderen. Wanneer de baggerproductie ook door afkalving van oevers en afbraak van veen wordt veroorzaakt, moet dit eveneens worden aangepakt.

De externe P-belasting vanuit de percelen en kassen en de interne belasting vanuit de waterbodem is extreem hoog. Zelfs met een zeer forse reductie blijft deze (te) hoog. Op dit

moment lijkt er 's zomers al sprake te zijn van stikstof-limitatie. Inzetten op de reductie van de stikstofbelasting, met name in de zomer, is daarom naar verwachting het meest kansrijk. Op dit moment wordt er gewerkt aan het rioleren van de glastuinbouw. Dit kan een forse vermindering van de N-belasting betekenen, vooral wanneer ook de inlaat (om door te spoelen) daarmee kan worden verminderd. Samen zijn glastuinbouw en inlaat in de zomer goed voor 42 % van de stikstofbelasting. Wanneer deze belasting fors wordt gereduceerd, mag worden verwacht dat dit een zichtbaar positief effect heeft op de ecologische kwaliteit. In het bijzonder dat dit zal leiden tot een geringere kroosontwikkeling. Risico daarbij is de vorming van N-fixerende kroossoorten zoals soorten van het geslacht *Azolla*.

6.6. Haarvaten Westboezem

Ecologisch functioneren

De haarvaten Westboezem zijn zeer divers in verblijftijd en daarmee in ecologisch functioneren. De meer stagnante delen kennen (van oudsher) een hoge belasting met nutriënten vanuit de glastuinbouw. Hierdoor zijn ze vaak gedomineerd door kroos, er worden vaak dichte kroosdekken aangetroffen. Hieronder wordt het water zuurstofloos, waardoor de sterk opgeladen waterbodem veel fosfaat nalevert. Het kroos creëert feitelijk zijn eigen nutriëntenbron. Op een aantal locaties is in het kader van BaggerNut metingen uitgevoerd, hier worden de hoogste fosfaatnaleveringen gevonden van de gehele dataset van BaggerNut! De hoofdwatgangen worden gevoed en doorgespoeld met water uit het Brielse meer. Dit is helder water met een laag nutriëntengehalte, maar wel sulfaatrijk. Daardoor is daar de waterkwaliteit, in termen van helderheid en plantenrijkdom, vaak veel beter. Lokaal worden ondergedoken waterplanten aangetroffen, kroos is er minder dominant.

Vraag vanuit beheer

De belangrijkste vraag vanuit het beheer is of de aanpak van de waterbodem (baggeren, afzanden, fosfaatbinding) zinvol is.

Knelpunten

Het belangrijkste knelpunt is de hoge belasting met nutriënten, vanuit de glastuinbouw en vanuit de waterbodem. Hierdoor vindt er, vooral in de stagnante delen, een zeer sterke ontwikkeling van kroos plaats.

Maatregelen

Om de problemen met de nutriëntenbelasting en de kroosontwikkeling aan te pakken is een aantal maatregelen nodig. Daarin zit ook een logische hiërarchie:

- aanpak externe belasting: allereerst is het nodig om de belasting, vooral vanuit de glastuinbouw, aan te pakken. Hieraan wordt op dit moment al hard gewerkt, de glastuinbouw dient de komende jaren volledig op het riool te zijn aangesloten. Hierdoor zal de belasting van het watersysteem met N en P zeer sterk afnemen, en worden gunstige randvoorwaarden geschapen voor herstel van de waterkwaliteit. Op korte termijn mag worden verwacht dat de vermindering van de N-belasting (in de zomer) zichtbaar zal zijn in een verminderde kroosontwikkeling. Net als bij de Karitaat-Molensloot geldt ook hier dat er daarbij risico is op de vorming van N-fixerende kroossoorten, zoals soorten van het geslacht *Azolla*;
- monitoren van de ontwikkelingen: Door het verminderen van de externe belasting komt echter de waterbodem als bron van nutriënten nog duidelijker in beeld. Zoals al bleek uit de vergelijking tussen de externe en de interne belasting, is de nalevering van fosfaat vanuit de waterbodem op dit moment zeer groot en wellicht al groter dan de externe belasting. De fosfaatvoorraad in de waterbodem is ook zeer groot, bij de huidige naleveringssnelheid is er in de bovenste 10 cm voldoende voorraad aanwezig voor circa 4-6 jaar nalevering. Bij een nalevering die overeenkomt met de laagst berekende kriti-

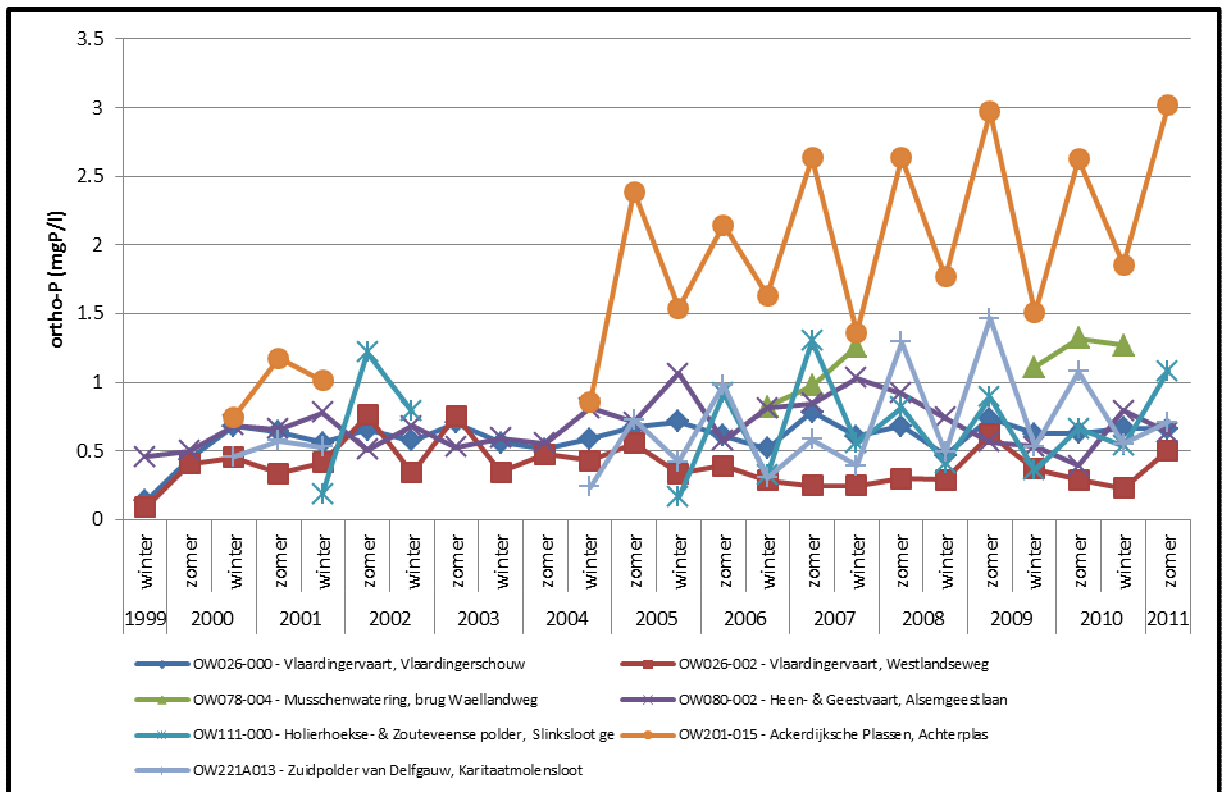
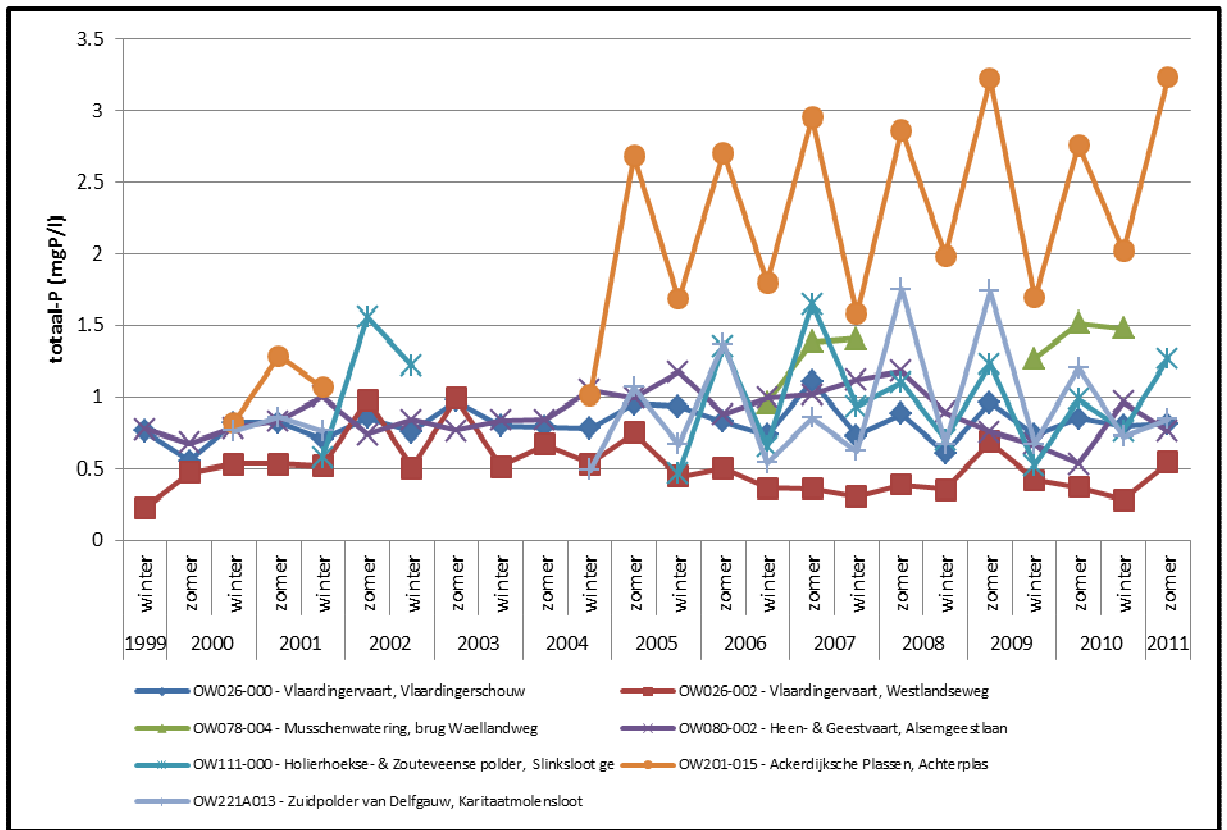
sche belastingsgrens ($10 \text{ mgP/m}^2/\text{jaar}$) is er voldoende voorraad voor circa 20-30 jaar! In werkelijkheid zal de naleveringssnelheid in het begin het hoogst zijn en zal er na enige tijd 'afvlakking' plaatsvinden, eerst levert de meest mobiele fractie na (labiel-P) en daarna pas de sterker gebonden fracties (ijzergebonden P en organisch P). Een deel zal zelfs helemaal niet naleveren (P gebonden aan calcium en aluminium). Welk deel precies wanneer zal naleveren is op dit moment niet te zeggen, experimenteel onderzoek zou daar meer inzicht in kunnen geven;

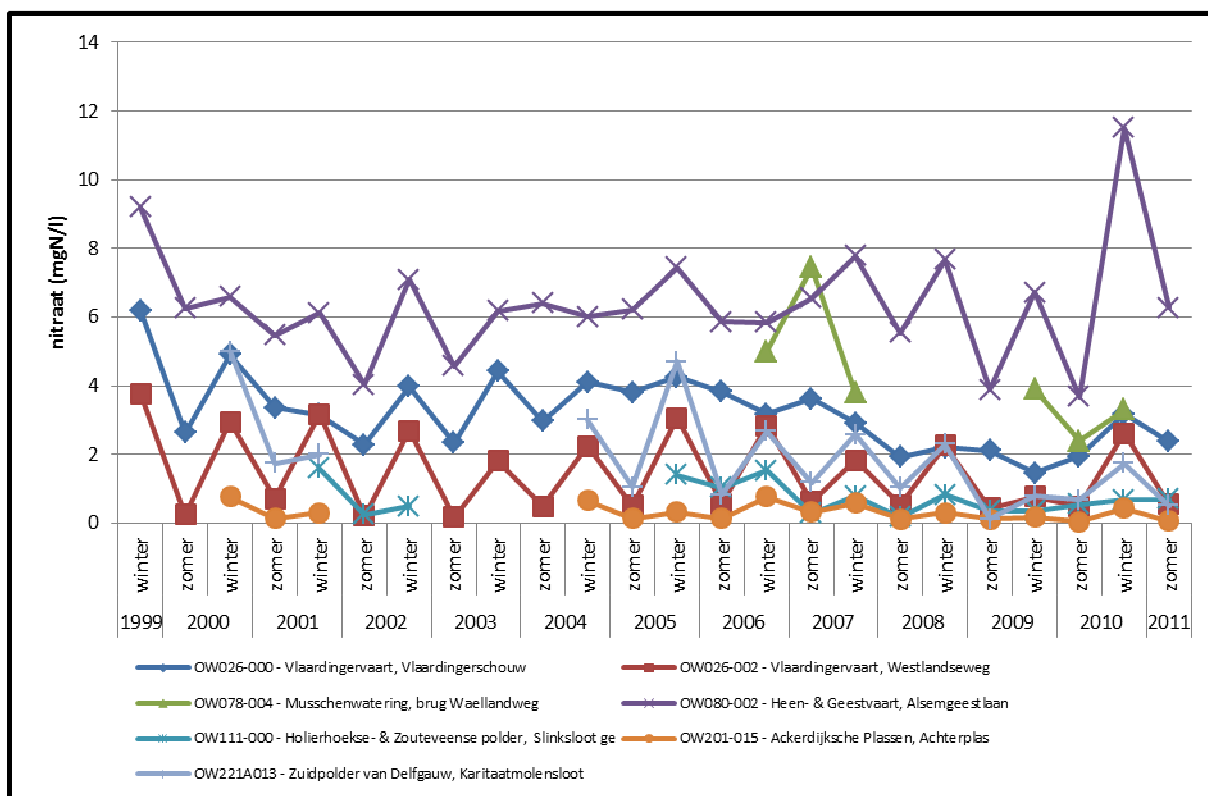
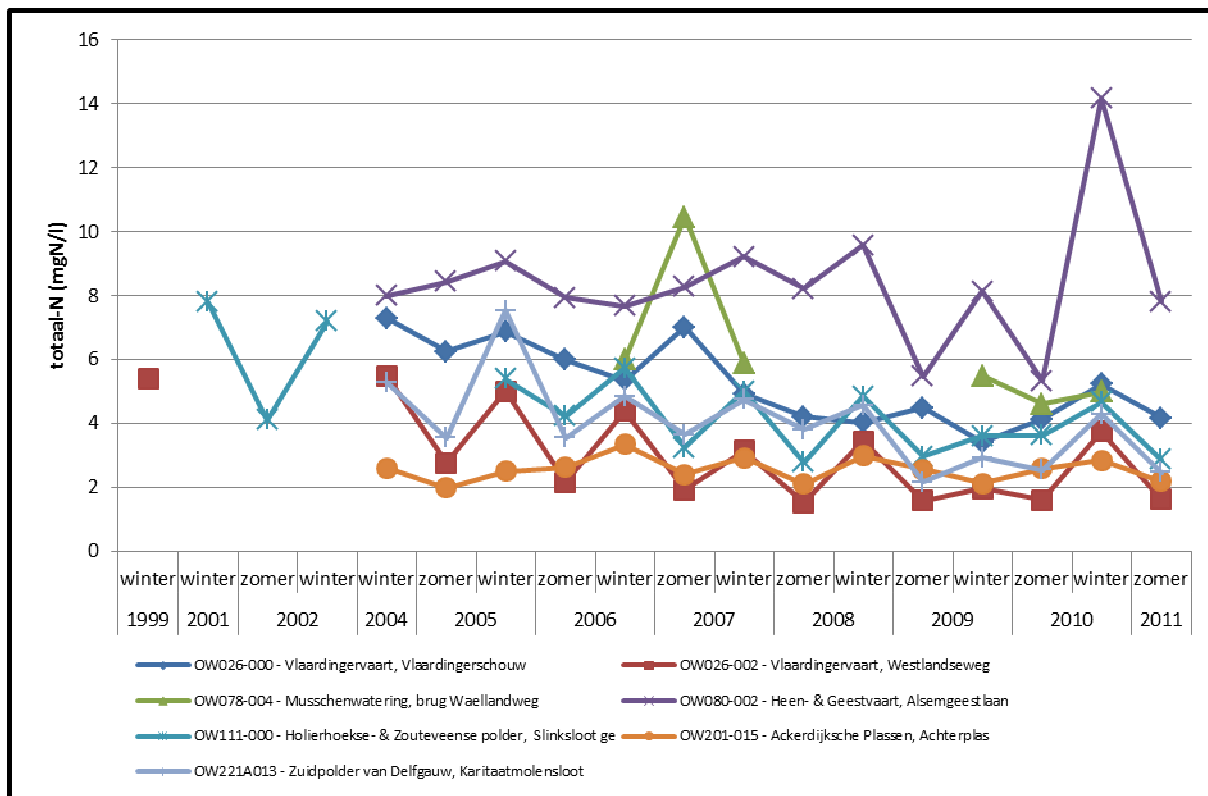
- aanpak van de waterbodem: In hoeverre de nalevering van P vanuit de waterbodem ook daadwerkelijk problemen zal opleveren, is nu niet te zeggen. Er moet wel rekening worden gehouden met ontwikkeling van N-fixerende kroossoorten. Wanneer de kroosbedekking verminderd, krijgen ondergedoken waterplanten betere ontwikkelingsmogelijkheden. Dit kan leiden tot een sterke ontwikkeling van waterplanten (Lamers, *et. al.*, 2012), waardoor de doorstroming van de watergangen wordt gehinderd. Of dit zal optreden is op dit moment niet te voorspellen, zo kan N-limitatie de ontwikkeling van waterplanten beperken evenals sulfidotoxiciteit. Wanneer genoemde problemen optreden kan aanpak van de waterbodem nodig zijn. Daarbij moet worden gestreefd naar het realiseren van een schone (zand)bodem door baggeren of afdekken met zand. Randvoorwaarde is uiteraard een voldoende lage externe belasting.

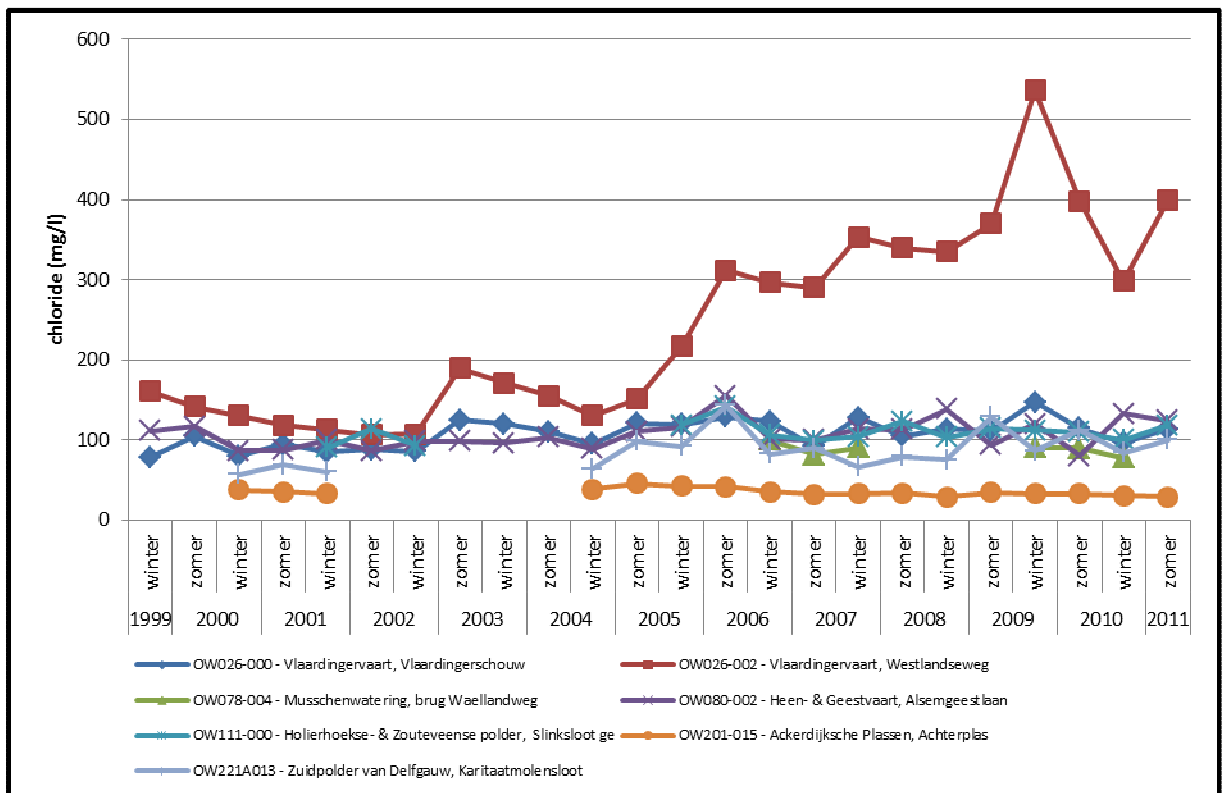
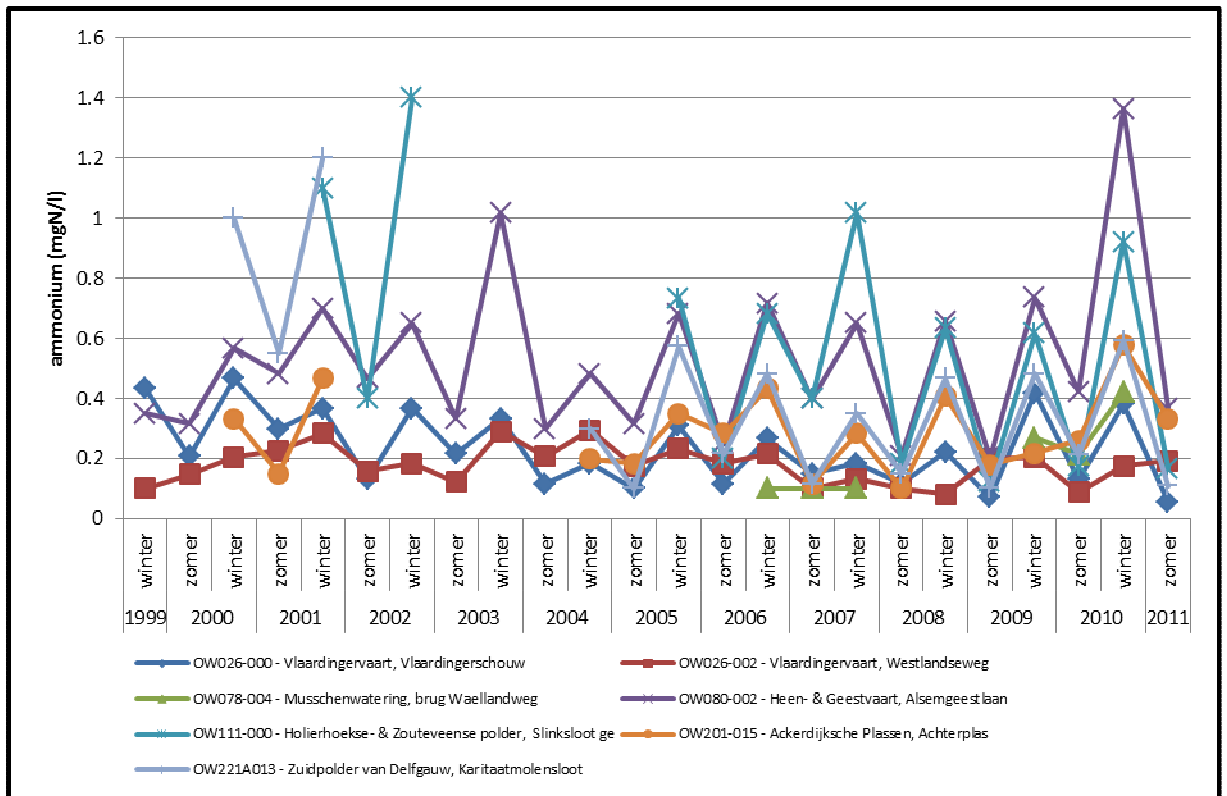
7. LITERATUUR

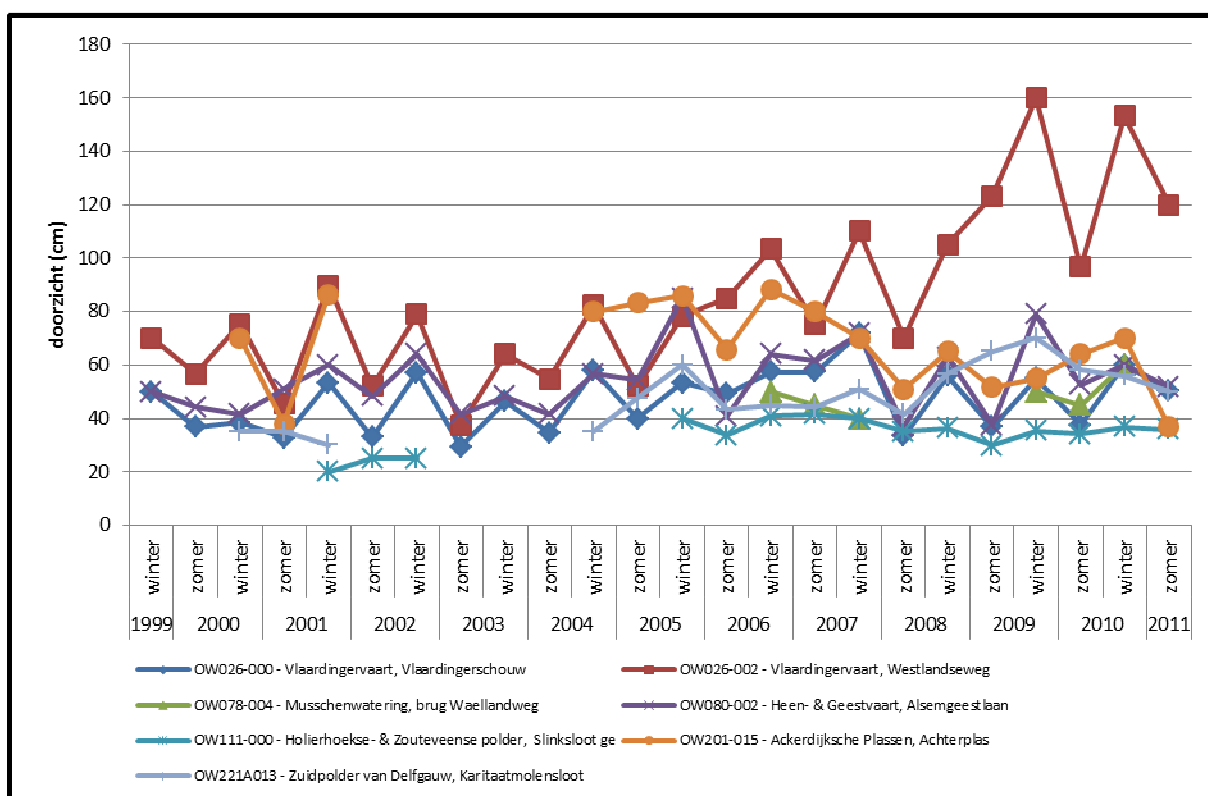
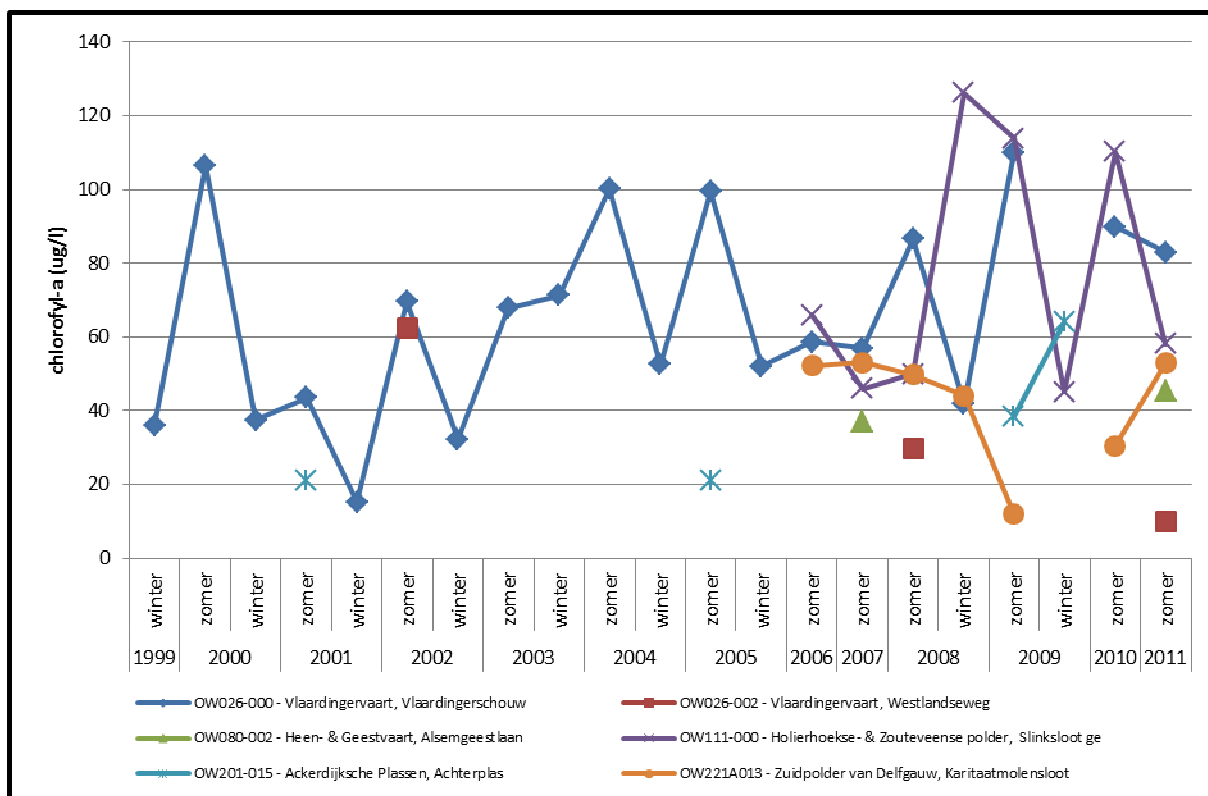
- Jaarsma, N, M. Klinge en L. Lamers, 2008. Van helder naar troebel.... en weer terug. Een ecologische systeemanalyse en diagnose van ondiepe meren voor de Kaderrichtlijn water. STOWA-rapportnummer 2008-04. STOWA, Utrecht.
- Janse, (2005). Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches. Proefschrift Wageningen Universiteit.
- Lamers, Leon, Sebastiaan Schep, Jeroen Geurts en Fons Smolders, 2012. Erfenis fosfaatrijk verleden: helder water met woekerende waterplanten. H2O nummer 13, 2012.
- D.T. van der Molen en R. Pot. Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water. STOWA 2007-32 / RWS-WD 2007-018.
- Poelen, *et. al.*, 2011. WaterBODEMbeheer in Nederland: Maatregelen Baggeren en Nutriënten (BAGGERNUT) - Metingen Interne Nutriëntenmobilisatie en Decompositie (MIND-BAGGERNUT) - Tussenrapportage 2011.
- Poelen, *et. al.*, 2012. WaterBODEMbeheer in Nederland: Maatregelen Baggeren en Nutriënten (BAGGERNUT) - Metingen Interne Nutriëntenmobilisatie en Decompositie (MIND-BAGGERNUT) - Tussenrapportage 2012.
- Scheffer M. (1998): Ecology of Shallow Lakes. Chapman and Hall, London.
- Jaarsma, *et. al.*, 2012. Quick scan voor de bepaling van de nalevering van nutriënten door de waterbodem. Concept rapport BaggerNut. Witteveen+Bos Deventer.

**BIJLAGE I GRAFIEKEN MEETWAARDEN FYSISCH CHEMISCHE PARAMETERS
2000-2011**









**BIJLAGE II FYSISCH-CHEMISCHE OPPERVLAKTEWATERKWALITEIT, GEMID-
DELLEN 2000-2011**

parameter	eenheid	periode	Akerdijk (OW201-015)	Vlaardingervaart (OW026-002)	Vlaardingervaart (OW026-000)	Slinksloot (OW111-000)	Karitaat Molensloot (OW221A013)	Haarvaten Westboezem 1 (OW078-004)	Haarvaten Westboezem 2 (OW080-002)
P totaal-P	mg P/l	zomer	2.7	0.7	0.9	1.3	1.2	1.5	0.8
totaal-P	mg P/l	winter	1.7	0.4	0.8	0.7	0.6	1.3	0.9
ortho-P	mg P/l	zomer	2.4	0.5	0.7	1.0	0.9	1.1	0.6
ortho-P	mg P/l	winter	1.5	0.3	0.6	0.4	0.4	1.1	0.8
N totaal-N	mg/l	zomer	2.3	2.0	5.1	3.2	3.0	7.5	7.3
totaal-N	mg/l	winter	2.8	3.8	5.1	4.9	4.7	5.6	9.6
som Nitraat + Nitriet	mg/l	zomer	0.1	0.5	2.8	0.5	0.8	4.9	5.4
som Nitraat + Nitriet	mg/l	winter	0.4	2.5	3.4	0.9	2.4	4.0	7.3
Ammonium	mg/l	zomer	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3
Ammonium	mg/l	winter	0.4	0.2	0.3	0.8	0.5	0.2	0.7
N/P-ratio	g/g	zomer	0.1	1.2	4.5	0.7	1.0	4.4	9.4
N/P-ratio	g/g	winter	0.5	8.2	6.5	4.0	6.6	3.8	10.5
doorzicht	cm	zomer	60	60	36	33	49	45	47
doorzicht	cm	winter	73	92	53	37	54	50	62
sulfaat	mg/l	zomer	132	144	98	103	89	70	90
sulfaat	mg/l	winter	54	202	172	205	122		134
zuurstof	mg/l	zomer	7.2	7.0	8.4	6.4	5.7	8.3	9.1
zuurstof	mg/l	winter	8.5	10.1	10.3	8.3	9.5	12.0	10.2

BIJLAGE III WATER- EN STOFFENBALANSEN BAGGERNUT DELFLAND

Water- en Stofbalansen BAGGERNUT Delfland



Opstellers: Ronald Bakkum
 Joep de Koning
 Status: document
 Datum: Oktober 2012

Inhoud

1	Inleiding	3
1.1	Aanleiding	3
1.2	Aanpak	3
1.3	Te beantwoorden onderzoeksvragen	4
2	Water- en Stofbalansen Zuidpolder van Delfgauw / Karitaatmolensloot	5
2.1	Gebiedskarakteristiek	5
2.2	Waterbalans	6
2.3	Quick Scan(+) Waterbodem en MIND Baggernut metingen	7
2.4	Stofbalansen (N & P)	8
2.5	Bodemdiagnose	11
3	Water- en Stofbalansen Holierhoek en zouteveense polder / Slinksloot	13
3.1	Gebiedskarakteristiek	13
3.2	Waterbalans	14
3.3	Quick Scan(+) Waterbodem en MIND Baggernut metingen	15
3.4	Stofbalansen (N & P)	16
3.5	Bodemdiagnose	19
4	Water- en Stofbalansen Ackerdijkse Plassen	20
4.1	Gebiedskarakteristiek	20
4.2	Waterbalans	21
4.3	Quick Scan(+) Waterbodem en MIND Baggernut metingen	22
4.4	Stofbalansen (N&P)	23
4.5	Bodemdiagnose	25
5	Water- en Stofbalansen Vlaardingervaart	26
5.1	Gebiedskarakteristiek	26
5.2	Waterbalans	27
5.3	Quick Scan(+) Waterbodem en MIND Baggernut metingen	27
5.4	Stofbalansen (N&P)	29
5.5	Bodemdiagnose	31
6	Balansen Haarvaten Westland	32
6.1	Gebiedskarakteristiek	32
6.2	Quick Scan(+) Waterbodem en MIND Baggernut metingen	33
6.3	Stofbalansen (N&P)	33
6.4	Bodemdiagnose	35
7	Water- en Stofbalansen onderling vergeleken	36
BIJLAGEN		

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Een samenwerkingsverband van twaalf waterschappen, een waterschapslaboratorium, twee kennisinstituten, twee ingenieurbureaus en STOWA heeft met een projectplan onder de titel "BaggerNut, maatregelen baggeren en nutriënten" een aanvraag ingediend bij Agentschap NL in het kader van het KRW-innovatieprogramma. Het Hoogheemraadschap van Delfland is penvoerder van het samenwerkingsverband. De aanvraag is in juni 2010 gehonoreerd. Het project dat het samenwerkingsverband uitvoert, beslaat een uitvoering- en onderzoeksperiode van 2 jaar.

Een belangrijk doel van BaggerNut is het ontwikkelen en demonstreren van effectieve maatregelen om de effecten van interne eutrofiering te bestrijden. In het kader van het project worden op 25 proeflocaties experimenten gedaan met de waterbodem. Monsters van de waterbodem (van verschillende diepte), waterbodenvocht en het oppervlaktewater worden grondig geanalyseerd op samenstelling en uiteindelijk wordt de nalevering van nutriënten gekwantificeerd. Op basis van de gekwantificeerde nalevering en watersysteemanalyses wordt door middel van een bodemdiagnose een advies gegeven over kansrijke maatregelen aan de waterbodem om deze bijdrage indien nodig te reduceren.

Delfland met vijf proeflocaties in BAGGERNUT. Deze proeflocaties zijn beschreven in het projectplan van BaggerNut. Het betreft twee locaties in Delflands boezemstelsel ("Vlaardingervaart" in Midden Delfland & "Haarvaten Westboezem" in het Westlanden), twee polderwateren ("Slinksloot in de Holierhoekse en Zouteveense polder" & "Karitaat Molensloot in de Zuidpolder van Delfgauw") en een locatie in de Waterparel "Ackerdijkse Plassen". Al deze locaties kennen overlappende en systeem specifieke kennisvragen.

Belangrijk onderdeel en fundament onder de watersysteemanalyses die Delfland in het kader van BAGGERNUT uitvoert is een gedegen opgestelde water- en stoffenbalans. Deze notitie voorziet in een resultaatbeschrijving van de balansen die Delfland in eigen beheer heeft opgesteld. Deze rapportage is bedoeld als onderdeel van de watersysteemanalytische rapportage die door adviesbureau Witteveen+Bos wordt opgesteld in het kader van het project "ondersteuning watersysteemanalyses Delfland".

1.2 Aanpak

In 2010 en 2011 heeft Onderzoeks centrum B-ware experimenten uitgevoerd op waterbodemprofielen verzameld op de 5 Delflandse BaggerNut experiment locaties. Ook heeft Delfland de oppervlaktewaterkwaliteit gedurende meerdere jaren gemeten op en ter hoogte van deze locaties. Met behulp van deze gegevens en geografische, meteorologische en gebruiksinformatie, is een inschatting gemaakt van de omvang van verschillende (vaak diffuse) bronnen van nutriënten.

Met de verzamelde gegevens zijn water- en stofbalansen (chloride, totaal stikstof en totaal fosfor) opgesteld. Deze balansen zijn opgesteld voor meerdere meteorologische jaren (2005 tot en met 2010) en op dagbasis, om in detail de invloed van droge en natte periodes en seizoensdynamiek te kunnen onderscheiden. Omdat van de meeste emissiegegevens geen daggegevens voorhanden zijn, maar meerjarig gemiddelde indicaties, zijn de resultaten vervolgens geaggregeerd tot meerjarig gemiddeld seizoensniveau.

Alle externe belastingen zijn geschat op basis van de methodiek emissiefactor maal emissieverklarende variabele. Waar mogelijk gebaseerd op metingen. De netto retourstroom naar de waterbodem, de baggeraanwas, is in de balansen uiteindelijk gebruikt als "kalibratie-parameter", teneinde een "zo goed mogelijke" fit te verkrijgen met gemeten stofconcentratieniveaus. De flux uit de waterbodem is bemeaten in experimenten uitgevoerd door B-Ware research centre en vertaald naar een representatieve nalevering op kwartaalbasis met behulp van de in BaggerNut kader ontwikkelde Quick-scan.

Voor de analyses is gebruik gemaakt van de softwarepakketten EXCEL voor het kwantificeren van de emissies en het presenteren van de resultaten en SOBEK voor het dynamisch doorrekenen van de hydrologie, herkomst (en gedeeltelijk) resulterende waterkwaliteit. Binnen SOBEK is gebruik gemaakt van de modules RR (neerslag-afvoer), CF (waterbeweging) en WQ (oppervlaktewaterkwaliteit & herkomst). Er is gebruik gemaakt van het meest actuele SOBEK polder & boezemmodel (november 2011). Het oppervlaktewater in de polderwaterlichamen is daarin versimpeld beschreven, door middel van een enkelvoudig ideaal gemengde bak water voor een heel polder afwateringsgebied. Dit stelt ons in staat om balansen op polderniveau op te stellen. Waar meer inzicht in ruimtelijke heterogeniteit noodzakelijk wordt geacht, is teruggevallen op "oude" modelschematiseringen van de polders, die eerder ook gebruikt zijn voor de KRW detailanalyses van Delfland.

Voor alle locaties zijn de analyses op een zelfde conceptuele manier uitgevoerd. De bronnen van belasting zijn voor alle locaties identiek, maar variëren uiteraard in omvang en belang.

Gemeten stofconcentraties in de waterlichamen zijn gebruikt om de water- en stofbalansen te toetsen en te duiden.

Door WITTEVEEN+BOS is met behulp van PCLake & PCDitch berekend wat de kritische P-belasting van de waterlichamen is, of het omslagpunt naar kroosdominantie. Dit omslagpunt indiceert de maximale belasting die een watersysteem kan hebben om helder en plantenrijk te blijven (of te worden). Deze zogeheten kritische belasting is vergeleken met de belastingprofielen die voor de waterlichamen zijn opgesteld. Deze vergelijking geeft vervolgens inzicht in de potentie van het systeem en een richting voor kansrijke en effectieve maatregelen.

Tot slot is met behulp van de in het kader van Baggernut ontwikkelde Bodemdiagnosetool (Arcadis, Deltares, 2012) een eerste bodemdiagnose uitgevoerd (voor N+P). Met de bodemdiagnosetool is het mogelijk ook effect van maatregelen door te rekenen. In dat geval is het raadzaam ook een zwevend stof balans op te stellen. Dit is nog niet gedaan voor de Delflandse locaties.

1.3 Te beantwoorden onderzoeksvragen

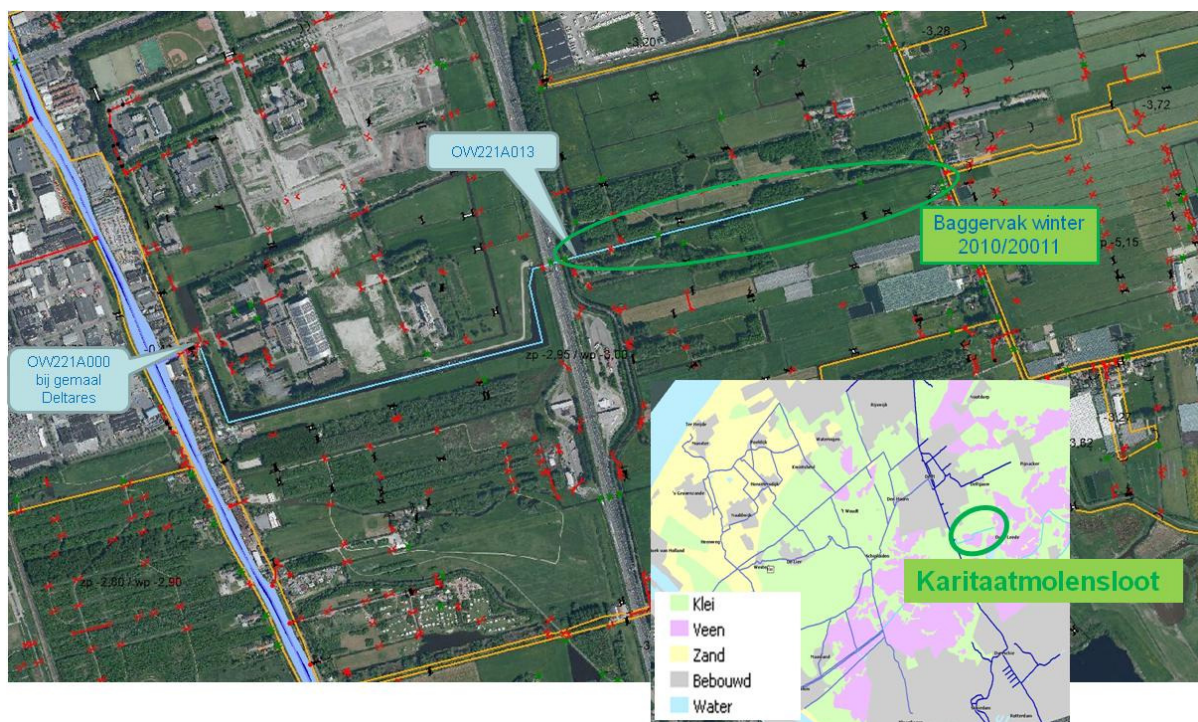
De volgende onderzoeksvragen komen in hun beantwoording aan bod in deze rapportage:

- Hoe "functioneren" de watersystemen?
 - Hoe zit de waterbalans in elkaar?
 - Wat is de externe belasting op het systeem?
 - Wat is de interne belasting?
 - Wat zijn de kritische belastinggrenzen?
- Welke maatregelen kunnen er mogelijk worden uitgevoerd om het watersysteem robuuster te maken?

2 Water- en Stofbalansen Zuidpolder van Delfgauw / Karitaatmolensloot

2.1 Gebiedskarakteristiek

De Karitaat Molensloot ligt in de Zuidpolder van Delfgauw, de bodem in dit gebied bestaat voornamelijk klei en veen. In de winter 2010/2011 is een deel van de watergangen van het waterlichaam gebaggerd (periodieke cyclus). In figuur 1 is de ligging van het waterlichaam gepresenteerd. De Karitaat Molensloot is de "eindafvoer" van de Zuidpolder van Delfgauw en heeft daarmee een belangrijke afvoerfunctie. Het laatste deel, westelijk van de A13 is zeer breed gedimensioneerd. In het deel oostelijk van de A13 is de sloot smaller. In dit deel is gedurende de uitvoering van BaggerNut ook de waterbodembodem gebaggerd. Het effect van deze werkzaamheden op de interne eutrofiering (nalevering vanuit de waterbodembodem) is gemeten, door de naleveringsproeven uit te voeren op bodemonsters die in juni 2010 zijn verzameld en door vervolgens met het prototype quick scan de nalevering nogmaals vast te stellen na het baggeren op monsters die zijn genomen in het najaar van 2011.



Figuur 1: Situatie waterlichaam Zuidpolder van Delfgauw, Karitaat Molensloot.

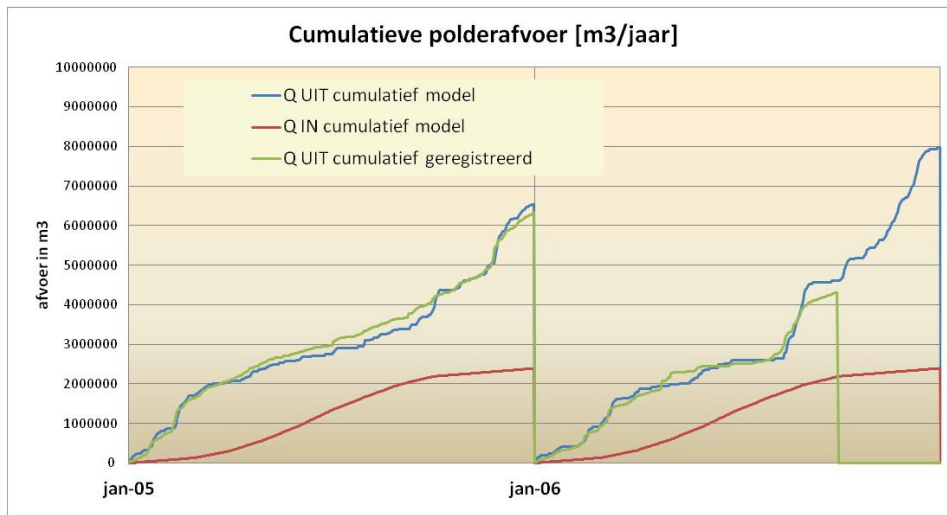
De balansen voor het waterlichaam zijn opgesteld op polderniveau (de gehele afwateringseenheid), waardoor ze vooral indicatief zijn voor het gemiddelde polderbeeld.

Tabel 1: Algemene gegevens

Gegeven	getal	eenheid
Oppervlaktewater	99	hectare
Oppervlak afwateringsgebied	1200	hectare
Aangrenzende percelen	1100	hectare
Waterpeil	-3	mNAP (hoofdpeilvak)
Gemiddelde diepte	0.95	m
Gemiddelde neerslag	850	mm
Gemiddelde kwel	0.03	mm/dag
Inlaat	ca 2000	mm/jaar
	2	10 ⁶ m ³ /jaar

2.2 Waterbalans

De waterbalans is opgesteld op basis van een in SOBEK berekende neerslag-afvoer dynamiek. De inlaat is geschat door de berekende uitlaat uit het gebied te vergelijken met beschikbare maalstaten. Dit is gedaan voor de periode 2005-2006. Op basis hiervan is een jaarlijks constant inlaatregime afgeleid, zie figuur 2, rode lijn. Met dit inlaatregime is het neerslag-afvoermodel in staat de maalregistratie uitstekend te reproduceren (de blauwe lijn volgt de groene lijn).



Figuur 2: Cumulatieve inlaat en uitlaat op jaarbasis

Er is een oppervlaktewaterbalans opgesteld op dagbasis voor de periode 2005-2010. De gemiddelde balans is gepresenteerd in tabel 2.

Tabel 2: Oppervlaktewaterbalans (gemiddelde 2005-2010)

IN	mm/jaar		UIT	mm/jaar	
Drainage	4457 (49%)	z: 796 (22%) w: 3667 (66%)	Infiltratie	-737 (-8%)	z: -695 (19%) w: -43 (0%)
Inlaat	2413 (26%)	z: 1896 (51%) w: 517 (10%)	Gemaal	-7711 (-84%)	z: -2322 (63%) w: -5404 (97%)
Neerslag open water	955 (10%)	z: 464 (13%) w: 492 (9%)	Verdamping open water	-610 (-7%)	z: -525 (14%) w: -85 (2%)
Kwel	0	z: w:	Wegzijging	-40 (-0%)	z: -20 (0%) w: -20 (0%)
Overstort & glastuinbouw	1388 (15%)	z: 539 (15%) w: 851 (15%)			
Restterm/berging				-115 (-1%)	

De oppervlaktewaterbalans op jaarbasis geeft geen inzicht in de temporele variatie. Vooral in het winterhalfjaar treedt drainage uit de bodem op, en er is meer inlaat in het zomerhalfjaar dan in het winterhalfjaar. Vervolgens is er sprake van een ruimtelijke variatie, waar de balans is opgesteld voor het "gemiddelde" polderwater. Een geïsoleerd haarvat zal gedomineerd worden door gebiedseigen water (drainage uit omliggende percelen), terwijl een hoofdwatgang als de Karitaat Molensloot een hoger aandeel inlaatwater kent. Fraktiesommen uit 2007 gemaakt in het kader van de KRW-detailanalyse bevestigen dit.

De zomermediane verversing van het water in de polder bedraagt circa 23 mm per dag. Met een gemiddelde waterdiepte van circa een halve meter bedraagt de verblijftijd dan circa 21 dagen. Deze waarde is gebruikt in de berekening met PCDitch voor het bepalen van het omslagpunt van een helder plantenrijk naar een troebel kroos gedomineerd watersysteem.

De Karitaat Molensloot zelf, met een lengte van 2100 m en een breedte van gemiddeld 23 m kent een veel kortere verblijftijd. Hierbij dient volgens de hydrodynamische SOBEK berekeningen onderscheid gemaakt te worden in het traject ten westen en het traject ten oosten van de A13. De traject ten westen is aan de ene kant flink gedimensioneerd (34 meter breed), maar kent een permanente afvoer richting het gemaal. Parallelsloten aan de A13 zorgen voor een flinke afvoerhoging. Het waterlichaam traject ten oosten van de A13 (circa 10 meter breed) kent lagere afvoeren en in de zomerperiode treedt ook omkeren van de stroomrichting op.

Het traject ten westen van de A13 kent een mediane verblijftijd van <2 dagen (range 0,5-55 dagen). Het traject ten oosten van de A13 kent een mediane verblijftijd van <4 dagen (range 1,5-30 dagen). Op basis hiervan kan gesteld worden dat door de korte verblijftijden gemiddeld beschouwd transport dominant is voor de waterkwaliteit in de Karitaat Molensloot zelf ten opzichte van processen. In de zomermaanden vinden we langere verblijftijden, waardoor processen als denitrificatie van stikstof en interactie met de waterbodem van invloed, of zelfs bepalend kunnen zijn voor de waterkwaliteit.

2.3 Quick Scan(+) Waterbodem en MIND Baggernut metingen

De QuickScan is bedoeld om snel een inschatting van de (chemische) naleveringspotentie van een waterbodem te kunnen maken op basis van eenvoudig meetbare parameters. De achterliggende data zijn verzameld in het kader van het project Baggernut. De beschrijving van de experimenten en methode is opgenomen in de MIND-rapportages van 2011 en 2012. Op basis van de data is een aantal analyses uitgevoerd en is een conceptueel kader uitgewerkt, wat verder is uitgewerkt tot de QuickScan.

De nalevering in de Karitaatmolensloot is gemeten door B-Ware / RUN in het kader van MIND BaggerNut. De in het laboratorium bepaalde flux bij hoog sulfide en lage alkaliniteit bedraagt 12 mgP/m².dag. Gecorrigeerd voor de watertemperatuur op kwartaalgemiddelde basis levert dat een naleveringsflux vanuit de waterbodem op zoals gepresenteerd in onderstaande tabel.

Tabel 3 Bodemflux

Nalveringsflux in mgP/m ² .dag	Bodemflu x bij 15C	Kwartaal 1	Kwartaal 2	Kwartaal 3	Kwartaal 4
Gemid. watertemp. [C]		5	10	18	15
Flux MIND rapportage	12	5.6	8.8	14.0	12.1
Flux Quick Scan – bodem versgewicht	8.7	4.1	6.4	10.2	8.8
Flux Quick Scan - porievocht	8.6	4.0	6.3	10.0	8.6

De naleveringsfluxen zijn ook bepaald op basis van de in BaggerNut kader ontwikkelde Quick Scan. In dit geval blijken de naleveringsfluxen iets lager uit te vallen. Dit verschil valt toe te schrijven aan het gegeven dat de quick scan is ontwikkeld op basis van afgeleide relaties op een groot aantal verschillende locaties en de MIND metingen locatiespecifiek zijn.

In de Karitaatmolensloot is door het Hoogheemraadschap van Delfland in de winter 2010/2011 in het kader van regulier baggeronderhoud gebaggerd. Delfland heeft in de zomer van 2011 door B-Ware opnieuw een monster laten nemen in de sloot, om enerzijds het effect van bagger te kwantificeren en anderzijds het concept quick scan toe te passen.

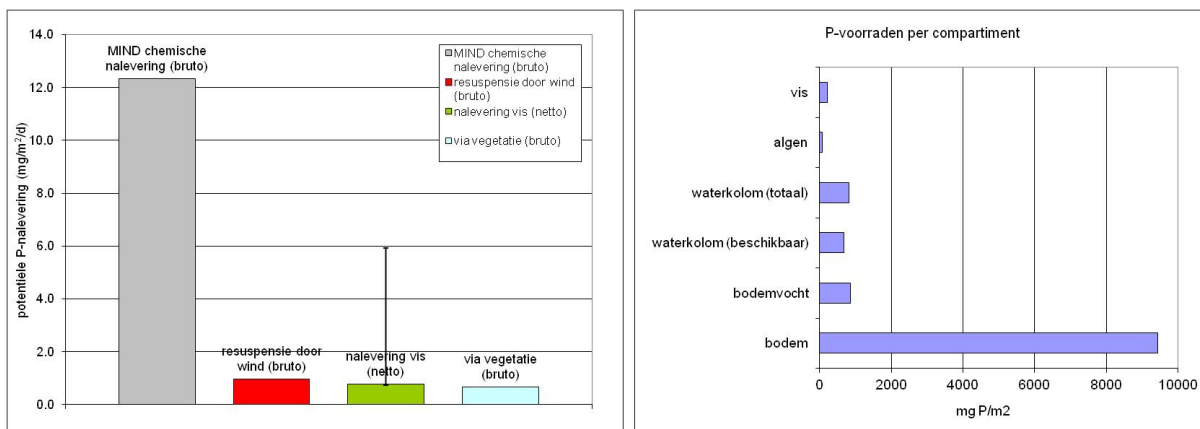
		Kwartaal 1	Kwartaal 2	Kwartaal 3	Kwartaal 4
Flux Quick Scan na baggeren – bodem versgew	4.5	2.1	3.3	5.3	4.6
Flux Quick Scan na baggeren - porievocht	3.5	1.6	2.6	4.1	3.5

Na het uitvoeren van de baggerwerkzaamheden blijkt de waterbodem flink minder na te leveren. De reductie bedraagt zo'n 50-60%. Opgedrukt aan de stofbalans (zie volgende paragraaf), resulteert een indicatief fosfor concentratieniveau in het oppervlaktewater dat overeenstemt met waarnemingen in de zomer van 2011 zijn gedaan (verder niet beschreven in deze notitie). Dit versterkt het vertrouwen in de opgestelde waterbalans.

In het achterland van de Zuidpolder van Delfgauw is in 2011 ook een locatie onderzocht. Hier blijkt de nalevering nog lager uit te vallen. Deze onderzochte locatie kent wel een negatief Fe-S, waardoor dit ook correspondeert met de verwachting.

		Kwartaal 1	Kwartaal 2	Kwartaal 3	Kwartaal 4
Flux Quick Scan achterland - porievocht	1.9	0.9	1.4	2.2	1.9

Met de QuickScan+ kan deze inschatting van de naleveringspotentie van de waterbodem worden vergeleken met andere relevante fluxen vanuit de waterbodem naar de waterkolom. Voor de Karitaatmolensloot is deze exercitie uitgevoerd, het resultaat is gepresenteert in figuur 4. De potentiële naleveringsfluxen zijn zoveel mogelijk bruto weergegeven. Naast nalevering is er bijvoorbeeld ook een flux naar de waterbodem (vastlegging), resuspensie heeft als tegenpool sedimentatie. Deze fluxen zijn niet weergegeven omdat deze o.a afhankelijk van het watersysteem zijn.

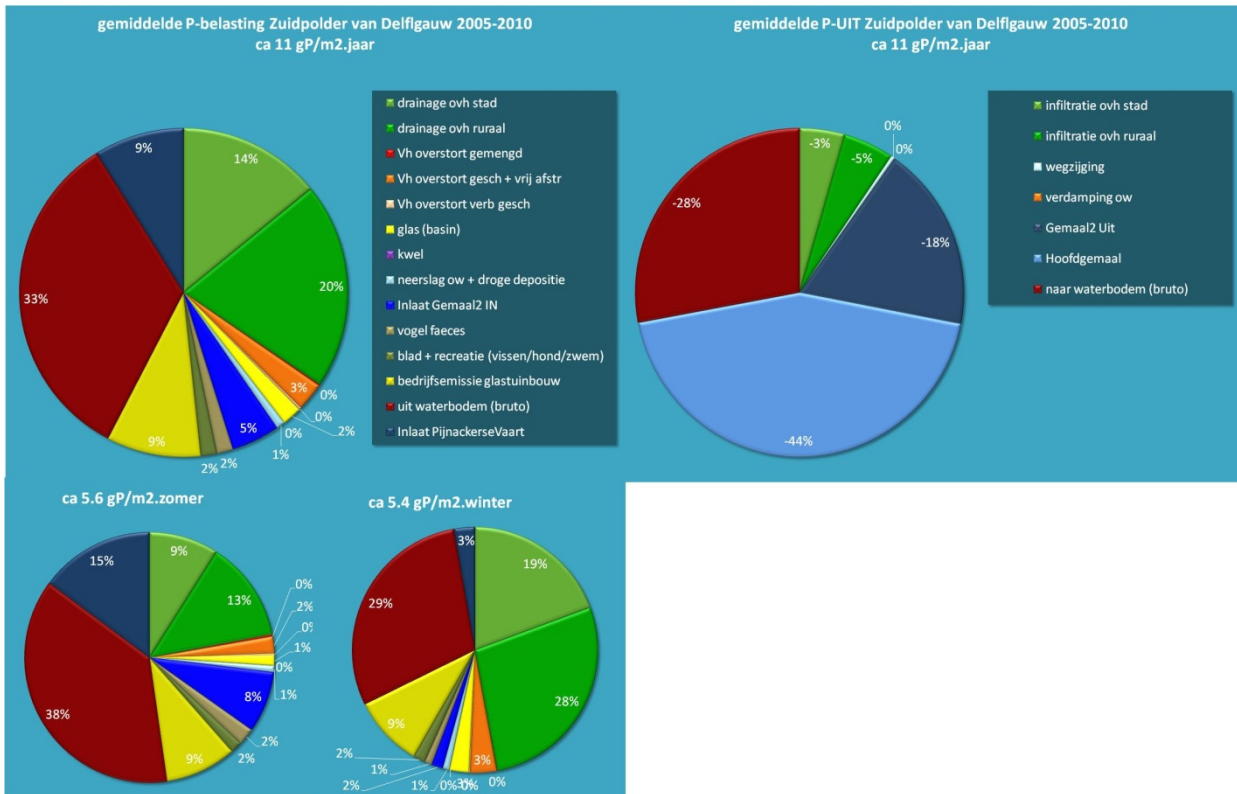


Figuur 4 Quick Scan + uitvoer biologische routes versus chemische routes (links) en de voorraden fosfor per compartiment (rechts)

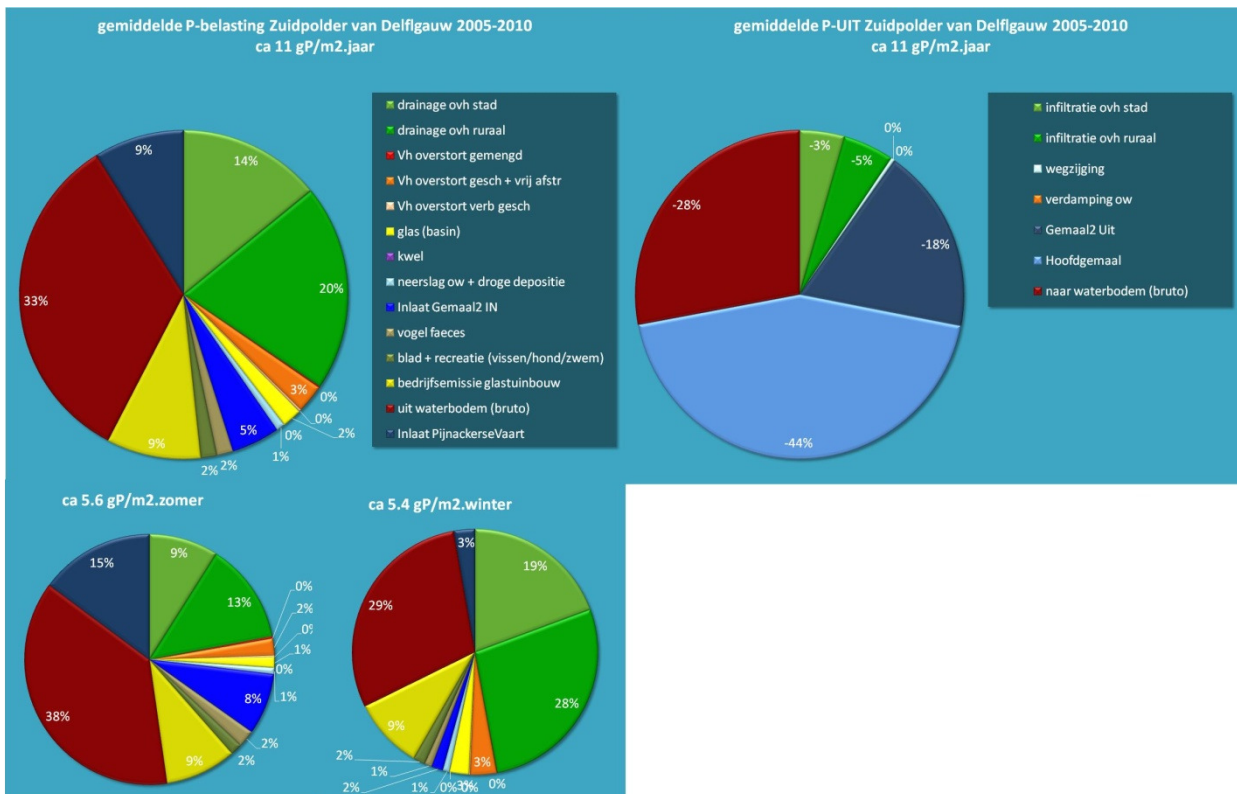
Gesteld kan worden dat de chemische naleveringsflux in de ongebaggerde situatie de dominante route is vanuit de waterbodem.

2.4 Stofbalansen (N & P)

Punt- en diffuse bronnen zijn met behulp van literatuurgegevens, beheerderskennis, modellen en meetgegevens gekwantificeerd. De resultaten voor de nutriënten zijn weergegeven in



Figuur 4 t/m Figuur 6. Er is onderscheid gemaakt tussen het zomer- en winterseizoen. De stofbalansen zijn op dagbasis opgesteld. In de figuren is het geaggregeerde resultaat op seizoensbasis gepresenteerd.



Figuur 4: Fosforbelasting

De belangrijkste fosforbronnen op jaarbasis zijn drainage uit de bodem (34%) en nalevering uit de waterbodembodembodem (33%), gevolgd door de bronnen inlaat (14%) en glastuinbouw (11%).

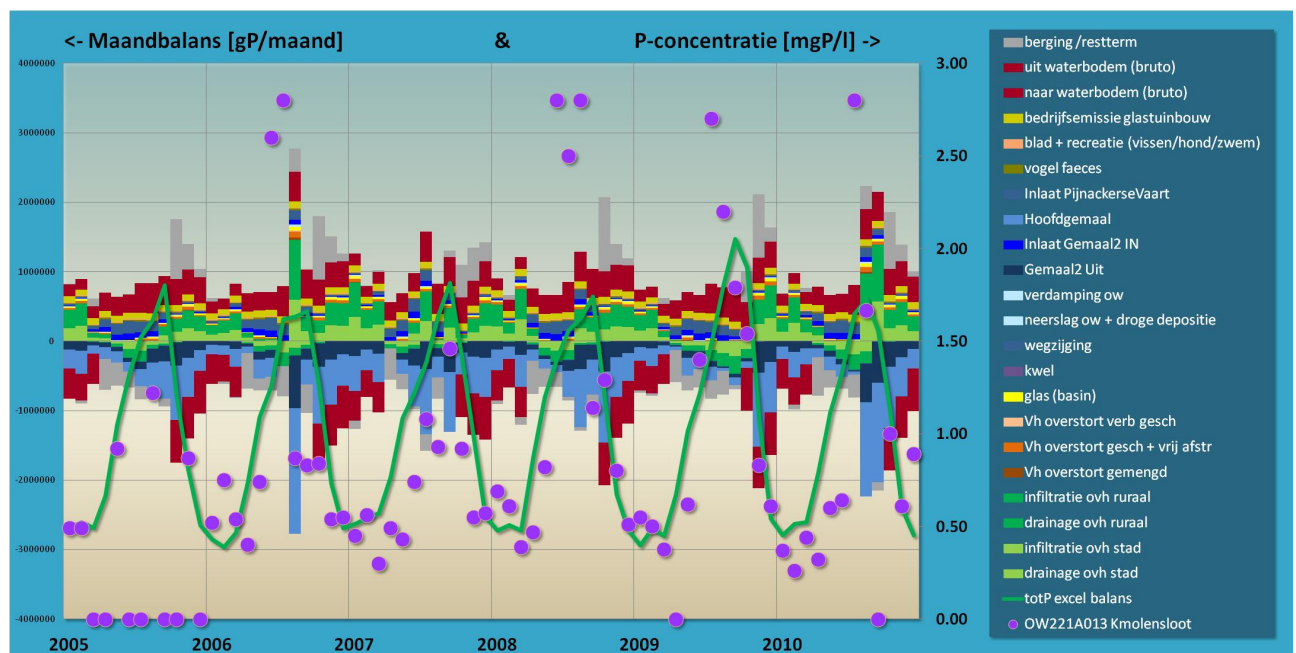
Overige bronnen maken gezamenlijk 6% van de belasting. De externe P-belasting bedraagt circa 7.4 gP/m².jaar, de interne P-belasting circa 3.7 gP/m².jaar.

In tegenstelling tot de waterbalans komt 50% van de P-belasting op het watersysteem in het zomerhalfjaar.

Als we inzoomen op het zomerhalfjaar blijkt de nalevering, gekwantificeerd op basis van metingen door B-Ware, de meest belangrijke P-bron te zijn (38%). Onder bepaalde omstandigheden, die meestal samen gaan met zuurstofloosheid en hoge pH komt fosfor in grote hoeveelheden vrij vanuit de bodem, door deze omstandigheden wordt de bindingscapaciteit van de bodem vele malen kleiner.

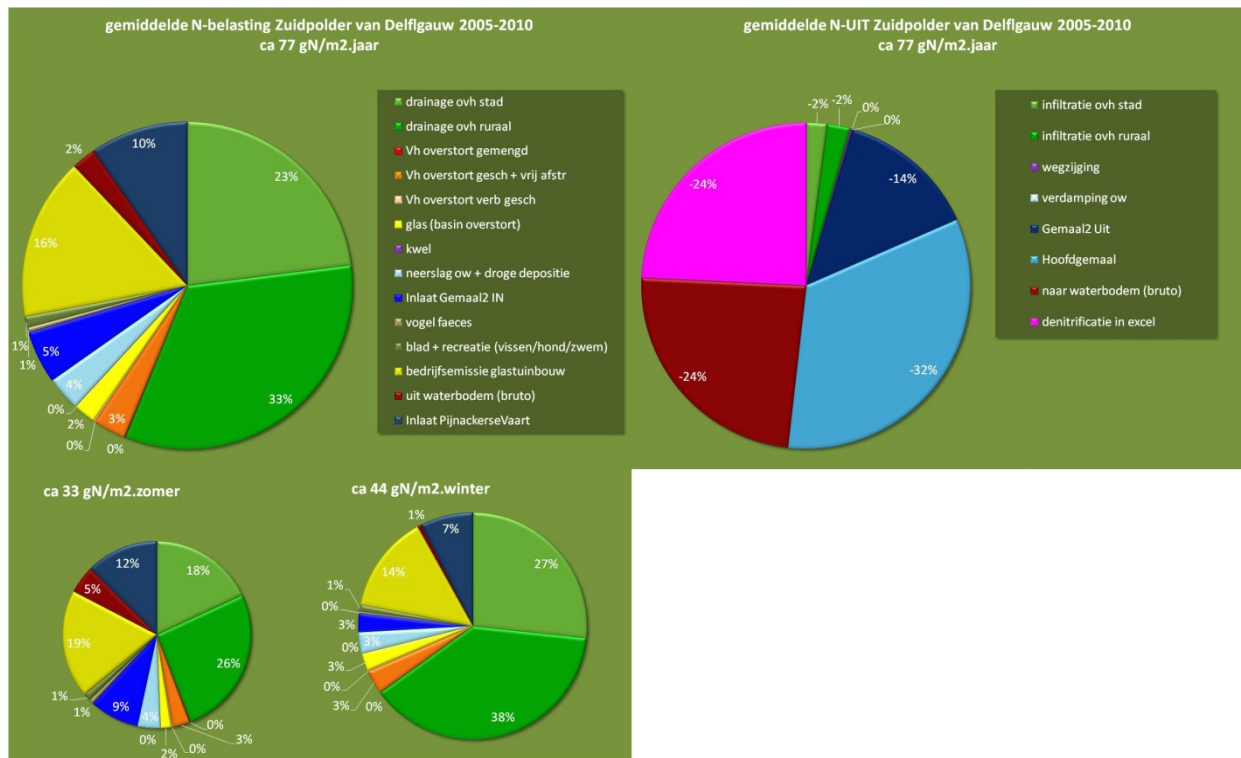
Aan de uitkant van de balans blijkt dat zo'n 62% van het fosfor uitgemalen wordt op Delflands boezemwater, dat zo'n 28% naar de waterbodem verdwijnt en 8% voornamelijk in de zomermaanden de bodem inzigt.

In figuur 5 is de balans op maandbasis gepresenteerd, met daarin ook de (in excel) berekende resulterende fosforconcentraties in het oppervlaktewater (gemiddeld voor de polder) ten opzichte van de gemeten concentraties in de Karitaat Molensloot. De nalevering uit de waterbodem is de gehele balansperiode gelijk gesteld aan de door B-Ware in 2010 bepaalde nalevering. Deze is niet per definitie representatief voor het gehele gebied en de gehele balansperiode. Desondanks is goed zichtbaar, dat de seizoensdynamiek in de metingen goed verklaard kan worden op basis van de huidige inschattingen van de verschillende balansposten.



Figuur 5: Maandbalans en resulterende P-concentratie in de Zuidpolder van Delfgauw

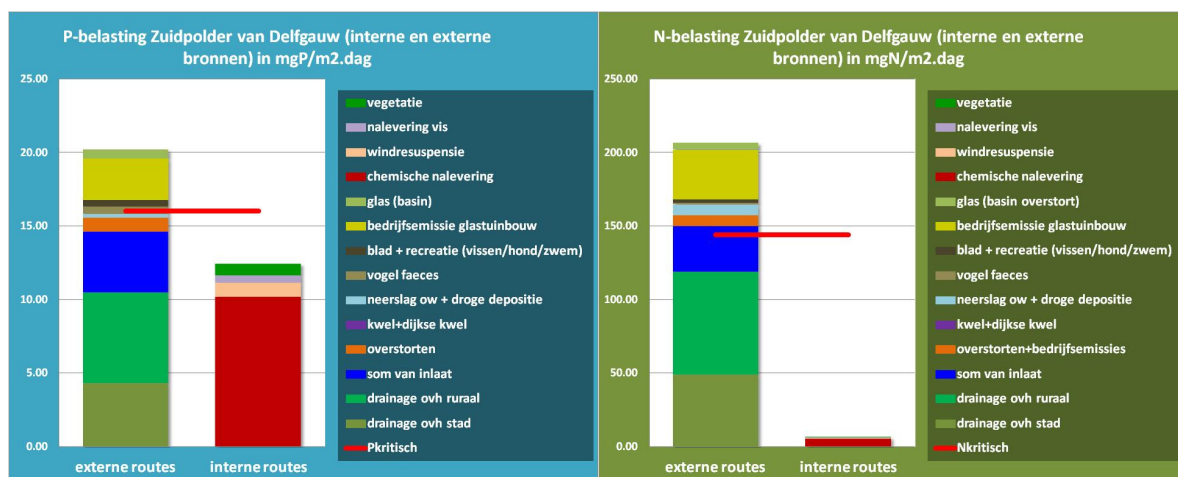
In figuur 6 is het stikstof emissieprofiel van de Zuidpolder van Delfgauw gepresenteerd. Veruit de belangrijkste bron op jaarbasis is drainage uit de bodem (55%), gevolgd door de bronnen glastuinbouw (18%) en inlaat (15%). Overige bronnen leveren gezamenlijk 11% van de belasting. De verschillen tussen zomer en winterhalfjaar zijn relatief beperkt.



Figuur 6: Stikstofbelasting

Aan de uitkant van de balans blijkt dat 46% van het stikstof uitgemalen wordt op Delflands boezemwater, dat circa 24% van het stikstof via denitrificatie uit het oppervlaktewater verdwijnt (naar de atmosfeer), 24% naar de waterbodembodem verdwijnt en 5% voornamelijk in de zomermaanden als retourstroom naar de bodem kan worden aangemerkt.

In figuur 7 zijn de hierboven gepresenteerde belastingprofielen nogmaals gepresenteerd. Hierbij is onderscheid gemaakt in interne en externe belastingen is de belasting tevens getoetst aan een met PCDitch berekend theoretische kritisch niveau.



Figuur 7 Interne versus externe belasting versus kritische belasting

Op grond van deze analyse kunnen we constateren dat de bijdrage van de waterbodembodem aan de waterkwaliteit voor P relatief groot is en voor N beperkt. Daarnaast kunnen we stellen dat de totale externe belasting in de huidige situatie al hoger is dan de kritische grens. Deze toets leidt tot een algen/kroos gedomineerd watersysteem. We moeten hierbij de belangrijke kanttekening maken dat het polderwatersysteem van de Zuidpolder van Delfgauw zeer heterogeen is, waardoor het lastig is een kritische grens op polderniveau te bepalen.

Desalniettemin is het advies om eerst de externe belastingdruk in de polder te reduceren alvorens de interne bron aanvullend aan te pakken. Het positieve effect van baggeren op de waterkwaliteit is vastgesteld door uitvoeren van een quick scan meting en door monitoring van Delfland (zomer concentratieniveaus tot 1.2 mgP/l geregistreerd, waar dit >2 was in de jaren er voor). Het traject in de Karitaatmolensloot wordt regulier om de circa 8 jaar gebaggerd in het kader van onderhoud. Ook na de vorige baggerperiode zijn lagere P concentratieniveaus waargenomen. Uit de meerjarige monitoring blijkt echter ook dat het gunstige effect van baggeren op de waterkwaliteit een beperkte houdbaarheid heeft. Als gevolg van tussentijdse baggeraanwas in een hoog belast watersysteem is het positieve effect na 1-2 jaar weer teniet gedaan.

Het advies is dan in deze polder ook eerst te concentreren op het reduceren van de externe belasting, alvorens de waterkwaliteit te verbeteren via het aanpakken van de interne bronnen. Daartoe zijn al stappen gezet. Het aansluiten van de glastuinbouwsector op het riool in Delfland brede zin resulteert hier in een directe reductie en een indirect, aangezien het ook de kwaliteit van het inlaatwater verbetert.

2.5 Bodemdiagnose

In het kader van BaggerNut is ook een Bodemdiagnose tool ontwikkeld. Deze is door Delfland zelf toegepast, nadat bovenstaand advies op basis van de eigen watersysteemanalyse is opgesteld. Het doel van het uitvoeren van de bodemdiagnosetool is dan ook in eerste instantie op dit moment verificatie van de gedane analyse. In een later stadium kan de tool ook gebruikt worden voor het bepalen van het effect van maatregelen en het bepalen van de invloed daarvan op de EKR score van het waterlichaam. Dit is een exercitie die is voorzien voor de volgende ronde SGBP analyses.

Onderstaand is het eerste diagnoseresultaat vanuit de bodemdiagnosetool gepresenteerd. Deze bevestigt de in voorgaande paragraaf geschetste analyse.

1e oordeel						
Delfland - Karitaatmolensloot, polderwatergang	Diagnose					
Potentie nalevering?	mogelijk relevant					
doorzicht?	matig					
Chlorofyl	middel					
1e oordeel	BD voor nutriënten en zwevend stof					
Interne en externe P belasting		jaargemiddeld/totaal	K1	K2	K3	K4
Interne belasting (% van totale belasting)		34.0	16.4	35.7	42.7	35.0
Externe belasting (% van totale belasting)		66.0	83.6	64.3	57.3	65.0
Interne belasting (absoluut in g P/m ²)		3.79	0.3752	0.7211	1.6476	1.0468
Externe belasting (absoluut in g P/m ²)		7.4	1.9	1.3	2.2	1.9
Kritische belasting (absoluut in g P/m ²)		5.84				
Verblijftijd (dagen)		29.68	28.35	45.52	31.42	21.93
Maatregelen						
Maatregel	Zinvol?					
Contact nutriënten waterbodembodem en oppervlaktewater afsnijden	nee					
Externe belasting omlaag	ja					
Vergroten P-bindingscapaciteit	nee					
Bron weghalen (baggeren)	ja					
Opwerveling beperkende maatregelen	ja					
Beijzering	PM					
Reductie sulfaat / bicarbonaat	nee					

De controle op stofconcentraties, zoals berekent met de bodemdiagnosetool, vertoont afwijkingen ten opzichte van de gemeten en berekende concentratieniveaus in de eigen systeemanalyse. Dit onderdeel is momenteel verder niet geverifieerd en uitgewerkt.

De uitgevoerde sluitende analyse geeft op dit moment voldoende inzicht in de rol van de bodem. Als bron is de bodem duidelijk zichtbaar in de P-gehalten in de zomermaanden. De externe belasting is echter zeer hoog, waardoor het aanpakken van de waterbodembodem slechts beperkt en hooguit een tijdelijk positief effect zal hebben. Alvorens maatregelen ten aanzien

van de waterbodem te nemen dient eerst de externe belasting te worden gereduceerd.

3 Water- en Stofbalansen Holierhoek en zouteveense polder / Slinksloot

3.1 Gebiedskarakteristiek

De Slinksloot in de Holierhoekse en Zouteveense polder is een waterlichaam in een venig gebied. Nalevering vanuit de bodem en de veenoever is naar verwachting hoog. Een van de mogelijke maatregelen in dit waterlichaam is het baggeren van de bodem. Onduidelijk is echter nog de effectiviteit hiervan? Is de invloed van de sliblaag op dit moment de grootste bron van nutriënten of zorgt het gebiedsvreemde water en uitspoeling van nitraat vanuit de grond, voor de veenafbraak? Door een uitgebreide systeemanalyse in dit water krijgen we inzicht in de bijdrage en stuurfactoren van afbraak van veen in de oeverzone en de waterbodem op de nutriëntgehalten die we in de polder aantreffen. Als we de stuurfactoren kennen kunnen we meer gericht maatregelen nemen.



Figuur 8: Waterlichaam Slinksloot in de Holierhoekse en Zouteveense polder

Tabel 3: Algemene gegevens

Gegeven	getal	eenheid
Oppervlaktewater	107 (7.9%)	hectare
Oppervlak afwateringsgebied	1358	hectare
Onverhard gebied ruraal	1100 (81%)	hectare
urbaan	69 (5.1%)	
Verhard gebied	75 (5.5%)	hectare
Glastuinbouw	8 (0.6%)	hectare
Waterpeil	-3.3/-3.5	zp/wp mNAP (hoofdpeilvak)
Gemiddelde diepte	0.4	m
Gemiddelde neerslag	834	mm
Gemiddelde kwel	0.04	mm/dag
Inlaat	1577	mm/jaar
	1.7	10 ⁶ m ³ /jaar

3.2 Waterbalans

De waterbalans is opgesteld op basis van een in SOBEK berekende neerslag-afvoer dynamiek. De inlaat is geschat door de berekende uitlaat uit het gebied te vergelijken met beschikbare maalstaten. Dit is gedaan voor de periode 2005-2006. Op basis hiervan is een jaarlijks constant inlaatregime afgeleid. Met dit inlaatregime is het neerslag-afvoermodel in staat de maalregistratie goed te reproduceren.

Er is een oppervlaktewaterbalans opgesteld op dagbasis voor de periode 2005-2010. De gemiddelde balans is gepresenteerd in tabel 4.

Tabel 4: Oppervlaktewaterbalans (gemiddelde 2005-2010)

IN	mm/jaar		UIT	mm/jaar	
Drainage	4179 (59%)	z: 586 (24%) w: 3601 (74%)	Infiltratie	-554 (-8%)	z: -530 (-22%) w: -24 (-0%)
Inlaat	1577 (22%)	z: 1239 (50%) w: 338 (7%)	Gemaal	-5881 (-82%)	z: -1165 (-47%) w: -4726 (-98%)
Neerslag open water	922 (13%)	z: 450 (18%) w: 473 (10%)	Verdamping open water	-610 (-9%)	z: -525 (-21%) w: -85 (-2%)
Kwel	14 (0%)	z: 7 (0%) w: 7 (0%)	Wegzijging	0	z: w:
Overstort, afspoelen verhard & glas	444 (6%)	z: 176 (7%) w: 269 (6%)			
Restterm/berging				-93 (-1%)	

De oppervlaktewaterbalans op jaarbasis geeft geen inzicht in de temporele variatie. Vooral in het winterhalfjaar treedt drainage uit de bodem op, en er is meer inlaat in het zomerhalfjaar dan in het winterhalfjaar. Vervolgens is er sprake van een ruimtelijke variatie, waar de balans is opgesteld voor het "gemiddelde" polderwater. Een geïsoleerd haarcvat in het veenweidegebied zal gedomineerd worden door gebiedseigen water (drainage uit omliggende percelen), terwijl een hoofdwatgang als de Slinksloot een fors aandeel inlaatwater kent. Temeer ook daar een hoofdinaat van de polder zich bij het gemaal bevindt. Fraktiesommen uit 2007 gemaakt in het kader van de KRW-detailanalyse bevestigen dit.

In het zomerhalfjaar treedt in de Slinksloot stroomomkering op; de Slinksloot fungeert in deze gevallen als aanvoergeul in plaats van afvoerwatgang.

De verblijftijd van water in de polder heeft een mediane waarde van circa 28 dagen, overeenkomend met een afvoer van 12 mm/dag (verblijftijd 10percentiel: 6 dagen, 90 percentiel 64 dagen).

De Slinksloot zelf, met een lengte van het KRW waterlichaam van 2100 m en een breedte van gemiddeld 18 m en een gemiddelde diepte van 0.75 meter (tegen 0.4 meter polderbreed) kent een veel kortere verblijftijd. De Slinksloot kent op basis van een op dagbasis opgestelde waterbalans een gemiddelde verblijftijd van circa 2 dagen (range <1 tot >30 dagen). Op basis hiervan kan gesteld worden dat door de korte verblijftijden gemiddeld beschouwd transport dominant is voor de waterkwaliteit. In de zomermaanden vinden we langere verblijftijden, waardoor processen als denitrificatie van stikstof en interactie met de waterbodem van invloed, of zelfs bepalend kunnen zijn voor de waterkwaliteit.

3.3 Quick Scan(+) Waterbodem en MIND Baggernut metingen

De QuickScan is bedoeld om snel een inschatting van de (chemische) naleveringspotentie van een waterbodem te kunnen maken op basis van eenvoudig meetbare parameters. De nalevering in de Slinksloot is gemeten door B-Ware / RUN in het kader van MIND BaggerNut. De in het laboratorium bepaalde flux bij hoog sulfide en lage alkaliniteit bedraagt 13.7 mgP/m².dag. Gecorrigeerd voor de watertemperatuur op kwartaalgemiddelde basis levert dat een naleveringsflux vanuit de waterbodem op zoals gepresenteerd in onderstaande tabel.

Tabel 5 Bodemflux

Flux in mgP/m ² .dag	Bodemflu x bij 15C	Kwartaal 1	Kwartaal 2	Kwartaal 3	Kwartaal 4
Gemid. watertemp. [C]		5	10	20	14
Flux MIND	13.7	6.4	10.1	17.5	13.1
Flux Quick Scan – bodem versgewicht	10.6	4.9	7.8	12.4	10.7
Flux Quick Scan – porievocht	9.8	4.6	7.2	11.5	9.9

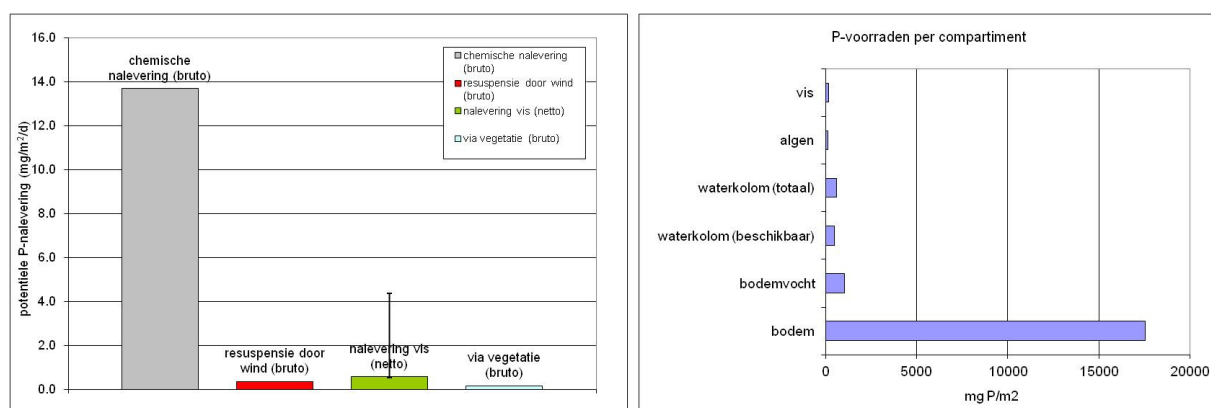
De naleveringsfluxen zijn ook bepaald op basis van de in BaggerNut kader ontwikkelde Quick Scan. In dit geval blijken de naleveringsfluxen ietsje lager uit te vallen. Dit verschil valt toe te schrijven aan het gegeven dat de quick scan is ontwikkeld op basis van afgeleide relaties op een groot aantal verschillende locaties en de MIND metingen locatiespecifiek zijn.

In het achterland van de Slinksloot heeft Delfland in 2011 op een tweetal locaties aanvullende metingen laten verrichten, waarmee met behulp van de Quick Scan een inschatting van de potentiële nalevering gemaakt is.

		Kwartaal 1	Kwartaal 2	Kwartaal 3	Kwartaal 4
Flux Quick Scan Veenweg - porievocht	10.0	4.6	7.4	12.8	9.5
Flux Quick Scan Negenhuizen - porievocht	6.4	3.0	4.7	8.1	6.1

De metingen geven een beeld van de heterogeniteit in de waterbodem van de polder.

Met de QuickScan+ kan deze inschatting van de naleveringspotentie van de waterbodem worden vergeleken met andere relevante fluxen vanuit de waterbodem naar de waterkolom. Voor de Slinksloot is het resultaat gepresenteerd in figuur X. De potentiële naleveringsfluxen zijn zoveel mogelijk bruto weergegeven. Naast nalevering is er bijvoorbeeld ook een flux naar de waterbodem (vastlegging), resuspensie heeft als tegenpool sedimentatie. Deze fluxen zijn niet weergegeven omdat deze o.a afhankelijk van het watersysteem zijn. Gesteld kan worden dat de chemische naleveringsflux de dominante route is vanuit de waterbodem en dat de P voorraad in de bodem zeer hoog is.

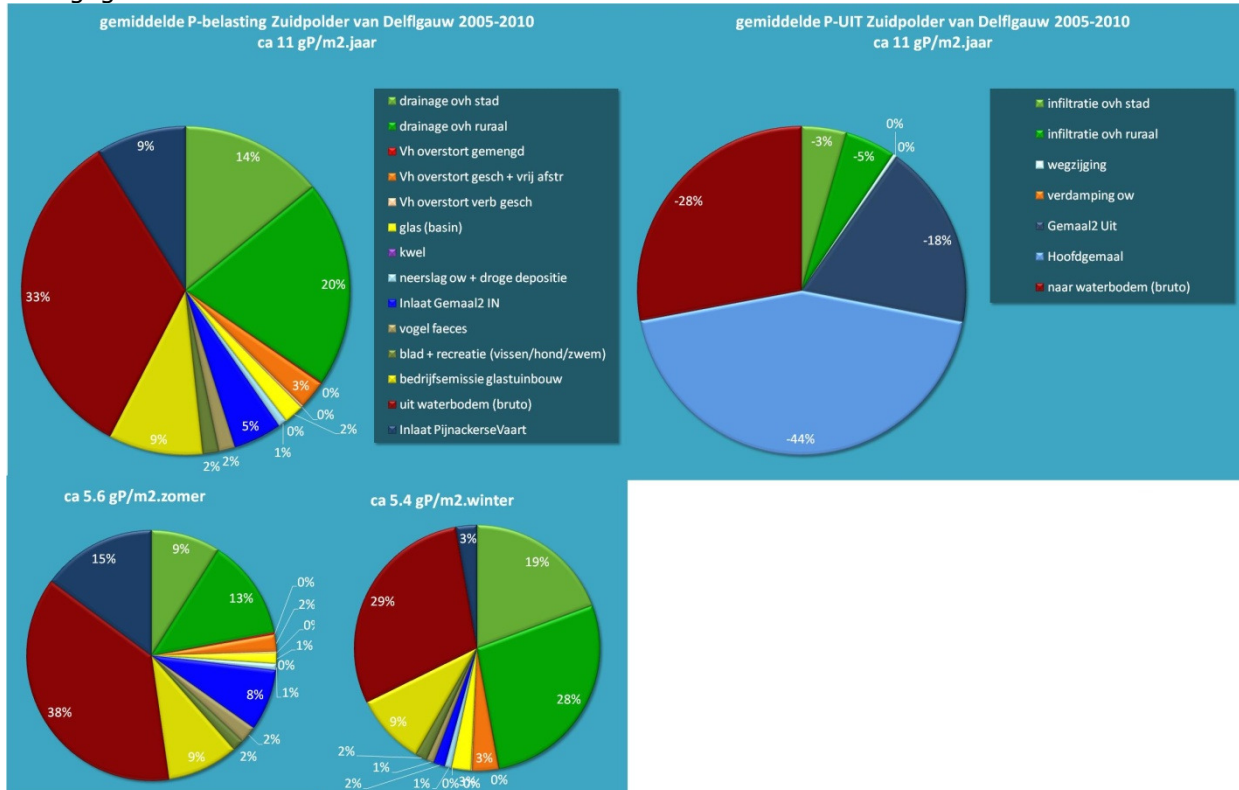


Figuur 9 Quick Scan + uitvoer biologische routes versus chemische routes (links) en de voorraden fosfor per compartiment (rechts)

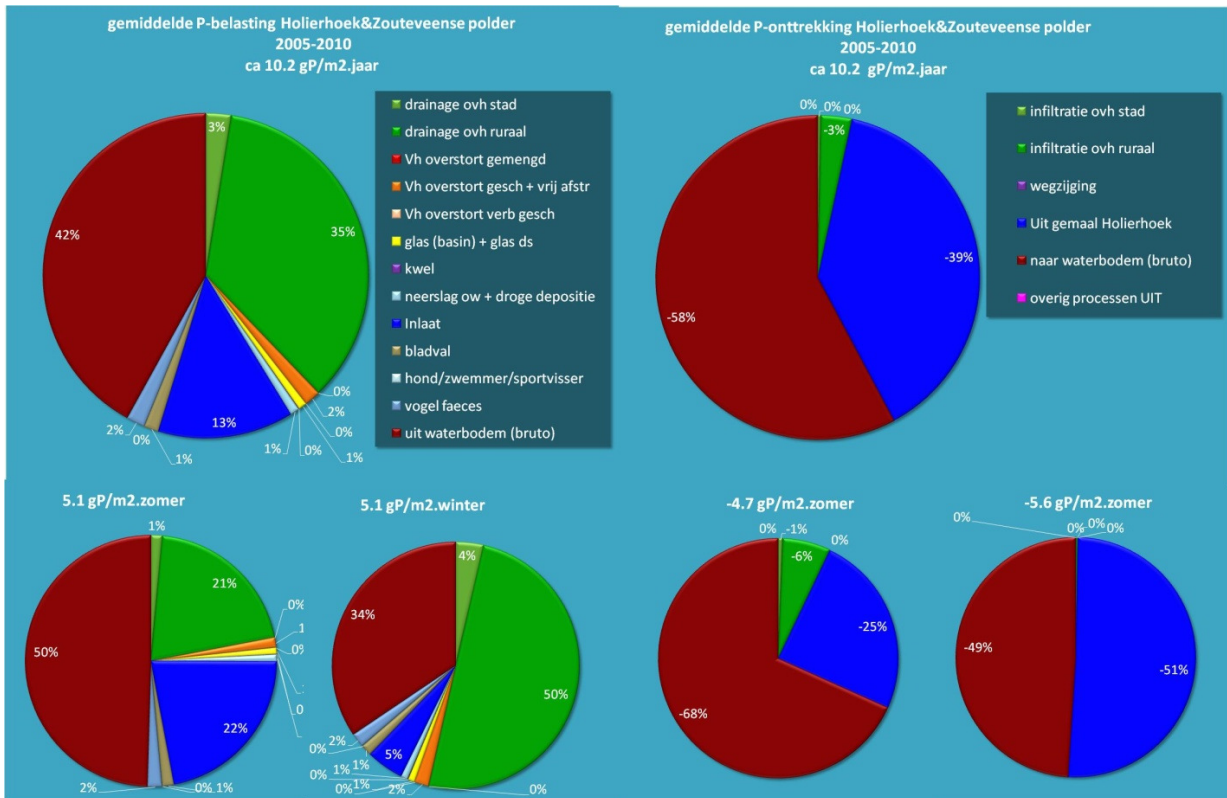
Of de nalevering ook een dominante invloed heeft op de waterkwaliteit moet blijken uit de stofbalansen en aanvullende analyse.

3.4 Stofbalansen (N & P)

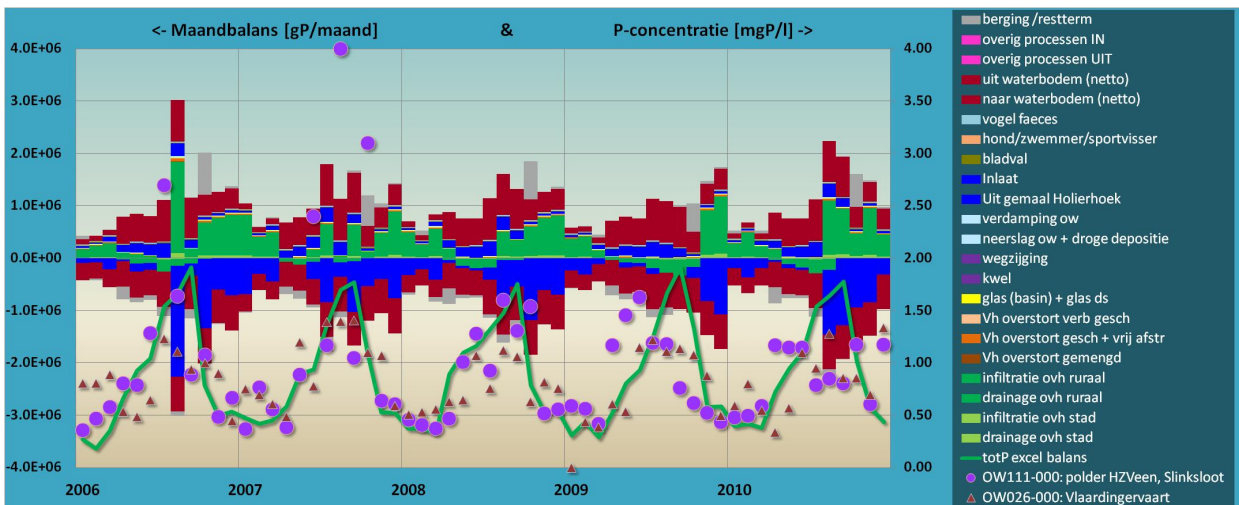
Potentiële bronnen zijn met behulp van literatuurgegevens, gebruikersonderzoeken, beheerderkennis en onderzoek gekwantificeerd. De resultaten voor de nutriënten zijn weergegeven in



Figuur 4 t/m Figuur 6. Er is onderscheid gemaakt tussen het zomer- en winterseizoen. De stofbalansen zijn op dagbasis opgesteld. In de figuren is het geaggregeerde resultaat op seizoensbasis gepresenteerd.



Figuur 10: Fosforbalans Holierhoek (interne- en externe belastingen)



Figuur 11: Maandbalans en resulterende P-concentratie in de Holierhoekse en Zouteveense polder

Het grootste aandeel in de externe P-belasting op polderniveau vormt de af- en uitspoeling uit de bodem, voornamelijk veenweidepercelen (35% van de jaarlijkse belasting). Dit getal wordt verder onderbouwd in het lopende onderzoek "KRW S2b; de rol van het veen". Inlaatwater uit de Vlaardingervaart speelt op polderniveau een rol van 13%. De belangrijkste bron is echter een interne bron, nalevering uit de waterbodemb levert meer dan 40% van de jaarvracht.

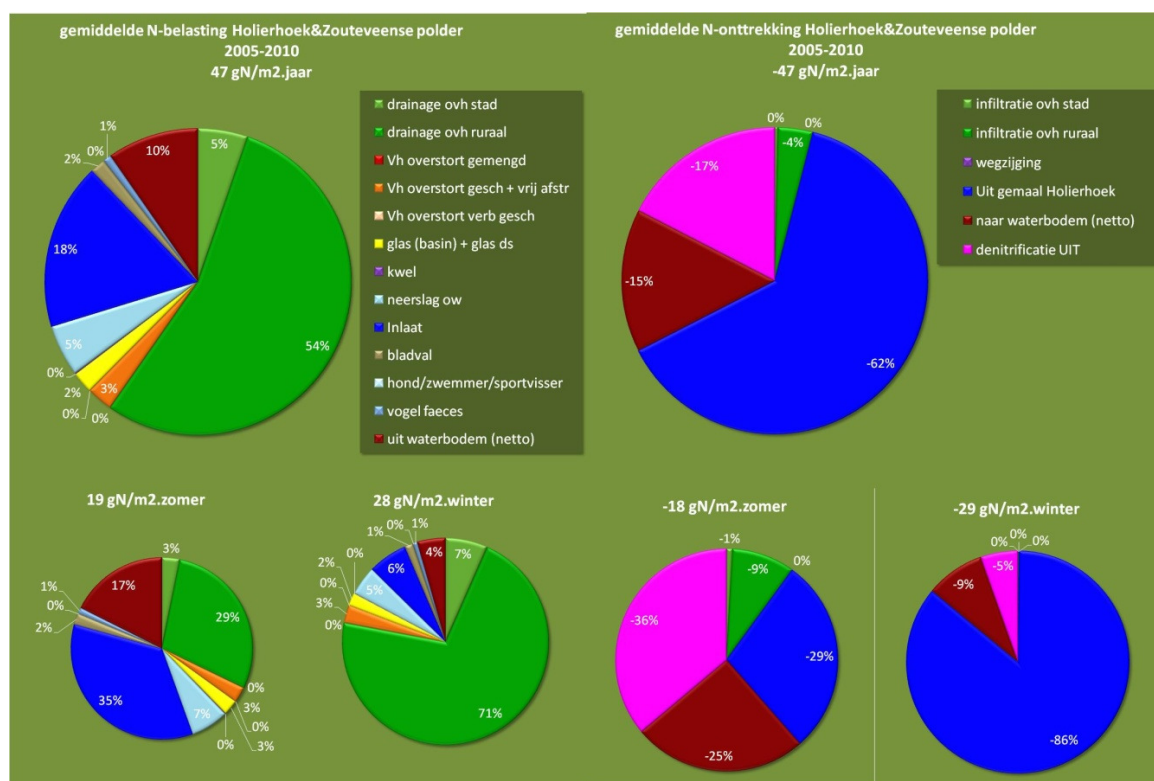
Overige bronnen maken gezamenlijk 6% van de belasting. De externe P-belasting bedraagt circa 6 gP/m2.jaar, de interne P-belasting circa 4 gP/m2.jaar.

In tegenstelling tot de waterbalans komt zo'n 50% van de P-belasting op het watersysteem in het zomerhalfjaar.

Als we inzoomen op het zomerhalfjaar blijkt de nalevering, gekwantificeerd op basis van metingen door B-Ware, de meest belangrijke P-bron te zijn (50-60%). Onder bepaalde omstandigheden, die meestal samen gaan met zuurstofloosheid en hoge pH komt fosfor in grote hoeveelheden vrij vanuit de bodem, door deze omstandigheden wordt de bindingscapaciteit van de bodem vele malen kleiner.

Aan de uitkant van de balans blijkt dat circa 40% van het fosfor uitgemalen wordt op Delflands boezemwater, dat zo'n 50-60% naar de waterbodem verdwijnt (baggeraanwas) en circa 8% voornamelijk in de zomermaanden de bodem inziigt. Netto is er sprake van een opslag van P naar de waterbodem; deze vertaalt zich in baggeraanwas.

In figuur 11 is de balans op maandbasis gepresenteerd, met daarin ook de (in excel) berekende resulterende fosforconcentraties in het oppervlaktewater (gemiddeld voor de polder) ten opzichte van de gemeten concentraties in de Slinksloot. De nalevering uit de waterbodem is de gehele balansperiode gelijk gesteld aan de door B-Ware in 2011 bepaalde nalevering. Deze is niet per definitie representatief voor het gehele gebied en de gehele balansperiode. Desondanks is goed zichtbaar, dat de seizoensdynamiek in de metingen goed verklaard kan worden op basis van de huidige inschattingen van de verschillende balansposten.

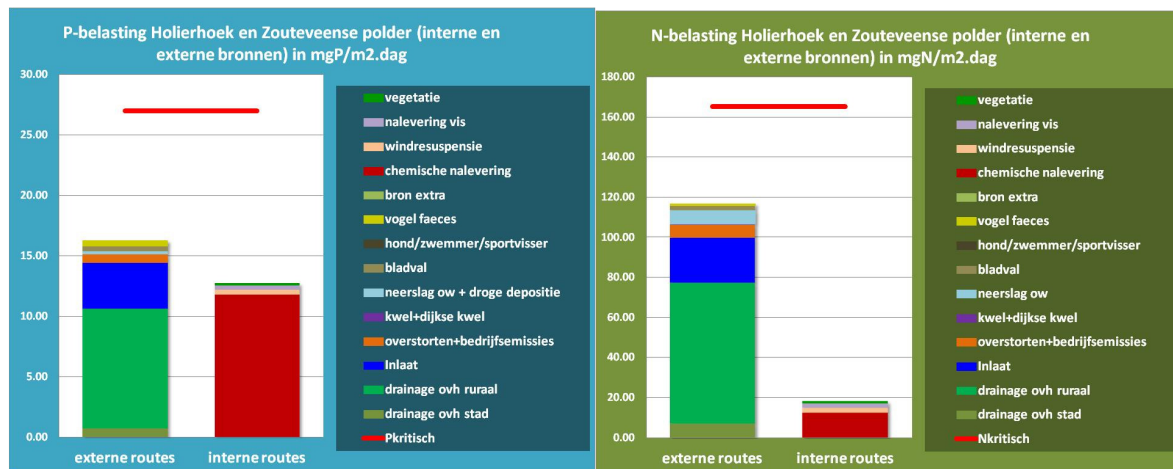


Figuur 12: Stikstofbelasting

In figuur 12 is het stikstof emissieprofiel van de holierhoek en Zouteveense polder gepresenteerd. Veruit de belangrijkste bron op jaarbasis is drainage uit de bodem (59%), gevolgd door de inlaat (18%). Overige bronnen leveren gezamenlijk 23% van de belasting. De verschillen tussen zomer en winterhalfjaar zijn ook groot.

Aan de uitkant van de balans blijkt dat 62% van het stikstof uitgemalen wordt op Delflands boezemwater, dat circa 17% van het stikstof via denitrificatie uit het oppervlaktewater verdwijnt (naar de atmosfeer; berekend op basis van temperatuur gestuurde denitrificatie formule uit de Sobek-WQ processenbibliotheek), 15% netto naar de waterbodem verdwijnt en 4% voornamelijk in de zomermaanden als retourstroom naar de bodem kan worden aangemerkt.

In figuur 13 zijn de hierboven gepresenteerde belastingprofielen nogmaals gepresenteerd. Hierbij is onderscheid gemaakt in interne en externe belastingen is de belasting tevens getoetst aan een met PCDitch berekend theoretische kritische niveau.



Figuur 13 Interne versus externe belasting versus kritische belasting

Op grond van deze analyse kunnen we concluderen dat de bijdrage van de waterbodem aan de waterkwaliteit voor P groot is en voor N beperkt. Daarnaast kunnen we stellen dat de totale externe belasting in de huidige situatie al lager ligt dan de kritische grens. We moeten hierbij de belangrijke kanttekening maken dat de kritische grens is bepaald voor de Slinksloot als sloot en het emissieprofiel op polderbreed niveau is opgesteld. De Slinksloot fungeert als afvoerkanaal voor de hele polder, waardoor alle vracht door de sloot getransporteerd wordt. De belasting op Slinkslootniveau zal daarom ook hoger per m2 uitvallen dan nu gepresenteerd.

Het hier getoonde profiel toont een potentie van het waterlichaam, dat we in de praktijk niet terugvinden. De Slinksloot zelf is een niet rijk begroeide watergang. Deels wordt dit veroorzaakt door beperkingen in inrichting, deels door het gevoerde beheer, deels is waargenomen sulfide toxiciteit in de waterbodem en troebelheid van het water debet aan dit achterblijven. De potentie van de polder wordt vooral zichtbaar in de haarvaten, waar regelmatig een hogere biodiversiteit en goede ecologische toestand wordt waargenomen.

De synthese in het hoofdrapport gaat hier dieper op in. Vergeleken met een polder als de Zuidpolder van Delfgauw in het voorgaande hoofdstuk, is het uitgangspunt in deze polder gunstiger. De gunstiger condities bevinden zich echter niet in de hoofdwatergangen, maar in de haarvaten.

De verblijftijd in de hoofdwatergangen is ook een stuk lager (2-3 dagen, versus tot 25-30 dagen in de haarvaten). De hoofdwatergangen zijn daarom verblijftijd gestuurd, de haarvaten vaak proces gestuurd.

3.5 Bodemdiagnose

Onderstaand is het eerste diagnoseresultaat vanuit de bodemdiagnosetool gepresenteerd. Deze bevestigt de in voorgaande paragraaf geschetste analyse gedeeltelijk.

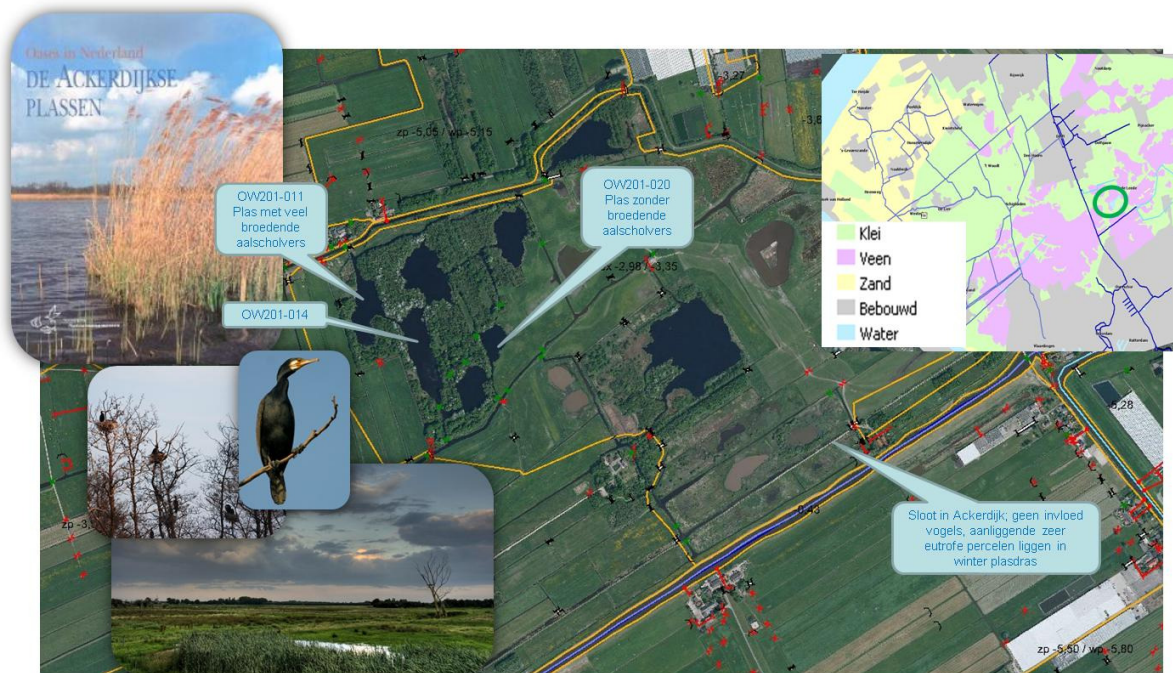
1e oordeel						
Slinksloot	Diagnose					
Potentie nalevering?	hoog					
doorzicht?	troebel					
Chlorofyl	hoog					
1e oordeel	BD voor nutriënten en zwevend stof					
Interne en externe P belasting		jaargemiddeld/totaal	K1	K2	K3	K4
Interne belasting (% van totale belasting)		53.2	32.5	62.7	62.3	47.2
Externe belasting (% van totale belasting)		46.8	67.5	37.3	37.7	52.8
Interne belasting (absoluut in g P/m ²)		6.77	0.6218	1.2539	3.0234	1.8664
Externe belasting (absoluut in g P/m ²)		6.0	1.3	0.7	1.8	2.1
Kritische belasting (absoluut in g P/m ²)		10.04				
Verblijftijd (dagen)		20.43	18.85	37.08	24.92	13.24
Maatregelen						
Maatregel	Zinvol?					
Contact nutriënten waterbodem en oppervlaktewater afsnijden	ja					
Externe belasting omlaag	ja					
Vergroten P-bindingscapaciteit	ja					
Bron weghalen (baggeren)	nee					
Opwerveling beperkende maatregelen	ja					
Beijzering	PM					
Reductie sulfaat / bicarbonaat	nee					

Het advies dat het afsnijden van contactmogelijkheid water en waterbodem zinvol is wordt niet gedeeld. Er is in de polder minder sprake van een zwaar opgeladen bodem, alswel een nalevering die gerelateerd is aan de afbraak van veen. Dit wordt in eerste instantie nader uitgewerkt in het lopende KRW onderzoek "S2b; de rol van het veen".

4 Water- en Stofbalansen Akerdijkse Plassen

4.1 Gebiedskarakteristiek

Akerdijkse plassen, een waterparel: Het gebied kent diverse kennisvragen, waaronder vragen op het gebied van de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten vanuit de waterbodem en het veen. Tegelijkertijd is het een uitstekend referentiegebied voor de mogelijkheden binnen Delfland en een kraamkamer voor flora en macrofauna voor de omliggende gebieden. Uitvoeren van het beoogde praktijkexperiment in het plassengebied vult een deel van de kennisvragen in dit gebied in.



Figuur 14: Waterlichaam

Het gebied is gelegen tussen Rotterdam en Delft. Het gebied is ontstaan tijdens de veenaftgravingen, hierdoor zijn de kreekruggen nog duidelijk herkenbaar in het gebied. Het zuidoosten kent meer klei in de ondergrond. In het verleden was het gebied in beheer bij de vogelbescherming Nederland, die maar één doelstelling had en haar beheer geheel had afgestemd op een zo groot mogelijke vogeldiversiteit. Toen natuurmonumenten het gebied overnam verschoof dit zwaartepunt een stuk naar 'algemener natuurbeheer', al blijft een optimale vogelstand wel het speerpunt van het gebied.

Rond 1998 is er samen met Delfland veel energie gestoken in het opnieuw uitdiepen van de plassen (deze waren bijna geheel verland), hydrologisch isoleren van het gebied en het verwijderen van witvis. Dit heeft geresulteerd in heldere plassen, geen meetbare concentraties gewasbeschermingsmiddelen, forse daling chloridegehalte, een forse groei van de macrofaunastand en een reductie van stikstof.

Ondanks dat er een aanzienlijke kwaliteitsverbetering heeft plaats gevonden zijn de nutriëntenconcentraties, vooral de fosforconcentraties, van dien aard dat elke modelberekening direct resulteert in een zeer algengedomineerd, troebel systeem, fosforconcentraties van 4 mg/l komen voor!

De ackerdijkse plassen herbergen een forse Aalscholkolonie, die zelfs zichtbaar is in google-maps als een witte zoom van afgestorven bomen rondom de plassen. Deze kolonie heeft een grote invloed op de plas. Zij zijn een vloek en een zegen. Niet alleen zijn zij een grote bron van belasting, maar ze zorgen er ook voor dat de aanwas van vis beperkt blijft, waardoor watervlooiën massaal voorkomen en voorkomen dat de plas vertroebelt.

In deze analyse zijn voornamelijk de plassen onderzocht. De sloten kennen een veel betere kwaliteit dan de plassen. In het KRW onderzoek "S2b; de rol van het veen" wordt nader ingegaan op gradienten in het systeem, en wordt ook onderzoek in de sloten in het gebied uitgevoerd.

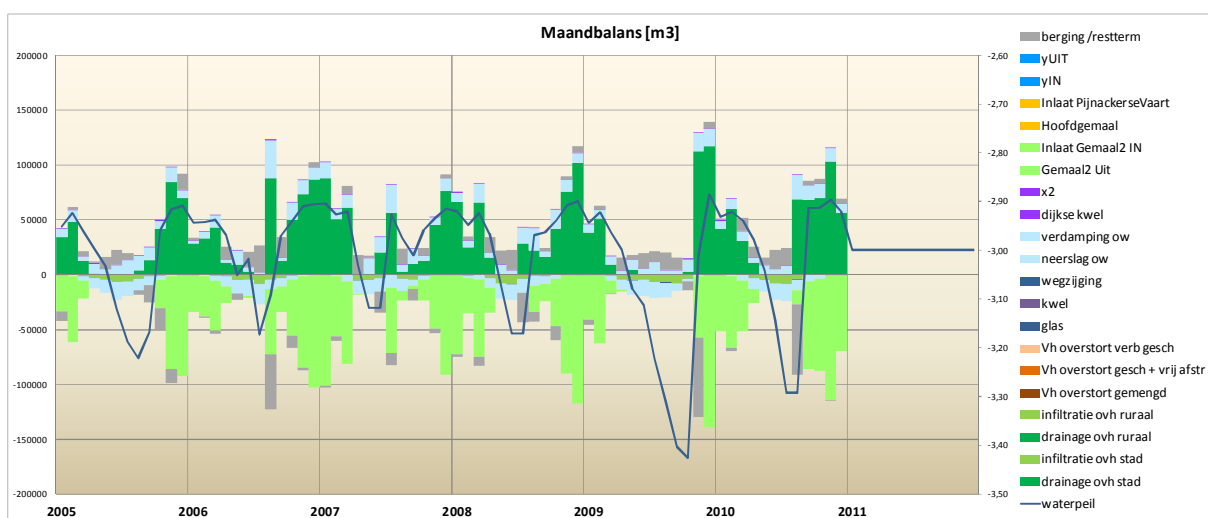
Tabel 6: Algemene gegevens

Gegeven	getal	eenheid
Oppervlaktewater	129600	m2
Oppervlak afwateringsgebied	1080000	m2
Aangrenzende percelen	950400	m2
Waterpeil	-3.00	mNAP
Gemiddelde diepte plas	0.9	m
Volume plas	116640	m3
Gemiddelde neerslag	834	mm
Gemiddelde wegzijging	-0.03	mm/dag
Bezoekers	1000	aantal/jaar
Inlaat	0	m3/jaar

4.2 Waterbalans

De waterbalans is opgesteld op basis van een in SOBEK berekende neerslag-afvoer dynamiek. De Ackerdijkse plassen is een hydrologisch geïsoleerd gebied, er is dan ook geen inlaat, het gebied wordt alleen gevoed met neerslag wat direct op het oppervlakte water valt of door drainage. Het overgrote deel van het water verlaat het gebied doormiddel van een uitlaat, de rest verdampt of verdwijnt doormiddel van infiltratie en wegzijging.

Van dit gebied zijn géén peilmetingen of maalstaten bekend, de waterbalans is dus alleen geverifieerd aan de hand van een beheerders check.



Figuur 15: Waterbalans

4.3 Quick Scan(+) Waterbodem en MIND Baggernut metingen

De QuickScan is bedoeld om snel een inschatting van de (chemische) naleveringspotentie van een waterbodem te kunnen maken op basis van eenvoudig meetbare parameters. De nalevering in de Akerdijkse plassen is gemeten door B-Ware / RUN in het kader van MIND BaggerNut. De in het laboratorium bepaalde flux bij hoog sulfide en lage alkaliniteit bedraagt 1.9 mgP/m².dag. Gecorrigeerd voor de watertemperatuur op kwartaalgemiddelde basis levert dat een naleveringsflux vanuit de waterbodem op zoals gepresenteerd in onderstaande tabel.

Tabel 7 Bodemflux

Flux in mgP/m ² .dag	Bodemflu x bij 15C	Kwartaal 1	Kwartaal 2	Kwartaal 3	Kwartaal 4
Gemid. watertemp. [C]		5	10	20	14
Flux MIND	1.9	0.9	1.4	2.5	1.8
Flux Quick Scan – bodem versgewicht	1.2	0.6	0.9	1.5	1.1
Flux Quick Scan – bodem versgewicht	1.6	0.8	1.2	2.1	1.6

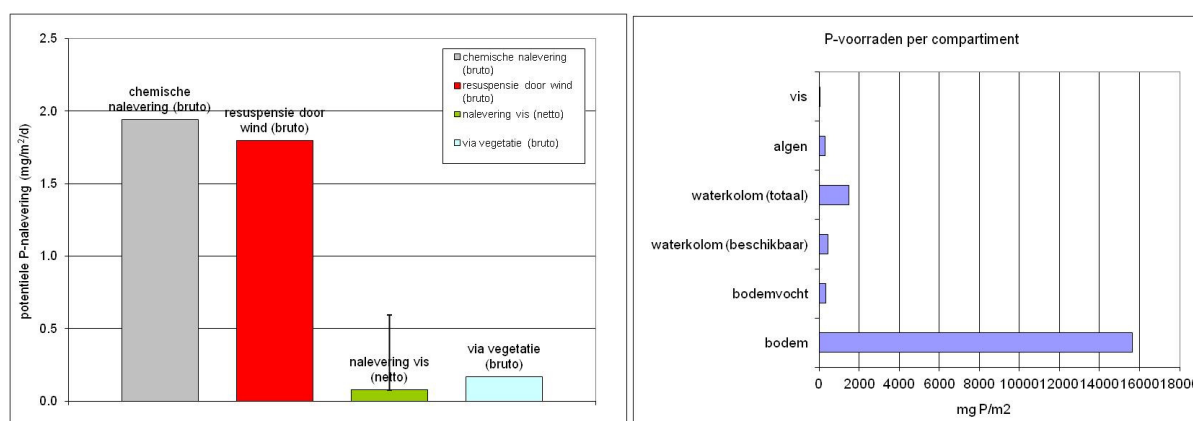
De naleveringsfluxen zijn ook bepaald op basis van de in BaggerNut kader ontwikkelde Quick Scan (op basis concentraties in het porievocht). In dit geval blijken de naleveringsfluxen vrijwel overeen te komen.

In 2011 heeft Delfland aanvullende metingen voor Quick Scan analyse laten verrichten in het gebied, met als hypothese te bemonsteren op locaties met een lage nalevering.

	Kwartaal 1	Kwartaal 2	Kwartaal 3	Kwartaal 4
Flux Quick Scan – ackerdijk extra – porievocht	5.7	2.6	4.2	7.2

De metingen geven een beeld van de heterogeniteit in de waterbodem van de polder. Duidelijk is in ieder geval dat de gekozen locatie een hogere chemische nalevering kent dan het gemiddelde van eerdere locaties.

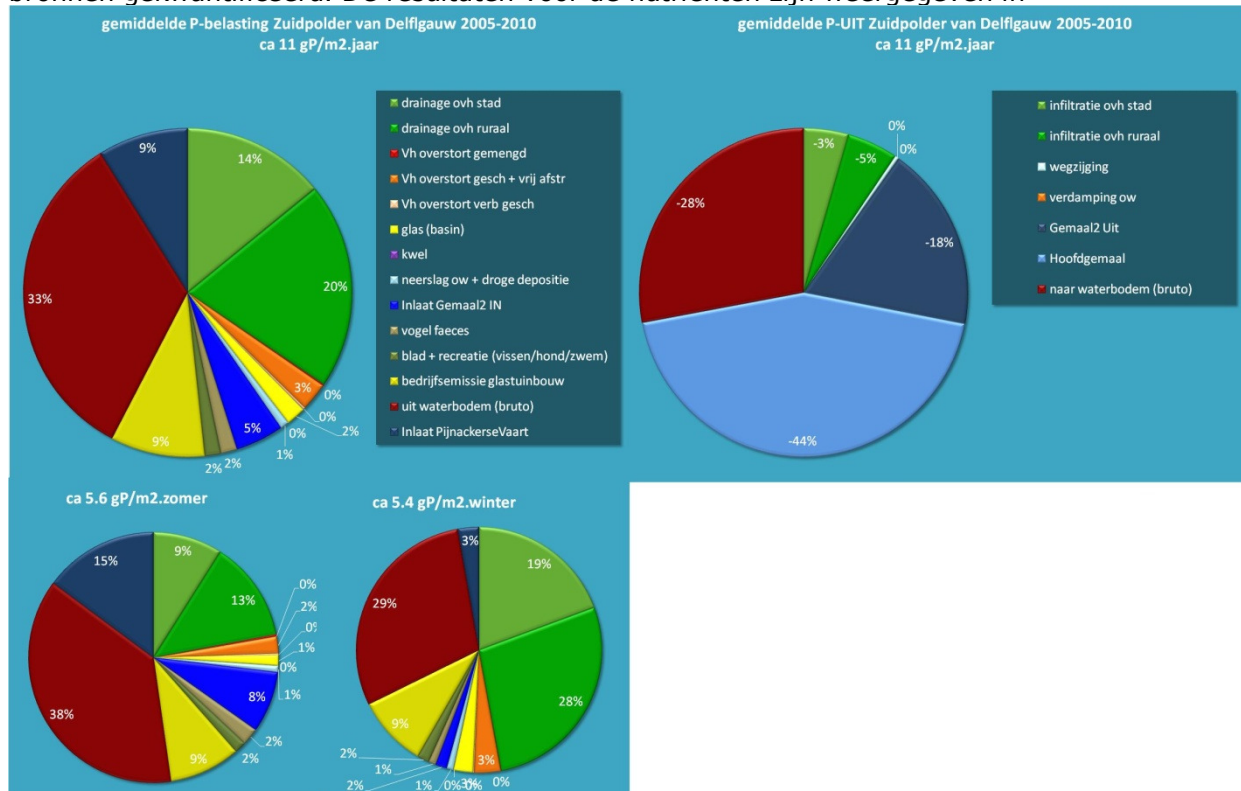
Met de QuickScan+ kan deze inschatting van de naleveringspotentie van de waterbodem worden vergeleken met andere relevante fluxen vanuit de waterbodem naar de waterkolom. Voor Akerdijk is het resultaat gepresenteerd in figuur 16. De potentiële naleveringsfluxen zijn zoveel mogelijk bruto weergegeven. Naast nalevering is er bijvoorbeeld ook een flux naar de waterbodem (vastlegging), resuspensie heeft als tegenpool sedimentatie. Deze fluxen zijn niet weergegeven omdat deze o.a afhankelijk van het watersysteem zijn. Gesteld kan worden dat de chemische naleveringsflux de dominante route is vanuit de waterbodem en dat de P voorraad in de bodem zeer hoog is. Naast chemische nalevering speelt ook windresuspensie ene belangrijke rol. Nalevering via vis en vegetatie is beperkt. Of deze nalevering ook van doorslaggevende invloed is op de bovenliggende waterkwaliteit blijkt uit de stoffenbalans / watersysteemanalyse, beschreven in de volgende paragraaf.



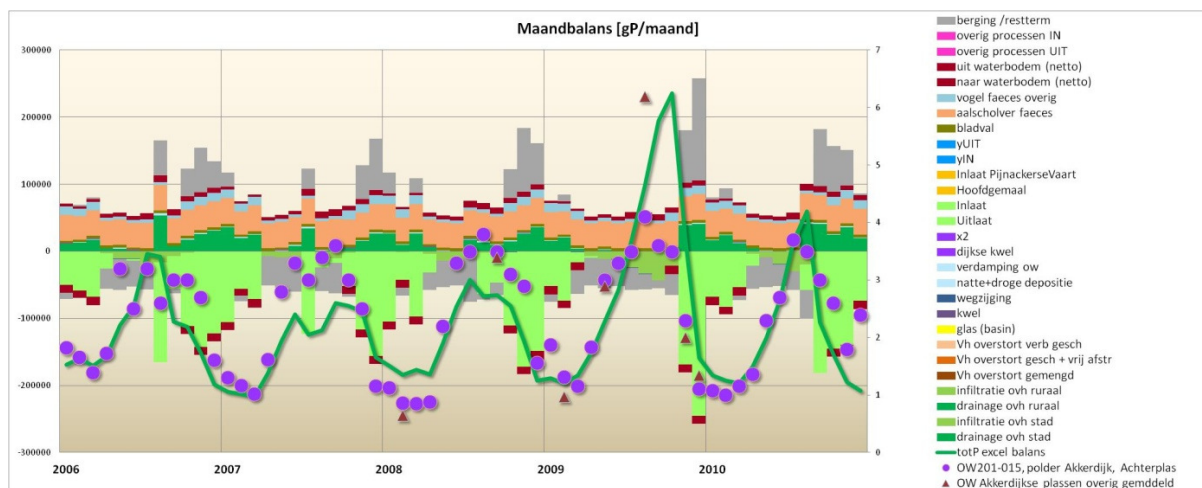
Figuur 16 Quick Scan + uitvoer biologische routes versus chemische routes (links) en de voorraden fosfor per compartiment (rechts)

4.4 Stofbalansen (N&P)

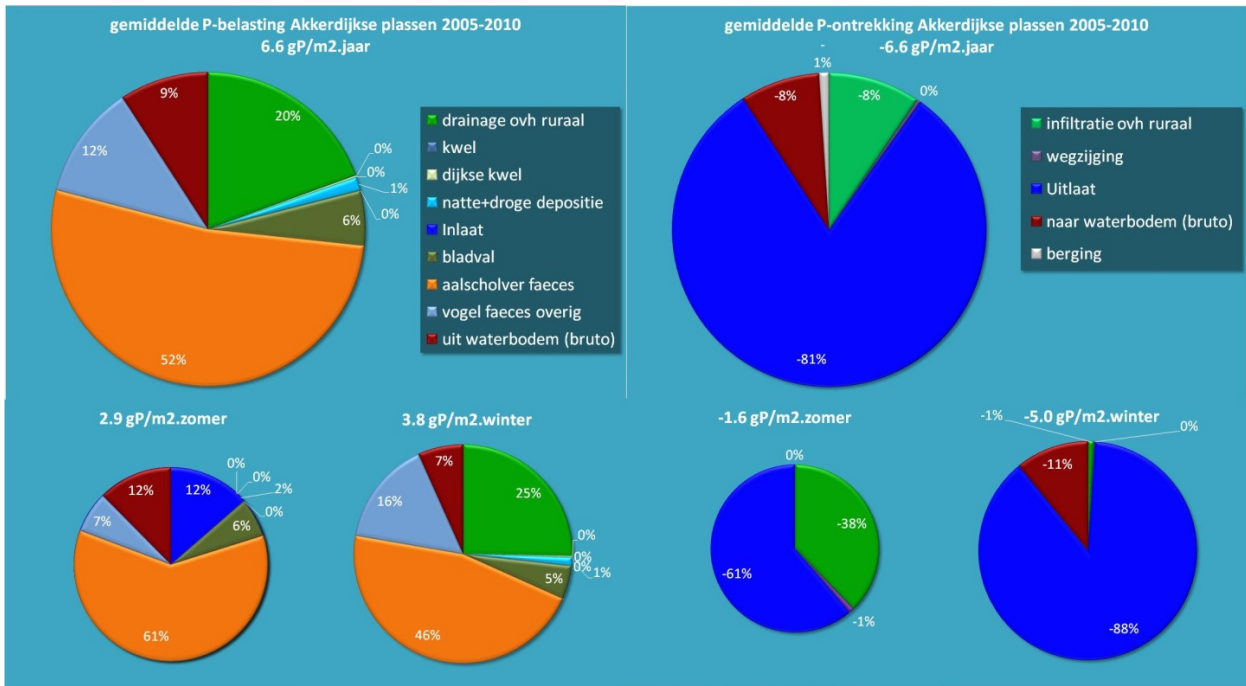
Potentiële bronnen zijn benoemd voor de Akkerdijkse plassen en met behulp van literatuurgegevens, gebruikersonderzoeken, beheerderkennis en onderzoeken zijn deze bronnen gekwantificeerd. De resultaten voor de nutriënten zijn weergegeven in



Figuur 4 t/m Figuur 6. Er is onderscheid gemaakt tussen het zomer- en winterseizoen. De stofbalansen zijn op dagbasis opgesteld. In de figuren is het geaggregeerde resultaat op seizoensbasis gepresenteerd.



Figuur 17: Fosforbalans

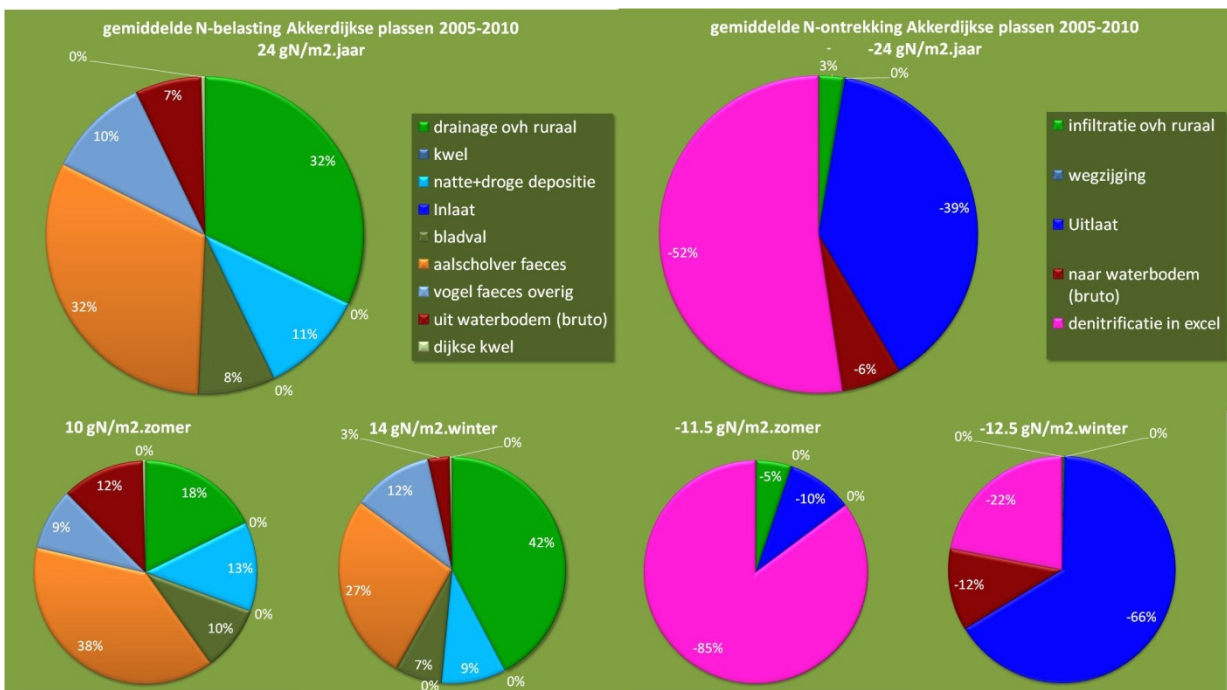


Figuur 18: Fosforbelasting

De belastinggrafieken met de relatieve fosforbelasting (figuur 18) laten opvallende dingen zien. Vooral het aandeel van de aalscholvers is opvallend groot. Daarnaast hebben de overige vogels een groot aandeel op de waterkwaliteit, niet zo vreemd als je weet dat het gebied een grote populatie eenden en ganzen kent.

Een andere grote belasting is de drainage van het achterland. Het gebied bestaat voornamelijk uit veen en klei, waardoor veel nutriënten mee genomen kunnen worden door drainage.

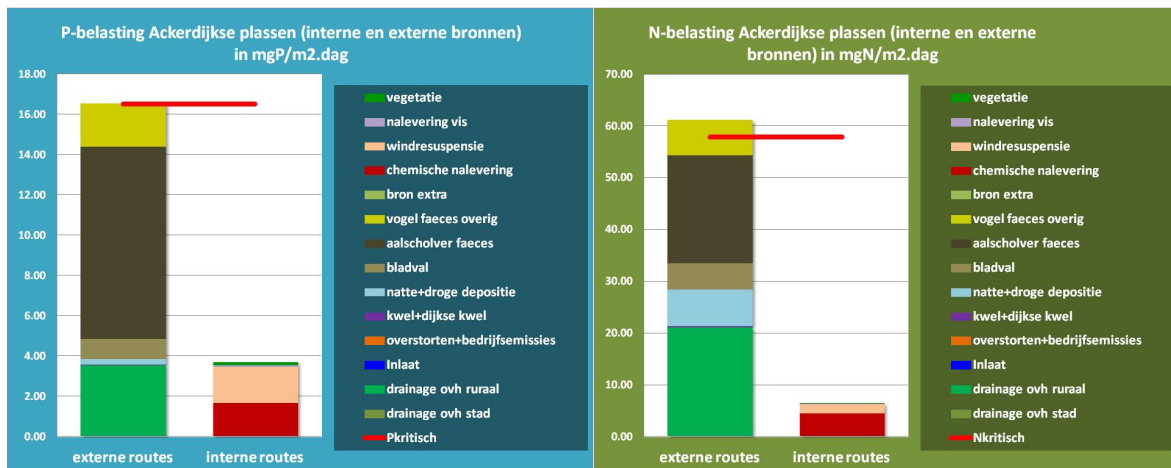
Een deel van de fosforvoorraad zinkt in de winter naar de bodem en verdwijnt via infiltratie weer terug in het achterland. Het grootste gedeelte wordt echter uitgemalen, indien het water in de plassen te hoog wordt.



Figuur 19: Stikstofbelasting

Stikstof komt op verschillende manieren in het systeem terecht. De grootste bronnen zijn drainage van het achterland en de aanwezige aalscholverkolonie. Neemt niet weg dat ook de overige (water)vogels een significant effect hebben op de waterkwaliteit. De plassen liggen in bebost terrein, takken en bladeren komen hierdoor in het water terecht. Daarnaast komt er ook een deel uit de lucht en uit de bodem. Het systeem wordt gelimiteerd door stikstof. Door denitrificatie verdwijnt nagenoeg bijna alle stikstof in de zomer. In de winter is dit aandeel lager, dan verdwijnt het voor een deel naar de bodem of wordt het uitgelaten.

In figuur 20 zijn de hierboven gepresenteerde belastingprofielen nogmaals gepresenteerd (maar nu ook inclusief de biologische routes). Hierbij is onderscheid gemaakt in interne en externe belastingen is de belasting tevens getoetst aan een met PCLake/PCDitch berekend theoretische kritisch niveau.



Figuur 20 Interne versus externe belasting versus kritische belasting (let op; eenheid in mgP/m2.dag in plaats van eerder gP/m2.jaar)

Op grond van deze analyse kunnen we constateren dat de bijdrage van de waterbodem aan de waterkwaliteit voor zowel P als N beperkt is. Daarnaast kunnen we stellen dat de totale externe belasting in de huidige situatie zo rond de kritische grens ligt. We moeten hierbij de belangrijke kanttekening maken dat de kritische grens is bepaald op plasniveau en dat het gebied ook kreken en sloten kent. De heterogeniteit en daarmee de diversiteit in het gebied is groot.

4.5 Bodemdiagnose

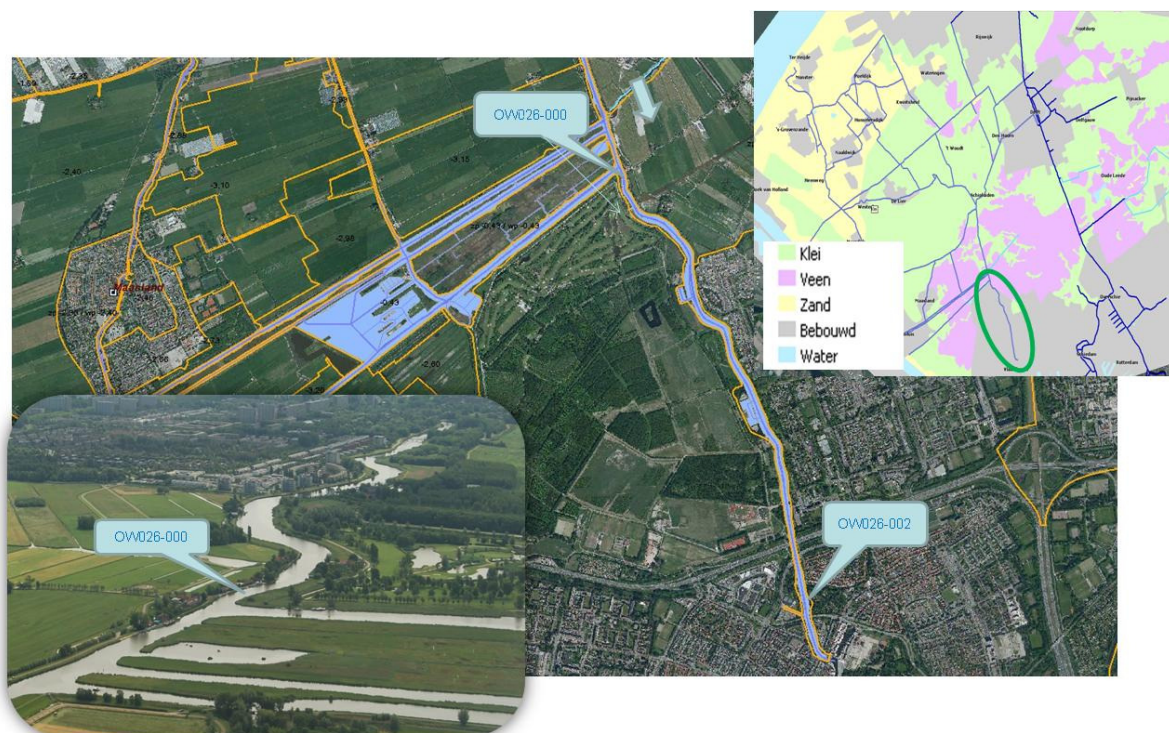
Onderstaand is het eerste diagnoseresultaat vanuit de bodemdiagnosetool gepresenteerd. Deze bevestigt de in voorgaande paragraaf geschetste analyse. Indien de waterkwaliteit gebiedsbreed moet verbeteren, dienen externe bronnen (vogelfaeces) als eerste gereduceerd te worden.

1e oordeel						
Akerdijkse plassen	Diagnose					
Potentie nalevering?	verwaarloosbaar					
doorzicht?	troebel					
Chlorofyl	hoog					
1e oordeel	Geen BD: waterbodem is niet de oorzaak eutrofiering					
Interne en externe P belasting		jaargemiddeld/totaal	K1	K2	K3	K4
Interne belasting (% van totale belasting)	8.1	4.3	9.3	12.6	7.2	
Externe belasting (% van totale belasting)	91.9	95.7	90.7	87.4	92.8	
Interne belasting (absoluut in g P/m2)	0.53	0.08	0.11	0.20	0.14	
Externe belasting (absoluut in g P/m2)	6.0	1.7	1.1	1.4	1.8	
Kritische belasting (absoluut in g P/m2)	5.84					
Verblijftijd (dagen)	80.02	66.67	314.48	104.24	45.11	
Maatregelen						
Maatregel	Zinvol?					
Contact nutriënten waterbodem en oppervlaktewater afsnijden	nee					
Externe belasting omlaag	ja					
Vergroten P-bindingscapaciteit	nee					
Bron weghalen (baggeren)	nee					
Opwerveling beperkende maatregelen	ja					
Beijzering	PM					
Reductie sulfaat / bicarbonaat	nee					

5 Water- en Stofbalansen Vlaardingervaart

5.1 Gebiedskarakteristiek

De Vlaardingervaart in Midden Delfland was in het verleden een belangrijk aan- en afvoerkanaal van het Hoogheemraadschap. Vooral bij afvoer van water kwam hier voedselrijk water vanuit het glastuinbouwgebied doorheen. Nu wordt deze (intussen overgedimensioneerde) watergang voornamelijk gebruikt voor recreatievaart. De verblijftijd is er voor 'boezembegrippen' vrij hoog. Er zijn hier kansen om een deel van de KRW-opgave (aanleg van 90 ha natuurvriendelijke oever) te realiseren. Momenteel is de begroeiing vrij spaarzaam, alleen ter hoogte van de Vlietlanden van Natuurmonumenten zijn er de nodige planten te vinden. De Vlaardingervaart is een representant van een watergang met een organische waterbodem, nabij veenweide gebieden. In het kader van BaggerNut wordt onderzocht in hoeverre interne eutrofiering de waterkwaliteit beïnvloedt en eventueel een belemmering vormt voor succesvol invullen van de KRW opgave in deze vaart.



Figuur 21: Waterlichaam

Tabel 8: Algemene gegevens

Gegeven	getal	eenheid
Oppervlaktewater	20.2	hectare
Oppervlak afwateringsgebied	20.2	hectare
Onverhard gebied	0	hectare
Verhard gebied	0	hectare
Glastuinbouw	0	hectare
Waterpeil (boezemwater)	-0.43	mNAP
Gemiddelde diepte	1.6	m
Gemiddelde neerslag	834	mm
Gemiddelde wegzijging	-0.08	mm/dag

5.2 Waterbalans

De waterbalans is opgesteld op basis van een in SOBEK berekende neerslag-afvoer dynamiek voor de periode 2005-2006. De gemiddelde balans is gepresenteerd in tabel 6.

Tabel 9: Oppervlaktewaterbalans (gemiddelde 2005-2010)

IN	mm/jaar		UIT	mm/jaar	
Drainage	218 (1%)	z: 83 (1%) w: 135 (0%)	Infiltratie	-16 (-0%)	z: -15 (-0%) w: -1 (-0%)
Inlaat vanuit Vlaardinger Holier	6744 (28%)	z: 1624 (17%) w: 5120 (35%)	Inlaat naar Vlaardinger Holier	-831 (-3%)	z: -650 (-7%) w: -181 (-1%)
Inlaat vanuit Broekpolder	14499 (60%)	z: 6148 (65%) w: 8364 (57%)	Inlaat naar Broekpolder	-2534 (-11%)	z: -1982 (-11%) w: -553 (-4%)
Open uitwisseling boezem	989 (4%)	z: 789 (8%) w: 200 (1%)	Open uitwisseling boezem	-19915 (-83%)	z: -6159 (-65%) w: -13775 (-95%)
Neerslag open water	949 (4%)	z: 463 (5%) w: 488 (3%)	Verdamping open water	-676 (-3%)	z: -582 (-6%) w: -94 (-1%)
Kwel	0 (0%)	z: 0 (0%) w: 0 (0%)	Wegzijing	-30 (-0%)	z: -15 (-0%) w: -15 (-0%)
Schut- en lekverliezen	547 (2%)	z: 310 (3%) w: 237 (2%)	Gemaal Vl. driesluizen	xx	Xx
Overstort, afspoelen verhard & glas	50 (0%)	z: 20 (0%) w: 30 (0%)			
Restterm/berging				- (-%)	

Opmerking: De maalstaten van gemaal Vlaardingerdriesluizen zitten niet goed in de modelberekening die ten grondslag ligt aan de opgestelde balans. Deze (beperkte) afvoer dient t.z.t. gecorrigeerd te worden bij de post "open uitwisseling boezem uit".

De oppervlaktewaterbalans op jaarbasis geeft geen inzicht in de temporele variatie en spatiele variatie in de meer dan 4 kilometer lange Vlaardingervaart. Vooral in het winterhalfjaar is er sprake van afvoer van overtollig water richting gemaal Zaaier (uitwisseling met open boezemeind is -95%). Dit overtollig water is afvoer van neerslagoverschot uit de Broekpolder en polder Vlaardinger-Holier. Deze afvoeren zijn gegenereerd met het neerslag-afvoermodel en niet gevalideerd. De Broekpolder is vrij afwaterend gebied en van het gemaal Vlaardinger-Holier zijn (nog) geen bruikbare maalgegevens beschikbaar.

Er doet zich vooral in het zomerhalfjaar ook onttrekking van water uit de Vlaardingervaart voor door beide polders. De onttrekkingen vanuit de Vlaardingervaart en de lozingen er op zitten vooral in de noordelijke 2-3 kilometer van de vaart. Het zuidelijker deel is met uitzondering van aanvoer van schut en lekverliezen en beperkte inzet van het gemaaltje, als "hydrologisch rustiger" te kwalificeren. Tijdens veldbezoek was het water er ook helderder, dan het troebele noordelijke traject.

De verblijftijd van water in de Vlaardingervaart heeft een mediane waarde van circa 27 dagen, overeenkomend met een afvoer van 56 mm/dag (verblijftijd 10percentiel: 9 dagen, 90 percentiel 53 dagen). In de zomermaanden vinden we de langere verblijftijden, waardoor processen als denitrificatie van stikstof en interactie met de waterbodem van invloed kunnen zijn voor de waterkwaliteit.

5.3 Quick Scan(+) Waterbodem en MIND Baggernut metingen

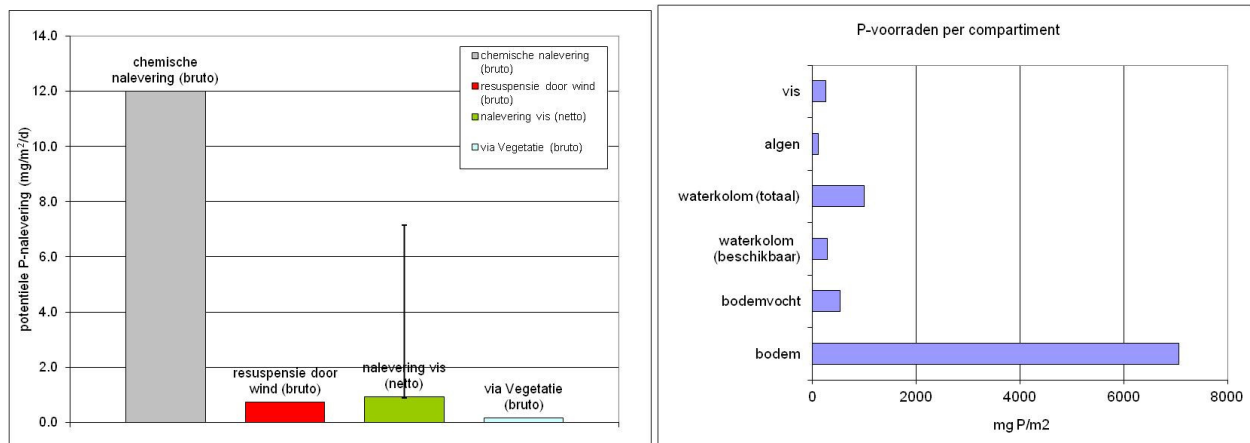
De QuickScan is bedoeld om snel een inschatting van de (chemische) naleveringspotentie van een waterbodem te kunnen maken op basis van eenvoudig meetbare parameters. De nalevering in de Vlaardingervaart is gemeten door B-Ware / RUN in het kader van MIND BaggerNut. De in het laboratorium bepaalde flux bij hoog sulfide en lage alkaliniteit bedraagt 12 mgP/m².dag. Gecorrigeerd voor de watertemperatuur op kwartaalgemiddelde basis levert dat een naleveringsflux vanuit de waterbodem op zoals gepresenteerd in onderstaande tabel.

Tabel 10 Bodemflux

Flux in mgP/m ² .dag	Bodemflu x bij 15C	Kwartaal 1	Kwartaal 2	Kwartaal 3	Kwartaal 4
Gemid. watertemp. [C]		5	10	20	14
Flux MIND [mgP/m ² .dag]	12	5.6	8.8	15.3	11.4
Flux Quick Scan – porievocht	7.6	3.5	5.6	9.7	7.2
Flux Quick Scan – waterbodem	5.1	2.4	3.8	6.6	4.9

De naleveringsfluxen zijn ook bepaald op basis van de in BaggerNut kader ontwikkelde Quick Scan (op basis concentraties in het porievocht). In dit geval blijken de naleveringsfluxen bepaald op basis van de MIND experimenten flink hoger te liggen dan op basis van de quick scan. Dit is conform de verwachting, aangezien de MIND meting in de vaart ten behoeve van de database waaruit de correlaties voor de quick scan zijn afgeleid ook ruim hoger uitvalt.

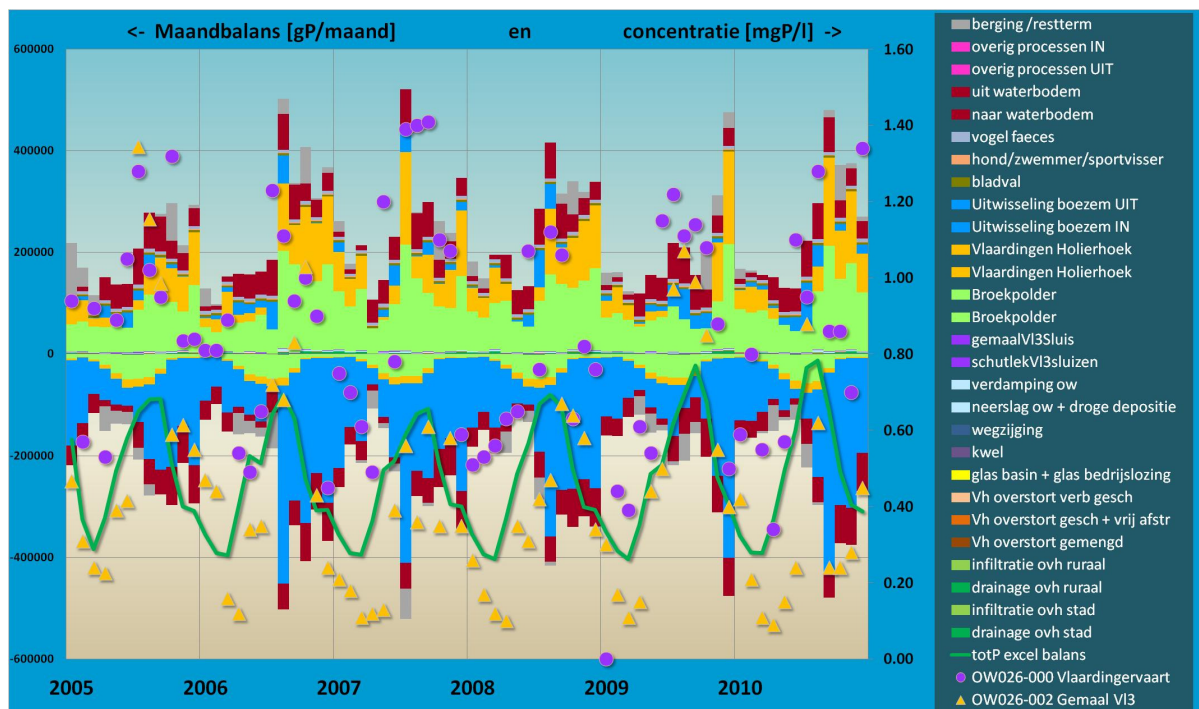
Met de QuickScan+ kan deze inschatting van de naleveringspotentie van de waterbodem worden vergeleken met andere relevante fluxen vanuit de waterbodem naar de waterkolom. Voor de Vlaardingervaart is het resultaat gepresenteerd in figuur 22. De potentiële naleveringsfluxen zijn zoveel mogelijk bruto weergegeven. Gesteld kan worden dat de chemische naleveringsflux de dominante route is vanuit de waterbodem en dat de P voorraad in de bodem zeer hoog is. Naast chemische nalevering speelt in de Vlaardingervaart ook de route via vis een belangrijke rol. Of deze nalevering ook van doorslaggevende invloed is op de bovenliggende waterkwaliteit blijkt uit de stoffenbalans / watersysteemanalyse, beschreven in de volgende paragraaf.



Figuur 22 Quick Scan + uitvoer biologische routes versus chemische routes (links) en de voorraden fosfor per compartiment (rechts)

5.4 Stofbalansen (N&P)

In figuur 23 is de fosforbalans voor het onderzoeksgebied gepresenteerd. In de figuur ook de gemiddelde indicatieve resulterende P-concentratie in de vaart op basis van een excel balans gepresenteerd ten opzichte van meetwaarden op twee locaties in de vlaardingervaart; een in de buurt van het gemaal vlaardingerdriesluizen en de ander nabij het splitsingspunt met de Boonervliet. De balans is opgesteld voor het gemiddelde watervolume in de vaart. De op basis hiervan berekende indicatie P-concentratie vertoont dezelfde seizoensdynamiek als de metingen en "beweegt zich" aardig tussen de meetresultaten in. De metingen duiden op een forse gradiënt over de lengte-as van de Vaart. Een gradiënt die ook in het veld wordt waargenomen, bijvoorbeeld in waterbodemsamenstelling, in vegetatie en in helderheid. De waterbodem wordt slibrijker richting midden-delfland, is vaker sulfide toxisch richting midden delfland, is troebeler en vegetatiearmer.

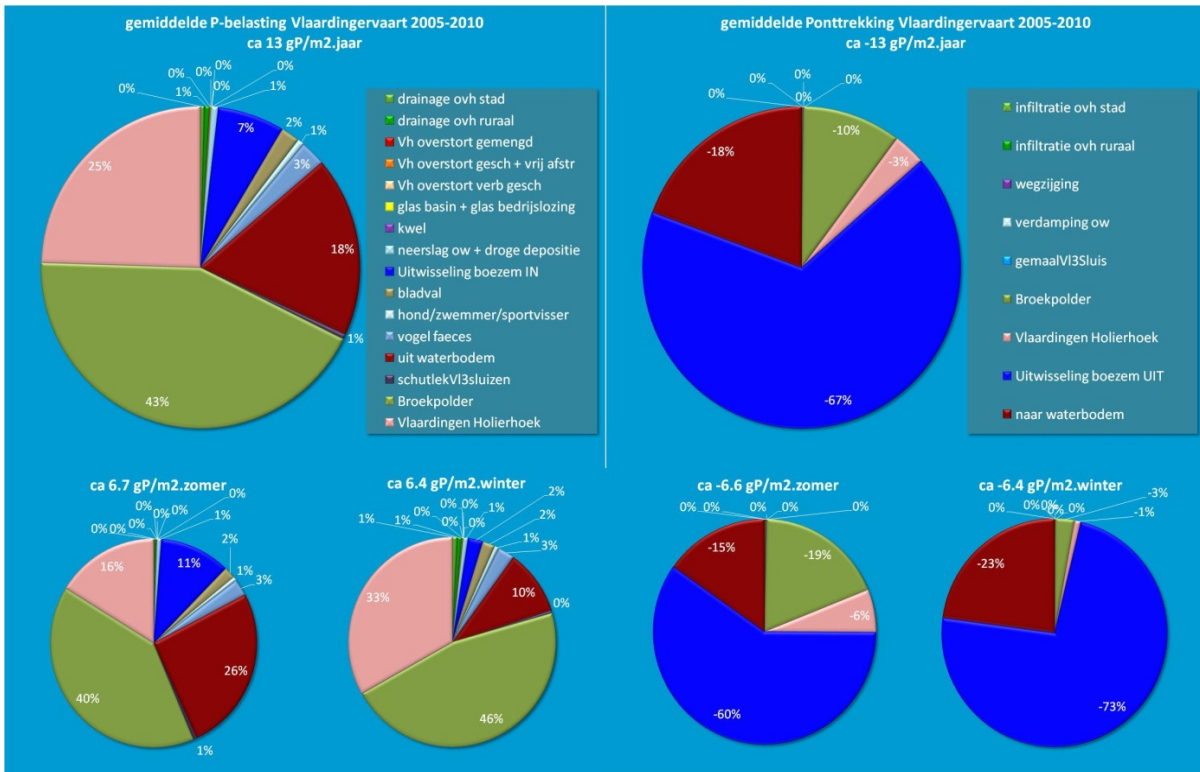


Figuur 23: Fosforbalans

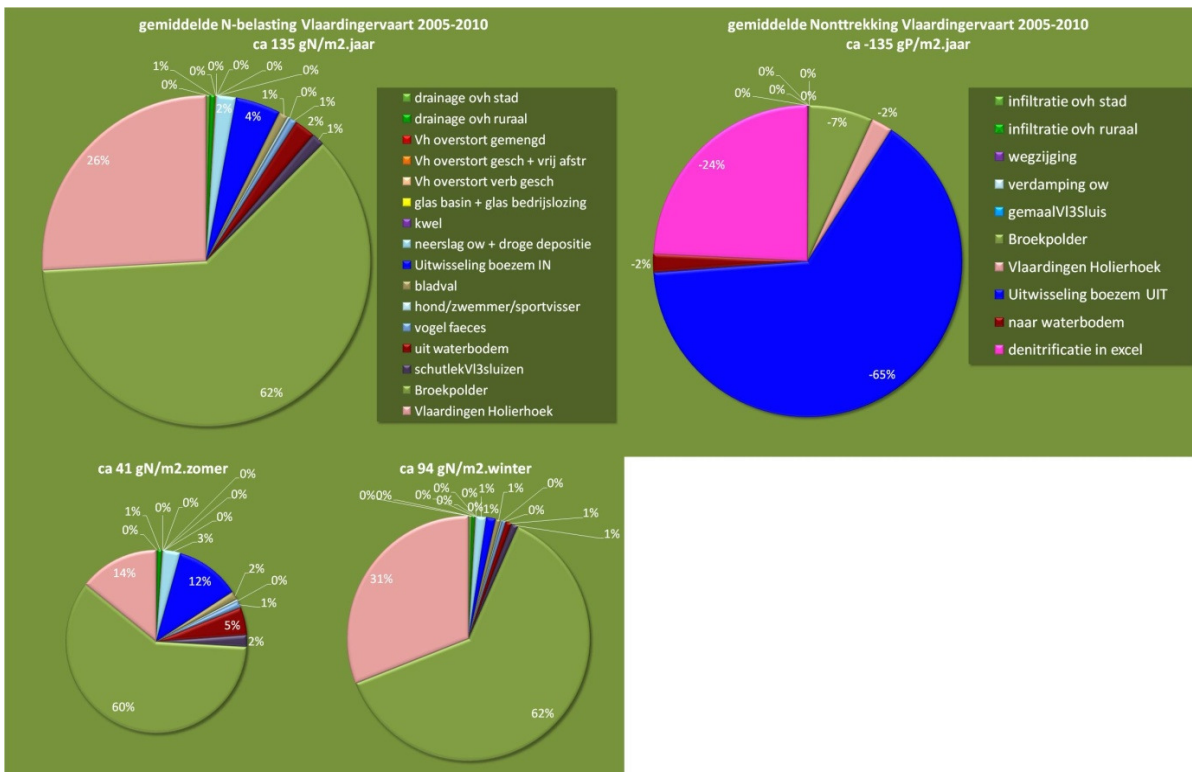
De belangrijkste vracht naar het oppervlaktewater in de vaart is afkomstig van beide erop afwaterende polders, de Broekpolder en polder Vlaardinger-Holierhoek. Daarnaast is de nalevering vanuit de waterbodem van invloed. In de huidige situatie worden P-concentratie niveaus van maximaal 0.80 mgP/l berekend (gemeten 0.7-1.4). Indien we de invloed van de waterbodem zouden wegdenken en de rest ongewijzigd blijft resulteren maxima tot circa 0.6 mgP/l.

De belangrijkste uitposten betreffen afvoer richting gemaal Zaaijer en baggeraanwas. De interactie met de polders bestaat voor het grootste gedeelte uit neerslag afvoer en doorspoelen. De uitposten hiervan komen na doorspoelen van het polderwater weer terug op de vaart, verrijkt of geschoond met datgene wat zich in de polders afspeelt.

De emissiebalans voor P op jaarbasis en op winter- en zomerhalfjaarbasis is gepresenteerd in figuur 24. De emissiebalans voor Stikstof is gepresenteerd in figuur 25. Ten opzichte van fosfor constateren we dat de nalevering vanuit de waterbodem een relatief geringe rol speelt en dat circa een kwart van alle N in het gebied verdwijnt door processen als denitrificatie.

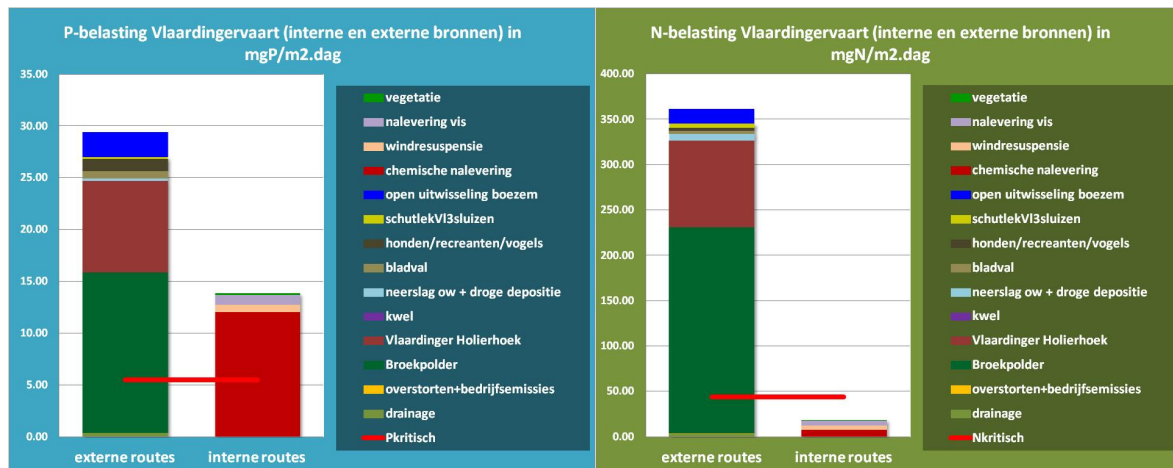


Figuur 24: Fosforbelasting



Figuur 25: Stikstofbelasting

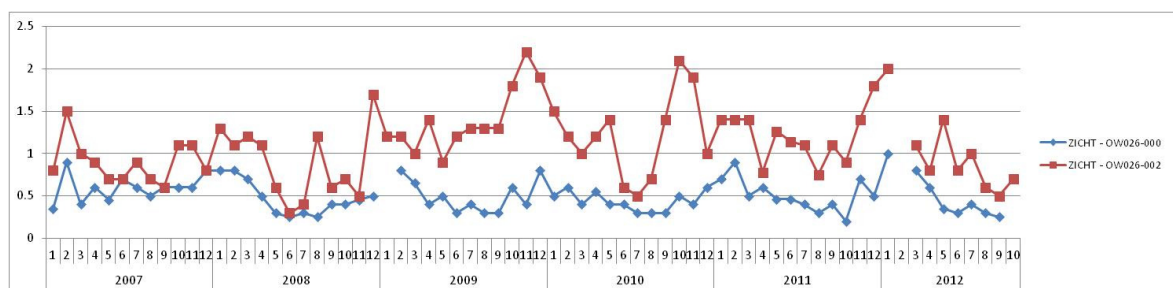
In figuur 26 zijn de hierboven gepresenteerde belastingprofielen nogmaals gepresenteerd (maar nu ook inclusief de biologische routes). Hierbij is onderscheid gemaakt in interne en externe belastingen is de belasting tevens getoetst aan een met PCLake/PCDitch berekend theoretische kritisch niveau.



Figuur 26 Interne versus externe belasting versus kritische belasting (let op; eenheid in mg/m².dag in plaats van eerder g/m².jaar)

Op grond van deze analyse kunnen we constateren dat de bijdrage van de waterbodem aan de waterkwaliteit voor P relevant, maar voor N beperkt is. Daarnaast kunnen we stellen dat de totale externe belasting in de huidige situatie ver boven de kritische grens ligt. De externe belasting wordt vooral bepaald door in/uitlaat vanuit de polders Vlaardinger Holierhoek en Broekpolder. Dit betreft in feite een vorm van "rondpompen", dan wel netto afvoer van overschot. Dit houdt in dat het deel van de Vlaardingervaart buiten de invloedzone van in en uitlaten van en naar deze polders waarschijnlijk gunstiger condities kent, mogelijk een belastingprofiel beneden de daar geldende kritische grens.

Tijdens het veldbezoek waren hier ook aanwijzingen voor. Het water in Vlaardingen zelf, nabij de sluisen, is een stuk helderder, dan richting Midden Delfland. Hoe deze gradiënt precies ligt valt nog nader te onderzoeken. In figuur 27 is het gemeten doorzicht op beide meetpunten in de vaart gepresenteerd. Duidelijk is de toename in doorzicht op het punt nabij de sluisen sinds 2008, (niet) toevallig het jaar waarop het oude gemaal buiten werking is gesteld. Sinds dat kalenderjaar is er een doorzicht boven een meter waargenomen, bodemzicht in grote delen, waardoor kansen voor gezonde waterbodemvegetatie. Aan het andere einde van de vaart schommelt het doorzicht rond de halve meter. Met een gemiddelde diepte van 1,6 meter, betekent dit dat er geen licht tot de waterbodem doordringt. Dus los van voorkomende sulfide toxiciteit in delen van de vaart is doorzicht een andere belemmerende factor voor de ontwikkeling van watergebonden vegetatie.



Figuur 27 Doorzicht in de Vlaardingervaart

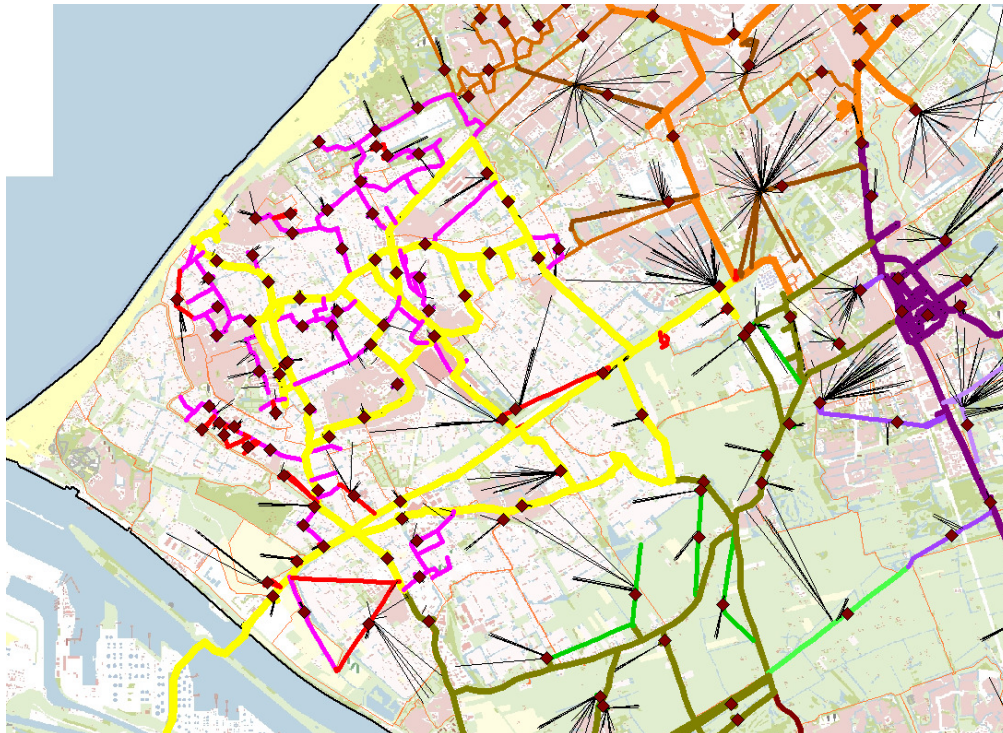
5.5 Bodemdiagnose

De externe belasting is dermate hoog dat het uitvoeren van een bodemdiagnose met het bodemdiagnosetool nog niet erg zinvol is. De uitkomst staat al bij voorbaat vast, namelijk dat de externe belasting gereduceerd dient te worden.

6 Balansen Haarvaten Westland

6.1 Gebiedskarakteristiek

Binnen het Westland zijn er een aardige hoeveelheid boezemwatergangen die niet zijn aangemerkt als waterlichaam. Deze zogenaamde haarvaten staan echter wel in direct contact met de waterlichamen.



Figuur 28: Water in het Westland (in roze de haarvaten van het Westland, in geel de watergangen die als KRW Waterlichaam zijn bestempeld en in rood polderwater in het Westland) (bron: sobek boezemmodel Delfland).

Omdat de verblijftijd in de boezem vrij gering is, maar de verblijftijd van de vaak doodlopende haarvaten aanzienlijk groter is de verwachting dat interne eutrofiering een belangrijke invloed zal hebben op de waterkwaliteit. Daarnaast is de externe belasting vanuit de glastuinbouwsector weliswaar aanzienlijk afgenomen, hij is nog steeds hoog, waardoor de bodem naar alle waarschijnlijkheid flink opgeladen zal zijn met fosfor. De mate waarin de waterbodem is opgeladen en nalvering plaatsvindt is niet bekend. Maar nu wel in het kader van Baggernut gekwantificeerd in een aantal karakteristiek geachte haarvaten. In de komende jaren zal de externe belasting vanuit de glastuinbouw als gevolg van aansluiten van de bedrijfsemisies vanuit de sector op het riool fors afnemen. De vraag is in hoeverre de (opgeladen) waterbodem dan waterkwaliteitsverbetering beperkt, en indien dit zo is, welke maatregelen het beste genomen kunnen worden.

Tabel 11: Algemene gegevens

Gegeven	Westland waterlichaam	Westland Haarvat	Eenheid
Oppervlaktewater	1.400.000	1.278.000	m2
Waterpeil	-0.43	-0.43	mNAP
Gemiddelde diepte	1.12	0.83	M
Volume	1.570.000	1.060.000	m3
Leeftijd water – winter	25-65	20 - 40	dagen
– zomer	25-50	45 - 65	dagen
Leeftijd water Brielse meer - winter	150-330	150-350	Dagen
– zomer	10-30	ca 30	dagen

Leeftijden bepaald met behulp van sobek boezemmodel van Delfland in het KRW onderzoeksproject "S4; sturen met water".

De leeftijd van het water in de haarvaten neemt toe in de zomer tot zo'n dag of 50 gemiddeld. Er is wel sprake van een verversing van het water door water uit het Brielse meer (of aanvulling van watertekort/watervraag). De verversing is niet zo snel als in het waterlichaam van de Westboezem/Westland zelf. Gemiddeld is de leeftijd van het Brielse meer water er 2 keer hoger. De leeftijd van het water geeft dit ook aan. Met een zomerverblijftijd/leeftijd van 45-65 dagen in de haarvaten van het Westland kan gesteld worden dat bij nalevering vanuit de waterbodem deze van invloed zal zijn op de bovenliggende waterkwaliteit.

6.2 Quick Scan(+) Waterbodem en MIND Baggernut metingen

De QuickScan is bedoeld om snel een inschatting van de (chemische) naleveringspotentie van een waterbodem te kunnen maken op basis van eenvoudige meetbare parameters. De nalevering in de haarvaten van het Westland is op een vijftal locaties gemeten door B-Ware / RUN in het kader van MIND BaggerNut. De in het laboratorium bepaalde flux bij hoog sulfide en hoge alkaliniteit bedraagt circa 60 mgP/m².dag. Ter referentie, de hoogste nalevering die in ander onderzoek voor Baggernut ooit gemeten is in veenplassen bedraagt maximaal 4,5 mgP/m².dag. Gecorrigeerd voor de watertemperatuur op kwartaalgemiddelde basis levert dat een naleveringsflux vanuit de waterbodem op zoals gepresenteerd in onderstaande tabel.

Tabel 12 Bodemflux

Flux in mgP/m ² .dag	Bodemflu x bij 15C	Kwartaal 1	Kwartaal 2	Kwartaal 3	Kwartaal 4
Gemid. watertemp. [C]		5	10	20	14
Flux MIND S hoog	60	27	44	77	57
Flux MIND S laag	30	14	22	38	29
Flux Quick Scan [mgP/m ² .dag] – waterbodem	27	13	20	35	26
Flux Quick Scan [mgP/m ² .dag] – porievocht	7.2	3.3	5.3	9.2	6.9

De naleveringsfluxen zijn ook bepaald op basis van de in BaggerNut kader ontwikkelde Quick Scan (op basis concentraties in het porievocht). In dit geval blijken de naleveringsfluxen bepaald op basis van de MIND experimenten flink hoger te liggen dan op basis van de quick scan op basis van porievocht concentraties. De Quick Scan uitvoer op basis van waterbodemgehalten genereert de opmerking "mogelijke overschatting", maar desalniettemin valt ook deze nalevering lager uit dan de in MIND gemeten nalevering. We zitten hier aan de grens het toepassingsbereik van de Quick Scan. Dat de chemische nalevering in het Westland exceptioneel is, is een conclusie die buiten kijf staat. De waterbodem kent een zeer grote voorraad P, die tegelijkertijd relatief zwak gebonden is en daarmee zeer hoog mobiel. Dit is de verklaring voor de hoge gevonden naleveringsfluxen in het Westland. Dit is op zich een gunstige uitgangssituatie. Op relatief korte termijn na elimineren van grote externe bronnen zal zich een nieuw evenwicht instellen. De nalevering verloopt ook nog eens sneller indien het bovenstaande water verversd wordt op de manier hoe wij dat nu al doen, namelijk met Brielse Meer water. Er is op dit moment echter nog geen inschatting gegeven van deze termijn.

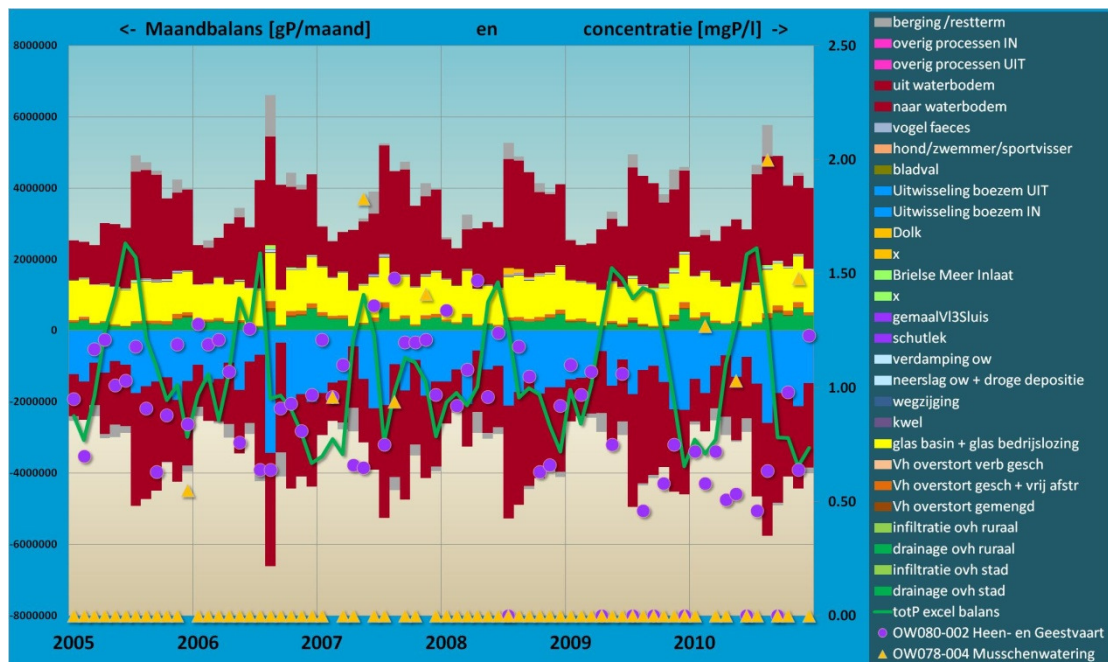
Wat opvalt in de MIND meetresultaten is dat de spreiding in gemeten nalevering relatief klein is, terwijl er op een viertal geografisch relatief ver van elkaar liggende verschillende haarvaten in het Westland bemonsterd is. Op grond hiervan mag voorzichtig geconcludeerd worden dat extreem hoge chemische nalevering vanuit de waterbodem een wijd verspreid fenomeen is in het Westland.

Met de QuickScan+ is de inschatting van de naleveringspotentie van de waterbodem vergeleken met andere relevante fluxen vanuit de waterbodem naar de waterkolom. De chemische naleveringsflux is de dominante route vanuit de waterbodem, de P voorraad in de bodem is uitzonderlijk hoog (>50.000 mgP/m²). Nalevering via fysisch biologische routes vallen geheel in het niet bij de chemische.

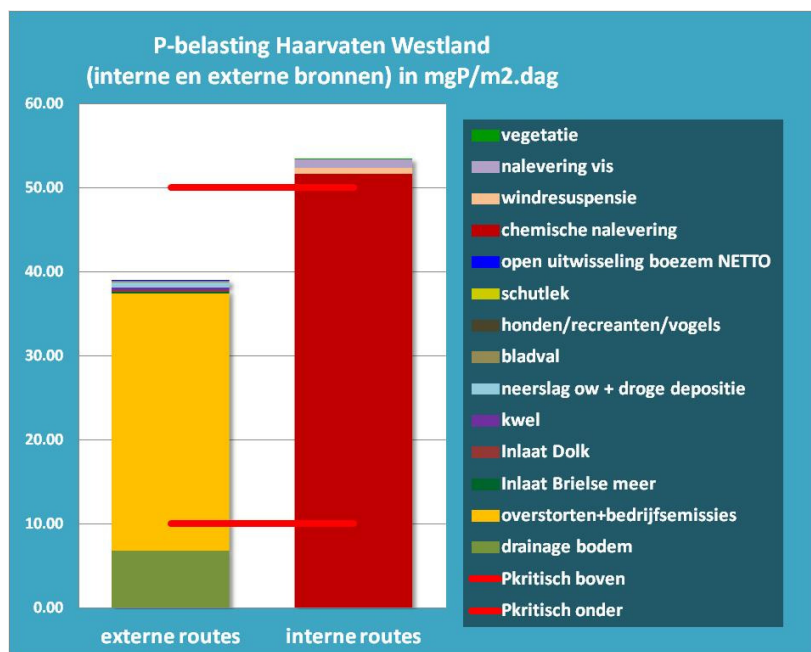
6.3 Stofbalansen (N&P)

De heterogeniteit binnen de haarvaten in het Westland is zeer groot. Er zijn goed doorspoelde haarvaten tot en met geïsoleerde doodlopende takken. Vanuit het uitgangspunt dat de geografisch gespreid genomen monsters waarmee de interne vracht is bepaald representatief zijn is gepoogd

een "Haarvat gemiddeld gewogen indicatieve stofbalans" op te stellen. Het resultaat is gepresenteerd in de figuren 29 tot en met 31.



Figuur 29: Fosforbelasting (opmerking: de post uitwisseling boezemwater IN/UIT is gepresenteerd als NETTO post; aan de ene kant is het te complex om de individuele uitwisselingen uit het boezemmodel te destilleren aan de andere zou dan de hydraulische vracht de balans domineren)

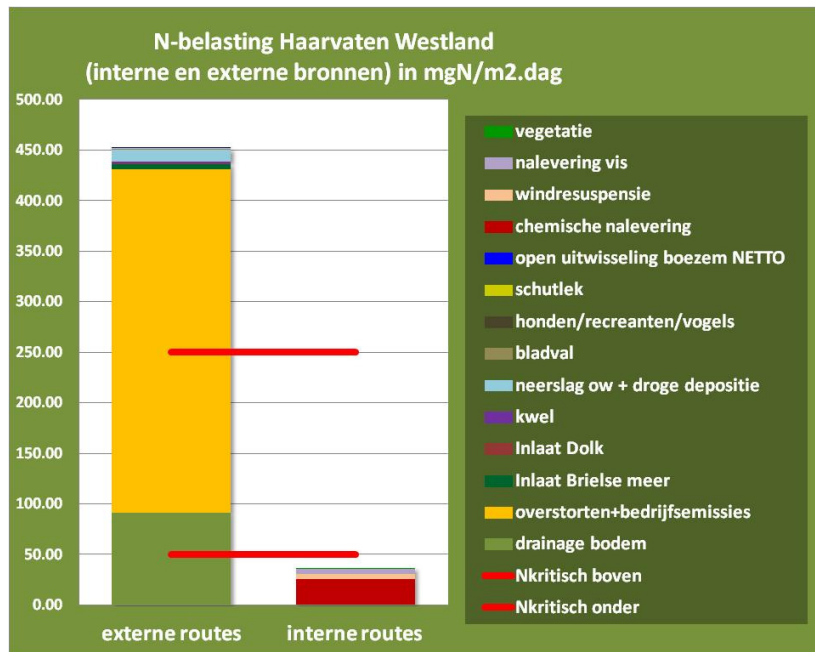


Figuur 30: Fosforbelasting versus kritische belasting

De interne belasting in de haarvaten voor P blijkt hoger te zijn dan de externe belasting. De dominante externe historische belasting is gerelateerd aan de glastuinbouwsector. Deze vracht zal substantieel gereduceerd worden als gevolg van aansluiting van de bedrijfstak op het riool. De eerste tekenen van succes hiervan zijn al zichtbaar indien er in meer detail naar de verschillende jaren gekeken wordt. De afwijking tussen berekende en gemeten stofgehalten neemt toe. Echter de interne belasting is dusdanig hoog dat het effect van aansluiting van de glastuinbouw op het

riool beperkt is zolang de nalevering nog zo'n dominante invloed heeft. Deze voornamelijk chemische nalevering zal zelfs in eerste instantie toenemen bij afnemende externe belasting. De kritische belastinggrens is berekend met behulp van PCDitch. Rekening houdend met de heterogeniteit in het gebied is ligt de kritische grens tussen de circa 10 en circa 50 mgP/m².dag, afhankelijk van de doorstroming en dimensies van de watergang. Deze zal in de huidige situatie vrijwel overal in het gebied overschreden worden.

Voor stikstof is het beeld anders. Het belastingprofiel laat een dominantie zien van externe belastingbronnen. Bedrijfsemissies vanuit de glastuinbouw en drainage uit de bodem zijn hierin dominant. Na aansluiting van het glas op het riool is het de verwachting dat de kritische grens in delen van de haarvaten onderschreden gaat worden. Er zal zich een stikstof gelimiteerd ecosysteem instellen.



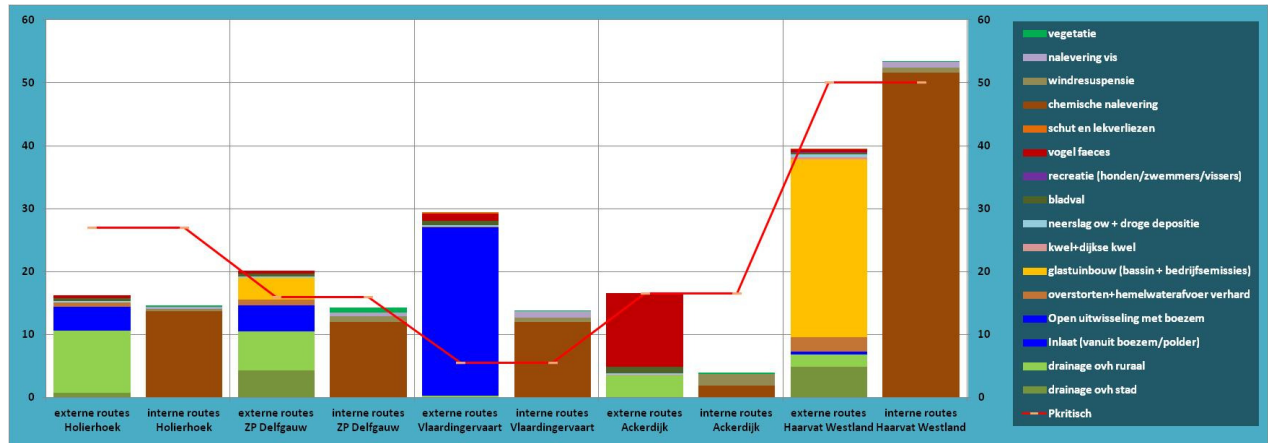
Figuur31: Stikstofbelasting

6.4 Bodemdiagnose

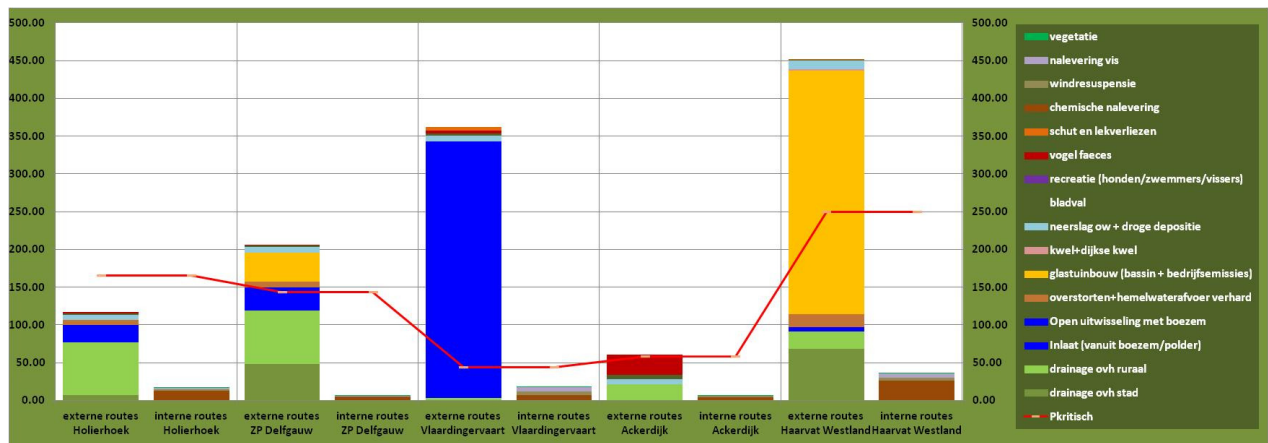
De bodemdiagnose voor de haarvaten is momenteel nog niet uitgevoerd. De uitkomst voor de huidige situatie staat bij voorbaat vast. Reduceren externe belasting. Aanvullende maatregelen daarna ten aanzien van de waterbodem vraagt individueel maatwerk.

7 Water- en Stofbalansen onderling vergeleken

In de figuren 32 en 33 zijn de belastingprofielen, zoals ze zijn besproken in de voorgaande hoofdstukken naast elkaar gepresenteerd ten opzichte van de kritische grenzen van de verschillende systemen. Nadere discussie en synthese hierover is opgenomen in het hoofdrapport "Systemanalyses Delfland", waar deze notitie bijlage van is.



Figuur32: Fosforbelastingprofielen van de verschillende onderzoekslocaties



Figuur33: Stikstofbelastingprofielen van de verschillende onderzoekslocaties

BIJLAGE IV QUICK-SCANS NALEVERING WATERBODEM BAGGERNUT

QuickScan concept, v0.6.5

Inschatting op basis bodemgetallen op basis versgewicht

Resultaten		R ² gebruikte relatie	
Totaal bodem	invoer	(Fe-S)/P-ratio bodem (molbasis)	schatting flux naar porievocht (mg P/l)
	P totaal	-15,7	R ² = 0,89
	Fe	(Fe-S)/P < 1,4	R ² = 0,91
S	(Fe-S)/P > 1,4 & < 4		
op basis drooggewicht			
Totaal bodem	invoer	(Fe-S)/P-ratio bodem (molbasis)	schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d)
	P totaal	-15,7	R ² = 0,62
	Fe	(Fe-S)/P < 1,4	R ² = 0,62
S	(Fe-S)/P > 1,4 & < 4		

Inschatting op basis porievochtconcentraties

Resultaten		R ² gebruikte relatie	
porievocht	invoer	Fe/P (molbasis)	schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d)
	P totaal	0,3	R ² = 0,74
	Fe	Fe/P < 1	R ² = 0,74
S	Fe/P > 1 & Fe/S < 1		
op basis drooggewicht			
porievocht	invoer	Fe/S (molbasis)	schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d)
	P totaal	0,1	R ² = 0,97
	Fe	Fe/P > 1 & Fe/S > 1	R ² = 0,97
S			

Inschatting op basis Olsen-P in bodem

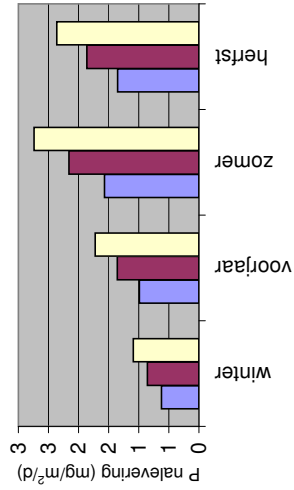
Voornameelijk geschikt voor inschatten naleveringspotentie onderliggende laag (na baggeren)

Resultaten		R ² gebruikte relatie	
Bodemextractie	invoer	Fe-S/P (mol) bodem < 1,4	schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d)
	Olsen P	19	R ² = 0,97

coëfficiënten

coëfficiënten	eenheid y	eenheid x	R ²
Olsen P vs P _{nalevering}	mg/m2/d	umol/l	0,97
P _{tot} bodem DW vs P _{nalevering}	mg/m2/d	mg/kg DW	0,62
P _{tot} bodem FW vs P _{nalevering}	mg/l	mg/kg DW	0,62
P _{tot} bodem FW vs P _{potie}	mg/m2/d	mg/l FW	0,91
P _{tot} bodem FW vs P _{potie}	mg/l	mg/l FW	0,90
P _{porievocht} vs P _{nalevering}	mg/m2/d	mg/l	0,74

Schatting flux per seizoen		water temperatuur (°C, gemiddelde)	
winter	0,6	5	0,46
voorjaar	1,0	10	0,74
zomer	1,6	18	1,17
herfst	1,4	15	1,01
correctiefactor			
winter	2,7		
voorjaar	4,3		
zomer	6,8		
herfst	5,9		
water temperatuur (°C, gemiddelde)			
winter	0,9		
voorjaar	1,4		
zomer	2,2		
herfst	1,9		
correctiefactor			
winter	1,1		
voorjaar	1,7		
zomer	2,7		
herfst	2,4		



■ Totaal bodem ■ porievocht □ Olsen P

QuickScan concept, v0.6.5

Inschatting op basis bodemgetallen op basis versgewicht

Resultaten		R ² gebruikte relatie	
Totaal bodem P totaal Fe S	invoer	(Fe-S)/P-ratio bodem (molbasis)	schatting flux naar poriëvocht (mg P/l)
	mg/l (FW)	↑	R ² = 0.89
	418,5715 5626,487 4711,557	3.4 $(Fe-S)/P < 1.4$ $(Fe-S)/P > 1.4 \& < 4$ $(Fe-S)/P > 4$	8.1
op basis drooggewicht			
Totaal bodem P totaal Fe S	invoer	(Fe-S)/P-ratio bodem (molbasis)	schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d)
	mg/kg (DW)	↑	R ² = 0.62
	1733,0716 23295,4 19507,31	3.4 $(Fe-S)/P < 1.4$ $(Fe-S)/P > 1.4 \& < 4$ $(Fe-S)/P > 4$	8.0

Inschatting op basis poriëvochtconcentraties

poriëvocht P totaal Fe S	invoer	Fe/P (molbasis)	schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d)
	mg/l	↑	R ² = 0.74
	10,93241 5,626487 7,682802	0.3 $Fe/P < 1$ $Fe/P > 1 \& Fe/S < 1$ $Fe/P > 1 \& Fe/S > 1$	8.6

Inschatting op basis Olsen-P in bodem

Voornameelijk geschikt voor inschatten naleveringspotentie onderliggende laag (na baggeren)

Bodemextractie		Deze inschatting is een worst-case benadering op basis van Fe-S/P (mol) bodem < 1.4	
invoer	mg/l	schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d)	R ² = 0.97
1697,353	53	8.7	

coëfficiënten

$y = a \cdot x + b$

coëfficiënten	eenheid x	eenheid y	R ²
Olsen P vs P _{nalevering}	umol/l	mg/m2/d	0,00578
P _{tot} bodem DW vs P _{nalevering}	mg/kg DW	mg/m2/d	0,00770
P _{tot} bodem FW vs P _{nalevering}	mg/kg DW	mg/l	0,00600
P _{tot} bodem FW vs P _{potie}	mg/l FW	mg/m2/d	0,02472
P _{tot} bodem FW vs P _{potie}	mg/l FW	mg/l	0,01919
P _{poriëvocht} vs P _{nalevering}	mg/l	mg/m2/d	0,80951

Schatting flux per seizoen

watertemperatuur (°C, gemiddelde)	5	10	18	15
correctiefactor	0,46	0,74	1,17	1,01

winter	voorjaar	zomer	herfst
4,1	6,4	10,2	8,8

mg/m²/d

winter	voorjaar	zomer	herfst
4,0	6,3	10,1	8,7

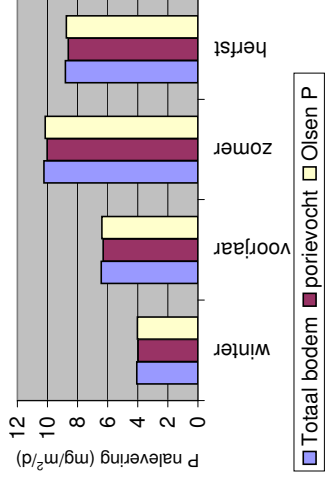
mg/m²/d

winter	voorjaar	zomer	herfst
4,0	6,3	10,0	8,6

mg/m²/d

winter	voorjaar	zomer	herfst
4,0	6,4	10,2	8,7

mg/m²/d



QuickScan concept, v0.6.5

Inschatting op basis bodemgetallen

op basis versgewicht

Totaal bodem	invoer	(Fe-S)/P-ratio bodem (molbasis)	$(Fe-S)/P < 1.4$ $(Fe-S)/P > 1.4 \& < 4$ $(Fe-S)/P > 4$	schatting flux naar porievocht (mg P/l) $R^2 = 0.89$ 9,6	schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d) $R^2 = 0.91$ 10,6
	P totaal	-0,4			
	Fe				
	S				

op basis drooggewicht

Totaal bodem	invoer	(Fe-S)/P-ratio bodem (molbasis)	$(Fe-S)/P < 1.4$ $(Fe-S)/P > 1.4 \& < 4$ $(Fe-S)/P > 4$	schatting flux naar porievocht (mg P/l) $R^2 = 0.62$ 3,6	schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d) $R^2 = 0.62$ 2,9
	P totaal	-0,4			
	Fe				
	S				

Inschatting op basis porievochtconcentraties

porievocht	invoer	Fe/P (molbasis)	$Fe/P < 1$ $Fe/P > 1 \& Fe/S < 1$ $Fe/P > 1 \& Fe/S > 1$	schatting flux naar porievocht (mg P/l) $R^2 = 0.74$ 9,8	schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d) $R^2 = 0.74$ 9,8
	P totaal	0,3			
	Fe				
	S				

Inschatting op basis Olsen-P in bodem

Voornameelijk geschikt voor inschatten naleveringspotentie onderliggende laag (na baggeren)

Bodemextractie	invoer	$y = a \cdot x + b$ a: 0,00578 b: -1,136 $R^2 = 0,97$	schatting flux naar porievocht (mg P/l) $R^2 = 0.97$ 10,2
	Olsen P		

Deze inschatting is een worst-case benadering op basis van Fe-S/P (mol) bodem < 1.4

coëfficiënten

Olsen P vs P _{nalevering}	eenheid y	eenheid x	R ²
P _{tot} bodem DW vs P _{nalevering}	mg/m2/d	umol/l	0,97
P _{tot} bodem DW vs P _{potie}	mg/kg DW	mg/kg DW	0,62
P _{tot} bodem FW vs P _{nalevering}	mg/l	mg/kg DW	0,62
P _{tot} bodem FW vs P _{potie}	mg/m2/d	mg/l FW	0,91
P _{porievocht} vs P _{nalevering}	mg/l	mg/l FW	0,90
P _{porievocht} vs P _{potie}	mg/m2/d	mg/l	0,74

Schatting flux per seizoen

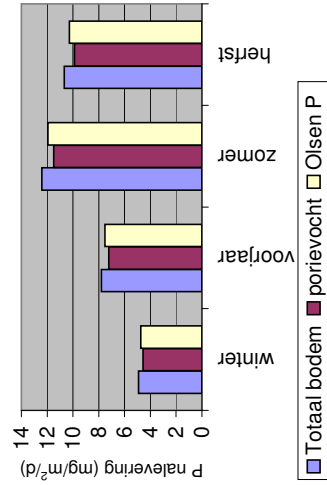
watertemperatuur (°C, gemiddelde)	5	10	18	15
correctiefactor	0,46	0,74	1,17	1,01

winter	voorjaar	zomer	herfst
4,9	7,8	12,4	10,7
mg/m ² /d			

winter	voorjaar	zomer	herfst
1,3	2,1	3,4	2,9
mg/m ² /d			

winter	voorjaar	zomer	herfst
4,6	7,2	11,5	9,9
mg/m ² /d			

winter	voorjaar	zomer	herfst
4,7	7,5	11,9	10,3
mg/m ² /d			



Legend: ■ Totaal bodem ■ porievocht □ Olsen P

QuickScan concept, v0.6.5

Inschatting op basis bodemgetallen

op basis versgewicht

Totaal bodem	invoer		(Fe-S)/P-ratio bodem (molbasis)		schatting flux naar porievocht (mg P/l)	schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d)
	P totaal	346,686			$R^2 = 0.89$	$R^2 = 0.91$
	Fe	3283,496	(Fe-S)/P < 1.4	6,7		
	S	2712,006	(Fe-S)/P > 1.4 & < 4 (Fe-S)/P > 4	7,0		

op basis drooggewicht

Totaal bodem	invoer		(Fe-S)/P-ratio bodem (molbasis)		schatting flux naar porievocht (mg P/l)	schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d)
	P totaal	2000,111		$R^2 = 0.62$	$R^2 = 0.62$	
	Fe	18943,25	(Fe-S)/P < 1.4	9,6		
	S	15646,19	(Fe-S)/P > 1.4 & < 4 (Fe-S)/P > 4	10,7		

Inschatting op basis porievochtconcentraties

porievocht	invoer				schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d)
	P totaal	8,804804	Fe/P (molbasis)		$R^2 = 0.74$
	Fe	3,283496	Fe/P < 1	6,8	
	S	38,58732	Fe/S (molbasis)		

Inschatting op basis Olsen-P in bodem

Voornameelijk geschikt voor inschatten naleveringspotentie onderliggende laag (na baggeren)

Bodemextractie	invoer				schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d)
	Olsen P	2084,189			$R^2 = 0.97$

Deze inschatting is een worst-case benadering op basis van Fe-S/P (mol) bodem < 1.4

coëfficiënten

$y = a \cdot x + b$

	a	b	R ²	eenheid x	eenheid y
Olsen P vs P _{nalevering}	0,00578	-1,136	0,97	umol/l	mg/m2/d
P _{tot} bodem DW vs P _{nalevering}	0,00770	-4,726	0,62	mg/kg DW	mg/m2/d
P _{tot} bodem DW vs P _{potie}	0,00600	-2,370	0,62	mg/kg DW	mg/l
P _{tot} bodem FW vs P _{nalevering}	0,02472	-1,604	0,91	mg/l FW	mg/m2/d
P _{tot} bodem FW vs P _{potie}	0,01919	0,084	0,90	mg/l FW	mg/l
P _{porievocht} vs P _{nalevering}	0,80951	-0,291	0,74	mg/l	mg/m2/d

Schatting flux per seizoen

watertemperatuur (°C, gemiddelde)	5	10	18	15
-----------------------------------	---	----	----	----

correctiefactor

	0,46	0,74	1,17	1,01
--	------	------	------	------

winter

voorjaar zomer herfst

	3,2	5,1	8,2	7,0
--	-----	-----	-----	-----

mg/m²/d

winter

voorjaar zomer herfst

	5,0	7,9	12,5	10,8
--	-----	-----	------	------

mg/m²/d

winter

voorjaar zomer herfst

	3,2	5,0	8,0	6,9
--	-----	-----	-----	-----

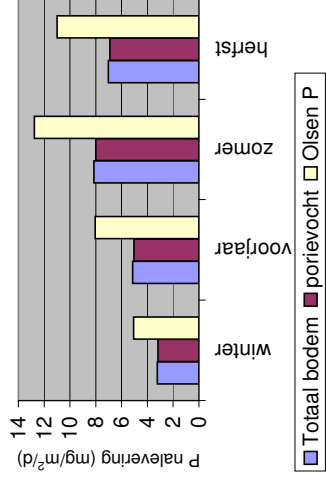
mg/m²/d

winter

voorjaar zomer herfst

	5,1	8,0	12,8	11,0
--	-----	-----	------	------

mg/m²/d



QuickScan concept, v0.6.5

Inschatting op basis bodemgetallen

op basis versgewicht

Totaal bodem	invoer		(Fe-S)/P-ratio bodem (molbasis)		schatting flux naar porievocht (mg P/l)	schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d)
	P totaal	1133.832	1.3	$(Fe-S)/P < 1.4$	21.8	26.4
	Fe	6440.88		$(Fe-S)/P > 1.4 \& < 4$		
S	2161.679		$(Fe-S)/P > 4$			

op basis drooggewicht

Totaal bodem	invoer		(Fe-S)/P-ratio bodem (molbasis)		schatting flux naar porievocht (mg P/l)	schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d)
	P totaal	2940.351	1.3	$(Fe-S)/P < 1.4$	15.3	17.9
	Fe	16703.05		$(Fe-S)/P > 1.4 \& < 4$		
S	5605.851		$(Fe-S)/P > 4$			

Inschatting op basis porievochtconcentraties

porievocht	invoer		Fe/P (molbasis)		schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d)
	P totaal	18.89911	0.2	$Fe/P < 1$	15.0
	Fe	6.44088		$Fe/P > 1 \& Fe/S < 1$	
S	15.8372		$Fe/P > 1 \& Fe/S > 1$		

Inschatting op basis Olsen-P in bodem

Voornameelijk geschikt voor inschatten naleveringspotentie onderliggende laag (na baggeren)

Bodemextractie	invoer				schatting flux naar waterlaag bij 15 °C (mg P/m2/d)
	Olsen P	4789.504	148		26.5

Deze inschatting is een worst-case benadering op basis van Fe-S/P (mol) bodem < 1.4

coëfficiënten

$y = a \cdot x + b$

	a	b	R ²	eenheid x	eenheid y
Olsen P vs P _{nalevering}	0,00578	-1,136	0,97	umol/l	mg/m2/d
P _{tot} bodem DW vs P _{nalevering}	0,00770	-4,726	0,62	mg/kg DW	mg/m2/d
P _{tot} bodem DW vs P _{potie}	0,00600	-2,370	0,62	mg/kg DW	mg/l
P _{tot} bodem FW vs P _{nalevering}	0,02472	-1,604	0,91	mg/l FW	mg/m2/d
P _{tot} bodem FW vs P _{potie}	0,01919	0,084	0,90	mg/l FW	mg/l
P _{porievocht} vs P _{nalevering}	0,80951	-0,291	0,74	mg/l	mg/m2/d

Schatting flux per seizoen

5	10	18	15
---	----	----	----

watertemperatuur (°C, gemiddelde)

correctiefactor

0,46	0,74	1,17	1,01
------	------	------	------

winter

voorjaar

zomer

herfst

12,3

19,4

30,9

26,6

mg/m²/d

winter

voorjaar

zomer

herfst

8,3

13,2

21,0

18,0

mg/m²/d

winter

voorjaar

zomer

herfst

7,0

11,0

17,6

15,1

mg/m²/d

winter

voorjaar

zomer

herfst

12,3

19,5

31,1

26,7

mg/m²/d

