

**Watersysteemanalyse zoute  
varianten Binnenschelde en  
Markiezaatsmeer**

Onderdeel C





# **Watersysteemanalyse zoute varianten Binnenschelde en Markiezaatsmeer**

Onderdeel C

dr. L.A. van Duren  
drs. A.J. Nolte

1209165-000



**Titel**

Watersysteemanalyse zoute varianten Binnenschelde en Markiezaatsmeer

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
dr. M. Klinge (Witteveen+Bos) drs. C.Cusell (Witteveen+Bos)	1209165-000	1209165-000-ZWS-0007	60

**Trefwoorden**

Markiezaatsmeer, Binnenschelde, waterkwaliteit, zoute scenariostudies

**Samenvatting**

De Binnenschelde en het Markiezaatsmeer zijn twee watersystemen in de Zuidwestelijke Delta die beiden regelmatig te kampen hebben met waterkwaliteitsproblemen. De Binnenschelde heeft voor de gemeente Bergen op Zoom een belangrijke recreatiefunctie die o.m. wordt bedreigd door regelmatig optredende blauwalgen. Het Markiezaatsmeer is primair een natuurgebied en heeft te maken met doelstellingen onder Natura2000. Witteveen+Bos werken samen met Deltares aan een studie waarbij van beide wateren systeemanalyses worden uitgevoerd en vervolgens met modelstudies wordt bekeken welke maatregelen mogelijk zijn om voor beide systemen een optimale waterkwaliteit tegen aanvaardbare kosten te realiseren. Beide systemen zijn op dit moment zoet tot zeer licht brak. Binnen deze studie wordt rekening gehouden met de mogelijkheid om op termijn deze systemen te veranderen in zoute systemen. Dit rapport behelst de scenariostudies waarbij de mogelijkheden van zoute scenario's worden onderzocht. Dit rapport levert basale informatie toe aan het hoofdrapport dat onder redactie staat van Witteveen+Bos.

M.b.t. de Binnenschelde wordt geconcludeerd dat de beste waterkwaliteit wordt bereikt met inlaat van water uit de Oosterschelde. Het model voorspelt zeer lage chlorofylwaarden en de nutriëntenconcentraties zijn dusdanig dat volgens KRW-normen de waterkwaliteit "goed" wordt. Het enige probleem blijft volgens de modelvoorspellingen het doorzicht. Dit wordt in het model veroorzaakt door een hoog DOC-gehalte, maar in werkelijkheid zou het doorzicht beter kunnen uitvallen doordat veel van het geproduceerde DOC onder zoute condities vermoedelijk kleurloos is en daardoor minder effect op het doorzicht heeft. Het lijkt verstandig om dit DOC-effect in een nader onderzoek verder uit te zoeken. De capaciteit van de doorlaat naar de Oosterschelde zou bij voorkeur dusdanig moeten zijn dat de saliniteit boven de 20 ppt (11 g Cl/l) uitkomt. Dit is het geval bij een doorlaat van 2500 m<sup>3</sup>/dag en meer.

Uit de systeemanalyse blijkt verder dat inlaat van water uit het Volkerak-Zoommeer via een gemaal voor de waterkwaliteit een minder gunstige oplossing is dan de inlaat van water uit de Oosterschelde. Een voldoende hoog debiet van boven de ca. 5.000 m<sup>3</sup>/dag garandeert wel dat de blauwalgen weg zijn, maar het veroorzaakt ook een hogere nutriëntenbelasting met risico's van overlast door bijvoorbeeld macroalgen.

Voor de Binnenschelde lijkt de variant met een getijopening de minst voor de hand liggende oplossing. Ten eerste zijn er een aantal praktische overwegingen, waaronder dat het meer 1,5 m hoger ligt dan het Volkerak-Zoommeer waardoor het uitgebaggerd zou moeten worden om niet een heel groot deel van het meer-oppervlak kwijt te raken. Daarnaast geeft deze variant de hoogste nutriëntenbelastingen. De blauwalgen worden wel beperkt door Cl-concentraties die hoog genoeg zijn, maar andere waterkwaliteitsparameters blijven problematisch.

Voor het Markiezaatsmeer is geen variant met Oosterscheldewater doorgerekend, omdat dit vooraf als een onrealistische variant werd gezien. Een kwalitatieve scan door Witteveen+Bos bevestigde dat het voor deze variant al de vraag is of deze überhaupt technisch haalbaar is.





**Titel**  
Watersysteemanalyse zoute varianten  
Binnenschelde en Markiezaatsmeer

<b>Opdrachtgever</b> dr. M. Klinge (Witteveen+Bos) drs. C.Cusell (Witteveen+Bos)	<b>Project</b> 1209165-000	<b>Kenmerk</b> 1209165-000-ZWS-0007	<b>Pagina's</b> 1
--	-------------------------------	--	----------------------

Mocht dat zo zijn dan gaat dit extreem grote kosten meebrengen en zeer ingrijpende veranderingen op de infrastructuur vergen.

Voor de natuurdoelstellingen (met name vogels) heeft een zout systeem zonder getij negatieve effecten op de draagkracht van het systeem voor "zoete" vogels en weinig positieve bijdrage voor steltlopers. De beste perspectieven biedt een scenario met uitwisseling via een opening in de dijk. Dit geeft de beste mogelijkheden voor vismigratie en levert extra foerageergebied op voor steltlopers. Bij elk scenario blijft de nutriënten belasting hoog en door de geringe diepte is er geen lichtlimitatie, waardoor elk scenario een vrij hoge primaire productie zal geven. Waarschijnlijk is het beter om te kiezen voor een hoge uitwisseling. De modellen zijn 1D gedraaid en houden geen rekening met de vorm van het systeem. In werkelijkheid zal er niet overal evenveel uitwisseling zijn en kunnen er uithoeken ontstaan met relatief lange verblijftijden. Een groter debiet vermindert de kans op (bijna) stagnante uithoeken en vermindert ook de kans op het voorkomen van stratificatie in het diepere deel van het meer in de zomer.

Voor waterkwaliteit (in het kader van KRW doelstellingen) zijn de varianten waarbij het zoutgehalte onder de 18 ppt (10 g Cl/l) blijft, minder gunstig. Dit houdt in dat voor de varianten met een inlaat via een gemaal er minimaal 50.000 m<sup>3</sup> per dag moet worden ingelaten. Voor de waterkwaliteitsparameters van de KRW (nutriënten en chlorofyl) lijkt de variant met inlaat via een gemaal wat gunstiger dan een inlaat via een getijopening in verband met de uiteindelijke nutriëntenconcentraties en de daarmee samenhangende algenproductie. In de praktijk kunnen de varianten met getijuitwisseling echter toch wat gunstiger uitpakken door het betere habitat dat wordt gecreëerd voor schelpdieren. Door de betere uitwisseling hebben die meer mogelijkheden om de algenpopulatie te reduceren via begrazing.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	maa. 2016	dr. L.A. van Duren		dr. F.J. Los		ir. G. Blom	
		drs. A.J. Nolte					

**Status**  
definitief

# DEEL C: SYSTEEMANALYSE VOOR DE ZOUTE SITUATIES

---

## INHOUDSOPGAVE

<b>1. METHODIEK EN UITGANGSPUNTEN</b>	<b>3</b>
1.1. Introductie van de scenario's	3
1.2. Hydrologisch functioneren	4
1.3. Nutriëntbelastingen in het water	6
1.4. Gebruik van DELWAQ	6
1.4.1. Modelopzet	6
1.4.2. Modelverificatie Binnenschelde	9
1.4.3. Modelverificatie Markiezaatsmeer	15
<b>2. SYSTEEMANALYSE VAN DE BINNENSCHELDE</b>	<b>22</b>
2.1. Abiotische voorwaarden	22
2.1.1. Hydrologisch functioneren	22
2.1.2. Saliniteit	24
2.1.3. Nutriënten: Stikstof en fosfaat	25
2.1.4. Fytoplankton: Chlorofyl-a en algenbiomassa	28
2.1.5. Doorzicht en opgelost organisch koolstof (DOC)	29
2.2. Prognose van toekomstige biologische toestand	30
2.2.1. Blauwalgen	30
2.2.2. Mariene plaagalgen	31
2.2.3. Macroalgen	31
2.2.4. Aquatische vegetatie	33
2.2.5. Zoöplankton	33
2.2.6. Bodemdieren	34
2.2.7. Vissen	35
2.2.8. Vogels	35
2.3. Confrontatie verwachte biologische toestand en beleidsdoelen	36
2.3.1. Blauwalgen	36
2.3.2. Helderheid	36
2.3.3. Europese Kaderrichtlijn Water (KRW)	36
2.3.4. Andere factoren in relatie tot gebiedsfunctie	37
<b>3. SYSTEEMANALYSE VAN HET MARKIEZAATSMEER</b>	<b>39</b>
3.1. Abiotische voorwaarden	39
3.1.1. Hydrologisch functioneren	39
3.1.2. Saliniteit	43
3.1.3. Nutriënten: Stikstof en fosfaat	44
3.1.4. Fytoplankton: Chlorofyl-a en algenbiomassa	46
3.1.5. Doorzicht en opgelost organisch materiaal	47
3.2. Prognose van toekomstige biologische toestand	48
3.2.1. Blauwalgen	48
3.2.2. Mariene plaagalgen	49
3.2.3. Macroalgen	49
3.2.4. Aquatische vegetatie	49
3.2.5. Oevervegetatie	49
3.2.6. Zoöplankton	50
3.2.7. Bodemdieren	50
3.2.8. Vissen	50
3.2.9. Vogels	50
3.3. Confrontatie verwachte biologische toestand en beleidsdoelen	53
3.3.1. Blauwalgen	53

3.3.2.	Natura2000 doelstellingen	53
3.3.3.	Europese kaderrichtlijn water (KRW)	54
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIES ZOUTE VARIANTEN MARKIEZAATSMEER EN BINNENSCHELDE</b>	<b>56</b>
4.1.	Binnenschelde	56
4.2.	Markiezaatsmeer	56
4.3.	Overgangsituatie en eindsituatie	57
4.4.	Verwacht effect van klimaatverandering	57
<b>5.</b>	<b>REFERENTIES</b>	<b>58</b>



## 1. METHODIEK EN UITGANGSPUNTEN

De Binnenschelde en het Markiezaatsmeer zijn twee watersystemen in de Zuidwestelijke Delta die beiden regelmatig te kampen hebben met waterkwaliteitsproblemen. De Binnenschelde heeft voor de gemeente Bergen op Zoom een belangrijke recreatiefunctie die o.m. wordt bedreigd door regelmatig optredende blauwalgen. Het Markiezaatsmeer is primair een natuurgebied en heeft te maken met doelstellingen onder Natura2000. Witteveen+Bos werken samen met Deltares aan een studie waarbij van beide wateren systeemanalyses worden uitgevoerd en vervolgens met modelstudies wordt bekeken welke maatregelen mogelijk zijn om voor beide systemen een optimale waterkwaliteit tegen aanvaardbare kosten te realiseren. Beide systemen zijn op dit moment zoet tot zeer licht brak. Binnen deze studie wordt rekening gehouden met de mogelijkheid om op termijn deze systemen te veranderen in zoute systemen. Dit rapport behelst de scenariostudies waarbij de mogelijkheden van zoute scenario's worden onderzocht. Dit rapport levert basale informatie toe aan het hoofdrapport (Witteveen+Bos 2016a).

### 1.1. Introductie van de scenario's

Blauwalgen (cyanobacteriën) zijn momenteel een groot probleem in de Binnenschelde en het Markiezaatsmeer. De meeste blauwalgensoorten zijn echter slecht bestand tegen zout water. Enkele soorten (zoals bijvoorbeeld *Anabaena*) kunnen enigszins brak water nog tolereren, maar deze organismen verdwijnen bij zoutconcentraties boven de 15 ppt (chloridegehalte van meer dan 8 g/l; Verspagen et al. 2005). Daarnaast is er een principebesluit genomen dat het Volkerak-Zoommeer op termijn (huidige prognose is 2028) zout zal gaan worden. Voor zowel het aanpakken van blauwalgenproblematiek als vanwege het feit dat een zout Volkerak-Zoommeer sowieso gevolgen zal/kan hebben voor deze systemen, is een aantal scenario's beschouwd waarbij het systeem wordt doorgespoeld met verschillende hoeveelheden zout water. Dit zoute water kan op verschillende manieren worden aangevoerd:

Voor de **Binnenschelde** zijn er drie soorten scenario's met verschillende debieten doorgerekend:

1. Water wordt ingelaten vanuit het zoute Volkerak-Zoommeer via een reeds bestaandemaal. Dit betreft een vaste hoeveelheid per dag. Hiervoor zijn de volgende debieten gebruikt:
  - a. 1.000 m<sup>3</sup>/dag
  - b. 2.500 m<sup>3</sup>/dag
  - c. 5.000 m<sup>3</sup>/dag
  - d. 10.000 m<sup>3</sup>/dag
2. Water wordt ingelaten vanuit het zoute Volkerak-Zoommeer door een opening in de dijk te maken. De uitwisseling is afhankelijk van het waterstandsverschil tussen de Binnenschelde en het Zoommeer en van de grootte van de opening. Bij deze variant ontstaat een beperkte getijbeweging in de Binnenschelde. Omdat de gemiddelde waterstand in dit scenario gelijk wordt aan het -0,10 m NAP middelpil van het Zoommeer en het bodemniveau van de Binnenschelde relatief hoog ligt (rond NAP), houdt deze variant in dat dit waterlichaam uitgebaggerd moet worden, om te voorkomen dat het systeem sterk verkleind wordt en extreem ondiep wordt. De grootte van de opening is als volgt gevarieerd:
  - a. 2 m<sup>2</sup> (resultierend in circa 95.000 m<sup>3</sup>/dag instroom)
  - b. 9 m<sup>2</sup> (resultierend in circa 420.000 m<sup>3</sup>/dag instroom)
  - c. 20 m<sup>2</sup> (resultierend in circa 800.000 m<sup>3</sup>/dag instroom)
  - d. 30 m<sup>2</sup> (resultierend in circa 970.000 m<sup>3</sup>/dag instroom)
3. Water wordt ingelaten via een onderleider en een pomp vanuit de Oosterschelde. Ten opzichte van het water uit het zoute Zoommeer (scenario 1), is het water uit de Oosterschelde zouter en het bevat minder nutriënten. Hiervoor zijn de volgende debieten gebruikt:
  - a. 1.000 m<sup>3</sup>/dag
  - b. 2.500 m<sup>3</sup>/dag
  - c. 5.000 m<sup>3</sup>/dag

Voor het **Markiezaatsmeer** zijn twee soorten scenario's doorgerekend. Vanwege de hoge te verwachten kosten voor het doorspoelen van dit systeem met Oosterschelde water en twijfels over de technische haalbaarheid is deze variant niet beschouwd. De scenario's met de volgende debieten zijn doorgerekend:

1. Water wordt ingelaten vanuit het zoute Volkerak-Zoommeer via een nieuw te plaatsen gemaal. Dit betreft een vaste hoeveelheid per dag. Hiervoor zijn de volgende debieten gebruikt:
  - a. 1.000 m<sup>3</sup>/dag
  - b. 10.000 m<sup>3</sup>/dag
  - c. 50.000 m<sup>3</sup>/dag
2. Water wordt ingelaten vanuit het zoute Volkerak-Zoommeer door een opening in de dijk te maken. De uitwisseling is afhankelijk van het waterstandsverschil tussen het Markiezaatsmeer en het Schelde-Rijnkanaal en van de grootte van de opening. Het Markiezaatsmeer heeft een diepere bodemligging dan de Binnenschelde en hoeft niet uitgebaggerd te worden. Bij deze variant ontstaat ook een beperkte getijbeweging. De grootte van de opening is als volgt gevarieerd:
  - a. 10 m<sup>2</sup> (resultierend in circa 480.000 m<sup>3</sup>/dag instroom)
  - b. 20 m<sup>2</sup> (resultierend in circa 950.000 m<sup>3</sup>/dag instroom)
  - c. 40 m<sup>2</sup> (resultierend in circa 1.880.000 m<sup>3</sup>/dag instroom)
  - d. 80 m<sup>2</sup> (resultierend in circa 3.430.000 m<sup>3</sup>/dag instroom)
  - e. 200 m<sup>2</sup> (resultierend in circa 5.050.000 m<sup>3</sup>/dag instroom)

## 1.2. Hydrologisch functioneren

Het hydrologisch functioneren van de verschillende zoute scenario's in beide meren is doorgerekend in waterbalansen. Hierbij is in principe uitgegaan van de waterbalansen die zijn opgesteld voor de huidige (zoete) situatie in beide meren (zie hoofdstuk 4.1 en Bijlage I in het deelrapport Witteveen+Bos 2016b). Op sommige punten zijn deze balansen aangepast om bruikbaar te zijn voor de verschillende zoute scenario's. Hieronder worden deze aanpassingen en de gehanteerde uitgangspunten toegelicht.

*Waterbalansen Binnenschelde voor de inlaat via een gemaal (vanuit het Zoommeer) en via een onderleider (vanuit de Oosterschelde)*

In de waterbalans is het peilbeheer aangepast: er wordt uitgegaan van een onder- en bovenpeil van +1,40 en +1,63 m NAP. Hiertussen mag het peil vrij fluctueren en zijn dus alle hard opgelegde inlaten vanuit het Zoommeer (zie Bijlage I in het deelrapport Witteveen+Bos 2016b) uitgezet. Er is verder aangenomen dat de in- en aflatcapaciteit voor peilhandhaving ongelimiteerd is.

De scenario's zijn doorgerekend door in de waterbalans een extra inlaat op te drukken van 1.000, 2.500, 5.000 en (alleen voor inlaat vanuit het Zoommeer) 10.000 m<sup>3</sup>/dag. Voor het gemaal geldt dat deze debieten al bereikt kunnen worden met het huidige gemaal Noordland. Voor de onderleider tussen de Oosterschelde en de Binnenschelde geldt dat de optie bouwtechnisch gezien haalbaar is met behulp van een HDD-boring (zie Witteveen+Bos 2008), waarbij de diameter van de buis aangepast kan worden aan de gewenste stroomsnelheid.

Voor het berekenen van de chlorideconcentratie in de Binnenschelde is voor de inlaat vanuit het toekomstige zoute Zoommeer uitgegaan van een tijdreeks die gebaseerd is op een modellering van het toekomstige Volkerak-Zoommeer (Meijers et al. 2008), waarbij de gemiddelde concentratie gelijk is aan 11,7 g/l. Deze concentratie is voor de inlaat vanuit de Oosterschelde is uitgegaan van een chlorideconcentratie van 17,5 g/l. Dit betreft de gemiddelde concentratie in de Oosterschelde tussen 1980 en 1996 (Rijkswaterstaat, meetpunt 'Wissenkerke').

#### *Waterbalans Markiezaatsmeer voor de inlaat via een gemaal (vanuit het Zoommeer)*

In de waterbalans van het Markiezaatsmeer is het peilbeheer aangepast: er wordt uitgegaan van een maximumpeil van +0,60 m NAP en van een stuw die voldoende dimensie heeft om dit peil te kunnen handhaven (dit is nu niet het geval, zoals is aangegeven in paragraaf 6.2.1 van het deelrapport Witteveen+Bos 2016b). In de waterbalans is verder een inlaat vanuit het Zoommeer opgedrukt van 1.000, 10.000 en 50.000 m<sup>3</sup>/d met een gemiddelde chlorideconcentratie van 11,7 g/l, waarbij de chlorideconcentratie gebaseerd is op een modellering van het toekomstige Volkerak-Zoommeer (Meijers et al. 2008). Dit zijn realistische debieten die met een vrij klein (nieuw te maken) gemaal gerealiseerd kunnen worden.

#### *Waterbalansen Binnenschelde en Markiezaatsmeer voor opening in dijk*

In het toekomstige zoute Zoommeer en Schelde-Rijnkanaal zal een getijbeweging met een middenstand van -0,10 m NAP en een amplitude van 0,15 m komen. Door een opening te maken in de scheidingsdijk tussen enerzijds Binnenschelde/Markiezaatsmeer en anderzijds het Zoommeer/Schelde-Rijnkanaal kan de waterstand in beide meren meebewegen met deze getijbeweging. Hierdoor ontstaat een inlaat (met opkomend water) en een uitlaat (met afgaand water) vanuit en naar het Zoommeer.

Het waterpeil in het toekomstige zoute Zoommeer en Schelde-Rijnkanaal is berekend volgens een sinuscurve. Vervolgens is per 15 minuten de uitwisseling tussen het Zoommeer/Schelde-Rijnkanaal en de Binnenschelde/Markiezaatsmeer berekend op basis van de volgende formule:

$$Q = A \times \varphi \times \sqrt{2g\Delta h},$$

waarin Q het debiet (m<sup>3</sup>/s) is, A het doorstroomoppervlak (m<sup>2</sup>) is,  $\varphi$  een weerstandstandcoëfficiënt (0,85) is, g de valversnelling op aarde is (9,81 m<sup>2</sup>/s) is en  $\Delta h$  overeenkomt met het waterstandsverschil tussen beide watersystemen (m). De gesommeerde dagelijkse in- en uitlaat is vervolgens aan de basisbalans opgedrukt, die immers op dagbasis is (zie bijlage I in het deelrapport Witteveen+Bos 2016b).

Doordat het waterpeil van de Binnenschelde en het Markiezaatsmeer een stuk lager komt te liggen bij een dijkopening, namelijk rond de -0.10 m NAP, veranderen ook de kwel- en wegzijgingsdebieten in beide meren. Met het regionale grondwatermodel (Verhagen et al. 2014) is de hoeveelheid kwel en wegzijging opnieuw berekend (Tabel 1). Daarnaast neemt het wateroppervlak van het Markiezaatsmeer af naar circa 900 ha, waardoor het landoppervlak toeneemt tot circa 950 ha en de debieten aan af- en uitspoeling toenemen. Tenslotte wordt in de 'open dijk' scenario's in geen van beide meren nog water in- of uitgelaten om het peil te handhaven: het is dus een volledig flexibel peil dat bepaald wordt door het getijdenregime.

**Tabel 1. Kwel- en wegzijging (mm/dag) bij een open verbinding tussen het Zoommeer/Schelde-Rijnkanaal en de Binnenschelde/Markiezaatsmeer**

	Binnenschelde	Markiezaatsmeer
kwel (water; mm/dag)	1,10	0,58
wegzijging (water; mm/dag)	0	0
kwel (land; mm/dag)	0	0
wegzijging (land; mm/dag)	0	0,62

Voor de chlorideconcentratie van het inlaatwater uit het Zoommeer/Schelde-Rijnkanaal is 11,7 g/l aangehouden (Meijers et al. 2008). Afhankelijk van de grootte van de opening in de dijk zal de maximale stroomsnelheid door de opening naar de Binnenschelde liggen tussen de 1,3 m/s (opening van 30 m<sup>2</sup>) en 1,7 m/s (opening van 2 m<sup>2</sup>). De maximale stroomsnelheid door de opening naar het Markiezaatsmeer zal gelijk zijn aan 1,0 m/s (opening van 200 m<sup>2</sup>) en 1,7 m/s (opening van 10 m<sup>2</sup>). De openingen zullen dan ook versterkt moeten worden met stortsteen om afkalving van de dijk te voorkomen.

De resulterende waterbalansen zijn opgenomen in Hoofdstuk 2 voor de Binnenschelde en Hoofdstuk 3 voor het Markiezaatsmeer. Bijlage X1 bevat gedetailleerde figuren (op maandbasis) van de waterbalansen.

### 1.3. Nutriëntbelastingen in het water

Om de externe nutriëntenbelasting door inlaat vanuit het Zoommeer en de Oosterschelde te berekenen, is uitgegaan van maandgemiddelde concentraties (Tabel 2). Ter vergelijking is de concentratie in het huidige zoete Zoommeer ook weergegeven als maandgemiddelden over de periode 2005-2014. De concentraties voor het zoute Zoommeer volgen uit de modelstudie van Deltares voor het toekomstige zoute Volkerak-Zoommeer (Meijers et al. 2008). De concentraties voor de Oosterschelde betreffen een gemiddelde waarde per maand, berekend over de jaren 1990 - 2014 (Rijkswaterstaat, meetpunt 'Wissenkerke'). De concentraties van de andere posten zijn gelijk aan de concentraties die gebruikt zijn voor de simulatie van de huidige zoete condities (zie Tabel 4.1 in het deelrapport Witteveen+Bos 2016b).

**Tabel 2. Gehanteerde maandgemiddelde concentraties voor totaal P en totaal N voor het zoute Zoommeer en de Oosterschelde. Ter vergelijking is het zoete Zoommeer toegevoegd.**

maand	Totaal P (mg/l)			Totaal N (mg/l)		
	Zoommeer (zoet)	Zoommeer (zout)	Oosterschelde	Zoommeer (zoet)	Zoommeer (zout)	Oosterschelde
jan	0,12	0,12	0,08	3,1	3,9	0,8
feb	0,09	0,12	0,06	4,0	4,7	0,9
mrt	0,09	0,09	0,05	5,0	4,4	0,9
apr	0,09	0,06	0,03	5,1	3,7	0,7
mei	0,11	0,03	0,03	4,7	2,4	0,5
jui	0,10	0,04	0,04	3,7	1,5	0,4
jul	0,11	0,07	0,05	3,5	1,5	0,4
aug	0,11	0,10	0,05	2,2	1,9	0,3
sep	0,11	0,10	0,06	1,6	1,9	0,4
okt	0,12	0,05	0,06	1,5	1,4	0,5
nov	0,14	0,08	0,07	1,5	2,2	0,6
dec	0,15	0,10	0,07	2,0	3,2	0,8

Detail figuren zijn opgenomen in Bijlage X1.

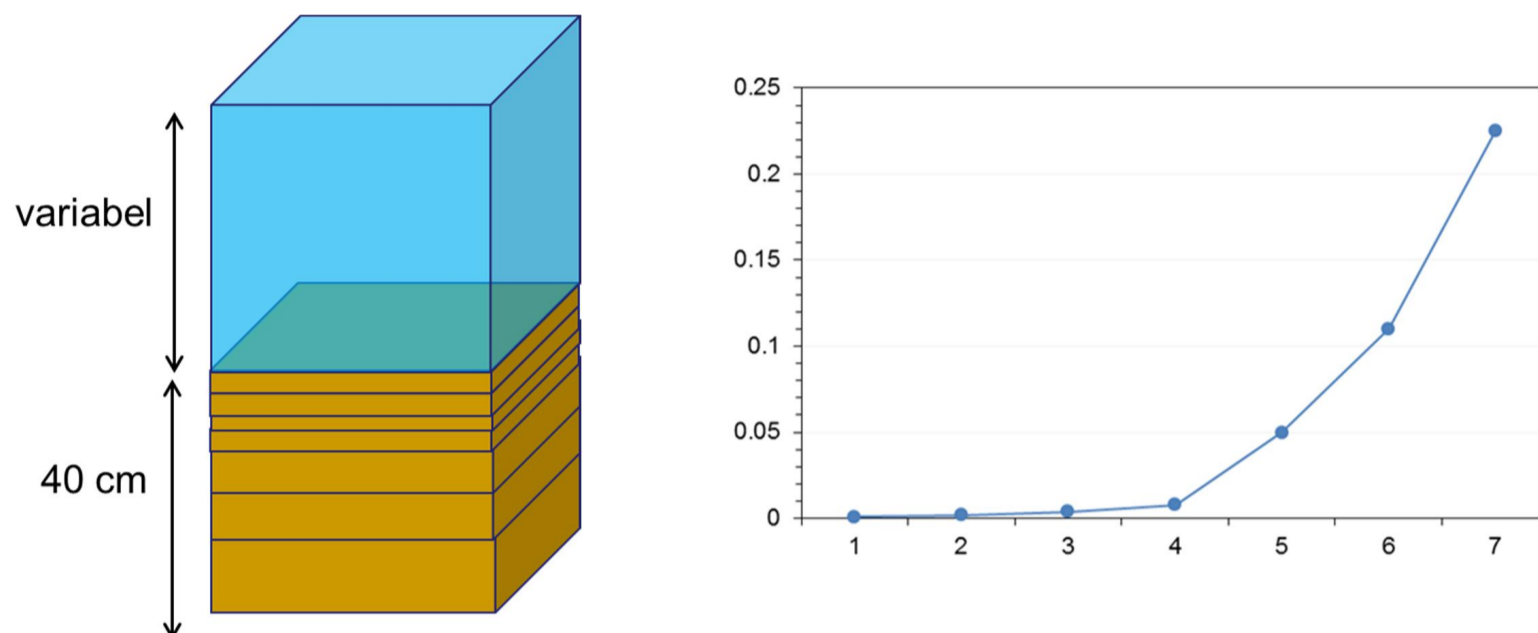
### 1.4. Gebruik van DELWAQ

#### 1.4.1. Modelopzet

Voor de zoute scenario's wordt gebruik gemaakt van het modelsysteem DELWAQ (recentelijk hernoemd naar D-WAQ). DELWAQ is het open source modelinstrumentarium dat door Deltares en meer dan honderd instanties wereldwijd wordt ingezet in zoete, brakke en zoute wateren in zowel 1D, 2D en 3D modelstudies. In essentie bestaat DELWAQ uit twee onderdelen: 1) de oplossing van de advectie-diffusie vergelijking, dat wil zeggen de rekenkern die het transport van stoffen berekend, en 2) de processenbibliotheek waarin alle fysische, chemische en biologische processen zijn opgenomen. Ten behoeve van iedere modelstudie wordt een selectie van relevante processen gemaakt die voor die specifieke studie voldoen aan de vraagstelling. Voor de zoutwater scenario's voor Binnenschelde en Markiezaatsmeer wordt gebruik gemaakt van de standaard set die voor de Noordzee-modellering is ontwikkeld, aangevuld met gedetailleerde processen in de bodem die in de Westerschelde en de Eems-Dollard (De Kluijver et al. 2013, Cronin et al. 2015) zijn toegepast.

Net als PCLake wordt de waterkolom geschematiseerd in een segment. Ruimtelijke (horizontale en verticale) gradiënten zijn dus niet meegenomen. De wateren worden als goed gemengd

beschouwd. De modellering van de bodem-wateruitwisseling in DELWAQ verschilt van PC Lake. In ondiepe wateren met een lang verblijftijd is de bodem-wateruitwisseling vaak een belangrijke factor voor de seizoensvariatie voor waterkwaliteit. Voor fosfaat uit zich dat regelmatig als nalevering uit het sediment in de zomermaanden. Om meer inzicht te krijgen in deze processen, is de bodem-wateruitwisseling in de Binnenschelde en het Markiezaatsmeer specifiek meegenomen in de modelleringen van de zoute scenario's. Hierbij is uitgegaan van een relatief "standaard" zout systeem in DELWAQ. Onder het watersegment is de bodem geschematiseerd met 7 lagen van toenemende dikte (Figuur 1) oplopend van 1 mm tot 225 mm. De totale dikte van de bodem is 40 cm en omvat de biologisch actieve zone van 10 tot 20 cm waarin organismen het sediment omwoelen of anderszins beïnvloeden.

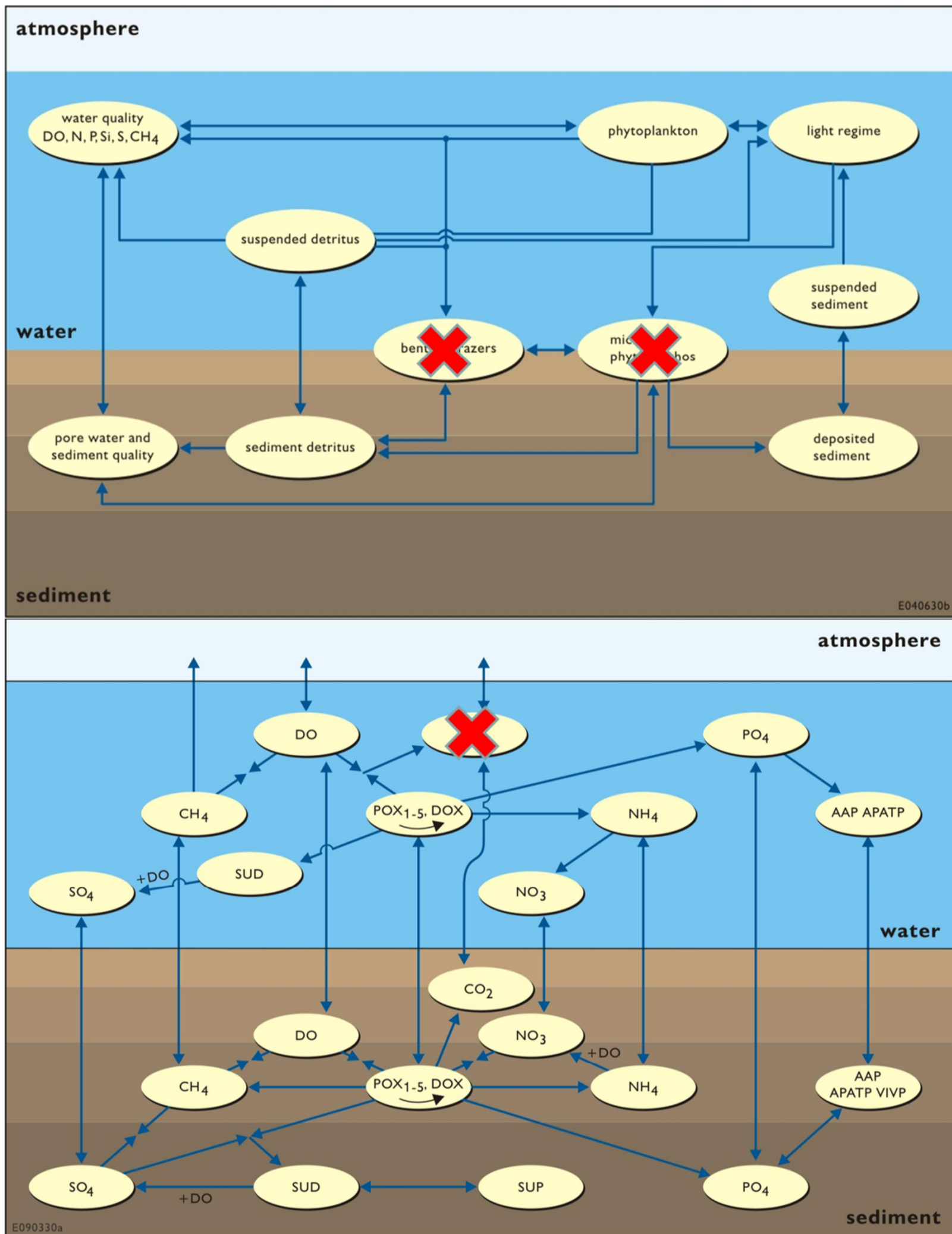


**Figuur 1 DELWAQ schematisatie met 1 watersegment en 7 bodemsegmenten van toenemende dikte (rechts)**

In DELWAQ worden de volgende stoffen gemodelleerd:

- Saliniteit (NB: met vaste conversie om te rekenen naar chloride)
- Zuurstof
- Nutriënten ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , ortho- $\text{PO}_4$ , Si)
- Particulair gebonden fosfaat en fosfaatmineralen (vivianiet en apatiet)
- Particulair Silicaat (Opaal)
- Sulfaat, opgelost sulfide en particulier sulfide
- Methaan ( $\text{CH}_4$ )
- Anorganisch materiaal (3 fracties)
- Particulair Organisch materiaal (4 fracties)
- Opgelost Organisch materiaal (DOC)
- Algen (4 groepen): mariene diatomeeën, mariene flagellaten, dinoflagellaten, Phaeocystis

Een schematische weergave van de processen is opgenomen in Figuur 2.



Figuur 2 Schematische weergave van processen in DELWAQ. Boven: Tussen stofgroepen; Onder: Tussen chemische stoffen en organisch materiaal.

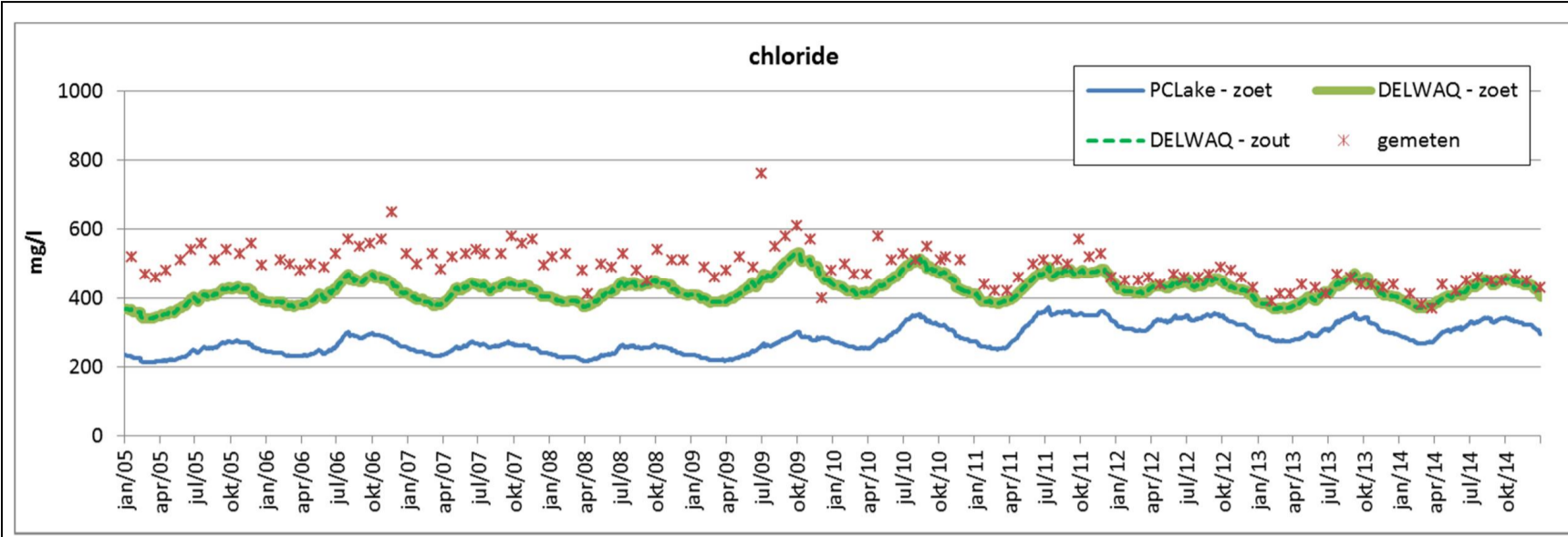
In tegenstelling tot PCLake worden hogere trofische niveaus niet meegenomen in de modellering. Hoewel het mogelijk is om schelpdieren, zoals mosselen, kokkels en Amerikaanse zwaardschede in DELWAQ mee te nemen, is ervoor gekozen om in de basisopzet geen schelpdieren mee te nemen, omdat het voor de zoute scenario's op voorhand onvoldoende bekend is of er schelpdieren vestigen, in welke hoeveelheden ze gaan voorkomen en op welke locaties ze gaan voorkomen. Aangezien begrazing door schelpdieren over het algemeen resulteert in een lagere algenconcentratie, is het niet meenemen van schelpdieren voor het

modelresultaat een worst-case voor de algenconcentratie en het doorzicht. Het voorkomen van bodemdieren wordt in paragraaf 2.2.6 en 3.2.6 door middel van expert judgement beoordeeld.

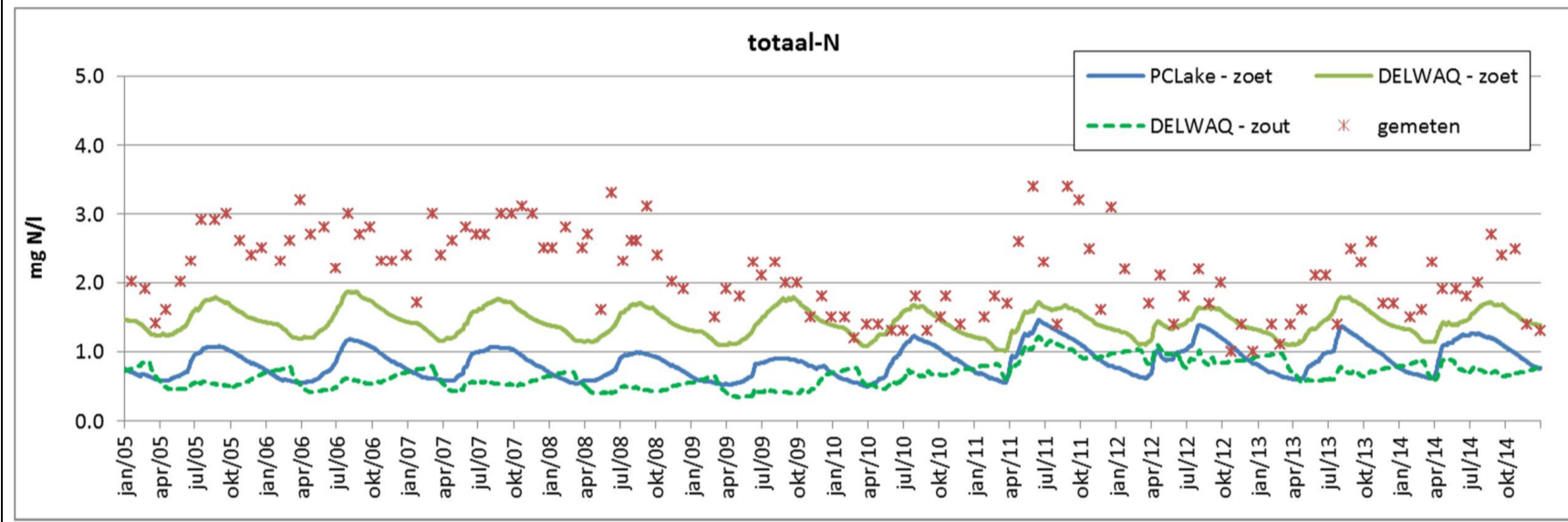
#### **1.4.2. Modelverificatie Binnenschelde**

Omdat met DELWAQ zoute scenario's worden doorgerekend waarvoor – uiteraard – geen metingen beschikbaar zijn, is het niet mogelijk om een modelkalibratie uit te voeren van de zoute modelopzet. Daarom is – ook ter vergelijking met PCLake – een DELWAQ verificatie met zoete algen voor de huidige (zoete) situatie doorgerekend. Hierbij is gebruik gemaakt van de parameterinstellingen die voor het recent ontwikkelde nieuwe 3D-model voor het zoete Volkerak-Zoommeer zijn gebruikt (Kramer et al. 2015). Als de vergelijking van DELWAQ-zoet met metingen en met PCLake goed is, geeft dat vertrouwen dat het model in de zoute scenario's met zoute algen ook een goed is, ondanks het feit dat DELWAQ-zout niet gekalibreerd kan worden.

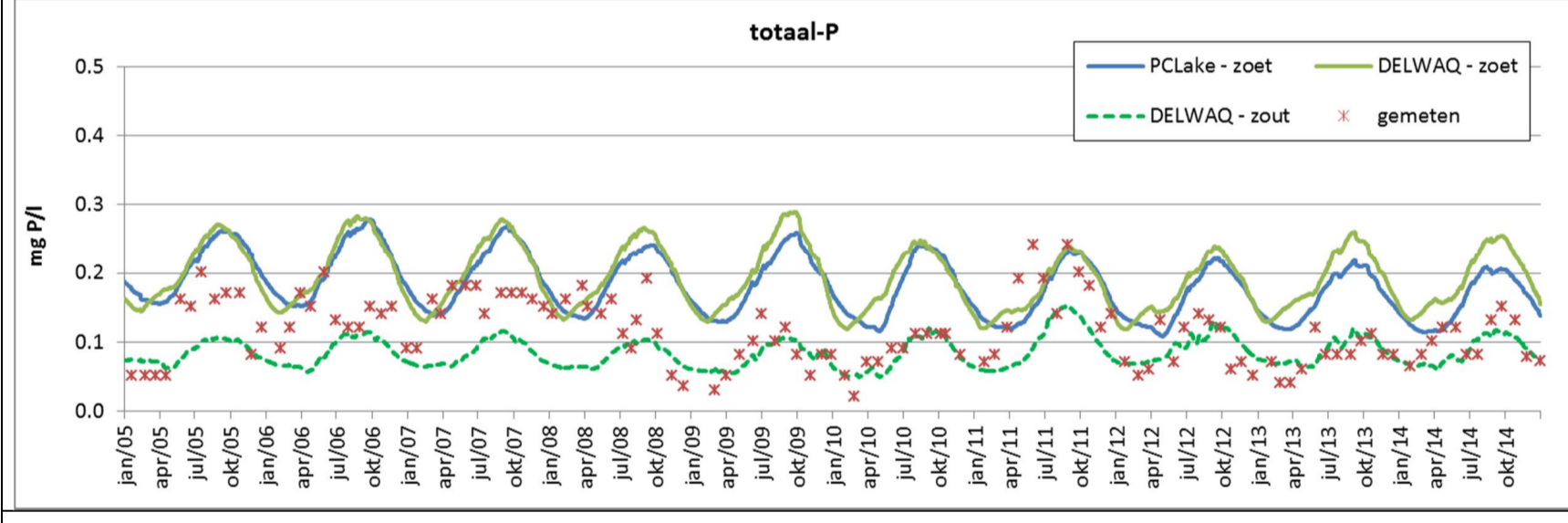
Voor de modeltoetsing zijn de modelresultaten van DELWAQ-zoet en PCLake in een figuur geplot, waarin ook de meetgegevens voor de periode 2005-2014 zijn geplot (Figuur 3). In de figuren wordt ook het modelresultaat van DELWAQ-zout getoond, waarbij het enige verschil met DELWAQ-zoet is dat de zoete algensamenstelling vervangen is door een zoute algensamenstelling. Hoewel dit in werkelijkheid niet kan, omdat het water dan ook zout gemaakt zou moeten worden, is deze vergelijking wel belangrijk en relevant voor het begrip, omdat dit het effect van een andere algensamenstelling laat zien.



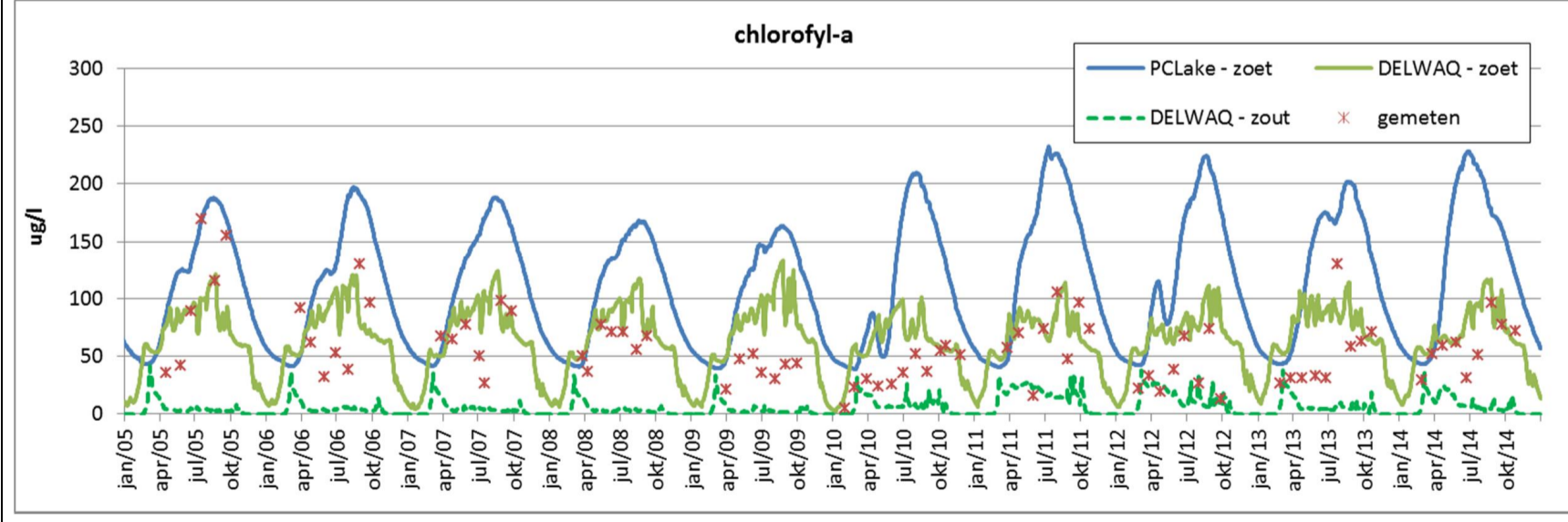
Chloride (mg/l)



Totaal-stikstof (mg N/l)

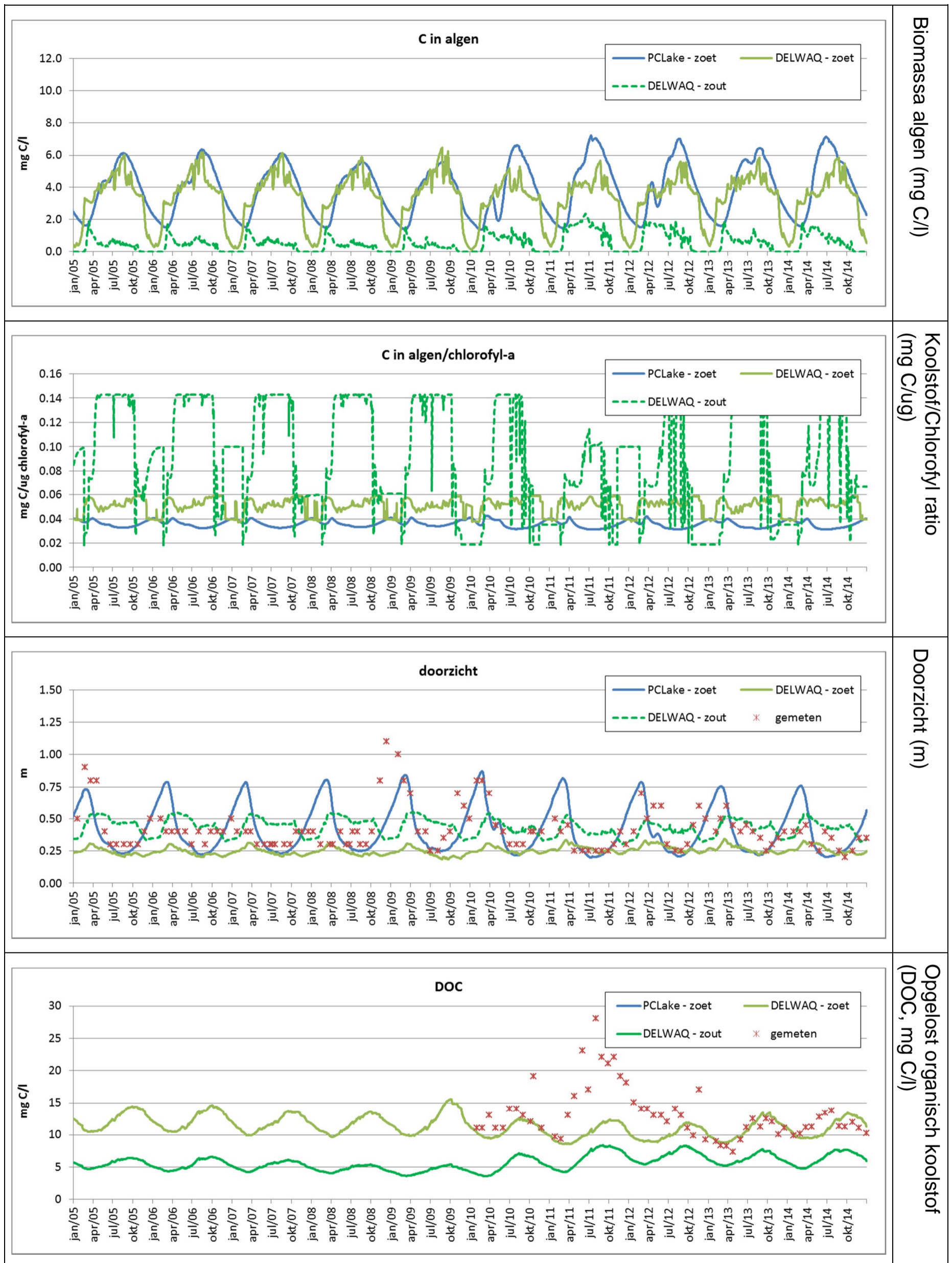


Totaal-fosfaat (mg P/l)



Chlorofyl-a (ug/l)





**Figuur 3 Binnenscheide – Vergelijking van metingen (symbolen) en modelresultaten van PCLake en DELWAQ (lijnen) over de periode 2005-2014 voor chloride, totaal-stikstof, totaal-fosfaat, chlorofyl-a, algenbiomassa, opgelost organisch koolstof en de koolstof/chlorofyl-ratio. Het gestippelde DELWAQ-**

**zout modelresultaat toont het effect van het wijzigen van een zoete algensamenstelling in een zoute algensamenstelling – de chlorideconcentratie blijft gelijk.**

### **Chloride**

Op basis van de waterbalans bleef de berekende chlorideconcentratie in DELWAQ-zoet rond 250 mg/l hangen, ofwel circa de helft van de gemeten waarden van rond 500 mg/l. Aan het model is een heel klein beetje extra kwel van 0,1 mm/d toegevoegd met een randvoorwaarde aan de onderkant van de 40 cm bodemkolom van 2.000 mg/l chloride. In de 40 cm dikke modelbodem ontstaat daardoor een chloridegradiënt, waardoor een kleine extra zoute kwelflux ontstaat. De uiteindelijke chlorideconcentratie in deze extra kwelflux op de bodem-water overgang is dus niet gelijk aan 2.000 mg/l. Door de deze modelaanpassing verhoogt de berekende waarde naar circa 450 mg/l. Een verdere afregeling is mogelijk, maar doet niets af aan het feit dat de kwelbelasting onvoldoende goed bekend is om de gemeten chlorideconcentratie te reproduceren. Er is voor gekozen om niet tot 'curve-fitting' over te gaan.

### **Totaal fosfaat**

De berekende totaal fosfaatconcentratie komt overeen met PCLake modelberekening, maar is net als PCLake wat hoger dan de gemeten concentratie. Aan de 0,1 mm/d kwel is een fosfaatconcentratie van 0,5 mg/l toegekend (op basis van metingen van onderzoeksbureau B-Ware). In het model is een aanzienlijk deel van het totaal fosfaat aanwezig als opgelost organisch fosfaat (DOP). De DOP-concentratie varieert in het model tussen 0,06/0,08 mg P/l in de winter en 0,10/0,12 mg P/l in de zomer. De bijdrage van DOP aan de totaal fosfaatconcentratie is daarmee circa 33%.

### **Totaal stikstof**

In eerste instantie bleef de berekende totaal stikstofconcentratie onder de gemeten totaal stikstofconcentraties, waarbij een proces als denitrificatie is meegenomen. Dit geeft aan dat de stikstofbalans voor de Binnenschelde onvoldoende goed begrepen wordt. Om de berekende concentratie te verhogen is aan de 0,1 mm/d kwel een stikstofconcentratie van 5 mg/l toegekend. Deze concentratie is gebaseerd op de maximaal gemeten waarden in het bodemvocht (metingen van onderzoekscentrum B-Ware), en komt neer op een gebruikte N:P-ratio van 10:1 g/g.

Met deze toevoeging komt de berekende totaal stikstofconcentratie in de periode 2010-2014 redelijk goed overeen met de gemeten winterconcentraties. In de zomer wordt de concentratie in het model onderschat. In de periode 2005-2009 wordt zowel de winter- als de zomerconcentratie onderschat. De gemodelleerde totaal stikstofconcentratie in DELWAQ-zoet is structureel wat hoger dan in PCLake. In hoeverre dit komt door de iets verhoogde kwelflux of door andere modelaspecten is niet verder uitgezocht.

Uit de data-analyse blijkt dat stikstof vrijwel volledig in organische vorm voorkomt. De hoge totaal stikstofconcentratie is niet te verklaren uit de biomassa van algen en het particulier organisch materiaal. In overeenstemming met de hoge DOC concentratie (zie onderstaande punt) is het waarschijnlijk dat het stikstof in de vorm van opgelost organisch stikstof voorkomt. Uit zoute wateren is bekend dat dit voor een groot deel zeer moeilijk afbreekbaar (refractair) kan zijn (Dauwe and Middelburg 1998). Mogelijk geldt hetzelfde voor de Binnenschelde. Aangezien deze refractaire fractie niet in het model is opgenomen, zou dit een oorzaak kunnen zijn voor de onderschatte totaal stikstofconcentratie in het model.

### **Chlorofyl, algenbiomassa en koolstof/chlorofyl-ratio**

De met DELWAQ-zoet berekende chlorofylconcentratie komt goed overeen met de metingen en is in de zomer wat lager dan de PCLake modeluitkomst. Dit verschil tussen DELWAQ-zoet en PCLake is vooral het gevolg van de gebruikte koolstof/chlorofyl-ratio. Als de biomassa van algen vergeleken wordt is het verschil veel kleiner tot zelfs afwezig in de jaren 2005-2009. In DELWAQ (zoet en zout) is de koolstof/chlorofyl-ratio in sterkere mate afhankelijk van de limiterende factor dan in PCLake. Onder lichtlimitatie is de verhouding hoger (meer chlorofyl per mg koolstof) dan onder stikstof of fosfaat gelimiteerde omstandigheden. Omdat de Binnenschelde in de zomer stikstof gelimiteerd is, maken algen dan bij dezelfde biomassa minder chlorofyl.

### **Opgelost organisch materiaal (DOC) en doorzicht**

De berekende concentratie opgelost organisch koolstof (DOC) was in eerste instantie wat lager dan de gemeten concentratie. De berekende concentratie is verhoogd door een klein deel (5%) van de snel afbreekbare organische fractie (POC1) aan de DOC-fractie toe te kennen. Hierdoor wordt meer DOC gevormd en door de slechte afbreekbaarheid van DOC neemt de concentratie in het oppervlaktewater toe. Met deze relatief beperkte aanpassing komt de DOC concentratie vrij goed overeen met de metingen.

Het in DELWAQ-zoet berekende doorzicht is met 0,2 tot 0,3 m iets minder dan in de metingen, die minima van 0,25 m in de zomer en 0,5 tot af en toe meer dan 1 m in de winter laten zien. In DELWAQ-zoet levert DOC circa 75% van de lichtextinctie, en het is dus goed mogelijk dat de gehanteerde specifieke extinctiecoëfficiënt te hoog is in DELWAQ. Omdat er in het voorjaar, de zomer en het najaar geen lichtlimitatie optreedt voor algengroei in DELWAQ-zoet, is de onderschatting van het doorzicht niet van belang voor de berekende primaire productie en chlorofylconcentratie. Alleen in de winter zou er een zwak effect kunnen zijn op de berekende primaire productie en chlorofylconcentratie, omdat er dan wel lichtlimitatie optreedt. Bij de interpretatie van het modelresultaat voor de hoeveelheid licht die de bodem bereikt, moet er natuurlijk voor het gehele jaar rekening worden gehouden met de onderschatting van het doorzicht.

### **Vergelijk DELWAQ-zoet met DELWAQ-zout: Effect van algensamenstelling**

Zoals gezegd hebben we DELWAQ-zoet met DELWAQ-zout vergeleken om inzicht te geven in het effect van een andere algensamenstelling bij verder gelijk blijvende omstandigheden. Men moet daarbij voor de vergelijking aannemen dat het zoute algen in het zoete water kunnen overleven en groeien. Zowel DELWAQ-zoet als DELWAQ-zout maken gebruik van parameterinstellingen die in vele zoete en zoute modelstudies toegepast zijn en door veelvuldig gebruik gevalideerd zijn (bijvoorbeeld Los, 2009, De Kluijver et al. 2013, Cronin et al. 2015). Een functionaliteit van de algenmodellering in DELWAQ is dat algen hun groeisnelheid en hun koolstof-, nutriënten- en chlorofylratio's (C:N:P:Si:chlorofyl-a) aanpassen aan de limiterende omstandigheden, dat wil zeggen aan licht-, stikstof- of fosfaatlimitatie (zie bovenstaande referenties en in het bijzonder Los (2009)). In DELWAQ-zoet zijn *Microcystis* en *Aphanizomenon* de dominante gemodelleerde algensoorten en in DELWAQ-zout voor de Binnenschelde zijn dat mariene diatomeeën en dinoflagellaten. De parameterinstellingen voor de groeisnelheid en nutriëntenratio's verschillen wel tussen de zoete en zoute algen, maar zijn niet zo substantieel. Er zijn twee parameters die wel substantieel verschillen en van belang zijn om de verschillende in de modelberekening tussen DELWAQ-zoet en DELWAQ-zout te verklaren. De mortaliteit, ofwel de sterftesnelheid, is voor de mariene algen ongeveer twee keer zo hoog als voor de zoetwateralgen (Los 2009). Daarnaast kan de chlorofyl:koolstof ratio substantieel verschillend zijn onder bepaalde limiterende condities, bijvoorbeeld tussen N- en P-limitatie voor mariene dinoflagellaten en zoete *Aphanizomenon*. Beide zijn in de zomer en het najaar dominant. Onder nutriëntlimitatie komt 1 g C/m<sup>3</sup> algenbiomassa mariene dinoflagellaten in DELWAQ-zout overeen met 10 mg/m<sup>3</sup> chlorofyl-a en 1 g C/m<sup>3</sup> algenbiomassa *Aphanizomenon* in DELWAQ-zoet 25 mg/m<sup>3</sup> chlorofyl-a.

Het meest opvallende verschil tussen DELWAQ-zoet en DELWAQ-zout is de lagere biomassa van algen die bij de zoute algensamenstelling worden berekend (Figuur 3). Deze is bij de zoute algen ongeveer de helft van de zoete algensamenstelling. In de zomer is de zoute algenbiomassa 1 tot 2 mg C/l, terwijl de zoete algenbiomassa circa 4 mg C/l bereikt. De voornaamste reden hiervoor is de hogere sterftesnelheid in DELWAQ-zout, waardoor naar verhouding een groter deel van de beschikbare nutriënten in dood organisch materiaal dan in levende algen terecht komt. In DELWAQ is in deze empirisch hogere sterftesnelheid meegenomen dat in zoute wateren de begrazing structureel hoger is, maar dat die begrazing niet in het model is opgenomen (zie ook paragraaf 1.4.1)

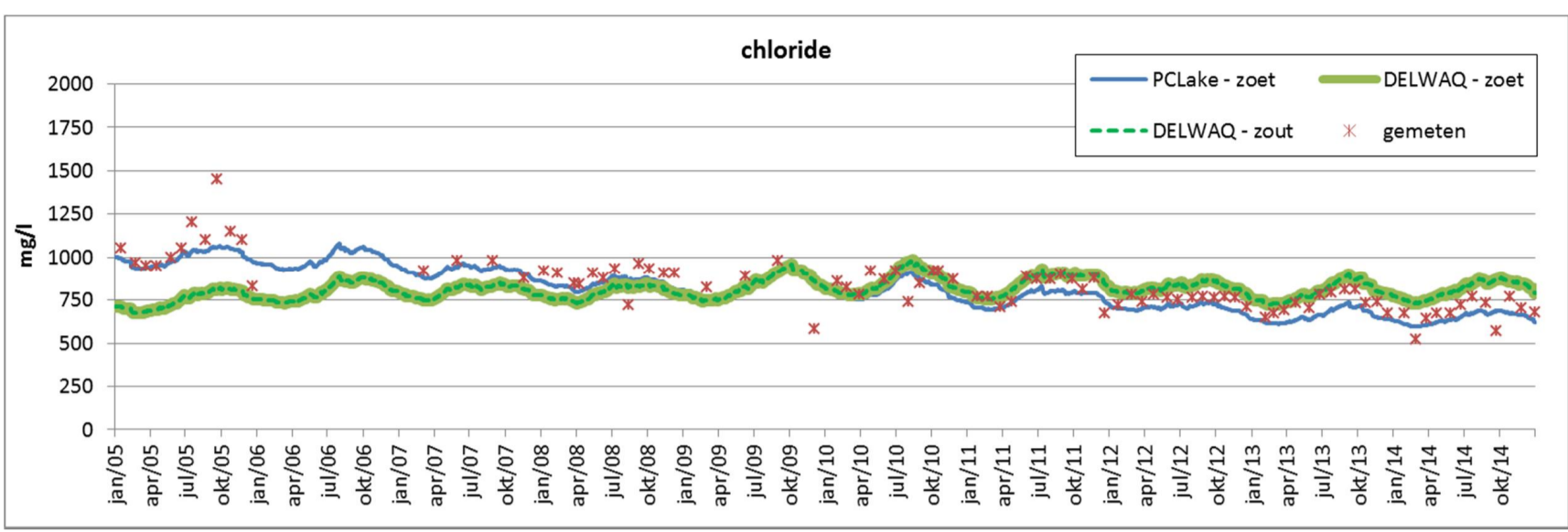
Daarnaast heeft de stikstof fixerende capaciteit van *Aphanizomenon* een inherent voordeel onder stikstof limiterende omstandigheden doordat een extra stikstofbron, te weten fixatie, de potentie voor algenbiomassa doet toenemen. Omdat mariene dinoflagellaten onder stikstof gelimiteerde omstandigheden ongeveer tweederde minder chlorofyl per mg koolstof creëren dan zoete

*Aphanizomenon*, is de chlorofylconcentratie in de zomer in DELWAQ-zout een factor 4 tot zelfs 12 lager dan in DELWAQ-zoet.

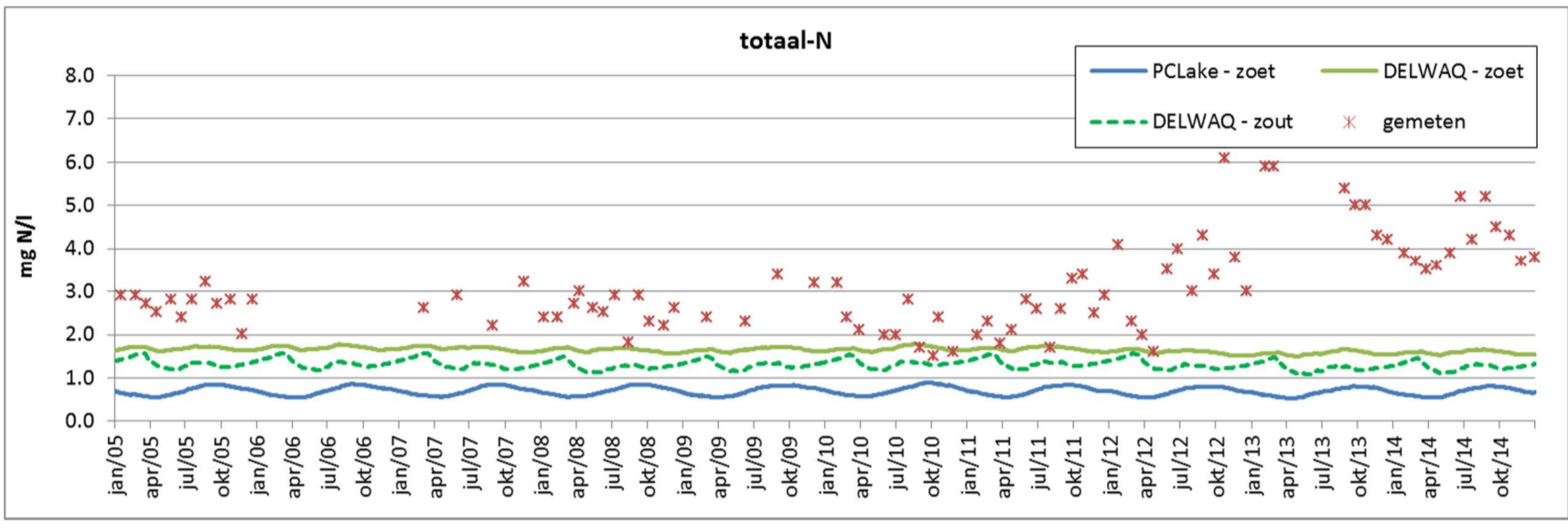
Bij lagere biomassa en vergelijkbare groeisnelheid is de primaire productie (in  $\text{gC/m}^2/\text{d}$ ) ook lager. De lagere productie heeft ook tot gevolg dat er minder DOC geproduceerd wordt en daardoor is het doorzicht in DELWAQ-zout hoger dan in DELWAQ-zoet. Tenslotte zien we dat het verschil in totaal stikstof tussen DELWAQ-zoet en DELWAQ-zout geringer is voor totaal stikstof dan voor totaal fosfaat. Dit is een indicatie dat het belang van interne processen in de Binnenschelde voor totaal fosfaat hoger is dan voor totaal stikstof.

#### **1.4.3. Modelverificatie Markiezaatsmeer**

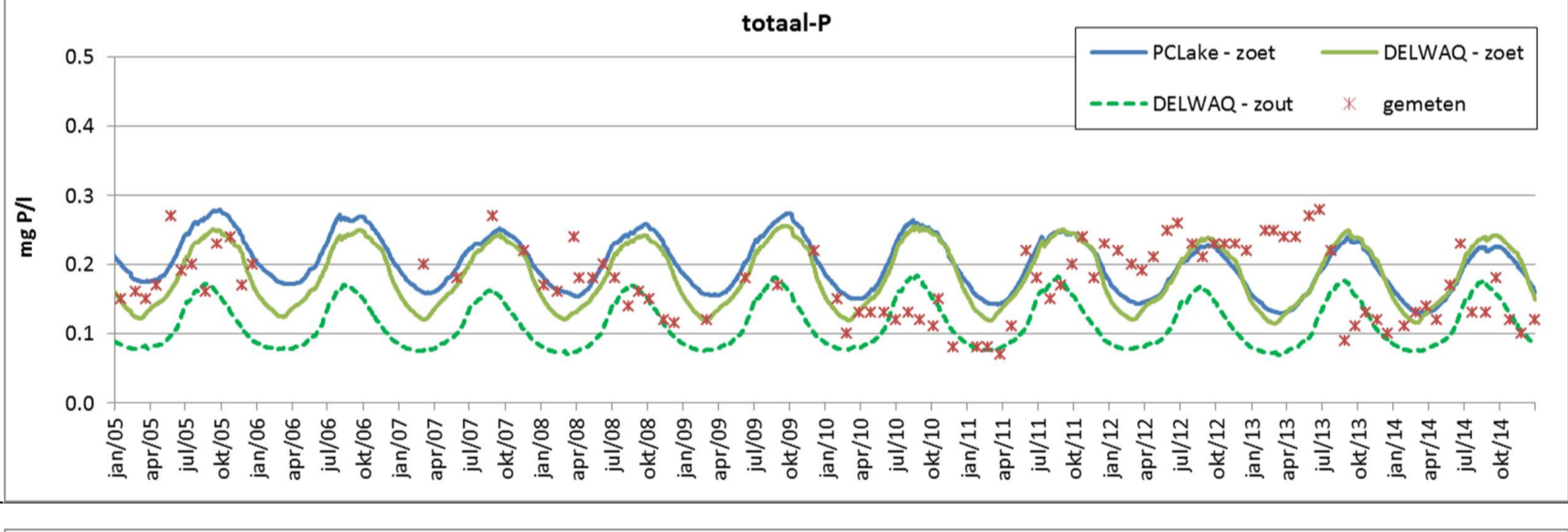
Net als voor de Binnenschelde is ook voor het Markiezaatsmeer een DELWAQ verificatie met zoete algen voor de huidige (zoete) situatie doorgerekend. De parameterinstellingen voor Binnenschelde en Markiezaatsmeer zijn identiek. Voor de modeltoetsing zijn de modelresultaten van DELWAQ-zoet en PCLake in Figuur 4 geplot, tezamen met de metingen over de periode 2005-2014. Eveneens is het modelresultaat van DELWAQ-zout getoond, waarbij (net als bij de Binnenschelde) het enige verschil met DELWAQ-zoet is dat de zoete algensamenstelling vervangen is door een zoute algensamenstelling.



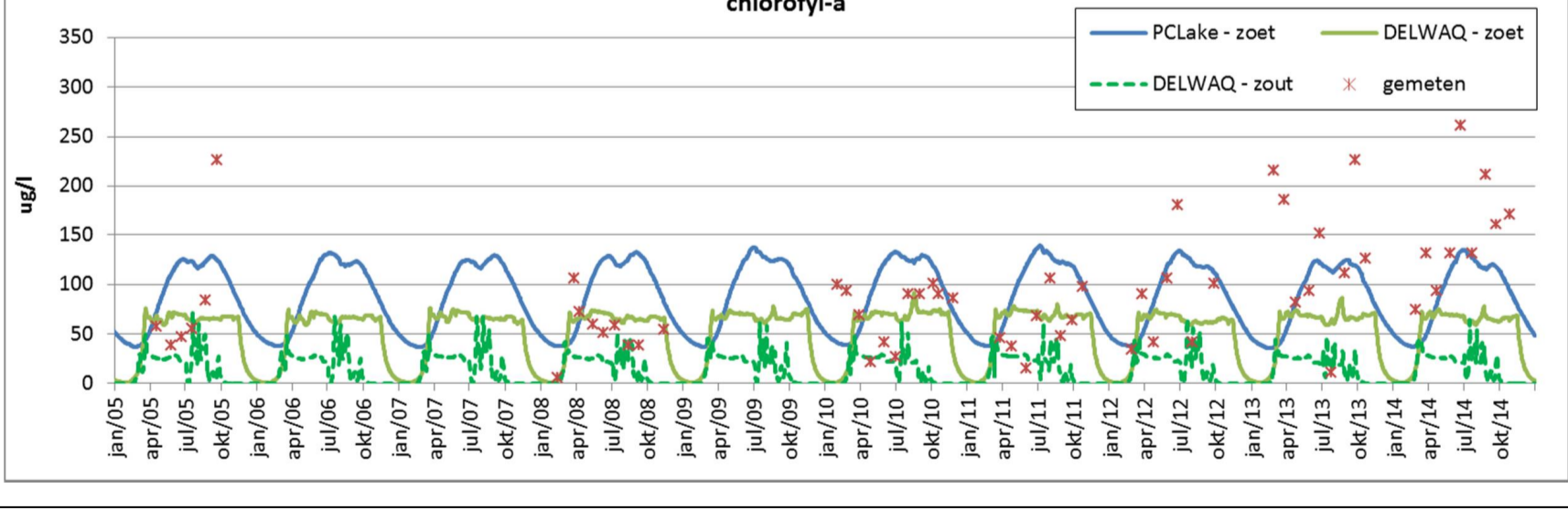
Chloride (mg/l)



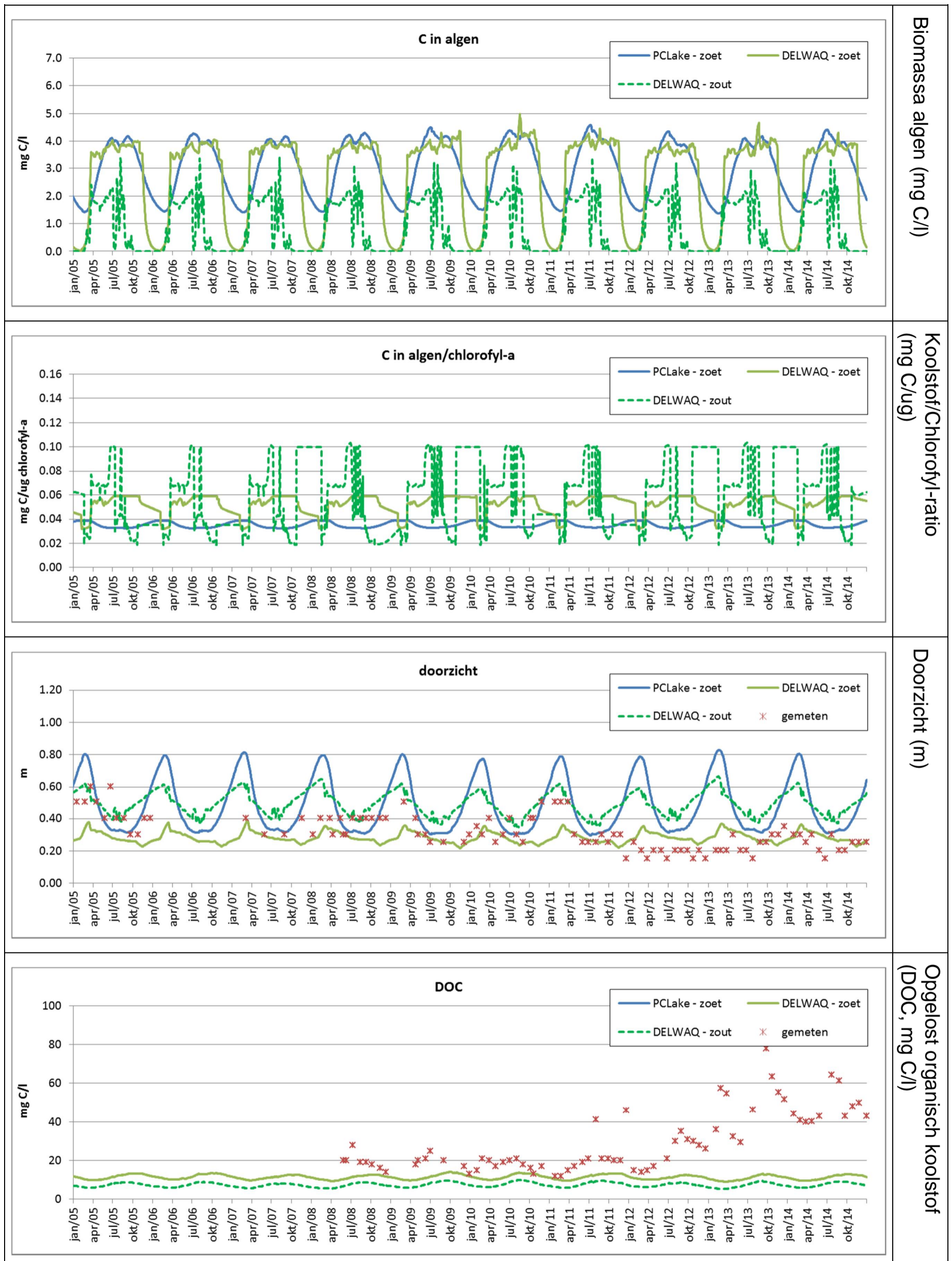
Totaal-stikstof (mg N/l)



Totaal-fosfaat (mg P/l)



Chlorofyl-a (ug/l)



**Figuur 4 Markiezaatsmeer – Vergelijking van metingen (symbolen) en modelresultaten van PCLake en DELWAQ (lijnen) over de periode 2005-2014 voor chloride, totaal-stikstof, totaal-fosfaat, chlorofyl-a, algenbiomassa, opgelost organisch koolstof en de koolstof/chlorofyl-ratio. Het gestippelde DELWAQ-**

**zout modelresultaat toont het effect van het wijzigen van een zoete algensamenstelling in een zoute algensamenstelling – de chlorideconcentratie blijft gelijk.**



### **Chloride**

Witteveen+Bos heeft aangetoond dat de waterbalans sluitend is. In tegenstelling tot PC Lake wordt in DELWAQ de input voor chlorideconcentratie in de bodem opgegeven op 40 cm diepte. Om de berekende chlorideconcentratie in het oppervlaktewater in overeenstemming te brengen met de gemeten chlorideconcentratie is deze inputwaarde op 40 cm diepte gekalibreerd op 2.000 mg/l. Doordat een chloridegradiënt in de bodem ontstaat, is de chlorideconcentratie bij het bodem-water grensvlak in evenwicht met de oppervlaktewaterconcentratie van 750 tot 1000 mg/l.

### **Totaal fosfaat**

De berekende totaal fosfaatconcentratie komt overeen met PCLake modelberekening en komt over het algemeen goed overeen met het niveau van de metingen. De metingen laten een grotere variatie zien van jaar tot jaar dan beide modellen. In DELWAQ-zoet is een aanzienlijk deel van het totaal fosfaat aanwezig als opgelost organisch fosfaat (DOP). De DOP-concentratie varieert in het model tussen 0,06/0,07 mg P/l in de zomer en 0,04 mg P/l in de winter. De bijdrage van DOP aan totaal fosfaat is daarmee circa 33%.

### **Totaal stikstof**

De berekende totaal stikstofconcentratie bleef in eerste instantie ver onder de gemeten totaal stikstofconcentratie, waarbij een proces als denitrificatie is meegenomen. Om de berekende concentratie te verhogen is de randvoorwaarde aan de onderzijde van de 40 cm bodemkolom verhoogd naar 25 mg/l. Hiervan wordt een deel in de bodem afgebroken en een deel de waterkolom bereikt. Een dergelijke hoge concentratie is in enkele poriewatermonsters gemeten, maar is hoger dan in metingen van het diepere grondwater. Dit geeft aan de stikstofbalans voor het Markiezaatsmeer onvoldoende goed begrepen wordt.

Evenals voor de Binnenschelde blijkt uit de data-analyse dat stikstof in het Markiezaatsmeer vrijwel volledig in organische vorm voorkomt. Ook hier wordt vermoed dat een groot deel in de vorm van refractair opgelost organisch stikstof voorkomt dat niet in het model is opgenomen.

### **Chlorofyl, algenbiomassa en koolstof/chlorofyl-ratio**

De met DELWAQ-zoet berekende chlorofylconcentratie komt over het algemeen goed overeen met het niveau van de metingen al worden in de latere jaren 2013-2015 de hoge chlorofylconcentratie niet gereproduceerd. In de zomer is de berekende waarde van DELWAQ-zoet wat lager dan de PCLake modeluitkomst. Evenals bij de Binnenschelde, is dit verschil tussen DELWAQ-zoet en PCLake vooral het gevolg van de gebruikte koolstof/chlorofyl-ratio, die in DELWAQ sterker afhankelijk is van limiterende factoren dan in PCLake (zie paragraaf 1.4.2). Als de biomassa van algen vergeleken wordt, is het verschil afwezig.

De erg lage biomassa en chlorofylconcentratie in de winter wordt in DELWAQ-zoet opgelegd door een verhoogde achtergrondextinctie in de winter, waardoor lichtlimitatie optreedt. Zonder deze forcering blijft de hoeveelheid algen in zomer en winter vrijwel gelijk. Een nadere afregeling is niet uitgevoerd.

### **Opgelost organisch materiaal (DOC) en doorzicht**

De berekende concentratie opgelost organisch koolstof (DOC) was in eerste instantie wat lager dan de gemeten concentratie. Evenals bij de Binnenschelde is de berekende concentratie verhoogd door een klein deel (5%) van de snel afbreekbare organische fractie (POC1) aan de DOC-fractie toe te kennen, waardoor meer relatief slecht afbreekbaar DOC gevormd wordt. Met deze relatief beperkte aanpassing is de berekende DOC-concentratie nog steeds iets lager dan de metingen tot 2012. Vanaf 2012 wordt de DOC-concentratie in het model meer onderschat. Het is waarschijnlijk dat deze onderschatting gerelateerd is aan de onderschatting van de hoge chlorofylconcentratie die in deze periode gemeten is.

Het in DELWAQ-zoet berekende doorzicht komt met 0,2 tot 0,4 m redelijk goed overeen met de metingen. Doorzicht is een uitvoergrootheid van DELWAQ, die berekent wordt door een

constante (in ons geval 1,7 [eenheidsloos]) te delen door de berekende extinctiecoëfficiënt. Deze modelconstante is een empirische bepaalde waarde die kan variëren tussen 1 en 1,8.

In DELWAQ-zoet levert DOC circa 75% van de lichtextinctie. Omdat er in het voorjaar, de zomer en het najaar geen lichtlimitatie optreedt voor algengroei in DELWAQ-zoet, is de onderschatting van het doorzicht niet van belang voor de berekende primaire productie en chlorofylconcentratie.

***Vergelijk DELWAQ-zoet met DELWAQ zout: Effect van algensamenstelling***

Ook in het Markiezaatsmeer is het meest opvallende verschil tussen DELWAQ-zoet en DELWAQ-zout de biomassa van algen, die in de zoute algensamenstelling ongeveer de helft is van in de zoete samenstelling. In de zomer is de zoute algenbiomassa 1 tot 2 mg C/l, terwijl de zoete algenbiomassa meestal circa 4 mg C/l bereikt. Omdat zoute algen onder nutriënt gelimiteerde omstandigheden ongeveer tweederde minder chlorofyl per mg koolstof creëren dan zoete algen, is de chlorofylconcentratie in de zomer in DELWAQ-zout een factor 4 tot zelfs 12 lager dan in DELWAQ-zoet.

De lagere algenbiomassa heeft ook tot gevolg dat er minder DOC geproduceerd wordt en daardoor is het doorzicht in DELWAQ-zout hoger dan in DELWAQ-zoet.

## 2. SYSTEEMANALYSE VAN DE BINNENSCHELDE

### 2.1. Abiotische voorwaarden

#### 2.1.1. Hydrologisch functioneren

De langjarig gemiddelde waterbalans voor de Binnenschelde is weergegeven in Tabel 3, terwijl de gedetailleerdere balansen (op maandbasis) zijn opgenomen in bijlage X1. De langjarige gemiddelden voor de scenario's "Gemaal Zoommeer" en "Onderleider Oosterschelde" zijn bepaald over de jaren 2005-2014, terwijl voor het scenario "Getijopening Zoommeer" gebruikt is gemaakt van het langjarig gemiddelde over de jaren 1991-1995. Dit zijn de jaren waarvoor de simulaties zijn uitgevoerd.

Uit **Error! Reference source not found.** blijkt dat bij het scenario Getijopening Zoommeer de waterbalans gedomineerd wordt door de uitwisseling met het Zoommeer. Zelfs bij de kleinste opening is de inlaat al 20 keer groter dan alle overige inlaten bij elkaar. Verder treedt er bij deze variant wat kwel op in het meer, doordat de waterstand ongeveer 1,5 m zal zakken tot het gemiddelde peil in het Zoommeer van -0,1 m NAP. De gemiddelde verblijftijd neemt sterk af als er een open verbinding met het Zoommeer komt, waarbij de verblijftijd circa 27 dagen is bij een kleine opening en circa 2 dagen bij de grootst doorgerekende opening. Bij de scenario's Gemaal Zoommeer en Onderleider Oosterschelde is de inlaat vanuit respectievelijk het Zoommeer en de Oosterschelde van dezelfde orde grootte als de overige inlaten bij elkaar. Bij een inlaat van 5.000 m<sup>3</sup>/d is de verhouding ongeveer gelijk. De verblijftijd blijft lang van meer dan een jaar tot circa een half jaar bij een inlaat van 10.000 m<sup>3</sup>/d.

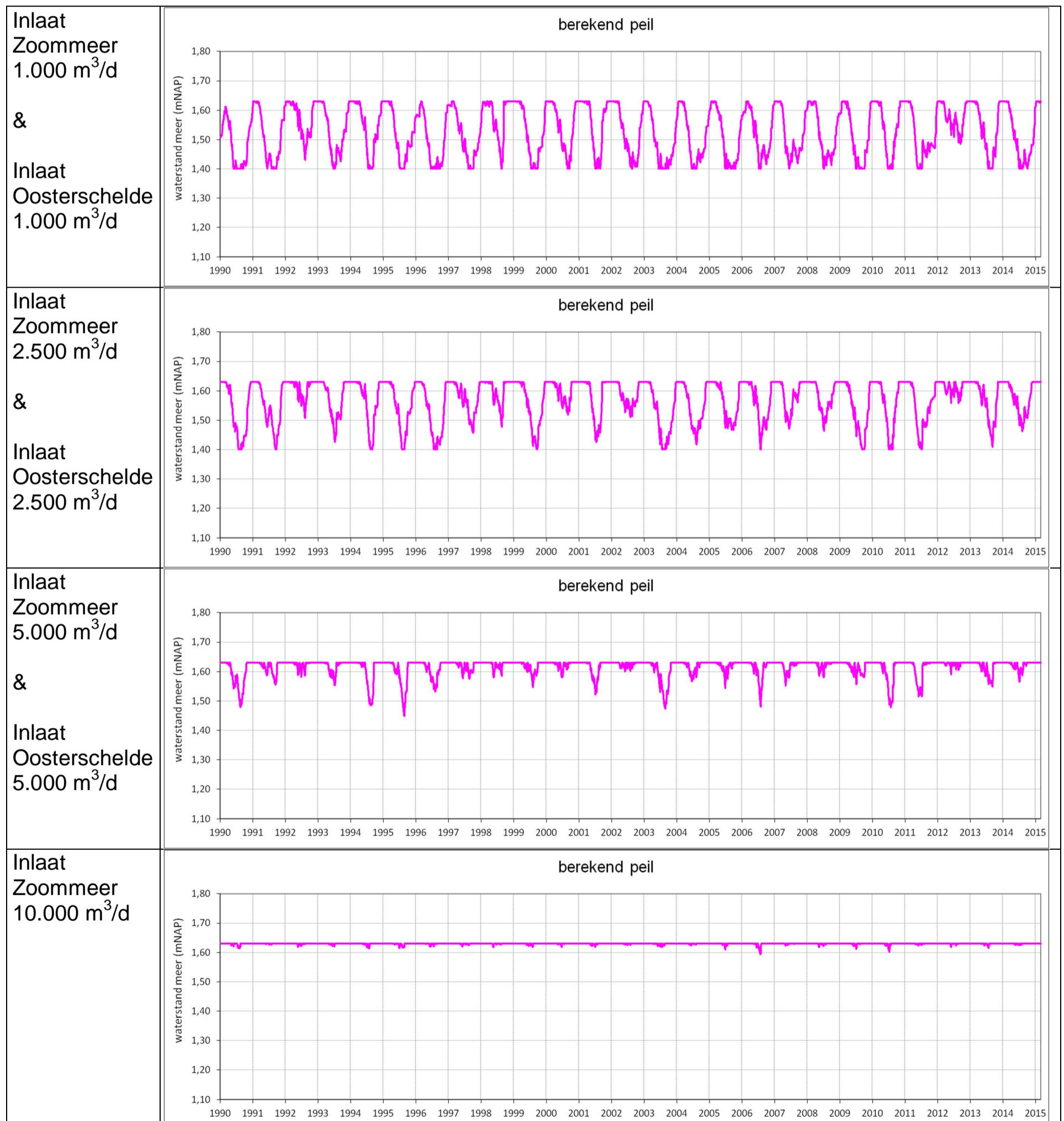
**Tabel 3 Langjarig gemiddelde waterbalans Binnenschelde voor de zoute scenario's. Debieten in m<sup>3</sup>/d. Blauwe getallen geven de voornaamste verschillen tussen de scenario's en varianten aan. In de laatste kolom is de typische verblijftijd in dagen opgenomen.**

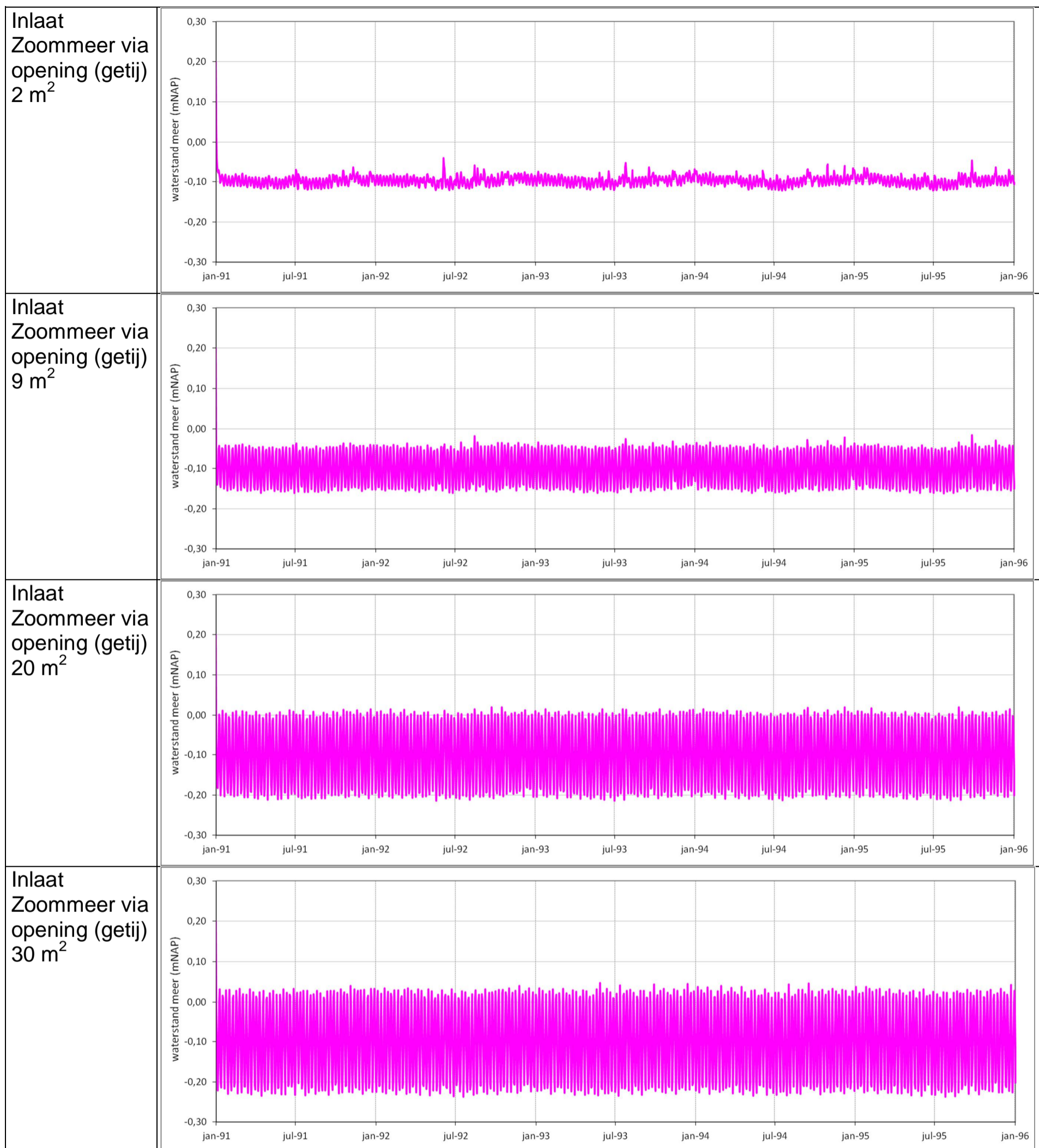
Scenario	Variant	Gemiddeld ingaand debiet (m <sup>3</sup> /d)						Gemiddeld uitgaand debiet (m <sup>3</sup> /d)				Gemiddelde verblijftijd (d)
		Neerslag	Kwel	Uitspoeling	Inlaat Zoommeer	Inlaat Zoommeer peilbeheer	Inlaat Oosterschelde	Verdamping	Wegzijing	Intrek	Uitlaat peilbeheer	
Gemaal Zoommeer	1.000 m <sup>3</sup> /d	4.084	-	255	1.000	517	-	3.573	1.267	104	910	500
	2.500 m <sup>3</sup> /d	4.084	-	266	2.500	99	-	3.573	1.267	115	1.994	400
	5.000 m <sup>3</sup> /d	4.084	-	294	5.000	0	-	3.573	1.267	143	4.395	290
	10.000 m <sup>3</sup> /d	4.084	-	302	10.000	0	-	3.573	1.267	150	9.395	190
Getijopening Zoommeer	2 m <sup>2</sup>	3.936	1.991	359	94.746	0	-	3.519	-	135	97.678	27
	9 m <sup>2</sup>	3.936	1.991	368	418.457	0	-	3.519	-	144	421.392	9
	20 m <sup>2</sup>	3.936	1.991	389	801.419	0	-	3.519	-	165	804.320	3
	30 m <sup>2</sup>	3.936	1.991	402	967.353	0	-	3.519	-	178	970.219	2
Onderleider Oosterschelde	1.000 m <sup>3</sup> /d	4.084	-	255	-	517	1.000	3.573	1.267	104	910	500
	2.500 m <sup>3</sup> /d	4.084	-	266	-	99	2.500	3.573	1.267	115	1.994	400
	5.000 m <sup>3</sup> /d	4.084	-	294	-	0	5.000	3.573	1.267	143	4.395	290

De waterstand en de peilvariatie volgen rechtstreek uit de opgelegde waterbalans (Figuur 5). In geval van inlaat via het Zoommeer of via de Oosterschelde maakt het voor de waterstand niet uit wat de bron van het water is. Bij gelijke debieten is het waterstandsverloop gelijk. In Figuur 5 zijn de zoute scenario's voor Inlaat Zoommeer en Inlaat Oosterschelde dan ook samengevoegd.

In geval van inlaat wordt de maximale waterstand op +1,65 m NAP gehandhaafd. In het zomerhalfjaar zakt het peil uit door verminderde aanvoer en door afvoer via wegzijging en verdamping. Bij een toenemend inlaatdebiet neemt het uitzakken van het waterpeil af. Bij het hoogste inlaatdebiet van 10.000 m<sup>3</sup>/d uit het Zoommeer (NB: deze variant is niet voor de Oosterschelde doorgerekend), compenseert de aanvoer vrijwel volledig de afvoer en blijft het waterpeil vrijwel constant op +1.65 m NAP.

In geval van getjuitwisseling met het Zoommeer varieert het waterpeil rondom -0,10 m NAP, dat wil zeggen het middenpeil van het zoute Zoommeer. De getjivariatie daaromheen neemt toe van circa 5 cm bij de kleinste opening van 2 m<sup>2</sup> tot 30 cm bij de grootste opening van 30 m<sup>2</sup>. Deze getjislag van 30 cm is gelijk aan de getjislag op het Zoommeer zelf. Daarmee is dus ook de maximale getjuitwisseling bereikt.

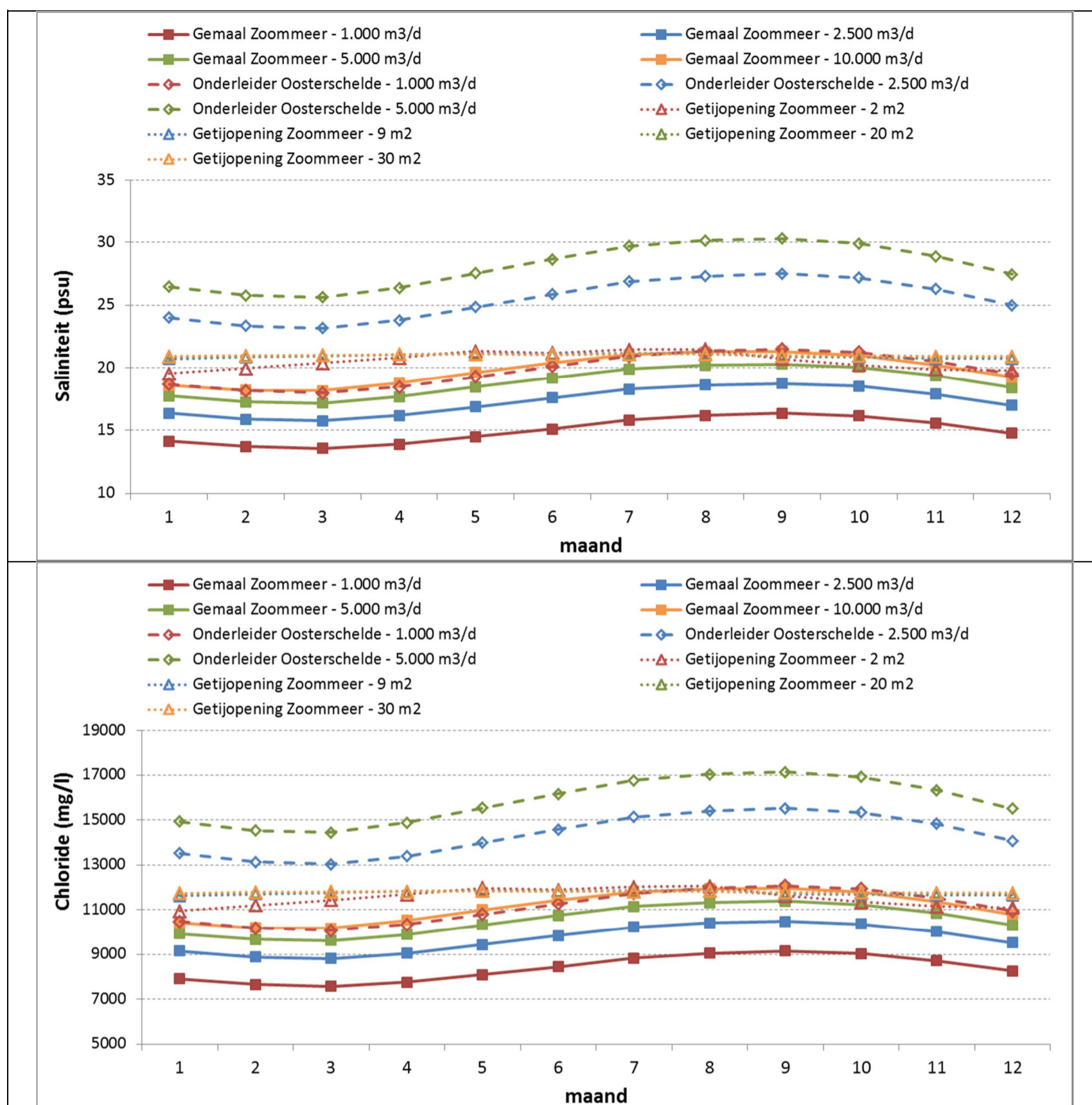




**Figuur 5 Berekende waterstand op basis van opgelegde waterbalans voor de Binnenschelde.**

### 2.1.2. Saliniteit

De berekende saliniteit wordt voor alle scenario's en varianten in figuur 6 getoond als langjarig maandgemiddelden. Deze wijze van presentatie maakt het mogelijk om in een oogopslag de scenario's en varianten te vergelijken. Door over een lange periode te middelen richt de vergelijking zich op de primaire patronen. Dit detailniveau sluit aan bij de gekozen modelopzet met een watersegment en een bodemkolom, waarin ruimtelijke verschillen niet zijn meegenomen.



**Figuur 6** Berekende saliniteit (ppt, boven) en chlorideconcentratie (mg/l, onder) in de Binnenschelde voor de zoute scenario's. NB: Let op dat de y-as niet op nul begint.

Bij toenemend inlaatdebiet neemt het zoutgehalte toe. Omdat het Zoommeer een lager zoutgehalte heeft dan de Oosterschelde (maximaal 22 ppt/12.000 mg/l vs. 30 ppt/17.000 mg/l) wordt met de inlaat van Zoommeer water een lager zoutgehalte bereikt dan met Oosterschelde water. Inlaat van 10.000 m<sup>3</sup>/d uit het Zoommeer geeft eenzelfde zoutgehalte als inlaat van 1.000 m<sup>3</sup>/d uit de Oosterschelde.

Bij een getijopening wordt al snel het zoutgehalte in de Binnenschelde gelijk aan het zoutgehalte van het Zoommeer. Bij een opening van 9 m<sup>2</sup> is het maximale zoutgehalte bereikt. Een verdere vergroting van de opening resulteert niet in een significant verder toename.

### 2.1.3. Nutriënten: Stikstof en fosfaat

Voor het beschouwen van het effect van scenario's op nutriëntenhuishouding en vervolgens op de algengroei is het van belang onderscheid te maken tussen belastingen en concentraties. Door de inlaat vanuit het Zoommeer of de Oosterschelde wordt een belasting aan de Binnenschelde toegevoegd. De belasting van stikstof en fosfaat neemt dus in alle scenario's substantieel toe ten opzichte van de huidige situatie (Bijlage X1). Aangezien de maximaal realiseerbare concentratie

van algen in de waterkolom primair bepaald wordt door de concentratie van biologisch beschikbaar stikstof en fosfaat, die sterk beïnvloed wordt door de concentratie in het ingelaten water, is bij de beoordeling en verklaring van zoute scenario's vooral gebruik gemaakt van de concentraties in het Zoommeer, de Oosterschelde en uiteraard de Binnenschelde.

**Wanneer is de belasting wel een belangrijke factor om rekening mee te houden in de analyse?**

De belasting is wel van belang als er sprake is van waterplanten en/of vastzittende algen. Zij halen nutriënten die langstromen uit het water en kunnen in principe ook bij lage concentraties meer nutriënten uit het water halen als er meer water langs stroomt. Waterplanten en vast zittende algen zijn niet in de DELWAQ modellering meegenomen en deze worden kwalitatief in paragraaf 2.2 beschouwd.

De stikstofconcentraties in de Oosterschelde zijn een stuk lager dan in het Zoommeer (Tabel 2). De nitraatconcentratie is in het zoute Zoommeer hoog met 2,5 tot 3 mg-N/l in de winter (Figuur 7), terwijl de concentratie in de Oosterschelde dan slechts 0,6 mg/l is. Dit zorgt er voor dat de nitraat- en totaal stikstofconcentraties in de Binnenschelde het laagst zijn bij een inlaat van water vanuit de Oosterschelde. Uit de zeer lage nitraatconcentraties tussen maart en oktober volgt dat er het gehele groeiseizoen sprake zal zijn van stikstoflimitatie in het geval water uit de Oosterschelde wordt ingelaten.

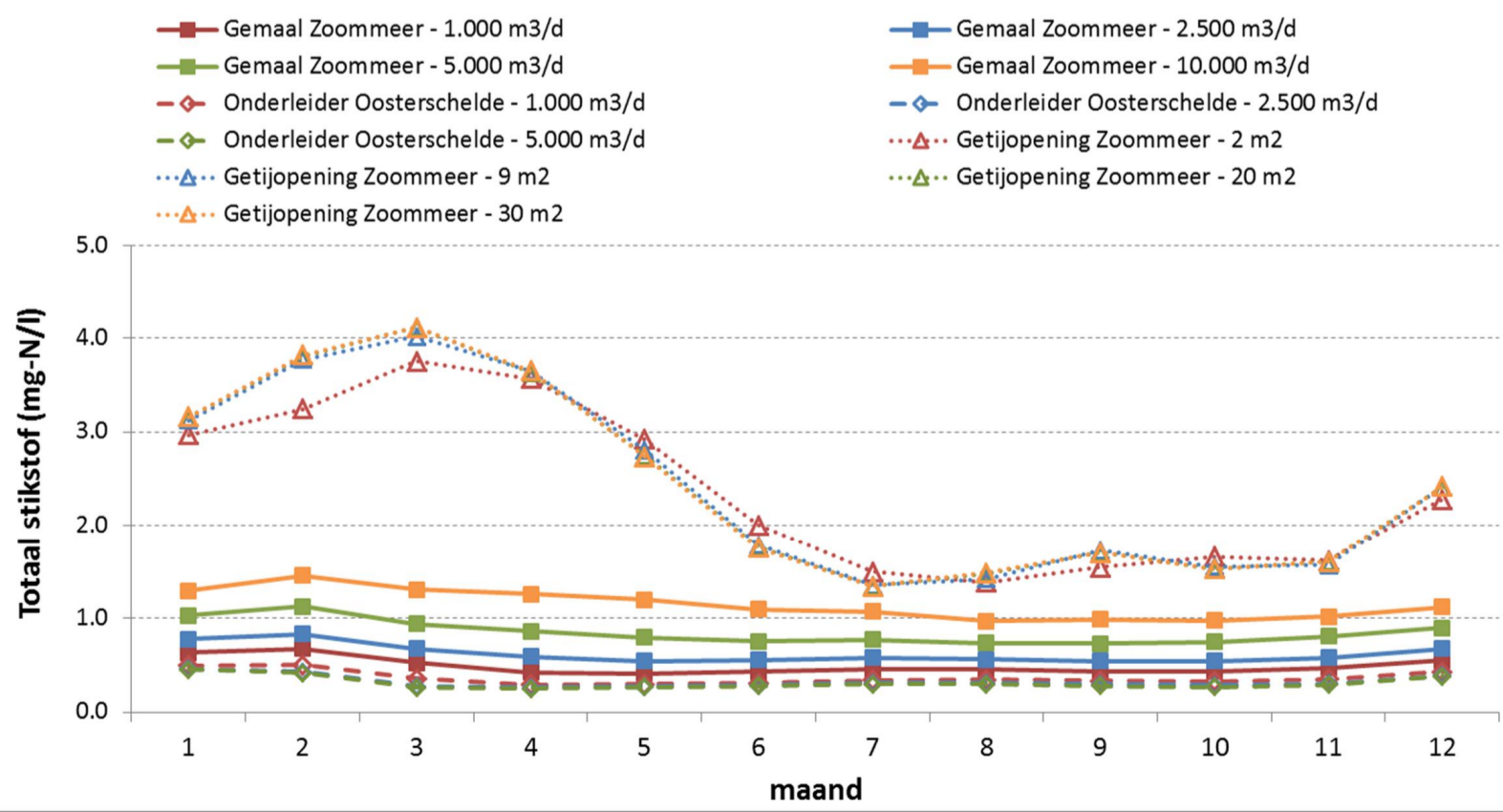
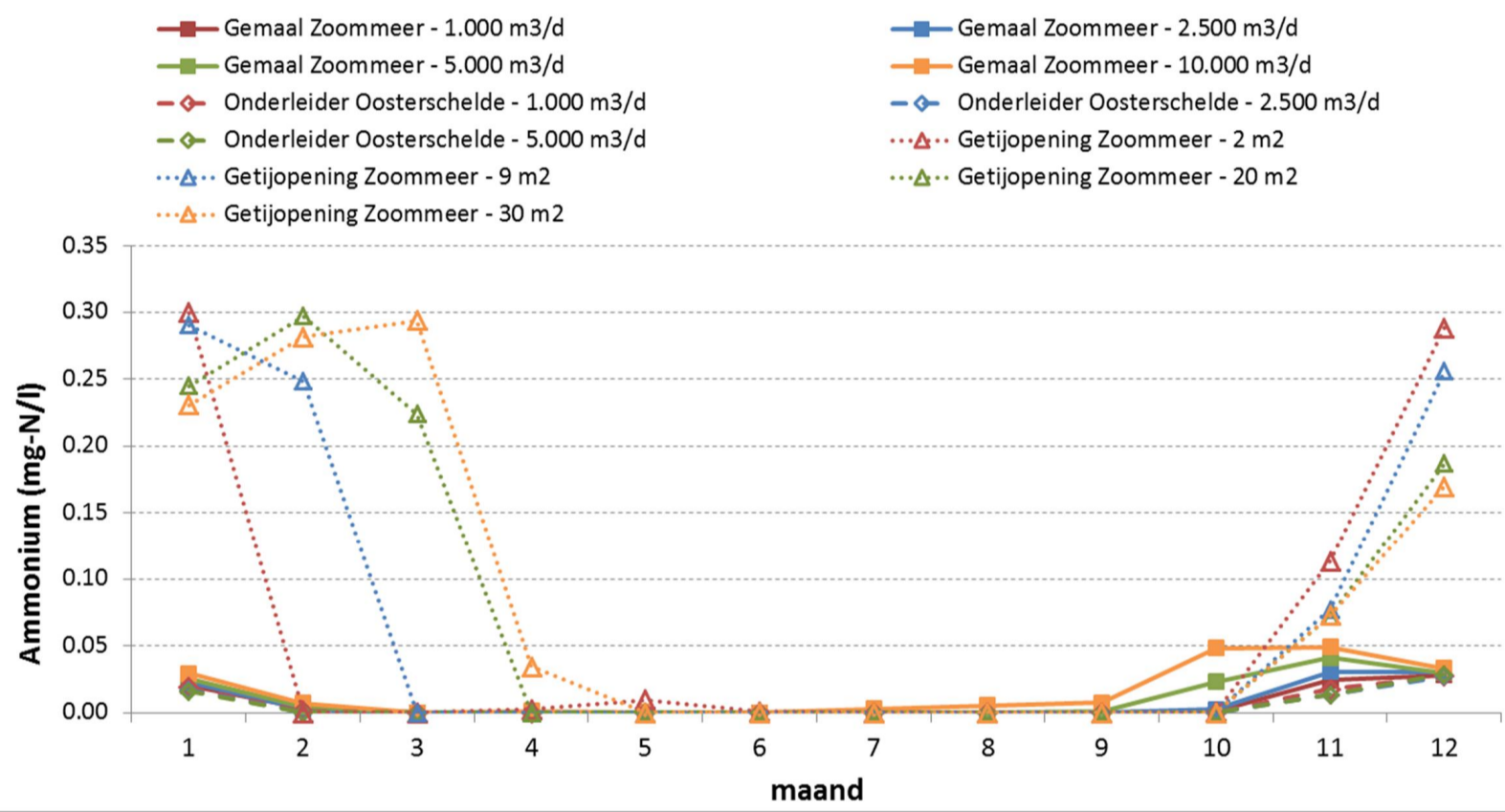
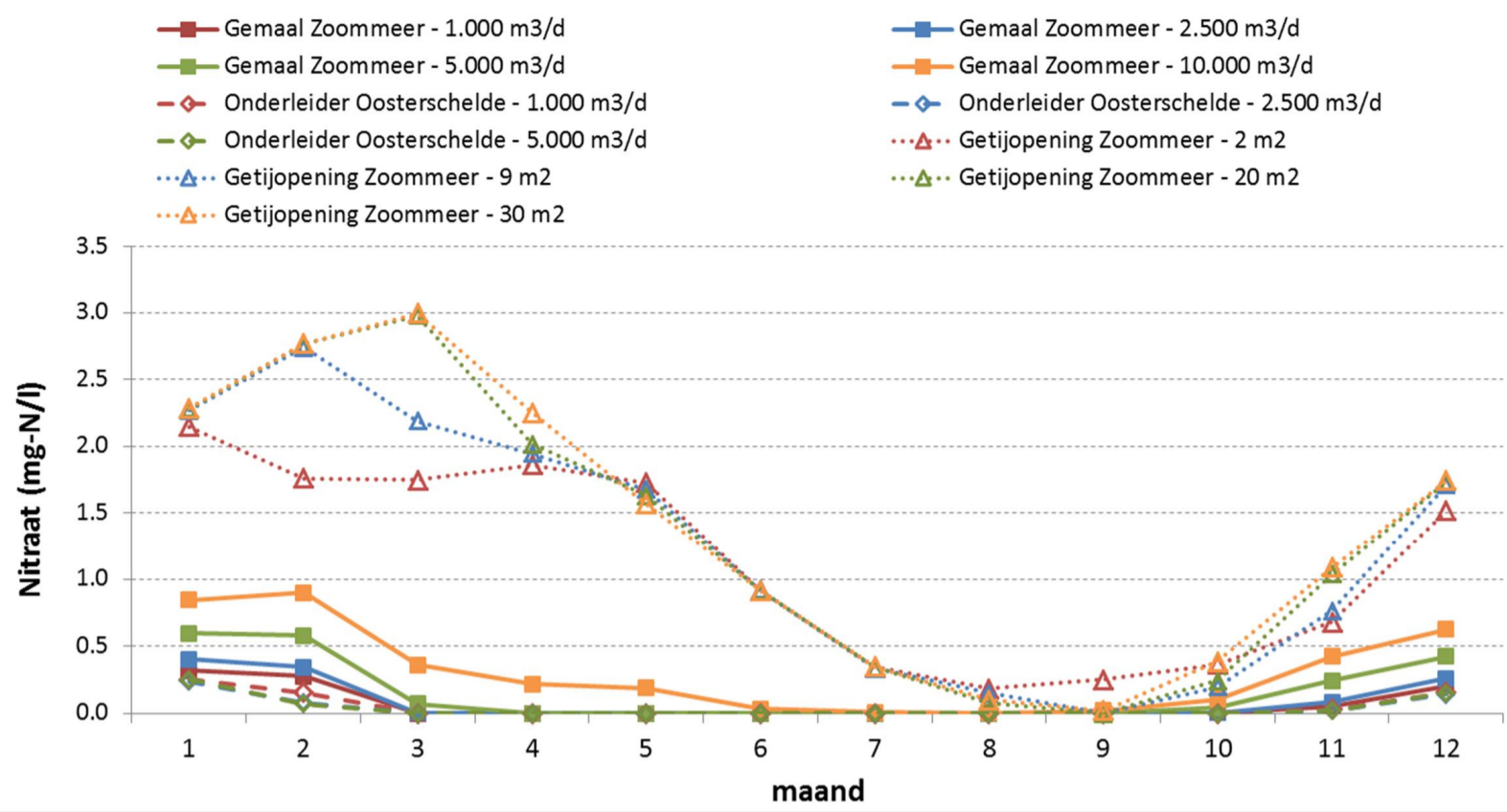
Bij inlaat van het nitratrijke Zoommeer water neemt de nitraatconcentratie in de winter steeds verder toe met meer inlaat via het gemaal. Ondanks deze hoge stikstofinlaat in de winter, treedt er in het zomerhalfjaar toch ook in deze situatie stikstoflimitatie op. Dit kan verklaard worden door de lagere stikstofconcentratie in het zoute Zoommeer in de zomermaanden ten opzichte van de huidige concentraties in het zoete Zoommeer (Tabel 2). Bij de hoogste inlaat van 10.000 m<sup>3</sup>/d uit het Zoommeer is de limitatie vrijwel opgeheven, omdat continu meer stikstof wordt aangevoerd –de belasting neemt toe – dan kan worden verwijderd door algenproductie en denitrificatie.

Bij getijuitwisseling volgt de Binnenschelde de hoge nitraatconcentratie in het Zoommeer water en is limitatie beperkt tot een korte periode in september. De ammoniumconcentratie is over het algemeen laag in dit scenario, hoewel de winterconcentratie licht verhoogd is. Een grotere uitwisseling resulteert in een latere uitputting van ammonium in de Binnenschelde (als gevolg van opname door algen).

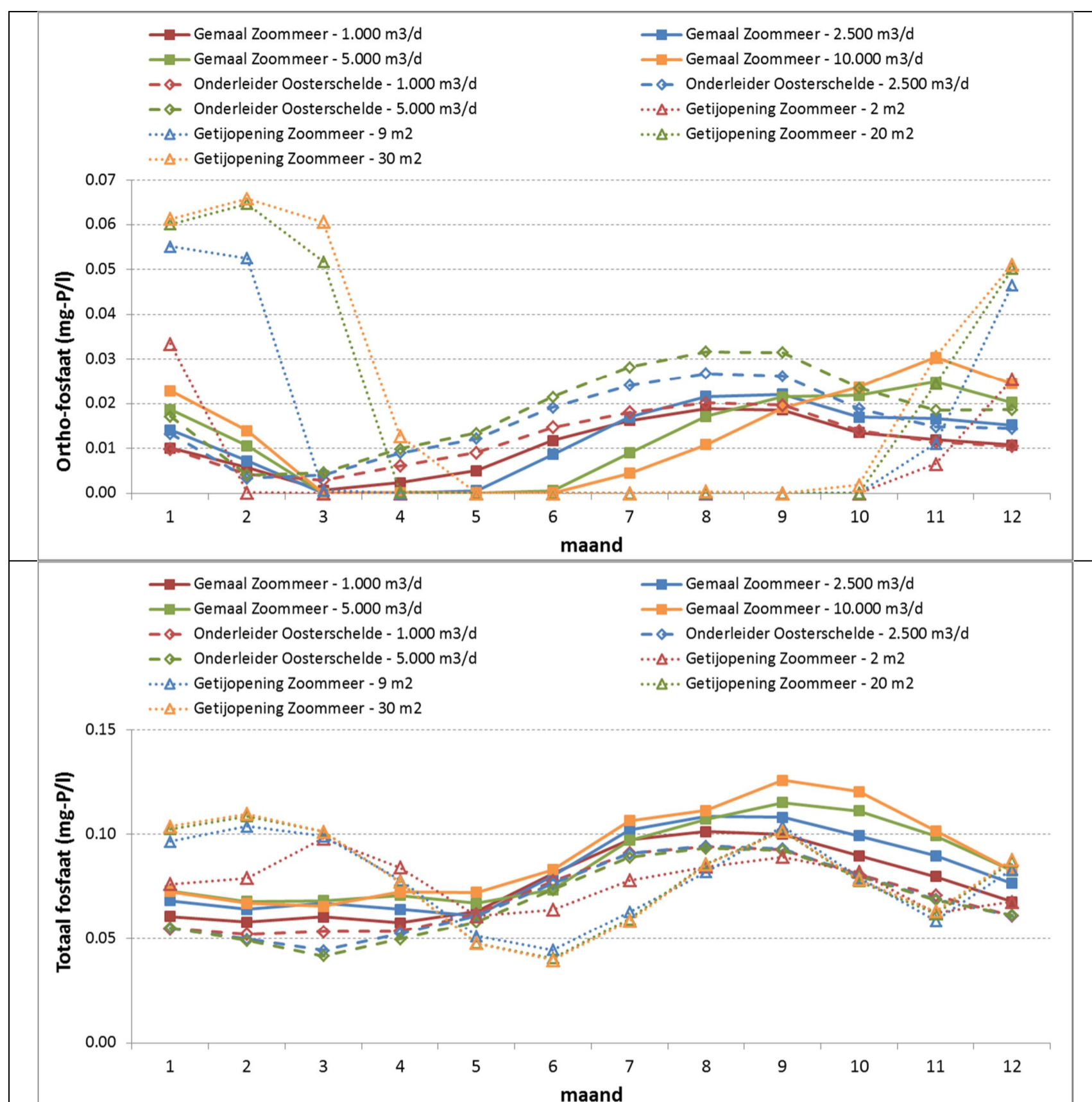
Inlaat en getijuitwisseling laten ook verschillende patronen zien voor ortho-fosfaat (Figuur 8). Bij inlaat vanuit het Zoommeer en vanuit de Oosterschelde wordt de maximale concentratie in de nazomer bereikt als gevolg van toelevering uit het sediment in die beide watersystemen. In het zoute Zoommeer en in de Oosterschelde is de fosfaatconcentratie dus hoger in de nazomer en deze hogere concentratie wordt doorgegeven aan de Binnenschelde. Daarbij komt dat ook in de Binnenschelde wat nalevering uit de bodem zal optreden in de nazomer. Omdat de ortho-fosfaatconcentratie in Zoommeer en Oosterschelde ongeveer gelijk zijn, is de resulterende ortho-fosfaatconcentratie in de Binnenschelde vergelijkbaar. De concentratie neemt weliswaar iets toe met grotere inlaat, maar omdat ortho-fosfaat niet het limiterende nutriënt is, is het effect op de waterkwaliteit (dat wil zeggen algen) niet onderscheidend (zie volgende paragraaf).

Bij getijuitwisseling is de ortho-fosfaatconcentratie in de wintermaanden hoger dan bij de inlaatvarianten. Dit komt door de hogere ortho-fosfaatconcentratie in het Zoommeer waarmee de Binnenschelde bij getijuitwisseling vrijwel overeenkomt. In de zomermaanden is ortho-fosfaat limiterend in het zoute Zoommeer en zal dat dus ook zijn in de Binnenschelde. Bij getijuitwisseling slaat de Binnenschelde derhalve om van een stikstof- naar fosfaat-gelimiteerd watersysteem. Zo lang stikstof limiterend is, zorgt een toenemende concentratie van stikstof in het ingelaten water voor een toename van de primaire productie. De toename gaat door, totdat fosfaat limiterend wordt. Vanaf dat moment resulteert een verdere toename van de voor algen beschikbare stikstofconcentratie niet meer in een toename van de primaire productie.





**Figuur 7** Berekende nitraat- (mg N/l, boven), ammonium- (mg N/l, midden), en totaal stikstofconcentratie (mg N/l, onder) in de Binnenschelde voor de zoute scenario's.



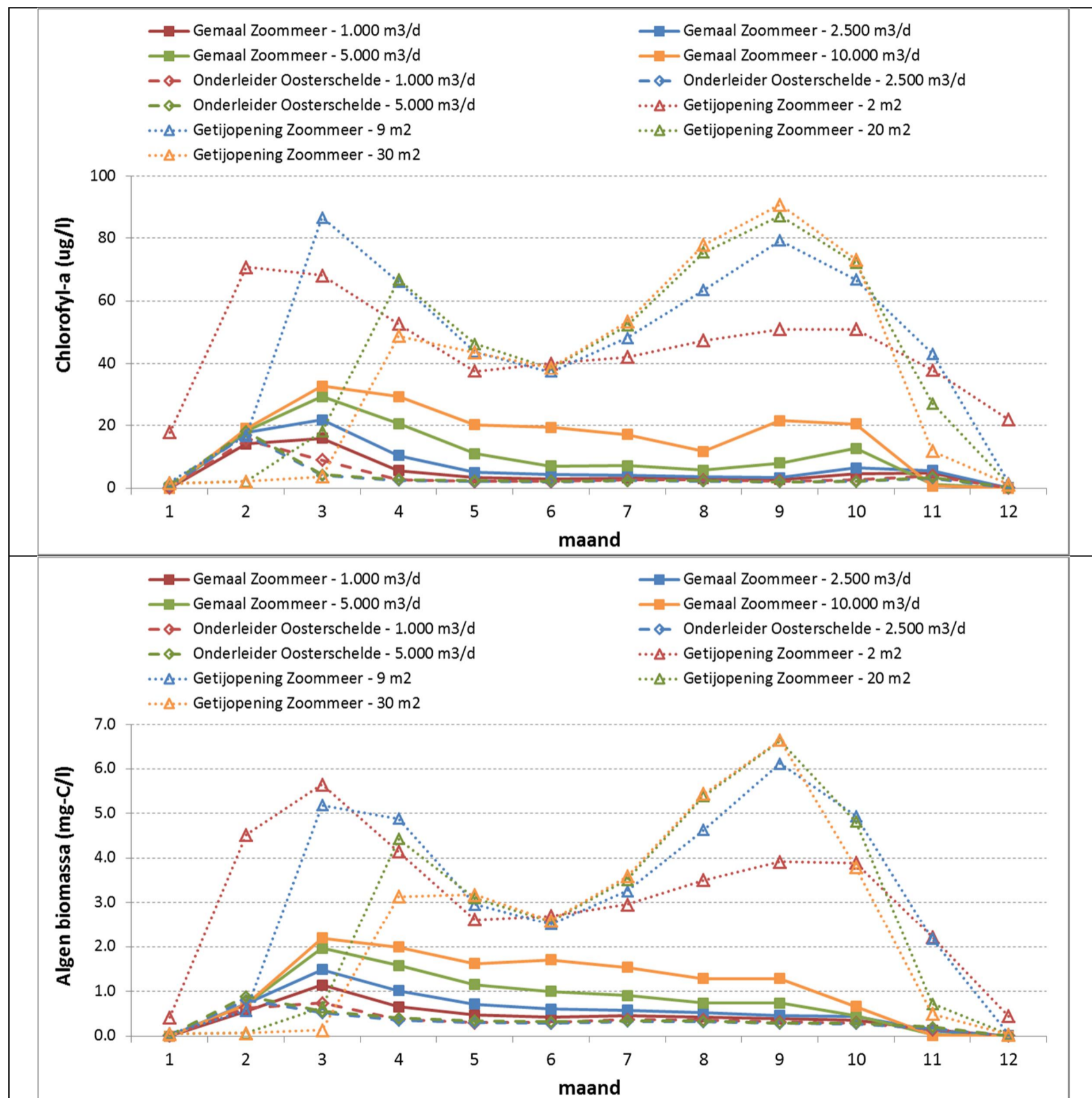
**Figuur 8** Berekende ortho-fosfaat- (mg P/l, boven) en totaal fosfaatconcentratie (mg P/l, onder) in de Binnenschelde voor de zoute scenario's.

#### 2.1.4. Fytoplankton: Chlorofyl-a en algenbiomassa

De berekende chlorofyl-a concentratie in de zoute scenario's wordt bepaald door de nutriëntenconcentraties. Bij inlaat vanuit de Oosterschelde, waarin de stikstofconcentratie relatief laag is, is chlorofylconcentratie het laagst met in de zomer waarden van 5 µg/l (Figuur 9). Bij inlaat vanuit het Zoommeer, waarin de stikstofconcentratie hoger is dan in de Oosterschelde, neemt de stikstofconcentratie toe, wat resulteert in een chlorofyl-a concentratie tot maximaal circa 20 µg/l in de zomer. Bij getijuitwisseling met het Zoommeer neemt de stikstofconcentratie nog verder toe en slaat de stikstoflimitatie om naar fosfaatlimitatie (zie vorige paragraaf 2.1.3). In het voorjaar en najaar neemt de chlorofyl-a concentratie in deze varianten toe tot maximaal 80 µg/l.

Het effect van een korte verblijftijd door een grote getijuitwisseling is zichtbaar in het voorjaar. Bij de grootste opening van 30 m<sup>2</sup> treedt nauwelijks een vroege voorjaarspiek op. Deze wordt

onderdrukt door de korte verblijftijd van 2 tot 3 dagen. Bij minder grote openingen en langere verblijftijden hebben algen voldoende tijd om tot een algenbloei te komen. Er is geen nutriëntlimitatie en door de geringe diepte wordt de lichtlimitatie al vroeg in het jaar opgeheven als de zonninstraling toeneemt. In de winter wordt de groei door de lage watertemperatuur gelimiteerd, maar als de watertemperatuur vanaf februari toeneemt is de groeisnelheid voldoende om het uitspoelen van algen naar het Zoommeer te compenseren. In de nazomer en het najaar is de watertemperatuur hoog, vindt er wat nalevering van fosfaat uit het sediment plaats en is er geen lichtlimitatie. De algengroei is in die omstandigheden niet gelimiteerd door licht of nutriënten, ofwel wordt de algenbiomassa uiteindelijk bepaald door de verblijftijd.

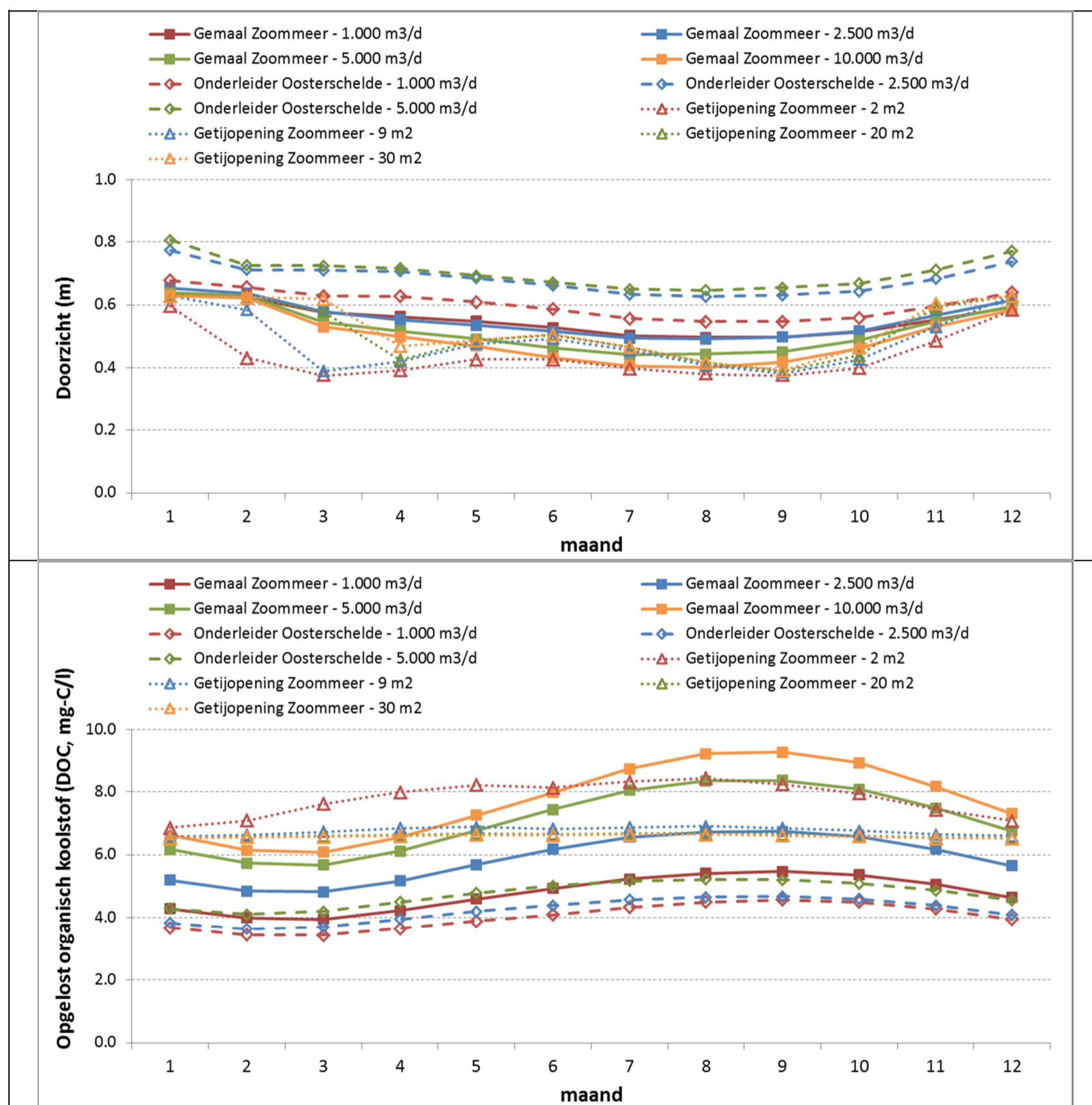


Figuur 9 Berekende chlorofyl-a concentratie ( $\mu\text{g/l}$ , boven) en algenbiomassa ( $\text{mg C/l}$ , onder) in de Binnenschelde voor de zoute scenario's

### 2.1.5. Doorzicht en opgelost organisch koolstof (DOC)

Het berekende doorzicht in de Binnenschelde varieert in de zomer tussen circa 0,4 en 0,7 m (Figuur 10). In de winter is het doorzicht circa 0,1 m groter. Het doorzicht varieert relatief weinig tussen de scenario's en varianten. De reden hiervoor is de vrij hoge DOC-concentratie, die in de huidige modelopzet voor circa 75% van de lichtuitdoving zorgt. Het is echter goed mogelijk dat de gebruikte specifieke extinctiecoëfficiënt in DELWAQ te hoog is ingeschat, doordat er

bijvoorbeeld geen onderscheid wordt gemaakt tussen gekleurd en kleurloos DOC terwijl bekend is dat het DOC van blauwalgen vaak sterk gekleurd is (en dus het doorzicht sterk beïnvloed) en DOC van mariene algen, zoals flagellaten en diatomeeën, veelal kleurloos is en dus veel minder invloed heeft op de lichtextinctie (mondelinge mededeling Jacco Kromkamp). Ook in andere studies in estuaria wordt een zeer sterk negatief verband gevonden tussen zowel de concentratie DOC en saliniteit maar ook tussen de mate van lichtadsorptie van DOC en saliniteit (Chen et al. 2007). Vermoedelijk is het berekende doorzicht dus een onderschatting van het werkelijke doorzicht.



Figuur 10 Berekend doorzicht (m, boven) en opgelost organisch koolstof (DOC) concentratie (mg C/l, onder) in de Binnenschelde voor de zoute scenario's. De onzekerheid over het DOC-gedrag in de huidige Binnenschelde zorgt mogelijk voor een onderschatting van het doorzicht.

## 2.2. Prognose van toekomstige biologische toestand

### 2.2.1. Blauwalgen

Uit de Volkerak-Zoommeer studies blijkt dat bloeien met *Microcystis* verdwijnen als de chloride gehalten hoger zijn dan 8 g/l (Verspagen et al. 2005). Bij vrijwel alle scenario's wordt dit bereikt, alleen het scenario waarbij 1000 m<sup>3</sup> per dag Volkerak-Zoommeer water wordt gebruikt zit dit

ongeveer rond die grens. *Microcystis* is de meest voorkomende blauwalg. Er zijn echter ook een aantal soorten dat wat beter bestand is tegen brak water, zoals *Aphanizomenon*, *Nodularia* en *Anabaena*. Bloeien van deze soorten komen regelmatig voor in de Baltische zee, met name rond Finland en Polen. Van al deze soorten is *Nodularia* het geslacht dat veruit het meest zout tolerant is. Proeven met Australische strains van *N. spumigena* geven aan dat deze soort nog goed kan groeien bij saliniteiten rond de 24 ppt (chloridegehalte van ongeveer 13 g/l). Echter de Australische varianten staan bekend als meer zout-tolerant dan de Europese. Strains uit de Baltische zee groeien in het laboratorium optimaal bij zoutconcentraties tussen 7 tot 18 ppt, oftewel 4-10 g Cl per liter (Mazur-Marzec et al. 2005). Daarboven neemt de groei snel af. In de praktijk worden er in Europa in het veld zelden bloeien waargenomen bij zoutgehaltes van meer dan 13 ppt, oftewel 7 g Cl/l, maar de soort is bij hogere zoutgehaltes wel toxischer (Mazur-Marzec et al. 2005, Mazur-Marzec et al. 2006).

Bij het vaststellen van streefwaarden voor zoutconcentraties is het belangrijk te bedenken dat de Binnenschelde een klein systeem is dat in periodes van zeer veel neerslag gemakkelijk een periode kan hebben waarin het zoutgehalte lager is dan een meerjarig maandgemiddelde. Ook al worden in de praktijk *Nodularia*-bloeien niet meer waargenomen bij een zoutgehalte van meer dan 13 ppt (7 g Cl/l) is het dus zeker verstandig om enige buffer in te bouwen. Voor deze soort lijkt op basis van bovenstaande informatie een streefwaarde voor chloride van boven de 10 g/l een veilige marge. Bij debieten van rond en boven de 5000 m<sup>3</sup>/dag vanuit het Volkerak-Zoommeer en bij alle scenario's met water vanuit de Oosterschelde zijn ook de risico's voor deze soorten vrijwel verdwenen.

Geen blauwalg, maar een andere potentiële plaagsoort *Prymnesium* (soms ook wel de goudalg genoemd), die in zoete en brakke systemen regelmatig voor vissterfte zorgt, zal ook in geen van de zoute scenario's een probleem gaan vormen. Deze soort komt niet meer tot dichte bloeien bij zoutconcentraties boven de 7 ppt (chloridegehalte van 4 g/l) (Peperzak et al. 2002).

### 2.2.2. Mariene plaagalgen

Hoewel in zoutwater geen bloeien van blauwalgen kunnen optreden, zijn er wel andere soorten die tot plaagalgbloeien kunnen leiden, waarvan sommige soorten ook zeer toxisch zijn. Met name Dinoflagellaten, zoals *Alexandrium* sp. en *Karenia*, kunnen bij inslikken ziekte en soms zelfs de dood tot gevolg hebben (Van Duren 2006). Het grootste gevaar schuilt in het eten van schelpdieren die deze algen hebben gegeten en waarin de toxines zich opgehoopt hebben. In landen om ons heen komen bloeien van Dinoflagellaten regelmatig voor, ook rond mosselculturen. In Nederland worden deze soorten regelmatig waargenomen in monsters, maar altijd in zeer kleine hoeveelheden. De reden hiervoor is waarschijnlijk dat in Nederland de schelpdiercultures in zeer dynamische, getij-gedreven gebieden liggen. Dinoflagellaten kunnen zeer slecht groeien onder deze turbulente omstandigheden (Berdalet et al. 2007). De situatie in een zoute Binnenschelde is weliswaar beschermt, maar omdat het systeem erg ondiep is en windgolven gemakkelijk de bodem bereiken zullen omstandigheden waaronder deze soorten echt tot bloei kunnen komen zeldzaam zijn. Bloeien zouden namelijk alleen kunnen optreden na een lange periode met extreem weinig wind.

Een specifieke soort die in hoge dichtheden wat irritatie zou kunnen geven bij zwemmers is de zeevonk (*Noctiluca scintillans*). Dit is een alg die predeert op andere algen en bij warm, zonnig weer en weinig wind tot bloei kan komen. De alg is echter niet giftig.

### 2.2.3. Macroalgen

In alle scenario's die zijn doorgerekend blijven de nutriëntenconcentraties relatief hoog en met de geringe diepte blijven de lichtcondities gunstig voor algengroei. In de modellen is aangenomen dat deze condities primair ten goede komen aan fytoplankton, maar het is in de praktijk zeer waarschijnlijk dat een deel van de draagkracht voor primaire productie niet naar microalgen, maar juist naar macroalgen zal gaan. De Binnenschelde heeft een bodem met zacht sediment en weinig hard substraat. De soorten die waarschijnlijk het beste zullen gedijen in deze

omstandigheden zijn zeesla (*Ulva lactica*) en draadalgen zoals *Enteromorpha spp.* Zowel zeesla als draadalgen kunnen bij een grote bloei op bepaalde delen in het systeem gaan ophopen. Onder een laag algen kan materiaal gaan afsterven en kunnen vervolgens zuurstofloze condities ontstaan (Soulsby et al. 1982). Dit kan zeer onwenselijke situaties zoals stankoverlast opleveren in een gebied dat een recreatiefunctie heeft.

Het is moeilijk te voorspellen of fytoplankton of draadalgen zullen gaan domineren. Dit kan van jaar tot jaar verschillen en zal sterk afhangen van begincondities en weersomstandigheden in het begin van het jaar. Ook in de scenario's waarin de Binnenschelde met Oosterscheldewater wordt doorgespoeld kunnen bloeien van macroalgen optreden. Zowel *Ulva* als draadalgen komen regelmatig in relatief grote hoeveelheden voor in de Oosterschelde (Van der Wal et al. 2014). In het verleden zijn problemen met macroalgen ook opgetreden in het Veers Meer.

#### 2.2.4. Aquatische vegetatie

De enige vaatplanten die in een marien milieu kunnen voorkomen zijn zeegrassen. In Nederland kan een beperkt aantal soorten voorkomen. Klein zeegras (*Zostera noltii*) is typisch voor het intergetijdengebied. Bladeren verdwijnen in de winter, maar ondergronds blijft een wortelstelsel bestaan. Groot zeegras (*Zostera marina*) kan in twee varianten voorkomen: een intergetijdentype dat relatief flexibele bladeren heeft en elk jaar volledig uit zaad moet opgroeien en een robuuster ondergedoken type dat permanente wortelsystemen heeft en voor een belangrijk deel via wortelstokken vermeerdert. Groot zeegras is in Nederland bijna verdwenen. De redenen hiervoor zijn relatief complex en nog niet volledig begrepen. Zeker is dat de wierziekte *Labyrinthula*, die in de jaren 30 van de vorige eeuw is binnen gekomen, een rol speelt.

Bij de scenario's met wateruitwisseling via een gemaal, ontstaat geen intergetijdengebieden. Voor klein zeegras en de litorale variant van groot zeegras zijn de mogelijkheden voor vestiging dus minimaal. In de variant met inlaat via een opening in de dijk, waar enig getij wordt toegelaten, zijn de omstandigheden waarschijnlijk nog steeds niet gunstig. In de Waddenzee loopt op dit moment een proef met het uitzaaien van intertidaal groot zeegras. Hierbij wordt op 3 locaties zeegras uitgezaaid. De locatie Balgzand heeft een aantal parallellen met de situatie in de Binnenschelde: ook dit is een locatie met geringe diepte en een hoge nutriëntenbelasting. Deze locatie wordt gekenmerkt door grote hoeveelheden draadalgen en zeesla, die een negatief effect hebben op de gezondheid van het zeegras ((Holmer and Nielsen 2007, Van Duren and Van Katwijk 2013, van Duren 2014).

Zeegras doet het over het algemeen slecht in situaties met een hoge nutriëntenbelasting (Van Katwijk 1999, 2010). Ook voor de permanent ondergedoken variant van zeegras zullen de omstandigheden dus niet gunstig zijn. De beste omstandigheden qua waterkwaliteit ontstaan bij inlaat met een groot debiet aan Oosterschelde water. Echter ook hier is het zeer twijfelachtig of zeegras zich kan vestigen. De soort is namelijk ook in de Oosterschelde vrijwel verdwenen. De exacte oorzaken zijn niet precies bekend, maar waarschijnlijk speelt een hoog zoutgehalte hier een rol (van Katwijk et al. 1999). Groot zeegras doet het over het algemeen slechter in gebieden met een stabiel hoog zoutgehalte (zoals de Oosterschelde).

Zeegras zal zich sowieso niet spontaan kunnen vestigen in de Binnenschelde. Er zijn geen significante donorpopulaties van groot zeegras in de buurt, waardoor natuurlijke kolonisatie vrijwel uitgesloten is. Kolonisatie zou alleen via een actieve input van zaad kunnen. Er lopen in de Waddenzee en de Grevelingen een aantal proefprojecten met uitzaaien van materiaal van elders (van Duren 2014). Voor de Binnenschelde geldt echter dat succes dus zeer onzeker is.

De brakwatersoort *Ruppia maritima* (snavelruppia) is strikt genomen geen echt zeegras, maar wordt hier wel vaak toe gerekend. Het optimum voor zijn verspreiding ligt wereldwijd bij zoutconcentraties onder de 16‰ (9 mg/l chloride), al zijn er locaties met veel hogere zoutgehalten waar de soort is waargenomen. In Nederland wordt de soort over het algemeen aangetroffen in zoet tot brak water en met enige regelmaat op het Balgzand, waar de saliniteit meestal niet ver boven de 15‰ (8mg/l chloride) uit komt. De bottleneck voor deze soort lijkt te zitten in de ontkieming van de zaden. De volwassen planten hebben een zeer brede zouttolerantie, maar ontkieming van zaden wordt geremd bij zoutconcentraties boven de 10 ppt (Strazisar et al. 2013). Zelfs al wordt het doorzicht in een zoute Binnenschelde beter dan momenteel uit de modelvoorspellingen komt, dan nog is het dus niet waarschijnlijk dat deze soort zich zal gaan vestigen in één van de doorgerekende zoute scenario's.

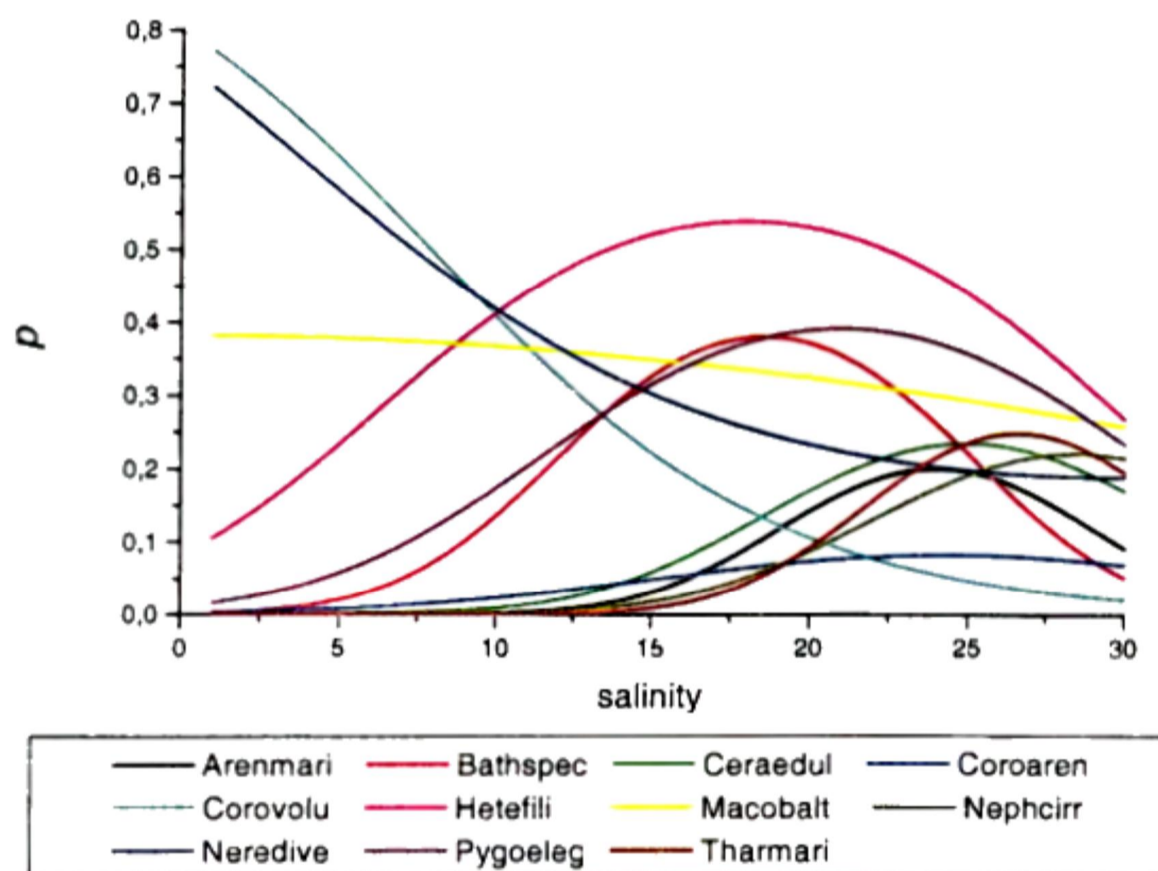
#### 2.2.5. Zoöplankton

De zoöplanktensamenstelling zal zeer sterk gelinkt zijn aan het zoutgehalte. Typisch brakke copepodensoorten, zoals *Eurytemora affinis*, kunnen sterk dominant zijn bij saliniteiten onder de 18 ppt, ofwel chlorideconcentratie van beneden de 10 g/l (von Vaupel-Klein and Weber 1975). Daarboven zal zoöplankton een typische kust signatuur hebben.

Relevant voor recreatie is het voorkomen van kwallen. Kwallen vertonen wereldwijd, en ook in Nederland een algehele toename. De meest voorkomende soort (de oorkwal *Aurelia aurita*) is niet giftig voor mensen, maar grote hoeveelheden zullen door badgasten als onaangenaam worden ervaren. Een invasieve soort die recent regelmatig wordt waargenomen, en die wel kan steken en bij sommige badgasten allergische reacties kan geven, is de Japanse Kruiskwal, *Gonionemus vertens*. Deze soort kan zowel in zout als in brak water voorkomen en is waargenomen in gebieden als het Veerse meer, Oosterschelde en het Grevelingenmeer. De soort is vaak geassocieerd met zeegras en macroalgen. Er is niet veel bekend over de habitat eisen van deze soort, maar er is zeker een risico dat de kruiskwal ook in de Binnenschelde zal kunnen voorkomen in alle zoute scenario's. Of de soort zich daar echt zal kunnen vestigen en zal kunnen voortplanten is op basis van de huidige kennis moeilijk te voorspelen.

## 2.2.6. Bodemdieren

Saliniteit is een van de belangrijkste stuurvariabelen voor bodemdieren. De hoogste dichtheden en de hoogste biodiversiteit aan dieren is te vinden in ofwel volledig mariene gebieden ofwel volledig zoete wateren (Figuur 11). Veel minder soorten kunnen omgaan met brakke condities (Ysebaert and Meire 1999, Ysebaert et al. 2002). Nog minder soorten kunnen goed tegen sterke fluctuaties in saliniteit. Onderzoek in de Schelde heeft uitgewezen dat bij een saliniteit van minder dan 20 ppt (circa 11 g Cl/l) het aandeel echte mariene soorten minder is. Juist deze soorten zijn vaak belangrijke voedselbronnen voor vogels. Het gaat hierbij om soorten zoals de wadpier (*Arenicola marina*), de kokkel (*Cerastoderma edule*) en grote borstelwormen zoals *Nereis diversicolor* en *Nephtys cirrosa*. Dat houdt in dat vooral voor deze groepen de scenario's met minimaal 2500 m<sup>3</sup>/d Oosterschelde water beter uit zullen pakken dan de andere scenario's. De gemaal scenario's met Volkerak-Zoommeer water zitten namelijk allemaal wat lager: alleen de versie waarbij 10000 m<sup>3</sup>/d wordt binnengelaten komt in de buurt van de 20 ppt, oftewel 11 g Cl/l.



**Figuur 11: waarschijnlijkheid van voorkomen van verschillende zacht-substraatsoorten afhankelijk van de saliniteit in de Schelde (Ysebaert and Meire 1999)**

Ook voor grotere schelpdieren (mosselen, Japanse oesters, strandgapers en zwaardschedes) geldt dat ze een zoutgehalte boven de 20 ppt prefereren (11 g/ Cl/l). De Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus*) kan wel relatief lage zoutgehaltes aan (Van Beusekom et al. 2010). Deze invasieve soort komt sinds 1999 voor in Nederland en is weinig selectief in zijn keuze van habitat qua sedimentsamenstelling en saliniteit (Hummel and Wijnhoven 2014). Deze soort zal zich zeer waarschijnlijk in bijna alle doorgerekende scenario's kunnen vestigen. Jonge



*Ensis* zijn goed voedsel voor verschillende vogelsoorten. De grotere exemplaren zijn meestal lastig te bereiken door vogels.

Het is zeer onwaarschijnlijk dat er zich mosselen in de Binnenschelde zullen gaan vestigen. Broedval van mosselen is al jarenlang afwezig in de Oosterschelde (Kamermans et al. 2002). De precieze oorzaken zijn niet goed bekend, maar mogelijk speelt predatie door garnalen en krabben hierbij een rol. Japanse oesters daarentegen zijn zeer opportunistisch en zullen zich vrijwel zeker gaan vestigen in situaties waar de saliniteit boven de 20 ppt (chloride gehaltenes > 11 g/l) uitkomt (Troost 2010).

Oesters hebben een zeer grote filtratiecapaciteit. Een oesterbank van normale dichtheid kan zo'n 6-8 m<sup>3</sup> water per uur filtreren (Smaal et al. 2013). In een zeer ondiep systeem zoals de Binnenschelde zal dit dan ook betekenen dat er heel veel horizontale uitwisseling nodig is om een echte oesterbank in leven te houden. Gezien het feit dat de oesters zelf ook stroming vertragen is dat niet zeer waarschijnlijk. Wat waarschijnlijk wel zal gebeuren is dat kleine clusters met oesters zich op verschillende plaatsen in het systeem gaan vestigen. Bij voorkeur op hard substraat, maar ze kunnen zich ook op zacht substraat vestigen. Oesters worden zelf zeer weinig gegeten door vogels, maar door aangroei van epifyten en andere ongewervelden die zich ophouden tussen de oesterschelpen kunnen ze een aantrekkelijk foerageerhabitat vormen voor verschillende vogels. Dit betreft met name steltlopersoorten zoals bonte strandlopers, die in het intergetijdengebied foerageren (Wijsman et al. 2008).

### **2.2.7. Vissen**

Welke vissoorten zich in de Binnenschelde kunnen gaan vestigen is uiteraard sterk afhankelijk van de te verwachten saliniteit. Echte brakwater gebieden zijn vaak relatief arm. De meeste vissoorten zijn ofwel marien, ofwel zoetwatersoorten. Sommige brakwater gebieden kunnen echter wel erg belangrijk zijn voor diadrome trekvis (zoals paling, zalm, fint, etc.), maar aangezien de Binnenschelde een bijna "doodlopende weg" is die niet in verbinding staat met achterliggend zoetwater, is het migratiebelang van de Binnenschelde voor deze soorten waarschijnlijk beperkt.

Bij scenario's waarbij de Binnenschelde in directe verbinding komt te staan met de Oosterschelde, en zeker die scenario's met een hoge uitwisseling waarbij het systeem vrijwel even zout wordt als de Oosterschelde ligt het voor de hand dat er vergelijkbare soorten zullen voorkomen. Er zijn zo'n 66 vissoorten doorlopend in de Oosterschelde te vinden zijn. Schol, tong, jonge platvissen en bot komen er in grote hoeveelheden voor. Verder zijn er vijftien soorten die slechts af en toe gezien worden. Zalm, elft, steur en zeeduivel zijn hier voorbeelden van. Van een groot aantal vissoorten groeien de jongen op in de Oosterschelde. Dit zijn onder andere de tong, kabeljauw, zeebaars, schol, schar en haring. Van de volgende vissoorten worden de jongen in de Oosterschelde geboren: geep, harnasmannetje, ansjovis, zeenaalden, puitaal en zeedonderpad. De Oosterschelde heeft al jaren te kampen met een sterk dalende visstand. De redenen hiervoor zijn niet goed bekend, maar mogelijk heeft dit te maken met het feit dat de Oosterschelde een extreem zware graasdruk kent van schelpdieren. Deze begrazen zowel minder mobiele levensstadia van zoöplankton, maar vormen vooral een zeer zware voedselconcurrentie voor zoöplankton vanwege hun filtratiecapaciteit op fytoplankton. Dit zal naar verwachting in de Binnenschelde niet snel gebeuren.

### **2.2.8. Vogels**

De Binnenschelde is gelegen midden in bewoond gebied en heeft een belangrijke gebruiksfunctie voor recreatie. Het gebied is geen Natura 2000-gebied en als zodanig zijn er dan ook geen instandhoudingsdoelstellingen voor vogels. Vooral vanwege het ontbreken van voldoende rust voor broedende en foeragerende vogels zal ook in de toekomst de functie van het gebied voor vogels relatief beperkt blijven. De vogels die momenteel het meest gezien worden zijn kokmeeuwen, zilvermeeuwen, meerkoeten en wilde eenden (vogeltellingen van de West-Brabantse vogelwerkgroep). Op dit moment is er geen getij in het gebied. Bij scenario's

met een open verbinding met het Volkerak-Zoommeer zal er een klein beetje intergetijdengebied ontstaan, wat theoretisch foerageermogelijkheden aan steltlopers zou bieden. Echter, vanwege het feit dat de hele oostkant van dit gebied direct in bewoond gebied ligt, het hele gebied zeer druk gebruikt wordt door recreanten, waaronder watersporters en de oevers meestal behoorlijk steil zijn, zal de betekenis van dit gebied voor vogels zeer beperkt blijven.

### **2.3. Confrontatie verwachte biologische toestand en beleidsdoelen**

Voor de Binnenschelde gelden geen specifieke doelstellingen ten aanzien van Natura2000. De belangrijkste beleidsdoelstellingen zijn gericht op de recreatie- en landschapsfunctie. Mensen waarderen een aantrekkelijk uitzicht gebied met helder water. Tevens is de Binnenschelde een KRW-waterlichaam, hetgeen betekent dat het water in de 'goede ecologische toestand' (in dit geval het Goed Ecologisch Potentieel) gebracht moet worden. Voor een zoute Binnenschelde dient deze toestand nog gedefinieerd te worden.

#### **2.3.1. Blauwalgen**

Primaire zorgpunt in de huidige zoete toestand is het voorkomen van (giftige) blauwalgen. Alle doorgerekende scenario's geven zoutconcentraties waarbij het gevaar van giftige *Microcystis* bloeien verdwenen is, en alleen de laagste twee debieten bij gemaalintaten met Volkerak-Zoommeerwater geven nog enig risico op het voorkomen van soorten als *Nodularia*, een zeer zouttolerante soort die in het Baltische gebied nog wel eens voor problemen zorgt. De beschikbare literatuur geeft aan dat een streefwaarde van gemiddeld 10 g/l chloride (saliniteit boven de 18 ppt) in de praktijk voldoende garantie geeft dat ook die soort geen bloeien meer kan vormen, ook niet als voor korte tijd in of na periodes met extreem veel regen het zoutgehalte tijdelijk wat lager is (Mazur-Marzec et al. 2006).

#### **2.3.2. Helderheid**

Helder water is aantrekkelijk voor recreanten en zwemmers. Echter, alle modelscenario's voorspellen een relatief troebele toestand. De scenario's met een inlaat van tenminste 2.500 m<sup>3</sup> Oosterscheldewater geven de beste waterkwaliteit met lage algenconcentraties. Het voorspelde doorzicht is echter ook in deze varianten nog steeds beperkt met ± 60 cm.

Het doorzicht is echter vermoedelijk onderschat in alle zoute varianten. Het doorzicht wordt volgens de modellen namelijk vooral beperkt door een hoge concentratie opgelost organisch materiaal (DOC), en dat is een factor die we nog niet helemaal goed begrijpen. In de huidige (zoete) toestand is deze DOC-concentratie behoorlijk hoog. Dit komt vermoedelijk niet door aanvoer van externe bronnen, maar vooral door snelle remineralisatie van dode blauwalgen. Zoals in sectie 2.1.5 is beargumenteerd zijn er goede redenen om aan te nemen dat de standaardmodelinstellingen zoals die zijn gebruikt voor de relatie tussen doorzicht en DOC in de zoute scenario's niet helemaal van toepassing zijn en dat in de zoute toestand het water helderder zal zijn.

#### **2.3.3. Europese Kaderrichtlijn Water (KRW)**

De Binnenschelde is een KRW-waterlichaam, waarvoor thans zoete doelen zijn gedefinieerd. Voor de uiteindelijke zoute variant zullen derhalve nieuwe KRW-doelen (MEP, GEP, eventueel Beleidsdoel) moeten worden geformuleerd. De doelen zullen zowel voor de biologische termen (algen, waterplanten, macrofauna en vissen) als voor de chemische termen (naast de algemene lijst van prioritaire stoffen betreft dit de ondersteunende stoffen waaronder nutriënten) moeten worden geformuleerd.

##### *Chemie (zout)*

De Binnenschelde zal in de alle zoute scenario's gaan vallen onder het watertype M31 (kleine brakke tot zoute meren). In alle scenario's zal er een zoutconcentratie van meer dan 3 g chloride/l zijn. Er zijn geen specifieke doelstellingen voor zoutconcentraties

### *Doorzicht*

Voor 'doorzicht' zullen alle scenario's met water vanuit het Volkerak-Zoommeer en het scenario met het kleinste debiet met getijdeopening vermoedelijk op "slecht" (doorzicht <45 cm) uitkomen, terwijl de andere scenario's "ontoereikend" scoren (>45 en <60 cm). Vanwege de onzekerheid die er op de parameter doorzicht zit, is het echter waarschijnlijk dat met name de Oosterschelde scenario's uiteindelijk een stuk beter gaan scoren. De grenswaarde voor een goede beoordeling op doorzicht ligt op 90 cm.

### *Chlorofyl en nutriënten*

Deze wateren hebben vrij hoge referentiewaarde voor chlorofyl (30 µg/l). De referentie beschrijft een nagenoeg onverstoorde toestand en is dus nadrukkelijk niet hetzelfde als de ecologische norm of de beleidsdoelstelling. Echter, de referentietoestand zegt wel iets over de verwachtingen die men kan hebben van deze watertypen. De grens tussen matig en goed ligt op 60 µ/l. Alle scenario's met Oosterscheldewater en met inlaat van water uit het Volkerak-Zoommeer (via eenemaal) vallen dan voor chlorofyl-a in de categorie "goed". Alleen bij uitwisseling via een getijopening wordt de nutriëntenbelasting zo hoog dat de toestand "matig" gaat worden voor chlorofyl. Voor nutriënten geldt ongeveer hetzelfde. Alle varianten scoren "goed" voor de stikstof- en fosfaatnormen.

### *Vaatplanten*

De doelstelling die voor vrijwel alle scenario's zeer moeilijk haalbaar zal zijn is de maatlat voor ondergedoken vegetatie. De referentiewaarde ligt hier op 50%. Gezien het feit dat de meeste scenario's te zout zijn voor *Ruppia* en de vestiging voor de mariene zeegrassoorten zeer onzeker is, moeten we op dit moment inschatten dat op dit punt voor alle zoute scenario's hier een knelpunt ligt dat moeilijk op te lossen is.

### *Hogere trofische niveaus*

De maatlaten voor watertype M31 voor macrofauna zijn opgesteld voor brakke en zoute wateren. Echt brakke wateren met een gemiddelde saliniteit van minder dan 20 ppt (11 g Cl/l) zijn in het algemeen soortenarm. De maatlat houdt daar rekening mee. Ondanks dat scoren een groot aantal van de wateren die nu onder deze maatlat vallen nog steeds relatief slecht. Belangrijke reden is dat deze wateren sterk geïsoleerd liggen en daarmee het risico vergroten dat enkele soorten gaan domineren. De Binnenschelde heeft in de meeste scenario's een sterk mariene signatuur en heeft juist een sterke connectiviteit met andere wateren. Puur geredeneerd vanuit de KRW maatlaten voor watertype M31 zal het waarschijnlijk dus niet erg moeilijk zijn om voor alle zoute scenario's een goede score te halen voor macrofauna. De scenario's die resulteren in een saliniteit van 20 ppt (11 g Cl/l) of meer zullen waarschijnlijk de hoogste diversiteit gaan geven. Dit wordt dus bereikt met een scenario met uitwisseling van Oosterscheldewater van minimaal 2500 m<sup>3</sup> per dag.

Voor hogere trofische niveaus, zoals vissen, is het erg moeilijk om kwantitatieve uitspraken te doen over het halen van maatlaten, maar ook hier geldt dat voor dit watertype uitgegaan wordt van een referentiesituatie met relatief weinig connectiviteit. Ook voor vissoorten vertaalt zich dit snel in een soortenarme situatie. Omdat de Binnenschelde in de zoute voorkeursscenario's vrij veel uitwisseling heeft, is dat probleem hier waarschijnlijk minder, al zal in sommige scenario's uitwisseling plaatsvinden via eenemaal. Dat betekent dat er goede potentie is om de maatlat te halen, maar dat er mogelijk aanvullende maatregelen nodig zullen zijn om connectiviteit voor vissen en vislarven te waarborgen.

De Binnenschelde gaat dus onder een zoutscenario onder categorie M31 vallen, maar gaat op een aantal punten afwijken van de andere wateren binnen dit watertype. De maatlaten voor dit watertype zijn voor de Binnenschelde eigenlijk niet erg ambitieus. Het is waarschijnlijk nuttig om, indien inderdaad voor een zoute variant gekozen wordt, de KRW-doelstellingen voor de Binnenschelde op termijn eens tegen het licht te houden.

## **2.3.4. Andere factoren in relatie tot gebiedsfunctie**

Zowel de aanwezigheid van veel macroalgen als de aanwezigheid van oesters kunnen de zwem- en recreatiefunctie van de Binnenschelde negatief beïnvloeden. In vrijwel alle zoute situaties zal

een zekere mate van onderhoud nodig zijn om oesters uit de zwemgebieden te verwijderen, en in gevallen waar zich veel macroalgen gaan vestigen zullen deze misschien met enige regelmaat verwijderd moeten worden, bijvoorbeeld in surfgebieden of in gebieden waar ophopingen van macroalgen tot stankoverlast kunnen leiden. Oesters zullen zich vrijwel zeker gaan vestigen in alle zoute scenario's. Voor macroalgen geldt dat ze lastig te voorspellen zijn.

### 3. SYSTEEMANALYSE VAN HET MARKIEZAATSMEER

#### 3.1. Abiotische voorwaarden

##### 3.1.1. Hydrologisch functioneren

De langjarig gemiddelde waterbalans voor de Binnenschelde is weergegeven in Tabel 4, terwijl de gedetailleerdere balansen (op maandbasis) zijn opgenomen in bijlage X1. De langjarige gemiddelden voor het scenario "Gemaal Zoommeer" is bepaald over de jaren 2005-2014. Voor het scenario "Getijopening Zoommeer" is het langjarig gemiddelde bepaald over de jaren 1991-1995. Dit zijn de jaren waarvoor de simulaties zijn uitgevoerd.

Uit **Error! Reference source not found.**4 blijkt dat bij het scenario Getijopening Zoommeer de waterbalans gedomineerd wordt door de uitwisseling met het Zoommeer. Zelfs bij de kleinste opening is de inlaat al ruim 15 keer groter dan alle overige inlaten bij elkaar. De gemiddelde verblijftijd neemt sterk af als er een open verbinding met het Zoommeer komt, waarbij de verblijftijd circa 44 dagen is bij een kleine opening en circa 4 dagen bij de grootst doorgerekende opening. De externe belastingen worden in dit geval dominant voor de seizoensdynamiek ten opzichte van de interne waterkwaliteitsprocessen zoals denitrificatie en nalevering van fosfaat. Bij het scenario Gemaal Zoommeer is de inlaat vanuit het Zoommeer is de bijdrage van de inlaat afhankelijk van het opgelegde debiet. Pas bij een inlaat van 50.000 m<sup>3</sup>/d levert de inlaat vanuit het Zoommeer de grootste bijdrage. Bij kleinere inlaten is neerslag gemiddeld het grootst, maar dit zal van maand tot maand verschillen afhankelijk van de daadwerkelijke neerslag. Bij de Gemaal Zoommeer scenario's blijft de verblijftijd lang van bijna twee jaar bij 1.000 m<sup>3</sup>/d tot 9 maanden bij 50.000 m<sup>3</sup>/d. Interne waterkwaliteitsprocessen zullen nog belangrijk zijn voor de seizoensdynamiek.

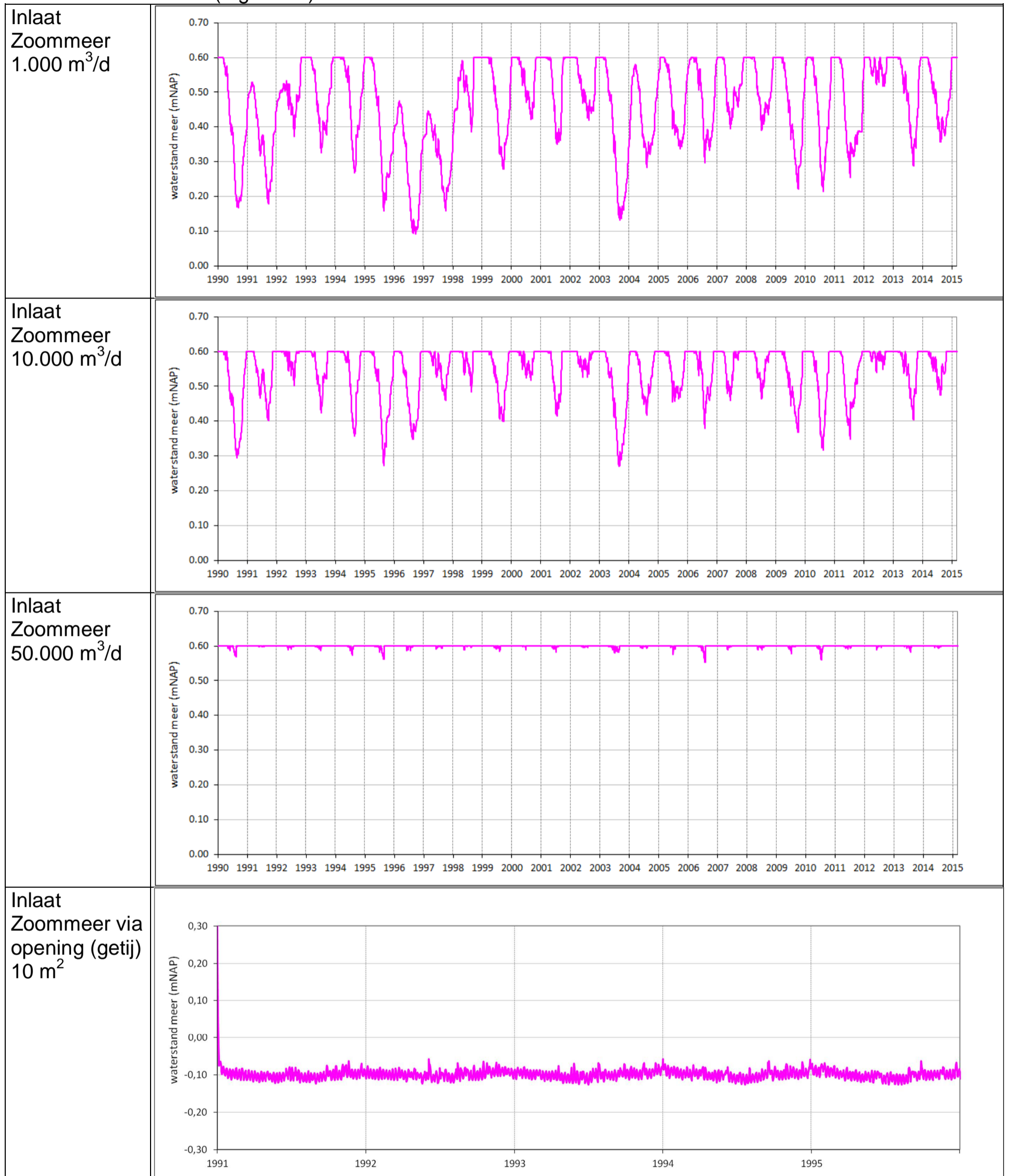
**Tabel 4 Langjarig gemiddelde waterbalans Markiezaatsmeer voor de zoute scenario's. Debieten in m<sup>3</sup>/s. Blauwe getallen geven de voornaamste verschillen tussen de scenario's en varianten aan. In de laatste kolom is de typische verblijftijd in dagen opgenomen.**

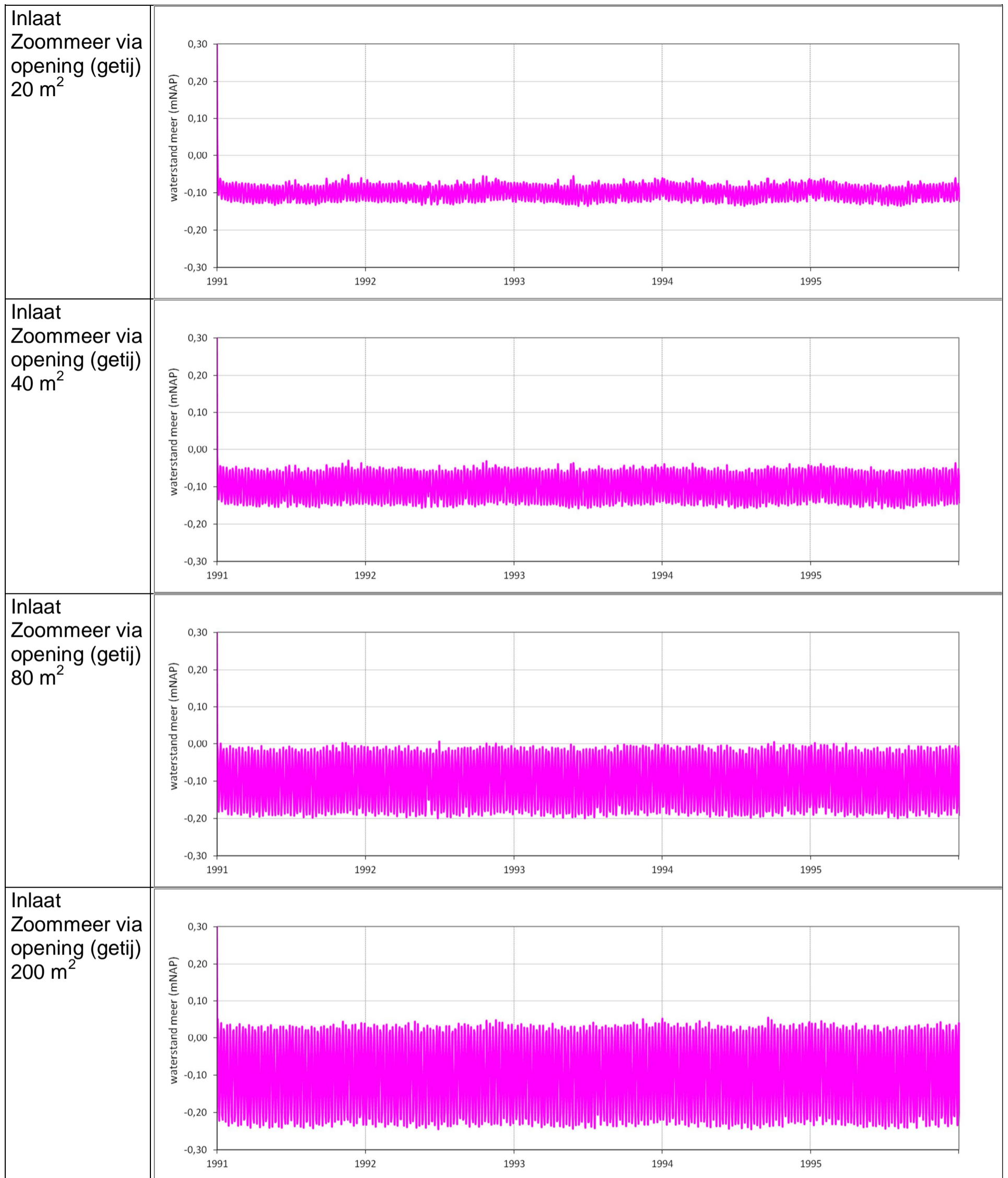
Scenario	Variant	Gemiddeld ingaand debiet (m <sup>3</sup> /d)					Gemiddeld uitgaand debiet (m <sup>3</sup> /d)				Gemiddelde verblijftijd (d)
		Neerslag	Kwel	Uitspoeling	Inlaat Blaffert	Inlaat Zoommeer	Verdamping	Wegzijing	Intrek	Uitlaat peilbeheer	
Gemaal Zoommeer	1.000 m <sup>3</sup> /d	23.693	3.360	2.461	1.350	1.000	20.729	420	2.716	7.789	690
	10.000 m <sup>3</sup> /d	23.693	3.360	2.948	1.350	10.000	20.729	420	3.176	17.027	530
	50.000 m <sup>3</sup> /d	23.693	3.360	3.345	1.350	50.000	20.729	420	3.568	57.031	270
Getijopening Zoommeer	10 m <sup>2</sup>	19.572	5.220	3.616	1.283	476.530	17.496	-	5.045	486.237	44
	20 m <sup>2</sup>	19.551	5.220	3.626	1.283	954.698	17.496	-	5.084	962.080	22
	40 m <sup>2</sup>	19.551	5.220	3.721	1.283	1.875.562	17.496	-	5.185	1.882.902	12
	80 m <sup>2</sup>	19.551	5.220	4.006	1.283	3.429.960	17.496	-	5.460	3.437.426	6
	200 m <sup>2</sup>	19.551	5.220	4.456	1.283	5.050.253	17.496	-	5.893	5.057.753	4

De waterstand en de peilvariatie volgen rechtstreek uit de opgelegde waterbalans (Figuur 12). In geval van inlaat wordt de maximale waterstand op +0,60 m NAP gehandhaafd. In het zomerhalfjaar zakt het peil uit door verminderde aanvoer en door afvoer via verdamping. Bij een toenemend inlaatdebiet neemt het uitzakken van het waterpeil af. Bij het hoogste inlaatdebiet van 50.000 m<sup>3</sup>/d uit het Zoommeer, compenseert de aanvoer vrijwel volledig de afvoer en blijft het waterpeil vrijwel constant op +0,60 m NAP.

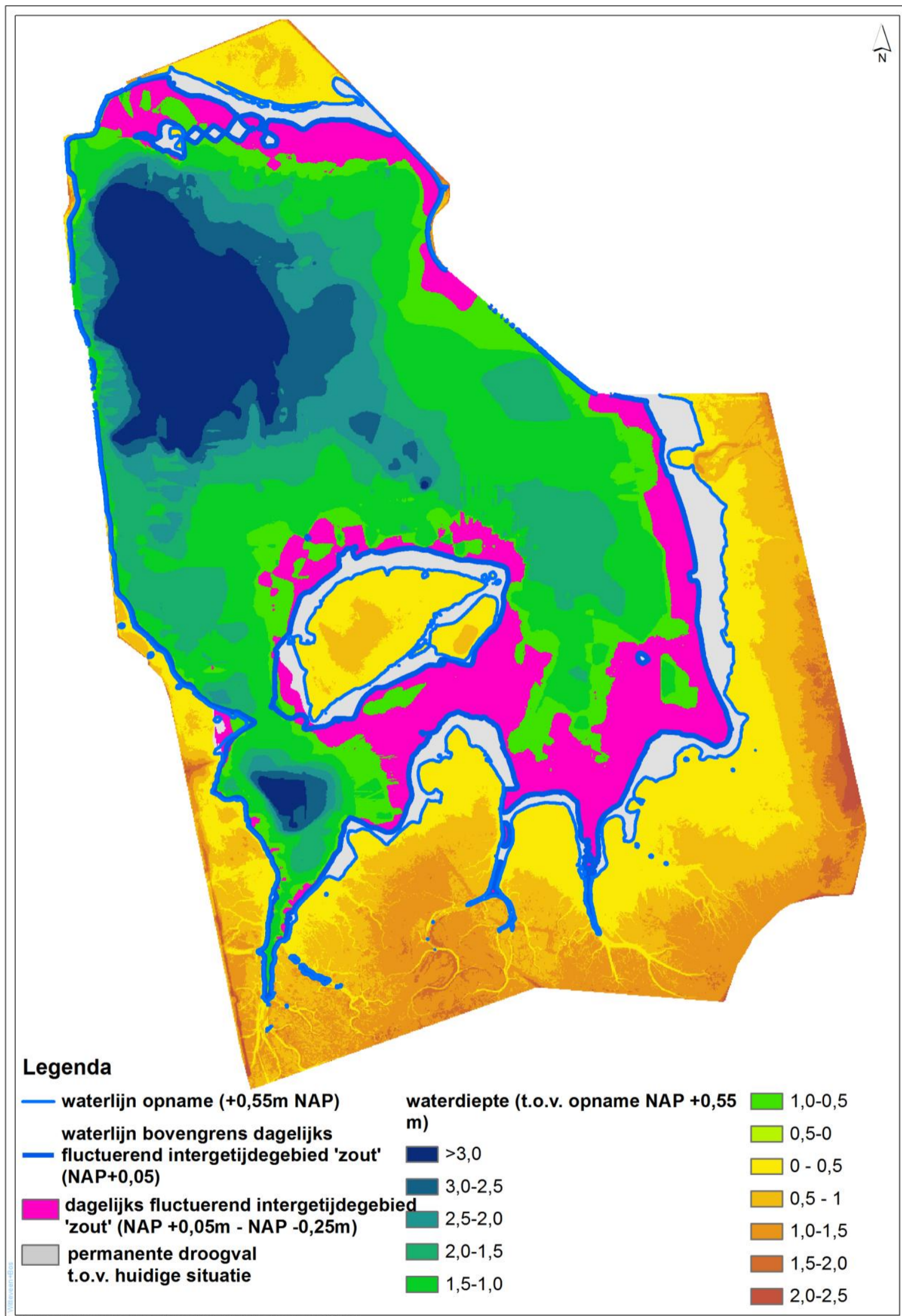
In geval van getijuitwisseling met het Zoommeer varieert het waterpeil rondom -0,10 m NAP, dat wil zeggen het middenpeil van het zoute Zoommeer. De getijvariatie daaromheen neemt toe van

circa 3 cm bij de kleinste opening van 10 m<sup>2</sup> tot 30 cm bij de grootste opening van 200 m<sup>2</sup>. Deze getijslag van 30 cm is gelijk aan de getijslag op het Zoommeer zelf. Daarmee is dus ook de maximale getijuitwisseling bereikt. Bij een getijslag van 30 cm zal een intergetijdengebied van circa 100 ha ontstaan (Figuur 13).





**Figuur 12 Berekende waterstand op basis van opgelegde waterbalans voor de Binnenschelde.**



Data: AT-KB april 2015

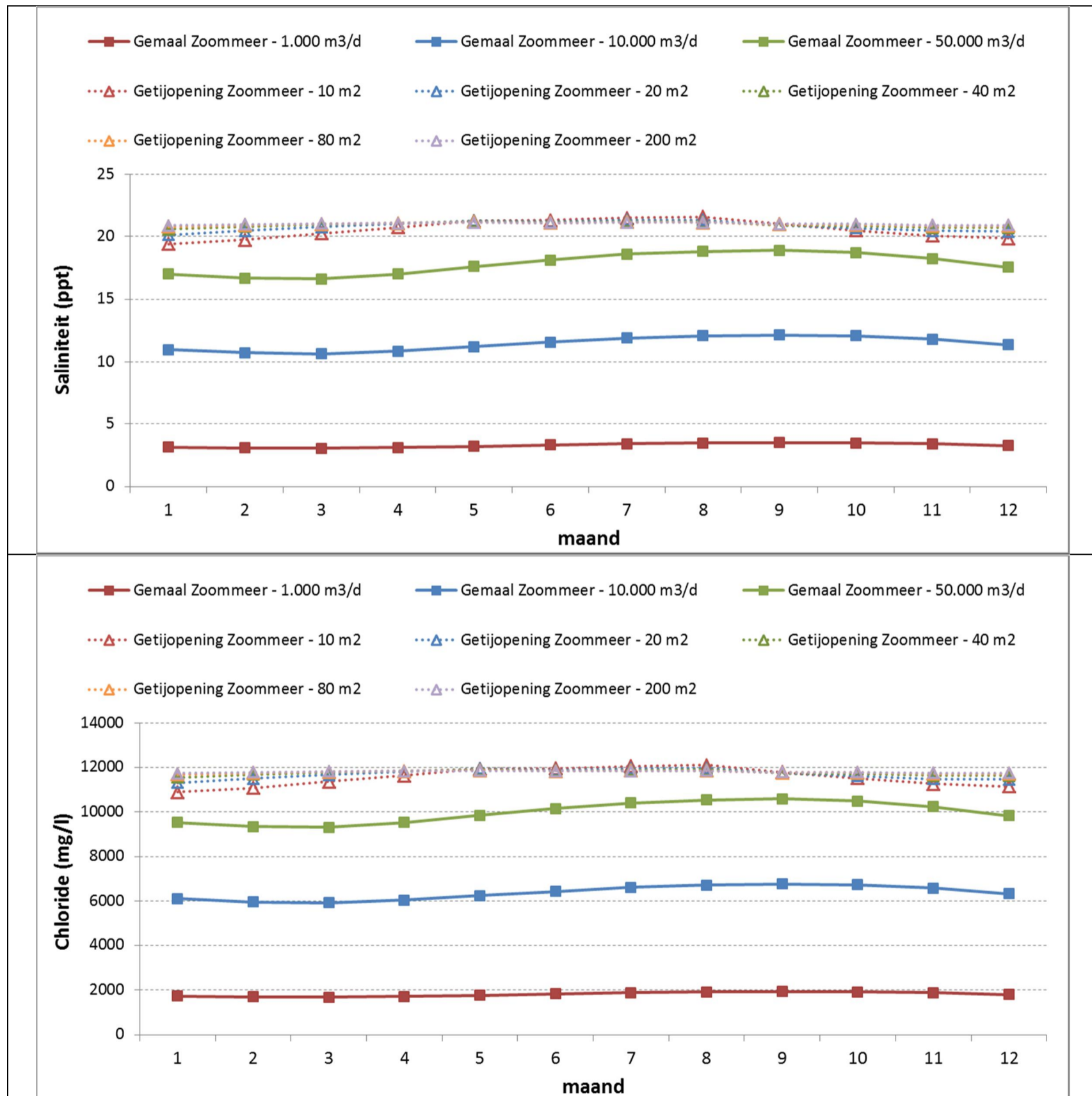
**Figuur 13: Dieptekaart van het Markiezaatsmeer in het scenario met een open verbinding met de Volkerak-Zoommeer door een gat van 200 m<sup>2</sup> in de dijk te maken. Met een getijslag van 30 cm wordt ongeveer 100 ha intergetijdengebied gecreëerd (roze gebied).**



### 3.1.2. Saliniteit

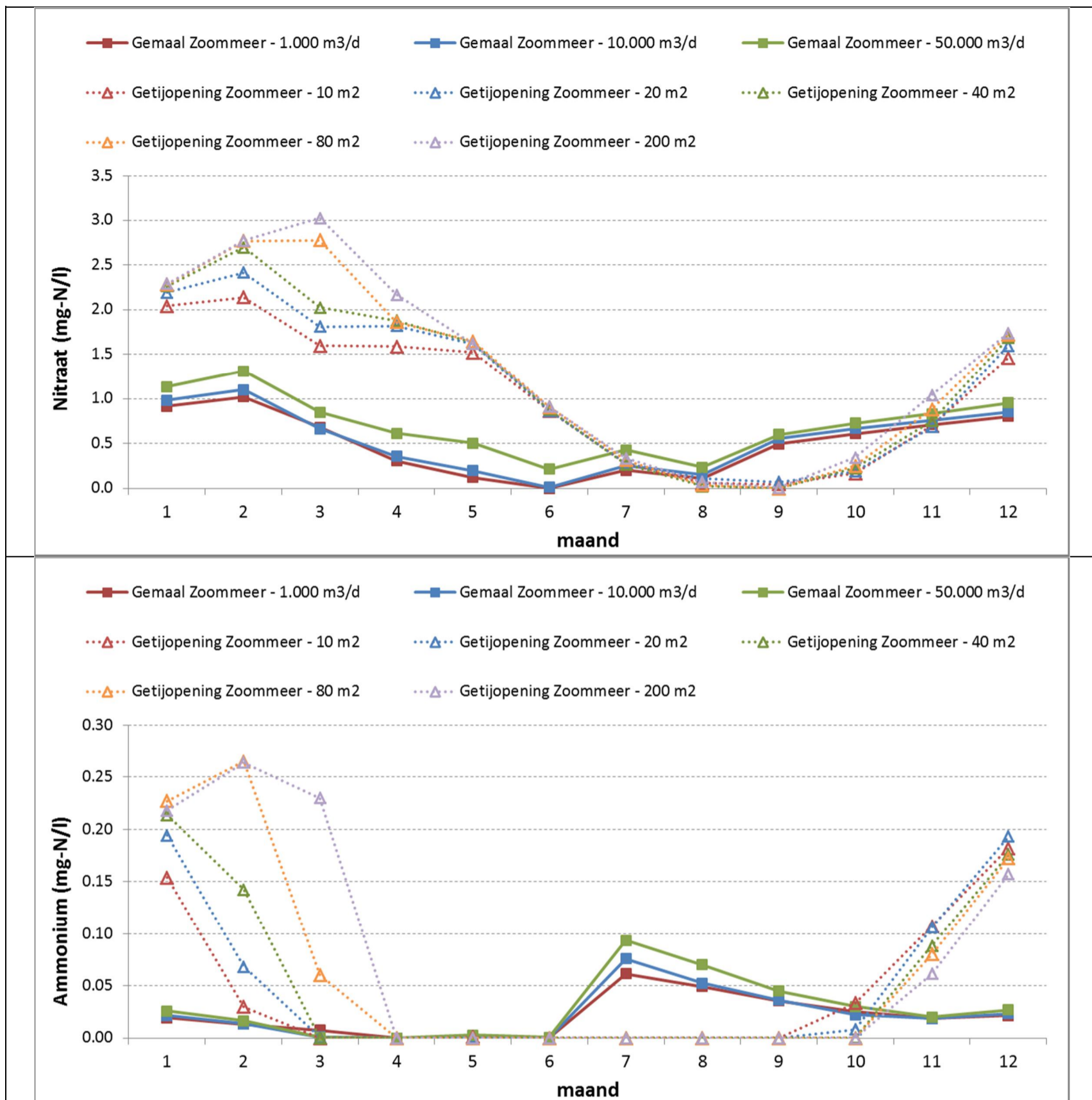
Bij toenemend inlaatdebiet neemt het zoutgehalte toe (Figuur 14). Bij de kleinste inlaat van 1.000 m<sup>3</sup>/d uit het Zoommeer blijft het zoutgehalte relatief laag met 3 ppt saliniteit ofwel circa 2.000 mg/l chloride. Bij de grootste inlaat met het gemaal wordt een zoutgehalte van 18 ppt saliniteit ofwel circa 11.000 mg/l chloride bereikt.

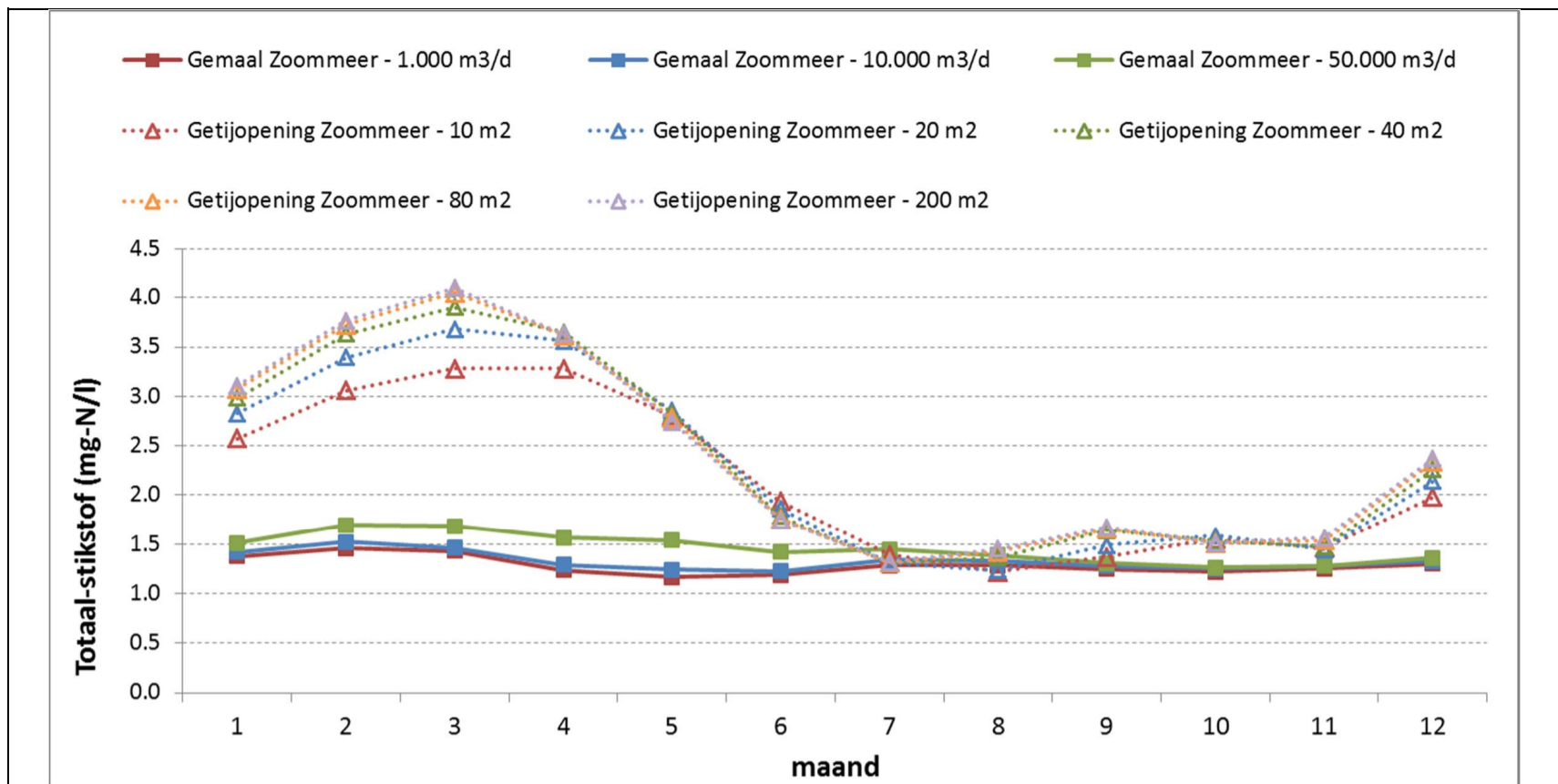
Bij een getijopening wordt al snel het zoutgehalte in het Markiezaatsmeer gelijk aan het zoutgehalte van het Zoommeer. Bij een opening van 40 m<sup>2</sup> is het maximale zoutgehalte van ongeveer 11.700 mg Cl/l bereikt, hoewel er slechts een klein verschil is met kleinere openingen. Een verdere vergroting van de opening resulteert niet in significant verder toename.



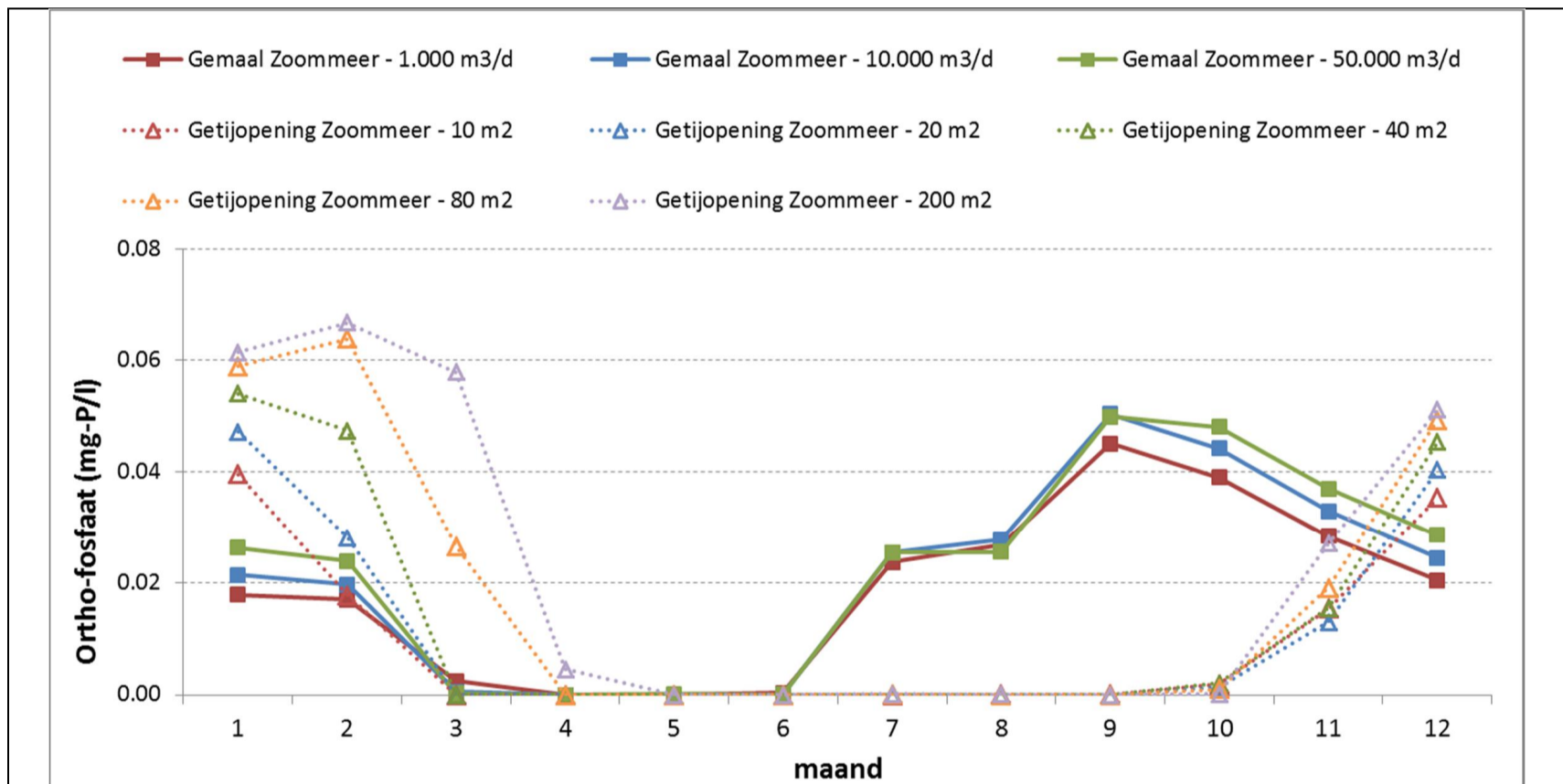
Figuur 14 Berekende saliniteit (ppt, boven) en chlorideconcentratie (mg/l, onder) in het Markiezaatsmeer voor de zoute scenario's.

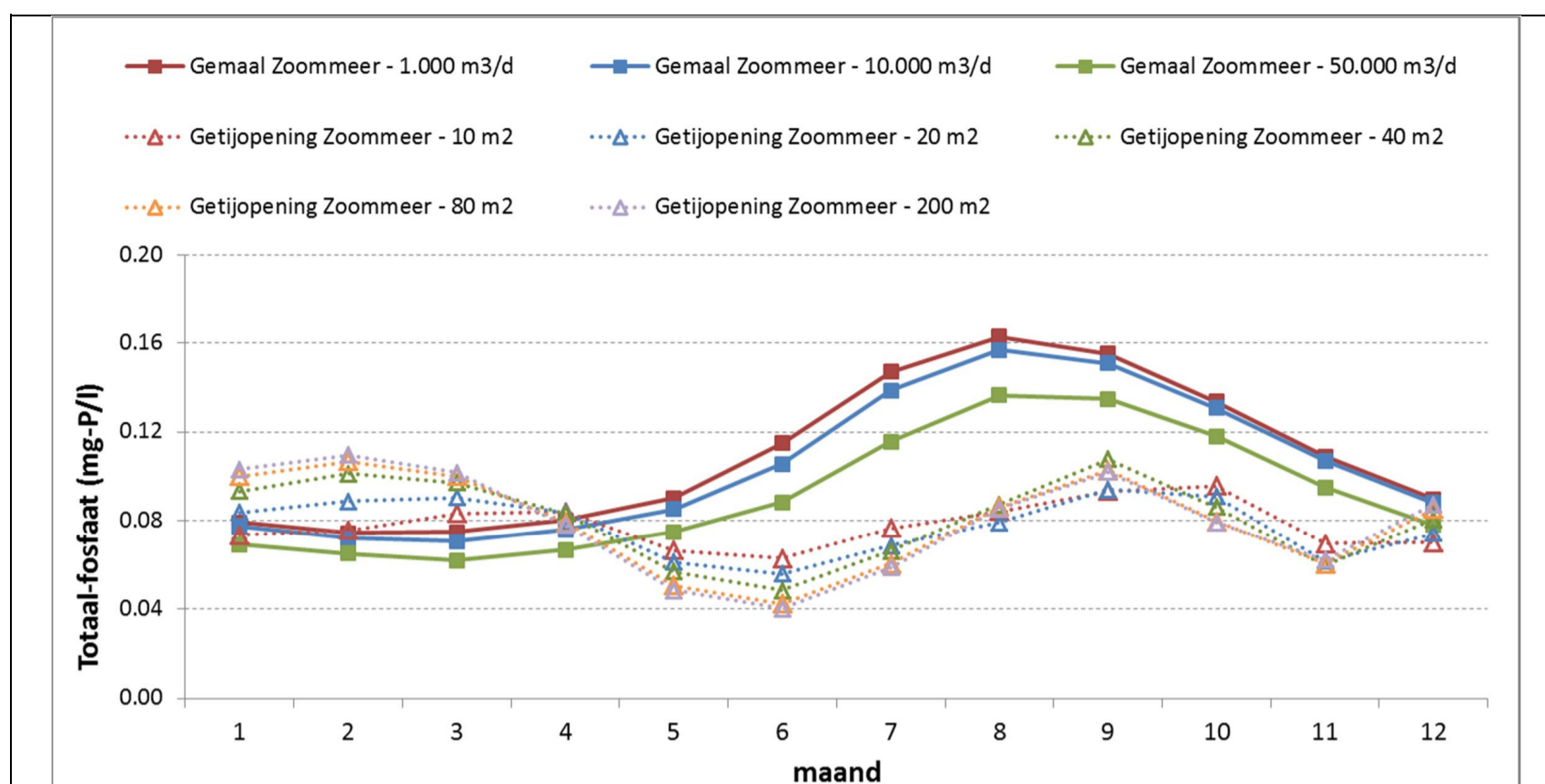
### 3.1.3. Nutriënten: Stikstof en fosfaat





Figuur 15 Berekende nitraat- (mg N/l, boven), ammonium- (mg N/l, midden), en totaal stikstofconcentratie (mg N/l, onder) in het Markiezaatsmeer voor de zoute scenario's.





**Figuur 16** Berekende ortho-fosfaat (mg P/l, boven) en totaal fosfaatconcentratie (mg P/l, onder) in het Markiezaatsmeer voor de zoute scenario's.

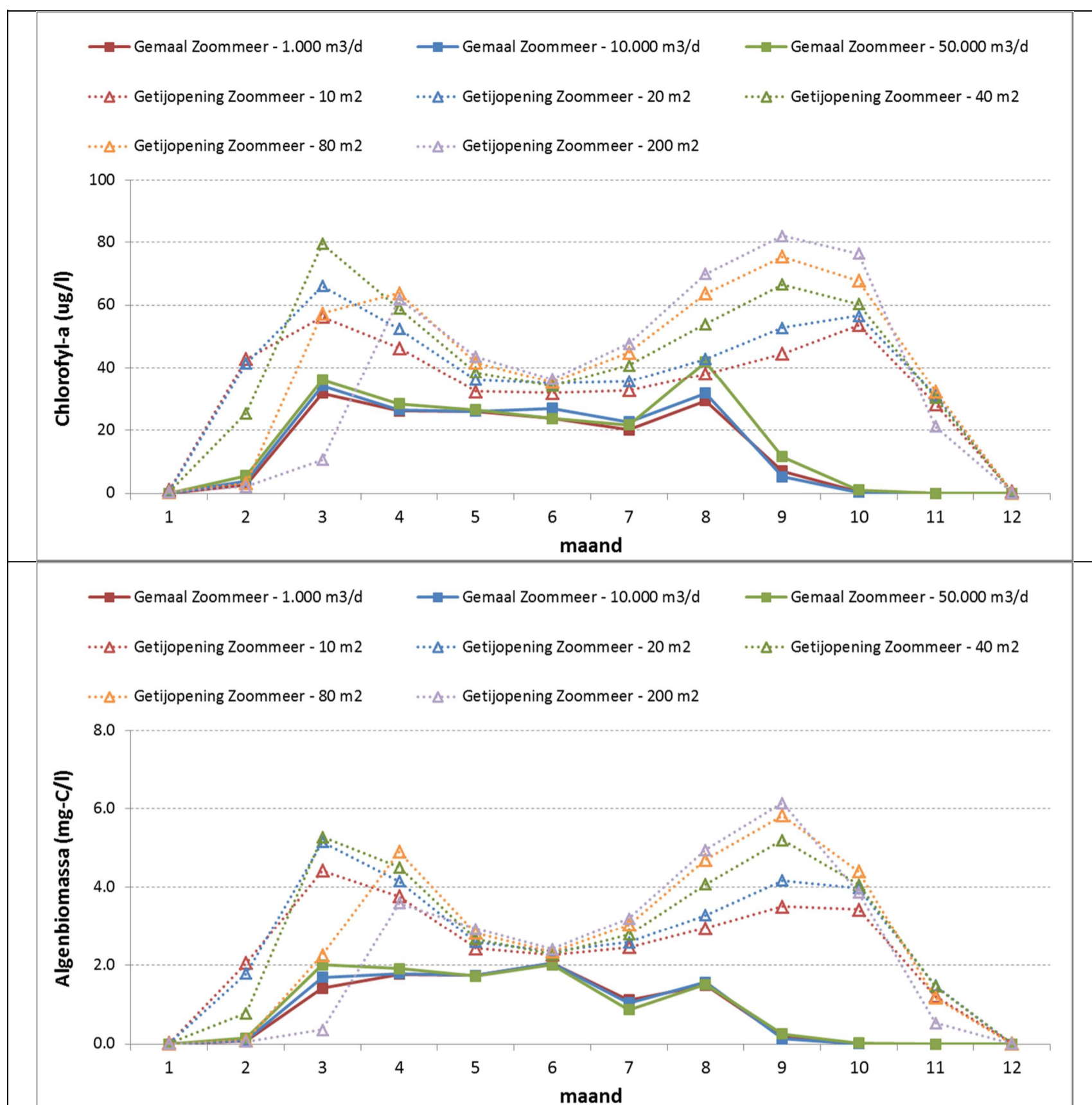
Bij inlaat via een gemaal vanuit het Zoommeer treedt er geen stikstoflimitatie op. In de winter is de nitraatconcentratie wel hoger (circa 1,5 mg N/l) dan in de zomer, wanneer de concentratie is afgenomen tot 0,1 mg N/l bij 1.000 m<sup>3</sup>/d en 10.000 m<sup>3</sup>/d aan inlaatdebiet en tot 0,4 mg N/l bij 50.000 m<sup>3</sup>/d aan inlaatdebiet (Figuur 15). De ammoniumconcentratie loopt in de zomermaanden op tot 0,05 mg N/l. Bij getijuitwisseling zijn zowel de nitraatconcentratie als de ammoniumconcentratie in de wintermaanden hoger dan bij inlaat via een gemaal, doordat de concentraties in het zoute Zoommeer hoger zijn en deze nauwelijks verdund worden door andere debieten zoals neerslag. Bij gemaalvarianten is neerslag 75% tot 30% van de langjarig gemiddelde waterbalans, terwijl dat bij getijvarianten minder dan 5% is. In augustus-september zit het watersysteem tegen stikstoflimitatie aan met nitraatconcentratie die nagenoeg 0 mg N/l zijn en ammoniumconcentraties van 0,02 mg N/l.

Net als bij de Binnenschelde, laten inlaat via een gemaal en getijuitwisseling verschillende patronen zien voor ortho-fosfaat (Figuur 16). Bij inlaat via het gemaal vanuit het Zoommeer wordt de maximale concentratie in de nazomer bereikt als gevolg van toelevering uit het sediment. De bodem-wateruitwisseling speelt dan nog een rol, omdat de verblijftijd nog steeds 9 maanden tot bijna 2 jaar betreft. In het voorjaar treedt fosfaatlimitatie op. Bij getijuitwisseling is de ortho-fosfaatconcentratie in de wintermaanden iets hoger dan bij gemaalinlaat. Dit komt door de hogere ortho-fosfaatconcentratie in het Zoommeer waarmee het Markiezaatsmeer bij getijuitwisseling vrijwel overeenkomt. In de zomermaanden is ortho-fosfaat uitgeput en dus limiterend.

#### 3.1.4. Fytoplankton: Chlorofyl-a en algenbiomassa

Bij de scenario's waarbij water uit het Zoommeer via een gemaal in het Markiezaatsmeer wordt ingelaten is de chlorofyl-a concentratie circa 20 µg/l in de zomer (Figuur 17). Bij getijuitwisseling met het Zoommeer neemt de concentratie verder toe. In voorjaar en najaar neemt de chlorofyl-a concentratie toe tot maximaal 80 µg/l.

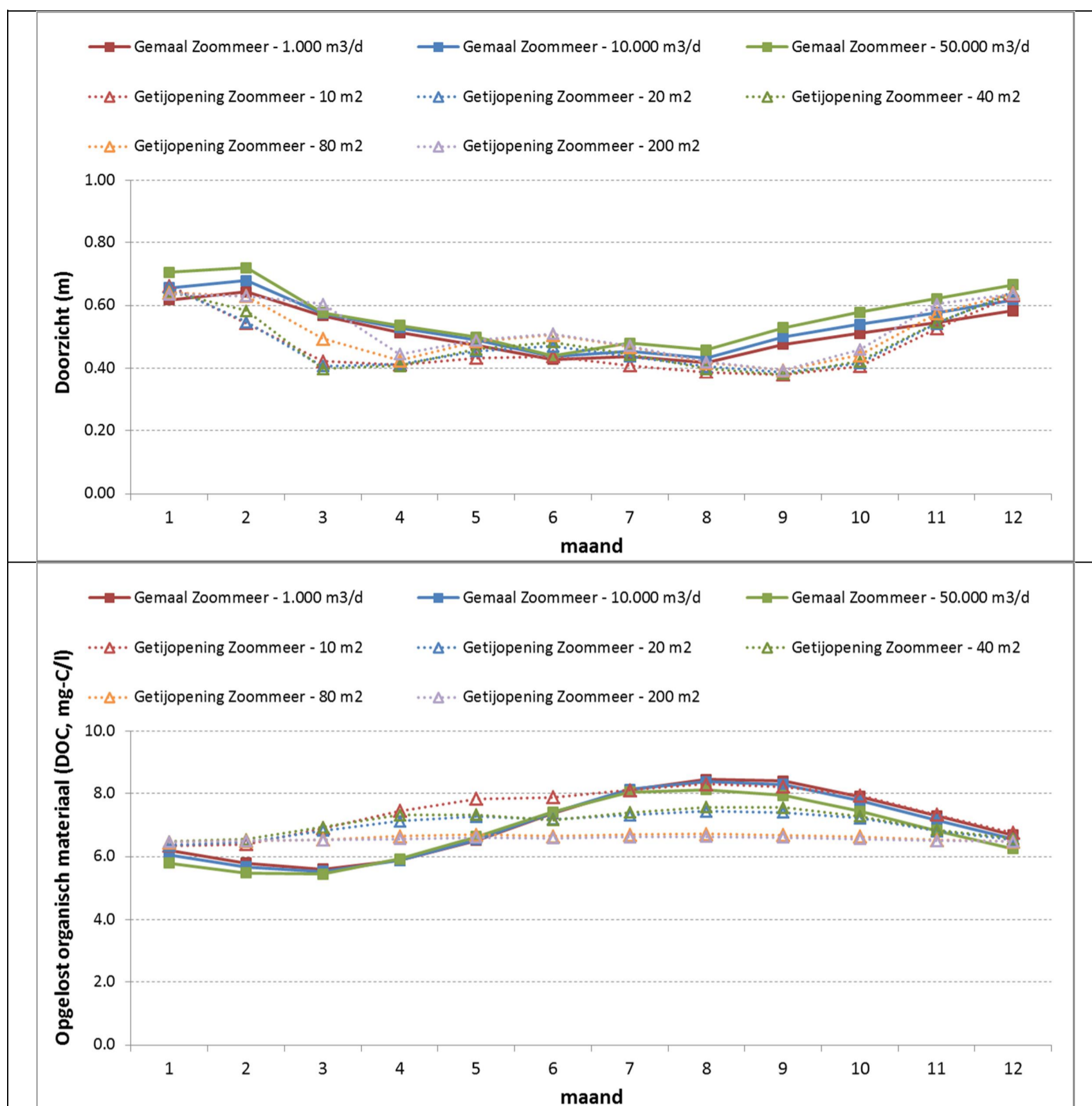
Het effect van een korte verblijftijd door een grote getijuitwisseling is enigszins zichtbaar in het voorjaar. Bij de grootste opening van 200 m<sup>2</sup> treedt nog wel een voorjaarspiek op, maar deze is duidelijk lager en circa een maand later dan bij een kleinere openingen. Algengroei wordt vervolgens bepaald door fosfaatlimitatie en dus door de aanvoer van fosfaat. Bij grotere uitwisseling is de belasting groter en kan een hogere chlorofyl-a concentratie in de najaarspiek bereikt worden.



Figuur 17 Berekende chlorofyl-a concentratie (µg/l, boven) en algenbiomassa (mg C/l, onder) in het Markiezaatsmeer voor de zoute scenario's

### 3.1.5. Doorzicht en opgelost organisch materiaal

Het berekende doorzicht in het Markiezaatsmeer varieert in de zomer tussen circa 0,35 m en 0,5 m (Figuur 18). In de winter is het doorzicht circa 0,2 m groter. Het doorzicht varieert relatief weinig tussen de scenario's en varianten. De reden hiervoor is de relatief hoge DOC-concentratie, die in de huidige modelopzet voor circa 75% van de lichtuitdoving zorgt. Zoals voor de Binnenschelde als in aangegeven, is het echter goed mogelijk dat de extinctiecoëfficiënt te hoog wordt ingeschat in DELWAQ, doordat er bijvoorbeeld geen onderscheid wordt gemaakt tussen gekleurd en kleurloos DOC. Vermoedelijk is het berekende doorzicht dus een onderschatting van het werkelijke doorzicht.



Figuur 18 Berekend doorzicht (m, boven) en opgelost organisch koolstof (DOC) concentratie (mg C/l, onder) in het Markiezaatsmeer voor de zoute scenario's. De onzekerheid over het DOC-gedrag in het huidige Markiezaatsmeer zorgt mogelijk voor een onderschatting van het doorzicht.

## 3.2. Prognose van toekomstige biologische toestand

### 3.2.1. Blauwalgen

Uit de Volkerak-Zoommeer studies blijkt dat bloeien met *Microcystis* verdwijnen met chloridegehalten van meer dan 8 g/l (Verspagen et al. 2005). Bij alle scenario's met een getijde opening in de dijk wordt dit bereikt. Als het zoute water met een gemaal uit het Schelde-Rijnkanaal wordt gehaald dan voldoet het zoutgehalte hier pas aan als er ongeveer 50.000 m<sup>3</sup> per dag wordt ingepompt. Er zijn dan echter nog wel enkele risico's voor bloeien met meer zouttolerante soorten zoals *Aphanizomenon*, *Nodularia* en *Anabaena*. Zelfs voor het scenario met een debiet van 50.000 m<sup>3</sup>/dag en in de scenario's met een gat in de dijk blijven er mogelijk nog enig risico's voor met name bloeien van *Nodularia*, al lijken deze risico's vrij beperkt. Deze soort groeit in het lab optimaal bij een zoutgehalte van 18 ppt (10 g Cl/l), maar in het veld worden in Europa bij dit zoutgehalte geen bloeien meer waargenomen (Mazur-Marzec et al. 2005, Mazur-Marzec et al. 2006).

Een enigszins zouttolerante zoetwaterplaagalg, *Primnesium* (een goudalg en geen blauwalg), zal in de meeste van de zoute scenario's geen probleem gaan vormen. Deze soort komt niet meer tot dichte bloeien bij zoutconcentraties boven de 7 ppt (chloridegehalte van 4 g/l) (Peperzak et al. 2002). Alleen in de gemaalvariant met de laagste uitwisseling zit het zoutgehalte onder deze grens en kan deze alg mogelijk problemen veroorzaken.

### 3.2.2. Mariene plaagalgen

Net als in alle zoute wateren kunnen in een zout Markiezaatsmeer ook mariene plaagalgen gaan voorkomen. In het algemeen geldt: hoe meer uitwisseling hoe minder groot de problemen. In elk geval zijn kansen op problemen met giftige dinoflagellaten in de scenario's met een getijuitwisseling zeer gering, in verband met hun gevoeligheid voor turbulentie (Berdalet et al. 2007, Guadayol et al. 2009). Ook bij de gemaalvarianten zullen omstandigheden waaronder deze soorten echt tot bloei kunnen komen zeldzaam zijn doordat windgolven vrijwel overal de bodem kunnen bereiken in het grotendeels ondiepe meer. Alleen tijdens zeer lange periodes met extreem weinig wind is er een risico op bloeien van deze soort.

Bloeien met *Phaeocystis* zijn zeer onwaarschijnlijk. Deze soort kan zich niet handhaven bij saliniteiten van onder de 23 ppt (13 g Cl/l) (STOWA 2012).

### 3.2.3. Macroalgen

Voor het Markiezaatsmeer geldt in principe hetzelfde als voor de Binnenschelde. Ook in het Markiezaatsmeer is het zeer waarschijnlijk dat met enige regelmaat een deel van de primaire productiviteit van het systeem niet vanuit fytoplankton komt, maar dat er bloeien gaan optreden van soorten als zeesla (*Ulva lactuca*) en draadalgen zoals *Enteromorpha* spp. De onzekerheden en de potentiële problemen die kunnen optreden bij bloeien van deze soorten zijn zeer vergelijkbaar met de situatie in de Binnenschelde. In grote hoeveelheden kunnen deze soorten op rustige plekken verzamelen op de bodem en daar zuurstofloze condities veroorzaken. Hier kan sterfte van bodemfauna optreden.

### 3.2.4. Aquatische vegetatie

Voor de zoute scenario's van het Markiezaatsmeer gelden zeer vergelijkbare argumenten als voor de Binnenschelde ten aanzien van de ontwikkeling van vaatplanten. Ook hier hebben we het in feite uitsluitend over zeegras. In de scenario's met een opening in de dijk, waarbij intergetijdengebied ontstaat, zijn hier misschien wel wat beperkte mogelijkheden voor de ontwikkeling van *Zostera noltii* of eventueel voor *Zostera marina*. Dit zal echter sterk afhangen van de ontwikkeling van macroalgen en de verwachte troebelheid van het systeem is ook ongunstig voor de ontwikkeling van zeegrassen. Daarnaast zal er waarschijnlijk actieve restauratie moeten plaatsvinden (uitzaaien voor groot zeegras en/of transplantatie voor klein zeegras) voordat deze soorten zich hier überhaupt kunnen vestigen (van Katwijk et al. 2006, van Katwijk et al. 2009). Voor ondergedoken vegetatie lijkt de ruimte dus zeer beperkt.

### 3.2.5. Oevervegetatie

Schorren en kwelders zijn vaak waardevolle ecotopen (Van Braeckel et al. 2008). Een absolute voorwaarde voor het ontstaan van deze ecotopen is de dagelijkse overstroming met zoet, brak of zout water, door getijwerking. Indien er geen fluctuerend waterniveau is, zal er geen schor ontstaan.

In een zoute variant van het Markiezaatsmeer, zonder getij zal de vegetatie rondom het meer vrij vergelijkbaar blijven met wat dit nu is. Mogelijk zal de vegetatie vlak langs de waterlijn door zout intrusie via de bodem en vooral golfoverslag tijdens storm wat verarmen. Sommige van de huidige plantensoorten zullen hier niet tegen bestand zijn en deze soorten zullen afsterven.

Bij de gemaal varianten, zonder getij zal bij de 2 kleinste debieten riet tot in de oeverzone groeien. Bij het grootste debiet, waar een zoutconcentratie van ruim 15 PPT wordt bereikt zal riet nog wel op de oever voorkomen, maar niet meer tot in het water.

Bij de varianten met de getijopening zal schorrenvegetatie gaan ontstaan in het intergetijdengebied. Dit zal een zonering gaan vertonen met zeekraal in de pionierzone, een lagergelegen *Puccinellion*-type en daarboven een zone die uiteindelijk gedomineerd zal worden door strandkweek (Van Braeckel et al. 2008).

### 3.2.6. Zoöplankton

Ook voor het Markiezaatsmeer geldt dat de zoöplanktensamenstelling zeer sterk gelinkt zal zijn aan het zoutgehalte. Typisch brakke copepodensoorten, zoals *Eurytemora affinis*, kunnen sterk dominant zijn bij saliniteiten onder de 18 ppt, ofwel chlorideconcentratie van beneden de 10 g/l. Daarboven zal zoöplankton een typische kust signatuur hebben.

### 3.2.7. Bodemdieren

Evenals voor de Binnenschelde zal de bodemdierpopulatie sterk afhangen van de uiteindelijke saliniteit. In de scenario's met 1000 en 10000 m<sup>3</sup>/dag gemaalwater blijft het water dusdanig brak dat de bodemdiergemeenschap waarschijnlijk relatief arm zal zijn. De typische mariene soorten kunnen hier niet overleven. Het scenario met de hoogste inlaat via een gemaal komt uit op een jaargemiddelde saliniteit van ongeveer 18 ppt (circa 10 g Cl/l) wat voor veel mariene soorten ook nog een beetje aan de lage kant is, maar waarbij *Ensis* al goed kan overleven. Alle scenario's met uitwisseling via een gat in de dijk bieden ruimte aan de echte mariene soorten.

Net als in de Binnenschelde zullen er waarschijnlijk wel Japanse oesters in dit systeem gaan vestigen als het water voldoende zout wordt (meer dan 11 g Cl/l). In de scenario's waar het water via een gemaal wordt ingelaten (zonder getij), zal dit waarschijnlijk niet in grote aaneengesloten banken zijn, vanwege de geringe diepte en het feit dat de filtratiecapaciteit van Japanse oesters zo groot is dat de (ondiepe) bovenliggende waterlaag snel uitgeput zal raken. In deze situatie is de waterbeweging waarschijnlijk beperkend voor de aanvoer van voldoende voedsel naar een oesterbank. In de scenario's met enig getij is de uitwisseling in en uit het systeem groter en is de horizontale uitwisseling veel groter. Japanse oesters (en andere filtreerders) zullen zich in deze getijdevarianten dus beter kunnen ontwikkelen, omdat ze efficiënter gebruik kunnen maken van de fytoplankton populatie in het water.

### 3.2.8. Vissen

Voor vissen is de situatie in het Markiezaatsmeer iets anders is dan in de Binnenschelde. Bij een zout systeem kan dit gebied wel weer een functie terug gaan krijgen voor trekvis (zoals paling, fint, etc.) vanwege de connectie met de Blaffert. Een zout Markiezaatsmeer dat in open verbinding staat met andere wateren via het Volkerrak-Zoommeer zal mogelijk ook (weer) een kraamkamerfunctie kunnen gaan vervullen voor verschillende mariene vissoorten. Hierbij is een open verbinding door de dijk te prefereren boven een verbinding via een gemaal. In de laatste optie zouden aanvullende maatregelen nodig zijn voor vispassage.

### 3.2.9. Vogels

Het Markiezaatsmeer is belangrijk voor verschillende vogelsoorten. Er gelden doelstellingen voor zowel broedvogels als voor vogels die het gebied gebruiken voor foerageren en rusten. Het gebied heeft een belangrijke functie als 'hoogwatervluchtplaats' voor vogels die in de Oosterschelde foerageren. In Tabel 5 staan de functies en doelstellingen zoals deze zijn vastgelegd in het beheerplan voor dit gebied.

Het meer is momenteel zoet en heeft geen intergetijdengebied. Daarmee is het op dit moment totaal ongeschikt als foerageergebied voor steltlopers. Toch heeft dit gebied nog steeds voor steltlopers een zekere waarde, omdat het gebied zeer rustig en beschermd is en daarmee een veilige hoogwater vluchtplaats vormt voor vogels die tijdens laagwater in de Oosterschelde of in de Westerschelde foerageren.



**Tabel 5: overzicht van vogelsoorten en gebruiksfuncties van het Markiezaatsmeer voor vogels waarvan instandhoudingsdoelstellingen zijn geformuleerd (Provincie\_Noord-Brabant 2014)**

Broedvogels <sup>1</sup>	Foerageren en rusten	Rusten <sup>2</sup>
Dodaars	Fuut	Kluut#
Lepelaar	Geoorde Fuut	Bontbekplevier#
Kluut#*	Aalscholver	Zilverplevier#
Bontbekplevier#*	Lepelaar	Kanoet#
Strandplevier#*	Kleine Zwaan	Bonte Strandloper#
	Grauwe Gans#	Zwarte Ruiter
	Brandgans#	
	Bergeend#	
	Smient#	
	Krakeend	
	Wintertaling#	
	Pijlstaart	
	Slobeend	
	Meerkoet#	

<sup>1</sup> Broedvogels foerageren en rusten ook in het Markiezaat gedurende de broedperiode.

<sup>2</sup> Vogels die foerageren in de Oosterschelde en het Markiezaat als hoogwatervluchtplaats gebruiken.

\* Voor deze drie soorten geldt het instandhoudingsdoel voor het hele Zeeuwse deltagebied.

# Soorten die gebaat zijn bij de aanwezigheid van open grazige oeverzones als broed-, foerageer- of rustgebied.

In de Oosterschelde is onderzoek gedaan aan de potentiële gevolgen van de zandhonger op de draagkracht voor vogels (de Ronde et al. 2013). Hieruit is duidelijk naar voren gekomen dat de wetenschappelijke kennis momenteel niet toereikend is om echt kwantitatieve uitspraken te kunnen doen over de aantallen vogels die zijn te verwachten na veranderingen in het systeem. Omdat een zout Markiezaatsmeer een totaal nieuwe situatie is, zullen we hier moeten volstaan met een kwalitatieve inschatting van de gevolgen van een dergelijke verandering voor de verschillende doelsoorten.

De lijst met doelsoorten voor het Markiezaatsmeer bevat een aantal watervogels die primair geassocieerd zijn met zoet water (onder andere ganzen en eenden). Veel van deze soorten kunnen in principe ook in zout water foerageren. De vogels in kolom 3 van Tabel 5 gebruiken eigenlijk alleen het terrestrische deel van het gebied als rustplaats. In alle zoute varianten verandert er vrijwel niets in het terrestrische deel van het Markiezaat. Deze functie wordt dan ook verder niet beschouwd. In de hierop volgende paragrafen worden de veranderingen in het gebied voor de broedfunctie en voor de foerageerfunctie beschouwd.

#### *Broedvogels*

Dodaarzen zijn buiten het broedseizoen vaak te vinden op het Grevelingenmeer. Daar gebruiken ze plantenmateriaal van het zoete water voor het maken van nesten. Voor deze soorten zal een zout Markiezaatsmeer zeer waarschijnlijk minder geschikt zijn als broedlocatie, zelfs al kunnen ze er wel foerageren.

Lepelaars broeden sinds de jaren '90 op de Spruitkop. Het zijn grondbroeders die bijvoorbeeld in het Waddengebied vaak in de buurt van zoutwater broeden. Zoutwater op zich is geen probleem. Voor lepelaars is wel van belang dat grondpredatoren, zoals vossen en ratten, niet bij de nesten kunnen komen. Dit is met name relevant voor de variant waar enig getij wordt toegelaten op het Markiezaat. Daardoor zal het waterniveau iets dalen en wordt bij laagwater de Spruitkop toegankelijk voor predatoren (Figuur 13). Bij een keuze voor deze variant zullen aanvullende inrichtingsmaatregelen moeten worden overwogen om deze broedkolonie te beschermen.

De meeste andere broedvogels broeden op het terrestrische deel, waar weinig veranderingen zijn. Met name voor de plevieren is de situatie t.a.v. instandhoudingsdoelstellingen in het hele deltagebied slecht (Provincie\_Noord-Brabant 2014). Dit zijn typische kale grond broeders. Na aanleg zal er korte tijd wel wat areaal kale grond bij komen (in de witte delen van Figuur 13). Echter, dit is een situatie die waarschijnlijk niet blijvend is. Onder invloed van stikstofdepositie zullen de delen die buiten de regelmatig overspoelende zones liggen relatief snel (binnen enkele jaren) begroeid raken en hun functie voor deze kale grondbroeders weer verliezen. Zowel in de zoete situatie als in de zoute situatie zonder getij blijft deze situatie onveranderd.

**Tabel 6: Samenvatting van kwalitatieve inschatting van effecten op de broedvogels waarvoor doelstellingen zijn geformuleerd. Voor uitleg m.b.t. effecten op de foerageerfunctie, zie sectie 3.2.8.**

Toestand nu		Toestand na maatregel	
Broedvogels	Niet-broedende vogels	Broedvogels	Niet-broedende vogels
Lepelaar	Lepelaar	Lepelaar*	Lepelaar
Dodaars	Kleine zwaan	Dodaars	Kleine zwaan
	Grauwe gans		Grauwe gans
	Brandgans		Brandgans
	Krakeend		Krakeend
	Meerkoet		Meerkoet
	Pijlstaart		Pijlstaart
	Wintertaling		Wintertaling
	Slobeend		Slobeend
	Aalscholver		Aalscholver
	Smient		Smient
	Geoorde fuut		Geoorde fuut
	Fuut		Fuut
	Bergeend		Bergeend
Kluut	Kluut	Kluut**	Kluut
Bontbekplevier	Bontbekplevier	Bontbekplevier**	Bontbekplevier
Strandplevier	Zilverplevier	Strandplevier**	Zilverplevier
	Kanoet		Kanoet
	Bonte strandloper		Bonte strandloper
	Zwarte ruiter		Zwarte ruiter

\* Voor de lepelaar is het effect negatief indien het broedeiland toegankelijk wordt voor predatoren. Dit is een risico in de situatie met getij. Dit risico kan met maatregelen wel gemitigeerd worden.

\*\* Voor de kale grondbroeders is het effect op korte termijn mogelijk licht positief, als er bij de aanleg kaal, permanent droogvallend gebied wordt gecreëerd. Dit zal waarschijnlijk echter een tijdelijk effect zijn.

#### *Foeragerende vogels*

Veel van de “zoete” vogels die nu het Markiezaat als foerageergebied gebruiken kunnen in principe wel in zoutwater foerageren. Dodaars foerageert in het najaar vaak op het Grevelingenmeer. Smient, geoorde fuut en brandgans foerageren ook in het Waddengebied en futen worden regelmatig in zoute wateren zoals de Oosterschelde gezien. Ook krakeenden, slobeenden, pijlstaarten en wintertaling worden wel op zout of brak water gezien. Het is echter niet uit te sluiten dat een zout Markiezaatsmeer, met name voor deze eendensoorten uiteindelijk toch minder aantrekkelijk zal zijn. Uitzondering is de bergeend, die graag in ondiepe zoute gebieden foerageert op kleine slakjes. Aalscholver heeft geen voorkeur voor zoet of zout, alleen de voedselbeschikbaarheid is voor deze soort relevant.

De kleine zwaan is een soort die in zoetwater typisch op wortelstokken van planten foerageert. Voor deze soort zal het gebied in alle zoute scenario's veel waarde verliezen, aangezien het voorkeursvoedsel zal verdwijnen.

In zoute scenario's waarbij ook intergetijdengebied wordt gecreëerd (Figuur 13), zullen de steltlopers die het gebied nu als rust- of broedgebied gebruiken ook kunnen foerageren. Zeker omdat het talud van het intergetijdengebied zeer flauw is, waardoor droogvallend gebied lang nat blijft en het gebied behoorlijk productief is, kan verwacht worden dat de ±100 hectare aan intergetijdengebied waardevol zullen zijn voor deze soorten. In zoute scenario's waarbij water via een gemaal wordt ingelaten en geen intergetijdengebied ontstaat is zijn de positieve effecten van een zout Markiezaat voor deze soorten minimaal. Hun voedsel is misschien wel aanwezig, maar ze kunnen er niet bij.

Bij de inschatting van effecten op doelstellingen voor vogels moet wel bedacht worden dat de analyse hierboven de eindsituatie betreft, waarbij het ecosysteem zich aan de zoute toestand en de nieuwe waterkwaliteit heeft aangepast. De overgangssituatie kan enige jaren in beslag nemen. Het zal zeker enige tijd duren voordat de bodemdierpopulatie zich volledig gevestigd heeft. In die tussentijd is het systeem voor vrijwel alle soorten minder geschikt zijn.

### **3.3. Confrontatie verwachte biologische toestand en beleidsdoelen**

Voor het Markiezaatsmeer (een vogelrichtlijng gebied) gelden specifieke doelstellingen ten aanzien van Natura2000. Tevens is het Markiezaatsmeer een KRW-waterlichaam, wat inhoudt dat het water in principe in de 'goede ecologische toestand' (in dit geval het Goed Ecologisch Potentieel) gebracht moet worden. Voor een zout Markiezaatsmeer dient deze toestand echter nog gedefinieerd te worden.

#### **3.3.1. Blauwalgen**

Ook voor het Markiezaatsmeer geldt dat men het risico op toxische algenbloeien wil beperken, vanwege het mogelijke effect op de vis- en vogelstand. In §3.2.1. staat reeds dat het moeilijk is om met een inlaat via een gemaal volledig te garanderen dat dit probleem nooit zal optreden. De varianten met een getijopening kunnen dat wel.

#### **3.3.2. Natura2000 doelstellingen**

De enige Natura 2000-doelstellingen betreffen de vogelsoorten. De gevolgen voor de verschillende soorten zijn beschreven in §3.2.6. Zeer kort samengevat zullen er voor de typische zoetwatersoorten enige negatieve gevolgen te verwachten zijn voor de doelstellingen als er voor een zoute variant wordt gekozen. Dit geldt vooral voor de dodaars, waarvoor het gebied als broedgebied in waarde afneemt en de kleine zwaan, voor wie het gebied veel minder geschikt wordt als foerageergebied. De meeste andere soorten die het Markiezaatsmeer als foerageergebied gebruiken, kunnen in principe ook op zout water foerageren, al is het op basis van deze modelvoorspellingen niet mogelijk kwantitatieve uitspraken te doen over hun voedselbeschikbaarheid. In elk geval zal voor de eend-achtigen er rekening mee moeten worden gehouden dat de draagkracht voor deze soorten iets achteruit kan gaan.

De typische "zoute soorten" zijn vrijwel allemaal steltlopers die in het intergetijdengebied foerageren. Varianten zonder intergetijdengebied voegen weinig toe aan de geschiktheid van deze soorten. Een intergetijdengebied van zo'n 100 ha zal wel bij gaan dragen aan de draagkracht voor deze soorten. Zeker voor een aantal soorten zoals de bontbekplevier, kluut en strandplevier, waar het de laatste jaren niet goed mee gaat, is de verwachting dat dit een positieve bijdrage zal hebben op instandhoudingsdoelstellingen.

Deze instandhoudingsdoelstellingen moeten wel bekeken worden in het licht van de trends in de gehele delta, en zeker in het licht van trends in aanpalende gebieden. Zeker voor vogels is er namelijk sterke connectiviteit tussen verschillende Natura 2000-gebieden.

Zowel in de Oosterschelde als in de Westerschelde staat de draagkracht voor vogels om verschillende redenen onder grote druk. De Oosterschelde ondervindt sinds de bouw van de stormvloedkering en de compartimenteringsdammen zandhonger als gevolg van het verminderd getij (de Ronde et al. 2013). Hierdoor vermindert het areaal foerageergebied in de Oosterschelde. Tussen 1986 en 2010 is er al zo'n 1000 ha intergetijdengebied verloren gegaan.

In de Westerschelde vinden omgekeerde processen plaats. Door de combinatie van inpolderingen in de 19<sup>e</sup> en 20<sup>e</sup> eeuw en de verschillende vaargeulverdiepingen is hier de getijslag significant toegenomen. Door de versmalling en de andere veranderingen in de morfologie is de stroomsnelheid sterk toegenomen en worden platen en slikken zeer hoog en stijl en daarmee zeer ongunstig habitat voor bodemdieren (Reinders and Van Duren 2013, Van Duren and Reinders 2013, Maris et al. 2015). Bij een toekomstig zout Volkerak-Zoommeer met een getijslag van 30 cm zal er in dit gebied wel circa 300 ha aan intergetijdengebied bijkomen (Meijers et al. 2008). Dit is echter zeker niet voldoende om het verlies aan intergetijdenareaal in de Oosterschelde samen met het kwaliteitsverlies aan foerageerareaal in de Westerschelde te compenseren.

Deze ongunstige ontwikkelingen in foerageergebied voor steltlopers in aanpalende gebieden zullen meegenomen moeten worden in uiteindelijke beslissingen, wanneer positieve effecten op de randvoorwaarden voor 'zoute' steltlopers moeten worden gewogen tegenover negatieve effecten op 'zoete' vogels.

### 3.3.3. Europese kaderrichtlijn water (KRW)

Het Markiezaatsmeer heeft veel minder een recreatiefunctie, maar vooral een natuurfunctie. Voor dit meer is doorzicht op zich geen doel op zich. Voor de zoute scenario's gaat het systeem een heel ander systeem worden dan het nu is. In vrijwel alle zoute scenario's zal het gaan vallen onder type M32, Grote brakke tot zoute meren. Het Markiezaatsmeer gaat namelijk met een opening via een gat in de dijk een getijverschil krijgen van maximaal 30 cm, waardoor het dus niet zal gaan behoren tot de "Estuaria met matig getijverschil" (O2). Alleen bij een gemaalintlaat van 1000 m<sup>3</sup>/dag zal het meer onder type M30 blijven vallen, omdat het chloridegehalte dan nog onder de 3 g/l blijft, de ondergrens voor deze categorie (STOWA 2012). Aangezien deze variant een zeer soortenarm milieu gaat opleveren met een hoog risico op giftige blauwalgen (inclusief *Microcystis*) wordt deze variant niet verder in detail beschouwd in het kader van de KRW.

#### *Chemie (zout)*

Voor watertype M32, wordt in de maatlatten uitgegaan van wateren met een zoutgehalte van 10 tot 16 g Cl/l (18-29 ppt). De condities zijn goed zodra de chlorideconcentratie hoger is dan 10 g/l (STOWA 2012). Dit wordt alleen bereikt in scenario's met uitwisseling via een getijopening of bij inlaatscenario's waarbij er via het gemaal meer dan 50.000 m<sup>3</sup> per dag wordt ingelaten (en bij die laatste zit je dan net op het randje). De andere twee scenario's vallen dus een beetje buiten de "standaard samenstelling" van watertype M32 en scoren allebei "slecht" op saliniteit (< 8 g Cl/l).

#### *Doorzicht*

Het berekende doorzicht in het Markiezaatsmeer varieert in de zomer tussen circa 0,35 en 0,5 m. Het doorzicht varieert relatief weinig tussen de scenario's en varianten. Dit doorzicht komt neer op een score van "ontoereikend" tot "matig" op de KRW maatlat. Het beperkte doorzicht wordt in de zoute modelvarianten veroorzaakt door de hoge DOC-concentratie. In de huidige modelopzet draagt DOC tot 75% bij aan de uitdoving van licht. Zoals bij de Binnenschelde al is aangegeven, is deze factor vermoedelijk overschat. In andere studies in estuaria wordt een zeer sterk negatief verband gevonden tussen enerzijds de concentratie DOC en de mate van lichtadsorptie door DOC en anderzijds de saliniteit (Chen et al. 2007). Het doorzicht kan dus in de zoute varianten in werkelijkheid groter worden dan nu door DELWAQ wordt voorspeld. Aangezien deze factor nog omgeven is met onzekerheden, wordt er hier uit het oogpunt van voorzichtigheid uitgegaan van de modelvoorspellingen.

#### *Chlorofyl en nutriënten*

Bijna alle scenario's voorspellen chlorofylwaarden boven de 36 µg/l, wat in de huidige maatlatten van M32 als "ontoereikend" of "slecht" wordt gezien. Minder uitwisseling met nutriëntrijk Volkerak-Zoommeer water geeft minder chlorofyl. Al is er met de hoogste uitwisseling via een gat in de dijk (bij een gatoppervlak van 200 m<sup>2</sup>) wel sprake van een latere en kleinere voorjaarsbloei, doordat het systeem in het voorjaar (wanneer de temperatuur nog relatief laag is) nog beperkt wordt door de verblijftijd. Er dient wel vermeld te worden dat er in de huidige modelvoorspellingen wordt geen rekening gehouden met effecten van graas. Bij een

goedontwikkelde populatie van schelpdieren, is de kans zeker aanwezig dat de chlorofylgehalten minder hoog zullen zijn. Voor de varianten met een hoog zoutgehalte is er een mitigerend effect te verwachten wanneer zich Japanse oesters in het gebied gaan vestigen. De kans op vestiging van mosselbanken is extreem klein en andere schelpdiersoorten hebben onvoldoende graascapaciteit om een top-down controle op de fytoplanktonpopulatie uit te voeren.

De huidige modelopzet is niet geschikt voor het voorspellen van frequentie van *Phaeocystis* bloeien, maar aangezien deze soort zich moeilijk kan handhaven bij saliniteiten onder de 23 ppt (13 g Cl/l) zal dit in geen enkel scenario waarschijnlijk een probleem vormen en gaan alle varianten op het onderdeel fytoplankton “goed” scoren.

Voor nutriënten gelden voor dit watertype (M32) alleen normen voor stikstof (opgelost anorganisch stikstof in de wintermaanden; STOWA 2012), terwijl tegenwoordig in veel kustwateren fosfaat limiterend is in de zomer, en niet stikstof. Dit gebeurt ook in de zoute scenario's voor het Markiezaatsmeer met een getijopening. In vrijwel alle scenario's met gemaalinlaat met Volkerak-Zoommeer water blijft de stikstofconcentratie “ontoereikend” of “slecht”, al scoren de varianten met inlaat via een gemaal hier beter dan de inlaat via een getijopening.

#### *Vaatplanten*

De kans dat zich spontaan zee gras zal gaan vestigen in het Markiezaatsmeer is bijzonder klein en het succes van uitzaai of aanplanten is zeker niet gegarandeerd. Met de varianten met intergetijdengebied komt er enig potentieel areaal voor klein zee gras en mogelijk ook voor de intergetijdenvariant van groot zee gras, maar de meest realistische inschatting op dit moment is dat de toestand in een zout Markiezaatsmeer “slecht” zal blijven.

#### *Hogere trofische niveaus*

Omdat voor watertype M32 als uitgangspunt genomen wordt dat het water een zoutgehalte van meer dan 18 ppt (10 g Cl/l) heeft, is ook de referentiewaarde voor e.g. bodemdieren relatief hoog. Het valt niet kwantitatief te berekenen wat de score voor benthos gaat zijn bij de verschillende scenario's, maar het is bijzonder waarschijnlijk dat de score “slecht” zal zijn bij de gemaalvarianten vanwege het relatief lage zoutgehalte (in ieder geval bij de varianten waarbij minder dan 50.000 m<sup>3</sup>/dag wordt ingelaten). Voor vissen is het erg moeilijk om in te schatten hoe dit systeem zal gaan scoren op de KRW maatlat. Het Markiezaat is in elk geval verbonden met zoet water in het achterland, dus kan zeer aantrekkelijk worden voor trekvis en kan hierdoor potentieel redelijk goed gaan scoren, zeker in de varianten met een gat in de dijk. Daar is immers geen enkele beperking voor migratie. Voor varianten met uitwisseling via een gemaal moeten aanvullende maatregelen genomen worden. Tevens is het zaak de visserijdruk op het systeem laag te houden.

## 4. CONCLUSIES ZOUTE VARIANTEN MARKIEZAATSMEER EN BINNENSCHELDE

### 4.1. Binnenschelde

De beste waterkwaliteit wordt bereikt met inlaat van water uit de Oosterschelde. Het model voorspelt zeer lage chlorofylwaarden en de nutriëntenconcentraties zijn dusdanig dat volgens KRW-normen de waterkwaliteit “goed” wordt. Het enige probleem blijft volgens de modelvoorspellingen het doorzicht. Dit wordt in het model veroorzaakt door een hoog DOC-gehalte, maar in werkelijkheid zou het doorzicht beter kunnen uitvallen doordat veel van het geproduceerde DOC onder zoute condities vermoedelijk kleurloos is en daardoor minder effect op het doorzicht heeft. Het lijkt verstandig om dit DOC-effect in een nader onderzoek verder uit te zoeken. De capaciteit van de doorlaat naar de Oosterschelde zou bij voorkeur dusdanig moeten zijn dat de saliniteit boven de 20 ppt (11 g Cl/l) uitkomt. Dit is het geval bij een doorlaat van 2500 m<sup>3</sup>/dag en meer.

Uit de systeemanalyse blijkt verder dat inlaat van water uit het Volkerak-Zoommeer via een gemaal voor de waterkwaliteit een minder gunstige oplossing is dan de inlaat van water uit de Oosterschelde. Een voldoende hoog debiet van boven de ca. 5.000 m<sup>3</sup>/dag garandeert wel dat de blauwalgen weg zijn, maar het veroorzaakt ook een hogere nutriëntenbelasting met risico's van overlast door bijvoorbeeld macroalgen.

Voor de Binnenschelde lijkt de variant met een getijopening de minst voor de hand liggende oplossing. Ten eerste zijn er een aantal praktische overwegingen, waaronder dat het meer 1,5 m hoger ligt dan het Volkerak-Zoommeer waardoor het uitgebaggerd zou moeten worden om niet een heel groot deel van het meeroppervlak kwijt te raken. Daarnaast geeft deze variant de hoogste nutriëntenbelastingen. De blauwalgen worden wel beperkt door Cl-concentraties die hoog genoeg zijn, maar andere waterkwaliteitsparameters blijven problematisch.

### 4.2. Markiezaatsmeer

Voor dit systeem is geen variant met Oosterscheldewater doorgerekend, omdat dit vooraf als een onrealistische variant werd gezien. Een kwalitatieve scan door Witteveen+Bos bevestigde dat het voor deze variant al de vraag is of deze überhaupt technisch haalbaar is. Mocht dat zo zijn dan gaat dit extreem grote kosten meebrengen en zeer ingrijpende veranderingen op de infrastructuur vergen.

Voor de natuurdoelstellingen (met name vogels) heeft een zout systeem zonder getij negatieve effecten op de draagkracht van het systeem voor “zoete” vogels en weinig positieve bijdrage voor steltlopers. De beste perspectieven biedt een scenario met uitwisseling via een opening in de dijk. Dit geeft de beste mogelijkheden voor vismigratie en levert extra foerageergebied op voor steltlopers. Bij elk scenario blijft de nutriënten belasting hoog en door de geringe diepte is er geen lichtlimitatie, waardoor elk scenario een vrij hoge primaire productie zal geven. Waarschijnlijk is het beter om te kiezen voor een hoge uitwisseling. De modellen zijn 1D gedraaid en houden geen rekening met de vorm van het systeem. In werkelijkheid zal er niet overal evenveel uitwisseling zijn en kunnen er uithoeken ontstaan met relatief lange verblijftijden. Een groter debiet vermindert de kans op (bijna) stagnante uithoeken en vermindert ook de kans op het voorkomen van stratificatie in het diepere deel van het meer in de zomer.

Voor waterkwaliteit (in het kader van KRW doelstellingen) zijn de varianten waarbij het zoutgehalte onder de 18 ppt (10 g Cl/l) blijft, minder gunstig. Dit houdt in dat voor de varianten met een inlaat via een gemaal er minimaal 50.000 m<sup>3</sup> per dag moet worden ingelaten. Voor de waterkwaliteitsparameters van de KRW (nutriënten en chlorofyl) lijkt de variant met inlaat via een gemaal wat gunstiger dan een inlaat via een getijopening in verband met de uiteindelijke nutriëntenconcentraties en de daarmee samenhangende algenproductie. In de praktijk kunnen de varianten met getijuitwisseling echter toch wat gunstiger uitpakken door het betere habitat dat wordt gecreëerd voor schelpdieren. Door de betere uitwisseling hebben die meer mogelijkheden om de algenpopulatie te reduceren via begrazing.

### 4.3. Overgangssituatie en eindsituatie

De prognoses (op basis van modeluitkomsten en expert judgement) van de te verwachten veranderingen in de Binnenschelde en het Markiezaatsmeer zijn verwachtingen op een bepaalde evenwichtstoestand die zich in de loop van de tijd zal instellen. Bij vrijwel alle zoute scenario's zal gelden dat de ecologische toestand van de waterlichamen eerst zeer plotseling en drastisch zal veranderen. Microalgen (fytoplankton) zullen zeer snel (binnen enkele weken) op een dergelijke verandering reageren. Echter voor bijvoorbeeld bodemdieren zal het enkele jaren duren voordat een volledig ontwikkelde gemeenschap is ontstaan die bij de abiotische randvoorwaarden verwacht mag worden. Sommige soorten (vooral wormen en kleine, opportunistische soorten zoals wadslakjes en vlokreeftjes) zullen de bodem vrij snel koloniseren als er voldoende voedsel is. Echter de grotere schelpdiersoorten zoals oesters, kokkels en Amerikaanse zwaardschedes zullen meerdere jaren nodig hebben om tot een stabiele populatie uit te groeien. Deze soorten hebben een "life history" van meerdere jaren. Daarnaast is van "biobouwers" als oesters bekend dat ze de vestiging van hun eigen larven in dat gebied bevorderen. Het kan dus enige tijd duren voor een gebied überhaupt gekoloniseerd wordt. Ervaring uit proefsuppleties in de Oosterschelde (bijvoorbeeld de Galgenplaat) leren dat voor bodemdieren minimaal 3 tot 5 jaar gerekend moet worden, voordat er een volledig ontwikkelde gemeenschap aanwezig is (van der Werff et al. 2013). Dieren die hiervan afhankelijk zijn van hun voedsel (bijvoorbeeld vogels) zullen in de tussentijd met deze overgangssituatie om moeten kunnen gaan. In onze analyse en conclusies t.a.v. voorkeursvarianten zijn eventuele effecten van een overgangssituatie niet expliciet meegenomen.

### 4.4. Verwacht effect van klimaatverandering

Als gevolg van klimaatverandering wordt verwacht dat het neerslagpatroon en de temperatuur veranderen. De effecten op de waterbalans zijn voor 4 scenario's bepaald (zie Witteveen+Bos 2016b). Hieruit blijkt dat verwacht mag worden dat de impact van klimaatverandering op de waterbalans beperkt is.

Voor de scenario's met een getijopening naar het Zoommeer is met zekerheid te zeggen dat klimaatverandering niet van invloed zal zijn op de waterbalans. De debieten door de getijopening zijn veel groter dan alle andere debieten. Aangezien deze debieten alleen afhankelijk zijn van het waterpeil op het Zoommeer, worden zij niet beïnvloed door klimaatverandering zolang het waterpeil op het Zoommeer gelijk blijft.

In de overige scenario's is het debiet via een gemaal vanuit het Zoommeer of via een onderleider vanuit de Oosterschelde minder dominant. Ze zijn ongeveer van dezelfde orde grootte als de overige debieten. De water- en stofbalansen zullen in het meest extreme klimaatscenario enkele procenten veranderen. Deze verandering is kleiner dan de huidige variatie van jaar tot jaar. Of de nutriëntenconcentraties in de ingaande debieten gaan veranderen als gevolg van klimaatverandering is niet onderzocht, maar als er al veranderingen zijn, zijn die zeer waarschijnlijk ondergeschikt aan andere omstandigheden waaronder veranderd landgebruik en gebruik van meststoffen.

## 5. REFERENTIES

- Berdalet, E., F. Peters, V. L. Koumandou, C. Roldan, O. Guadayol, and M. Estrada. 2007. Species-specific physiological response of dinoflagellates to quantified small-scale turbulence. *Journal of Phycology* **43**:965-977.
- Chen, Z., C. Hu, R. N. Conmy, F. Muller-Karger, and P. Swarzenski. 2007. Colored dissolved organic matter in Tampa Bay, Florida. *Marine Chemistry* **104**:98-109.
- Cronin, K., N. Villars, W. Stolte, A. de Kluijver, and B. van Maren. 2015. Mud dynamics in the EmsDollard, phase 3; scenarios for improvement. 1205711-003, Deltares, Delft.
- Dauwe, B. and J. J. Middelburg. 1998. Amino acids and hexosamines as indicators of organic matter degradation state in North Sea sediments. *Limnology and Oceanography* **43**:782-798.
- De Kluijver, A., M. S. J. Chatelain, and W. Stolte. 2013. Long-term vision Schelde Estuary; primary production modelling. 1207720-001-ZKS-0004, Deltares, Delft.
- de Ronde, J. G., J. P. M. Mulder, L. A. van Duren, and T. Ysebaert. 2013. Eindadvies ANT Oosterschelde. 1207722-000-ZKS-0010, Deltares, Delft.
- Guadayol, O., C. Marrase, F. Peters, E. Berdalet, C. Roldan, and A. Sabata. 2009. Responses of coastal osmotrophic planktonic communities to simulated events of turbulence and nutrient load throughout a year. *Journal of Plankton Research* **31**:583-600.
- Holmer, M. and R. M. Nielsen. 2007. Effects of filamentous algal mats on sulfide invasion in eelgrass (*Zostera marina*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **353**:245-252.
- Hummel, H. and S. Wijnhoven. 2014. Long-term patterns in the establishment, expansion and decline of invading macrozoobenthic species in the brackish and marine waters of Southwest Netherlands. *Marine Ecology* **35**:50-55.
- Kamermans, P., E. Brummelhuis, and A. Smaal. 2002. Use of spat collectors to enhance supply of seed for bottom culture of blue mussels (*Mytilus edulis*) in the Netherlands. *World Aquaculture* **33**:12-15.
- Kramer, L., F. J. Los, T. Troost, and P. Boderie. 2015. 3D model van het Volkerak-Zoommeer voor waterkwaliteit primaire productie en graas. Deltares 1220070, Deltares, Delft.
- Los, F. J. 2009. Eco-hydrodynamic modelling of primary production in coastal waters and lakes using BLOOM. Wageningen University / Deltares, Wageningen.
- Maris, T., A. Bruens, L. A. Van Duren, J. Vroom, H. Holzhauer, M. De Jonge, S. Van Damme, A. J. Nolte, C. Kuijper, M. Taal, M. C. J. L. Jeuken, J. C. Kromkamp, B. K. Van Wesenbeeck, G. van Ryckegem, E. Van den Bergh, S. Wijnhoven, and P. Meire. 2015. Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium, Update 2014. Deltares 1209394, Deltares + Universiteit Antwerpen, Delft.
- Mazur-Marzec, H., A. Krezel, J. Kobos, and M. Pliński. 2006. Toxic *Nodularia spumigena* blooms in the coastal waters of the Gulf of Gdańsk: A ten-year survey. *Oceanologia* **48**:255-273.
- Mazur-Marzec, H., L. Zeglińska, and M. Pliński. 2005. The effect of salinity on the growth, toxin production, and morphology of *Nodularia spumigena* isolated from the Gulf of Gdańsk, southern Baltic Sea. *Journal of Applied Phycology* **17**:171-179.
- Meijers, E. M., S. Groot, M. Haasnoot, B. K. van Wesenbeeck, and I. Vries. 2008. Waterkwaliteit en ecotopen in een zout Volkerak-Zoommeer: planstudie Volkerak-Zoommeer. Q4448, Deltares, Delft.
- Peperzak, L., H. Bouma, A. J. J. Sandee, and H. Peletier. 2002. Jaarrapport MONISNEL 2001. RIKZ/2002.045, RIKZ, Middelburg.
- Provincie\_Noord-Brabant. 2014. Natura 2000 Beheerplan Markiezaat.
- Reinders, J. and L. A. Van Duren. 2013. Benthic habitat classification in the Westerschelde; Optimal descriptors and splitting values for hydrodynamics. Deltares, Delft.
- Smaal, A. C., T. Schellekens, M. R. van Stralen, and J. C. Kromkamp. 2013. Decrease of the carrying capacity of the Oosterschelde estuary (SW Delta, NL) for bivalve filter feeders due to overgrazing? *Aquaculture* **404-405**:28-34.
- Soulsby, P. G., D. Lowthion, and M. Houston. 1982. Effects of macroalgal mats on the ecology of intertidal mudflats. *Marine Pollution Bulletin* **13**:162-166.
- STOWA. 2012. Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water 2015-2021. 2012-31, STOWA, Amersfoort.
- Strazisar, T., M. S. Koch, C. J. Madden, J. Filina, P. U. Lara, and A. Mattair. 2013. Salinity effects on *Ruppia maritima* L. seed germination and seedling survival at the Everglades-Florida Bay ecotone. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **445**:129-139.
- Troost, K. 2010. Causes and effects of a highly successful marine invasion: Case-study of the introduced Pacific oyster *Crassostrea gigas* in continental NW European estuaries. *Journal of Sea Research* **64**:145-165.

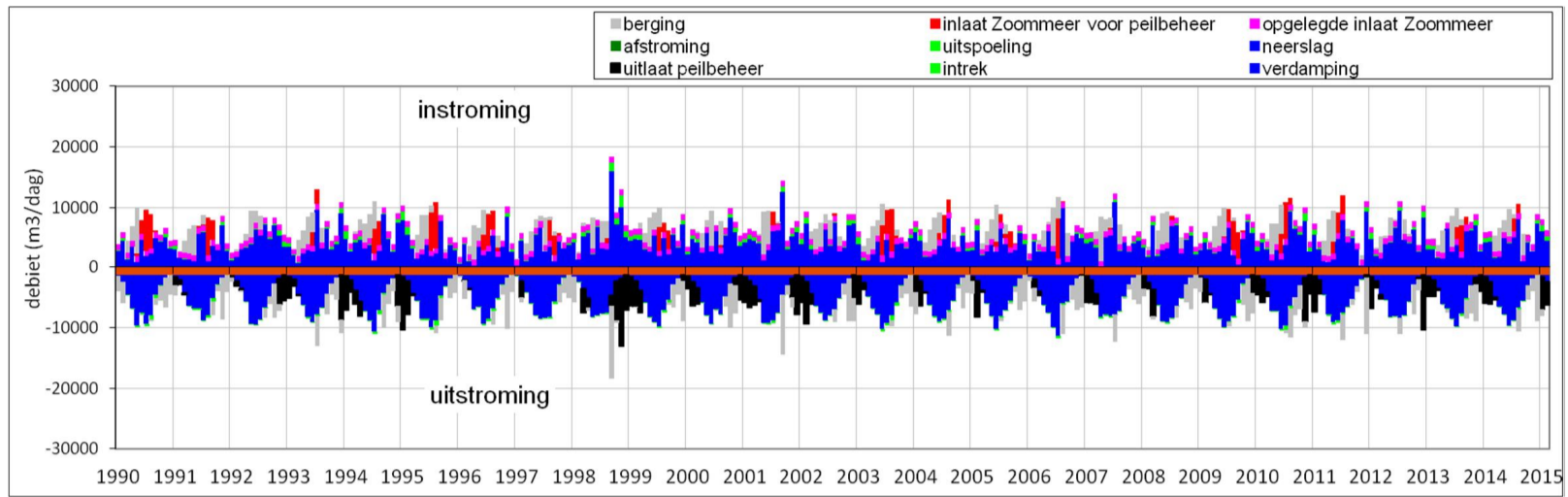


- Van Beusekom, J. E. E., C. Buschbaum, M. Loebel, P. Martens, and K. Reise. 2010. Long-term ecological change in the northern wadden sea. Pages 145-153 Long-Term Ecological Research: Between Theory and Application. Springer Netherlands.
- Van Braeckel, A., B. Vandevorde en E. Van den Bergh. 2008. Schorecotopen van de Schelde; Aanzet tot de ontwikkeling van één schorecotopenstelsel voor Vlaanderen en Nederland. INBO.R.2008.29, Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel.
- Van der Wal, D., J. Van Dalen, A. Wielemaker-van den Dool, J. T. Dijkstra, and T. Ysebaert. 2014. Biophysical control of intertidal benthic macroalgae revealed by high-frequency multispectral camera images. *Journal of Sea Research* **90**:111-120.
- van der Werff, J., J. Reinders, and A. van Rooijen. 2013. Evaluatie Galgeplaat proefsuppletie 2008-2012. 1206994-000, Deltares, Delft.
- Van Duren, L. A. 2006. Onderkend of overdreven? Een inventarisatie van schade veroorzaakt door plaagalggen in het Nederlandse kustwater. RIKZ/2006.021, RIKZ, Middelburg.
- van Duren, L. A. 2014. Eelgrass restoration in the Dutch Wadden Sea. Results 2014. 1203892-000-ZKS-0044, Deltares, Delft.
- Van Duren, L. A. and J. Reinders. 2013. Draagkrachtmodellering Vogels - Verslag LTV-N en ANT-OS workshop, 12 juni 2013. 1207720-000-ZKS-0014, Deltares, Delft.
- Van Duren, L. A. and M. M. Van Katwijk. 2013. Eelgrass restoration in the Dutch Wadden Sea, Results 2013. 1203892-000-ZKS-0040, Deltares, Delft.
- van Katwijk, M. M., A. R. Bos, V. N. de Jonge, L. S. A. M. Hanssen, D. C. R. Hermus, and D. J. de Jong. 2009. Guidelines for seagrass restoration: Importance of habitat selection and donor population, spreading of risks, and ecosystem engineering effects. *Marine Pollution Bulletin* **58**:179-188.
- van Katwijk, M. M., G. W. Geerling, R. Rašín, R. van 't Veer, A. R. Bos, D. C. R. Hermus, M. van Wieringen, Z. Jager, A. Groeneweg, P. L. A. Erfteimeijer, T. van der Heide, and D. J. de Jong. 2006. Macrophytes in the western Wadden Sea: monitoring, invasion, transplantations dynamics and European policy. Pages 89-98 *in* K. Laurensen, editor. Proceedings of the 11th International Scientific Wadden Sea Symposium. NERI, Esbjerg.
- van Katwijk, M. M., G. H. W. Schmitz, A. P. Gasseling, and P. H. van Avesaath. 1999. Effects of salinity and nutrient load and their interaction on *Zostera marina*. *Marine Ecology-Progress Series* **190**:155-165.
- Verspagen, J. M. H., P. Boers, H. J. Laanbroek, and J. Huisman. 2005. Doorspoelen of opzouten? Bestrijding van blauwalgen in het Volkerak-Zoommeer. Universiteit Amsterdam, Amsterdam.
- von Vaupel-Klein, J. C. and R. E. Weber. 1975. Distribution of eurytemora affinis (copepoda: calanoida) in relation to salinity: Field and laboratory observations. *Netherlands Journal of Sea Research* **9**:297-310.
- Wijsman, J. W. M., M. Dubbeldam, M. J. De Kluijver, E. van Zanten, M. van Stralen, and A. C. Smaal. 2008. Wegvisproef Japanse oesters in de Oosterschelde. Eindrapportage. . Imares rapport C063/08.
- Witteveen+Bos. 2008 Kosten en baten van actief visstandbeheer: achtergronddocument Ex-ante evaluatie KRW. Rapport BHV28-1/meis3/003, Witteveen+Bos, Deventer.
- Witteveen+Bos. 2016a. Watersysteemanalyse Markiezaatsmeer-Binnenschelde. Rapport BR668-21/16-000.135, Witteveen+Bos, Deventer.
- Witteveen+Bos. 2016b. Watersysteemanalyse zoete variant Markiezaatsmeer-Binnenschelde. Rapport BR668-21/16-000.134, Witteveen+Bos, Deventer.
- Ysebaert, T., P. Meire, P. M. J. Herman, and H. Verbeek. 2002. Macrobenthic species response surfaces along estuarine gradients: prediction by logistic regression. *Marine Ecology-Progress Series* **225**:79-95.
- Ysebaert, T. J. and P. Meire. 1999. Macrobenthos of the Schelde estuary: predicting macrobenthic species responses in the estuarine environment. A statistical analysis of the Schelde estuary macrobenthos within the ECOFLAT project. IN/99.19, Institute for nature Conservation.

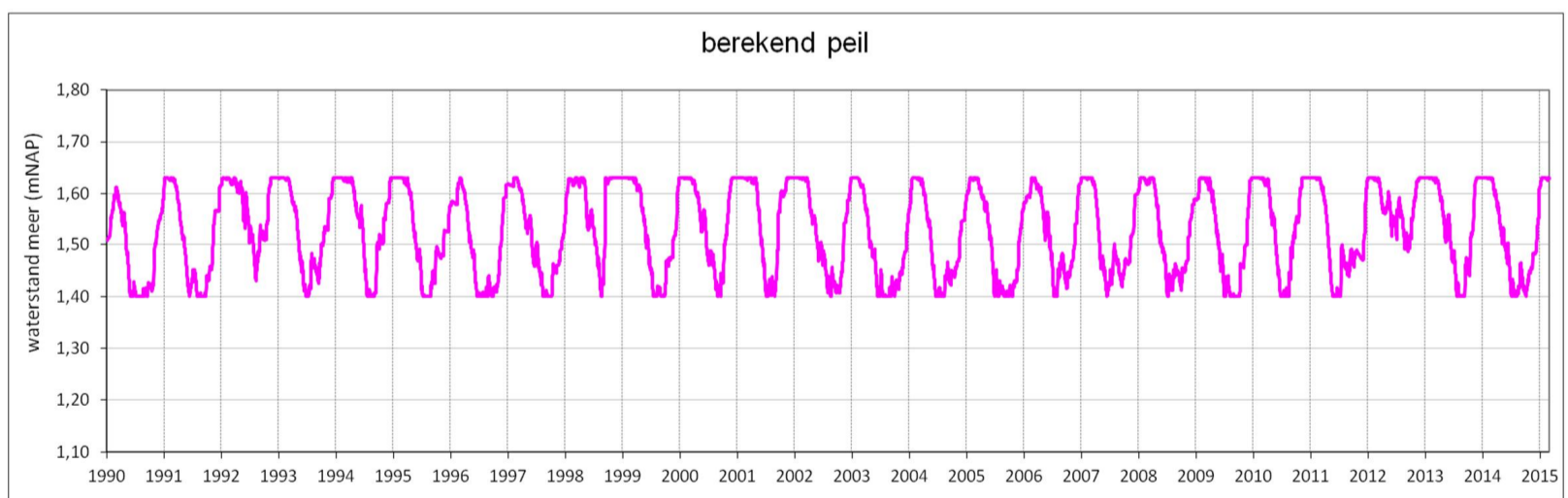
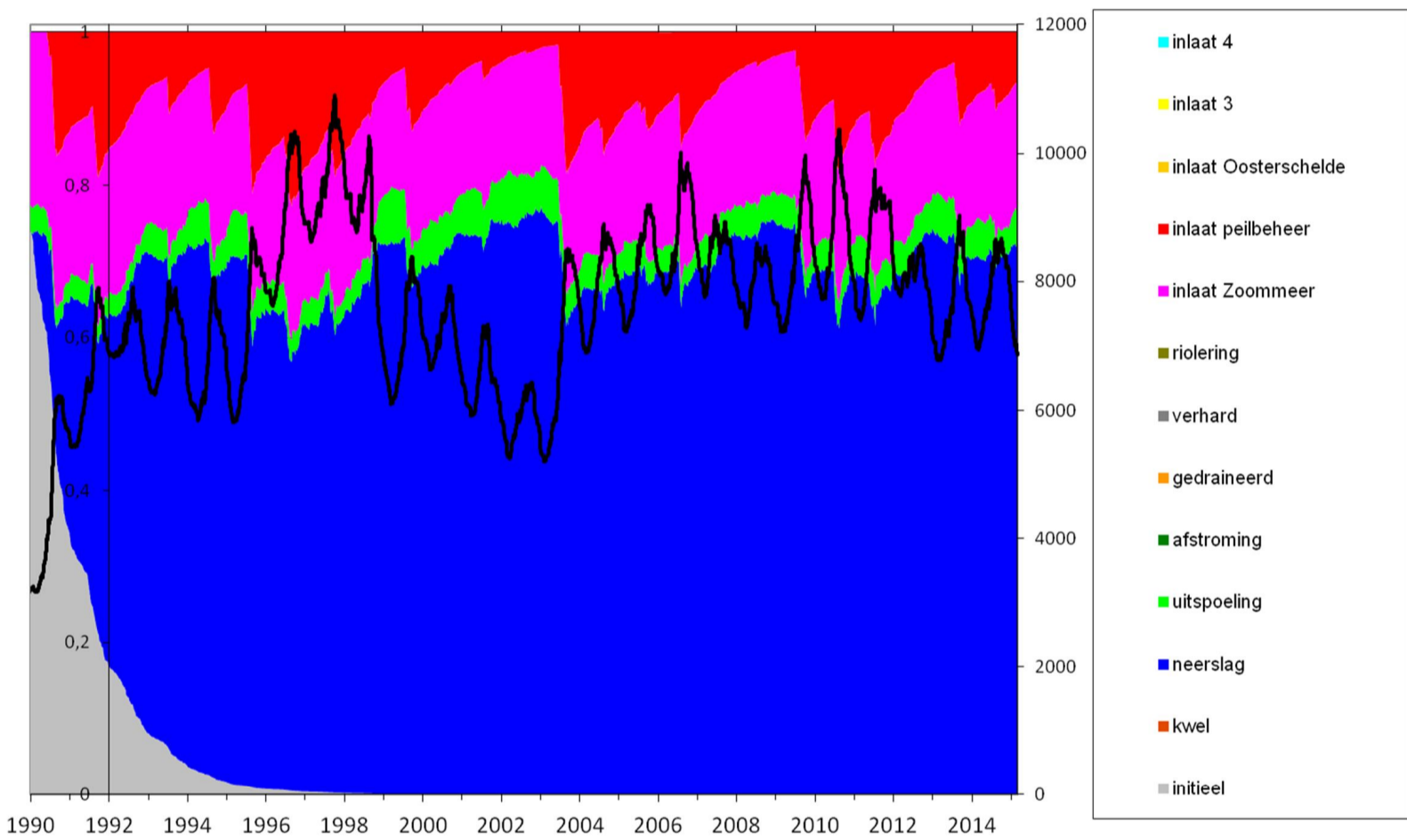
**BIJLAGE I    DETAILFIGUREN**

# Binnenschelde - Inlaat Zoommeer 1.000 m<sup>3</sup>/dag

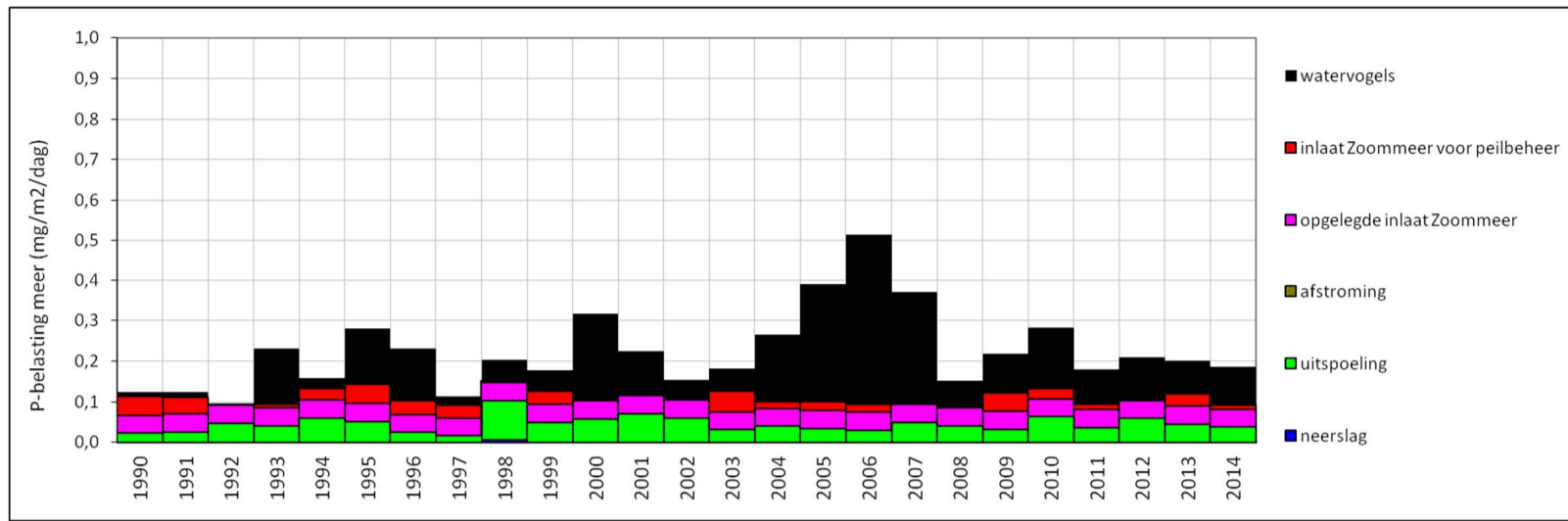
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



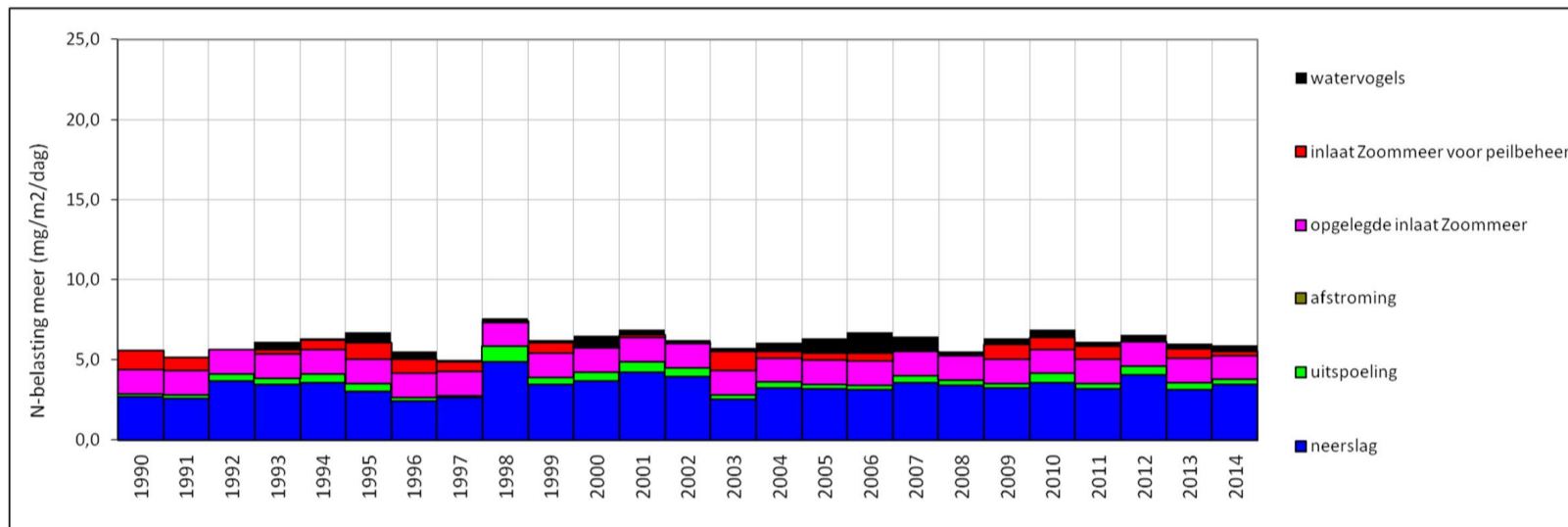
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



### Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

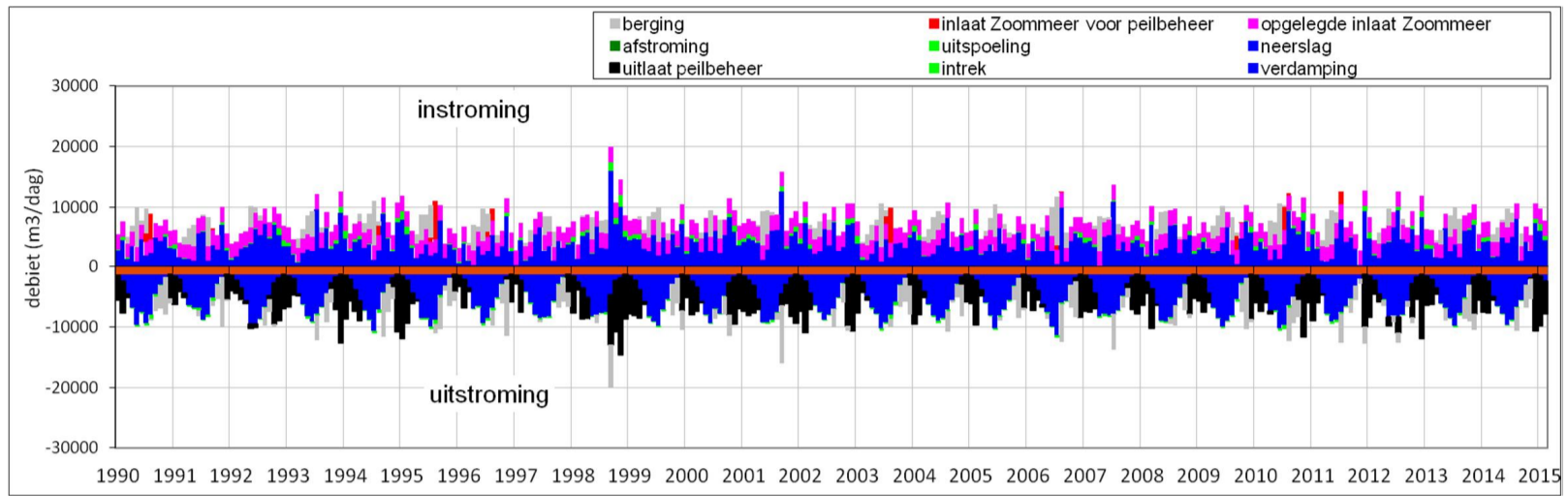


### Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

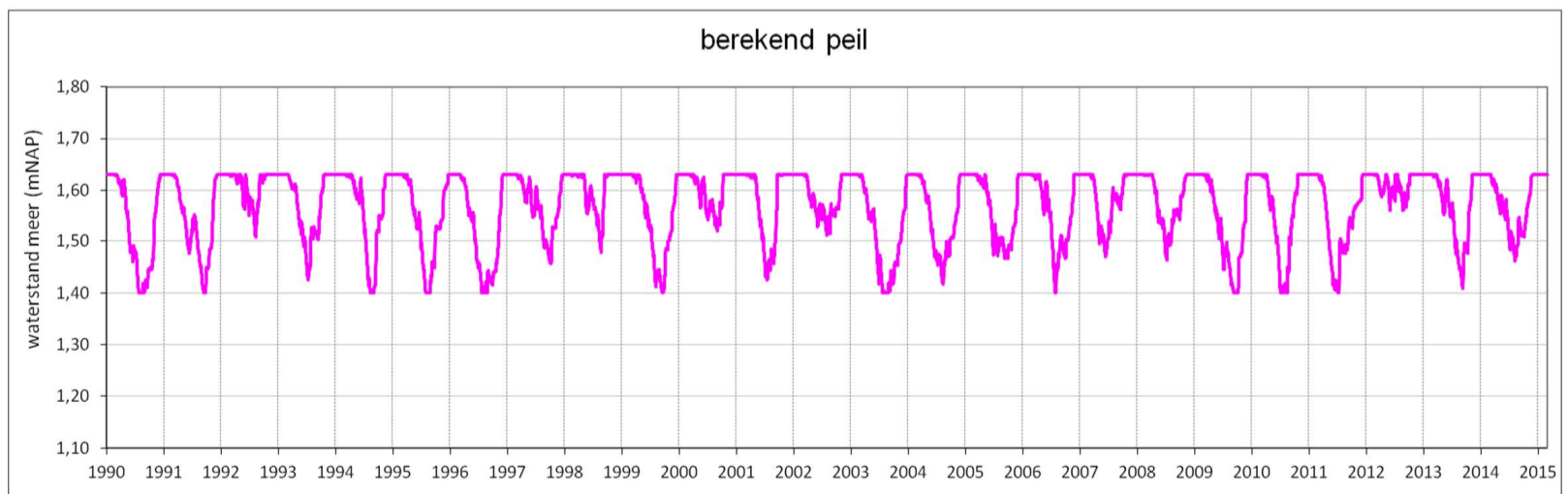
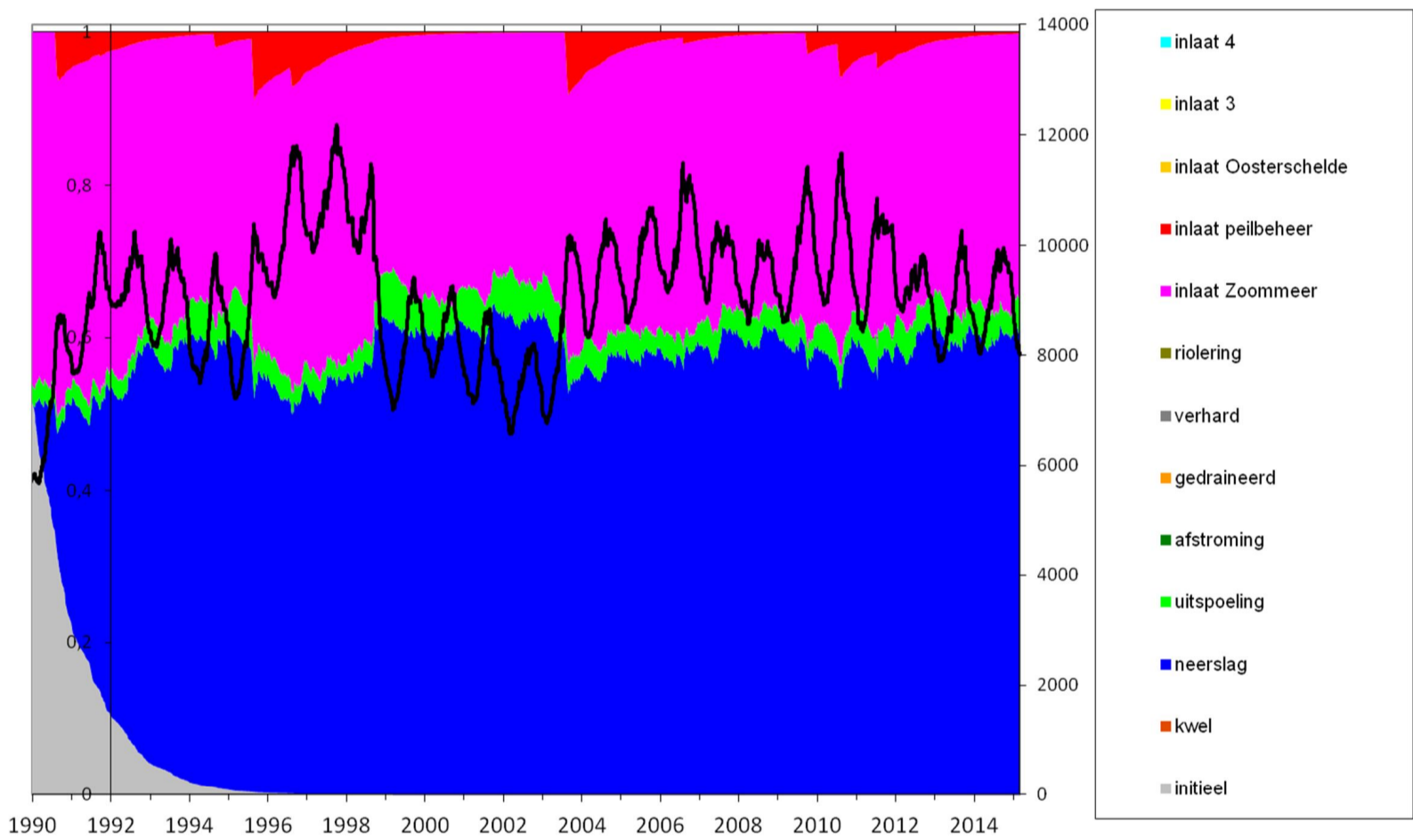


# Binnenschelde - Inlaat Zoommeer 2.500 m<sup>3</sup>/dag

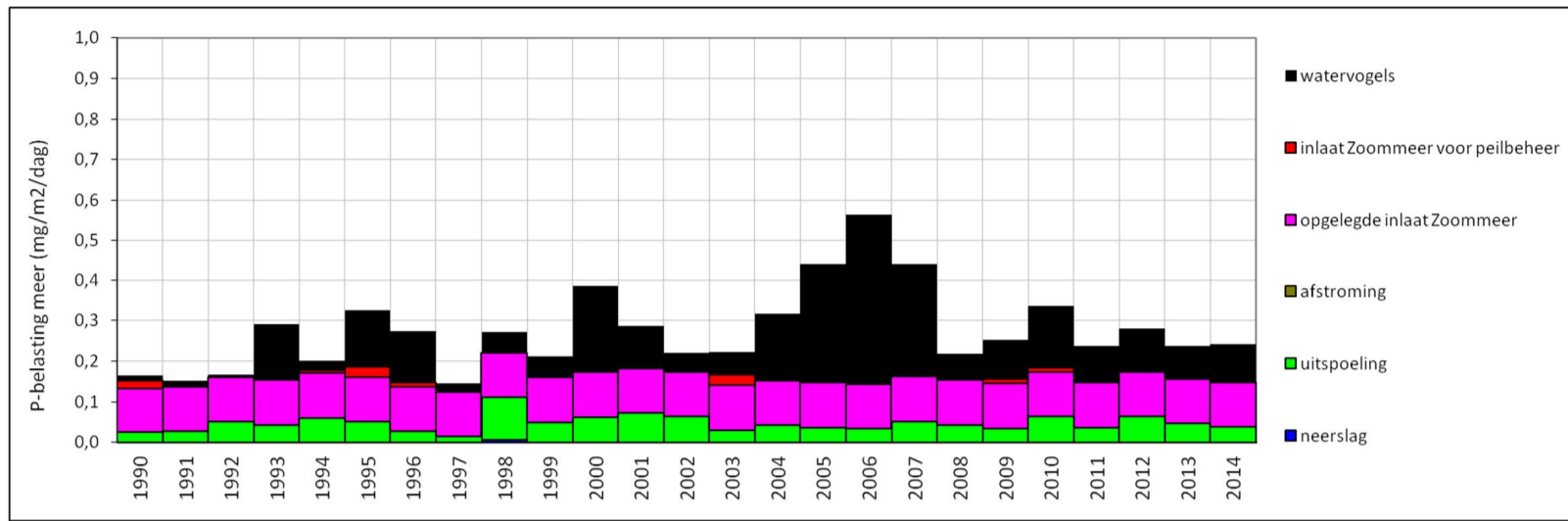
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



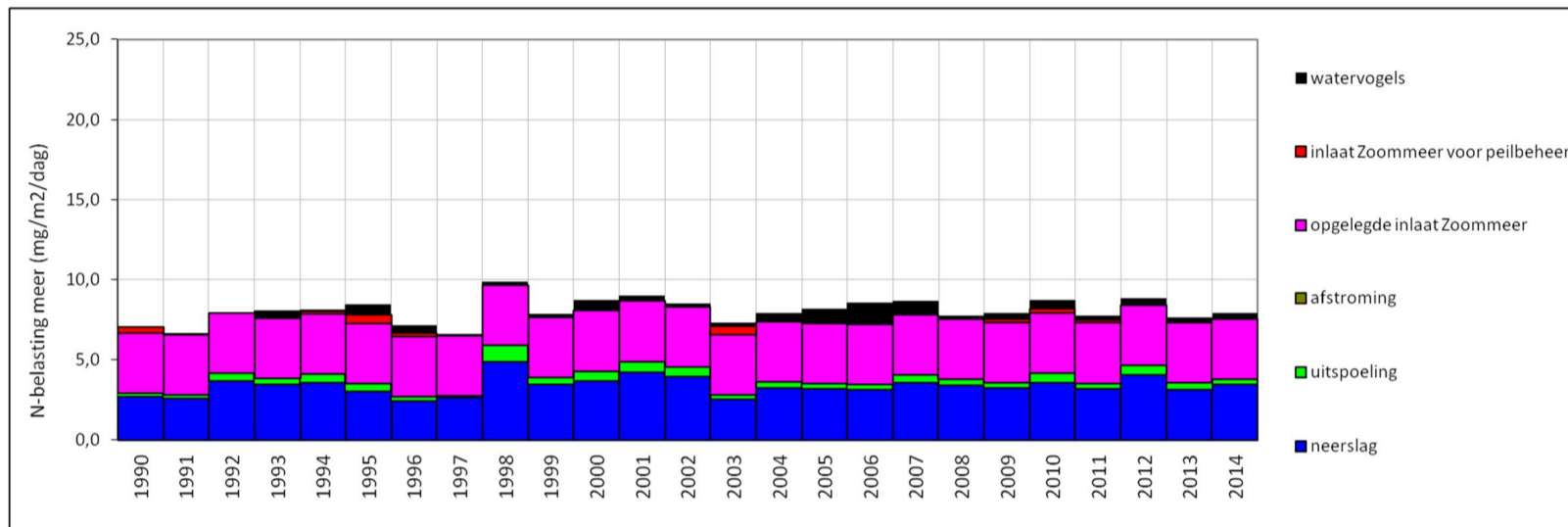
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

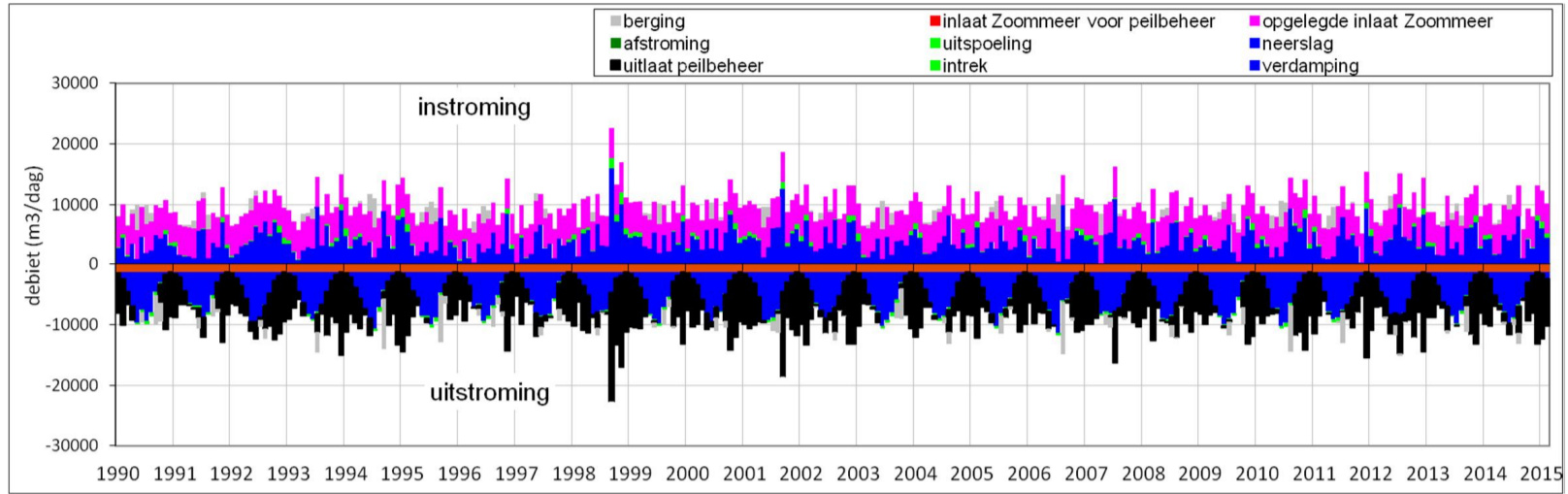


Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

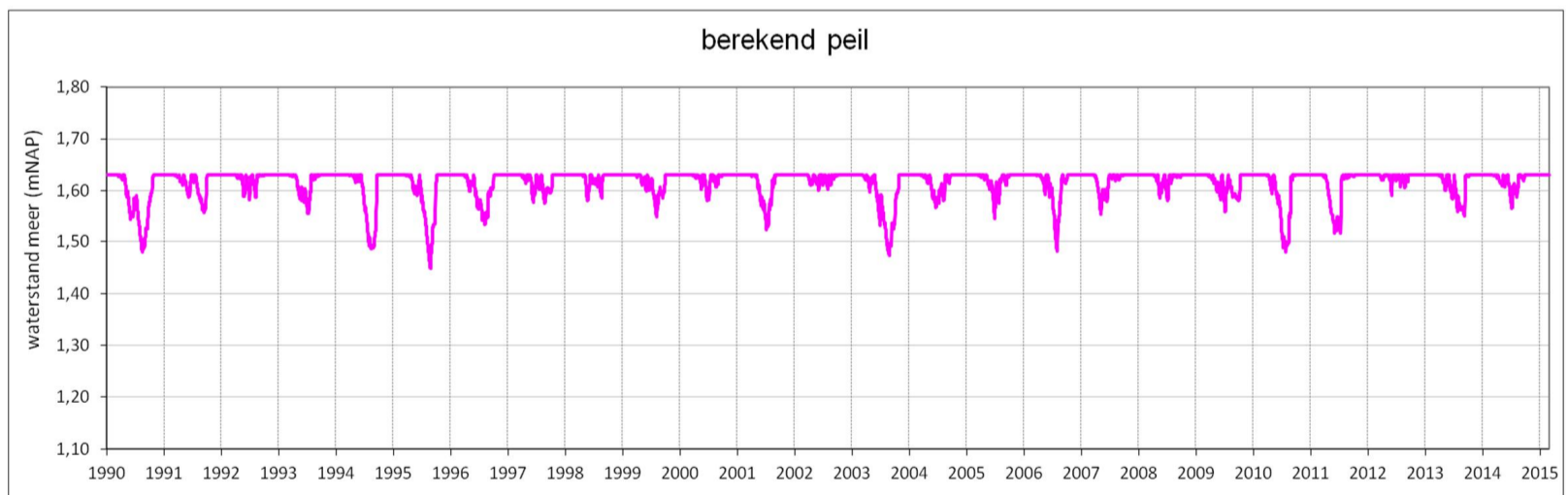
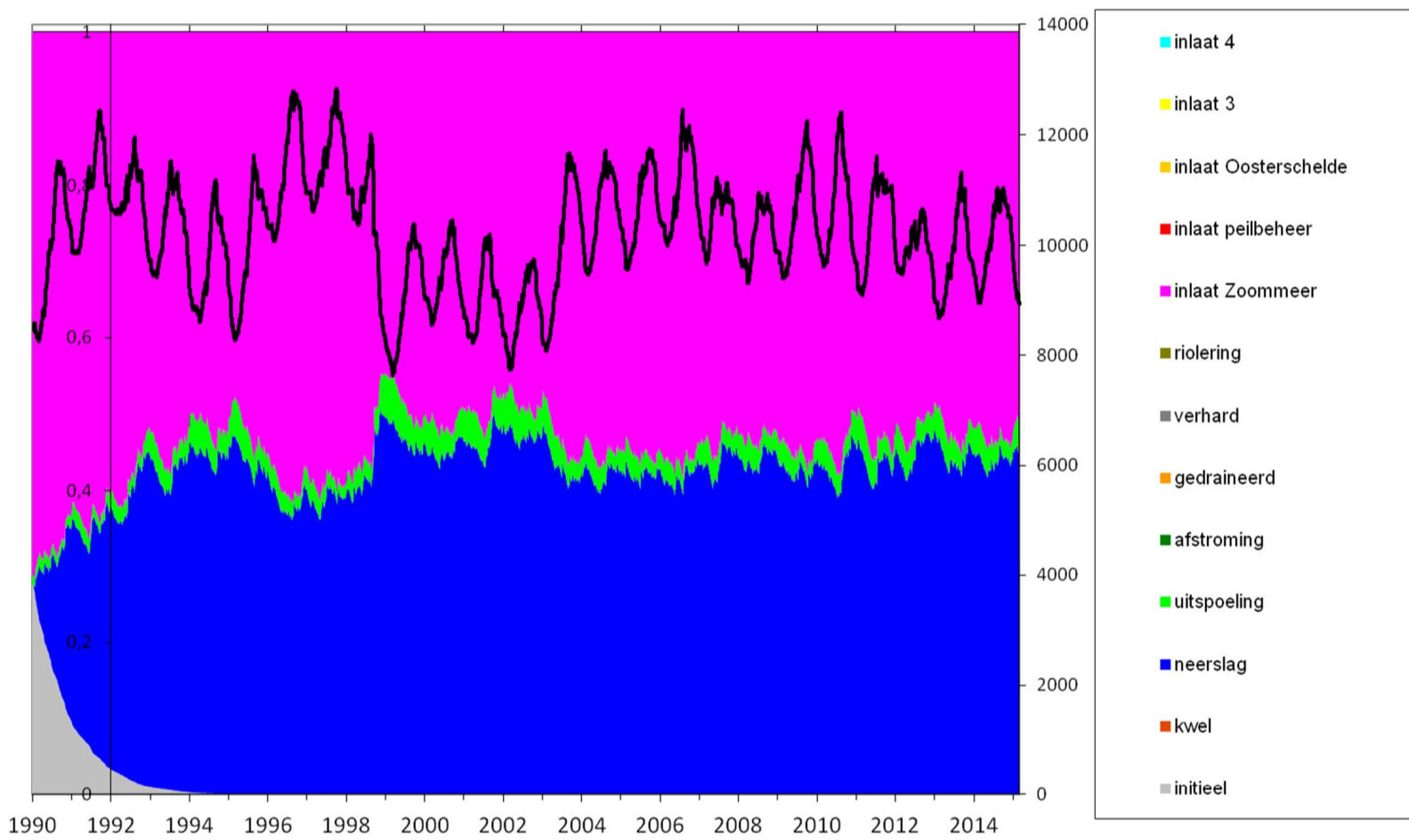


# Binnenschelde - Inlaat Zoommeer 5.000 m<sup>3</sup>/dag

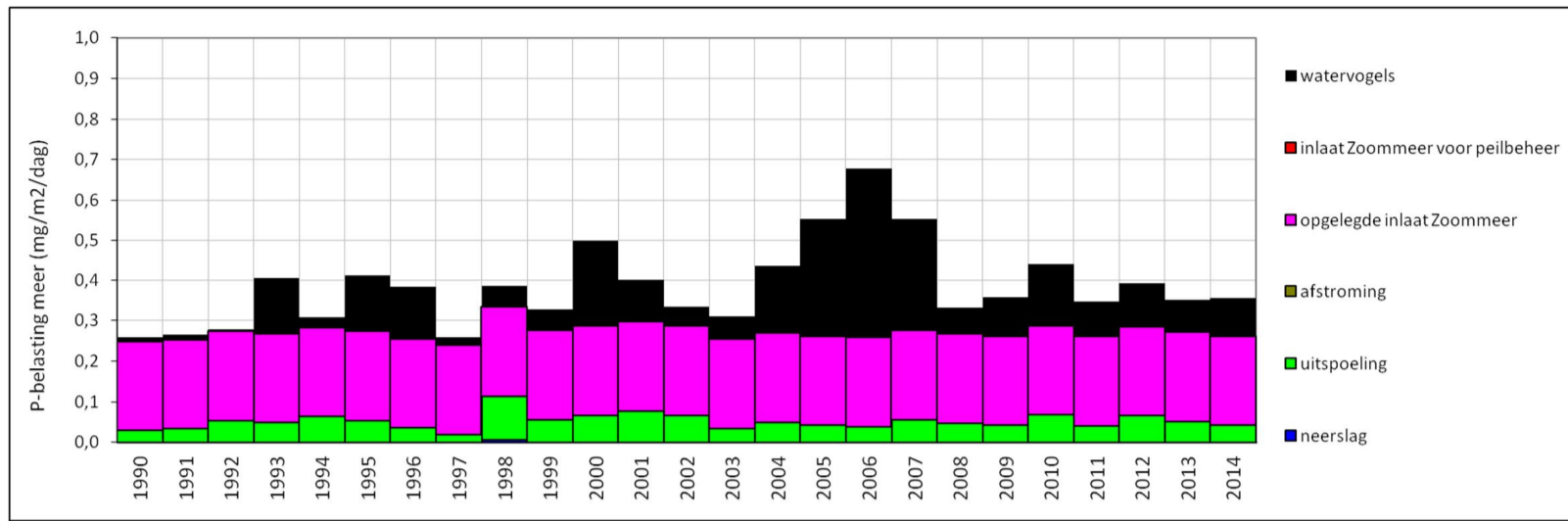
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



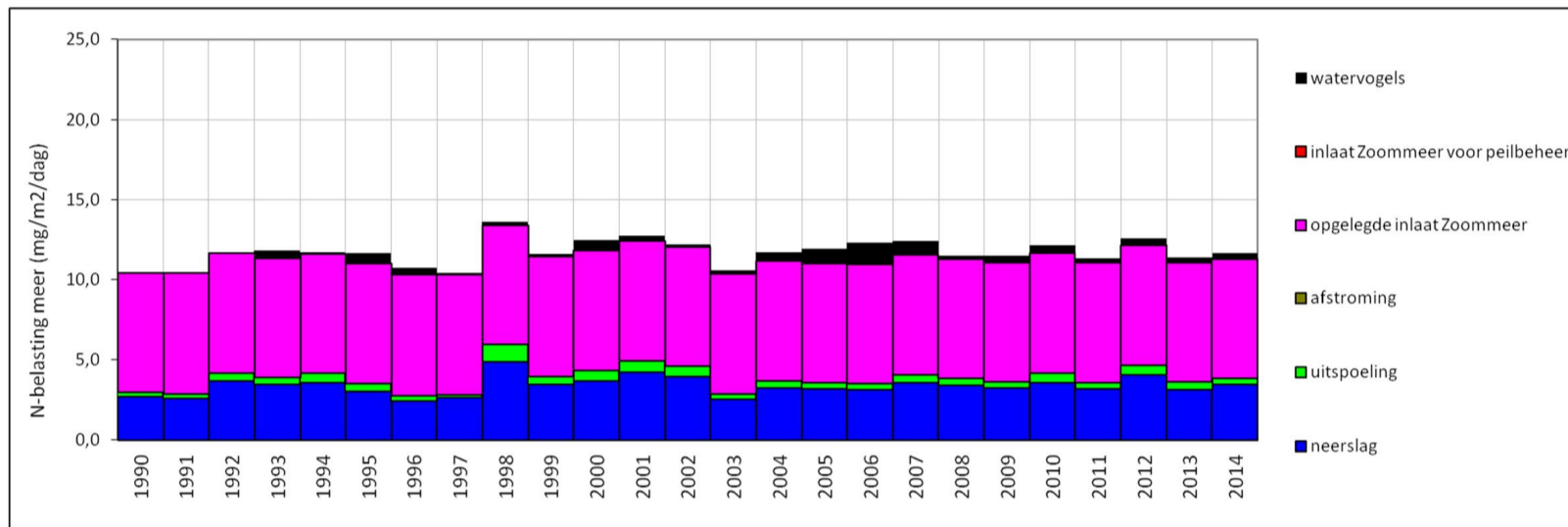
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



### Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):



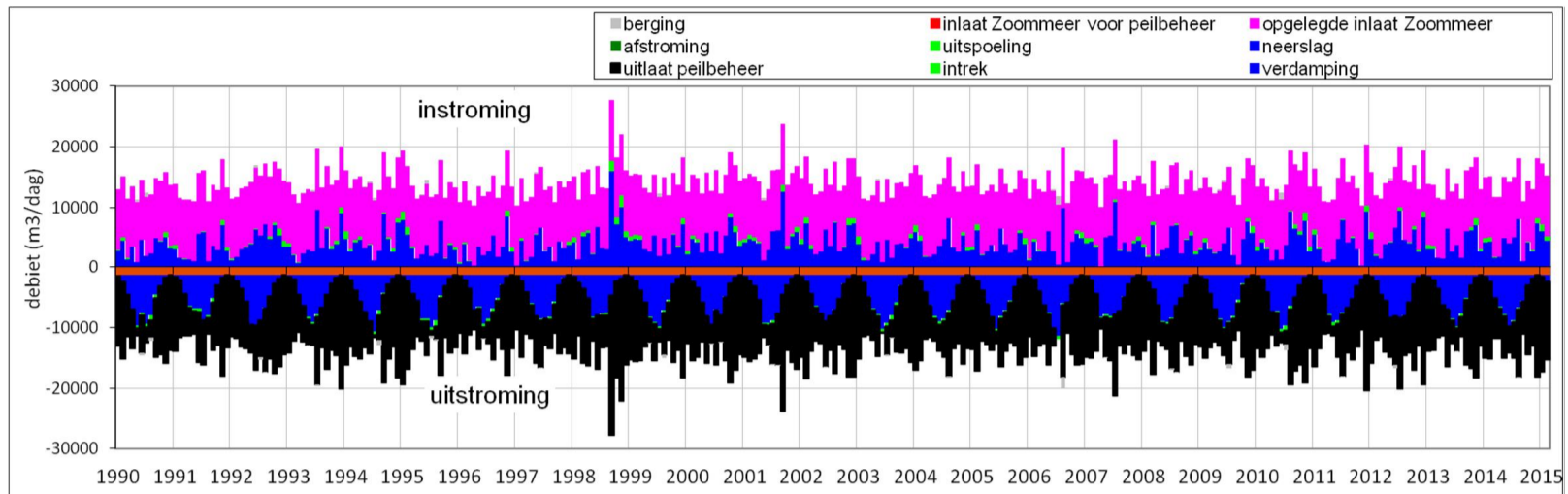
### Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):



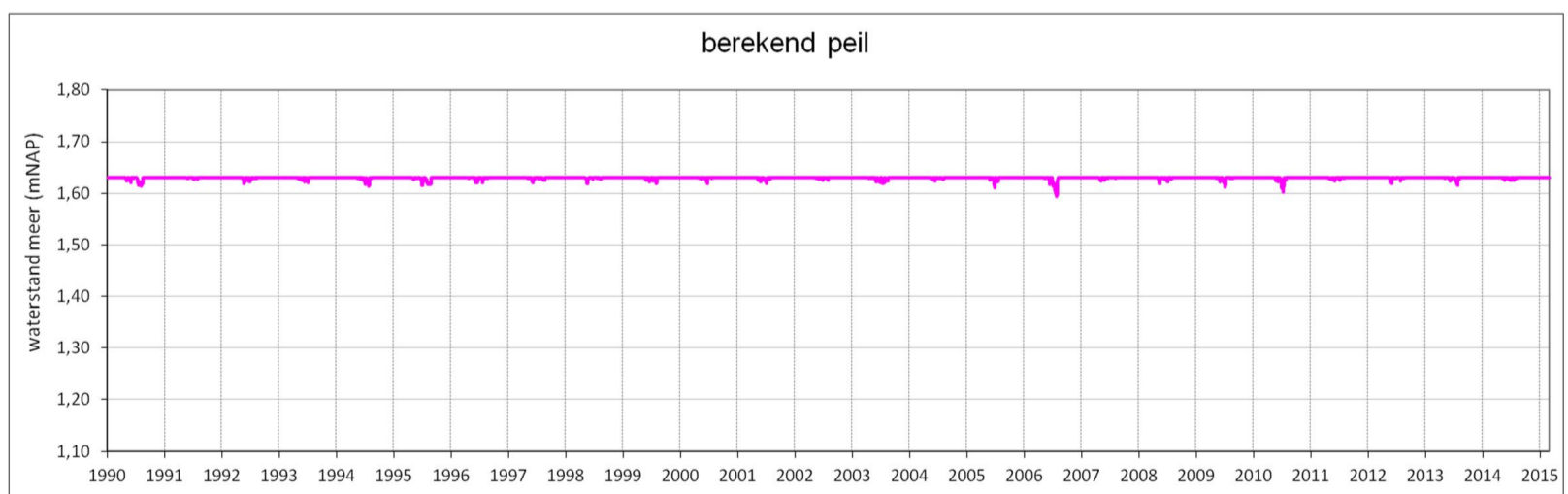
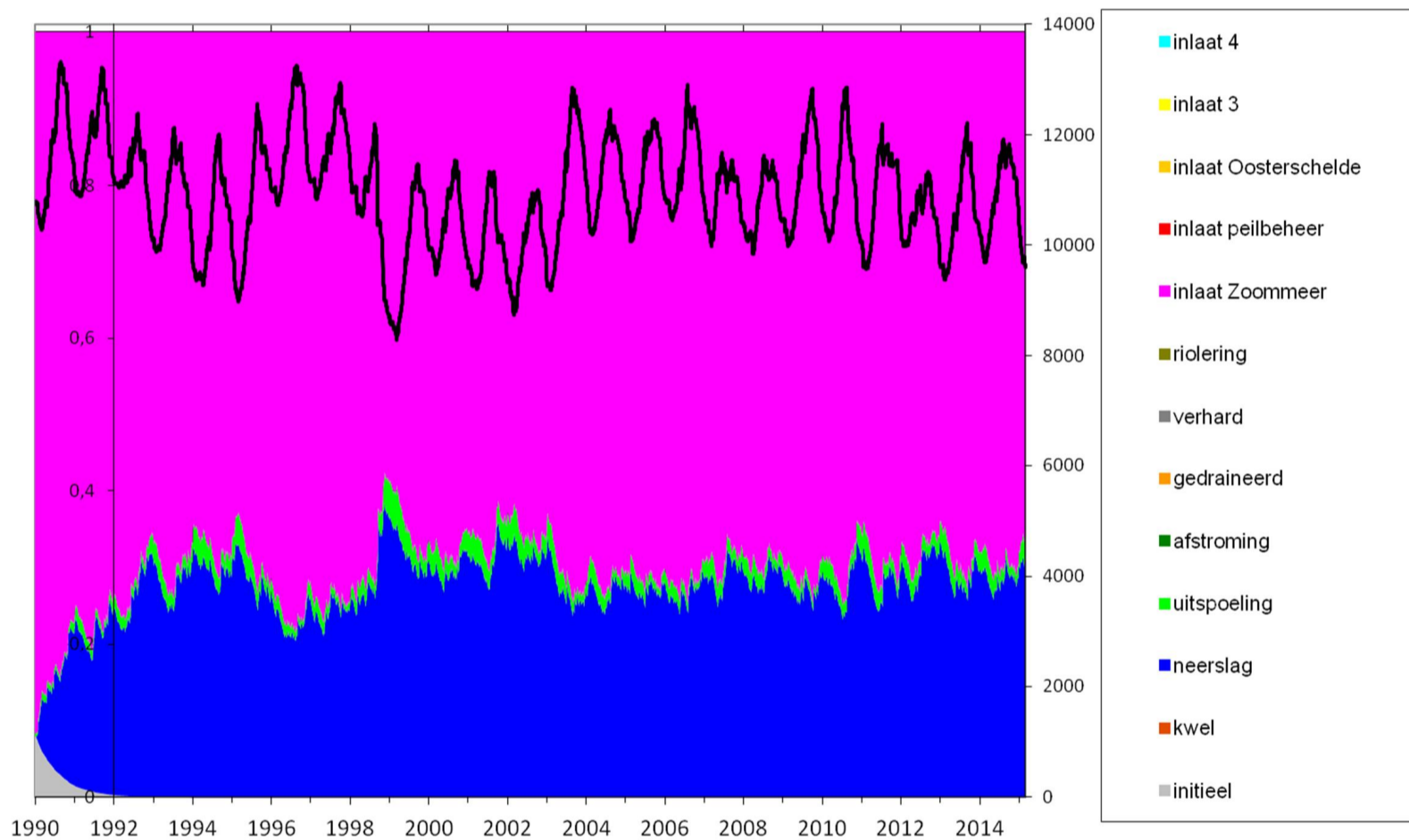


# Binnenschelde - Inlaat Zoommeer 10.000 m<sup>3</sup>/dag

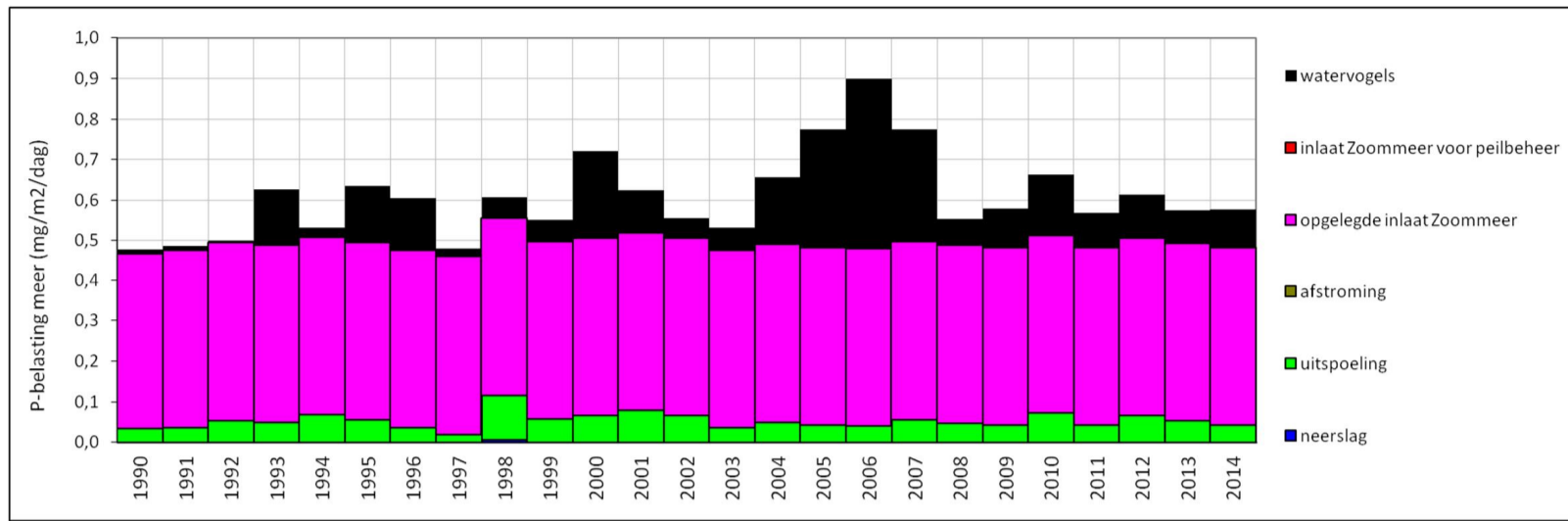
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



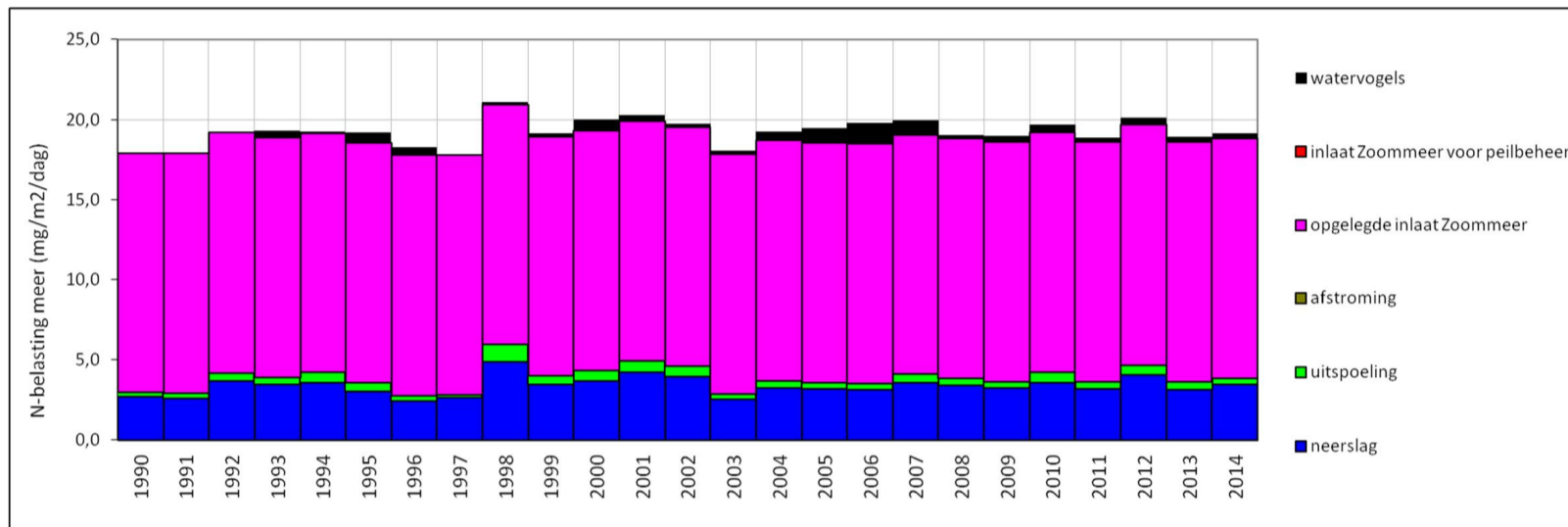
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

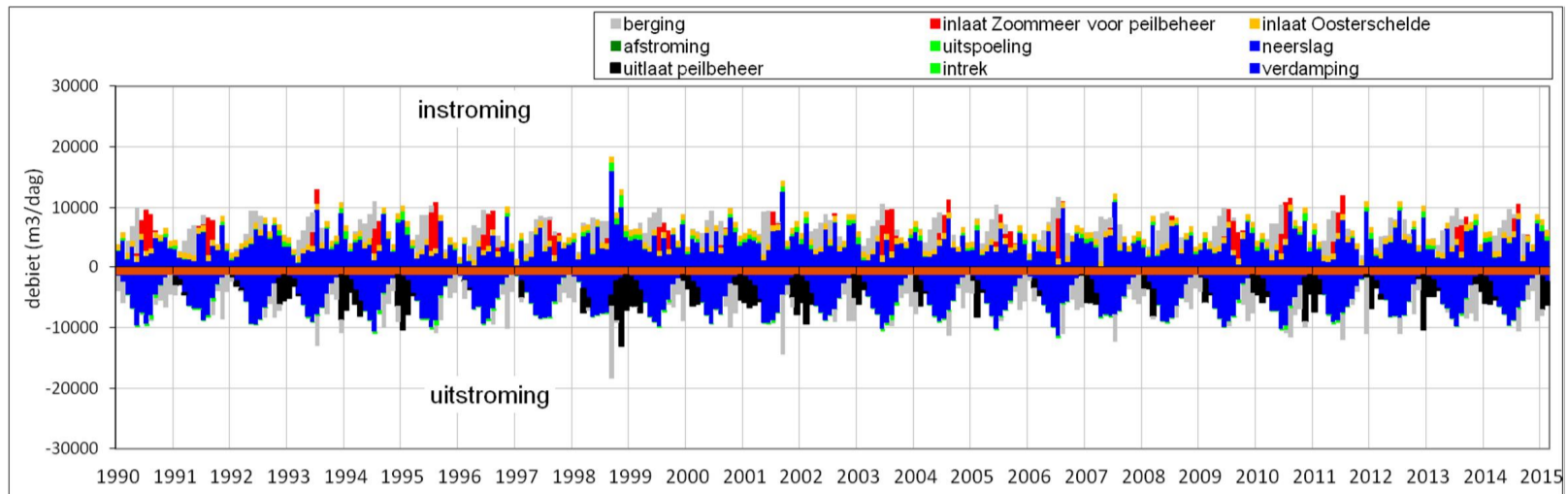


Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

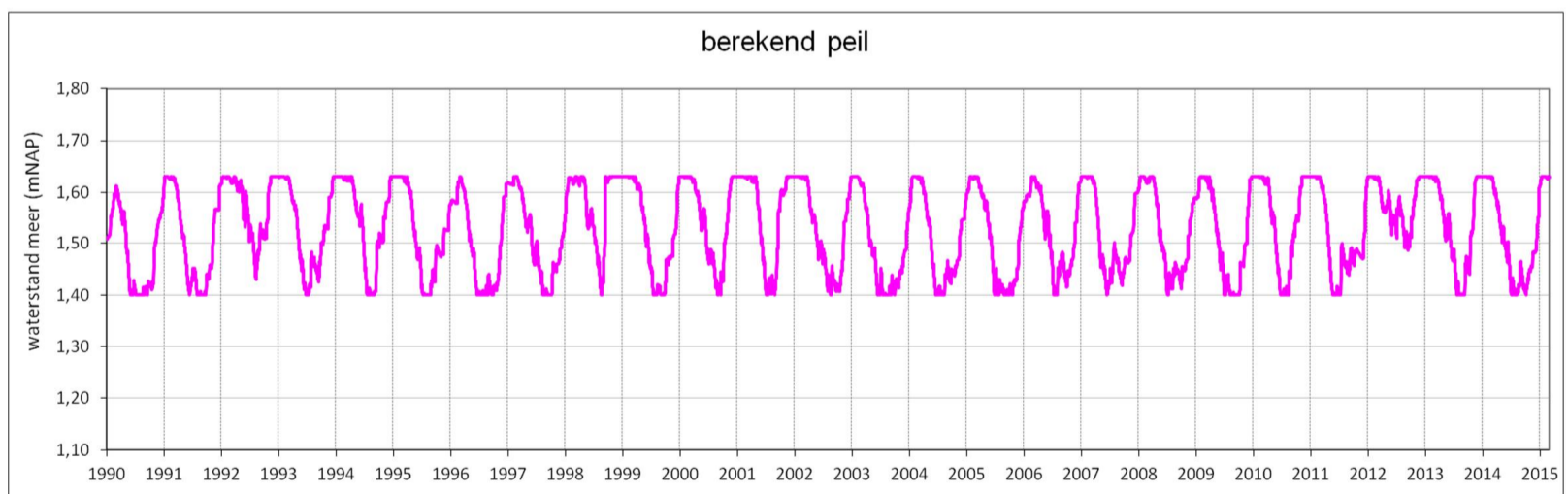
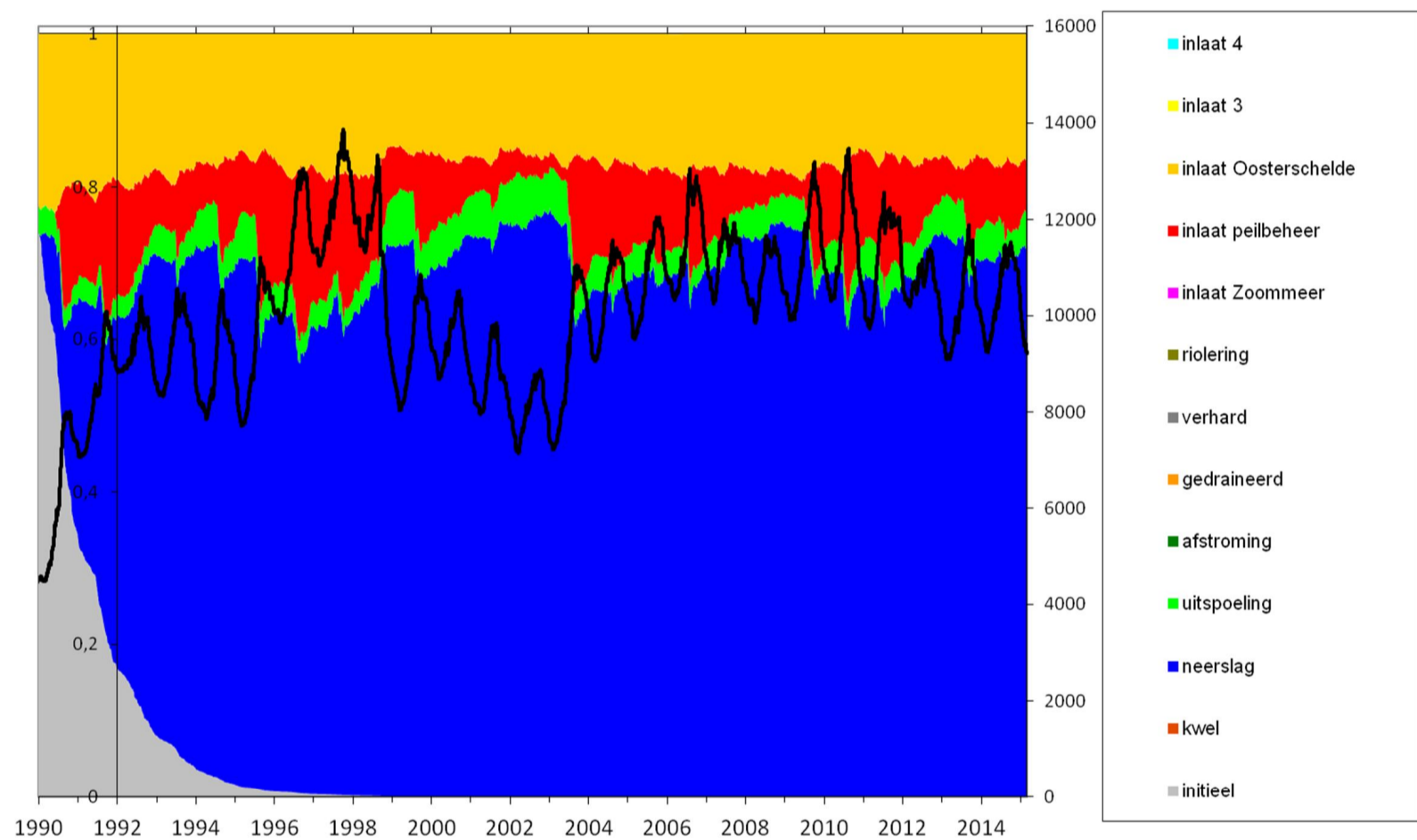


# Binnenschelde - Inlaat Oosterschelde via onderleider 1.000 m<sup>3</sup>/dag

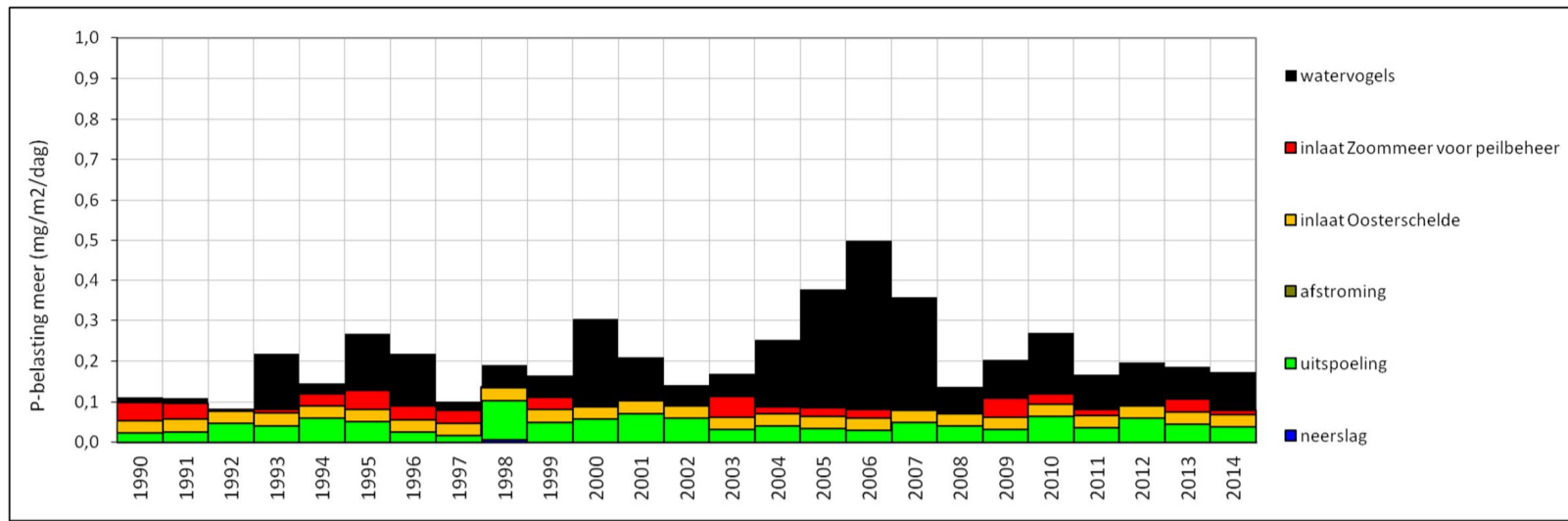
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



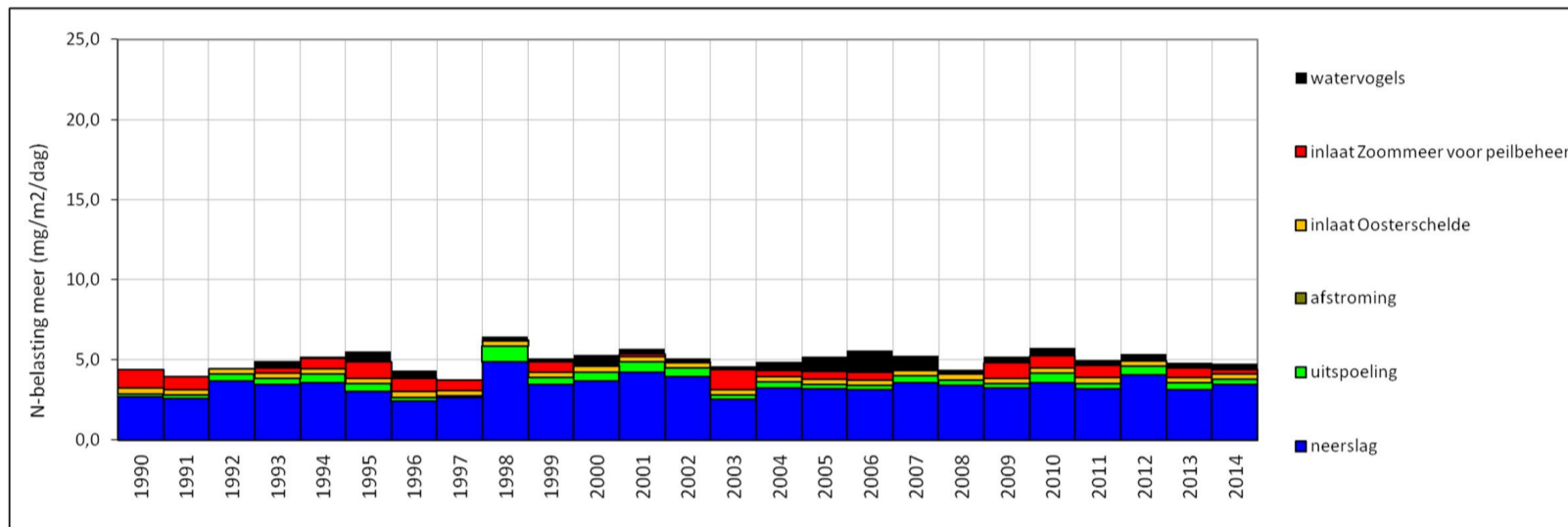
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



### Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

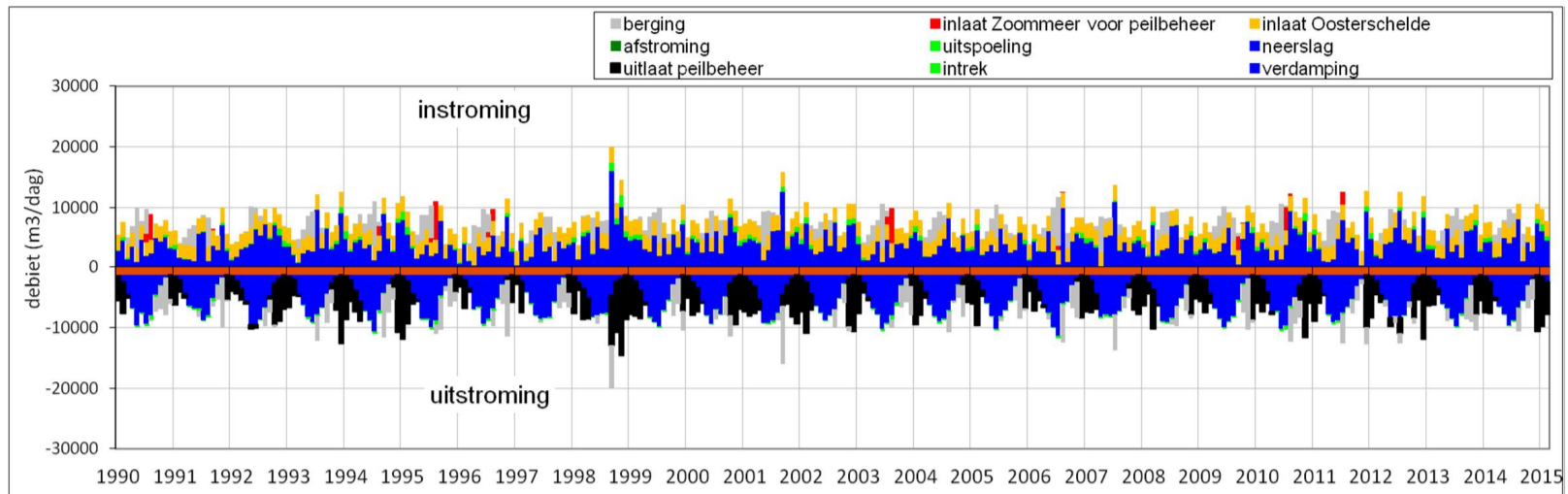


### Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

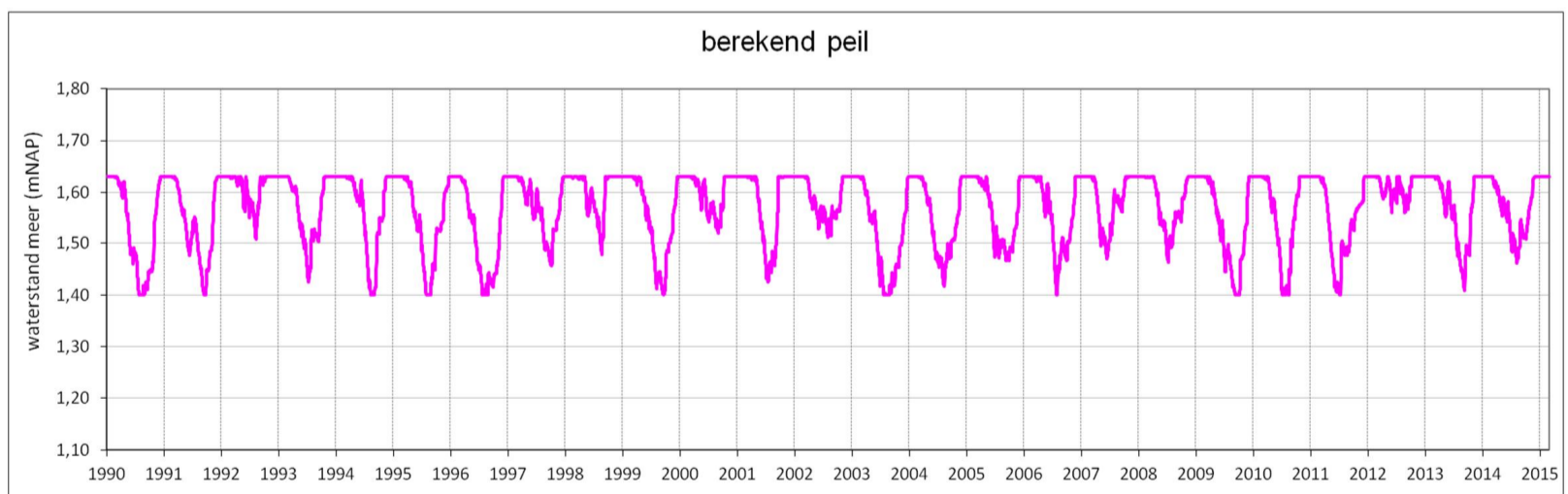
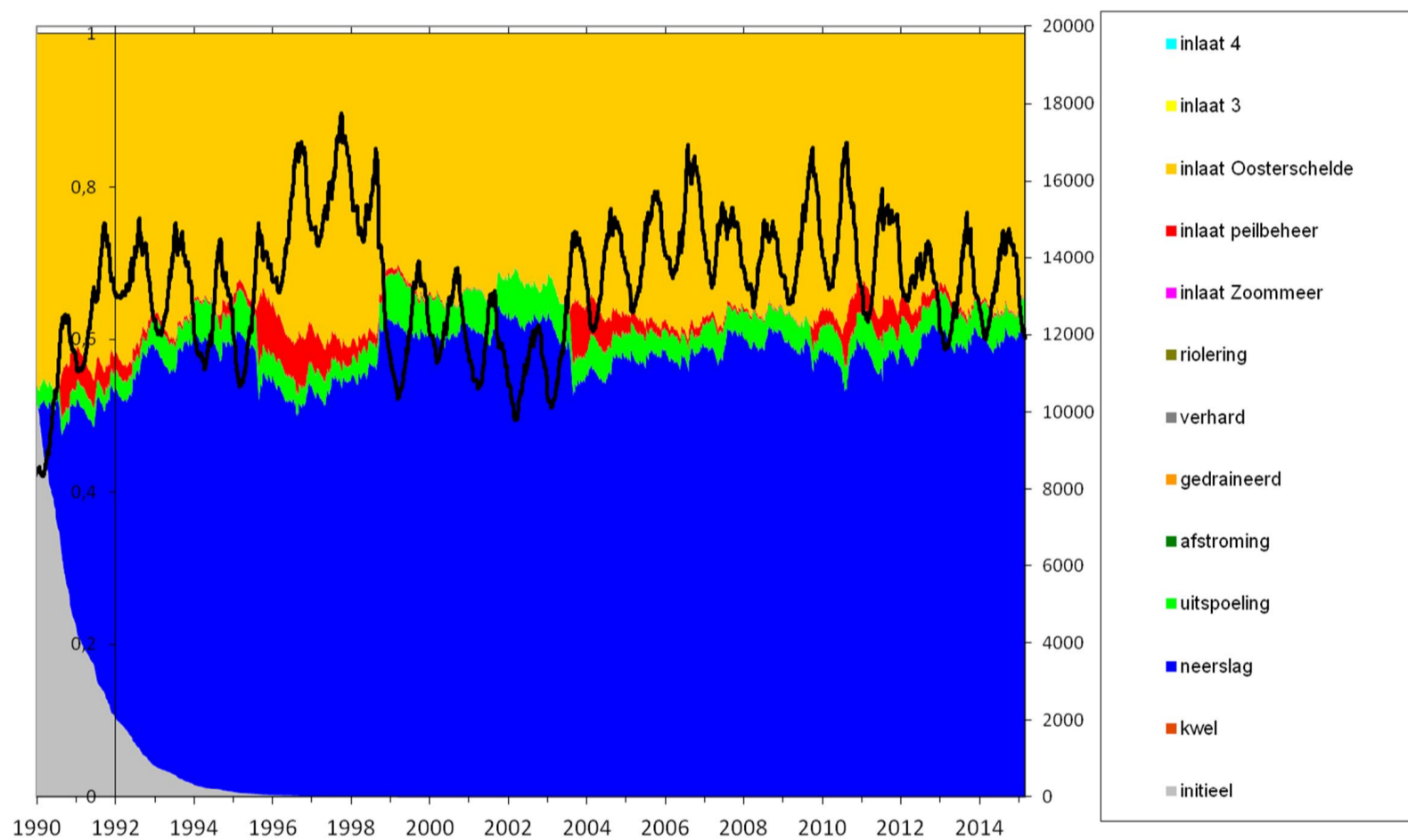


# Binnenschelde - Inlaat Oosterschelde via onderleider 2.500 m<sup>3</sup>/dag

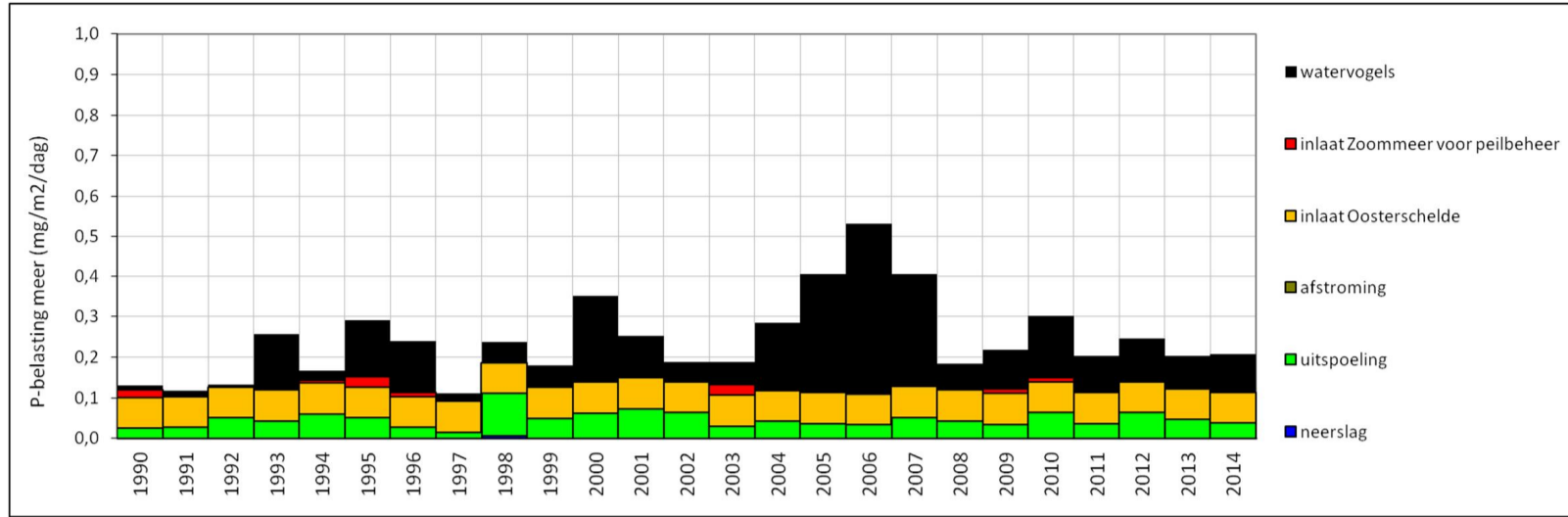
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



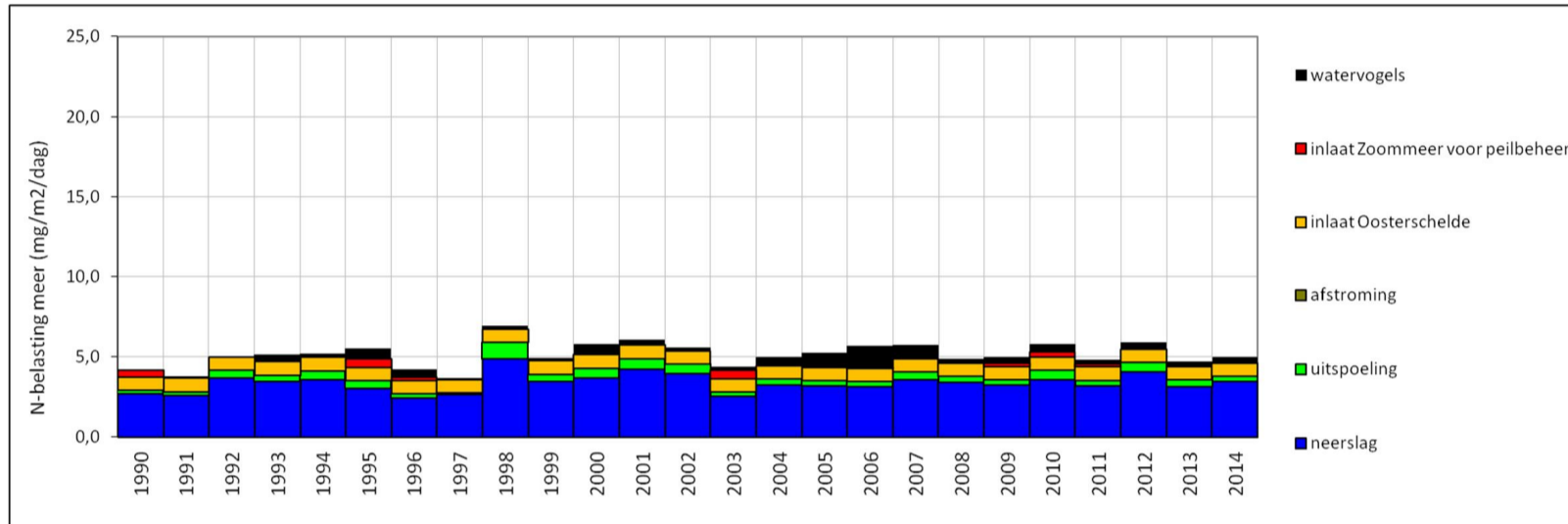
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

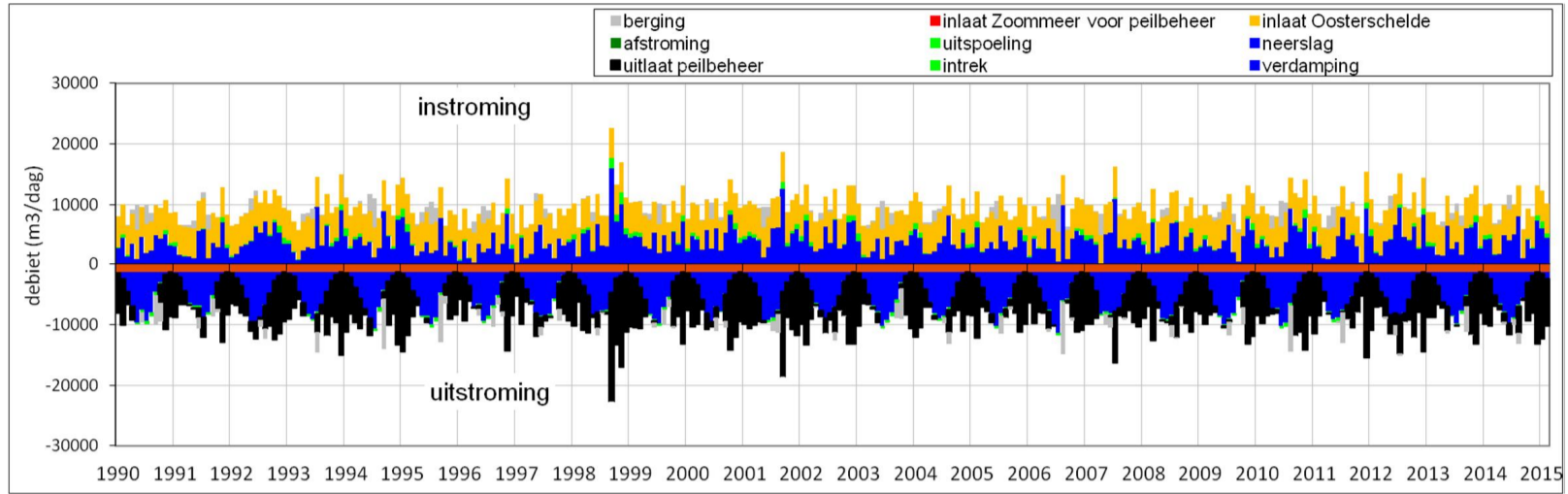


Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

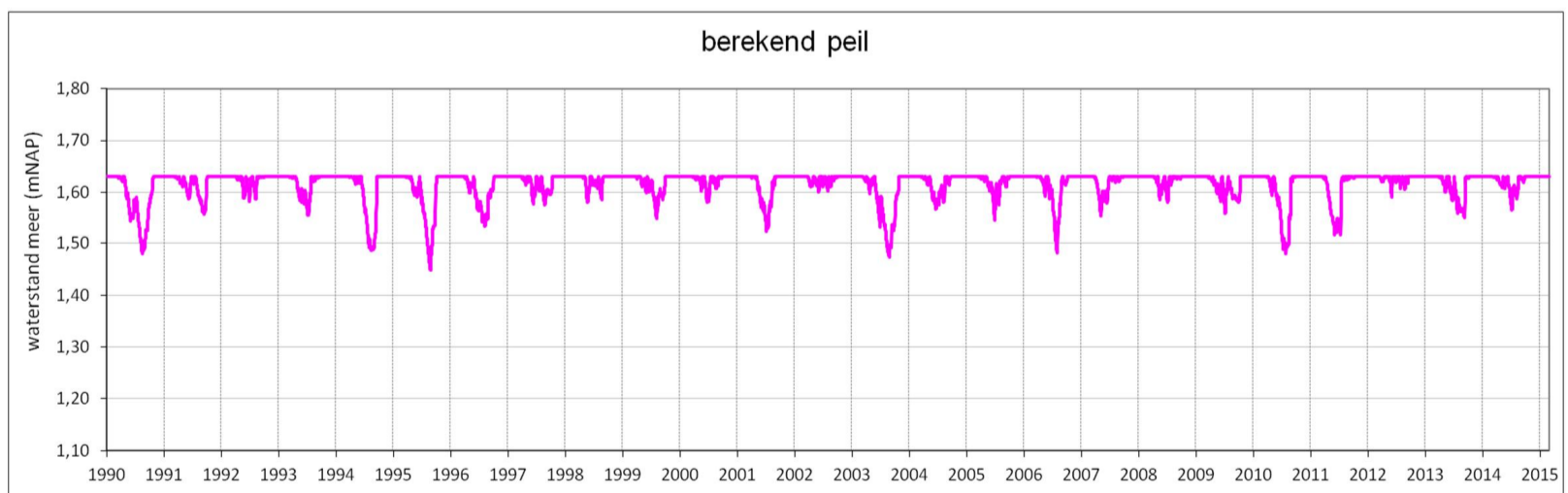
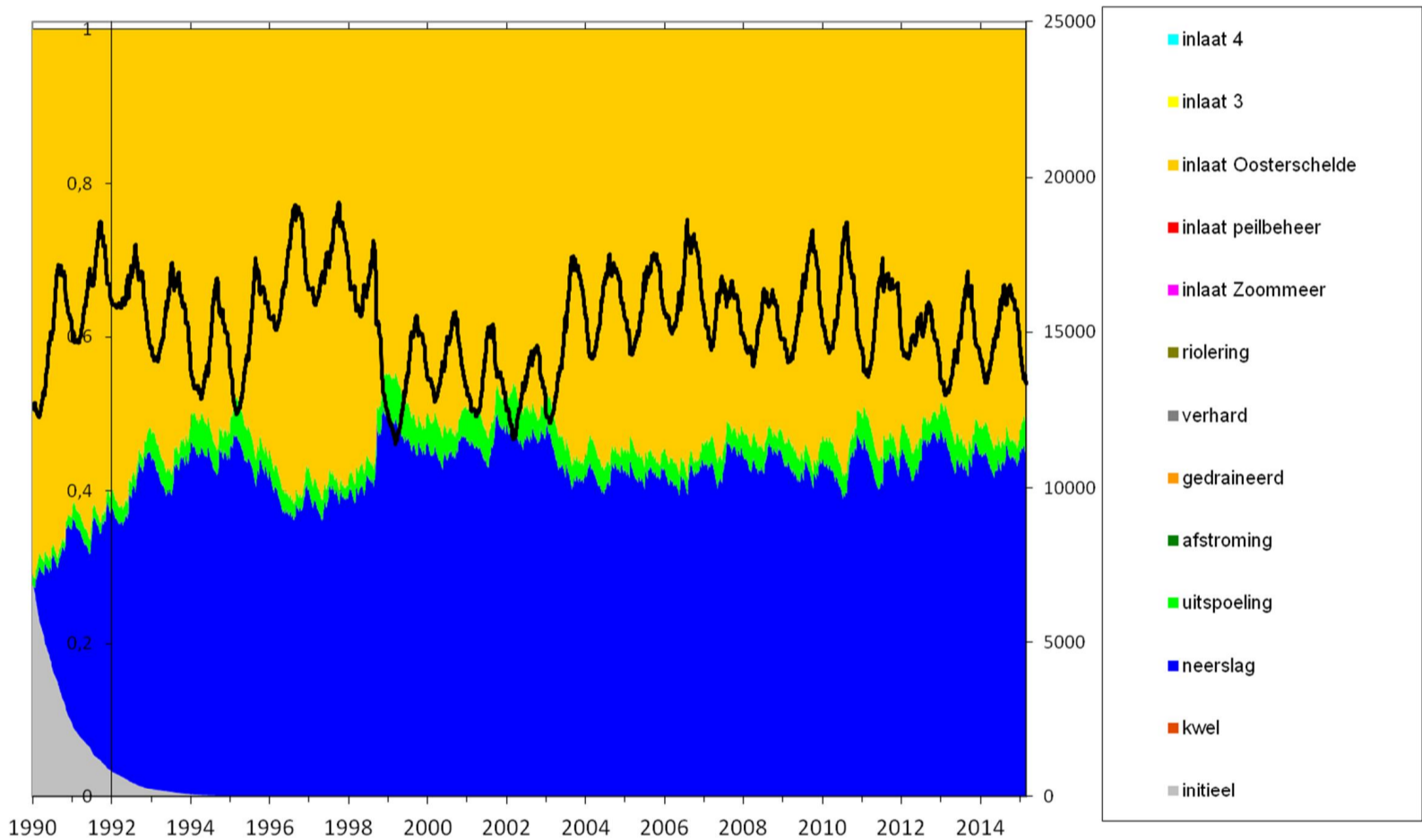


# Binnenschelde - Inlaat Oosterschelde via onderleider 5.000 m<sup>3</sup>/dag

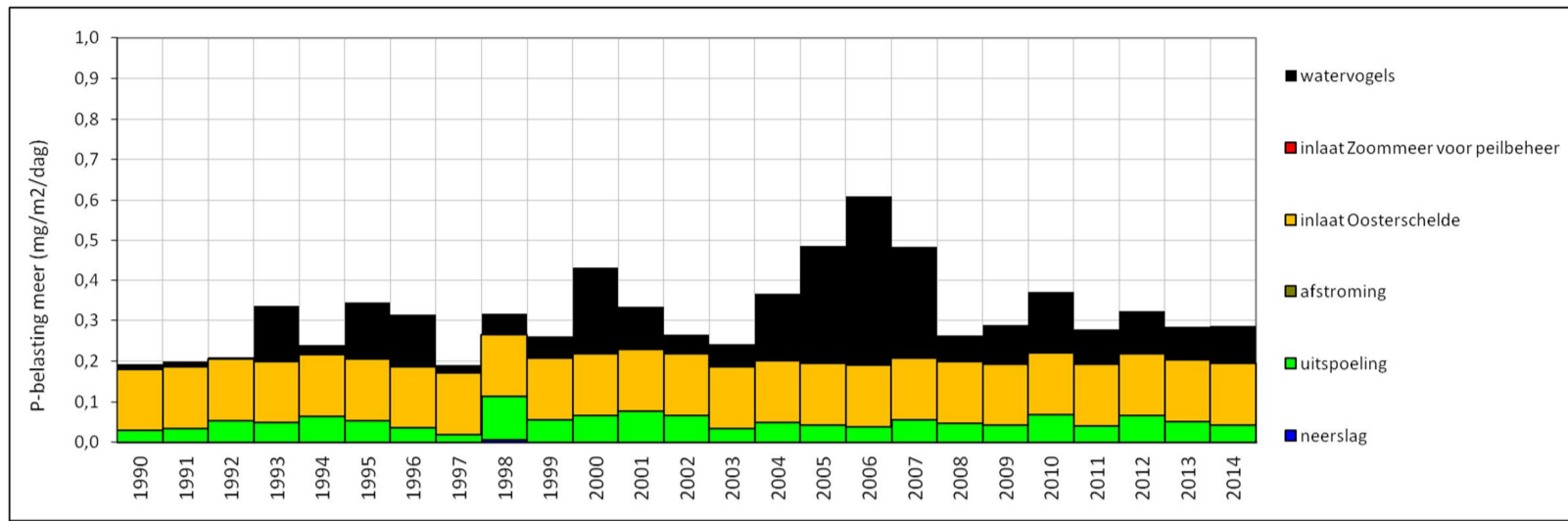
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



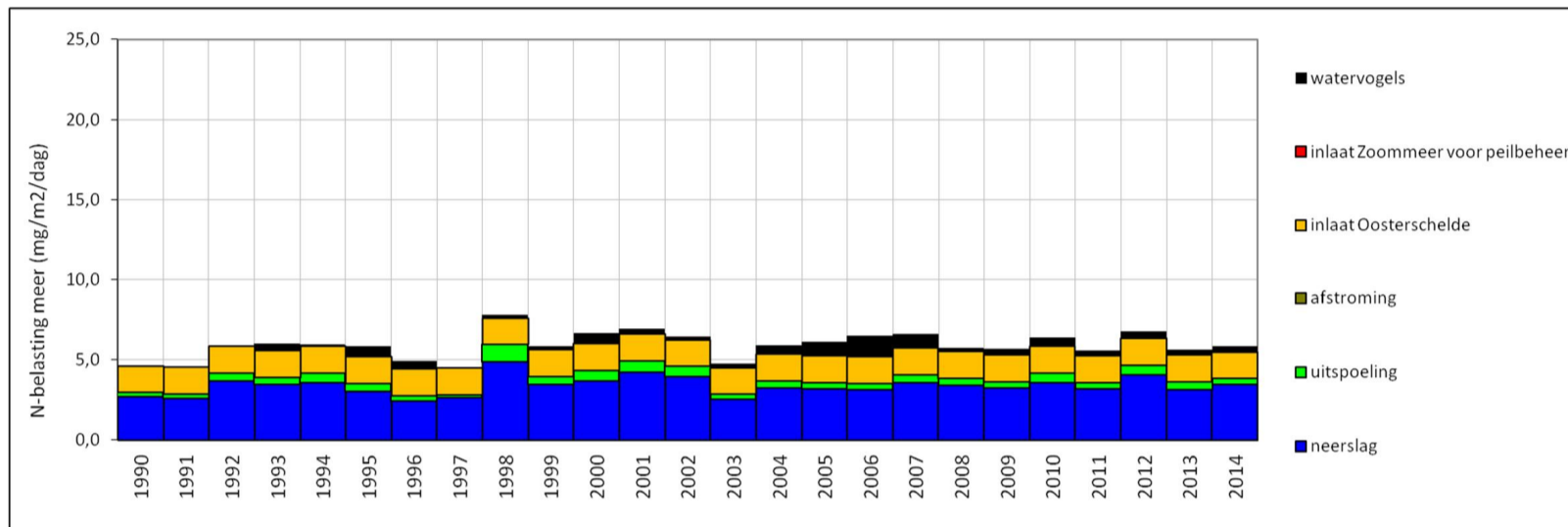
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):



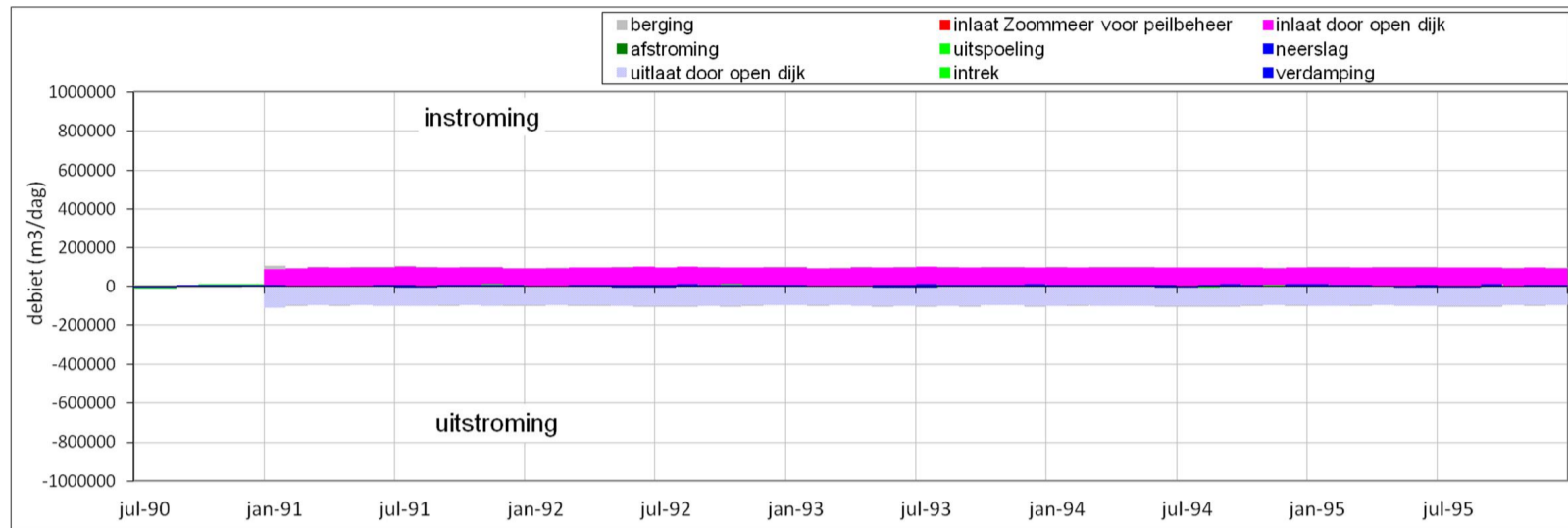
Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):



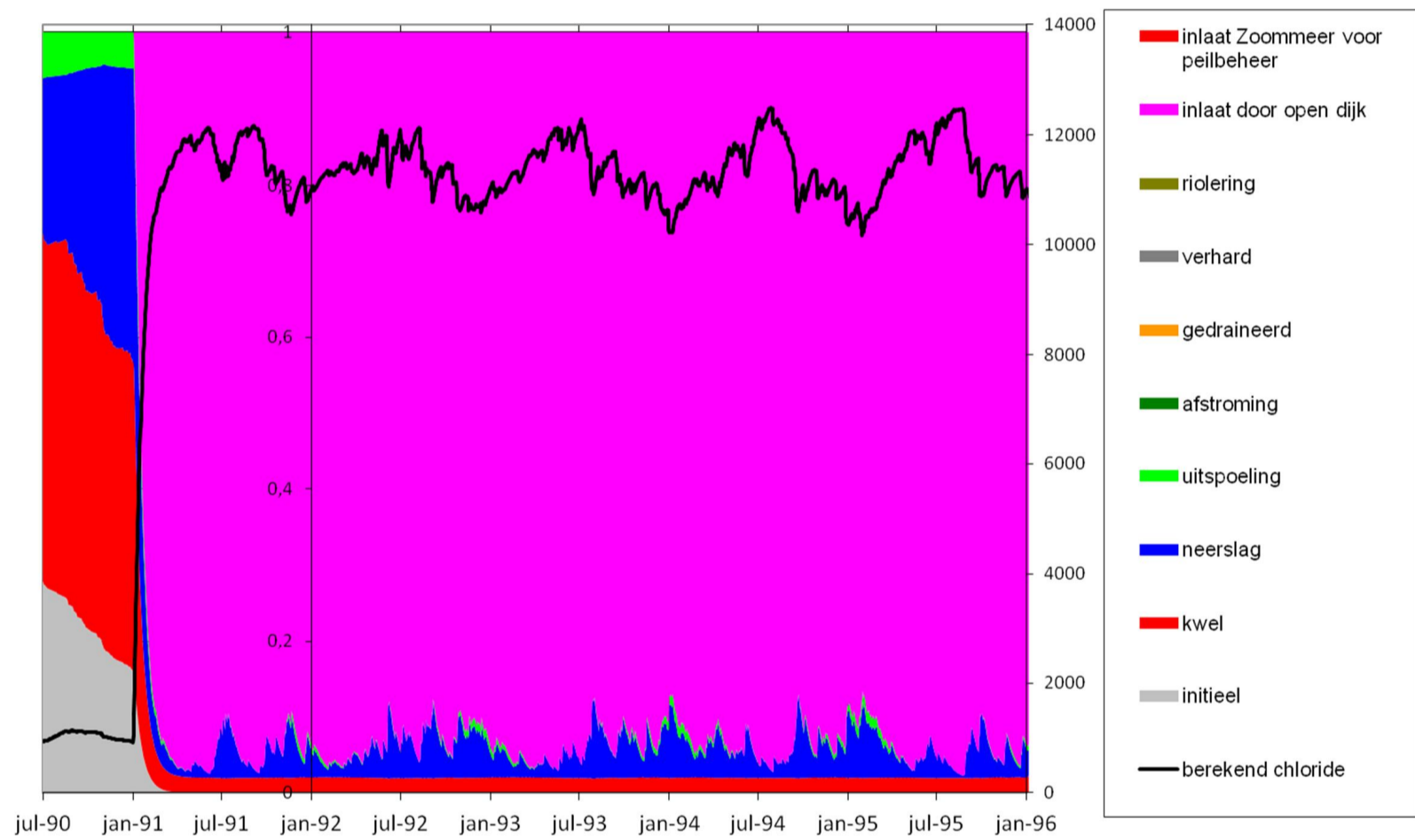


## Binnenschelde - Inlaat Zoommeer via opening (tidal) 2 m<sup>2</sup>

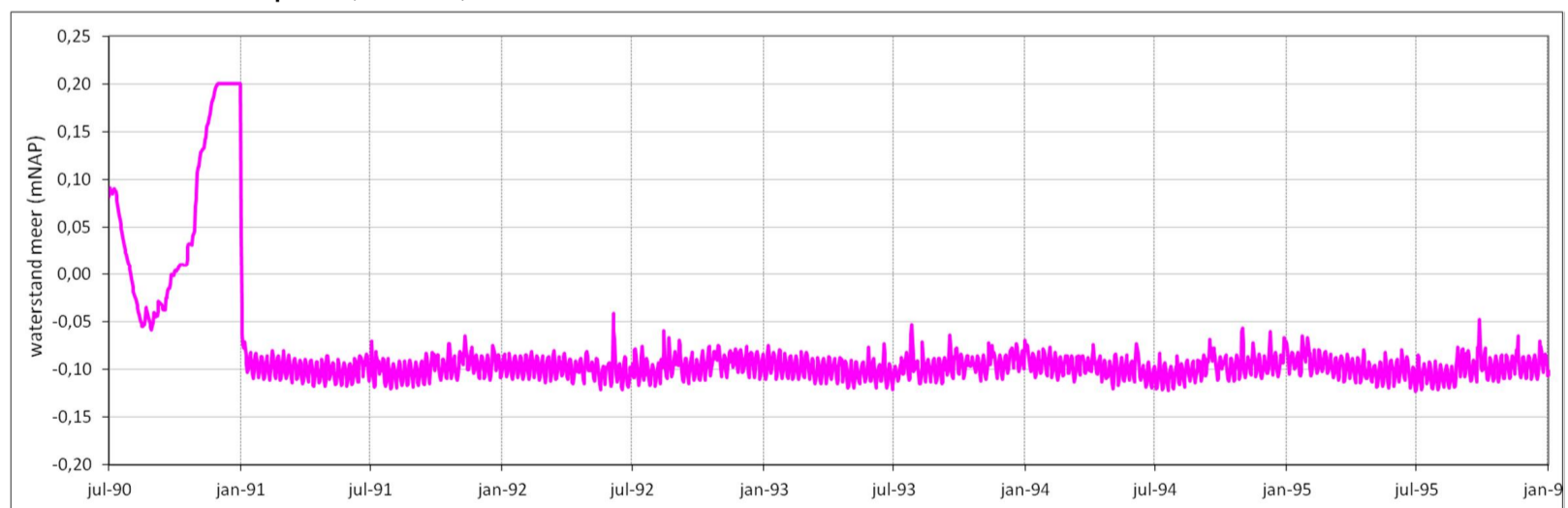
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



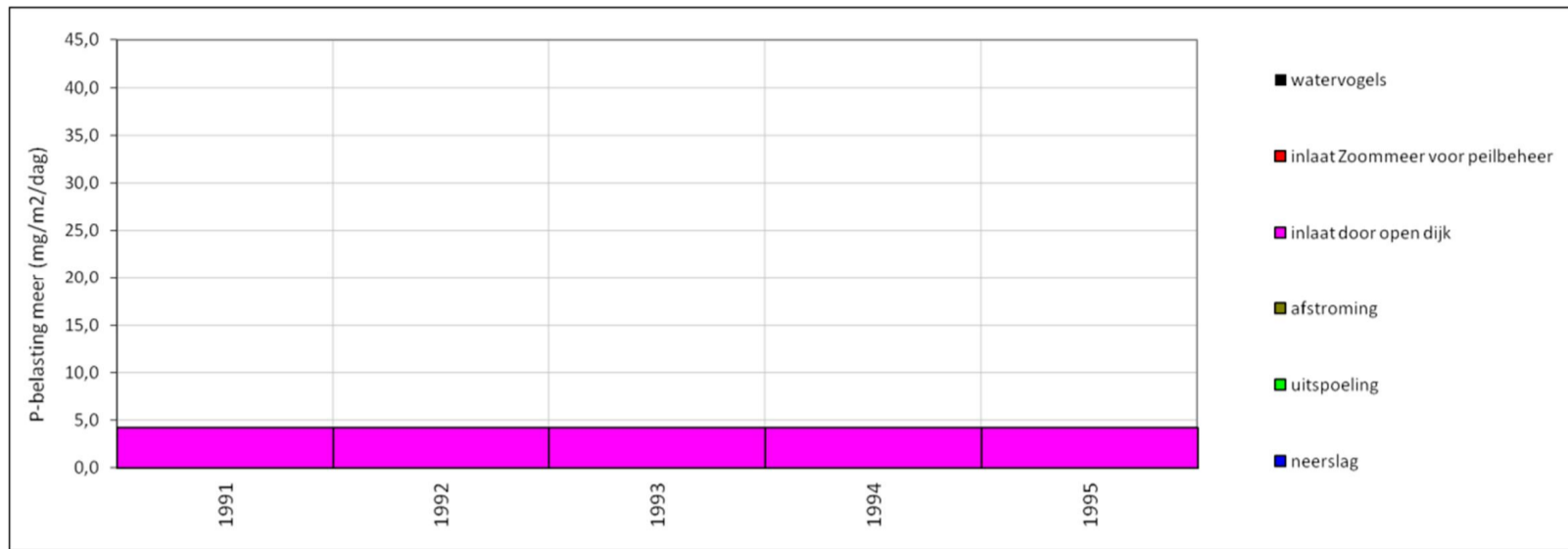
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



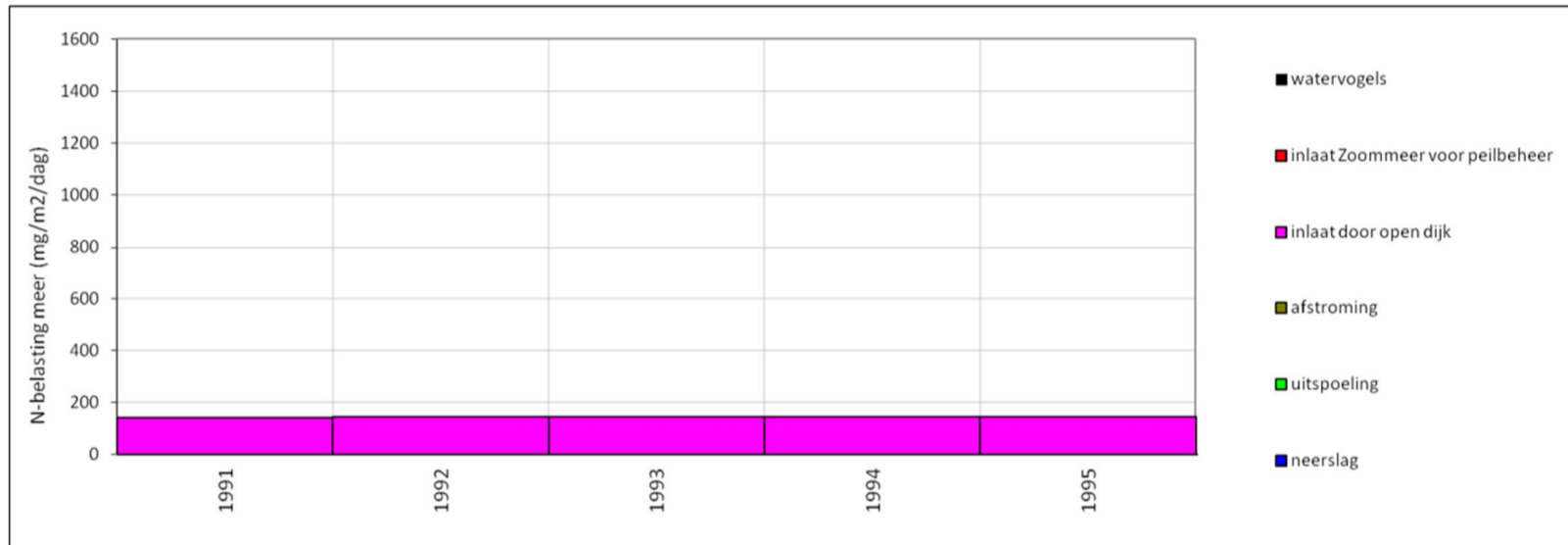
Berekend waterpeil (mNAP):



### Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

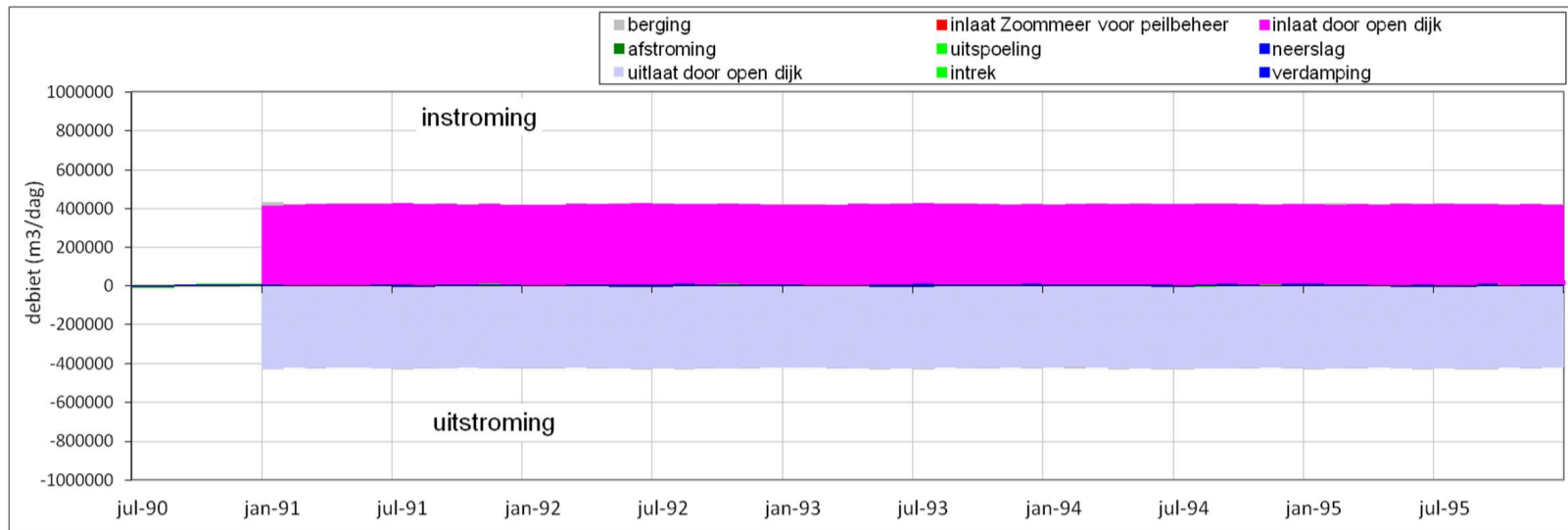


### Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

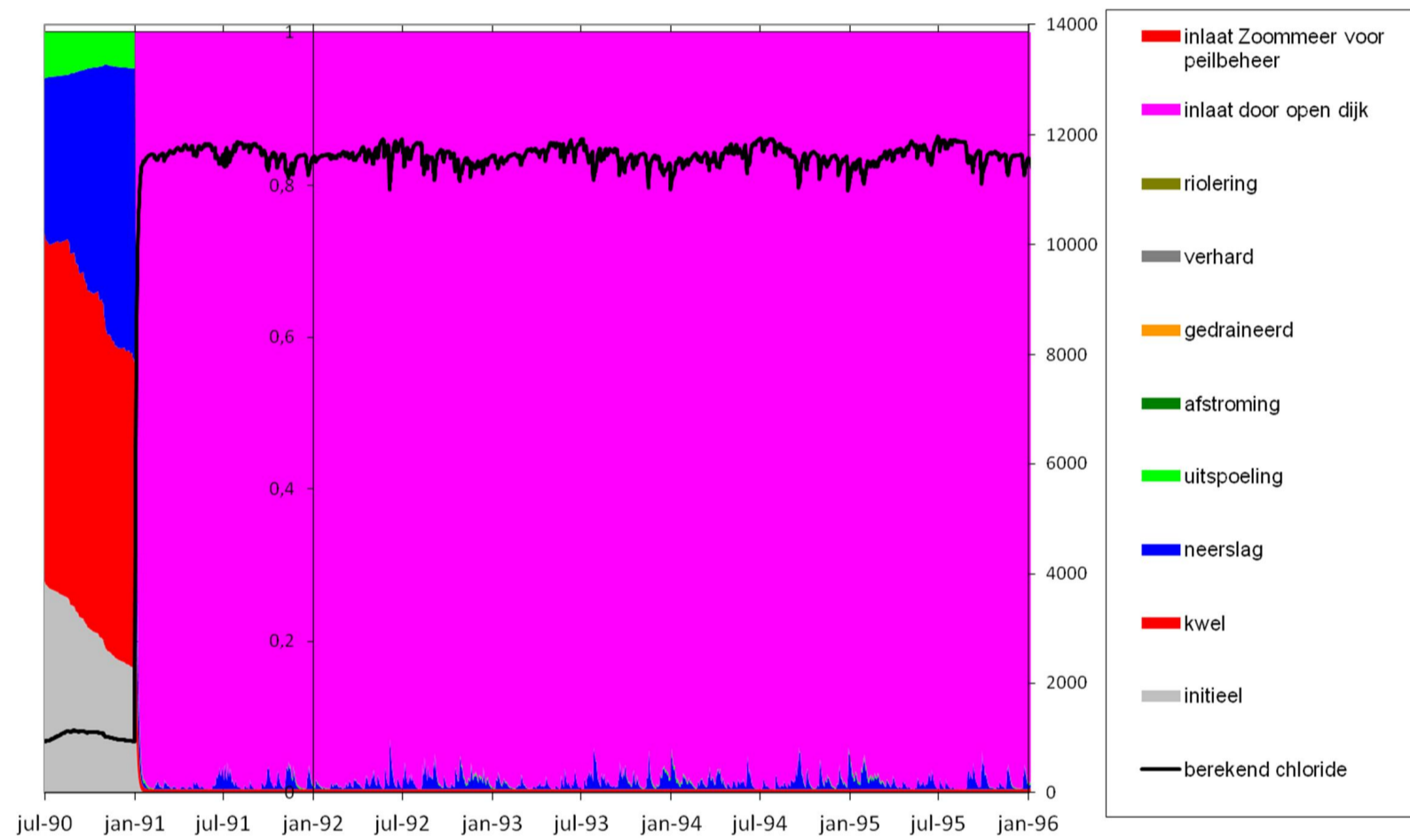


# Binnenschelde - Inlaat Zoommeer via opening (tidal) 9 m<sup>2</sup>

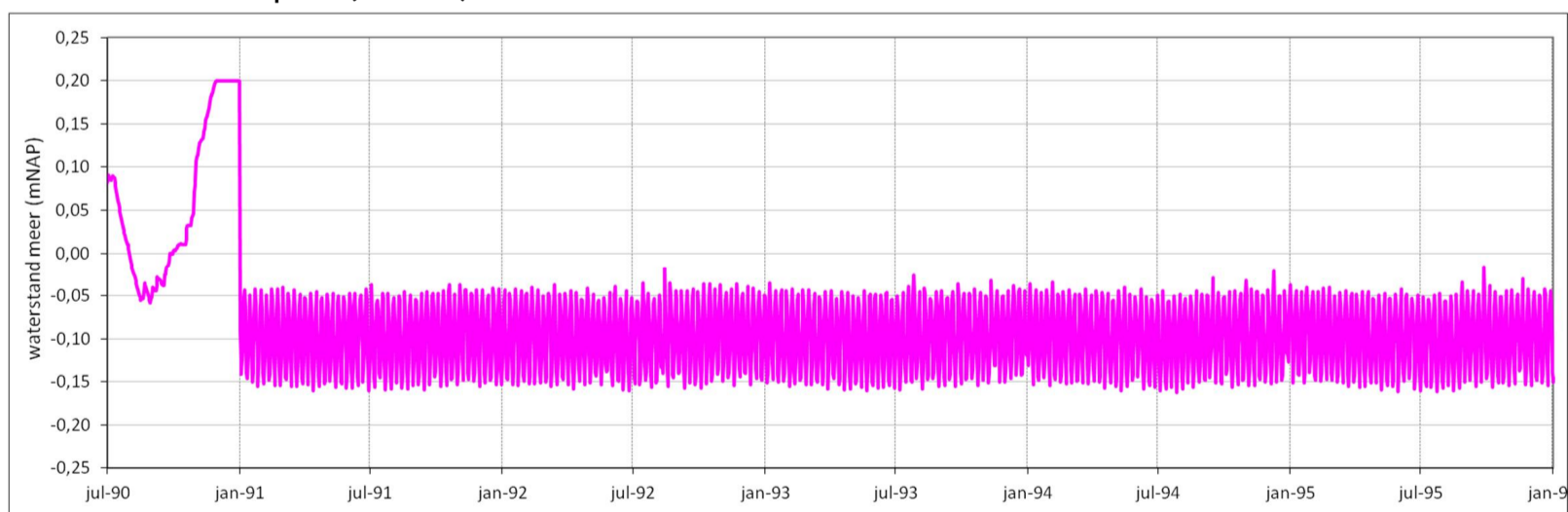
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



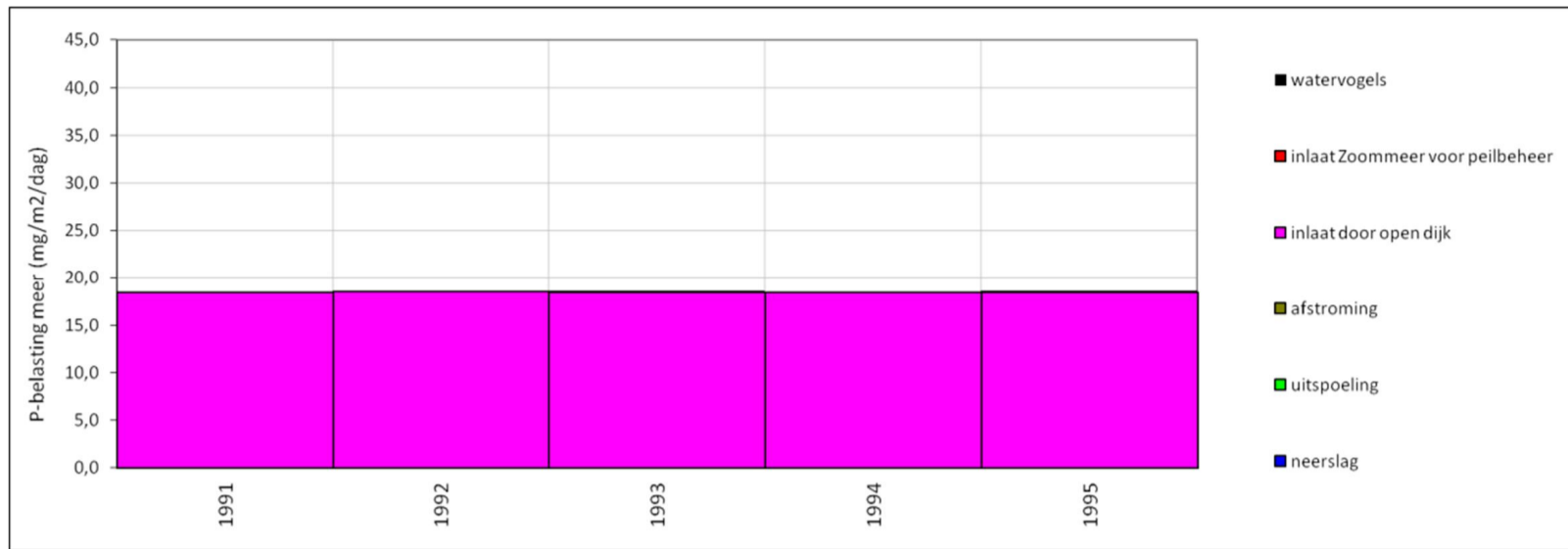
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



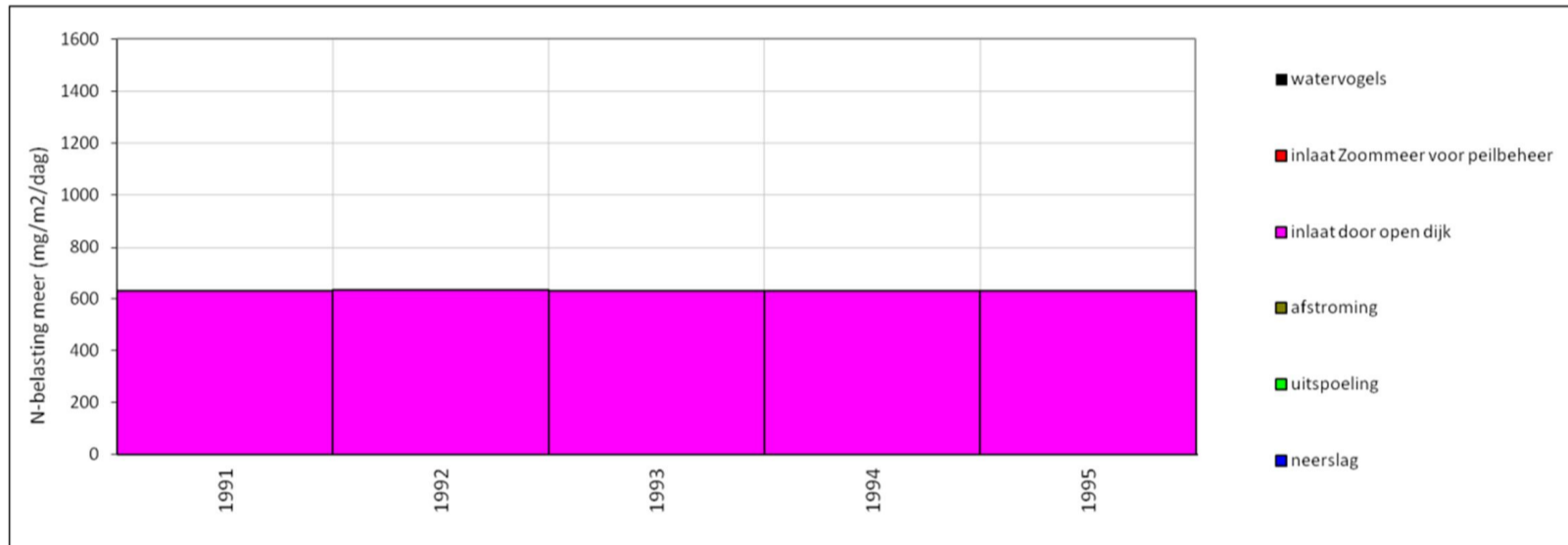
Berekend waterpeil (mNAP):



### Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

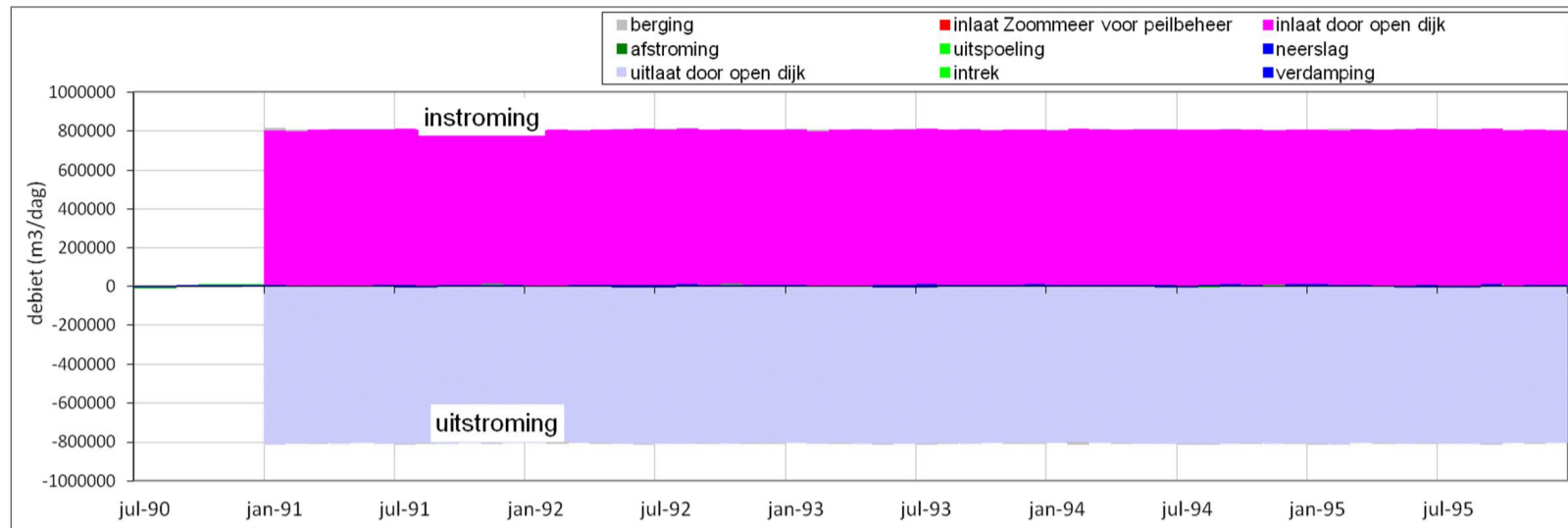


### Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

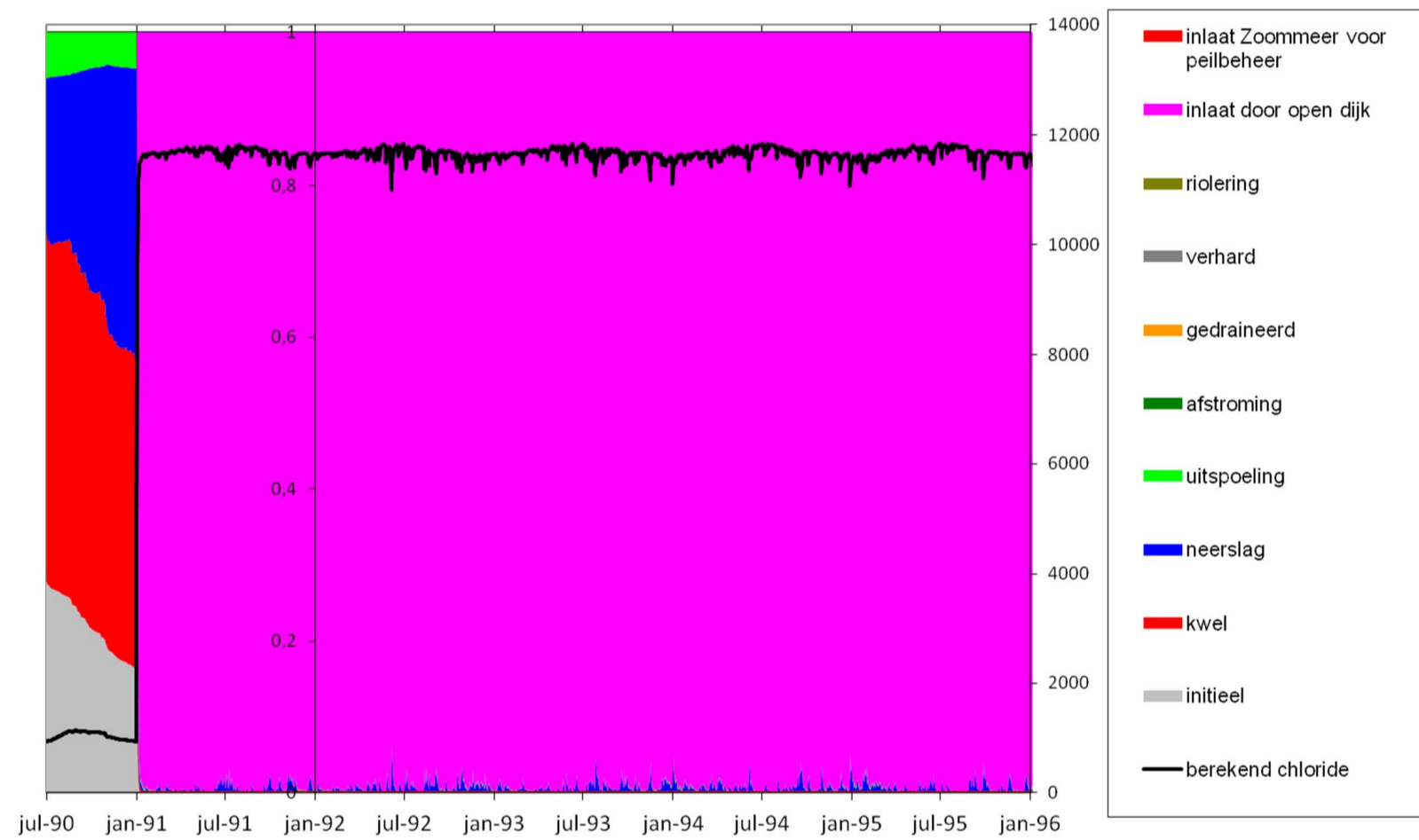


# Binnenschelde - Inlaat Zoommeer via opening (tidal) 20 m<sup>2</sup>

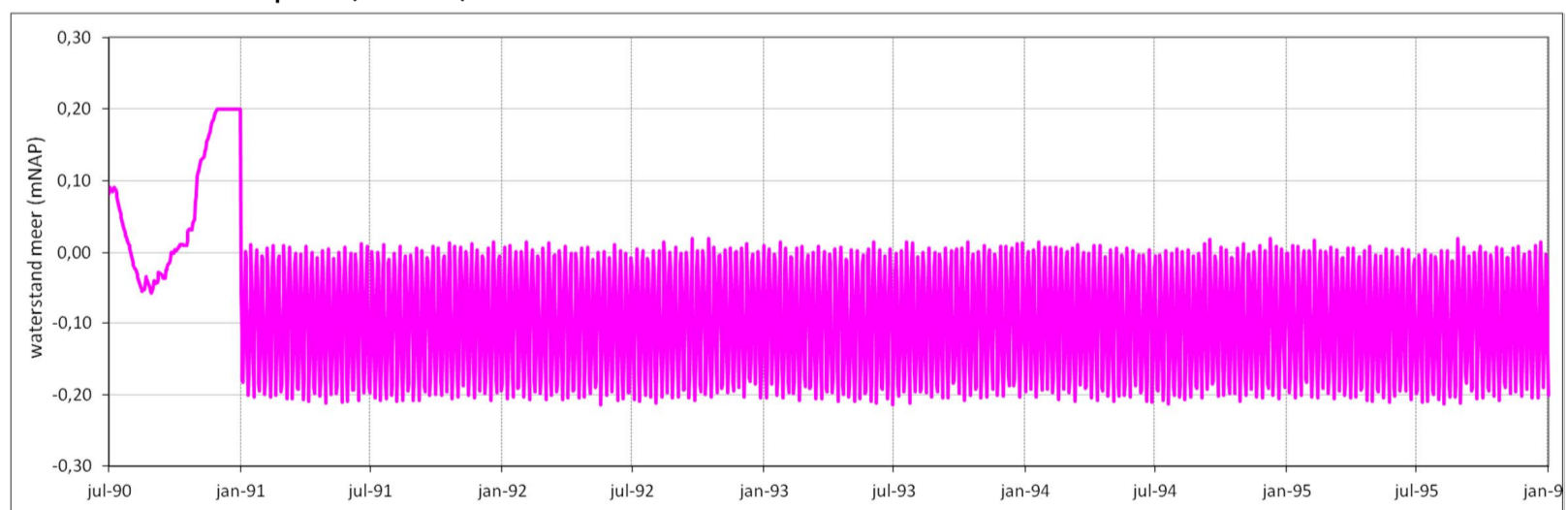
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



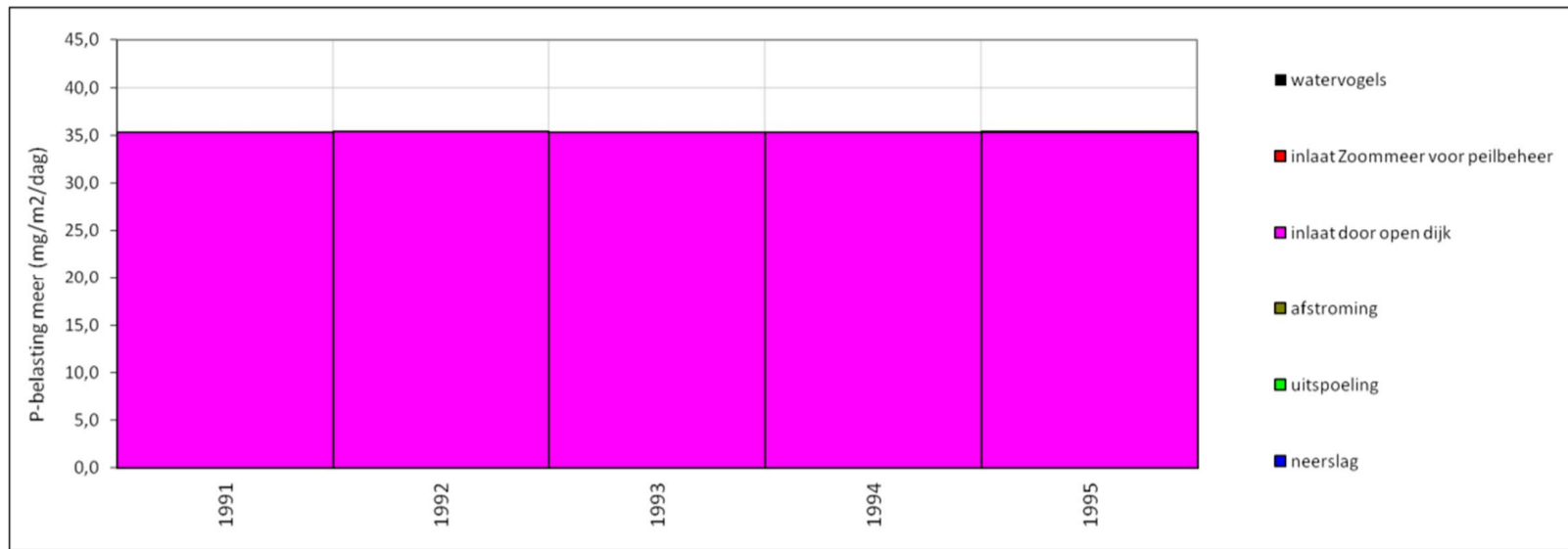
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



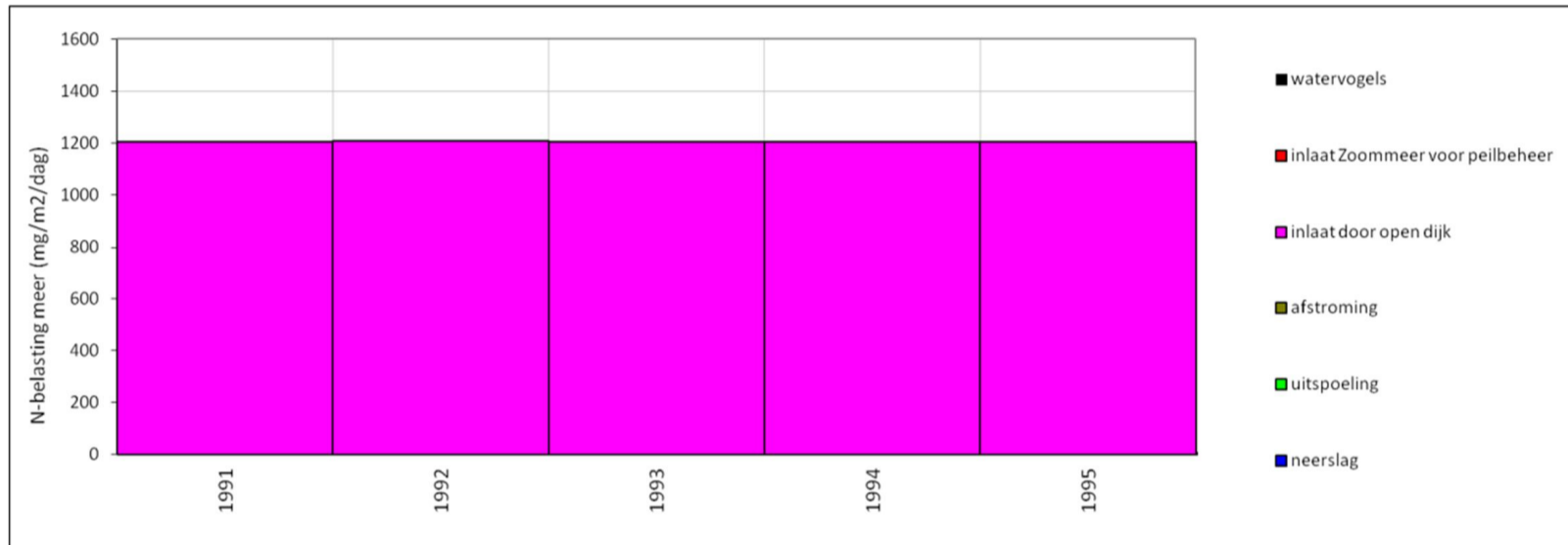
Berekend waterpeil (mNAP):



### Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

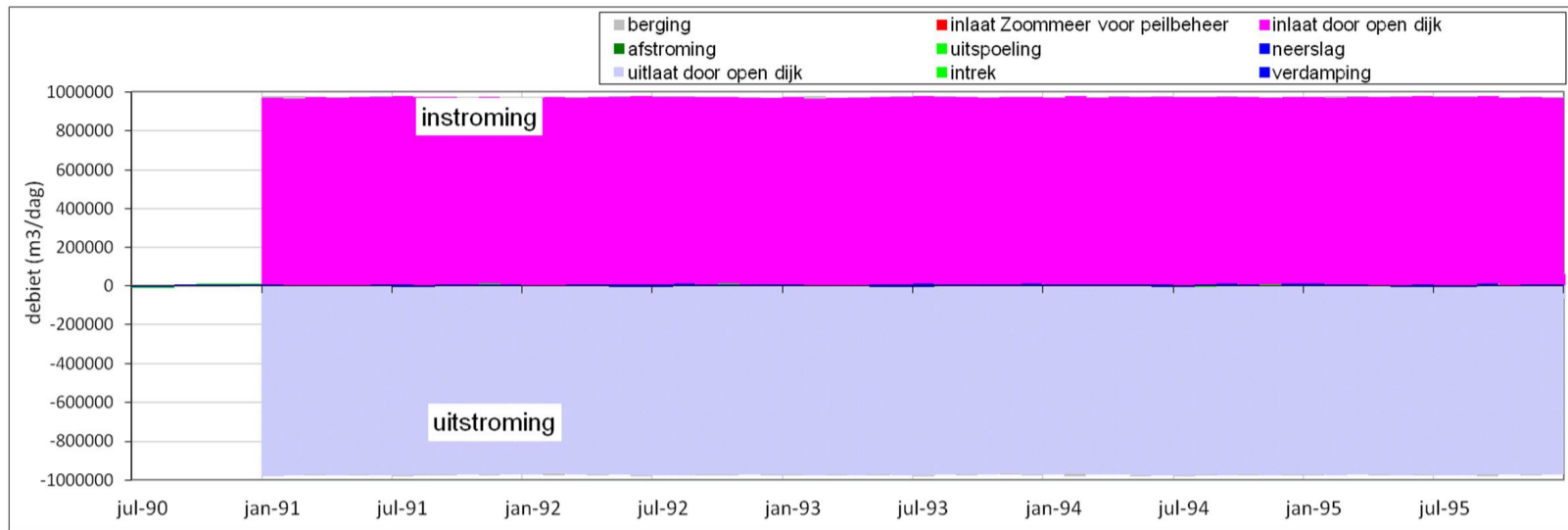


### Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

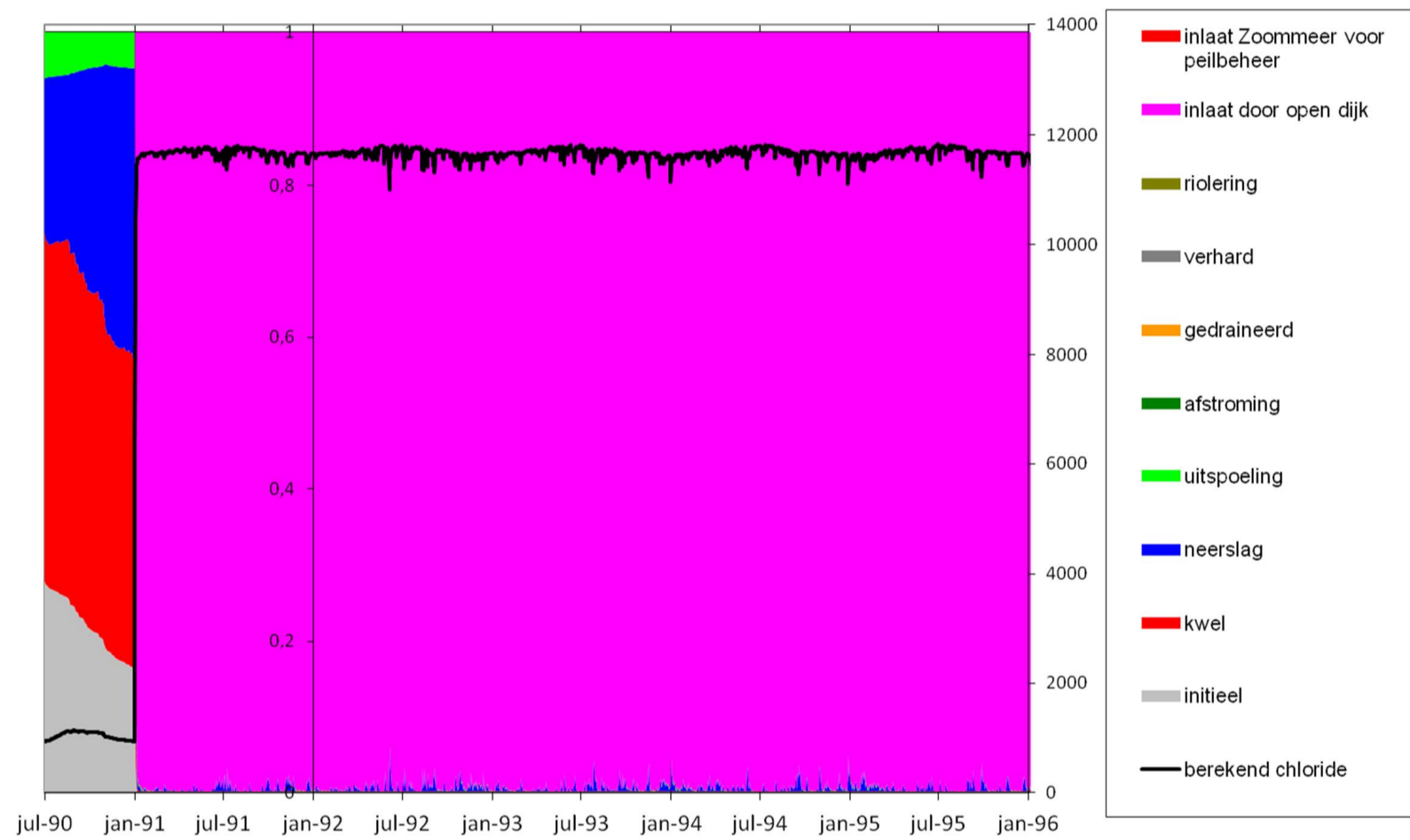


# Binnenschelde - Inlaat Zoommeer via opening (tidal) 30 m<sup>2</sup>

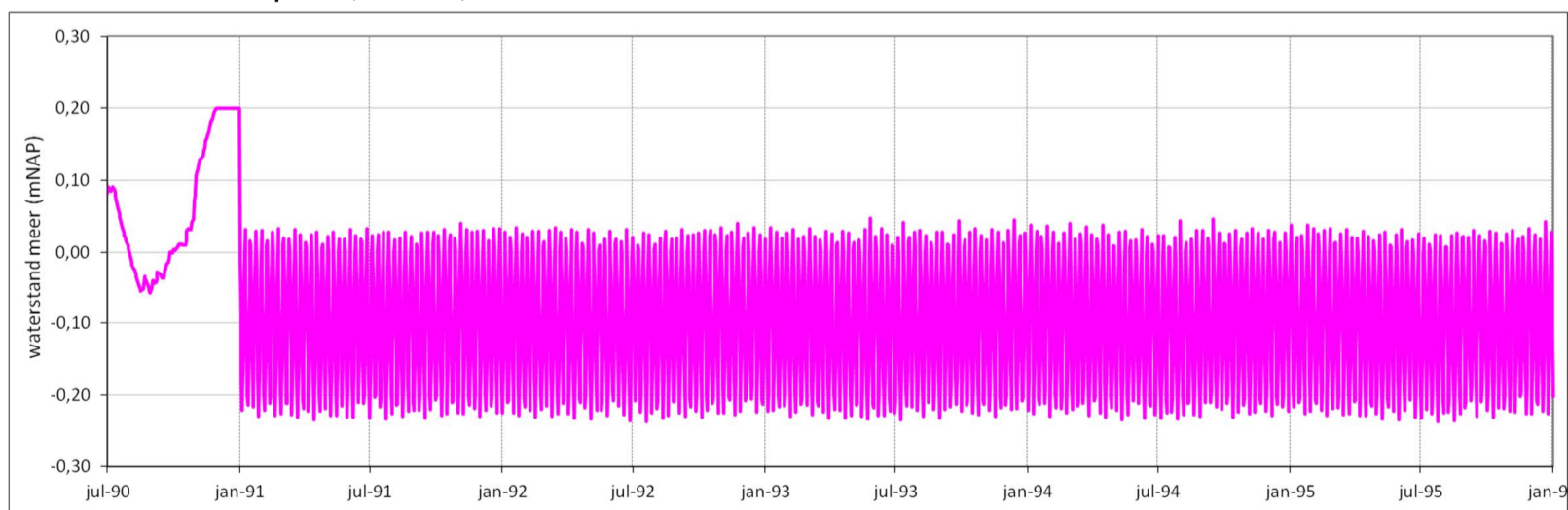
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



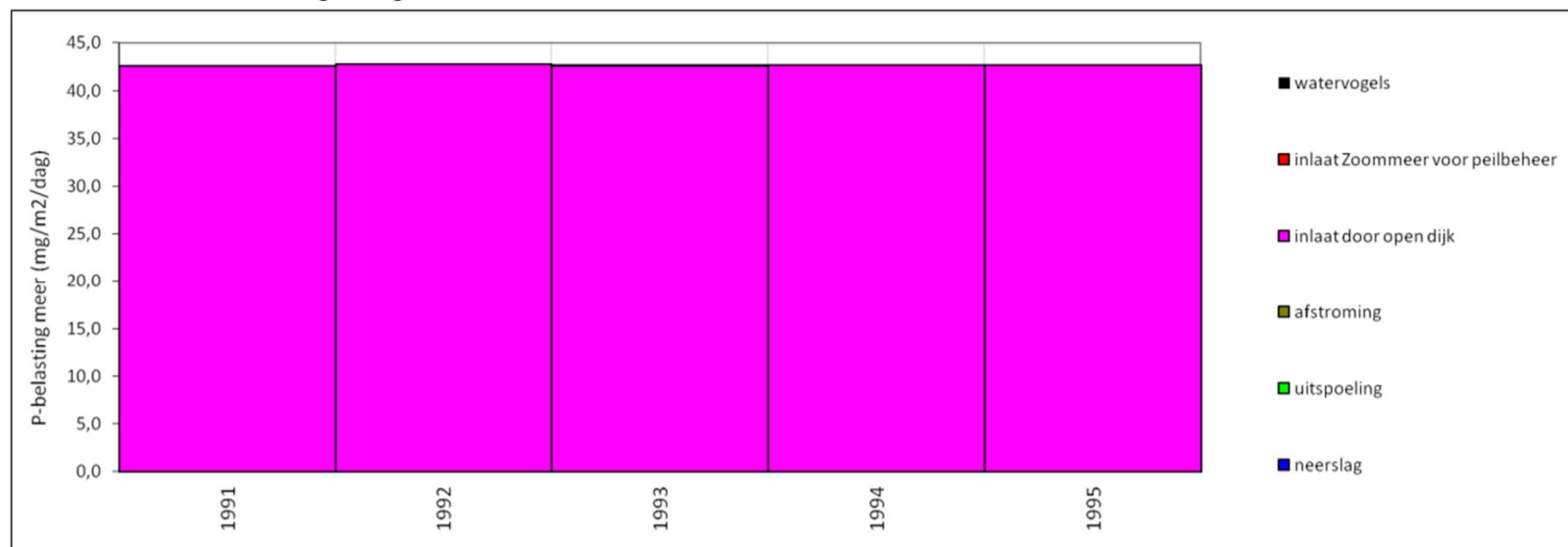
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



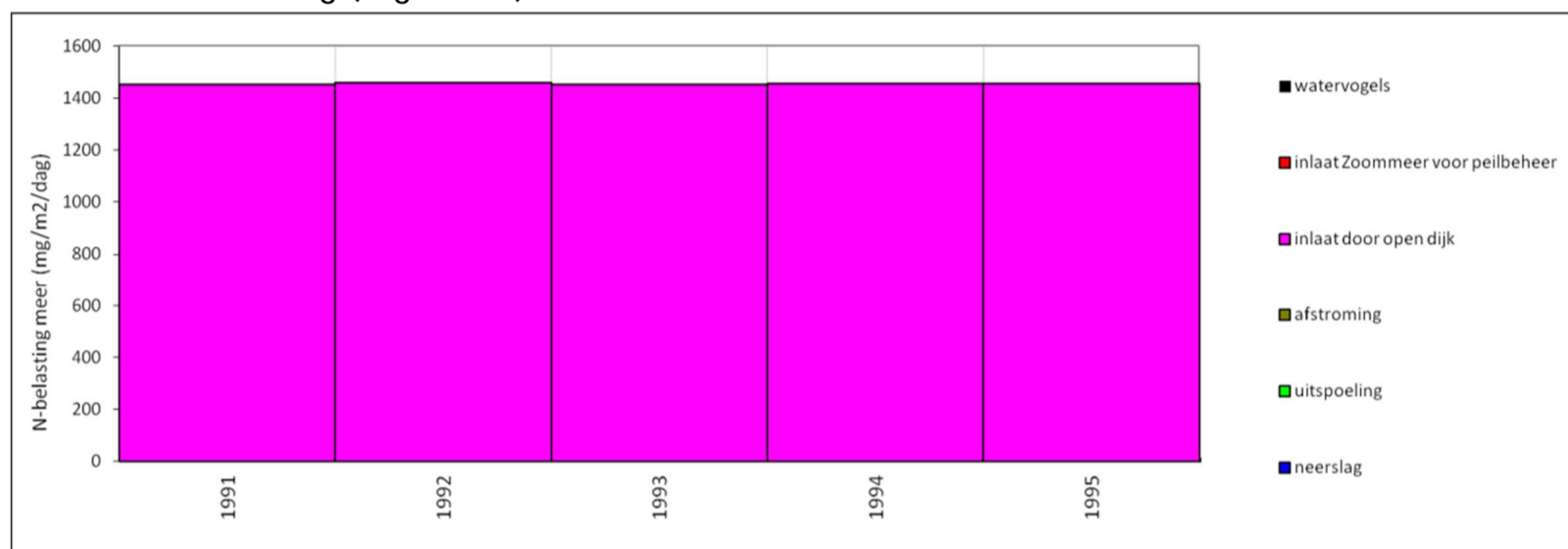
Berekend waterpeil (mNAP):



### Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):



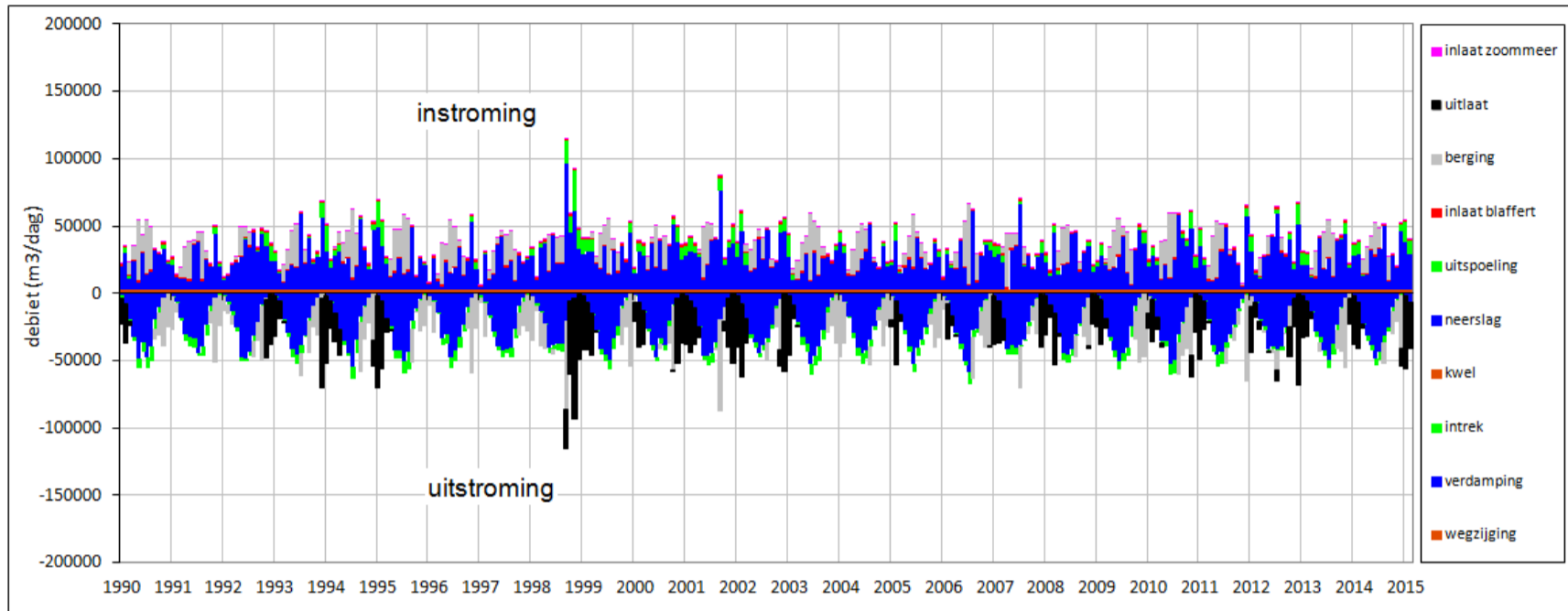
### Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):



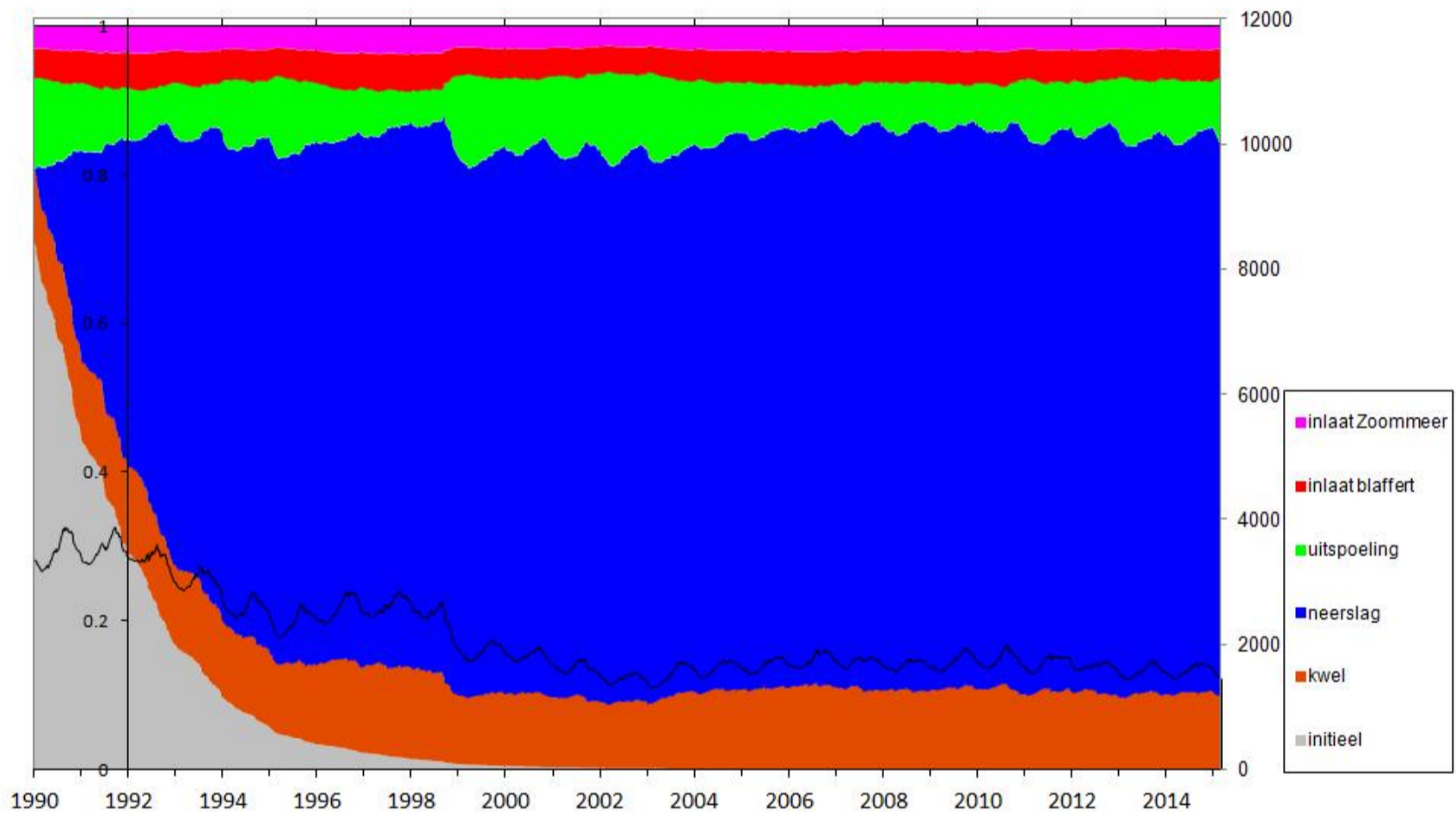


# Markiezaatsmeer - Inlaat Zoommeer 1.000 m3/dag

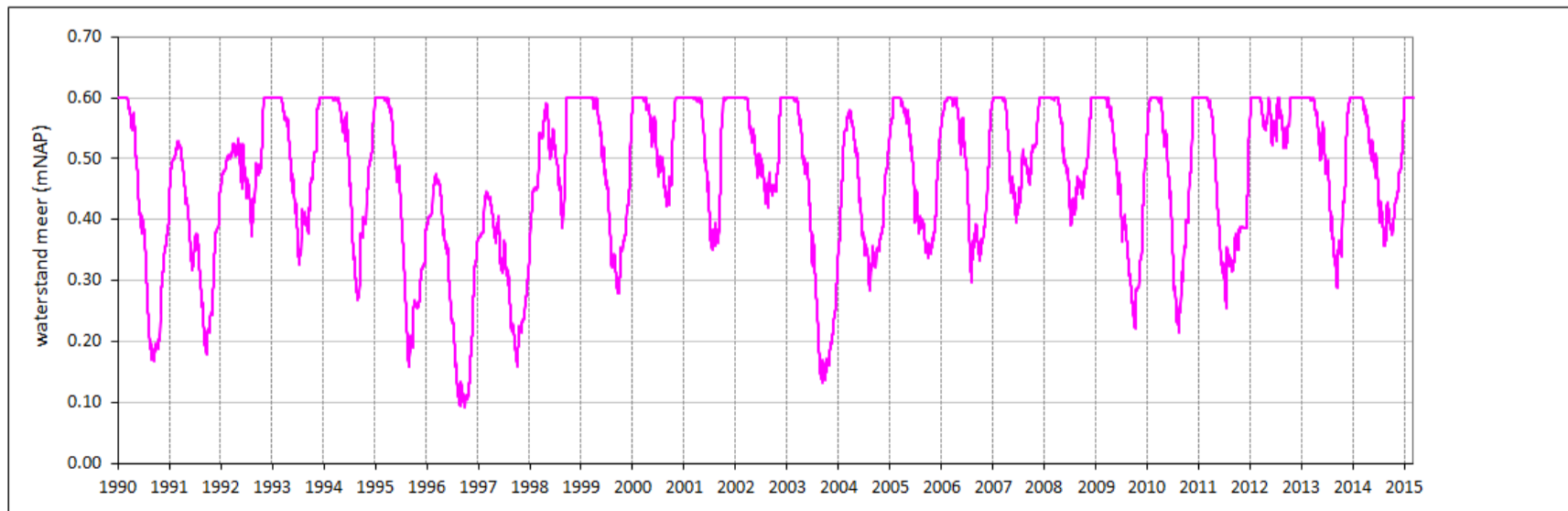
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



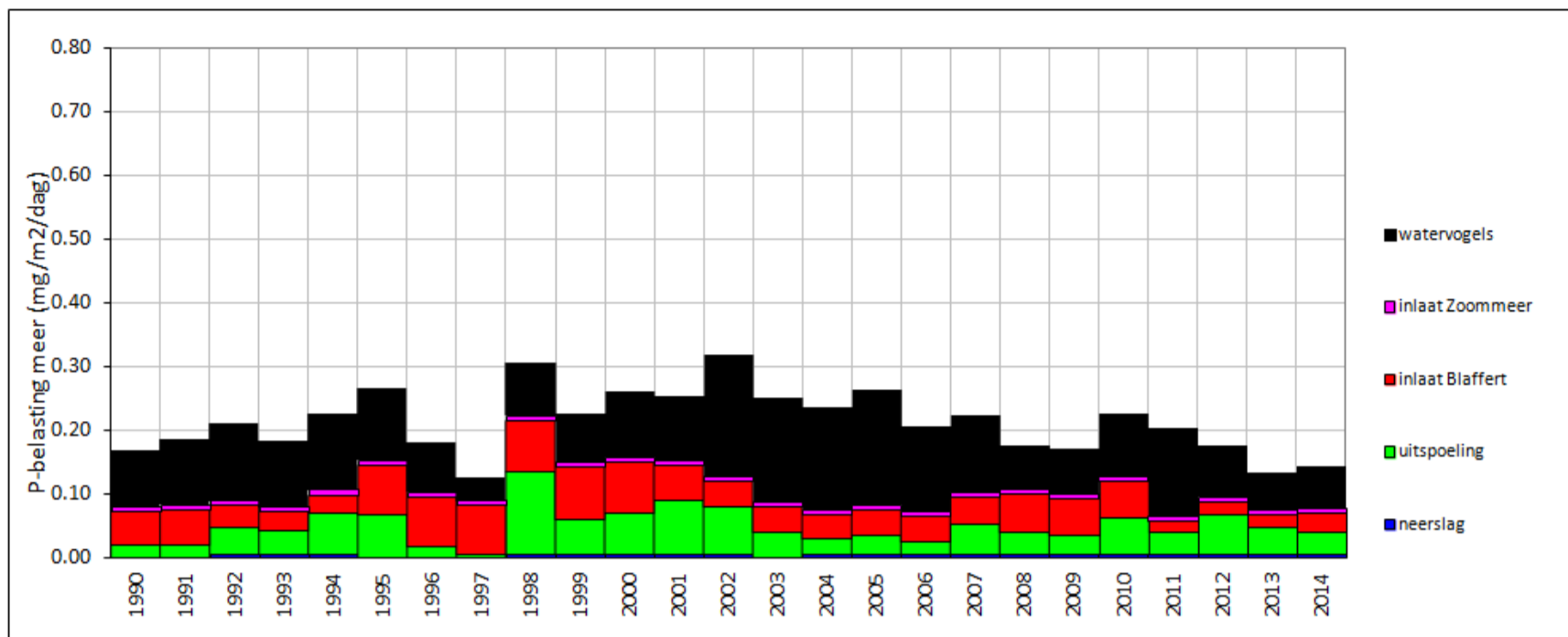
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



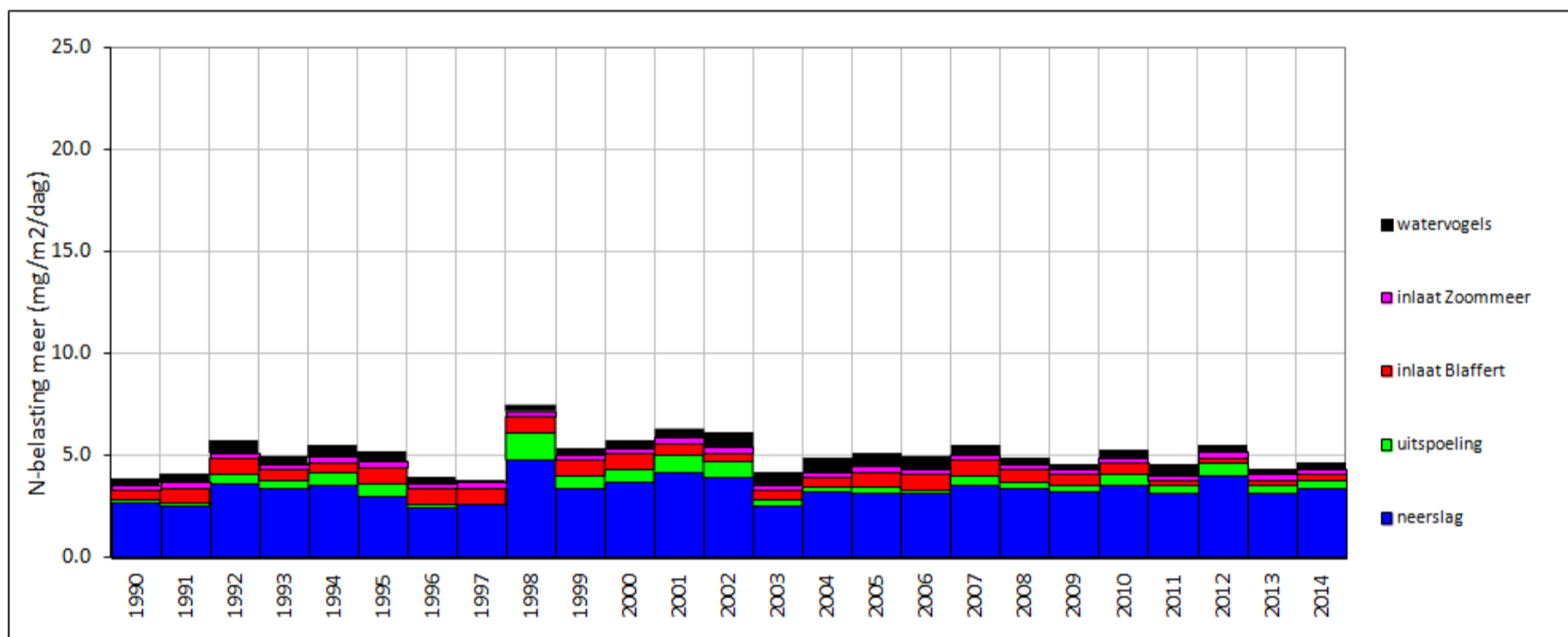
Berekend waterpeil (mNAP):



Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

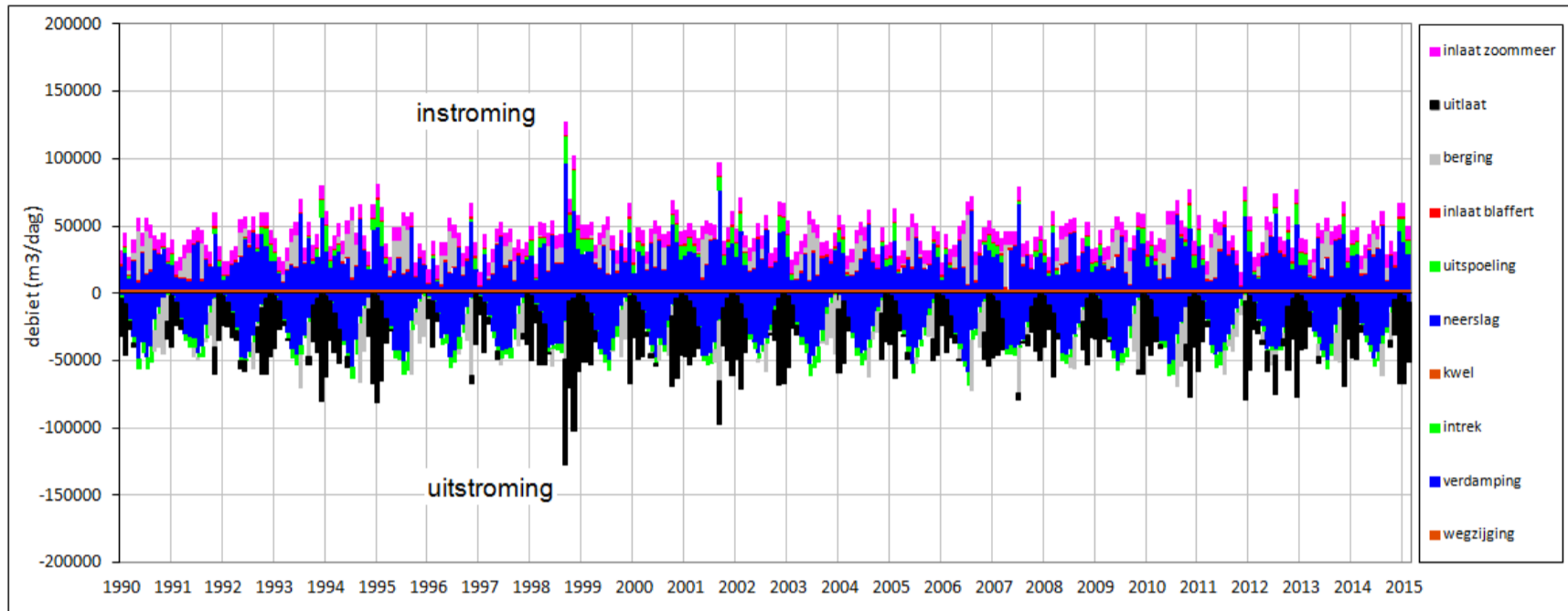


Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

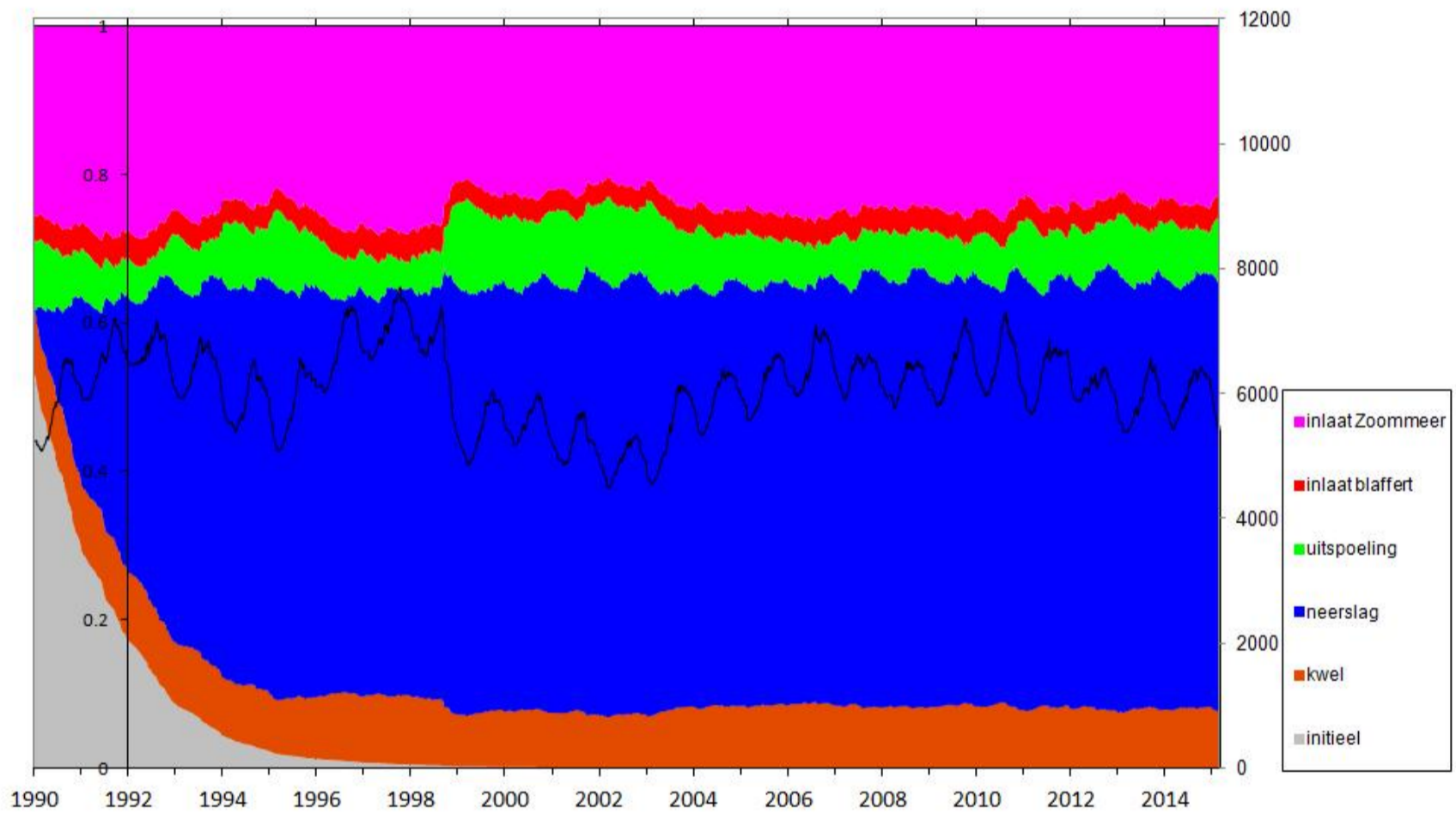


# Markiezaatsmeer - Inlaat Zoommeer 10.000 m<sup>3</sup>/dag

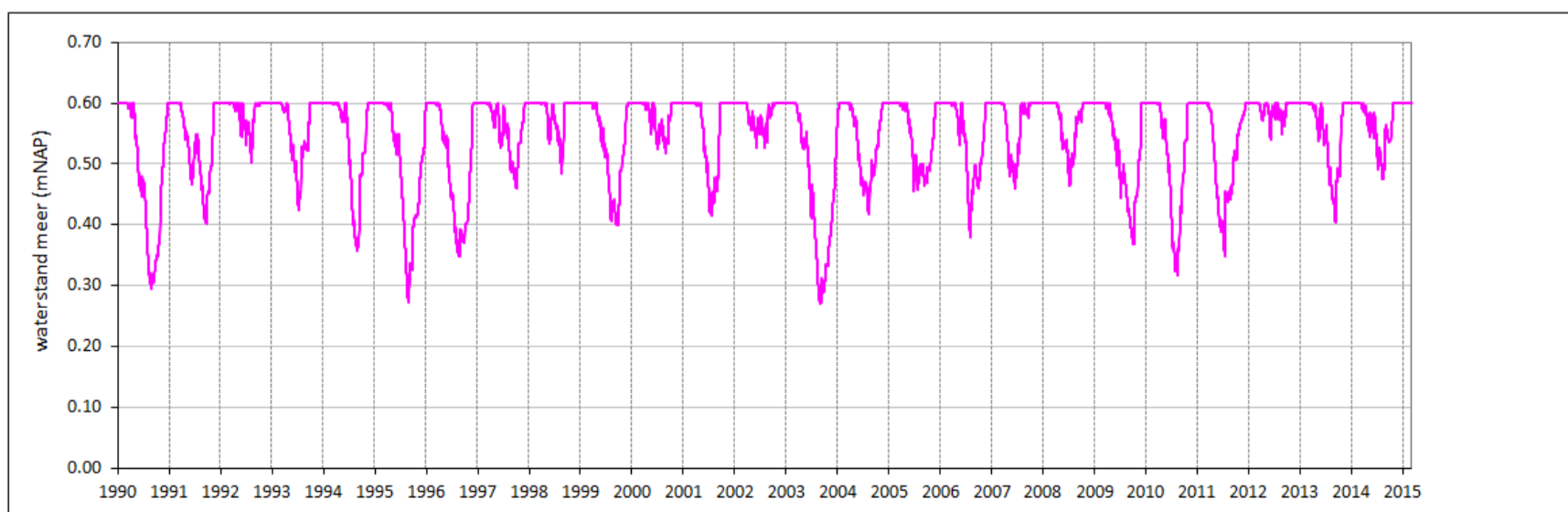
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



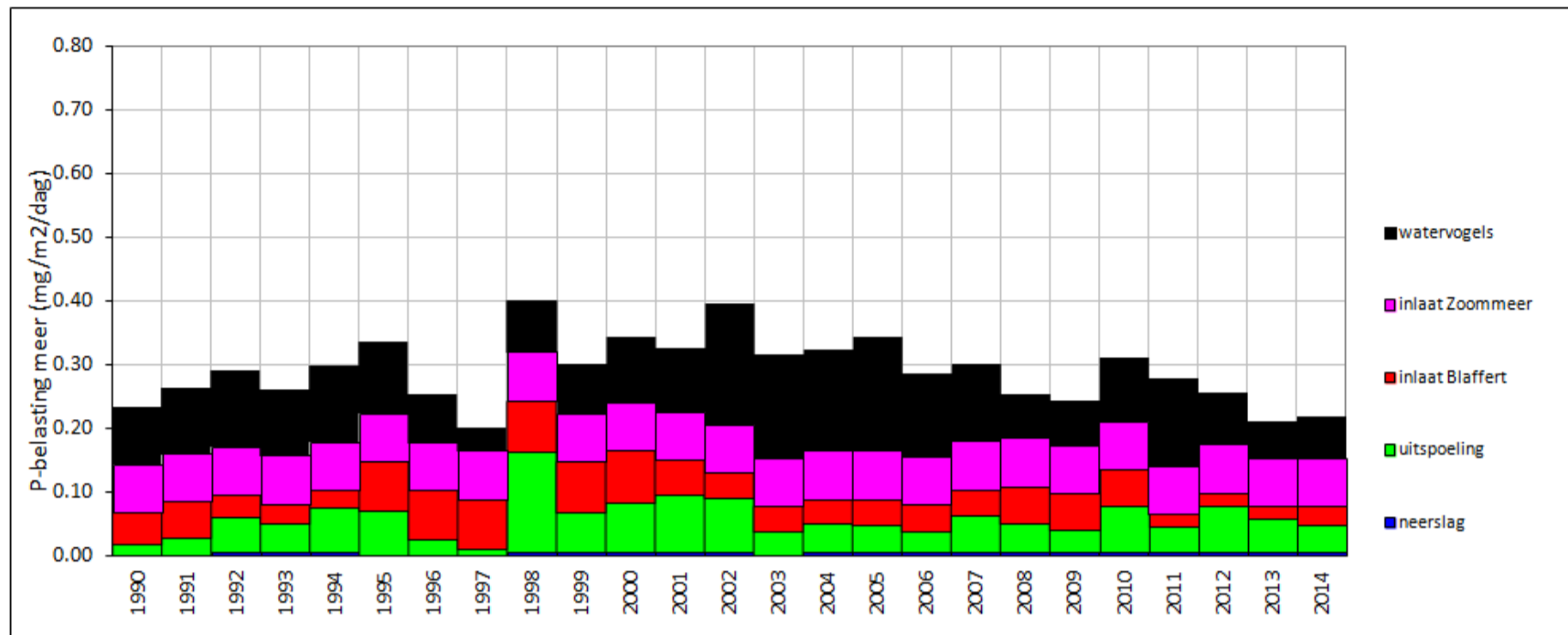
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



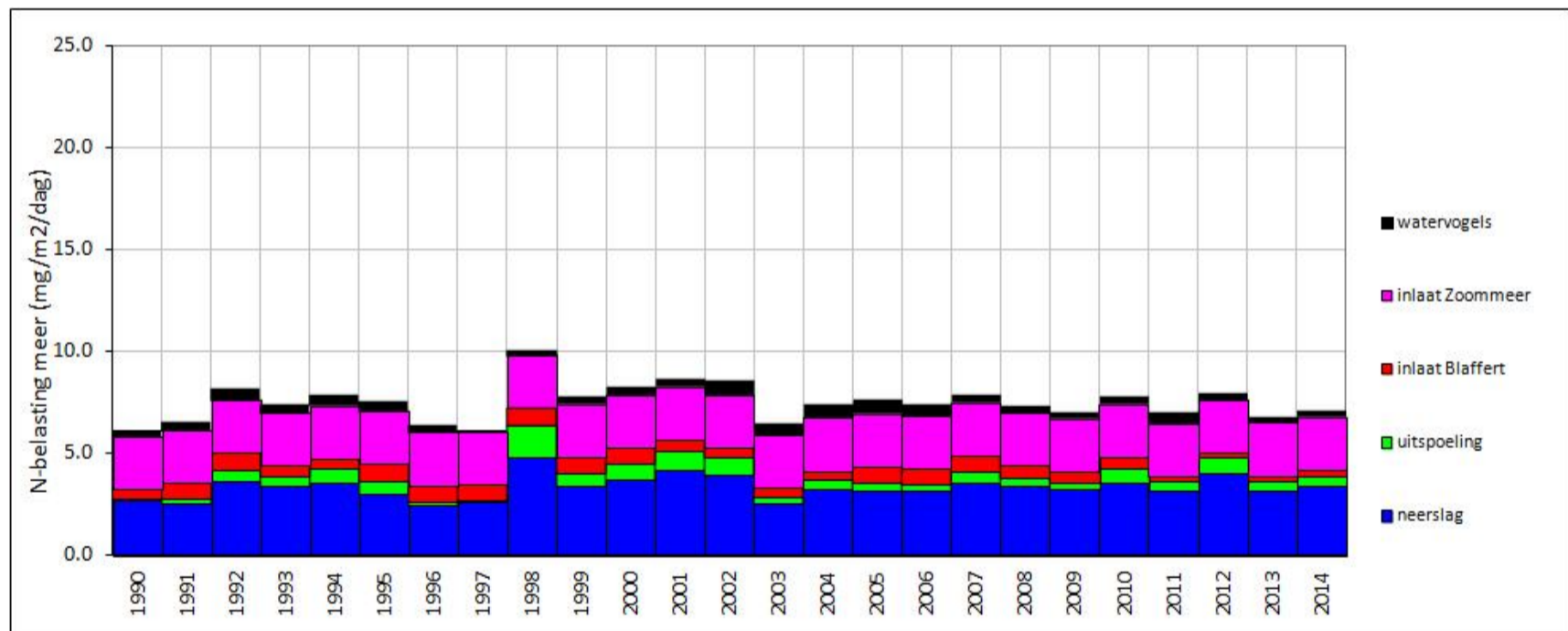
Berekend waterpeil (mNAP):



Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

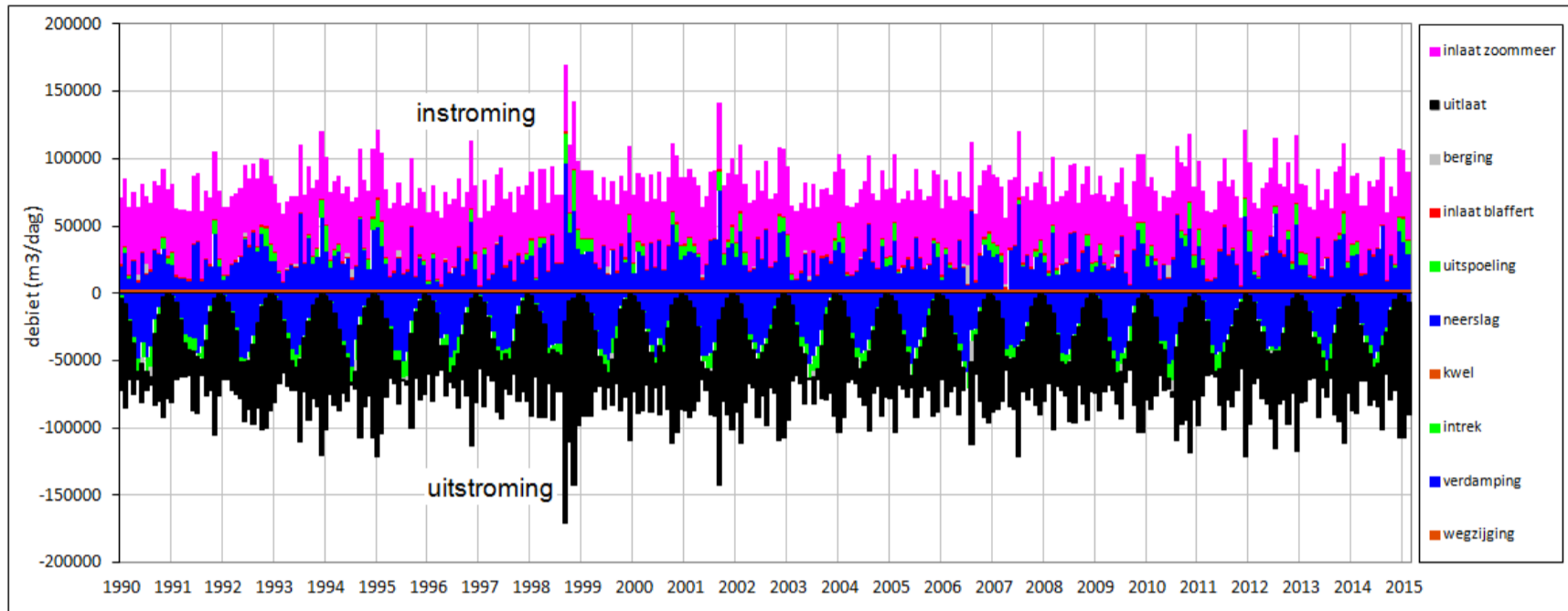


Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

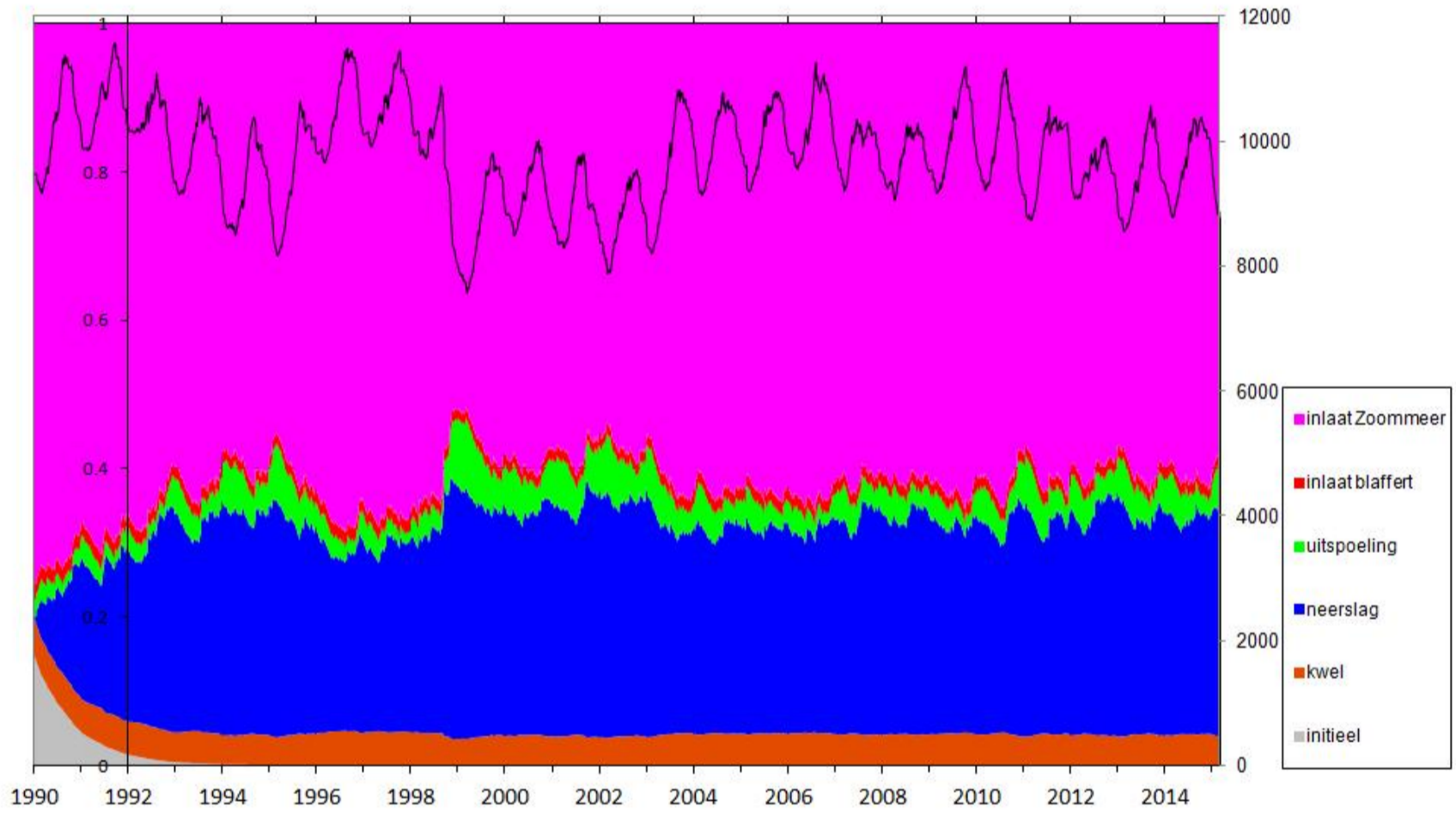


# Markiezaatsmeer - Inlaat Zoommeer 50.000 m<sup>3</sup>/dag

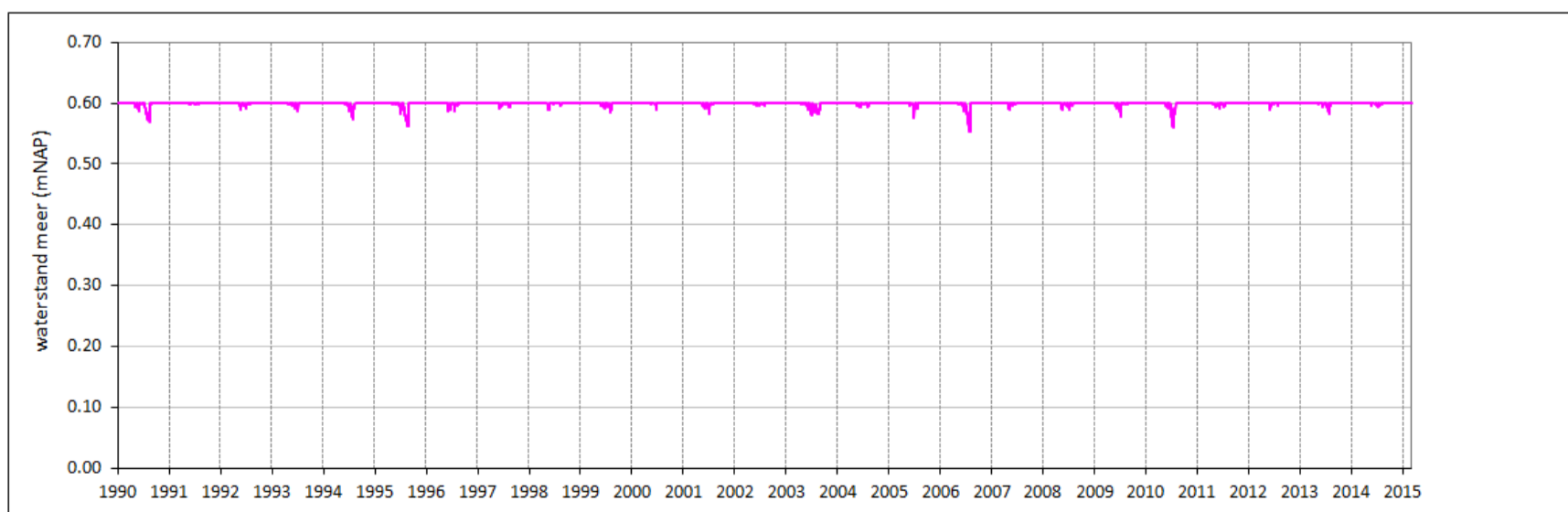
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



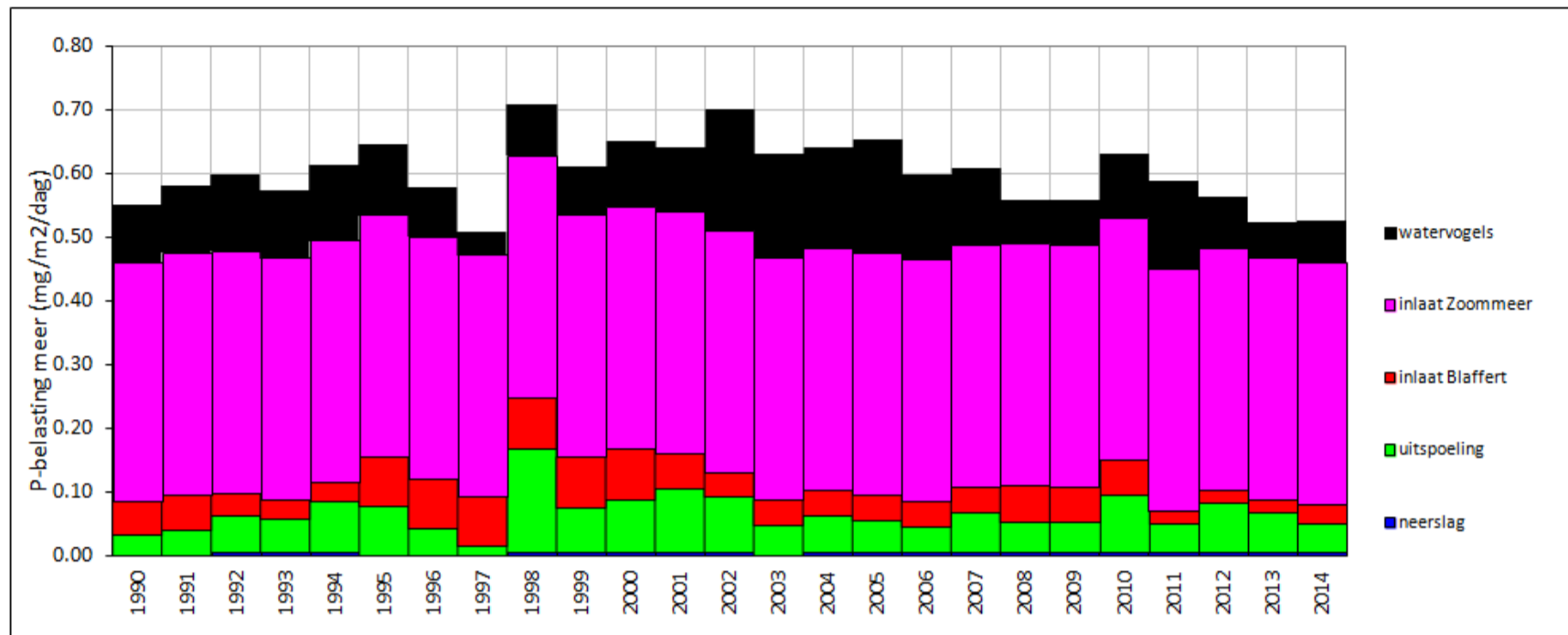
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



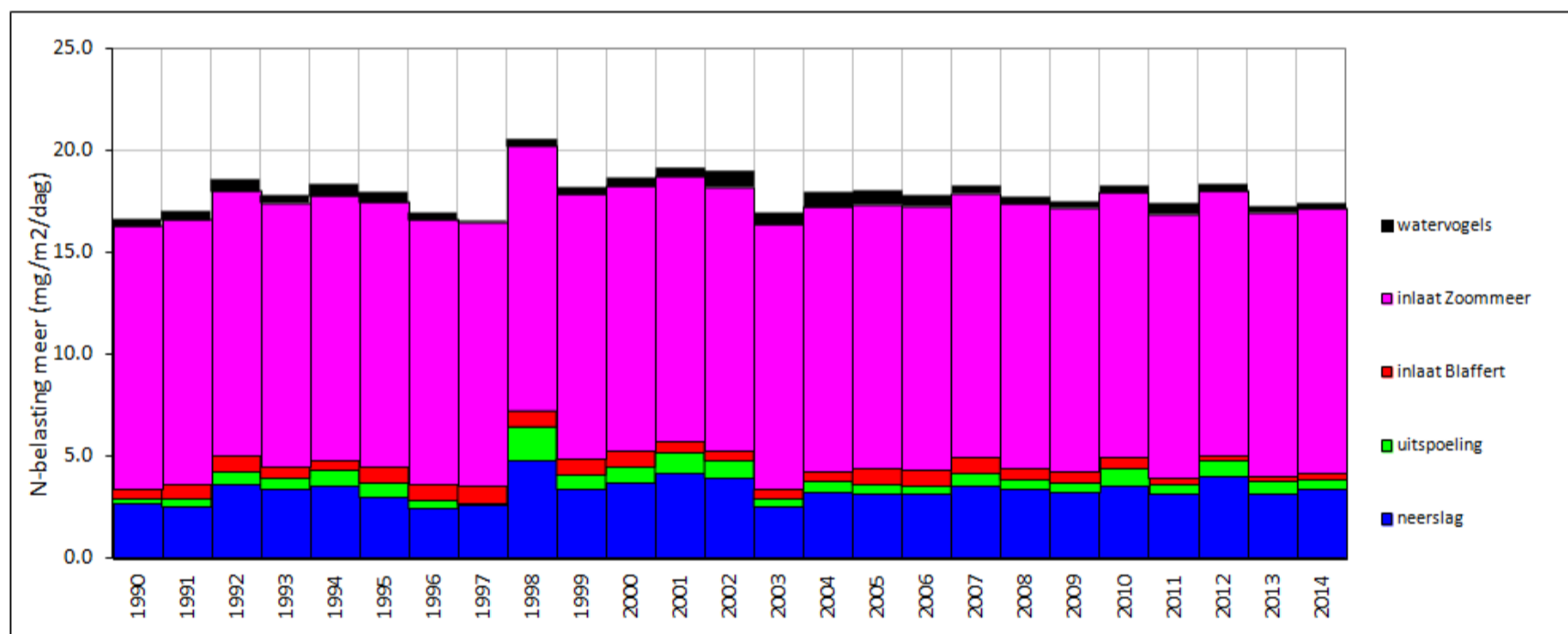
Berekend waterpeil (mNAP):



Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

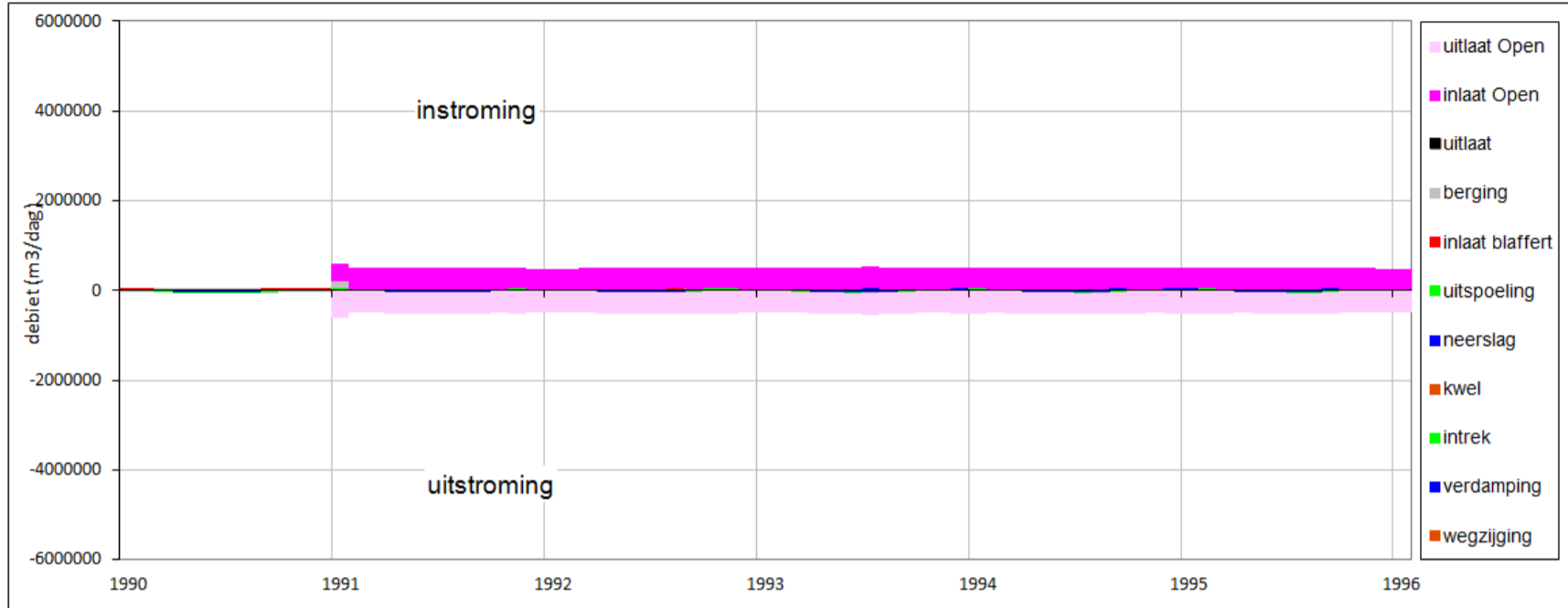


Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

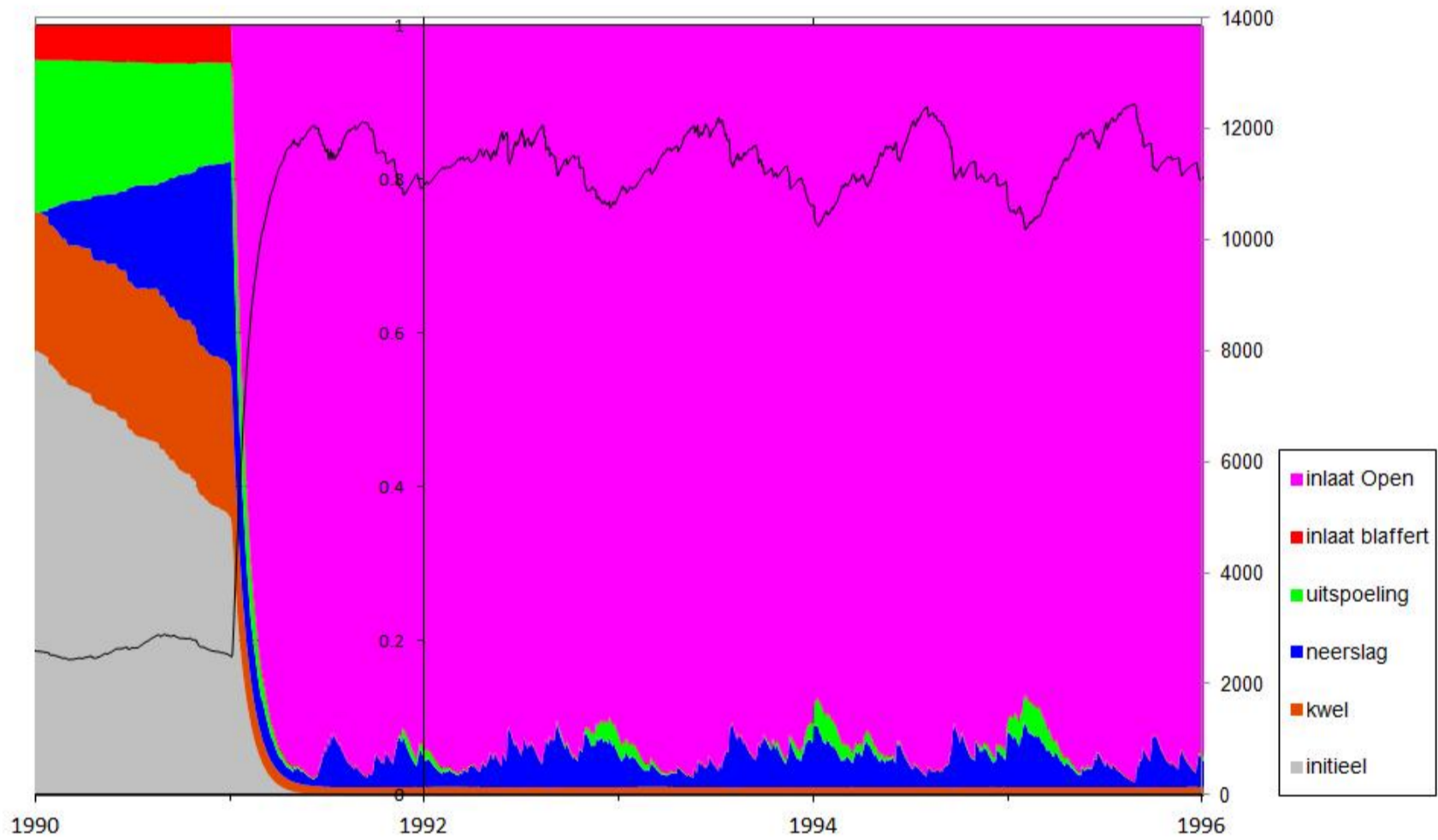


# Markiezaatsmeer - Inlaat Zoommeer via opening (tidal) 10 m<sup>2</sup>

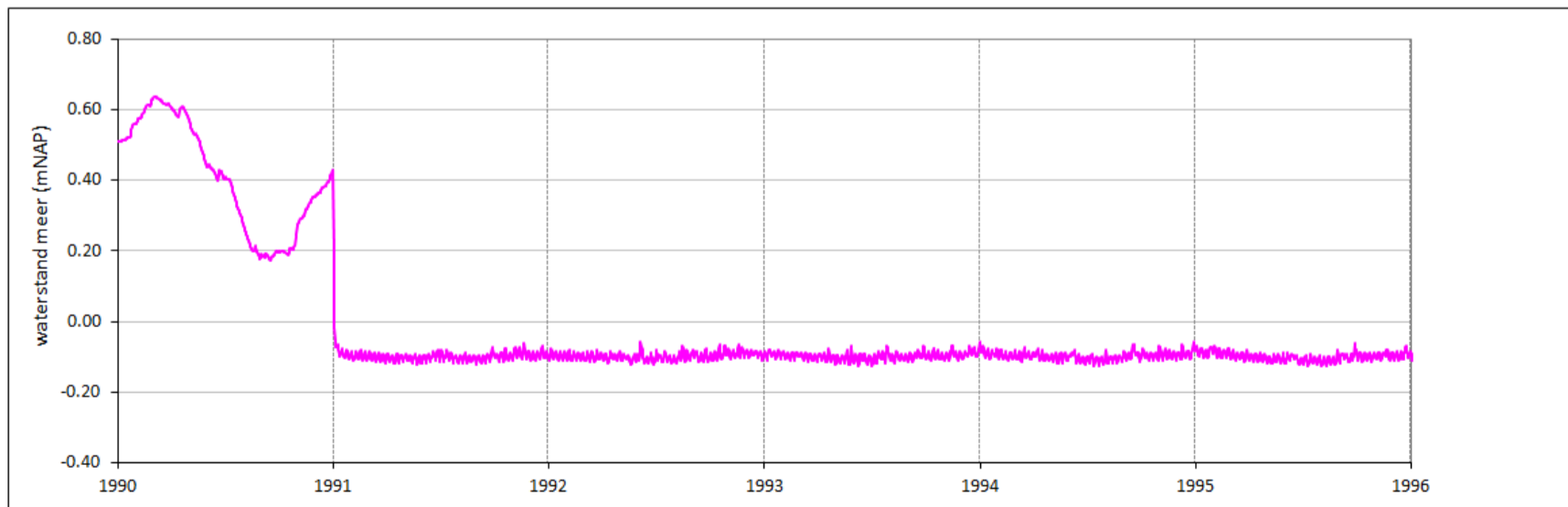
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



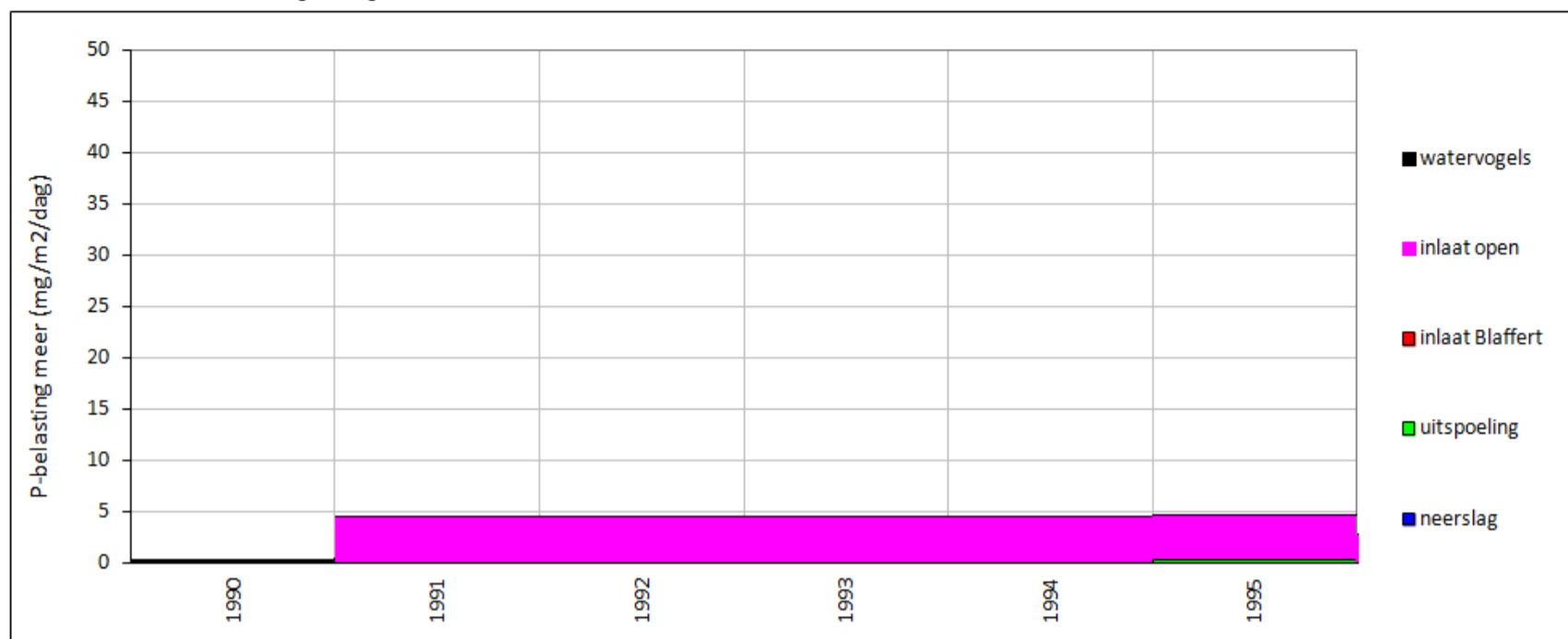
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



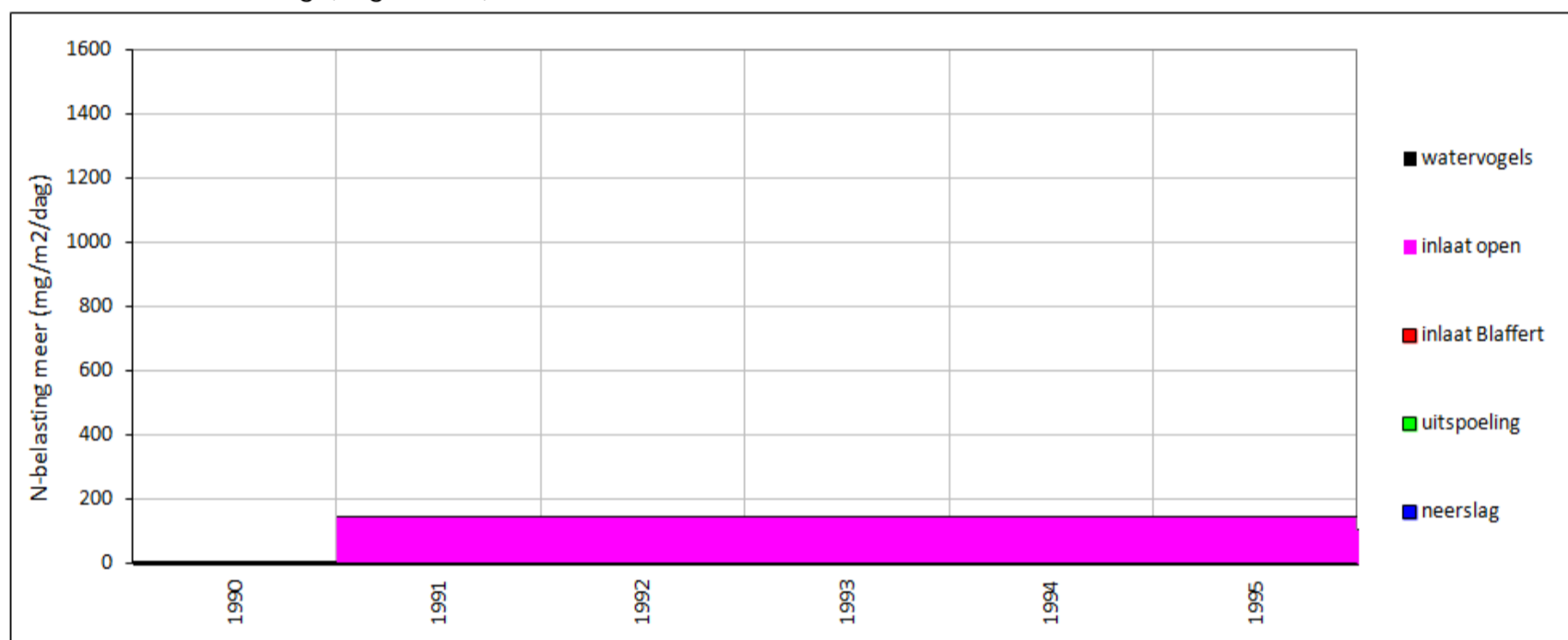
Berekend waterpeil (mNAP):



Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):



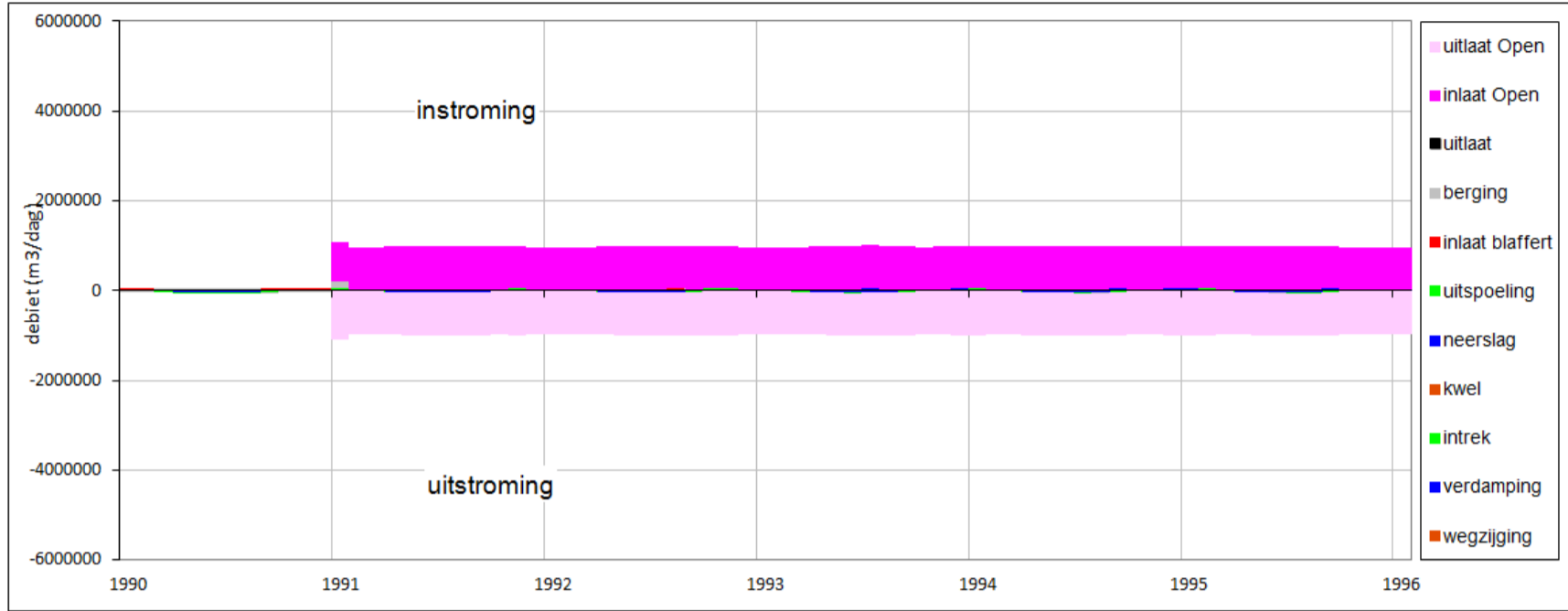
Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):



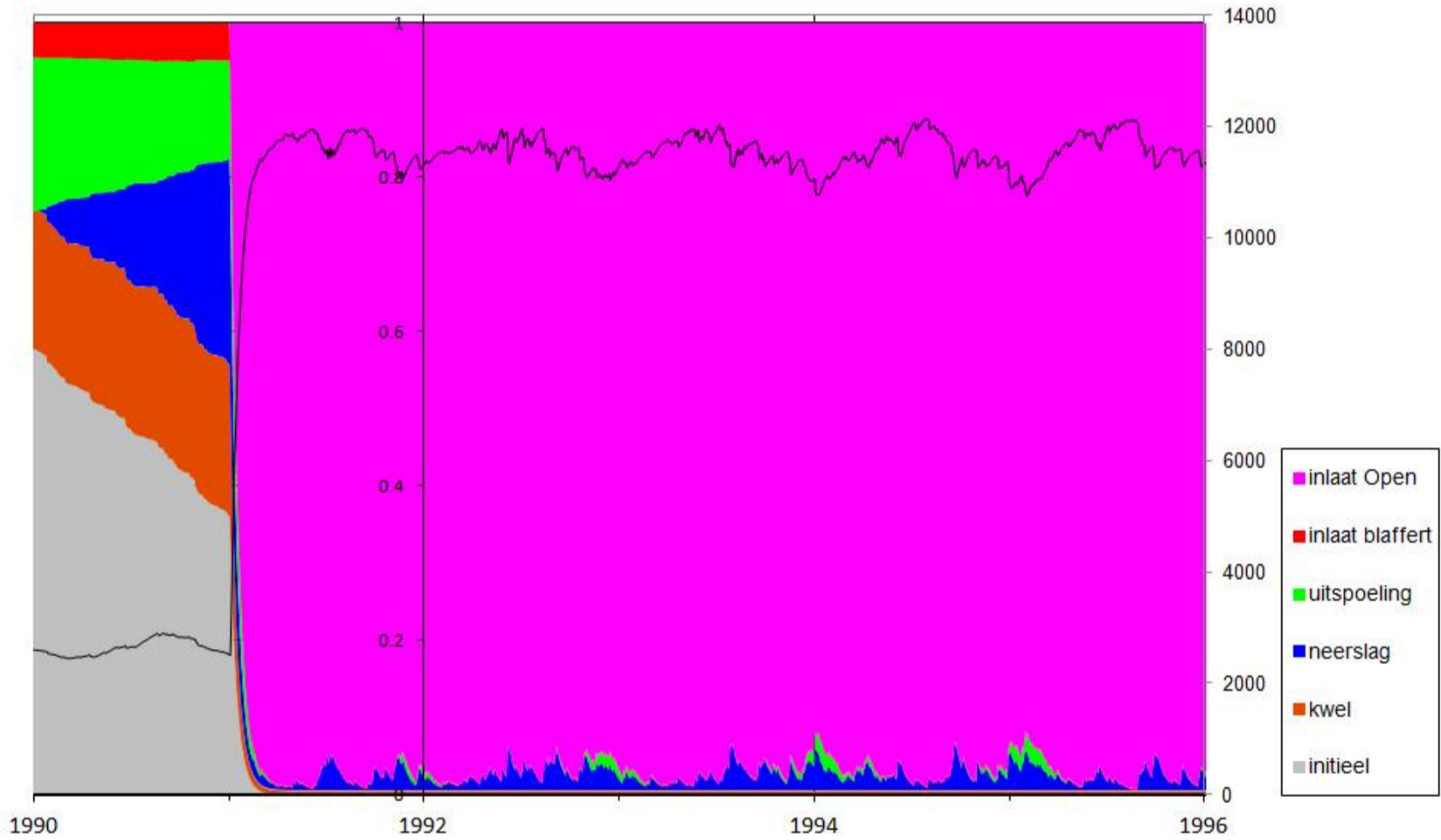


# Markiezaatsmeer - Inlaat Zoommeer via opening (tidal) 20 m<sup>2</sup>

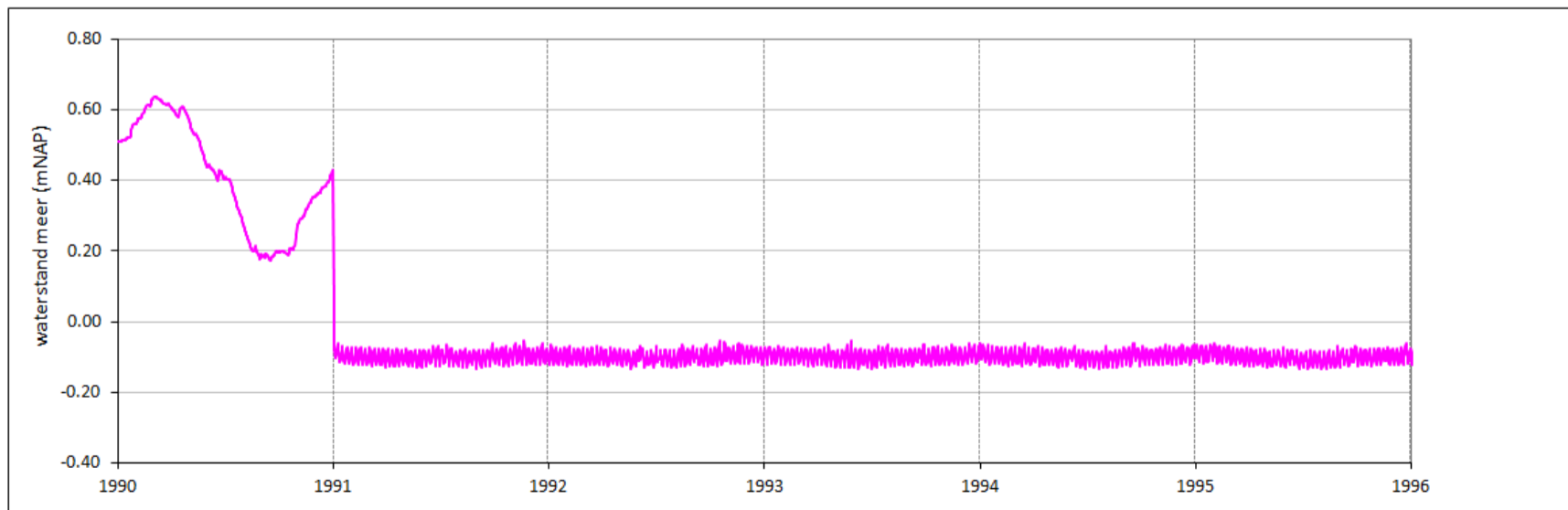
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



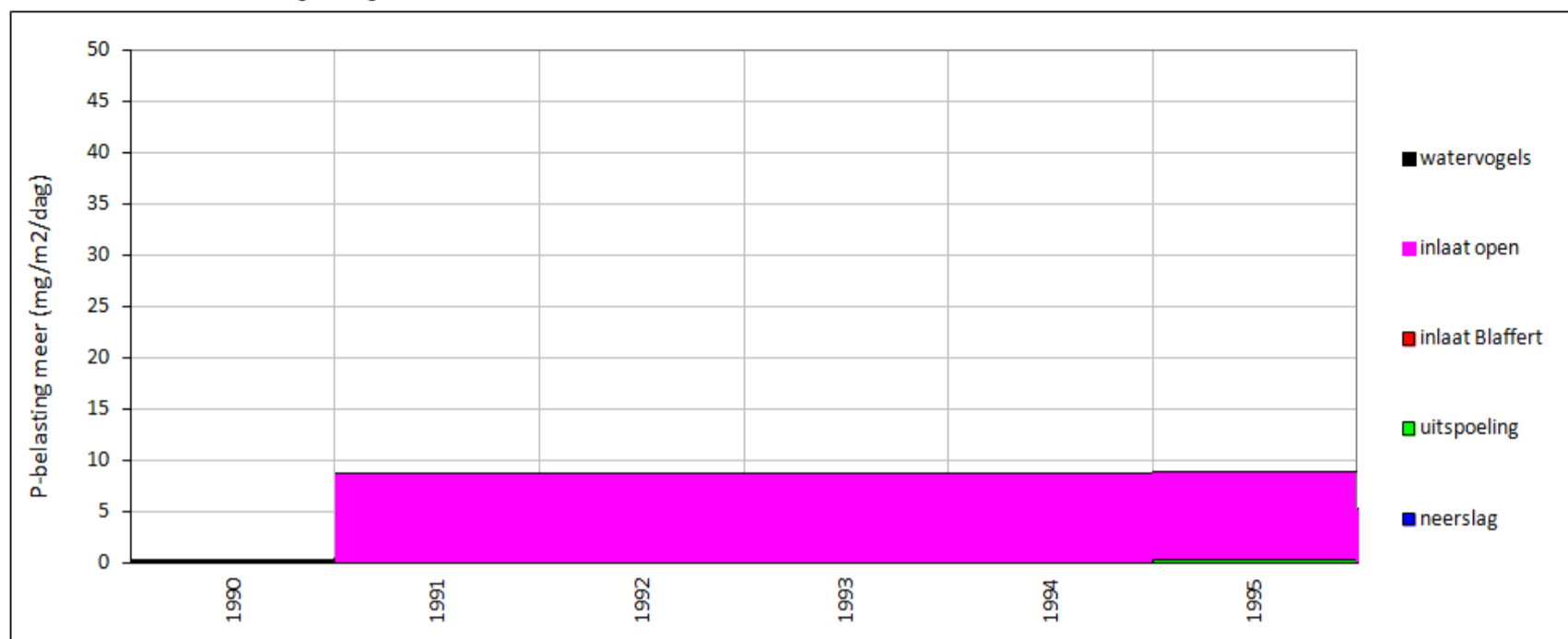
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



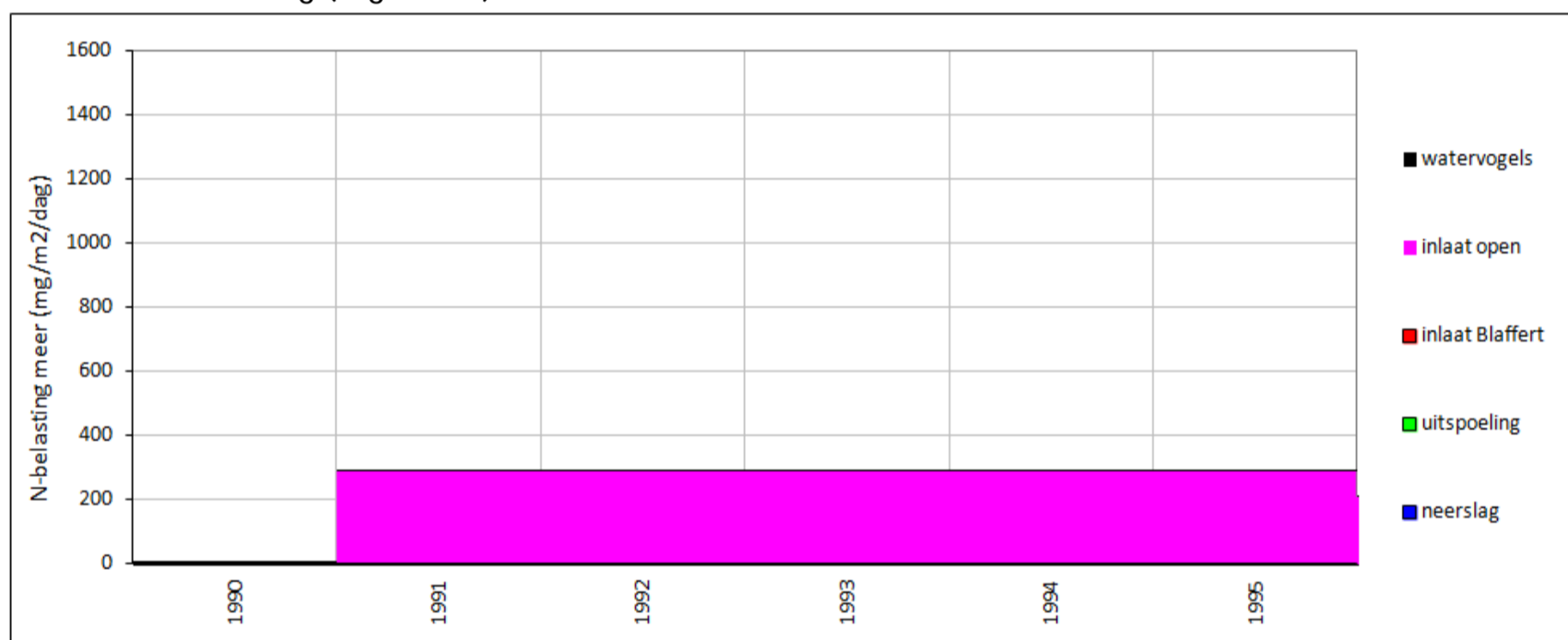
Berekend waterpeil (mNAP):



Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

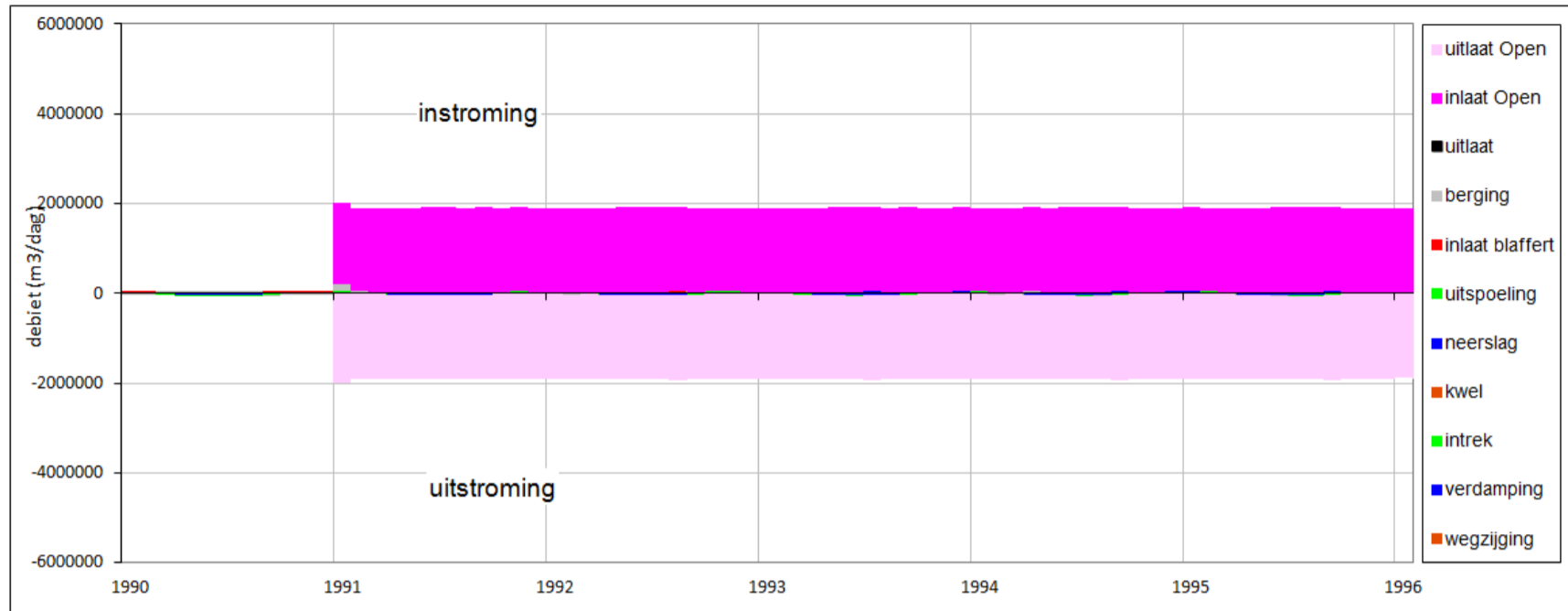


Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

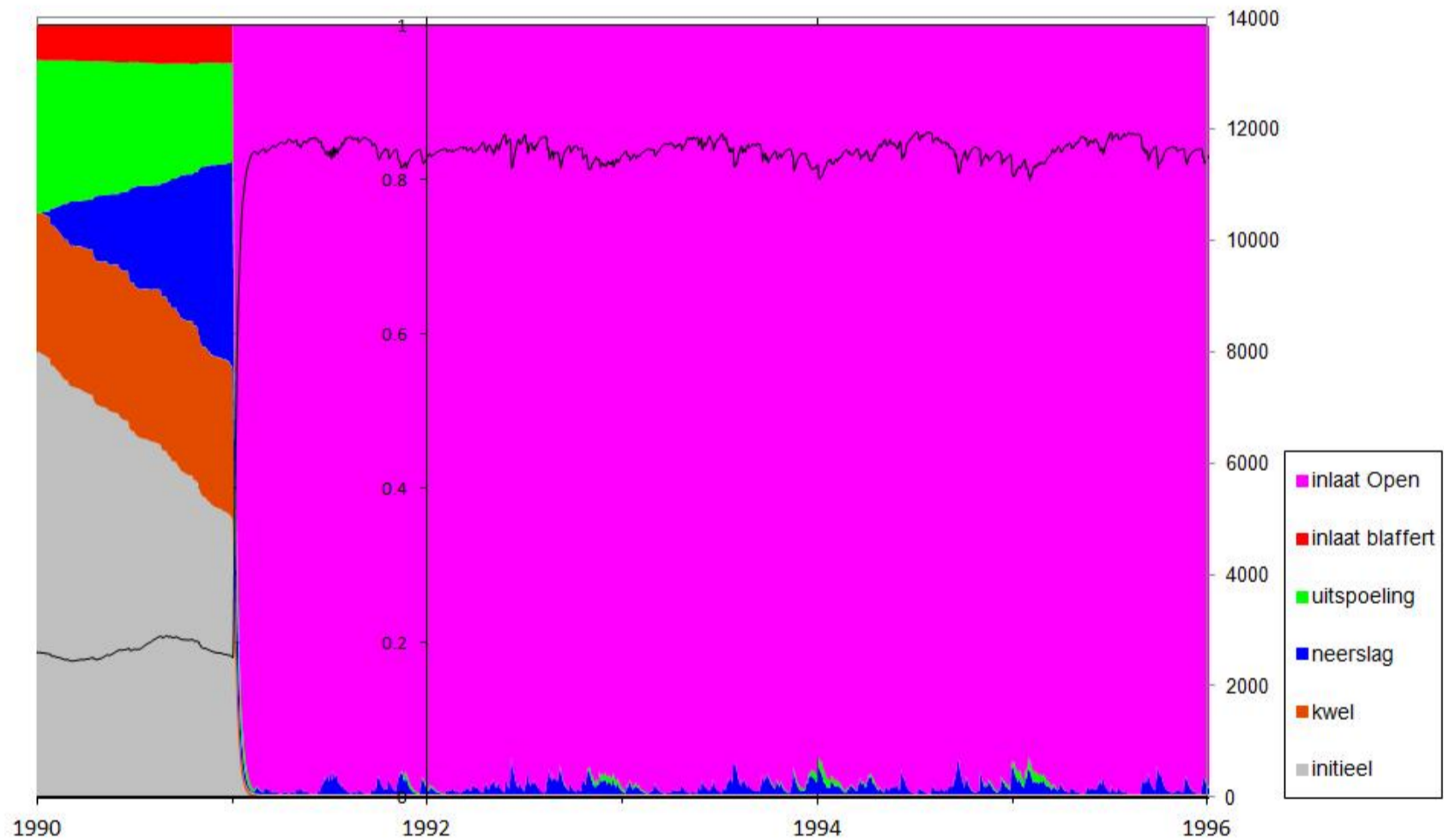


# Markiezaatsmeer - Inlaat Zoommeer via opening (tidal) 40 m<sup>2</sup>

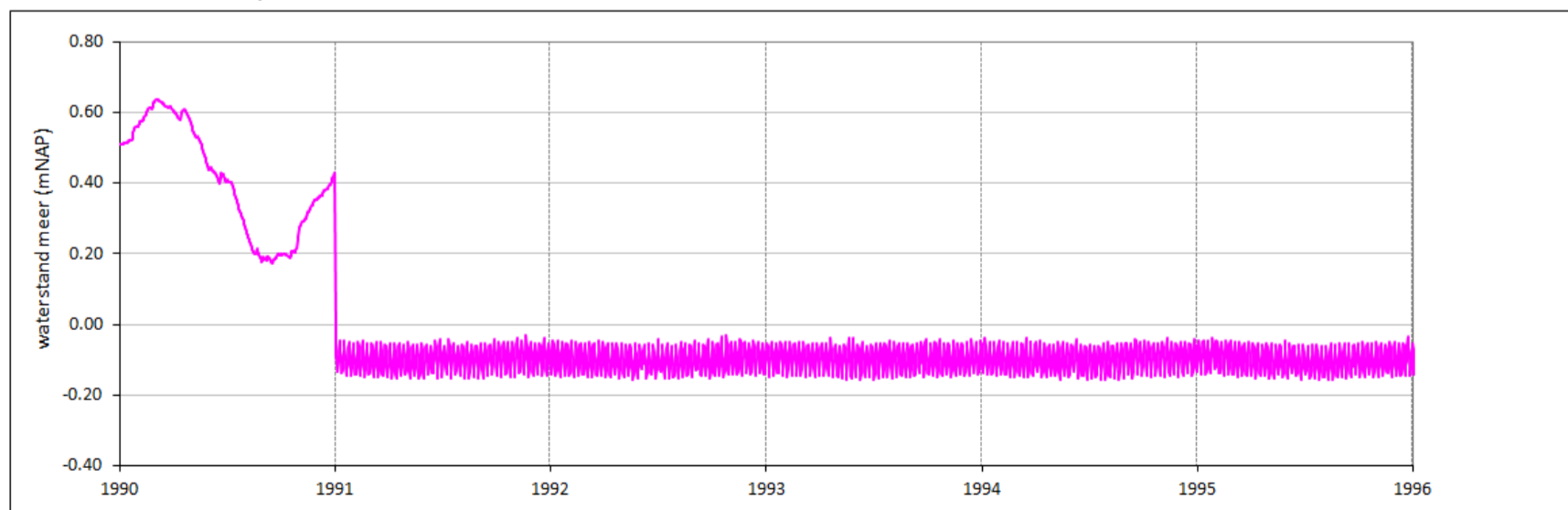
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



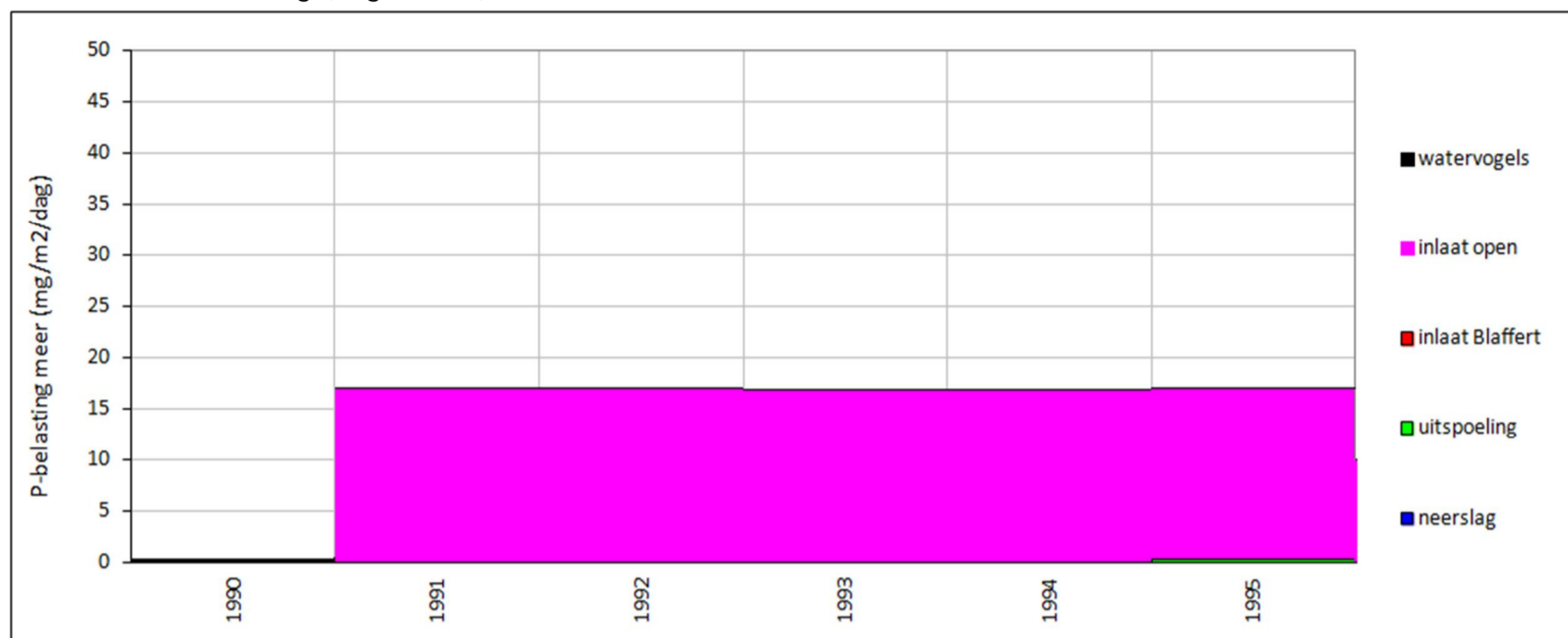
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



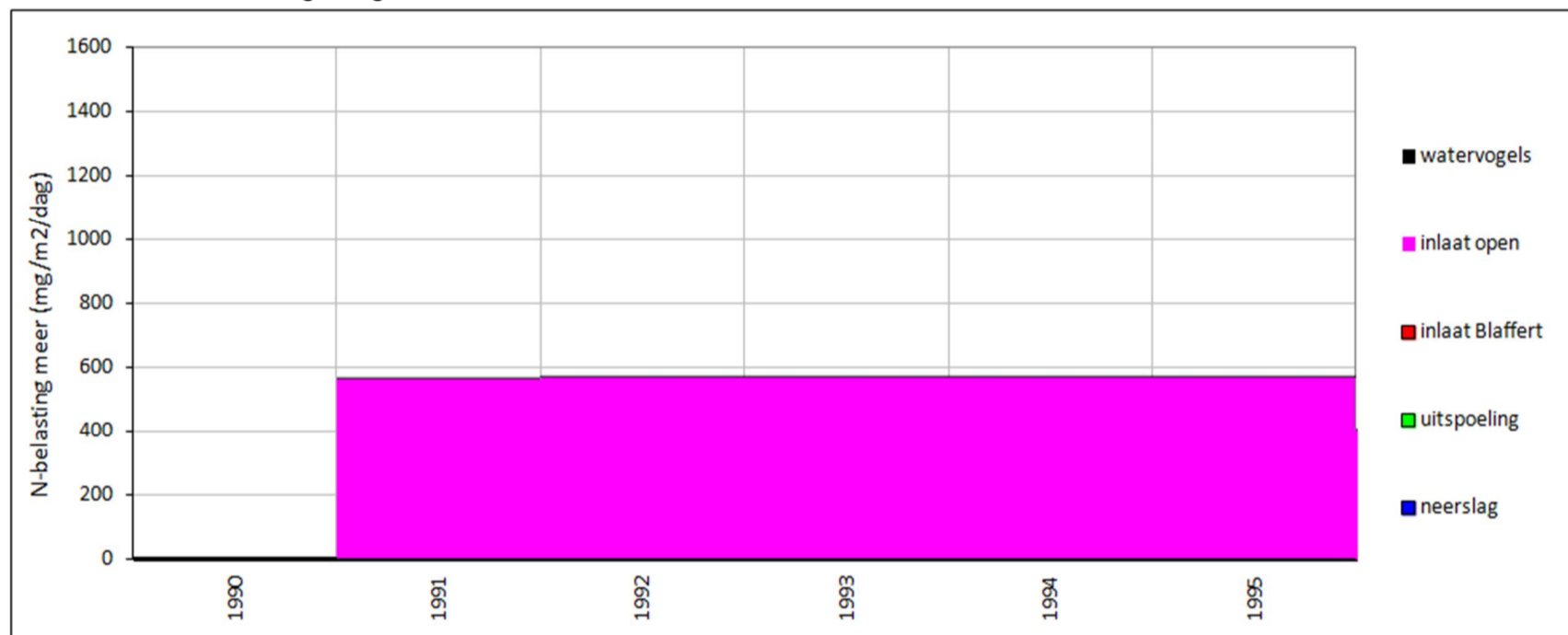
Berekend waterpeil (mNAP):



Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

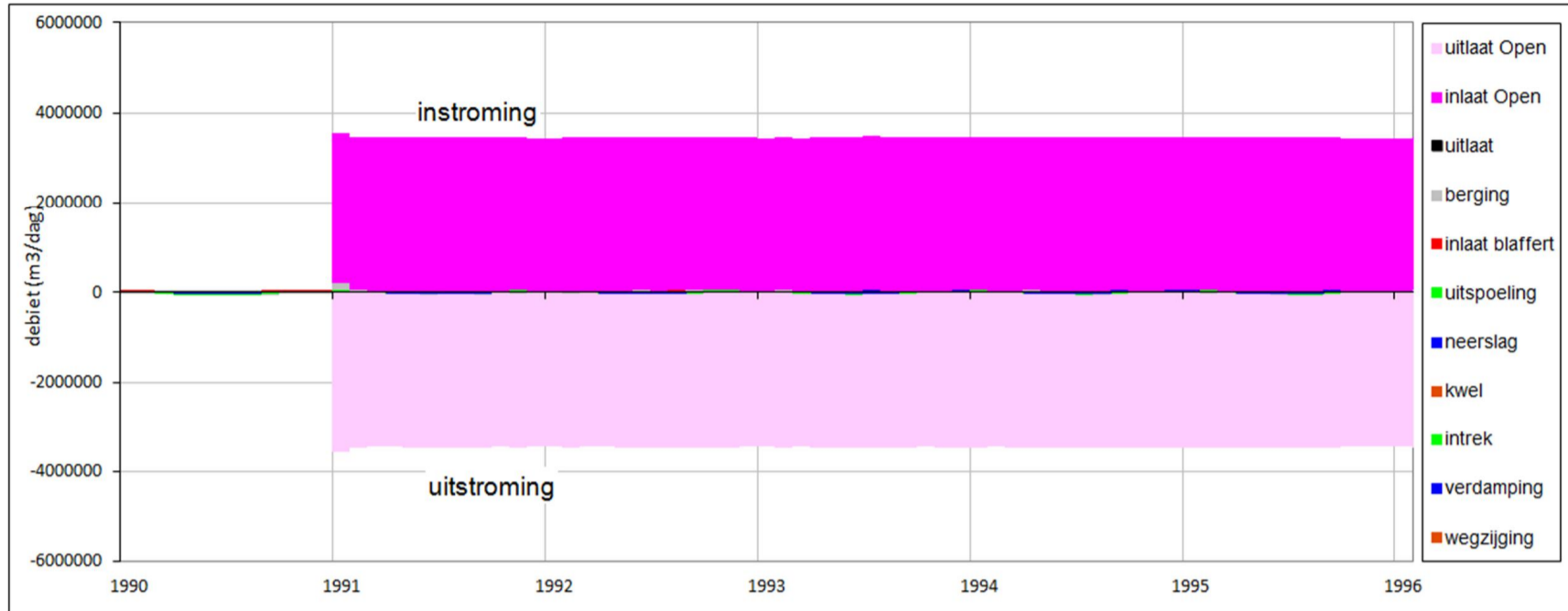


Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

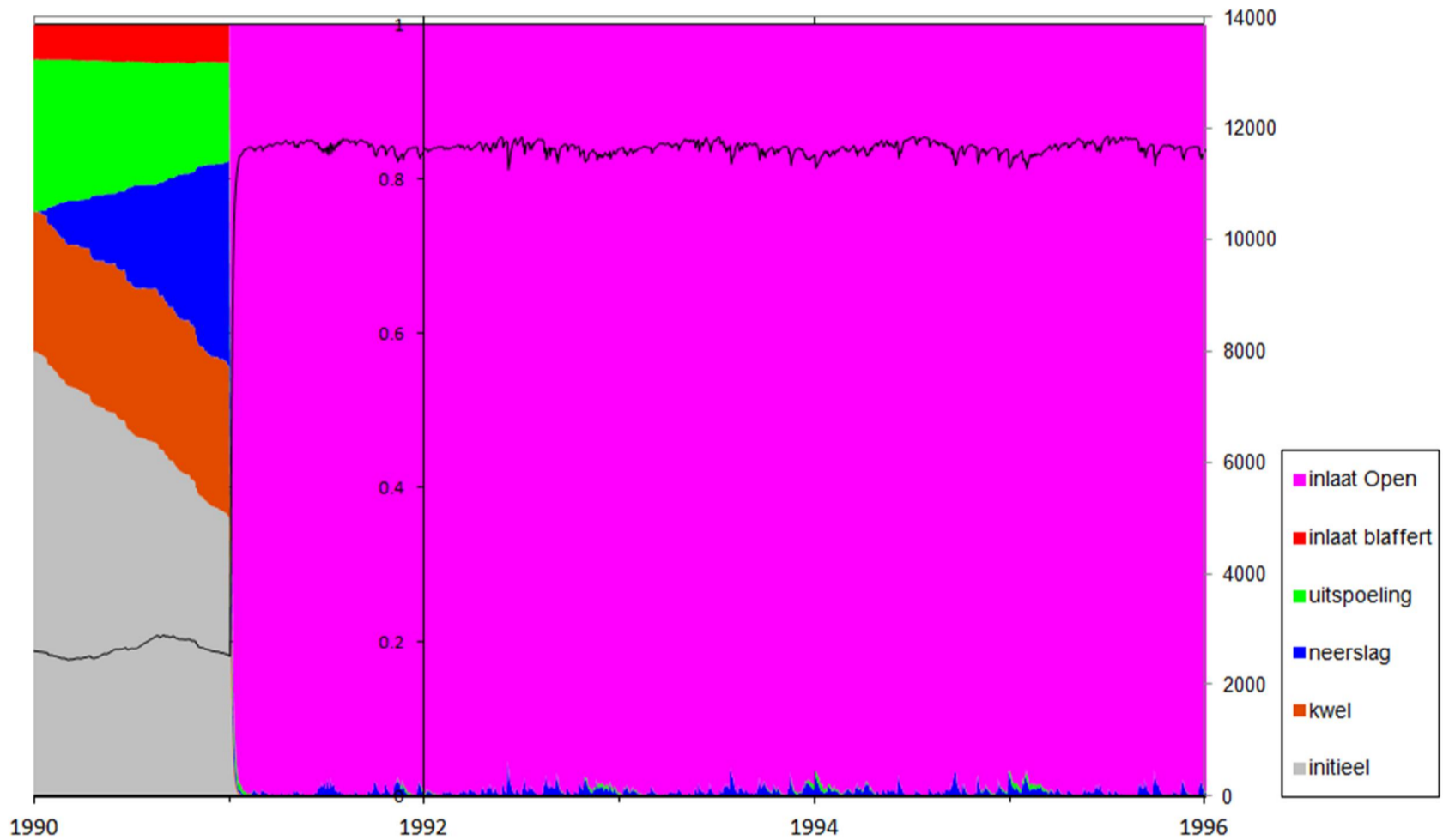


# Markiezaatsmeer - Inlaat Zoommeer via opening (tidal) 80 m<sup>2</sup>

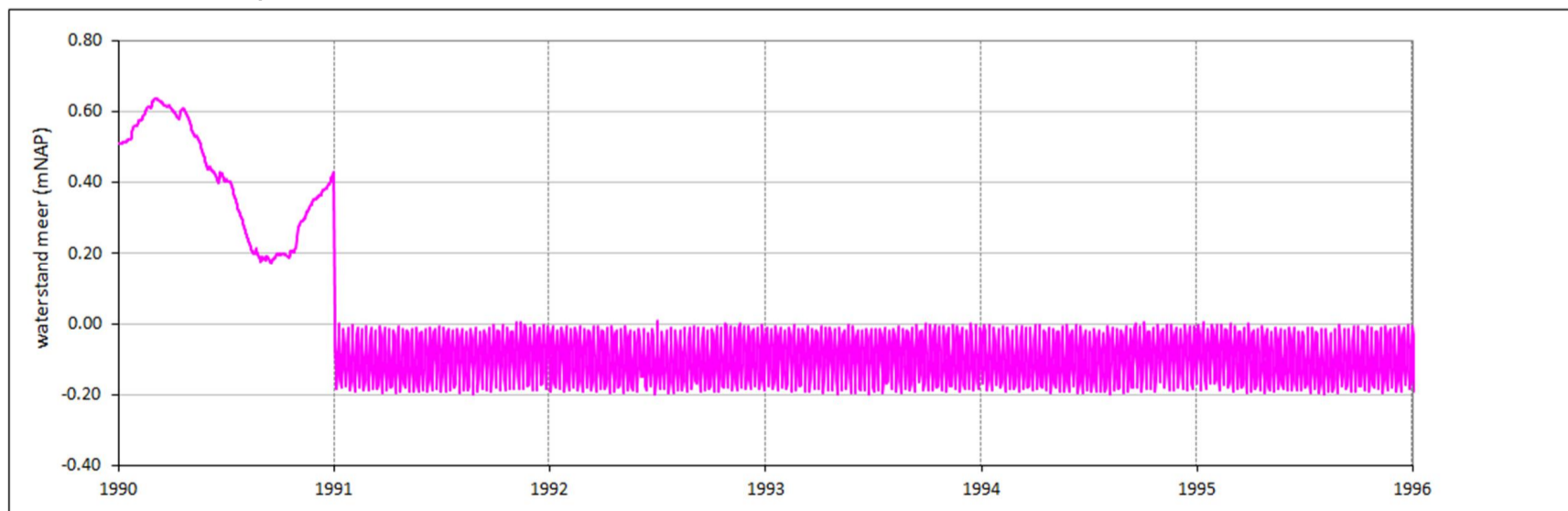
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



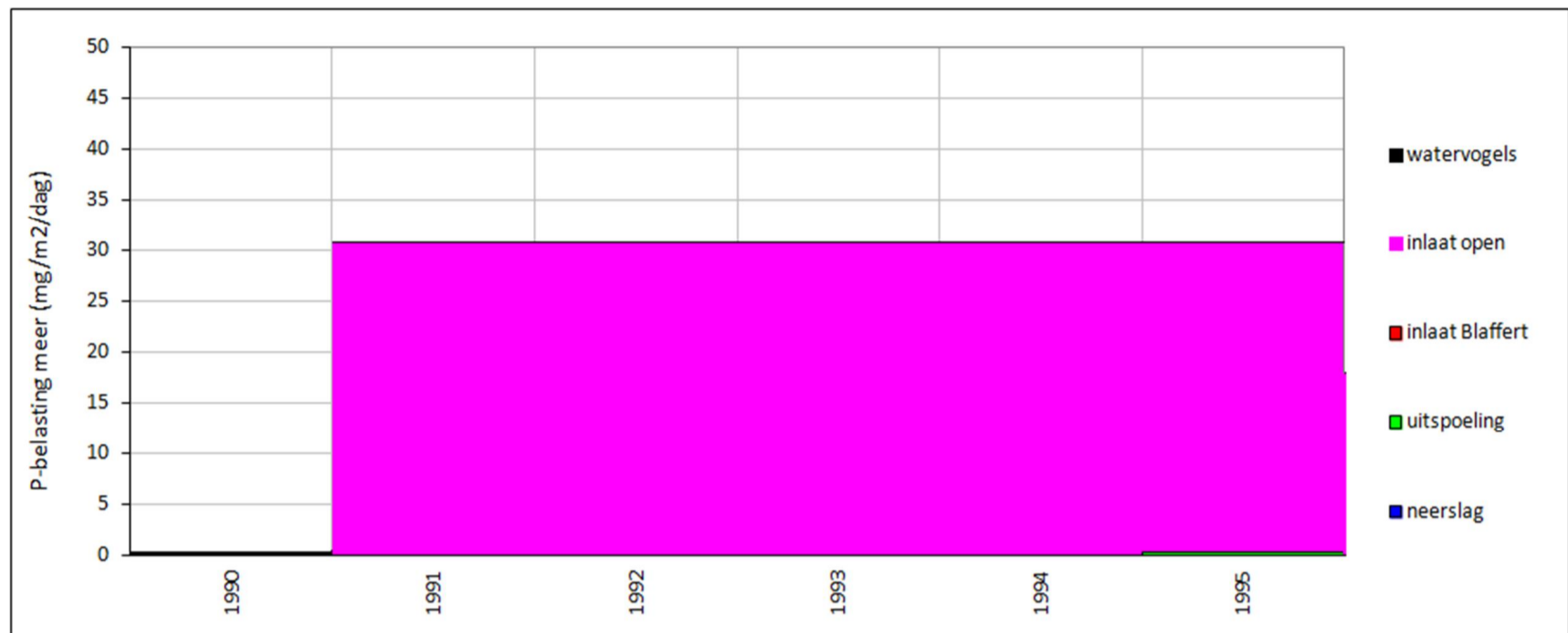
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



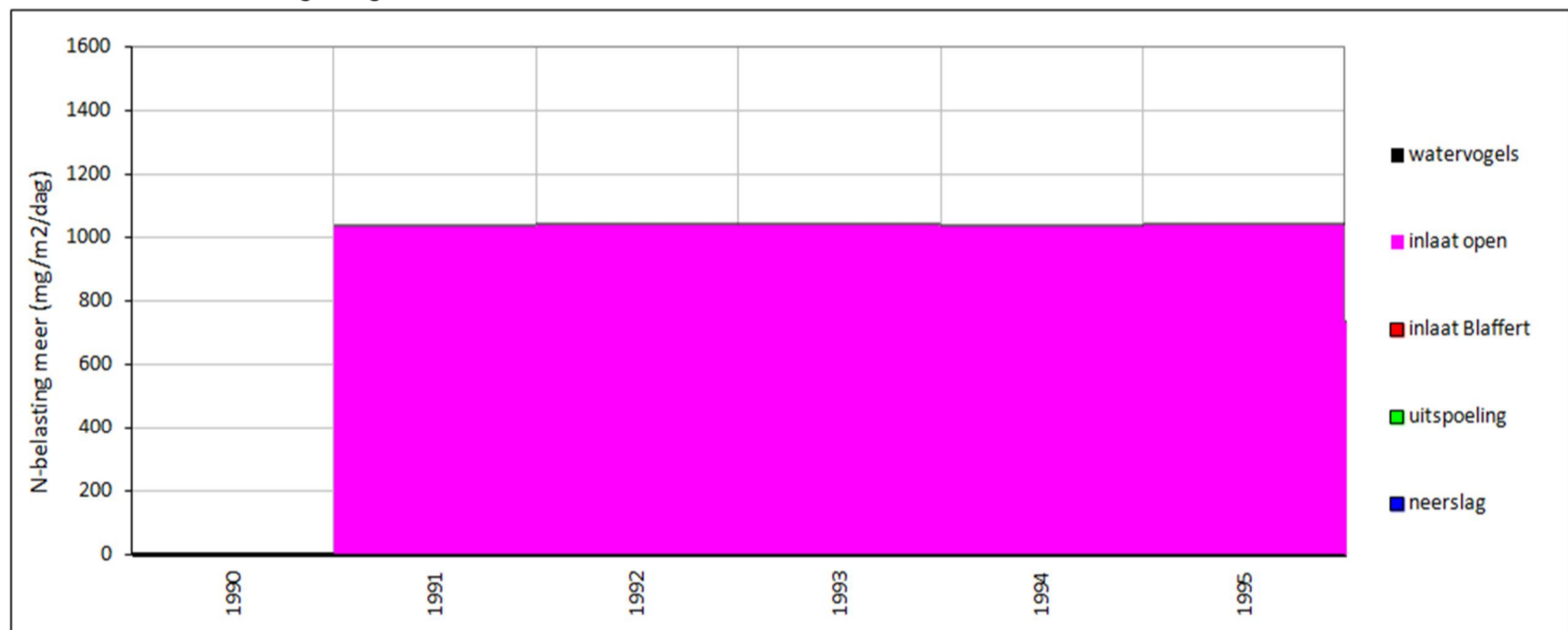
Berekend waterpeil (mNAP):



Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

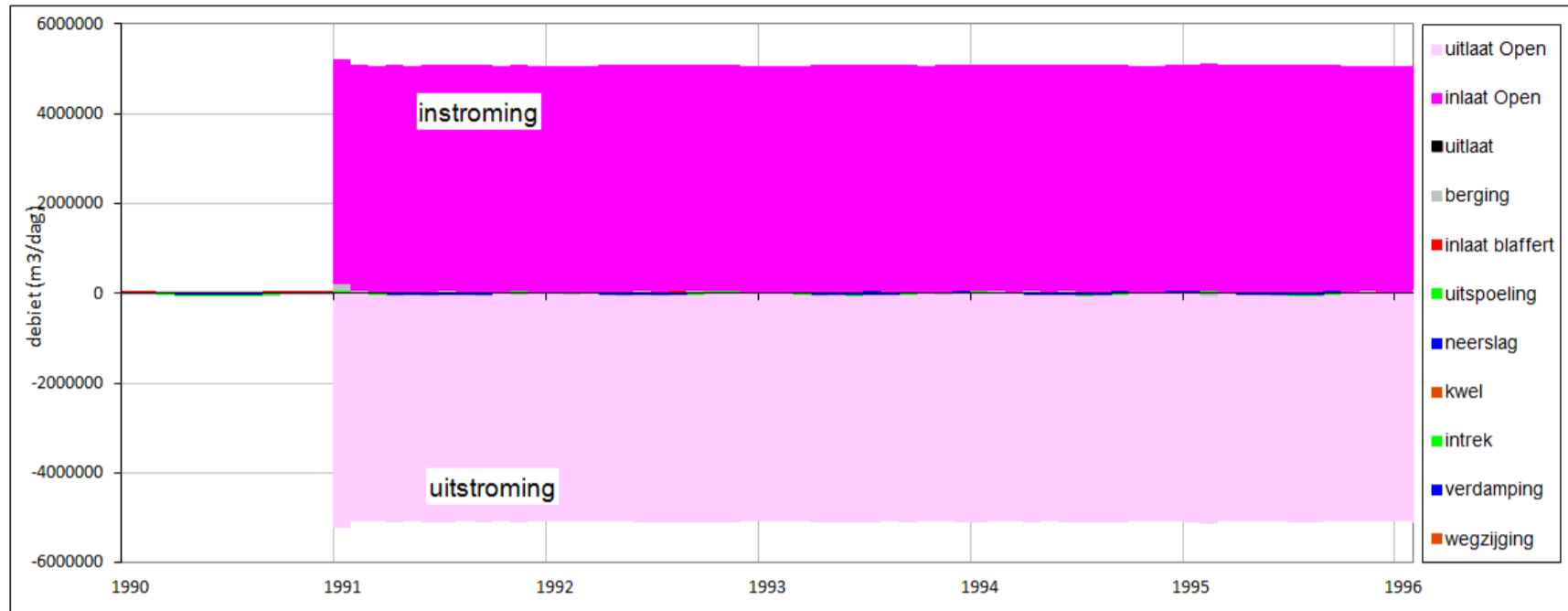


Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

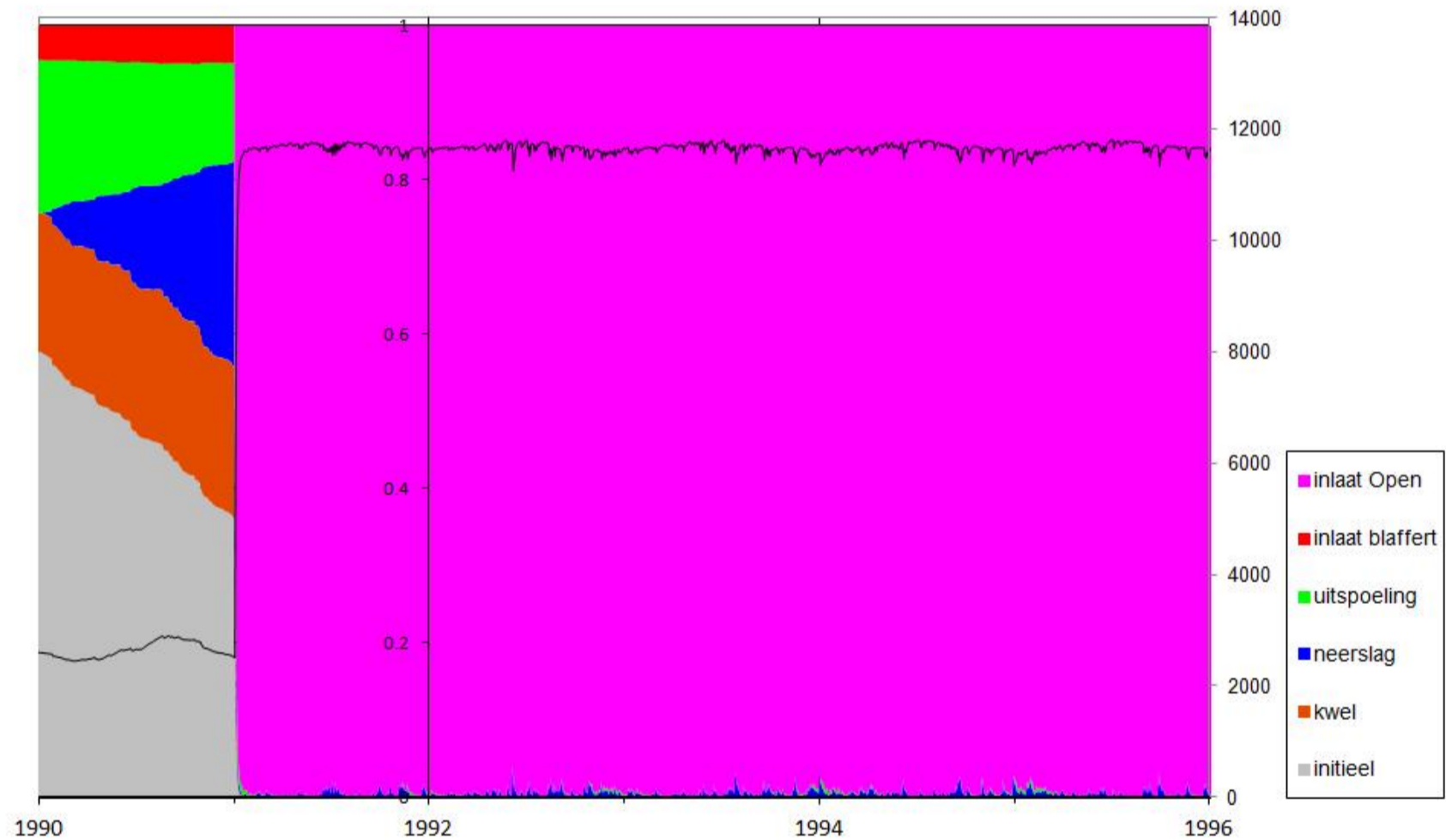


# Markiezaatsmeer - Inlaat Zoommeer via opening (tidal) 200 m<sup>2</sup>

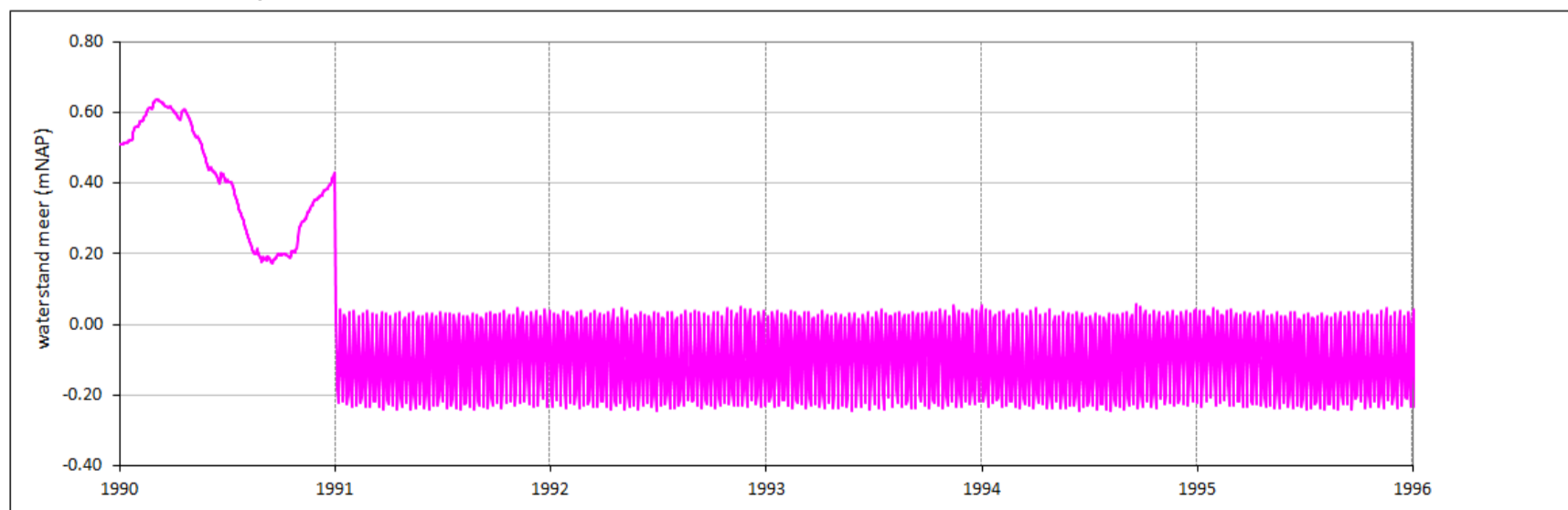
Waterbalans met maandgemiddelde debieten (m<sup>3</sup>/d):



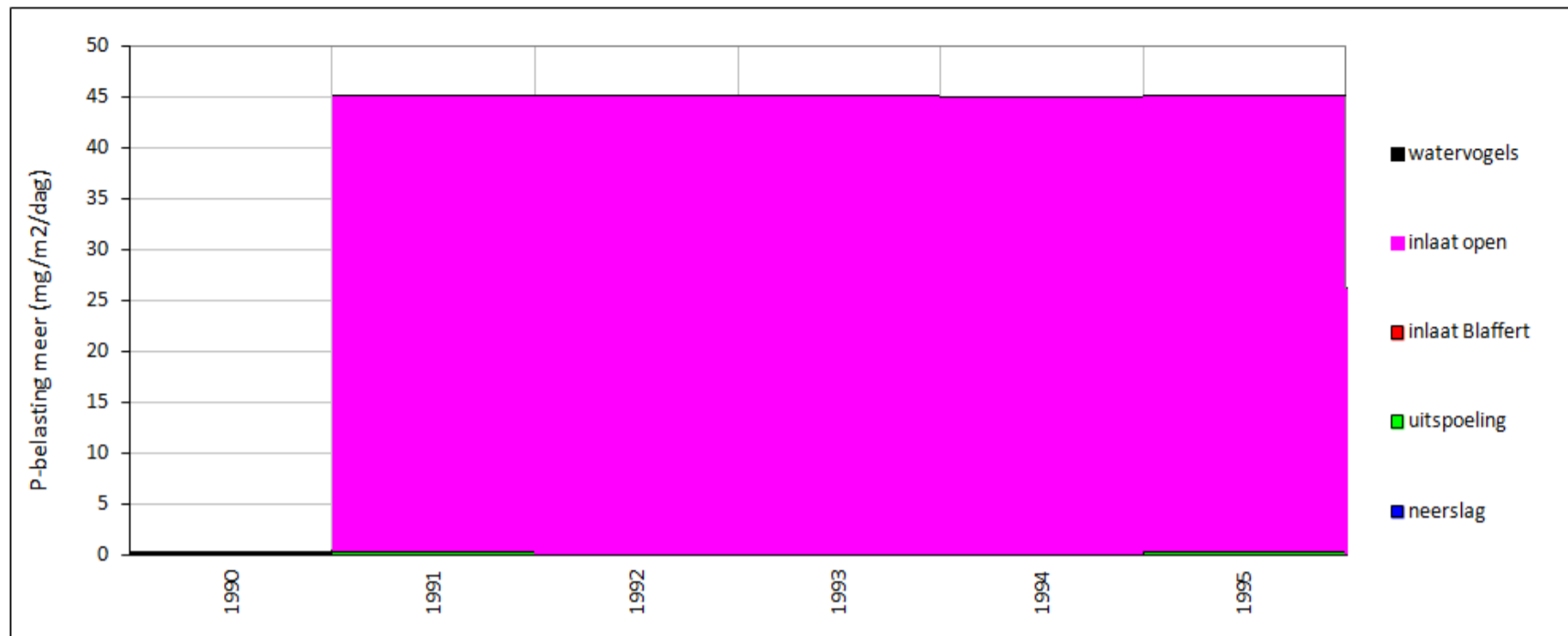
Fractionering waterkolom (-) en berekende chloride-concentratie (mg/l):



Berekend waterpeil (mNAP):



Externe P-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):



Externe N-belasting (mg/m<sup>2</sup>/d):

