

Waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat

Optimalisatieonderzoek zoutmitigerende maatregelen West-Brabant bij een zout Volkerak-Zoommeer


hoofdrapport



**Optimalisatieonderzoek
zoutmitigerende maatregelen
West-Brabant bij een
zout Volkerak-Zoommeer**

hoofdrapport

referentie	projectcode	status
BR585-6/15-019.153	BR585-6	definitief
projectleider	projectdirecteur	datum
dr.ir. R.J. van der Ent	ir. H.J. Mondeel	19 november 2015

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	dr.ir. R.J. van der Ent	

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. INLEIDING	1
1.1. Aanleiding	1
1.2. Doel van de studie	1
1.3. Totstandkoming en inhoud rapport	1
2. MODELLEN EN UITGANGSPUNTEN	3
2.1. Zoutlekmodel Wanda-Locks	3
2.2. Basismodel en modelinstellingen Sobek	5
2.2.1. Gebruikte modules	6
2.2.2. Numerieke aspecten	6
2.2.3. Dispersiecoëfficiënt	6
2.3. Koppeling Wanda-Locks en Sobek	7
2.3.1. Overzicht	7
2.3.2. Wijzigingen in Sobekmodellering van de sluisolk	9
2.4. Bronnen van chloride in het Sobek-model	9
2.4.1. Schuttingen en schutbeheer	9
2.4.2. Overige chloridebronnen	16
2.5. Zoetwateraanvoer en zoetwatervraag polders	16
2.5.1. Zoetwateraanvoer	16
2.5.2. Verziltingsjaren (jaren met een ander afvoerregime)	17
2.5.3. Zoetwatervraag voor 2003	17
2.5.4. Zoetwatervraag 1990 en 1996	18
2.5.5. Zoetwaterinlaten	19
2.6. Samenvatting wijzigingen WandaSobek15 t.o.v. modellering Sobek08	19
3. OVERZICHT ALLE GEMAAKTE BEREKENINGEN	21
4. RESULTATEN WANDA-LOCKS	25
4.1. Inleiding	25
4.2. Effect van IZZS	28
4.3. Effect extra aanvoer / doorspoelen Roode Vaart	30
4.4. Gevoeligheidsanalyse dispersiecoëfficiënt	31
4.5. Andere hydrologie (1990 en 1996)	33
4.6. Bouwstenen geoptimaliseerd spoel- en schutbeheer	34
4.6.1. Schutregime sluisen	34
4.6.2. Vismigratie	35
4.6.3. Spoelen	35
5. RESULTATEN SOBEK EN ANALYSE	37
5.1. Samenvatting	37
5.2. Vergelijking modellering WandaSobek15 en Sobek08	38
5.3. Effect wel/geen IZZS	40
5.4. Effecten doorspoelen met aanvoer via de Roode Vaart	42
5.5. Gevoeligheidsanalyse dispersiecoëfficiënt	46
5.6. Resultaten verschillende zoute jaren	48
5.6.1. Roode Vaart 3,5 m ³ /s	48
5.6.2. Roode Vaart 10 m ³ /s	50
5.7. Convergentie Wanda-Sobek	52
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	55
6.1. Conclusies berekeningen	55

6.2.	Aanbevelingen	56
6.2.1.	Dispersie en gelaagdheid	56
6.2.2.	Beschikbaarheid zoet water via Oosterhout	56
6.2.3.	Bouwstenen schut- en spoelregime	56
6.2.4.	Monitoring	57
6.2.5.	Keuze en toetsing van maatregelpakketten	57

7. REFERENTIES	59
-----------------------	-----------

laatste bladzijde	60
-------------------	----

BIJLAGEN	aantal blz.
I Apart bijlagenboek: modelresultaten zoutindringing	43
II Invoergegevens Wanda-Locks	4
III Met Wanda-Locks berekende saliniteit	7
IV Notitie fysische vs. numerieke dispersie MDV stelsel	10

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding

Als onderdeel van de plannen om de zoetwatervoorziening in de Zuidwestelijke Delta robuuster te maken en het Volkerak-Zoommeer (VZM) weer zout te maken, zijn diverse maatregelen bedacht:

- aanvoer van extra rivierwater vanuit het Hollands Diep via de Roode Vaart naar West-Brabant en Zeeland;
- de Brabantse sluisen voorzien van een zoet-zout scheiding;
- het stroomopwaarts verplaatsen van de meest benedenstroms gelegen zoetwater-innamepunten in het Mark-Dintel-Vlietstelsel.

Deze maatregelen zijn uitgewerkt in de projectnota Waterkwaliteit Volkerak-Zoommeer uit 2012 [DHV, 2012] en onderliggende ontwerpprojecten.

Rijkswaterstaat (RWS) en waterschap Brabantse Delta (WBD) hebben redenen om te veronderstellen dat bovenstaande zoetwater- en zoutmitigerende maatregelen zo geoptimaliseerd kunnen worden dat hier op kan worden bespaard en dus op kosten voor gemalen en aanpassingen aan watergangen etc. Na de proeven op de Stevinsluis en de pilot Krammerjachtensluis met het innovatieve zoet-zout scheidingsstelsel (IZZS) gaan RWS en WBD ervan uit dat de effectiviteit van het IZZS groter is dan waar eerder rekening mee is gehouden, mits de juiste combinatie van maatregelen wordt toegepast.

1.2. Doel van de studie

Het onderzoek naar de optimalisatie betreft het in beeld brengen van de gevolgen van de grotere effectiviteit van de zoet-zout-scheidingen in de Brabantse sluisen (zoals deze zijn uitgewerkt in de genoemde projectnota) voor de zoutgehalten in het Mark-Dintel-Vlietstelsel.

De hoofddoelen van het optimalisatieonderzoek zijn:

- a. kwantificering van de zoutindringing via de schutsluisen bij toepassing van de componenten van het IZZS, zoals uitgewerkt in de projectnota (2012): bellenschermen in de Manderssluis en Benedensas en in de Manderssluis tevens een vaste drempel;
- b. kwantificering van de verspreiding van zout in het Mark-Dintel-Vlietstelsel onder verschillende hoeveelheden zoetwateraanvoer via de Roode Vaart;
- c. vaststellen van bouwstenen voor een geoptimaliseerd schut- en spoelbeheer, mede met het oog op vismigratie via de schutsluisen;
- d. in beeld brengen van optimalisatiekansen voor het ontwerp.

Op basis van de resultaten van a tot en met c moeten de vragen beantwoord kunnen worden in hoeverre minder zoetwateraanvoer (en daarmee minder gemalcapaciteit) nodig is dan tot nu toe is aangehouden en/of de meest benedenstroomse inlaatpunten wel of niet ongemoeid gelaten kunnen worden (punt d).

1.3. Totstandkoming en inhoud rapport

Dit rapport is het resultaat van een gezamenlijke studie van Witteveen+Bos en Deltares. Witteveen+Bos heeft zich (in opdracht van WBD) gericht op het Mark-Dintel-Vliet stelsel op basis van berekeningen met Sobek. Deltares heeft zich (in opdracht van Rijkswaterstaat) gericht op de sluisen op basis van berekeningen met Wanda-Locks. Tussen deze 2 modellen is een iteratieve koppeling gemaakt. Dit rapport beschrijft de resultaten van de laatste

iteratie (dat wil zeggen: 2^e ronde Wanda-Locks berekeningen en 3^e ronde Sobek-berekeningen). De tussenresultaten zijn niet relevant omdat de randvoorwaarden tussen Wanda en Sobek pas in deze laatste iteratie geconvergeerd zijn.

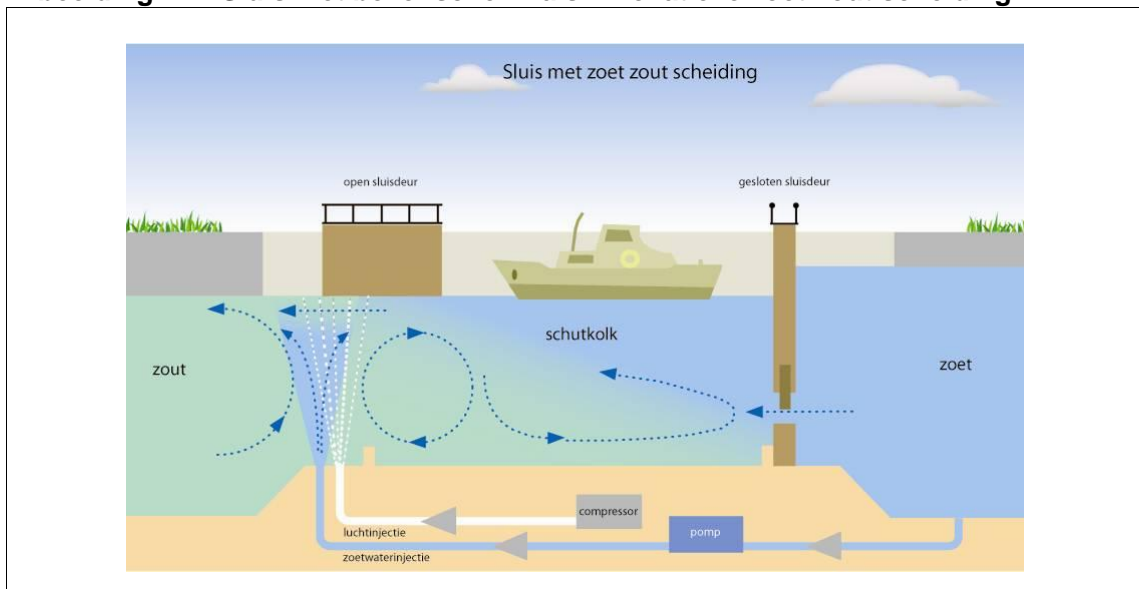
2. MODELLEN EN UITGANGSPUNTEN

In de berekeningen is gebruik gemaakt van een Wanda-Locks-model voor de kwantificering van het zoutlek in de Manderssluis en Benedensas en van een Sobek-model voor de kwantificering van de zoutverspreiding in het Mark Vliet Dintel stelsel. Onderstaande paragrafen gaan in op de modellen en de gebruikte uitgangspunten en invoergegevens.

2.1. Zoutlekmodel Wanda-Locks

Tijdens het onderzoek rond het zoutlek bij de Krammersluizen is besloten om het Zoutlekmodel onder te brengen in Wanda: het 1D-modelsysteem van Deltares voor het beschrijven van dynamisch gedrag van water in leidingsystemen. Elementen als rielen en schuiven zijn evident onderdelen van leidingsystemen, maar ook reservoirs (sluiskolk, voorhavens etc.) zijn goed te beschrijven in Wanda. Zie ook [Deltares, 2015]. De implementatie van het Zoutlekmodel in Wanda is bekend als Wanda-Locks, en beschreven in de manual van Wanda-Locks [Deltares, 2014]. Wanda-Locks is succesvol toegepast voor de Stevinsluizen en de Krammersluizen.

Afbeelding 2.1. Sluis met bellenscherm als innovatieve zoet-zout scheiding



In Wanda-Locks kan onder andere het effect worden berekend van een bellenscherm in de schutkolk op de zoutbelasting van het achterland. Afbeelding 2.1 geeft dit schematisch weer. Een dergelijk bellenscherm vormt het belangrijkste onderdeel van een IZZS: innovatieve zoet-zoutscheiding. In de huidige studie is het effect van de mogelijke aanleg van een IZZS bij de Manderssluis en Benedensas geanalyseerd.

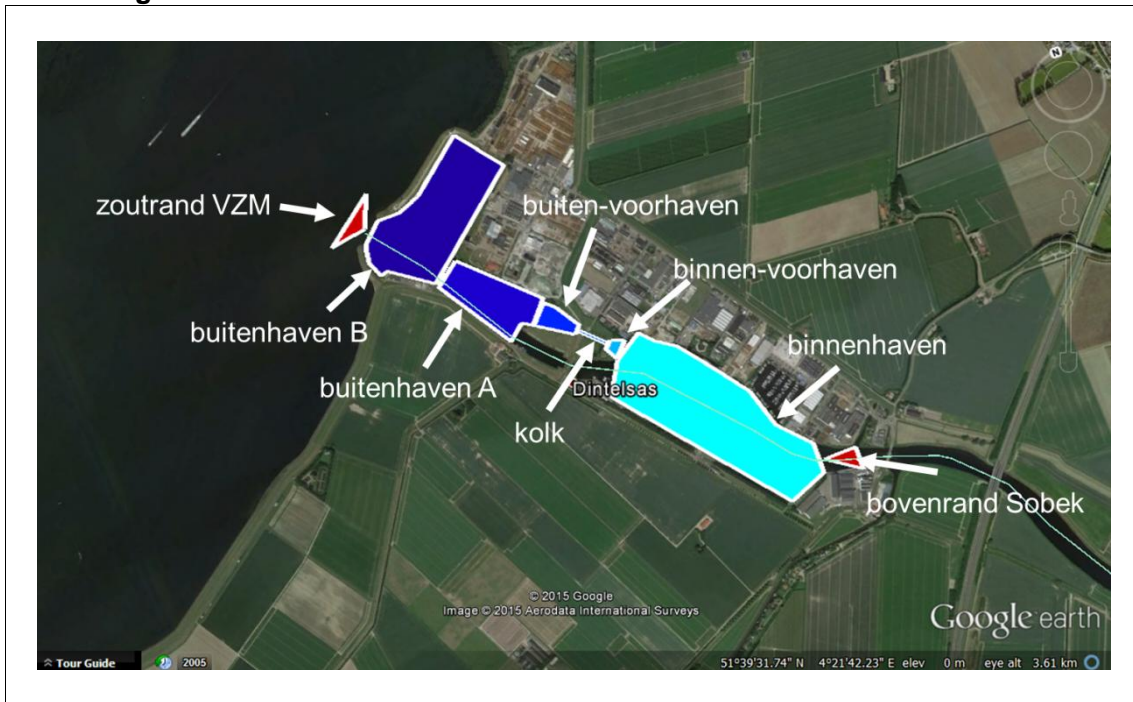
Voor het huidige optimalisatieonderzoek is een Wanda-Lockstoepassing opgesteld voor de Manderssluis (in de Dintel, nabij Dinteloord) en Benedensas (in de Steenbergse Vliet, nabij De Heen). Zie onderstaande afbeelding 2.2 en afbeelding 2.3. In beide Wanda-Locks-schematisaties onderscheiden we de volgende elementen:

- buitenhaven (voor Dintelsas is onderscheid gemaakt in buitenhaven A en B);
- buiten-voorhaven;
- kolk;
- binnen-voorhaven;
- binnenhaven.

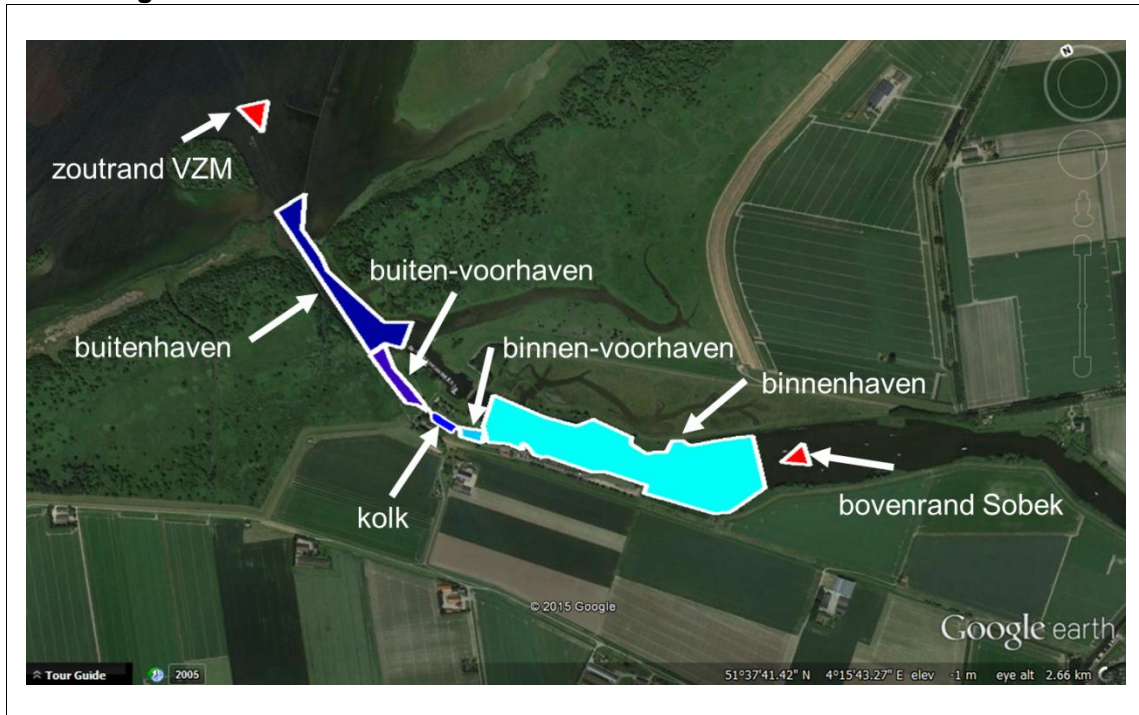
Daarnaast is voor de berekening met Wanda-Locks de zoete bovenrand (op de rivieren) en de zoute benedenrand op het Volkerak-Zoommeer van belang. De gegevens voor de zoete bovenrand worden berekend met Sobek; voor de zoute benedenrand zijn aannamen gedaan op basis van literatuur.

Onderstaande afbeeldingen geven de ligging van de elementen in de Wanda-Locksschematisaties aan. Bijlage II geeft in detail de instellingen die zijn gebruikt voor de berekeningen met Wanda-Locks.

Afbeelding 2.2. Wanda-Locks schematisatie Dintelsas



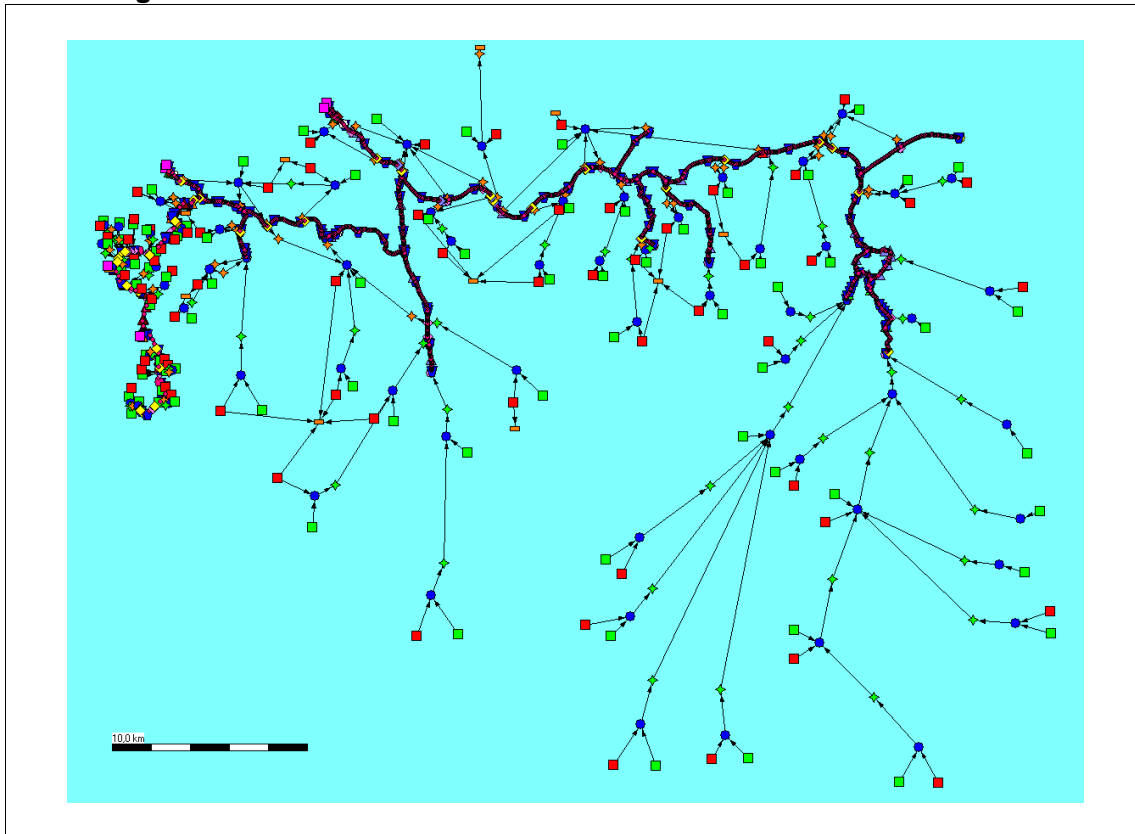
Afbeelding 2.3. Wanda-Locks schematisatie Benedensas



2.2. Basismodel en modelinstellingen Sobek

Als basis voor de berekeningen is het door Witteveen+Bos opgestelde Sobek-model uit 2008 gebruikt [Witteveen+Bos, 2008]. Hierna wordt aan dit model gerefereerd als Sobek08. Dit model omvat het Mark-Dintel-Vlietstelsel, uitwisseling met de West-Brabantse polders en aanvoer uit het vrij afwaterende gebied en een waterkwaliteitsmodule voor de zoutindringing. In 2010 is dit model uitgebreid met de PAN-polders [Witteveen+Bos, 2010], hierna wordt aan dit model gerefereerd als Sobek10. Tevens zijn er spreadsheetberekeningen gemaakt voor de watervraag van de West-Brabantse polders rondom het MDV-stelsel en de PAN-polders, alsmede Tholen en St. Philipsland. Echter is in Sobek10 niet met de waterkwaliteitsmodule gerekend. Voor dit onderzoek worden beide modellen en studies gecombineerd. Tevens wordt de Sobekmodellering gekoppeld aan Wanda-Locks [Deltares, 2014] dat het zoutlek door de sluisen tot in detail bestudeert. Hierna wordt aan deze modellering gerefereerd als WandaSobek15. Het Sobek-model wordt weergegeven in afbeelding 2.4.

Afbeelding 2.4. Sobek RR-CF-WQ model



2.2.1. Gebruikte modules

Het hier gebruikte model (afbeelding 2.4) bevat de modules rainfall-runoff (RR), channel flow (CF), en water quality (WQ). Het waterkwaliteitsmodel is in [Witteveen+Bos 2008] gekalibreerd op de jaren 2003 en 2006 door aanpassing van 2 parameters:

- aanpassen chlorideconcentratie Visvliet en Nassaupolder;
- aanpassen doorspoeldebieten polders.

Voor alle kalibratieresultaten en een uitgebreide modelbeschrijving wordt verwezen naar [Witteveen+Bos, 2008]. Het huidige model (WandaSobek15) is niet aanvullend gekalibreerd.

2.2.2. Numerieke aspecten

In het model is een ruimtelijk rekengrid van 50 m aangehouden en een rekestijdstap van 5 minuten. In de waterkwaliteitsmodule in WandaSobek15 is een rekestijdstap van 30 seconden aangehouden. Het gebruikte numerieke rekenschema is 'fully implicit iterative method'. Deze methode garandeert positieve uitkomsten en stabiliteit en rekest sneller dan het andere volledige impliciete rekenschema dat beschikbaar is.

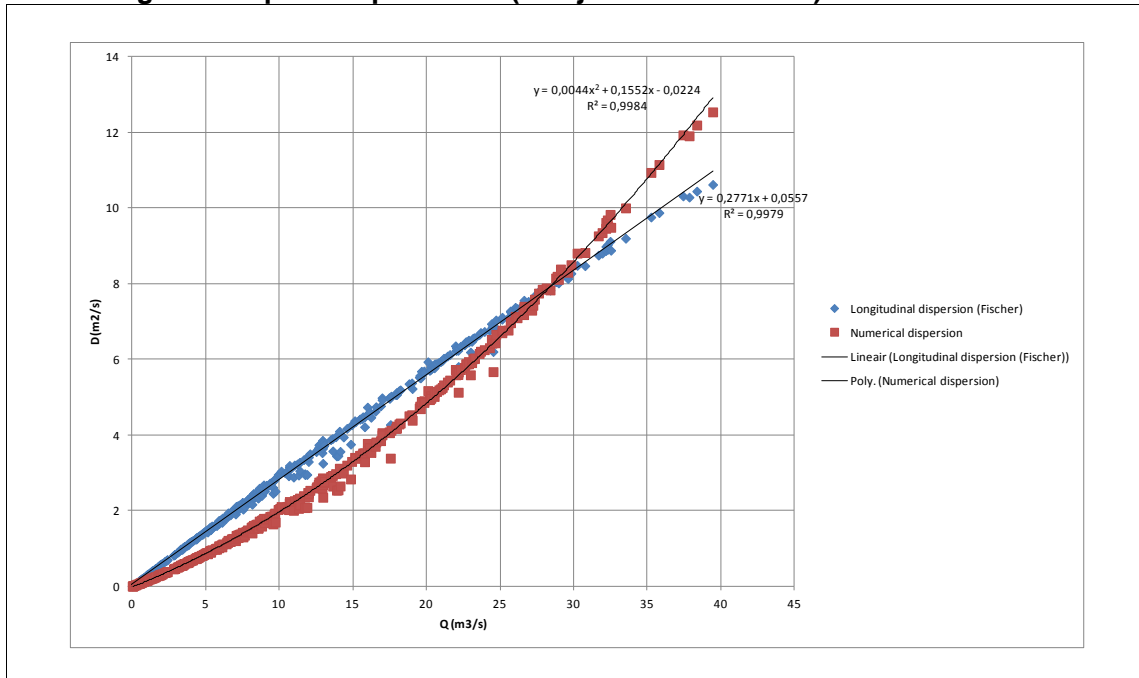
2.2.3. Dispersiecoëfficiënt

In Sobek08 is over het hele model gerekend met een fysische dispersiecoëfficiënt van $3 \text{ m}^2/\text{s}$. Afhankelijk van de stroomsnelheid komt hier numerieke dispersie bij. Deze dispersiecoëfficiënt is echter een onzekere factor. In de voor dit project opgestelde notitie 'fysische en numerieke dispersie MDV stelsel' [bijlage IV, Witteveen+Bos, 2015] is de

dispersiecoëfficiënt aan nader onderzoek onderworpen. Deze notitie is opgenomen in bijlage IV. In afbeelding 2.5 is een voorbeeld weergegeven van de dispersie in een typische dwarsdoorsnede van de Mark (nabij Standdaarbuiten). Hierin valt te zien dat de fysische dispersie volgens [Fischer et al. 1979] lineair en de numerieke dispersie kwadratisch afhankelijk is van de stroomsnelheid (met $v=Q/A$). Voor het beschouwde typische dwarsprofiel zijn de beide componenten orde-grootte vergelijkbaar. Bij een smaller dwarsprofiel heeft de numerieke dispersie de overhand. Door de numerieke dispersie van de Fischer-dispersie af te trekken kan de aan het model op te leggen fysische dispersie worden bepaald. Bij een fysische dispersiecoëfficiënt van $1 \text{ m}^2/\text{s}$ plus de numerieke dispersie is er weinig afwijking ten opzichte van de Fischer-dispersie bij een typische dwarsdoorsnede. Op basis van afbeelding 2.5 is deze lager dan $3 \text{ m}^2/\text{s}$.

Hier moet echter wel bij aangetekend worden dat dispersie ten gevolge van dichtheidsstroming nog buiten beschouwing is gelaten. Om de gevoeligheid van het model te bepalen voor deze dispersiecoëfficiënt worden 2 sommen gemaakt met een dispersiecoëfficiënt van respectievelijk 10 en $20 \text{ m}^2/\text{s}$.

Afbeelding 2.5. Dispersie op de Mark (nabij Standdaarbuiten)



2.3. Koppeling Wanda-Locks en Sobek

2.3.1. Overzicht

In afbeelding 2.6 is schematisch weergegeven hoe de koppeling tussen Wanda-Locks en Sobek is gerealiseerd voor Benedensas en Dintelsas. De onderste helft van de afbeelding geeft (in blauw) het Sobek-model. In het Sobek-model is het volledige sluiscomplex (dus zowel de schutsluis als de spuisluis) gemodelleerd. De 2 sluizen zijn aangegeven met een groene driehoek; de paarse vierkanten geven de rand met het Volkerak-Zoommeer weer. De rekenpunten zijn aangegeven met cirkels; de rode ruit wordt onderstaand toegelicht.

In Wanda-Locks (het bovenste deel van de afbeelding, in rood) is alleen de schutsluis gemodelleerd, om het zoutlek te berekenen. Er wordt onderscheid gemaakt in het

Wanda-model tussen de buitenhaven, de buitenvoorhaven, de kolk (de feitelijke schutsluis dus), de binnenvoorhaven en de binnenhaven. Zie ook afbeelding 2.2 en afbeelding 2.3.

De resultaten van Wanda-Locks vervangen de resultaten van Sobek voor wat betreft de berekening van het zoutlek van de schutsluis. Dit deel is in afbeelding 2.6 donkerrood aangegeven voor Wanda-Locks en lichtblauw voor Sobek. De resultaten van de Wanda-Locks-berekening voor de binnenvoorhaven (lichtrood) worden vervangen door de resultaten van Sobek. Voor de spuisluis zijn de resultaten van Sobek leidend (donkerblauw).

In het overlappende gedeelte worden de grootheden debiet (Q), waterstand (H) en chloride (Cl) door beide modellen berekend. In afbeelding 2.6 worden alleen de grootheden benoemd op de plekken waar die tussen beide modellen worden uitgewisseld.

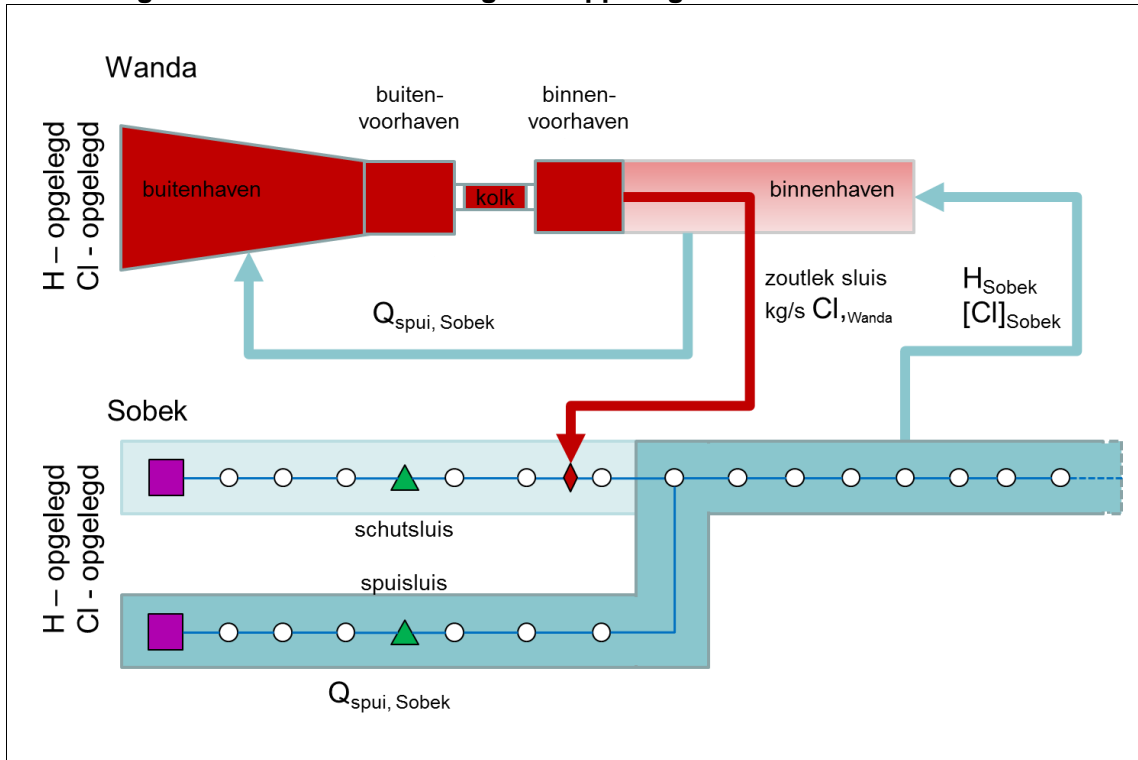
- Voor beide modellen geldt dat de benedenstroomse rand (het Volkerak-Zoommeer) is opgelegd. De saliniteit is constant verondersteld en het peil varieert in de tijd.
- Sobek berekent de bovenstroomse rand van het Wanda-model (waterstand H en saliniteit).
- Wanda-Locks berekent het zoutlek van de schutsluis, op de overgang van de voorhaven en de binnenhaven en Sobek gebruikt dit als droge stof lozing ('dry waste load') in de berekening. De locatie van de droge stof lozing in Sobek is in afbeelding 2.6 aangegeven met een rode ruit.
- Ook het door Sobek berekende spuidebiet vormt een invoergegeven voor Wanda-Locks. Dit debiet wordt onttrokken aan de binnenhaven en geloosd op de buitenhaven. Wanda-Locks berekent zelf de bijbehorende saliniteit.

De koppeling tussen Sobek en Wanda-Locks is geïmplementeerd als een sequentiële koppeling. Dat wil zeggen dat de modellen na elkaar zijn gedraaid (niet gelijktijdig - parallel). Er zijn verschillende iteraties uitgevoerd tussen Sobek en Wanda-Locks, namelijk:

1. een eerste reeks Sobek-berekeningen is uitgevoerd voor de verschillende alternatieven op basis van de instellingen in Sobek08. In de eerste reeks Sobek-berekeningen is een aantal zaken omtrent uitgangspunten en randvoorwaarden aan het licht gekomen, waardoor deze niet direct in Wanda-Locks gebruikt konden worden;
2. met Wanda-Locks is een reeks indicatieve testberekeningen uitgevoerd voor het zoutlek, met een constante afvoer, voor de verschillende alternatieven;
3. vervolgens is een tweede reeks Sobek-berekeningen uitgevoerd (jaarrond) met de resultaten van de eerste Wanda-berekening (dus met een constant zoutlek in de tijd), opnieuw voor de verschillende alternatieven. Deze reeks bevatte een constante zoutvracht per schutting;
4. met deze resultaten is een tweede reeks Wanda-Locks berekeningen uitgevoerd, resulterend in een tijdsreeks (jaarrond) voor het zoutlek;
5. deze variabele tijdsreeks is gebruikt voor de derde reeks Sobek-berekeningen.

De tussenresultaten (1^e + 2^e ronde Sobek en 2^e ronde Wanda-Locks) waren noodzakelijk om een gekoppeld model te verkrijgen met geconvergeerde randvoorwaarden, maar deze tussenresultaten worden verder niet relevant geacht om weer te geven in de resultaten. In dit rapport worden de resultaten van de tweede reeks Wanda-Locksberekeningen en de derde reeks Sobek-berekeningen besproken. Middels één van de sommen in Sobek (S01A) is de modellering met de toenmalige schematisatie (zonder Wanda-Locks) gedaan en is wel een link behouden met [Witteveen+Bos, 2008].

Afbeelding 2.6. Schematische weergave koppeling tussen Wanda-Locks en Sobek.



2.3.2. Wijzigingen in Sobekmodellering van de sluisolk

De chloridebelasting die via het schutten voor de scheepvaart in het Mark-Dintel-Vlietsysteem terecht komt (zoals berekend met Wanda-Locks), wordt in Sobek opgelegd als een lozing (zie afbeelding 2.6). Dit wordt gedaan met een zogenaamde 'dry waste load node' aan de bovenstroomse zijde van de schutsluizen.

Deze 'dry waste load node' was voor de modellering in 2008 (Sobek08) nog niet beschikbaar in Sobek. Bovendien was er toen geen koppeling met Wanda-Locks en werd getracht het proces van uitwisseling te modelleren met een uitwisselingsdebiet (lozing en onttrekking) en wel zo dat de vracht in het model overeenkomt met de theoretisch berekende vracht.

In de huidige modellering (WandaSobek15) wordt een dergelijke modellering ongewenst beschouwd, omdat het daadwerkelijk in het model optredende zoutlek niet eenduidig kan worden vastgesteld. Het wordt logischer geacht om de uit Wanda-Locks berekende zoutlast in kg/s op te leggen aan het Sobek-model middels een 'dry waste load node'.

2.4. Bronnen van chloride in het Sobek-model

2.4.1. Schuttingen en schutbeheer

Zoutlek door de sluisen

De belangrijkste aanvoer van chloride naar het MDV-stelsel zijn de schuttingen van de schutsluizen bij Dintelsas en Benedensas bij een zout Volkerak-Zoommeer. Hier worden eerst de oude schattingen besproken (zoals beschikbaar in de literatuur) en de resultaten van enkele indicatieve testberekeningen. Daarna wordt toegelicht welke invoergegevens gebruikt zijn ten aanzien van de schuttingen.

Oude schattingen

Een eerste ruwe schatting van het zoutlek is beschikbaar gemaakt door [Rijkswaterstaat, 2008]. Daarin wordt de zoutbelasting bij een zout VZM zonder aanvullende maatregelen op de sluizen geschat op 40 kg/s (Manderssluis) en 7 kg/s (Benedensas). Voor de duidelijkheid, dit betreft niet het zoutlek tijdens een schutting, maar het gemiddelde zoutlek over een langere tijd.

Schatting zoutlek RWS [2008]

Manderssluis

Volume sluis: $115 * 12 * 5 \text{ m (l * b * h) = 6900 m}^3$
Aantal schuttingen: 45 per dag (in de zomer) => $45 * 6900 \text{ m}^3 = 3,6 \text{ m}^3/\text{s}$
Zoutconcentratie VZM: 11 kg/m^3
Zout per schutting 75900 kg
Zoutlek (zonder maatregelen, in zomer) => $3,6 * 11 = 40 \text{ kg/s}$

Benedensas

Volume sluis: $73 * 25 * 3,5 \text{ m (l * b * h) = 6400 m}^3$
Aantal schuttingen: 10 per dag (in de zomer) => $10 * 6400 \text{ m}^3 = 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$
Zoutconcentratie VZM: 10 kg/m^3
Zout per schutting 64000 kg
Zoutlek (zonder maatregelen, in zomer) => $0,7 * 10 = 7 \text{ kg/s}$

[Witteveen+Bos, 2008] gaat uit van een andere aanname voor het zoutlek, gebaseerd op een (variabele) chlorideconcentratie op het Volkerak-Zoommeer [Deltares, 2008] en een vast uitwisselingsdebiet tijdens het schutten. De chlorideconcentraties zijn (orde grootte) vergelijkbaar aan die in RWS [2008]. Het uitwisselingsdebiet in [Witteveen+Bos, 2008] is kleiner dan dat in RWS [2008].

Schatting maximale zoutlek [Witteveen+Bos, 2008]

Manderssluis

Uitwisselingsvolume: $10,8 \text{ m}^3/\text{s} * 300 \text{ s} = 3240 \text{ m}^3$ (gemiddeld)
Aantal schuttingen: 56 per dag (in de zomer) => $56 * 3240 \text{ m}^3 = 2,1 \text{ m}^3/\text{s}$
Zoutconcentratie VZM: $12,5 \text{ kg/m}^3$ (gemiddeld)
Zout per schutting 40500 kg (gemiddeld)
Zoutlek (zonder maatregelen, in zomer) => $2,1 * 12,5 = 26,25 \text{ kg/s}^a$

Benedensas

Uitwisselingsvolume: $4,17 \text{ m}^3/\text{s} * 300 \text{ s} = 1250 \text{ m}^3$ (gemiddeld)
Aantal schuttingen: 56 per dag (in de zomer) => $56 * 1250 \text{ m}^3 = 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$
Zoutconcentratie VZM: $12,5 \text{ kg/m}^3$ (gemiddeld)
Zout per schutting 15625 kg (gemiddeld)
Zoutlek (zonder maatregelen, in zomer) => $0,8 * 12,5 = 10 \text{ kg/s}^a$

^{a)} Doordat in de modellering van Sobek08 is gekozen voor het toevoegen en onttrekken van water tijdens een schutting en het zout op dispersieve wijze de boezem indringt is het daadwerkelijke zoutlek niet eenduidig uit de modellering te halen. Uit testsommen voor deze studie is gebleken dat andere combinaties van debieten en zoutconcentraties, maar theoretisch met hetzelfde zoutlek, een ander daadwerkelijk zoutlek opleveren. Er is daarom in Wanda-Sobek15 gekozen voor een robuustere aanpak (zie paragraaf 2.3.2).

Indicatieve testberekeningen

Tabel 2.1 en tabel 2.2 geven de resultaten van enkele eerste indicatieve testberekeningen met Wanda-Locks voor beide sluisen. Deze indicatieve testberekeningen waren bedoeld om een eerste indruk te krijgen van het resultaat van de berekeningen met Wanda-Locks en de mogelijke effecten van een bellenscherm in de sluisen. De invoergegevens voor de berekeningen bestonden uit eerste ruwe schattingen (aan het begin van het project). In het vervolg van het project zijn de invoergegevens stapsgewijs verbeterd.

In deze indicatieve testberekeningen was aangenomen dat de duur van een totale schutting 15 minuten is en dat de binnendeuren in totaal 6 minuten open staan (en dus uitwisseling plaatsvindt). Verder is verondersteld dat de saliniteit op het VZM 15 psu bedraagt en het aantal schuttingen per maand 1.045 (Manderssluis) respectievelijk 440 (Benedensas) bedraagt. De schuttingen zijn random verdeeld in de tijd.

Tabel 2.1. Resultaten indicatieve testberekeningen Wanda-Locks voor zoutlek Dintelsas (Manderssluis)

	schuttingen	getijslag	saliniteit VZM	saliniteit Dintel	spuidebiet	bellenscherm	zoutlek *	zout per schutting
	[-/maand]	[m]	[psu]	[psu]	[m3/s]	[-]	[kg/s]	kg
Base Case	1045	0,5	15	0,1	0	Nee	8,9	21.970
IZZS	1.045	0,5	15	0,1	0	Ja	2,3	5.678

Tabel 2.2. Resultaten indicatieve testberekeningen Wanda-Locks voor zoutlek Benedensas

	schuttingen	getijslag	saliniteit VZM	saliniteit Vliet	spuidebiet	bellenscherm	zoutlek *	zout per schutting
	[-/maand]	[m]	[psu]	[psu]	[m3/s]	[-]	[kg/s]	kg
Base Case	440	0,5	15	0,1	0	Nee	1,9	11.193
IZZS	440	0,5	15	0,1	0	Ja	0,7	4.124

* Het zoutlek in kg/s is een gemiddelde over een langere periode. De omrekening naar kg/schutting is dan dus (op maandbasis) $*30*24*3.600/\text{aantal schuttingen per maand}$.

De resultaten van deze indicatieve testberekeningen geven een lagere waarde voor het zoutlek per schutting dan de schattingen van [RWS, 2008] en [Witteveen+Bos, 2008]. In Wanda-Locks wordt het zoutlek berekend op basis van de dichtheidsstroming die optreedt bij het openen van de deuren, terwijl in [RWS, 2008] en [Witteveen+Bos, 2008]

een aanname is gedaan voor het uitwisselingsdebiet. Uit de berekening met Wanda-Locks blijkt dat de dichtheidsstroming leidt tot een lager zoutlek dan eerder werd aangenomen op basis van een geschat uitwisselingsdebiet. Gedurende de periode dat sluisdeuren zijn geopend (6 minuten) berekent Wanda-Locks dat slechts een deel van de totale hoeveelheid zout in de sluiskolk door dichtheidsstroming in de binnenhaven terecht komt.

Verder volgt uit deze indicatieve testberekeningen een 1^e schatting van het effect van het gebruik van een bellenscherm. Uit tabel 2.1 en tabel 2.2 volgt dat toepassing van een bellenscherm kan bijdragen aan een substantiële beperking van het zoutlek.

De bovenstaande gegevens uit de literatuur en de resultaten van de indicatieve testberekeningen geven een gemiddelde (en daarmee constante) waarde voor het zoutlek. In de werkelijkheid zal het zoutlek van de schutsluizen variabel zijn in de tijd doordat deze afhankelijk is van het debiet in het MDV-stelsel en het actueel aantal schuttingen. Voor de 2^e ronde van de Wanda-Locks berekeningen is daarom onderstaande analyse uitgevoerd van het aantal schuttingen bij Manderssluis en Benedensas. In overleg met het waterschap Brabantse Delta en RWS is tevens afgesproken dat in de 2^e ronde berekeningen met Wanda-Locks uitgegaan wordt van een saliniteit van 17,5 ppt op het VZM ¹⁾, de getijslag volgens Witteveen+Bos (2008), en de saliniteit van het MDV-stelsel en het spuidebiet dat volgt uit de 1^e ronde Sobek-berekeningen.

Schutregime

In de berekeningen met Wanda-Locks zijn aannamen gedaan ten aanzien van het schutregime. Zo is het volgende verondersteld:

- de benodigde tijd voor zowel het ontgrendelen als het vergrendelen van de deuren bedraagt 1 minuut;
- de deuren zijn tijdens het ontgrendelen en vergrendelen gesloten en er treedt geen uitwisseling op;
- het openen en sluiten van de deuren kost elk 1 minuut in totaal;
- gedurende het openen en sluiten verandert het uitwisselingsoppervlak geleidelijk; verondersteld wordt dat tijdens het sluiten en openen de deur netto 30 seconden volledig geopend is;
- de tijd dat de deuren volledig openstaan voor het uitvaren cq. invaren van de schepen bedraagt 270 seconden (4,5 minuten);
- als marge voor het invaren wordt 30 seconden aangenomen, en voor het uitvaren 60 seconden.

In onderstaande tabel is dit schema weergegeven.

Al met al bedraagt de totale 'deur-opentijd' dus 6 minuten bij het invaren en 6,5 minuut bij het uitvaren. De deuren worden na elke schutting (in de berekening) direct weer gesloten en blijven niet open staan tot een volgende boot kan invaren.

¹ In de invoer van Wanda-Locks is dit vertaald naar 17,5 psu, hetgeen bij benadering gelijk is aan 17,5 ppt.

Tabel 2.3. Schutregime

	totale tijd (seconden)	deur open tijd (sec)
aankomst schip		
- ontgrendelen	- 60	-
- openen	- 60	- 30
- marge 'invaren'	- 30	- 30
- invaren	- 70	- 70
- sluiten	- 60	- 30
- vergrendelen	60	
	totaal: 540	totaal: 360
nivelleren	pm	
vertrek schip		
- ontgrendelen	- 60	-
- openen	- 60	- 30
- uitvaren	- 70	- 270
- sluiten	- 60	- 30
- marge 'uitvaren'	- 60	- 60
- vergrendelen	60	
	totaal: 570	totaal: 390
terugnivelleren	pm	
	totaal: 1.110 (exclusief nivelleren)	totaal: 750 (exclusief nivelleren)

Aantal schuttingen

Het aantal schuttingen is zeer relevant voor het zoutlek. Informatie van [waterschap Brabantse Delta, 2014] geeft inzicht in de beroepsvaart die momenteel de Manderssluis passeert. Op jaarbasis passeert de beroepsvaart ongeveer 2.100 maal de Manderssluis (ongeveer gelijk verdeeld heen en terug). Voor Benedensas is geen concrete informatie beschikbaar, anders dan dat daar zeer weinig beroepsvaart bekend is. Deze wordt daarom voor de huidige studie verwaarloosbaar klein geschat.

Het aantal recreatievaartuigen dat de Manderssluis in 2008 passeerde, wordt geschat op 16.000 [waterschap Brabantse Delta, 2014]. Voor Benedensas waren geen concrete gegevens beschikbaar; het aantal passerende recreatievaartuigen is ingeschat op 6.000.

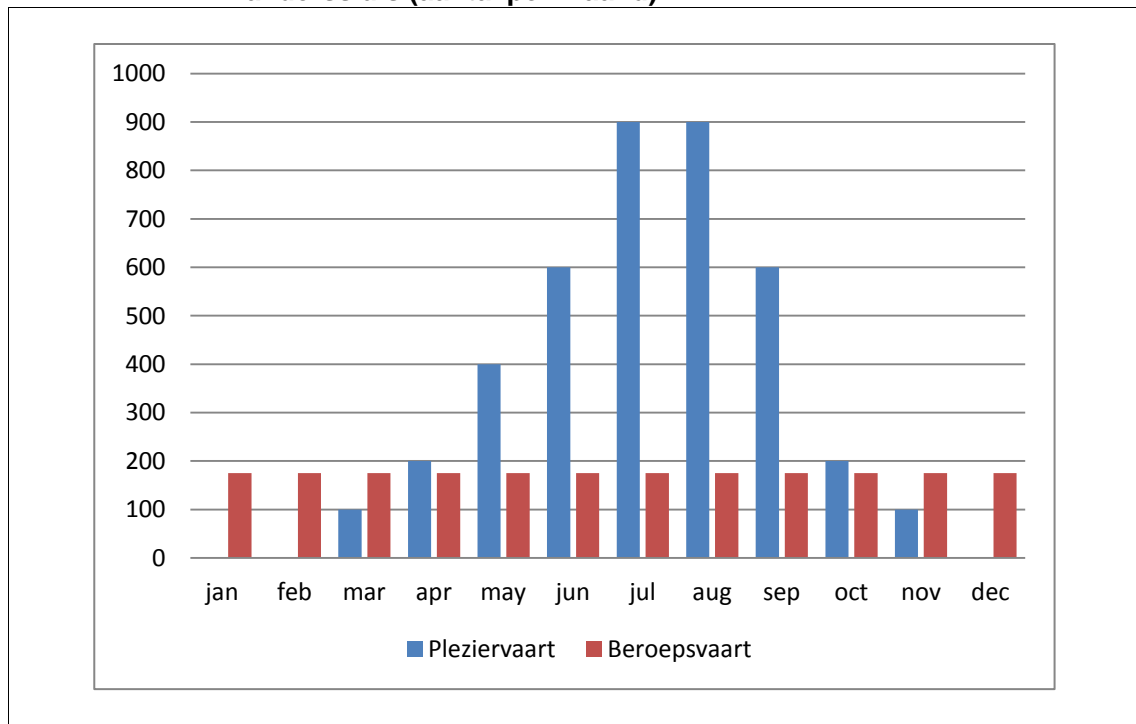
Vanzelfsprekend is de verdeling van het aantal passages over het jaar bij de recreatievaart niet constant: in de zomermaanden is er een piek en in de wintermaanden is het nagenoeg nihil. Voor de beroepsvaart wijzen de gegevens van [waterschap Brabantse Delta, 2014] ook op een hogere intensiteit in de zomerperiode in 2013, in relatie tot het transport van diksap. Gegevens voor 2011 en 2000 bevestigen deze verhoogde intensiteit in de zomermaanden echter niet. Daarom veronderstellen we een gelijkmatige verdeling van de beroepsvaart over het jaar.

Het aantal schepen dat per schutting door de sluis gaat, wordt voor de beroepsvaart op 1 geschat. Verder wordt geschat dat de beroepsvaart in het weekend geen gebruik maakt van de sluis. Dit betekent dat de 2.100 schuttingen verdeeld moeten worden over

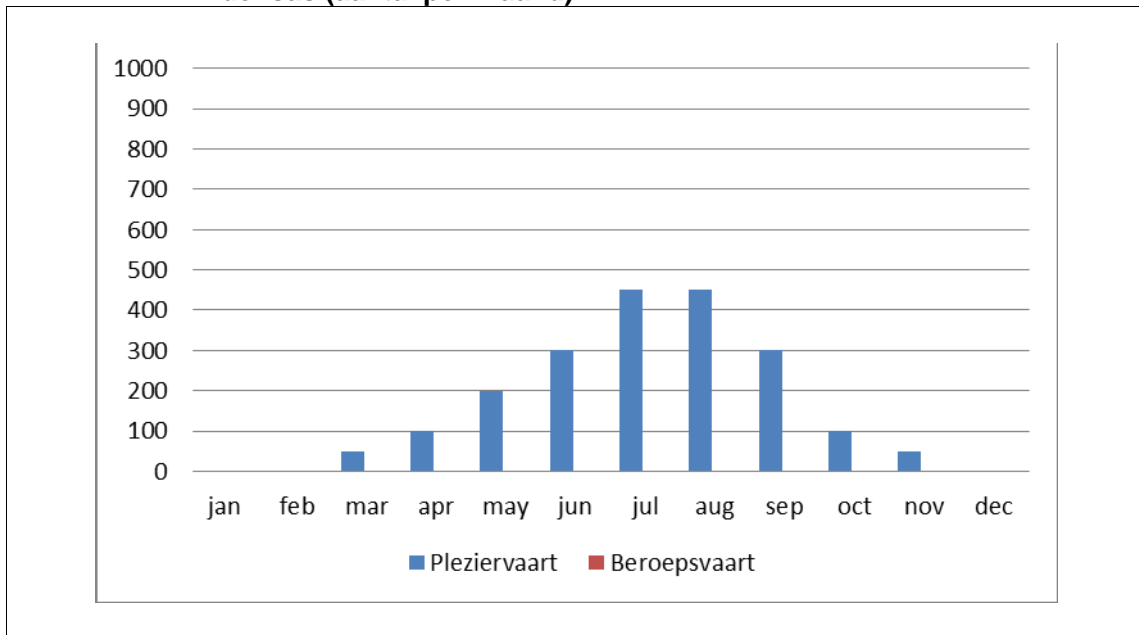
260 werkdagen. Het betreft dan orde 8 schuttingen per (werk)dag of 175 schuttingen per maand.

Voor de pleziervaart wordt geschat dat er gemiddeld 4 schepen per schutting de Manderssluis passeren. In verband met de lagere intensiteit, schatten we voor Benedensas dat daar gemiddeld 3 schepen per schutting passeren. Voor de Manderssluis betekent dit 4.000 schuttingen op jaarbasis en voor Benedensas 2.000 schuttingen op jaarbasis - beide met een piek in de zomermaanden. Onderstaande afbeeldingen geven de geschatte verdeling in de tijd van de schuttingen voor de beroepsvaart en pleziervaart bij de Manderssluis en Benedensas, bij de huidige intensiteit van het scheepsverkeer.

Afbeelding 2.7. Geschatte schuttingen van pleziervaart en beroepsvaart bij de Manderssluis (aantal per maand).



Afbeelding 2.8. Geschatte schuttingen van pleziervaart en beroepsvaart bij Benedensas (aantal per maand).



Op basis van deze analyse zijn aannames gedaan voor het aantal schuttingen per dag. Deze aannames worden weergegeven in tabel 2.3.

Tabel 2.3. Aannames voor de verdeling over week en weekend van het aantal schuttingen in WandaSobek15. Deze zijn uniform verdeeld aangenomen tussen 8.00 en 22.00 uur.

maand	week of weekend	Dintelsas (Manderssluis) totaal aantal per dag	Benedensas totaal aantal per dag
januari	week	8	0
	weekend	0	0
februari	week	8	0
	weekend	0	0
maart	week	11	1
	weekend	4	3
april	week	14	3
	weekend	8	4
mei	week	19	6
	weekend	17	8
juni	week	26	9
	weekend	25	13
juli	week	33	13
	weekend	38	19
augustus	week	33	13
	weekend	38	19
september	week	26	9
	weekend	25	13
oktober	week	14	3
	weekend	8	4
november	week	11	1
	weekend	4	3

maand	week of weekend	Dintelsas (Manderssluis) totaal aantal per dag	Benedensas totaal aantal per dag
december	week	8	0
	weekend	0	0

Bovenstaande aannames voor het aantal schuttingen wijken licht af van de aannames in [Witteveen+Bos, 2008]. Hier werden in de winterperiode 10 schuttingen per dag verondersteld bij Manderssluis en 1 schutting per dag bij Benedensas. Voor de zomerperiode gaat het voor beide sluzen om 56 schuttingen in het weekend en 15-25 op werkdagen [tabel 3.4 in Witteveen+Bos, 2008]. In [RWS, 2008] werd gesproken over een maximum van 45 schuttingen per dag voor Manderssluis en 10 voor Benedensas (zomer).

Vooralsnog is geen informatie beschikbaar over de eventuele ontwikkeling van de scheepvaartintensiteit in de toekomst, zowel met betrekking tot de ontwikkeling van de beroepsvaart als de ontwikkeling van de pleziervaart. In deze studie zijn hier geen verder analyses naar gedaan.

2.4.2. Overige chloridebronnen

Behalve de schuttingen zijn in het Sobek-model nog verschillende bronnen van chloride aanwezig [Witteveen+Bos, 2008]:

- instroming Blauwe Kamer (Bovenmark, maandwaarden 1990-2007. Op basis van meetpunten 210.007 en 210.002);
- instroming Oranjeboombrug (Aa of Weerijs, maandwaarden 1990-2007. Op basis van meetpunt 220.013);
- effluent RWZI Chaam (maandwaarden 1990, 1994, 2002, 2003 en 2006 op basis van metingen. 1990 ontbrak, hiervoor is de concentratie van het jaar 2003 gebruikt);
- instroming inlaat Oosterhout (metingen bovenpand Wilhelminakanaal, maandwaarden 1990-2007. Op basis van meetpunt 100.002);
- uitgeslagen water vanuit polders (maandwaarden metingen in polders, jaren variëren per polder). In een aantal polders treedt brakke kwel op, die kan versterken bij een zout Volkerak-Zoommeer;
- inlaat Roode Vaart (in de periode april-oktober lineair oplopend van 85 naar 130 mg/l, vervolgens lineair aflopend van 130 naar 85 mg/l in de periode oktober-april. Op basis van meetpunt Moerdijkbruggen uit Waterbase van Rijkswaterstaat).

2.5. Zoetwateraanvoer en zoetwatervraag polders

2.5.1. Zoetwateraanvoer

In droge periodes kan via Oosterhout extra zoet water worden aangevoerd. Het maximale debiet is $10 \text{ m}^3/\text{s}$, maar afhankelijk van waterstand en getijslag op de Amer. In de huidige modellering WandaSobek15 wordt de zoetwateraanvoer via Oosterhout echter gelijk gesteld aan de zoetwatervraag van de polders ongeacht de afvoer van de Brabantse rivieren.

Tevens wordt er in verschillende scenario's (zie hoofdstuk 3) gerekend met zoetwateraanvoer via de Roode Vaart om zout water weg te dringen. Er wordt gerekend met capaciteiten van 0, 3,5 (no-regret maatregel), 7 en $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.5.2. Verziltingsjaren (jaren met een ander afvoerregime)

In verziltingsstudies wordt een aantal standaard jaren gebruikt: de verziltingsjaren [Beersma, 2005]. Deze jaren hebben betrekking op de rivierafvoeren, maar worden binnen deze studie gebruikt als hydrologische jaren voor het Mark-Vlietsysteem omdat te verwachten is dat dit systeem dezelfde dynamiek kent als de grote rivieren. Voor het extreem zoute verziltingsjaar is 1990 gebruikt (tabel 2.4). In eerste instantie was dit een combinatie van 1976 (hoog afvoerdeficit Rijn, lage opwaaiing) en 1990 (lagere afvoerdeficit, maar hogere opwaaiing dan 1976). Omdat het Volkerak-Zoommeer in 1976 nog zout was, zijn de gegevens van dat jaar niet bruikbaar. Er was immers sprake van een ander spui- en schutbeheer en er werd geen water ingelaten vanuit het Volkerak-Zoommeer.

Tabel 2.4. De in deze studie gebruikte verziltingsjaren

situatie	kenmerk
verziltingsjaar 1990 (/1976)	extreem zout (zie ook bovenstaande toelichting)
verziltingsjaar 2003	zout
verziltingsjaar 1996	gemiddeld zout

De modelmatige bevindingen over deze jaren zijn in [Witteveen+Bos, 2008] als volgt samengevat:

‘Uit de modelberekeningen blijkt dat de indringing van het zout in het Mark-Dintel-Vlietsysteem vanuit het Volkerak-Zoommeer met name bepaald wordt door de lengte van de periode zonder afvoer op het Mark-Dintel-Vlietsysteem. Hierdoor zijn de jaren die in verziltingsstudies zijn gekenmerkt als ‘extreem zout’ en ‘zout’ niet de meest maatgevende jaren voor de zoutindringing. De verschillende hydrologische jaren laten zich als volgt kenmerken:

- 1990 (extreem zout verziltingsjaar): in dit jaar zakt het peil in het Mark-Dintel-Vlietsysteem niet weg, mede door de inlaat van zoet water via de inlaatduiker bij Oosterhout. De indringing van het zout blijft daarom beperkt tot ongeveer het Mark-Vlietkanaal;
- 2003 (zout verziltingsjaar): het peil zakt in de zomer iets weg, maar er is al vrij snel water ingelaten bij Oosterhout. Hierdoor blijft de zoutindringing beperkt, ongeveer even ver als in 1990;
- 1996 (gemiddeld zout verziltingsjaar): er is in dit jaar pas halverwege augustus water ingelaten bij Oosterhout, waardoor het zout ver in kan dringen. Het peil zakt behoorlijk weg tot NAP -1,1 m bij Nieuwveer. De indringing komt tot inlaatpunt Molen-dijk/Molenstraat.’

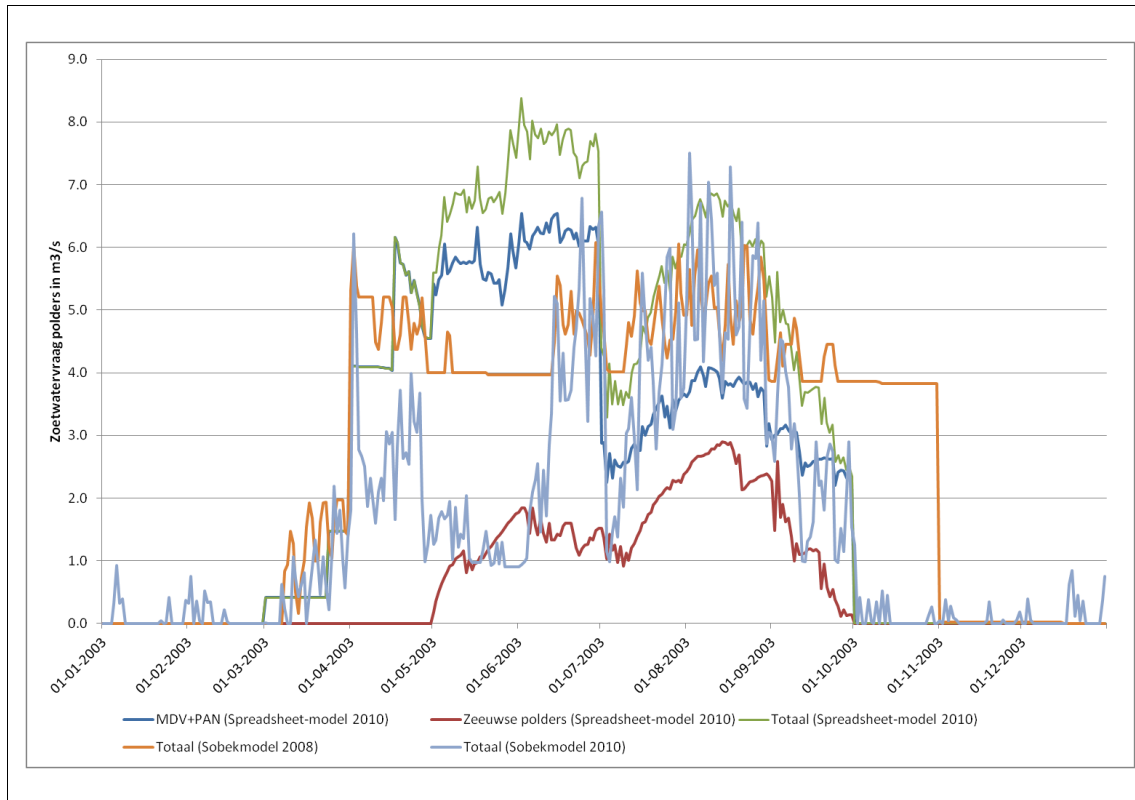
Op basis hiervan zou dus gesteld kunnen worden dat de kwalificaties van zoute jaren zouden moeten worden aangepast. Echter, wordt in de huidige studie de inlaat bij Oosterhout gelijk gesteld aan de watervraag van de polders, waardoor de verwachting is dat de kwalificaties van zoute jaren wel beter overeenkomen met [Beersma, 2005].

2.5.3. Zoetwatervraag voor 2003

De maximale zoetwatervraag voor het jaar 2003 (10 % droog jaar) is uitgebreid onderzocht in [Witteveen+Bos, 2010]. Dit is gedaan op basis van Sobek- en spreadsheetberekeningen. De resultaten van de spreadsheetberekeningen zijn uiteindelijk in de ‘Joint Fact Finding (JFF) zoet water’ [I&M, 2015] als leidend beschouwd.

De tijdreeks van deze zoetwatervraag wordt weergegeven in afbeelding 2.9. Er is ook te zien dat de door Sobek berekende watervraag hiervan afwijkt voor zowel het model Sobek08 en Sobek10. Er is daarom besloten om aan het huidige Sobek-model, verdeeld over de polders naar rato van oppervlak, extra zoet water in te laten, zodat de watervraag exact overeen komt met de groene lijn in afbeelding 2.9.

Afbeelding 2.9. Zoetwatervraag polders in 2003 (10 % droog jaar) in verschillende studies



2.5.4. Zoetwatervraag 1990 en 1996

De watervraag voor 2003 is in de JFF afgeleid met een spreadsheetmodel. Voor de jaren 1990 en 1996 is geen watervraag opgenomen in de JFF. Wel is er een watervraag berekend in Sobek08.

De watervraag (1990) die in de huidige modellering wordt opgelegd aan het model is als volgt bepaald:

$$\text{Vraag-1990-huidig} = \frac{\text{Vraag-2003-Spreadsheet-JFF}}{\text{Vraag-2003-Sobek08}} \times \text{Vraag-1990-Sobek08}$$

Dit is een sterke versimpeling van de daadwerkelijke watervraag en de factor Spreadsheet-JFF/Sobek08 kan heel hoog worden wat leidt tot een onrealistisch hoge watervraag. Daarom is hierbij is aangehouden dat de watervraag maximaal 10 m³/s kan zijn, hetgeen gelijk is aan de maximale wateraanvoer bij Oosterhout. Voor 1996 geldt dezelfde rekenregel als voor 1990.

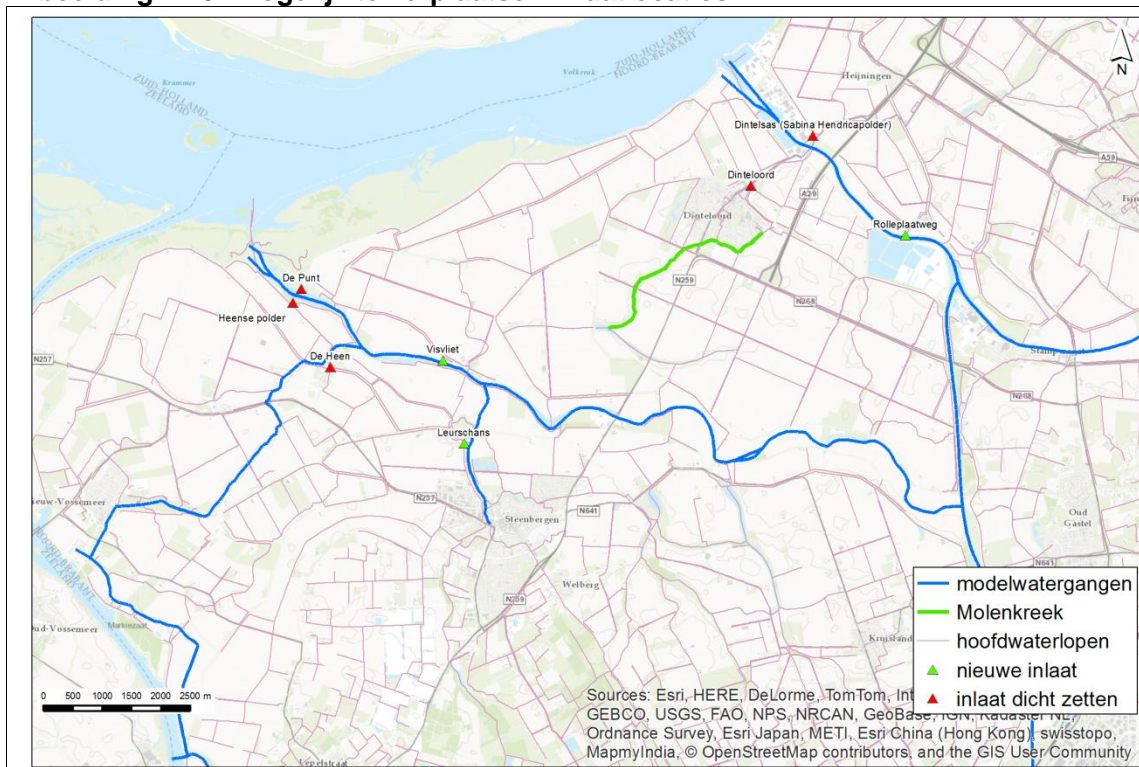
2.5.5. Zoetwaterinlaten

Er zijn 6 inlaten die mogelijk verplaatst moeten worden ten gevolge van de zoutindringing op het MDV-stelsel.

Deze locaties zijn weergegeven in afbeelding 2.10. Het betreft:

- inlaat aan noordzijde Dintel (Dintelsas). Dit gebied krijgt volgens huidig ontwerp een alternatieve aanvoerroute via inlaat Rolleplaatweg;
- twee inlaten aan zuidzijde Dintel (Dinteloord). Dit gebied krijgt volgens huidig ontwerp een alternatieve aanvoerroute via Molenkreek;
- inlaat aan noordzijde Steenbergse Vliet (De Punt). Achterliggend gebied krijgt volgens huidig ontwerp een aanvoerroute via Visvliet;
- twee inlaten aan zuidzijde Steenbergse Vliet (Heense polder en De Heen). Achterliggend gebied krijgt volgens huidig ontwerp een alternatieve aanvoerroute via Leurschans.

Afbeelding 2.10. Mogelijk te verplaatsen inlaatlocaties



2.6. Samenvatting wijzigingen WandaSobek15 ten opzichte van modellering Sobek08

- Basismodel, uitgebreid met PAN-polders volgens modellering Sobek10.
- Fysische dispersiecoëfficiënt in model, van $3 \text{ m}^2/\text{s}$ naar $1 \text{ m}^2/\text{s}$. Gevoeligheidssommen van 15 en $30 \text{ m}^2/\text{s}$ naar 10 en $20 \text{ m}^2/\text{s}$.
- Duur van een schutting (volledig openstaan binnendeuren), van 5 minuten naar 6 minuten (5 minuten volledig open plus $2 * 1 \text{ minuut} * 50\%$ openen en sluiten).
- Wijze van modelleren zoutindringing in Sobek van lozing en onttrekking met vast debiet en variabele concentratie chloride naar een puntlozing van alleen chloride.
- Zout per schutting in case zonder IZZS bij Manderssluis van 40.500 kg (gemiddeld, maar niet eenduidig door manier van modelleren) naar 21.970 kg (2^e ronde Sobek).

Zout per schutting in case zonder IZZS bij Benedensas van 15.625 kg (gemiddeld, maar niet eenduidig door manier van modelleren) naar 5.678 kg (2^e ronde Sobek). Dit is uiteindelijk een variabel getal in de tijd geworden (zie hoofdstuk 4).

- Effectiviteit IZZS gevarieerd tussen 40 % en 70 % naar effectiviteit volgens Wanda (hoofdstuk 4).
- Aantal schuttingen, gewijzigd volgens beschrijving in paragraaf 2.4.1 subkop 'Aantal schuttingen'.
- Zoutgehalte VZM van variabel (~ 10 - 12 ppt) naar constant 17,5 ppt.
- Zoetwateraanvoer Oosterhout, in Sobek08 volgens gemeten tijdserie, in WandaSobek15 gelijk aan de zoetwatervraag polders.
- Zoetwateraanvoer Roode Vaart, van maximaal 15 m³/s naar maximaal 10 m³/s.
- Zoetwatervraag MDV polders 2003, in Sobek08 op basis van Sobek-RR berekeningen, in WandaSobek15 volgens Sobek10 en JFF, maximaal 5,6 m³/s.
- Zoetwatervraag PAN polders 2003. In Sobek 08 niet meegenomen of constant op 0,9 m³/s voor april-oktober. In WandaSobek15 volgens Sobek10 en JFF (2015), maximaal 0,9 m³/s.
- Zoetwatervraag Tholen en St. Philipsland 2003. In Sobek 08 niet meegenomen of constant op 2,9 m³/s voor april-oktober. In WandaSobek15 volgens Sobek10 en [JFF, 2015], maximaal 2,9 m³/s.
- Zoetwatervraag 1990 en 1996 berekend zoals beschreven in 2.5.4.

3. OVERZICHT ALLE GEMAAKTE BEREKENINGEN

In tabel 3.1 wordt een overzicht gegeven van de gemaakte berekeningen in de 3^e ronde Sobek-berekeningen met invoer van de 2^e ronde Wanda-Locks-berekeningen (met uitzondering van S01A). De tussenresultaten van eerdere modelrondes worden niet relevant geacht en zijn weggelaten uit dit rapport.

Tabel 3.1. Overzicht Sobek-berekeningen 2^e modelronde.

som	jaar	dispersie-coëfficiënt (m ² /s)	basis-model	schutbeheer	zoutvracht Dintelsas / Benedensas	maatregel zoutreductie	inlaat polders	inlaat Oosterhout (m ³ /s)	inlaat Roode Vaart (m ³ /s)	doel van som
S01A	2003	3	2008	zoals in 2008-studie	zoals in 2008-studie	geen IZZS (0% reductie)	zoals in 2008-studie	zoals in 2008-studie	0	link met 2008-studie, maar dan som met 0% reductie (niet gedaan in 2008)
S01B	2003	1	2008 /2010	zoals in 2008-studie	o.b.v. 1e resultaten base-case Wanda-Locks	geen IZZS (0% reductie)	volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	basissom/referentiesom met alle nieuwe inzichten verwerkt, behalve het schutten
S01C	2003	1	2008 /2010	volgens info anno 2015	o.b.v. 1e resultaten base-case Wanda-Locks	geen IZZS (0% reductie)	volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	effect van nieuwe inzichten schutbeheer. Referentiecasi zonder IZZS
S12	2003	1	2008 /2010	volgens info anno 2015	o.b.v. 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	effect van IZZS in 10% droog hydrologisch jaar 2003 bij debiet RV van 3,5 m ³ /s.
S13	2003	1	2008 /2010	volgens info anno 2015	o.b.v. 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	7	effect van IZZS en 7 m ³ /s doorspoelen via Roode Vaart in 10% droog hydrologisch jaar 2003

som	jaar	dispersie-coëfficiënt (m ² /s)	basis-model	schutbeheer	zoutvracht Dintelsas / Benedensas	maatregel zoutreductie	inlaat polders	inlaat Oosterhout (m ³ /s)	inlaat Roode Vaart (m ³ /s)	doel van som
S14	2003	1	2008/2010	volgens info anno 2015	o.b.v. 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	10	effect van IZZS en 10 m ³ /s doorspoelen via Roode Vaart in 10% droog hydrologisch jaar 2003
S12D 10	2003	10	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	gevoeligheidsanalyse dispersiecoëfficiënt (mogelijk hoger door dichtheidsstroming)
S12D 20	2003	20	2008/2010	volgens info anno 2015	o.b.v. 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	gevoeligheidsanalyse dispersiecoëfficiënt (mogelijk hoger door dichtheidsstroming)
S15	1990	1	2008/2010	volgens info anno 2015	o.b.v. 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	volgens verhouding JFF en Sobek08	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	effect van IZZS en doorspoelen via Roode Vaart in extreem zout jaar 1990
S16	1990	1	2008/2010	volgens info anno 2015	o.b.v. 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	volgens verhouding JFF en Sobek08	gelijk aan vraag vanuit polders	10	effect van IZZS en doorspoelen via Roode Vaart in extreem zout jaar 1990

som	jaar	dispersie-coëfficiënt (m ² /s)	basis-model	schutbeheer	zoutvracht Dintelsas / Benedensas	maatregel zoutreductie	inlaat polders	inlaat Oosterhout (m ³ /s)	inlaat Roode Vaart (m ³ /s)	doel van som
S17	1996	1	2008/2010	volgens info anno 2015	o.b.v. 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	volgens verhouding JFF en Sobek08	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	effect van IZZS en doorspoelen via Roode Vaart in gemiddeld zout jaar 1996
S18	1996	1	2008/2010	volgens info anno 2015	o.b.v. 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	volgens verhouding JFF en Sobek08	gelijk aan vraag vanuit polders	10	effect van IZZS en doorspoelen via Roode Vaart in gemiddeld zout jaar 1996

4. RESULTATEN WANDA-LOCKS

4.1. Inleiding

De berekeningen met Wanda-Locks die in dit hoofdstuk worden gepresenteerd zijn uitgevoerd op basis van de resultaten van de 2^e reeks Sobek-sommen. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de verschillende berekeningen. Tabel 4.1 geeft het door alleen Wanda-Locks berekende zoutlek voor zowel de schutsluis als voor het volledige sluiscomplex (netto zoutlek van schutsluis en spuisluis) voor Manderssluis en Benedensas. Onderstaande paragrafen geven een toelichting en nadere analyse op de berekeningsresultaten.

Tabel 4.1. Samenvatting berekeningsresultaten Wanda-Locks Manderssluis en Benedensas

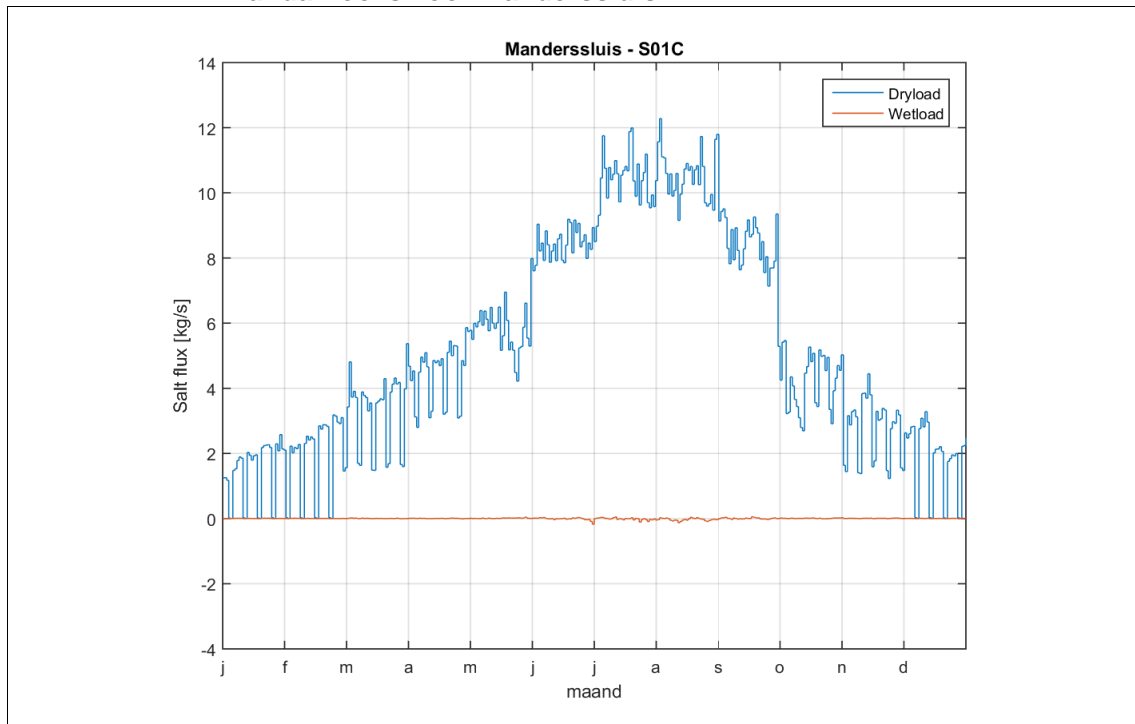
	scenario	IZZS	Q Roode Vaart	zoutlek schutsluis (in Wanda-Locks)		zoutlek sluiscomplex (in Wanda-Locks)	
				kg/s	kg/jaar	kg/s	kg/jaar
Manderssluis	S01B	0	3,5 m ³ /s	5,30	166.990.506	3,28	103.314.767
	S01C	0	3,5 m ³ /s	5,27	166.164.166	3,19	100.502.220
	S12	1	3,5 m ³ /s	1,00	31.574.102	0,09	2.981.721
	S13	1	7 m ³ /s	0,94	29.488.141	-0,22	-7.090.766
	S14	1	10 m ³ /s	0,88	27.882.988	-0,51	-16.037.446
	S12D10	1	3,5 m ³ /s	0,97	30.546.904	-0,52	-16.424.781
	S12D20	1	3,5 m ³ /s	0,96	30.275.382	-0,72	-22.668.499
	S15	1	3,5 m ³ /s	0,97	30.630.249	-0,05	-1.450.962
	S16	1	10 m ³ /s	0,86	27.209.782	-0,62	-19.570.431
	S17	1	3,5 m ³ /s	0,99	31.209.541	0,01	213.762
S18	1	10 m ³ /s	0,87	27.599.799	-0,56	-17.865.727	
Benedensas	S01B	0	3,5 m ³ /s	0,77	24.237.455	0,06	1.936.868
	S01C	0	3,5 m ³ /s	0,77	24.289.125	0,09	2.720.554
	S12	1	3,5 m ³ /s	0,31	9.646.175	-0,17	-5.377.633
	S13	1	7 m ³ /s	0,34	10.776.880	-0,21	-6.470.191
	S14	1	10 m ³ /s	0,37	11.675.990	-0,24	-7.682.221
	S12D10	1	3,5 m ³ /s	0,30	9.477.945	-0,42	-13.183.857
	S12D20	1	3,5 m ³ /s	0,30	9.358.000	-0,43	-13.402.924
	S15	1	3,5 m ³ /s	0,30	9.448.490	-0,28	-8.860.516
	S16	1	10 m ³ /s	0,35	11.179.790	-0,35	-10.934.007
	S17	1	3,5 m ³ /s	0,30	9.623.592	-0,24	-7.619.897
S18	1	10 m ³ /s	0,36	11.485.795	-0,31	-9.689.722	

Wetload en dryload

De berekeningen met Wanda-Locks geven informatie over de zoutvracht die het gevolg is van het nivellere (advectief transport) en de zoutvracht die het gevolg is van de dichtheidsstroming (dispersief transport). De zoutvracht die het gevolg is van het nivellere wordt aangeduid als de 'wetload' en de zoutvracht die het gevolg is van de dichtheidsstroming als 'dryload'. Het blijkt uit de resultaten van de berekeningen met Wanda-Locks dat de wetload zeer gering is ten opzichte van de dryload (zie afbeelding 4.1). De geringe wetload is het gevolg van het beperkte waterstandsverschil over de sluis. In de verdere analy-

se beschouwen we de som van wetload en dryload en tekenen daarbij aan dat deze vrijwel volledig bestaat uit dryload.

Afbeelding 4.1. Wetload en dryload (kg/s) in Referentie (S01C), zoals berekend door Wanda-Locks voor Manderssluis

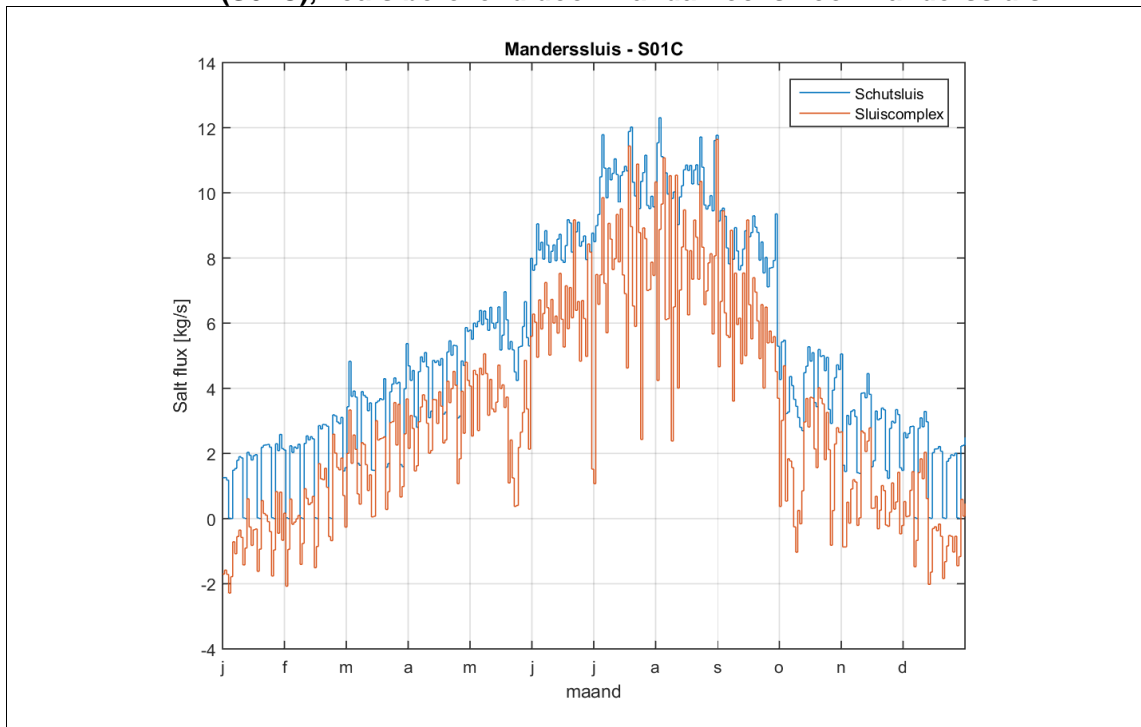


Schutsluis en sluiscomplex

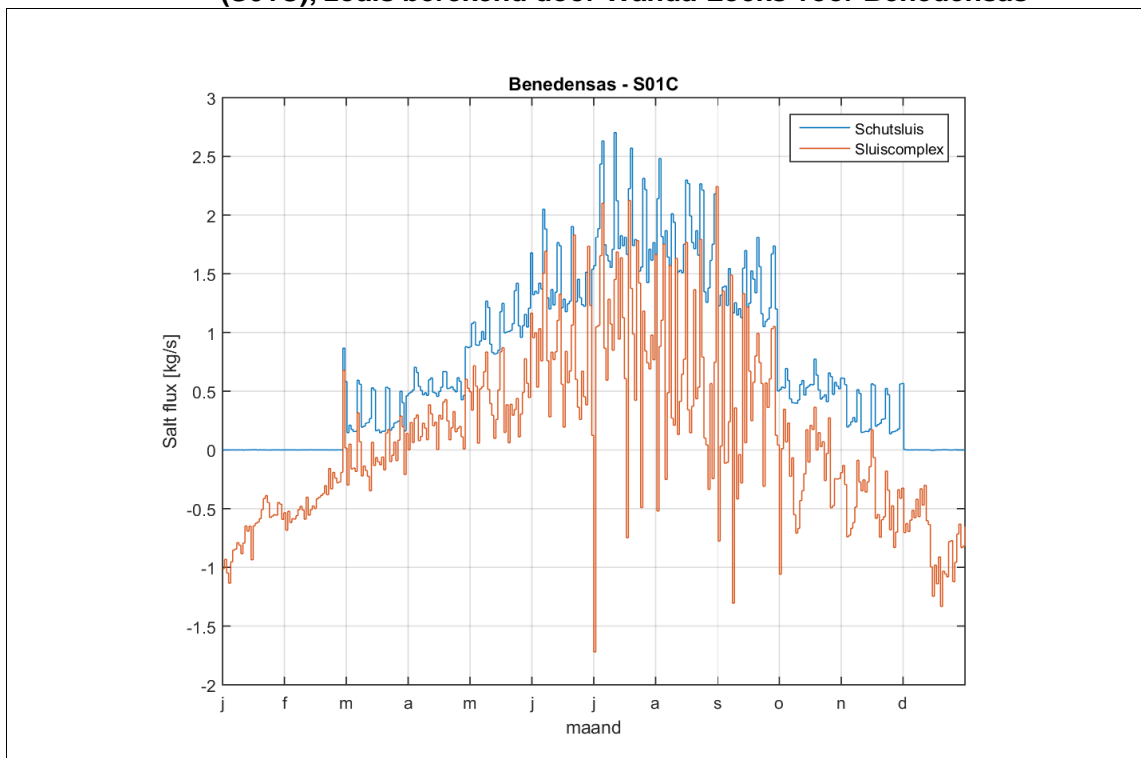
Een 2^e belangrijk onderscheid betreft het verschil tussen het berekende zoutlek van alleen de schutsluizen en het berekende zoutlek van het volledige sluiscomplex (schutsluis plus spuisluis), zie ook afbeelding 2.6. Wanda-Locks berekent het zoutlek van de schutsluis (gedefinieerd als de vracht van de voorhaven naar de binnenhaven), en daarmee de zoutbelasting van het bovenstroomse systeem (de rode pijl in afbeelding 2.6). Daarnaast wordt het debiet van de Dintel en Steenbergse Vliet afgevoerd richting het Volkerak-Zoommeer via de spuisluizen (de lichtblauwe pijl in afbeelding 2.6). Dit spuidebiet wordt berekend door Sobek. Met het spuiwater wordt ook zout afgevoerd, en daarmee neemt de zoutbelasting van het bovenstroomse riviersysteem af. Het zoutlek van het sluiscomplex is gelijk aan het zoutlek van de schutsluis (door Wanda-Locks berekend op de grens van de voorhaven naar de binnenhaven) minus de zoutvracht die met het spuidebiet (berekend door Sobek) wordt afgevoerd vanuit de binnenhaven.

In afbeelding 4.2 en afbeelding 4.3 is het berekende zoutlek bij de Manderssluis en Dintelsas weergegeven voor zowel de schutsluis als het sluiscomplex. Hieruit blijkt dat het zoutlek van de schutsluis inderdaad groter is dan dat van het volledige sluiscomplex. Ook uit de samenvattende tabel 4.1 blijkt dat het zoutlek van het sluiscomplex kleiner is dan het zoutlek van de schutsluis. Verder zien we dat incidenteel het zoutlek van het sluiscomplex zeer klein is, of zelfs negatief, wat wijst op een grote rivierafvoer en een hoog spuidebiet. Er wordt dan netto meer zout via de spuisluizen geloosd op het Volkerak-Zoommeer dan er via de schutsluizen in het Mark-Dintel-Vliet stelsel terecht komt. Ook in de winterperiode (met relatief hoge afvoer en weinig schuttingen) wordt het zoutlek van het sluiscomplex negatief, vooral bij Benedensas waar dan helemaal geen schuttingen meer plaatsvinden.

Afbeelding 4.2. Zoutlek (kg/s) van schutsluis en sluiscomplex voor de Referentie (S01C), zoals berekend door Wanda-Locks voor Manderssluis



Afbeelding 4.3. Zoutlek (kg/s) van schutsluis en sluiscomplex voor de Referentie (S01C), zoals berekend door Wanda-Locks voor Benedensas



4.2. Effect van IZZS

Om het effect van toepassing van IZZS voor de Manderssluis en Benedensas te analyseren is een berekening met Wanda-Locks gemaakt waarbij voor Manderssluis een (dubbel) bellenschermband en een drempel is opgenomen en voor Benedensas alleen een (dubbel) bellenschermband (bij Benedensas is namelijk onvoldoende ruimte in de doorvaaropening voor een drempel). De bellenschermbanden zullen worden opgenomen bij beide sluisdeuren, dus zowel aan de kant van het Volkerak-Zoommeer als aan de kant van het MDV-stelsel. In de berekeningen met Wanda-Locks is geen rekening gehouden met het mogelijke effect van het spoelen van de sluiscolken met zoet water. Afbeelding 4.4 en afbeelding 4.5 geven de berekeningsresultaten voor het zoutlek (in kg/s) voor beide sluiscomplexen, met en zonder IZZS.

Het berekende effect van IZZS (bellenschermband plus drempel) voor de schutsluis blijkt (op jaarbasis) ongeveer 80 % voor Manderssluis (zie tabel 4.1, verschil S01C en S12: $(5,27-1,00)/5,27$). Voor Benedensas (bellenschermband zonder drempel) bedraagt het berekende effect van IZZS ongeveer 60 % ($(0,77-0,31)/0,77$).

In de zomerperiode blijkt het effect van IZZS op het zoutlek van het sluiscomplex duidelijk groter dan in de winterperiode (zie afbeelding 4.4 en afbeelding 4.5). Dit is het gevolg van de verdeling van het aantal schuttingen over het jaar. Naarmate er meer schuttingen zijn, en er dus een groter zoutlek optreedt, is het effect van IZZS ook groter.

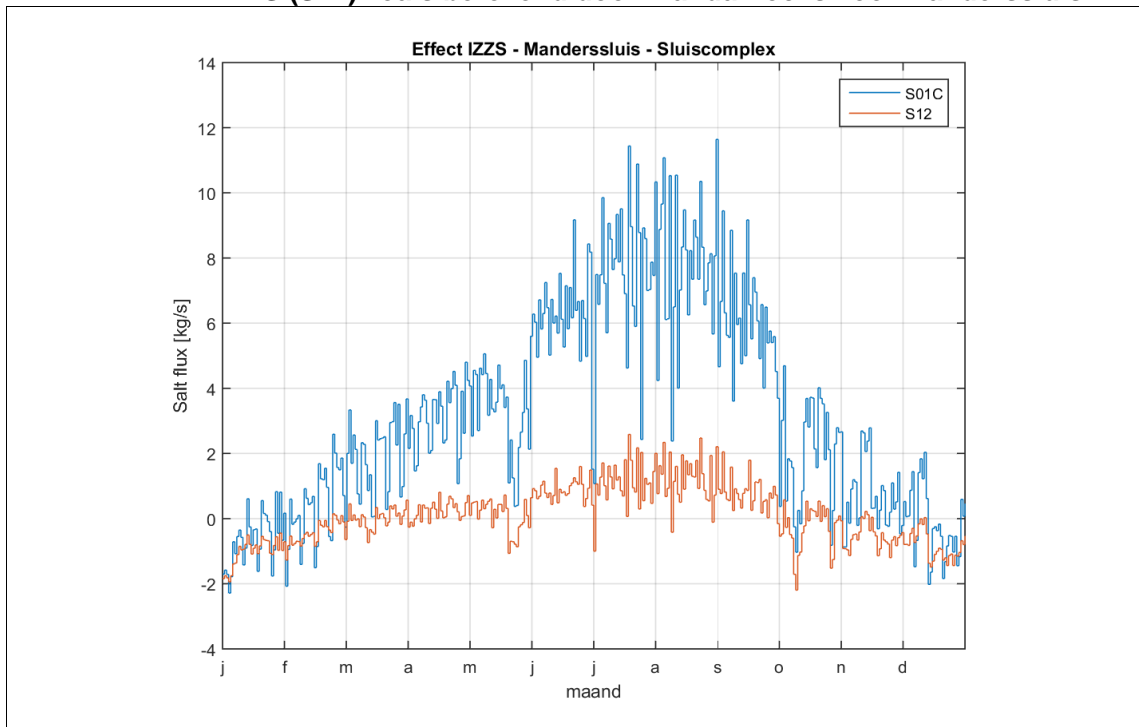
De bijdrage van de drempel is – volgens deze Wanda-Locks berekeningen – dus circa 20 % (verschil effecten tussen Manderssluis (met drempel) en Benedensas (zonder drempel)). Opgemerkt wordt dat in Wanda-Locks de drempel wordt gemodelleerd als een reductie van het uitwisselingsoppervlak (waarbij geen rekening wordt gehouden met de verticale variatie van de zoutconcentratie binnen de sluis) en daarmee het effect van een drempel waarschijnlijk iets wordt onderschat.

Daarnaast wordt het effect van een bellenschermband zonder drempel in Wanda-Locks waarschijnlijk iets overschat, aangezien in de berekening de groei van de bellen in de diepste zone niet is verdisconteerd. Een drempel kan in de diepste zone in de sluis (waar de zoutconcentratie het hoogste is en de bellen het kleinste) dus een groter effect hebben dan nu volgt uit de berekeningen. Ook dit leidt dus mogelijk tot een onderschatting van het effect van de drempel.

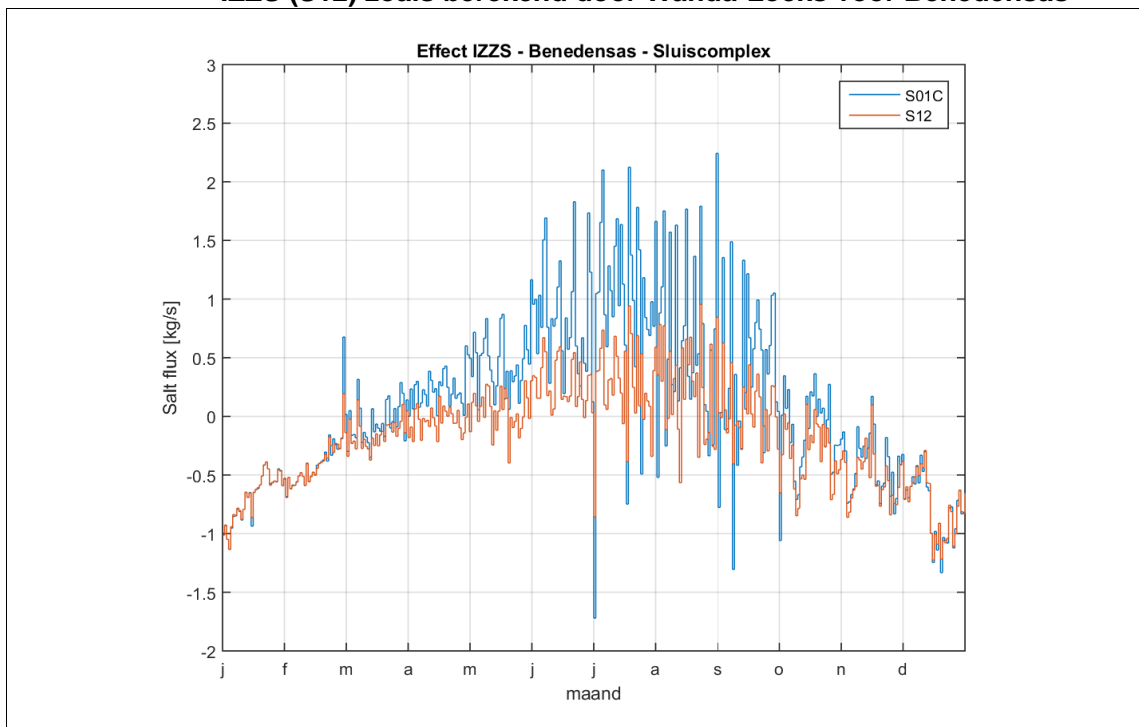
Tenslotte wordt opgemerkt dat het bellenschermband (in het ontwerp zoals nu beschikbaar is) niet in de bodem van de sluis wordt geplaatst, maar op de bodem van de sluis. Daardoor start het bellenschermband circa 500 mm boven de bodem. In Wanda-Locks is verondersteld dat het bellenschermband op de bodem wordt geplaatst. Voor het bellenschermband overschat Wanda-Locks dus mogelijk het effect.

Al met met wordt geconcludeerd dat de berekende totale reductie van het zoutlek bij Manderssluis door aanleg van IZZS qua orde grootte plausibel is. Mogelijk ligt de verdeling van het aandeel van het bellenschermband en de drempel in de werkelijkheid wel iets anders dan nu volgt uit de berekening. Bij Benedensas wordt geen drempel aangelegd en wordt mogelijk het effect van het bellenschermband overschat in de berekeningen.

Afbeelding 4.4. Zoutlek (kg/s) van sluiscomplex voor de Referentie (S01C), en met IZZS (S12) zoals berekend door Wanda-Locks voor Manderssluis



Afbeelding 4.5. Zoutlek (kg/s) van sluiscomplex voor de Referentie (S01C), en met IZZS (S12) zoals berekend door Wanda-Locks voor Benedensas

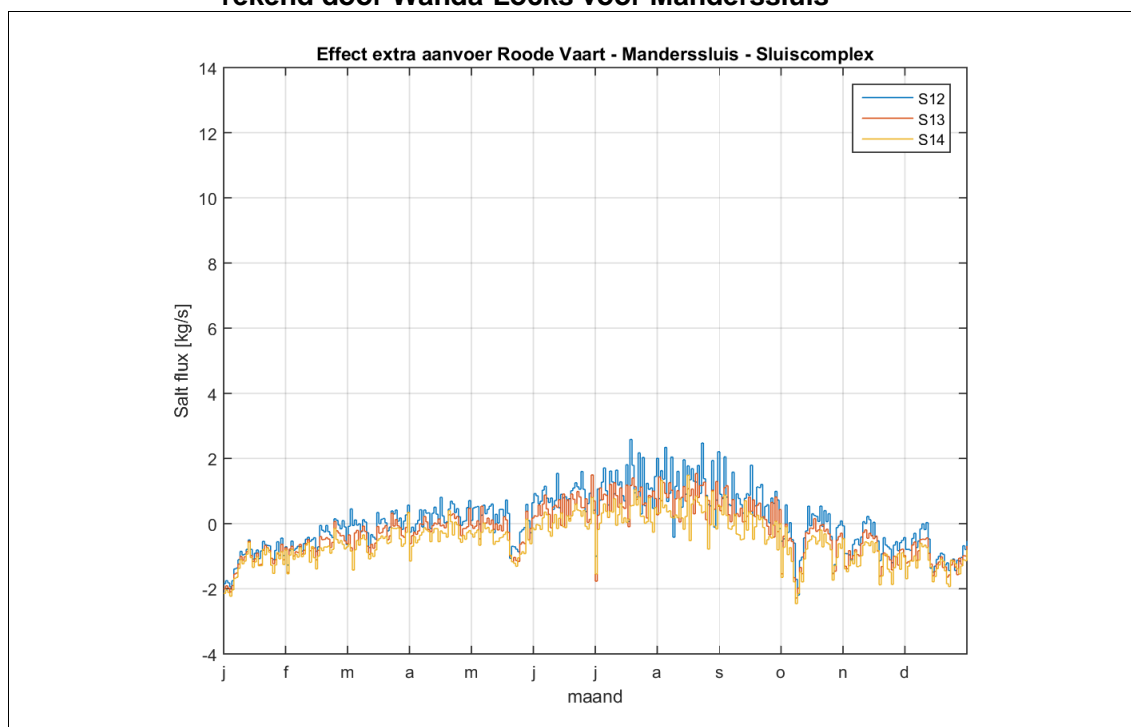


4.3. Effect extra aanvoer / doorspoelen Roode Vaart

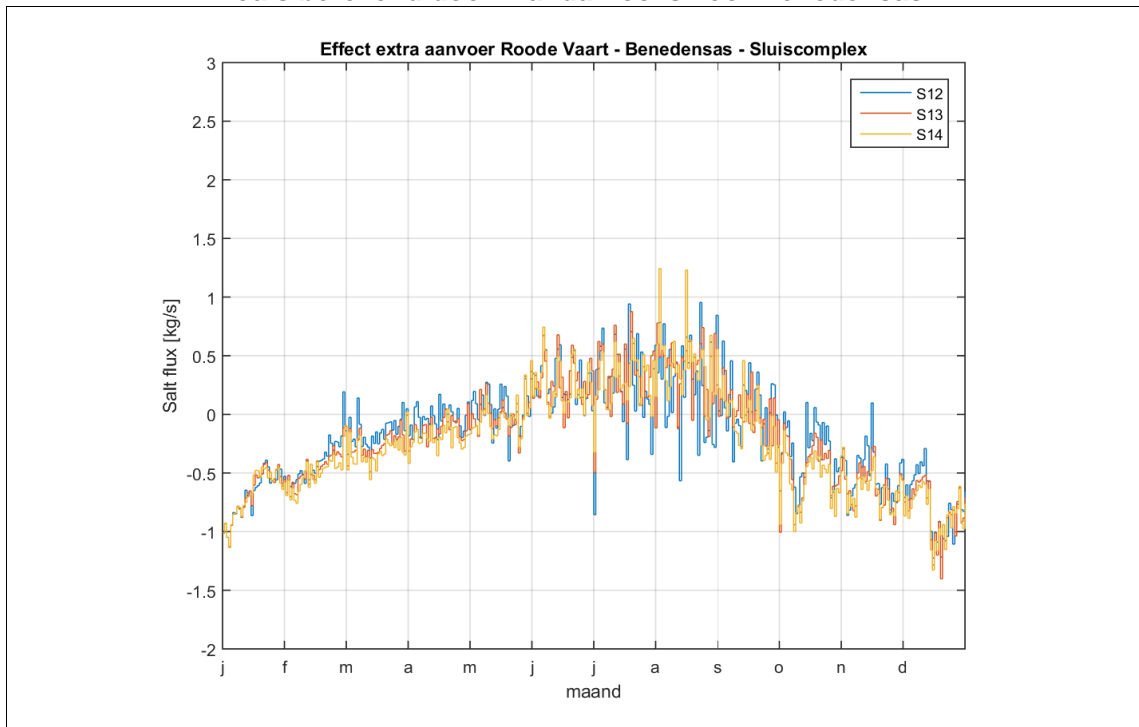
Het effect van extra aanvoer (ten opzichte van $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$) van water vanuit de Roode Vaart op het zoutlek van beide schutsluizen is verwaarloosbaar, zeker in verhouding tot het effect van IZZS (zie tabel 4.1, verschil tussen S12 en S13/S14). Opmerkelijk detail is dat bij Benedensas het zoutlek van de schutsluis volgens de berekeningen iets toeneemt met de aanvoer vanuit de Roode Vaart. Dit is het gevolg van de lagere zoutconcentratie in de bin-nenhaven die ontstaat door het extra debiet.

Het zoutlek van het gehele sluiscomplex neemt (iets) af met een hoger aanvoer debiet. Dit wordt veroorzaakt door de extra afvoer van water door de spuisluizen, waarmee zout wordt geloosd naar het VZM (zie tabel 4.1, afbeelding 4.6 en afbeelding 4.7). Het effect is echter – ook voor het zoutlek van het gehele sluiscomplex – beperkt in verhouding tot het effect van IZZS. De meerwaarde van extra aanvoer vanuit de Roode Vaart moet dus niet zozeer gezocht worden in de beperking van het zoutlek, maar in de beperking van de verspreiding van het zout in het Mark-Vliet-Dintel stelsel. Hoofdstuk 5 gaat in op de analyse daarvan met Sobek.

Afbeelding 4.6. (kg/s) sluiscomplex voor IZZS (S12), Q7 (S13) en Q10 (S14) zoals be-rekend door Wanda-Locks voor Manderssluis



Afbeelding 4.7. Zoutlek (kg/s) sluiscomplex voor IZZS (S12), Q7 (S13) en Q10 (S14) zoals berekend door Wanda-Locks voor Benedensas

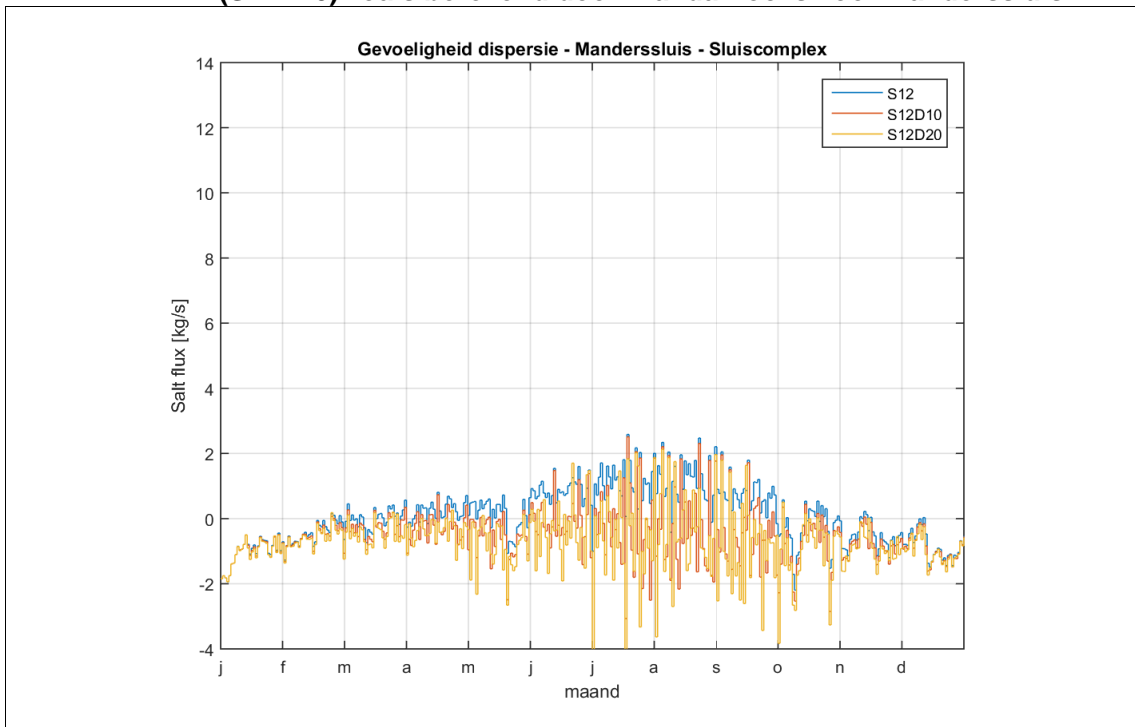


4.4. Gevoeligheidsanalyse dispersiecoëfficiënt

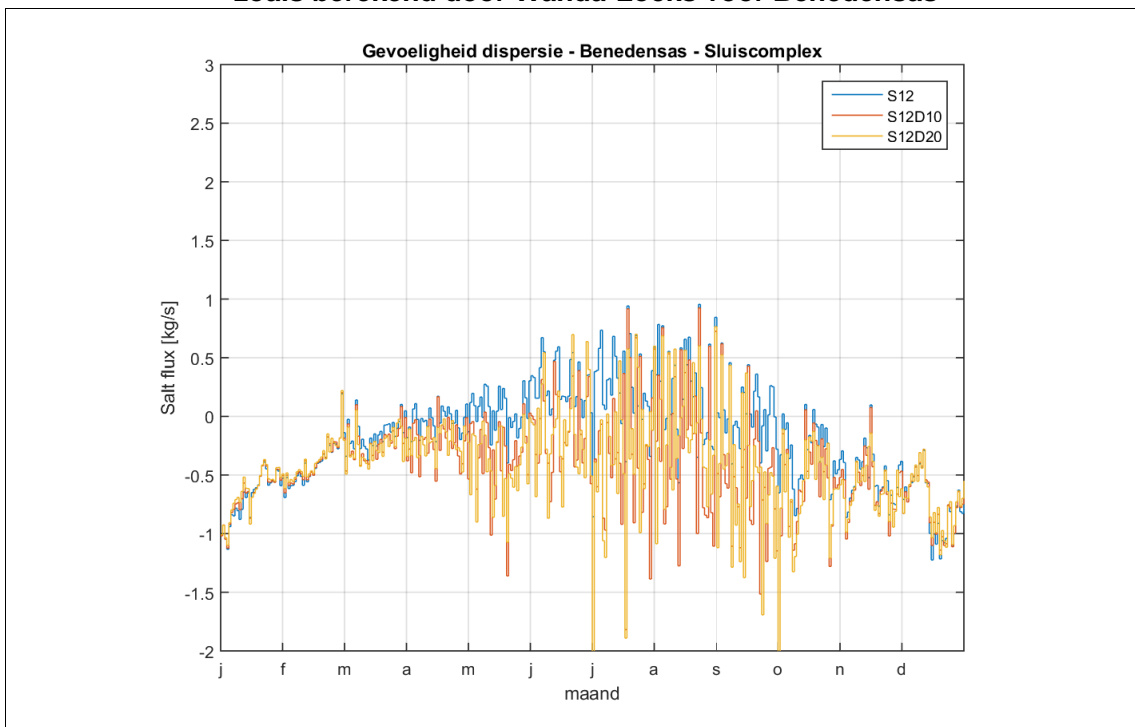
Om de gevoeligheid van het zoutlek te analyseren voor de gekozen dispersiecoëfficiënt in Sobek zijn 2 extra berekeningen uitgevoerd (S12D10 en S12D20). Op jaarbasis blijkt er hoegenaamd geen effect te bestaan van de dispersiecoëfficiënt op het zoutlek van de schutsluizen (zie tabel 4.1). Voor het sluiscomplex blijkt het berekende zoutlek bij een hogere dispersie iets kleiner te zijn, zie afbeelding 4.8 en afbeelding 4.9. Dit is het gevolg van de extra (dispersieve) verspreiding van het zout in het MDV stelsel, waardoor de zoutconcentraties op de bovenrand van het Wanda-model iets lager zijn.

Op basis van deze berekeningen constateren we dat het zoutlek van de schutsluizen niet afhankelijk is van de dispersiecoëfficiënt in Sobek. De dispersiecoëfficiënt is wel van invloed op de verdere zoutindringing op het MDV-stelsel. Dit wordt besproken in paragraaf 5.5.

Afbeelding 4.8. Zoutlek (kg/s) sluiscomplex voor IZZS (S12), D10 (S12D10) en D20 (S12D20) zoals berekend door Wanda-Locks voor Manderssluis



Afbeelding 4.9. (kg/s) sluiscomplex voor IZZS (S12), D10 (S12D10) en D20 (S12D20) zoals berekend door Wanda-Locks voor Benedensas

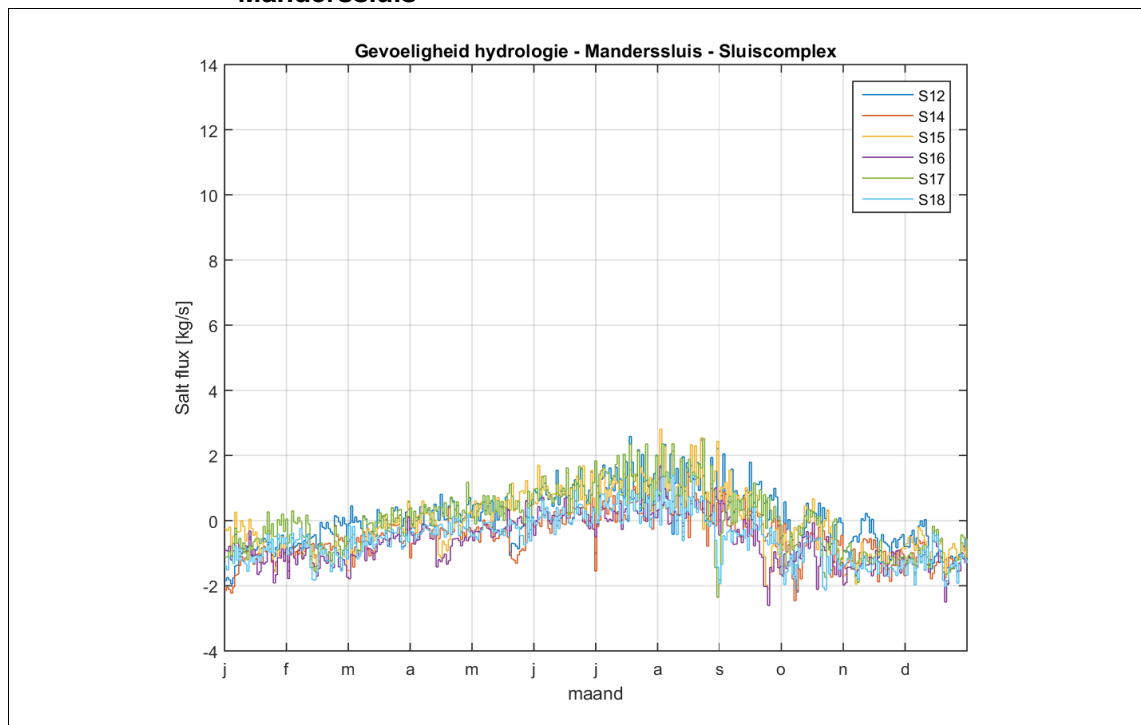


4.5. Andere hydrologie (1990 en 1996)

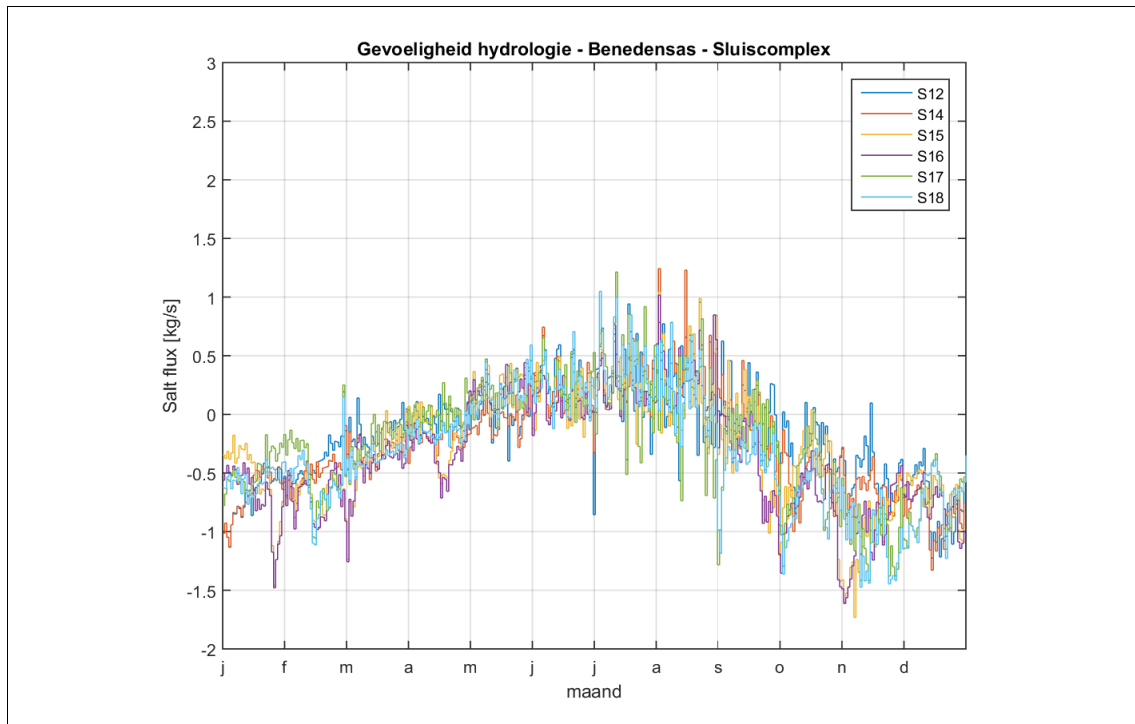
Bovenstaande berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de hydrologie (afvoerverdeling Brabantse rivieren) voor 2003. Om na te gaan wat het effect is van de hydrologie op het zoutlek van de sluisen, zijn ook berekeningen uitgevoerd met de hydrologie van 1990 en 1996. De resultaten op jaarbasis zijn gepresenteerd in tabel 4.1 en de variatie in de tijd volgt uit afbeelding 4.10 en afbeelding 4.11.

Op jaarbasis zijn er geen noemenswaardige verschillen tussen het zoutlek van de schutsluisen en de sluiscomplexen op basis van de verschillende hydrologische jaren. Uiteraard zijn er wel verschillen binnen de jaren: een lagere afvoer of hogere afvoer in een bepaalde periode leidt tot een geringer of groter spuidebiet en daarmee tot een kleinere of grotere afvoer van zout naar het VZM. Op jaarbasis middelt zich dit echter nagenoeg uit.

Afbeelding 4.10. Zoutlek (kg/s) sluiscomplex voor 2003 (S12 en S14), 1990 (S15 en S16), en 1996 (S17 en S18) zoals berekend door Wanda-Locks voor Manderssluis



Afbeelding 4.11. Zoutlek (kg/s) sluiscomplex voor 2003 (S12 en S14), 1990 (S15 en S16), en 1996 (S17 en S18) zoals berekend door Wanda-Locks voor Benedensas



4.6. Bouwstenen geoptimaliseerd speel- en schutbeheer

4.6.1. Schutregime sluisen

In de berekeningen die in het kader van dit onderzoek zijn uitgevoerd met Wanda-Locks is verondersteld dat de schutsluizen worden beheerd volgens een specifiek schutregime (zie paragraaf 2.4.1). Dat betekent dat de sluisdeuren 6 minuten open staan en weer gesloten worden na elke schutting (en niet open blijven staan). Verder is aangenomen dat de schuttingen evenredig worden verdeeld over de dag (tussen 8.00 en 22.00 uur) en alle schuttingen in dezelfde richting verlopen (dus allemaal naar binnen of naar buiten en er geen reductie van het aantal schuttingen optreedt door combinaties). Tenslotte is een aanname gedaan over het aantal schuttingen, mede op basis van het aantal boten per schutting.

Wanneer in de praktijk een ander sluisbeheer wordt gehanteerd, heeft dat (uiteeraard) consequenties voor het zoutlek. Immers, hoe langer de binnendeuren open blijven staan, des te meer zout er vanuit de sluiscolk naar de binnenhaven kan stromen. Ook als de deuren aan de zijde van het Volkerak-Zoommeer open blijven staan zal het zoutlek toenemen, want dan neemt de zoutconcentratie in de sluiscolk toe en vervolgens het zoutlek naar de binnenhaven.

In het algemeen geldt: hoe langer de deuren open staan, des te groter is het totale zoutlek. Als vuistregel kan worden gesteld dat de totale grootte van het zoutlek (in kg/schutting) evenredig toeneemt met de deur-open tijd. In werkelijk ligt dat genuanceerder, maar een toename van $(0,5+5+0,5=)$ 6 minuten naar $(0,5+6+0,5=)$ 7 minuten kan orde grootte leiden tot een toename van het zoutlek met 15 %. Daarom wordt geadviseerd ruim voldoende aandacht te besteden aan de afstemming van het beoogde sluisbeheer met de sluiswach-

ters. Met andere woorden: een zorgvuldig sluisbeheer draagt sterk bij aan de beperking van het zoutlek door de schutsluizen.

Het gekozen schutregime is – bij nadere beschouwing – eigenlijk zeer optimistisch opgesteld wanneer wordt gekeken naar het mogelijke zoutlek. Als de deuren in de praktijk open blijven staan, bijvoorbeeld om te wachten op boten die komen aanvaren zal het zoutlek direct toenemen. Als de schuttingen in plaats van evenredig verdeeld over de gehele dag in pieken worden uitgevoerd, bijvoorbeeld in de ochtend vanuit de jachthaven naar het VZM en in de middag omgekeerd, leidt dit ook tot een hoger zoutlek.

4.6.2. Vismigratie

De permanent gesloten sluizen in de Dintel en Steenbergse Vliet zullen de migratie van vissen (zoals driedoornige stekelbaars en aal) tussen het Volkerak-Zoommeer en het Mark-Dintel-Vlietsysteem uiteraard hinderen. De bellenschermen in de sluiskolken zullen daarbij een belemmering vormen als de sluizen geopend zijn. Om ervoor te zorgen dat toch migratie van vis mogelijk is zullen specifieke maatregelen nodig zijn.

Een mogelijkheid is om via de sluiskolk vissen te laten passeren door de volgende procedure uit te voeren:

- de kolk wordt aan de zoute kant geopend, terwijl door de sluisdeur aan de zoete kant met (overtollig) zoet water wordt gespoeld. Vissen zullen zich aangetrokken voelen door het zoete water (mits op dat moment geen water wordt gespuid via de spuisluis) en de kolk inzwemmen;
- na enige tijd wordt de kolk ook aan de zoute kant gesloten en kan door beide deuren gespoeld worden, zodat het water in de kolk steeds zoeter wordt;
- op het moment dat de sluiskolk helemaal zoet is, kan de kolk aan de zoete zijde worden geopend en kan de vis vanuit in de kolk de rivier opzwemmen.

Door deze procedure 's nachts uit te voeren wordt de scheepvaart niet gehinderd. Bovendien is bekend dat vissen 's nachts in de regel actiever zijn dan overdag. Het verdient nadere analyse om vast te stellen hoe vaak de procedure per nacht moet worden herhaald om voldoende vis te laten passeren.

Uit onderzoek van IMARES [Winter et al, 2014] komt naar voren dat de vismigratie zeer soortenspecifiek is, bijvoorbeeld qua timing in het jaar. Zo paait de driehoornige stekelbaars op de rivier en de aal juist op zee. De maatregelen die bedoeld zijn ter ondersteuning van de vismigratie zullen dan ook – per seizoen - moeten worden afgestemd op de doelsoorten.

4.6.3. Spoelen

In de IZZS-berekeningen met Wanda-Locks is vooralsnog geen rekening gehouden met het effect van het spoelen van de sluiskolk op het zoutlek. Spoelen door de sluiskolk kan bijdragen aan de beperking van het zoutlek, doordat in zowel de kolk zelf als de buitenvoorhaven de zoutconcentratie afneemt door het spoelen.

Spoelen van de sluiskolk is (net als het spuien door de spuisluis) alleen mogelijk indien er voldoende verhang bestaat tussen het peil op het VZM en het peil in het MDV stelsel. Op basis van de resultaten van de berekeningen met Sobek hebben we geconstateerd dat het peilverschil beperkt blijft. Immers, zodra het peil in het VZM zakt (als gevolg van het getij) zal er worden gespuid en volgt het peil in het MDV-stelsel dus het peil van het VZM.

Ook bij een klein peilverschil kan het beschikbare zoetwater worden verdeeld tussen spoeldebiet door de kolk en spuidebiet via de spuisluis. Daarnaast is het wellicht mogelijk om het peil in het MDV-stelsel (in de zomer) te verhogen, zodat een groter peilverschil ontstaat met het VZM. Op basis van enkele kentallen is de volgende inschatting gemaakt van het mogelijke effect van spoelen door de sluis.

Bij een volume van de kolk van de Manderssluis en Benedensas (6.900 m³ en 6.400 m³) en een typische zomer/laagwater afvoer van orde 1 m³/s duurt het bijna 2 uur om het volume van de sluis volledig te verversen. Daarbij is geen rekening gehouden met de eventuele dichtheidsverschillen in de kolk, waardoor mogelijke geen volledige menging optreedt. In een maatgevende situatie (in de zomer, met veel schuttingen voor pleziervaart) zal ongeveer elk half uur geschut worden. Dat betekent dat bij het spoelen van de kolk tot 25 % van de kolk ververst zou kunnen worden. De chloride concentratie in de kolk neemt daardoor af met iets minder dan 25 %. Omdat het zoutlek een functie is van de zoutgradiënt, wordt de afname van het zoutlek door spoelen in de sluis (voor een maatgevende situatie) geschat op 10 à 20 %.

Omdat het effect van spoelen door de sluis sterk gerelateerd is aan het schutbeheer, verdient het aanbeveling om bij het vaststellen van het schutregime rekening te houden met de mogelijke effecten van het spoelen.

5. RESULTATEN SOBEK EN ANALYSE

5.1. Samenvatting

In tabel 5.1 worden de resultaten samengevat voor de inlaten die zich het dichtst bij de sluizen bevinden. Uitgebreide resultaten kunnen worden gevonden in het aparte bijlagenboek (bijlage i).

Tabel 5.1. Zoutconcentraties in verschillende scenario's voor de meest benedenstroomse inlaatlocaties voor zoet water

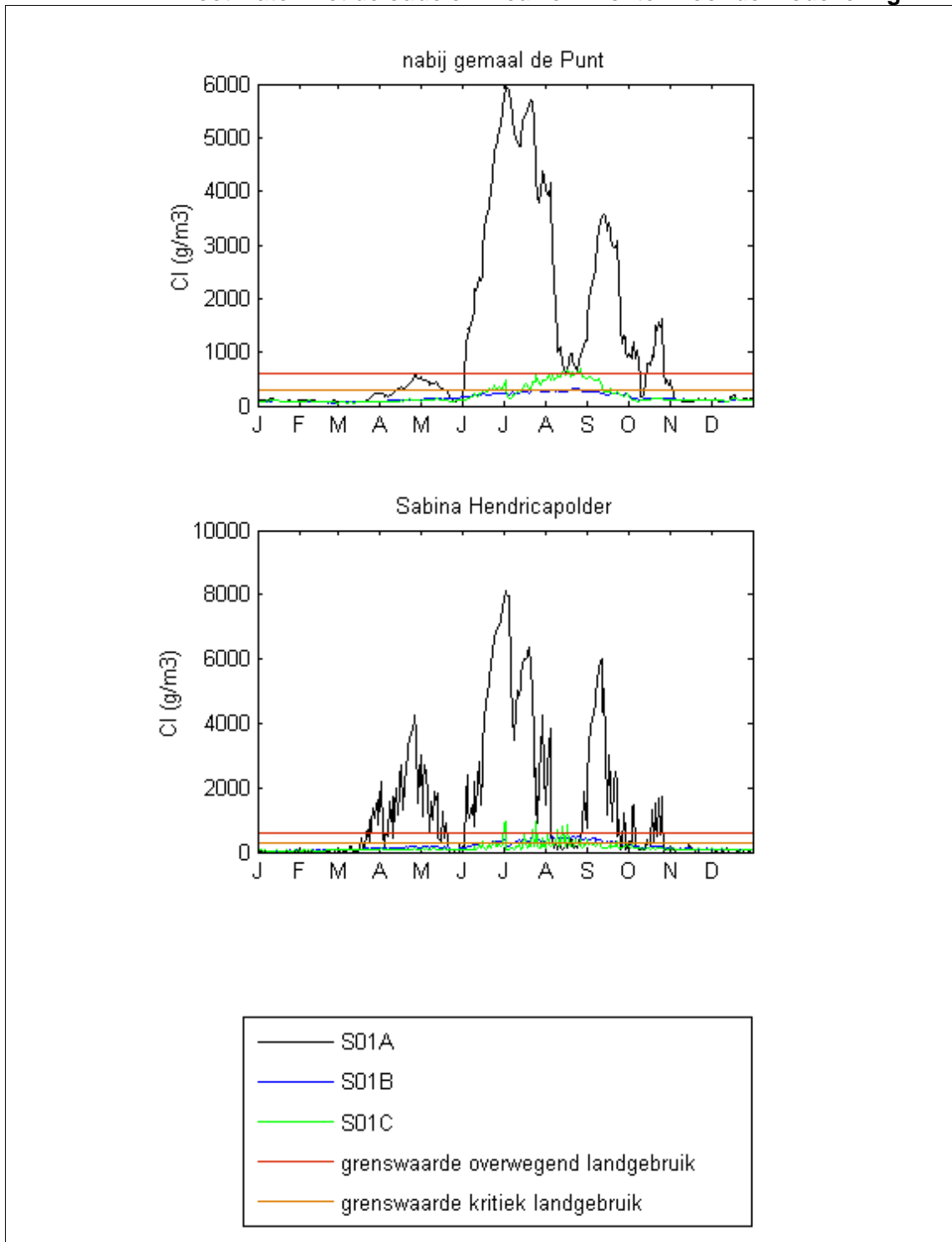
		maximum chloride gehalte	grenswaarde overwegend grondgebruik (600 mg/l)	grenswaarde kritisch grondgebruik (300 mg/l)
		mg/l	duur overschrijding (dagen/jaar)	duur overschrijding (dagen/jaar)
nabij gemaal de Punt	S01A	5.948	141	187
	S01B	330	0	8
	S01C	681	11	74
	S12	321	0	5
	S12D10	374	0	37
	S12D20	330	0	8
	S13	179	0	0
	S14	159	0	0
	S15	276	0	0
Sabina Hendricapolder	S16	183	0	0
	S17	267	0	0
	S18	189	0	0
	S01A	8.107	148	175
	S01B	505	0	86
	S01C	958	9	23
	S12	246	0	0
	S12D10	505	0	60
	S12D20	505	0	86
	S13	163	0	0
	S14	164	0	0
	S15	260	0	0
	S16	128	0	0
	S17	295	0	0
	S18	131	0	0

5.2. Vergelijking modellering WandaSobek15 en Sobek08

In de huidige modellering (WandaSobek15) is er een groot aantal aanpassingen gedaan ten opzichte van Sobek08. Dit is samengevat in paragraaf 2.6. In afbeelding 5.1 is weergegeven wat het effect van deze wijzigingen is op de meest benedenstroomse inlaatpunten. Er is te zien dat som S01A veel hogere zoutconcentraties heeft berekend ten opzichte van de sommen S01B. Dit valt te verklaren uit het feit dat in S01A de inlaat van de Roode Vaart op $0 \text{ m}^3/\text{s}$ is gesteld en de inlaat bij Oosterhout is gebaseerd op een gemeten tijdreeks (dus bij een nog zoet VZM). Er is bij Sobek08 veel water ingelaten in augustus 2003 en dit verklaart dan ook de dip in som S01A. Daarnaast is er bij Sobek08 van uitgegaan dat bij iedere schutting de gehele kolk uitwisselt, waardoor per schutting een hogere zoutvracht wordt berekend dan bij WandaSobek15.

De nieuwe aannames voor het sluisbeheer (S01C) laten jaarrond geen grote verschillen zien met de oude (S01B), maar in met name augustus zijn er nabij gemaal de Punt wel veel hogere chloridenconcentraties. Dit is te verklaren doordat er in de nieuwe uitgangspunten meer schuttingen zijn bij Benedensas in de zomermaanden.

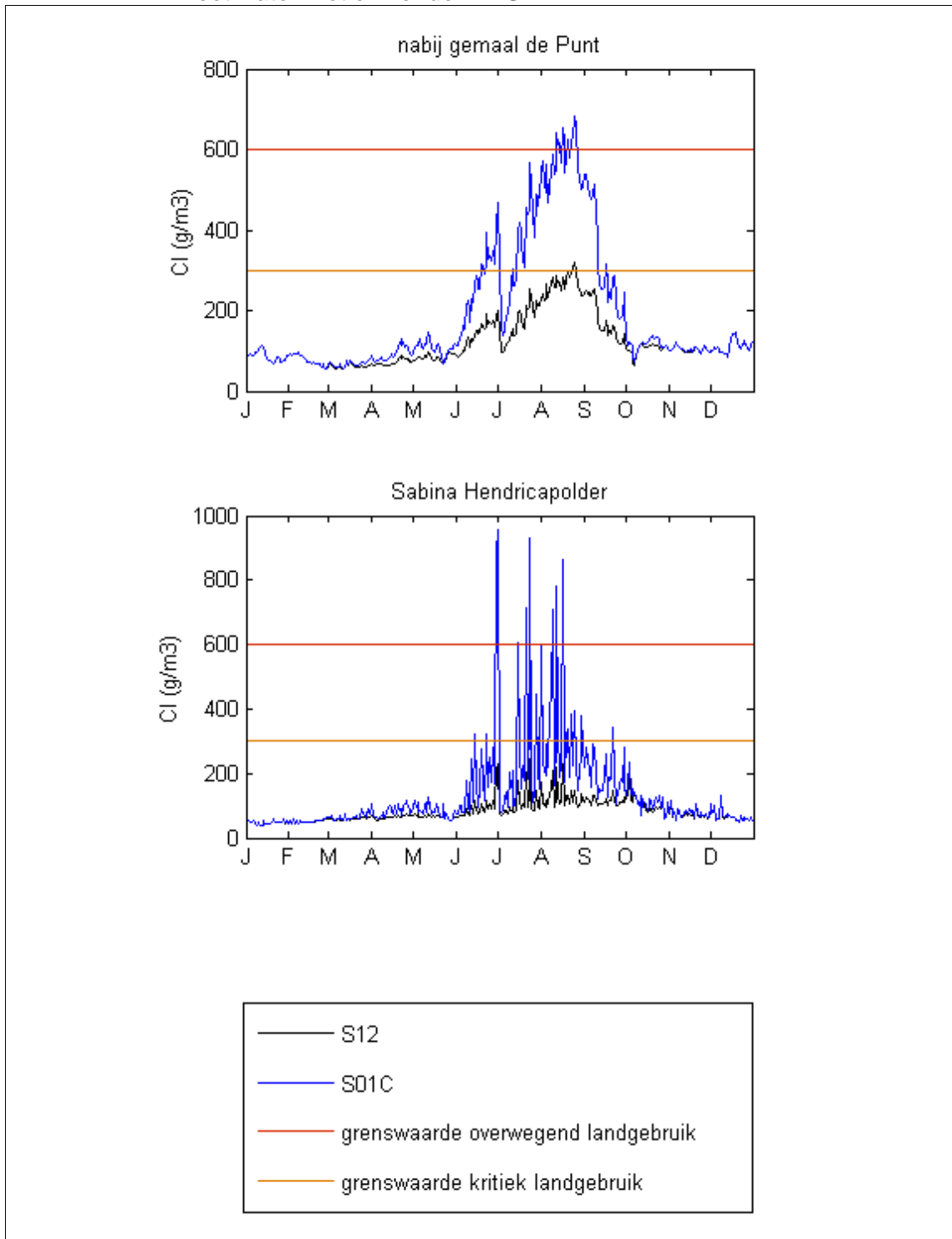
Afbeelding 5.1. Zoutconcentraties bij de meest benedenstroomse inlaatlocaties voor zoet water met de oude en nieuwe inzichten voor de modellering



5.3. Effect wel/geen IZZS

Uit de Wanda-Locks resultaten (hoofdstuk 4) is reeds gebleken dat met IZZS flinke zoutreductie kan worden behaald indien het beheer van de sluizen zo wordt ingericht dat de deuren na openen altijd weer snel gesloten worden. Afbeelding 5.2 laat zien dat de zoutconcentraties bij de meest benedenstroomse inlaatpunten sterk afnemen door toepassing van het IZZS (S12), en blijft onder de waarde voor het kritische landgebruik. Het zout dringt ook minder ver in (bijlage I).

Afbeelding 5.2. Zoutconcentraties bij de meest benedenstroomse inlaatlocaties voor zoet water met en zonder IZZS



5.4. Effecten doorspoelen met aanvoer via de Roode Vaart

Het installeren van een aanvoerdebiet van 3,5 m³/s zoet water via de Roode Vaart is beschouwd als no-regret maatregel en toegepast in som S12. Het installeren van nog grotere aanvoerdebieten (7 m³/s in S13 en 10 m³/s in S14) bij hetzelfde spuiregime (spuien als peil bij Nieuwveer > NAP +0,15 m) zou het zout nog verder terug moeten dringen. In afbeelding 5.3 is te zien dat dit ook het geval is. Zowel op de Dintel als op de Steenbergse Vliet wordt de zoutindringing gereduceerd.

Interessant is hierbij ook om te kijken naar de verdeling van dit aanvoerdebiet via de Roode Vaart (afbeelding 5.4). Als we kijken naar S12 is het opvallend te noemen dat er bij Stampersgat tijdens hoge afvoeren veel meer water de Dintel dan de Vliet op stroomt. Op het moment dat de afvoer bij Stampersgat onder de 10 m³/s komt wordt de afvoer richting Benedensas hoger dan de afvoer richting Dintelsas. Langs de Steenbergse Vliet wordt echter veel water doorgevoerd naar Tholen en St. Philipsland. Het gevolg hiervan is dat het uiteindelijke debiet bij Benedensas altijd lager is dan het debiet bij Dintelsas. Het feit dat er watervraag is voor de PAN-polders, Tholen en St. Philipsland langs de Vliet heeft daarmee ook een directe relatie met de zoutindringing.

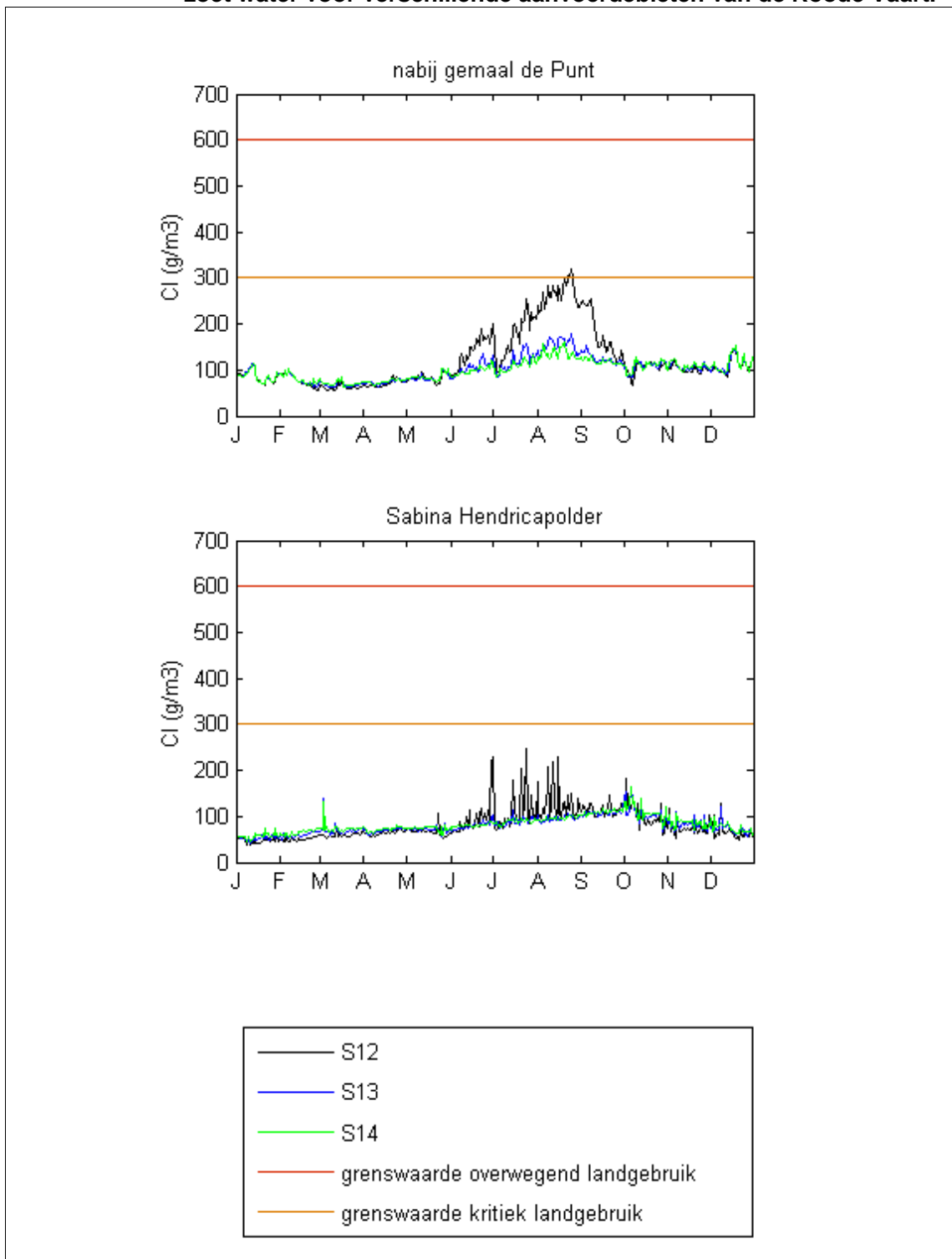
Als S12 wordt vergeleken met S13 en S14 valt op dat van het extra aangevoerde water er relatief veel richting de Dintel gaat. Een aanvoer van 7 m³/s lijkt op basis van deze sommen voldoende om de zoutindringingsproblemen op de Vliet en de Dintel op te lossen. Omdat relatief veel van dit water de Dintel opstroomt zou dan wellicht een drempel in de Mandersluis niet noodzakelijk zijn en alleen een bellenscherm voldoende zijn, maar dit is niet in detail uitgezocht.

In afbeelding 5.5 is weergegeven wat het effect is van de extra wateraanvoer (7 en 10 m³/s ten opzichte van 3,5 m³/s) vanuit de Roode Vaart. Wat opvalt is dat bij het vergroten van de wateraanvoer de afvoer via de Steenbergse Vliet maar beperkt toeneemt en dat het vergroten van de aanvoer van de Roode Vaart vooral leidt tot een hogere afvoer van de Dintel. In tabel 5.2 is het effect van de extra wateraanvoer samengevat. Het berekende jaargemiddelde inkomende debiet bij Stampersgat is (bij benadering) gelijk aan het extra aanvoerdebiet van de Roode Vaart. Het extra debiet tussen Stampersgat en Dintelsas respectievelijk Stampersgat en Benedensas is gelijk aan de uitgaande extra debieten bij deze sluisen. Dat is logisch aangezien de watervraag van de polders gelijk is bij de verschillende berekeningen en gelijk verondersteld aan de inlaat vanuit Oosterhout.

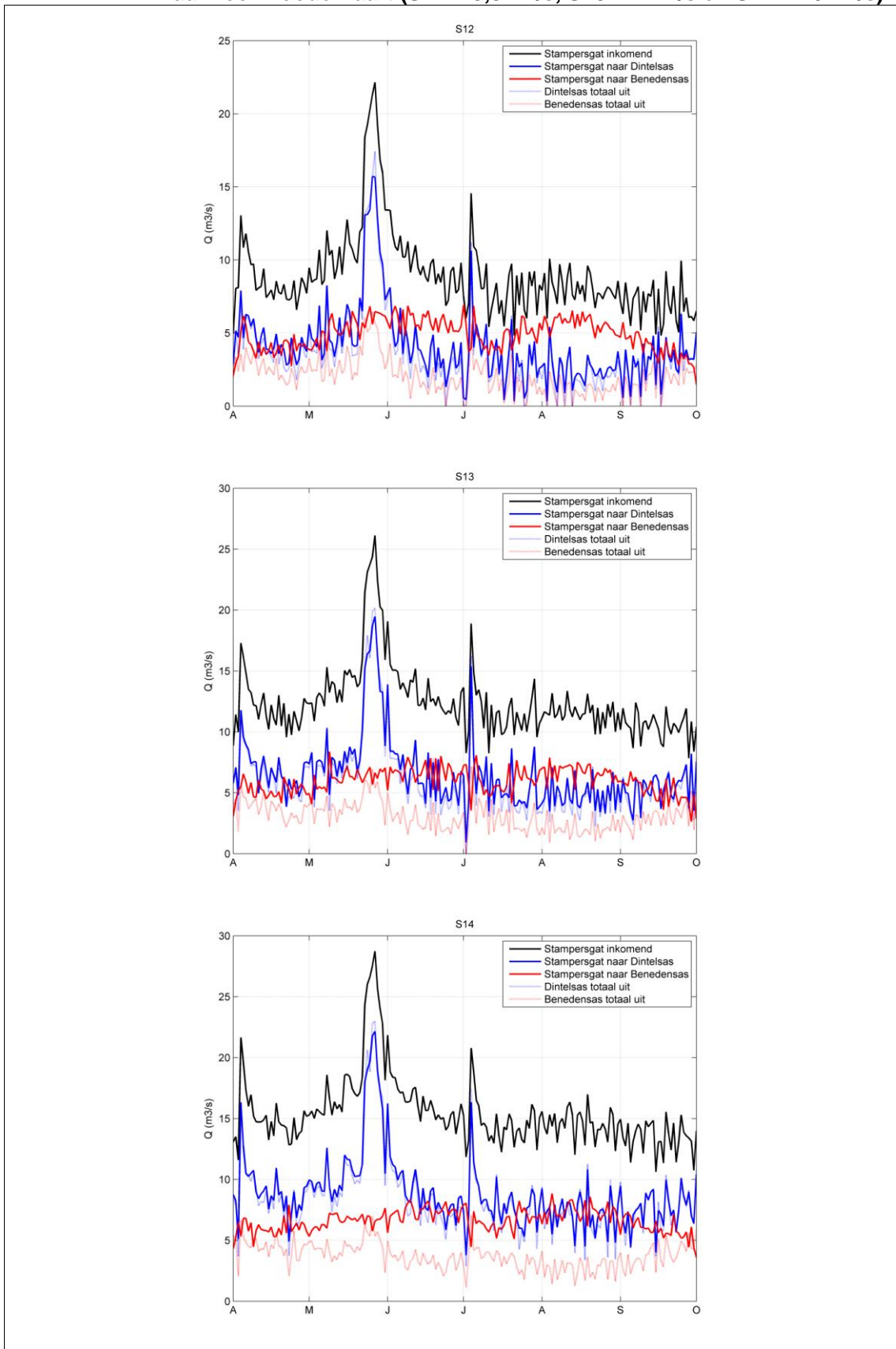
Tabel 5.2. Gemiddelde verdeling van het extra aanvoerwater (S13 en S14 t.o.v. S12)

extra wateraanvoer t.o.v. no-regret aanvoer Roode Vaart (m ³ /s)	extra inkomend debiet bij Stampersgat (m ³ /s)	extra debiet Stampersgat naar Dintelsas (m ³ /s)	extra debiet Stampersgat naar Benedensas (m ³ /s)	extra totale uitgaande debiet Dintelsas (m ³ /s)	extra totale uitgaande debiet Benedensas (m ³ /s)
3,50	3,49	2,64	0,85	2,64	0,85
6,50	6,49	5,12	1,37	5,12	1,37

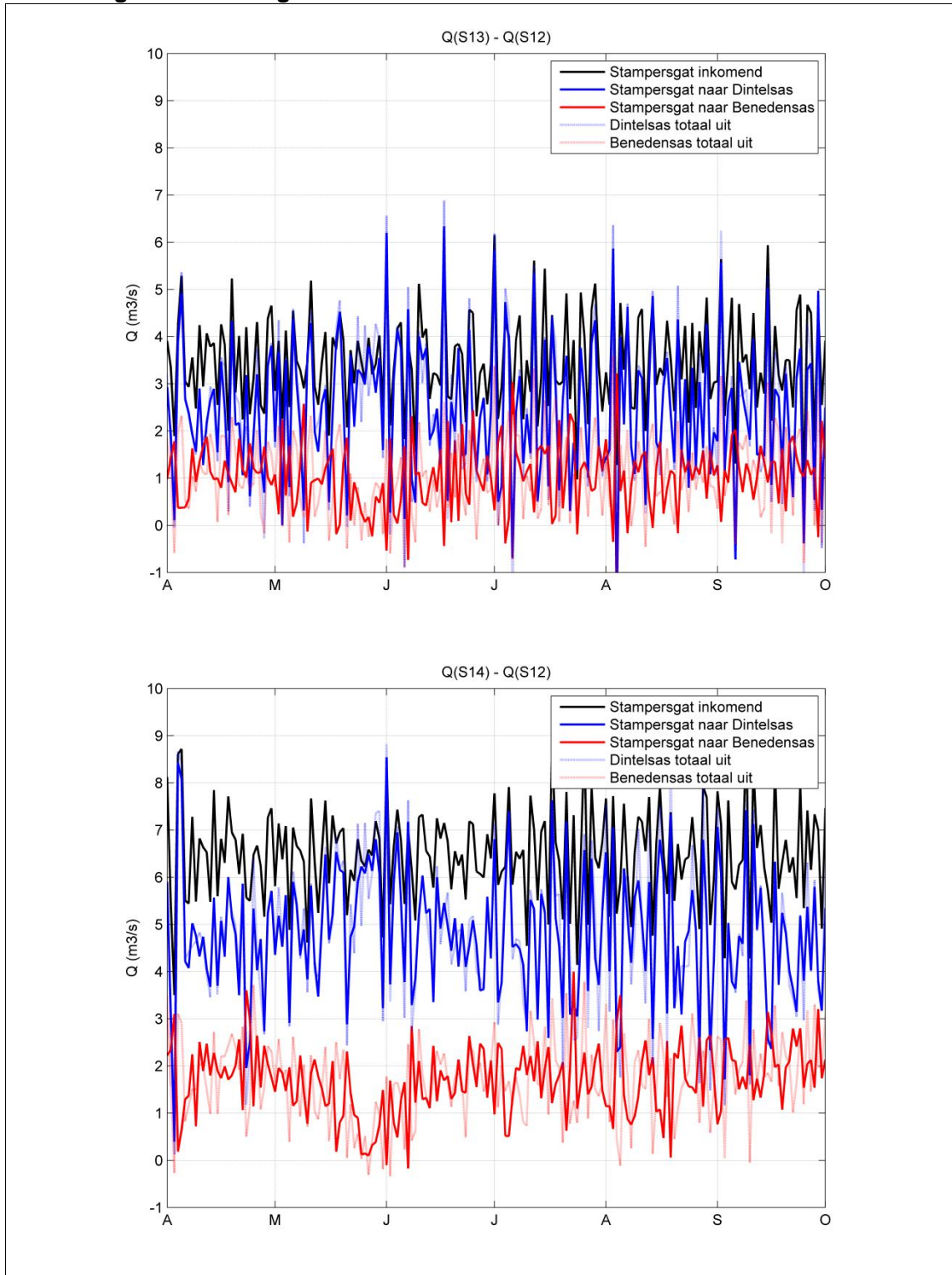
Afbeelding 5.3. Zoutconcentraties bij de meest benedenstroomse inlaatlocaties voor zoet water voor verschillende aanvoerdebieten van de Roode Vaart.



Afbeelding 5.4. Debietverdeling zomerhalfjaar (april-oktober) voor verschillende aanvoer Roode Vaart (S12 = 3,5 m³/s, S13 = 7 m³/s en S14 = 10 m³/s)



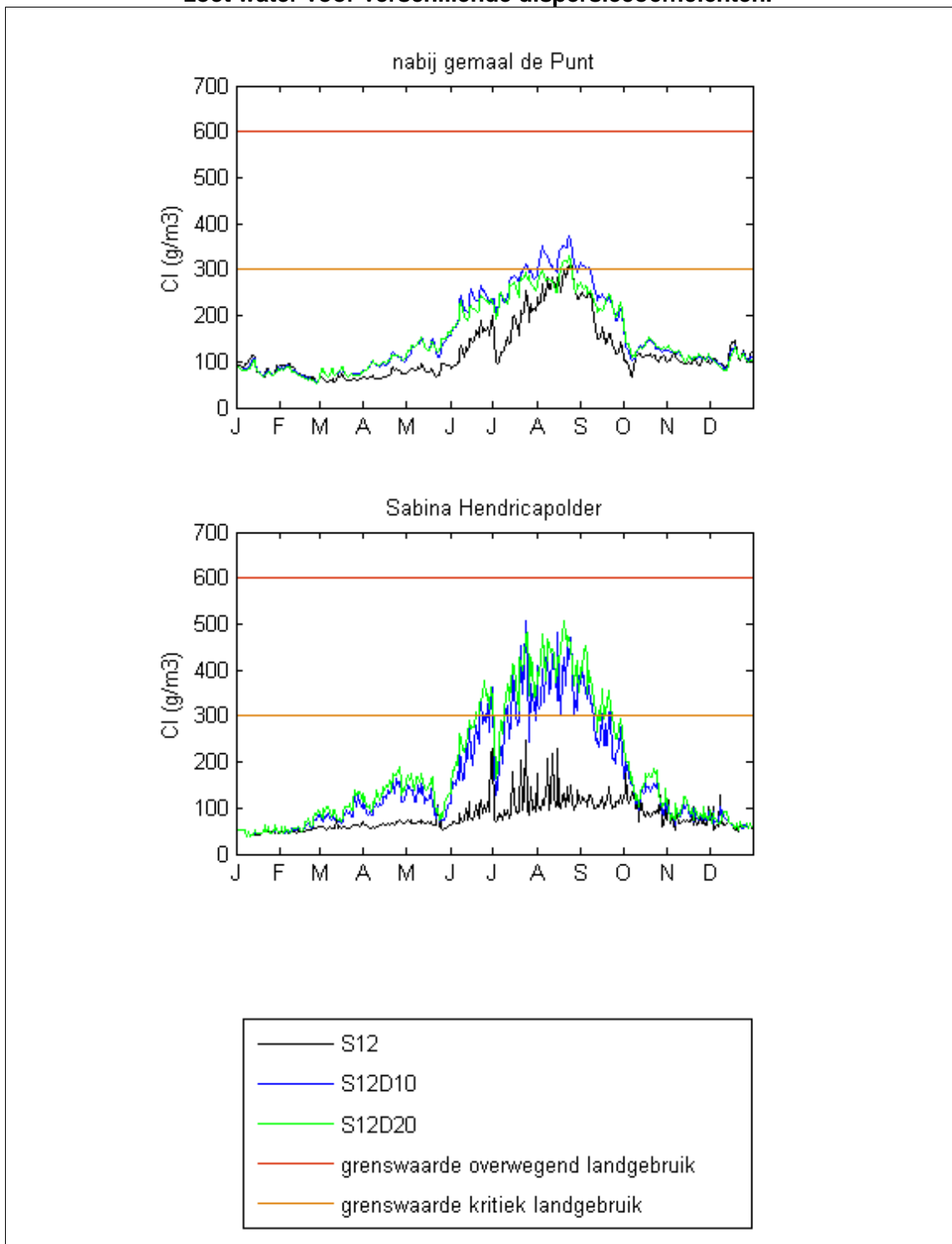
Afbeelding 5.5. Verdeling van extra watertoevoer vanuit de Roode Vaart



5.5. Gevoeligheidsanalyse dispersiecoëfficiënt

De dispersiecoëfficiënt in Sobek heeft in hoge mate invloed op de mate van zoutindringing. In afbeelding 5.6 en bijlage I is te zien dat de zoutconcentraties hoger zijn en het zout verder indringt met een hogere dispersiecoëfficiënt. Een dispersiecoëfficiënt van 10 of 20 m²/s maakt daarbij ten opzichte van 1 m²/s weinig verschil. Met 20 m²/s dringt het zout iets verder in, maar vlakken de pieken ook weer sneller af. Er moet worden aangetekend dat de sommen alleen gemaakt zijn voor een aanvoerdebiet van 3,5 m³/s. Als gekozen wordt voor het installeren van een hogere zoetwateraanvoer via de Roode Vaart wordt aangeraden de zoutindringing te toetsen met een beschouwde dispersiecoëfficiënten bij een afvoer van 7 m³/s.

Afbeelding 5.6. Zoutconcentraties bij de meest benedenstroomse inlaatlocaties voor zoet water voor verschillende dispersiecoëfficiënten.



5.6. Resultaten verschillende zoute jaren

Voor de verschillende verziltingsjaren is gekeken of deze leiden tot andere zoutindringing bij 2 scenario's voor de wateraanvoer vanuit de Roode Vaart.

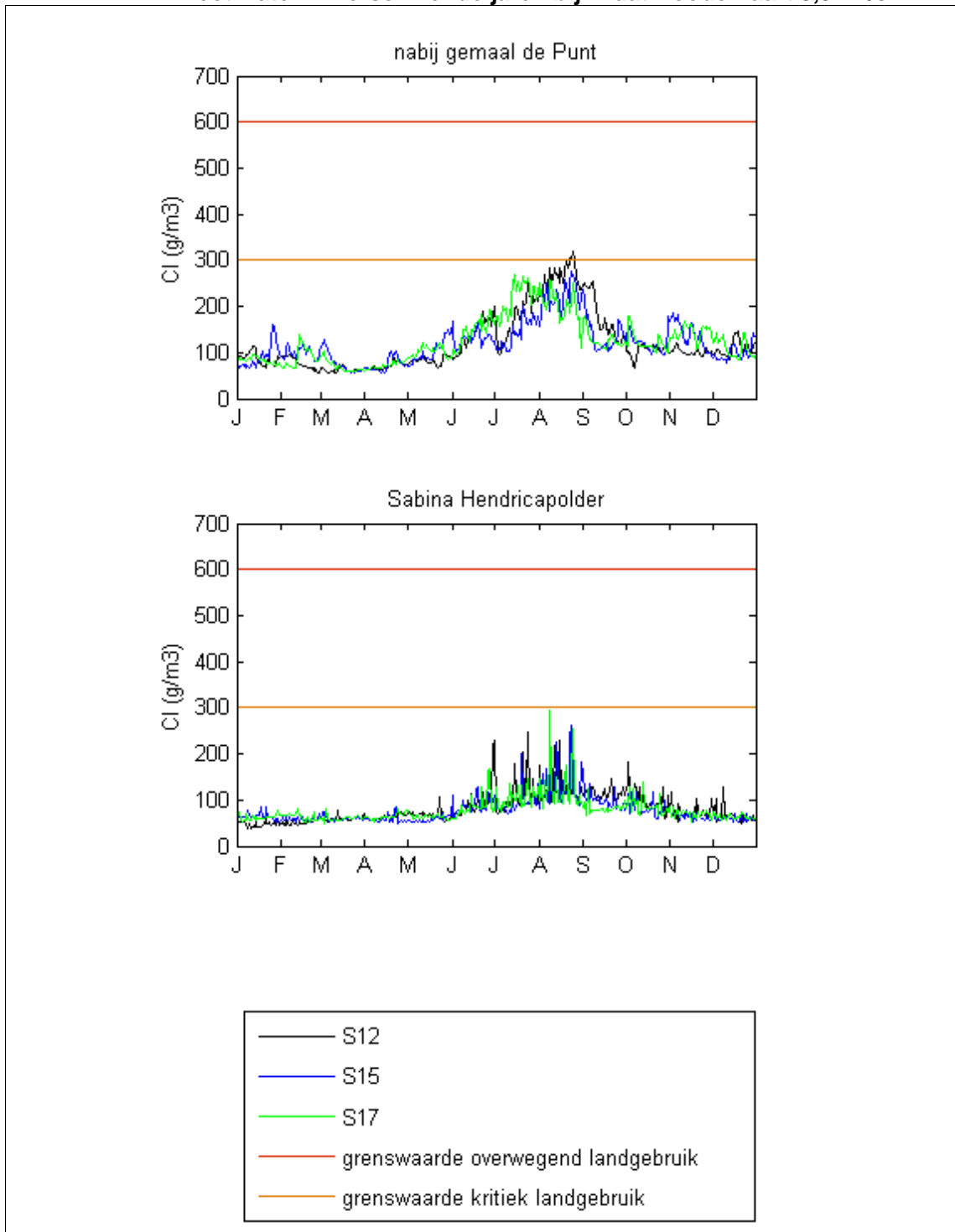
5.6.1. Roode Vaart 3,5 m³/s

Voor een aanvoerdebiet Roode Vaart van 3,5 m³/s zijn de volgende sommen gemaakt:

- S12, zout jaar 2003;
- S15, extreem zout jaar 1990;
- S17, gemiddeld zout jaar 1996.

In afbeelding 5.7 is te zien dat de andere zoutjaren relatief weinig invloed hebben op het algemene beeld van de zoutindringing. Dit is waarschijnlijk eenvoudig te verklaren doordat in het model de zoetwateraanvoer via Oosterhout zo is ingeregeld dat er altijd wordt voldaan aan de zoetwatervraag van de polders.

Afbeelding 5.7. Zoutconcentraties bij de meest benedenstroomse inlaatlocaties voor zoet water in verschillende jaren bij inlaat Roode Vaart 3,5 m³/s



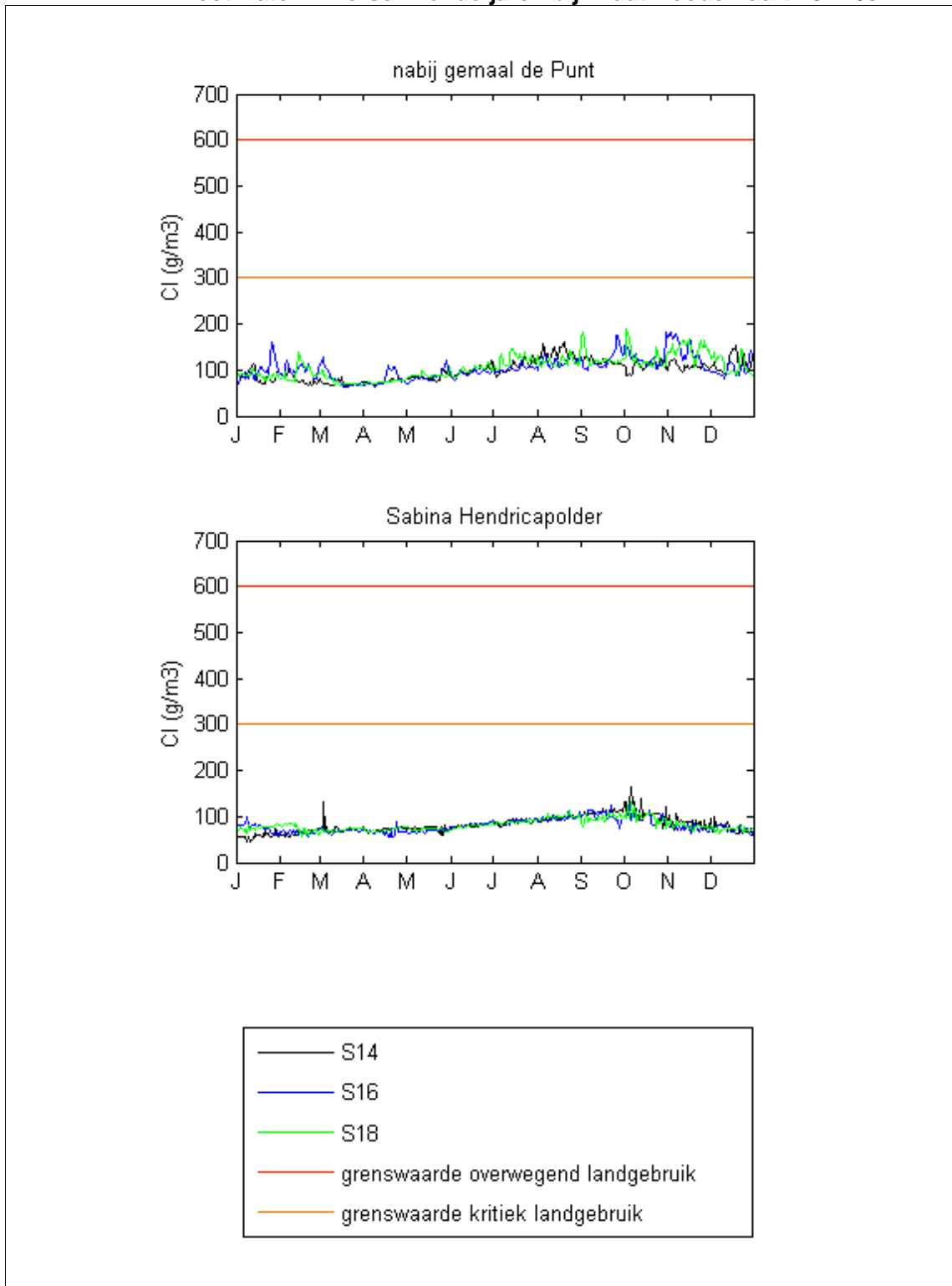
5.6.2. Roode Vaart 10 m³/s

Voor een aanvoerdebiet Roode Vaart van 10 m³/s zijn de volgende sommen gemaakt:

- S14, zout jaar 2003;
- S16, extreem zout jaar 1990;
- S18, gemiddeld zout jaar 1996.

De resultaten zijn te zien in afbeelding 5.8 en hiervoor kan wederom de conclusie worden getrokken dat de invloed van het verziltingsjaar klein is, omdat volgens de instellingen van het model via Oosterhout altijd in de zoetwatervraag kan worden voorzien. Er wordt geadviseerd te toetsen of dit water tijdens hele droge periodes werkelijk altijd beschikbaar is.

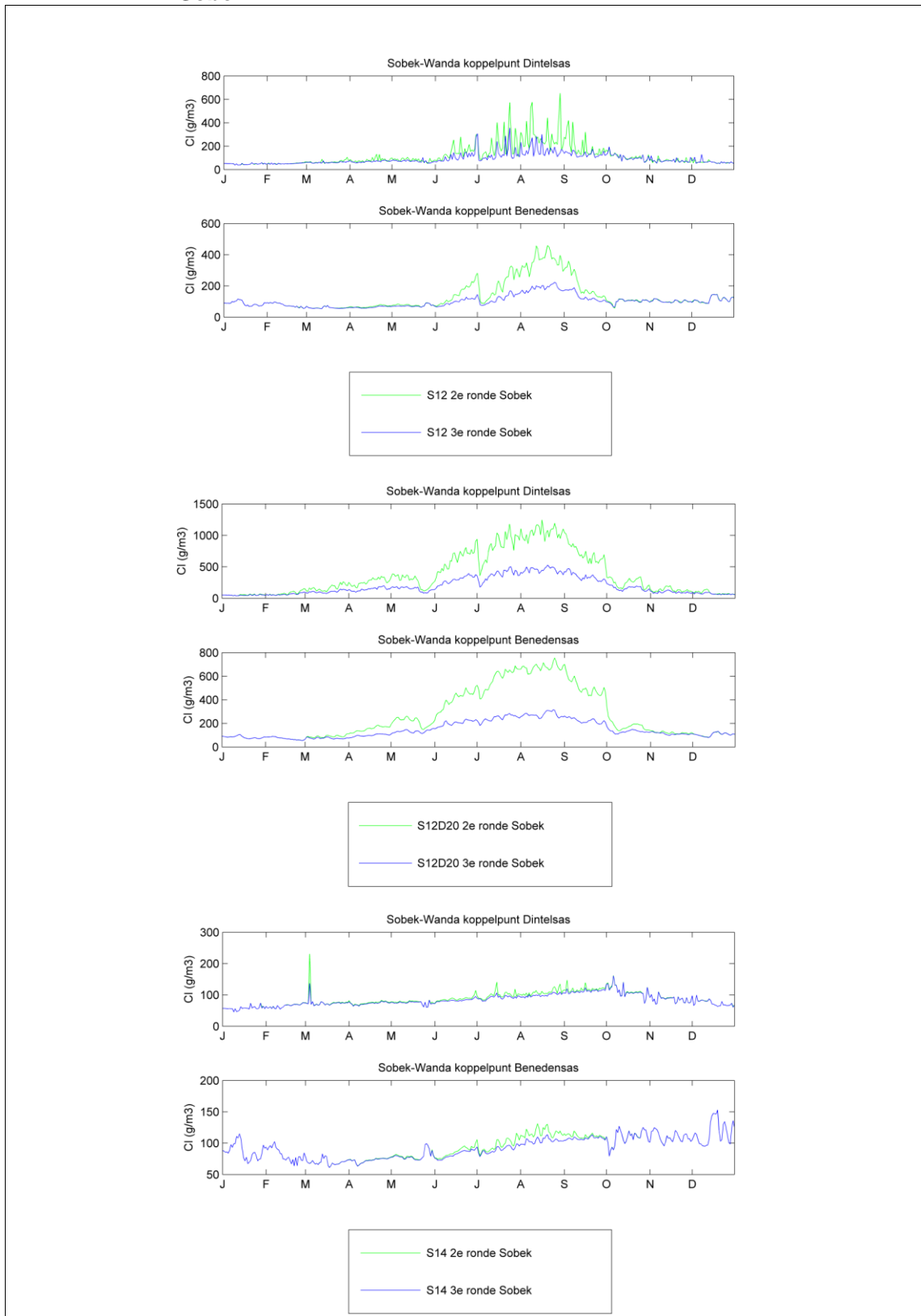
Afbeelding 5.8. Zoutconcentraties bij de meest benedenstroomse inlaatlocaties voor zoet water in verschillende jaren bij inlaat Roode Vaart 10 m³/s



5.7. Convergentie Wanda-Sobek

Omdat het een iteratieve studie betreft, is het interessant om te zien of er ook daadwerkelijk convergentie is bereikt tussen Wanda-Locks en Sobek. In afbeelding 5.9 is te zien dat dit eigenlijk nog niet het geval is voor S12 en S12D20 (aanvoerdebiet Roode Vaart 3,5 m³/s), maar wel bij S14 (aanvoerdebiet Roode Vaart 10 m³/s). Bij lage debieten is de koppeling gevoeliger en het zoutlek door de sluizen (Wanda) hangt meer af van de randvoorwaarden. Bij S12 zijn tussen de 2^e en 3^e ronde Sobek-berekeningen de berekende chloridenconcentraties op het Sobek-Wanda koppelpunt (waar input van Sobek richting Wanda gaat) lager geworden. Dit zou bij een volgende iteratie leiden tot een hoger zoutlek, want er is een hogere zoutgradiënt. Het uitvoeren van meerdere iteraties zou tot preciezere resultaten leiden en wordt aanbevolen om uit te voeren als toetsing voor het ontwerp waar voor wordt gekozen.

Afbeelding 5.9. Test of convergentie bereikt is met itereren tussen Wanda-Locks en Sobek



6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1. Conclusies berekeningen

Vergelijking Sobek08 en WandaSobek15

- De zoutvracht per schutting wordt door Wanda-Locks (zonder IZZS) veel lager ingeschat dan in Sobek08 is aangenomen.
- Nieuwe inzichten in het schutregime leiden jaarrond niet tot significante verschillen in de zoutindringing, maar tijdens de maatgevende zomermaanden zijn de concentraties veel hoger (S01C ten opzichte van S01B).

IZZS

- Toepassing van IZZS bij Manderssluis en Benedensas leidt tot een substantiële beperking van het zoutlek richting Dintel en Steenbergse Vliet.

Extra aanvoer Roode Vaart

- Extra aanvoer via de Roode Vaart heeft zeer beperkte invloed op het zoutlek van de schutsluizen, maar leidt wel tot een extra afvoer van zout via de spuisluizen en hiermee de concentraties bij de verschillende inlaatpunten.
- Extra aanvoer van de Roode Vaart zorgt voor een sterke terugdringing van het zout in het MDV-stelsel. Een aanvoer van $7 \text{ m}^3/\text{s}$ zorgt ervoor dat alle inlaatpunten in het MDV-stelsel zoet water in kunnen laten (uitgaande van een dispersiecoëfficiënt van $1 \text{ m}^2/\text{s}$). Het maximale chloridegehalte is nabij gemaal de Punt en is 179 mg/L .
- De extra wateraanvoer via de Roode Vaart, ten opzichte van de no-regret aanvoer van $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ en bij gelijke watervraag en sturing sluiscomplexen, leidt vooral tot een vergroting van het spuidebiet bij Dintelsas. Er wordt in het model maar beperkt extra gespuid bij Benedensas. Dit zou echter aangepast kunnen worden door te knijpen bij Dintelsas.

Gevoeligheid dispersiecoëfficiënt

- Het berekende zoutlek bij de schutsluizen wordt niet noemenswaardig beïnvloed door de gekozen waarde voor de dispersiecoëfficiënt.
- De zoutindringing in het MDV-stelsel wordt wel sterk beïnvloed door de dispersiecoëfficiënt, maar tussen een coëfficiënt van 10 en $20 \text{ m}^2/\text{s}$ zit weinig verschil (bij een aanvoer via de Roode Vaart van $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$). Het chloridegehalte is in dit geval alleen problematisch voor de meest benedenstroomse inlaatpunten. Dit betreft in de weergegeven resultaten 'Sabina Hendricapolder' en 'nabij gemaal de Punt', die redelijk representatief zijn voor alle te verplaatsen inlaatpunten (6 stuks) (zie afbeelding 2.10).

Gevoeligheid hydrologische jaren

In de gebruikte modelinstellingen wordt via de inlaat van Oosterhout altijd voldoende zoet water voor de watervraag van de polders beschikbaar wordt geacht. Ten gevolge hiervan is:

- de variatie in het berekende zoutlek bij de schutsluizen tussen verschillende hydrologische jaren zeer gering (bij dezelfde zoetwateraanvoer via de Roode Vaart);
- het effect op de zoutindringing in het MDV-stelsel ook gering.

Maatregelpakketten

Verschillende maatregelpakketten zouden ervoor kunnen zorgen dat de zoetwatervoorziening voor West-Brabant, Tholen en St. Philipsland op het gewenste niveau blijft:

- niet toepassen bellenschermen (eventueel wel een drempel in de Manderssluis) en verplaatsen van de 6 eerder voorgestelde inlaatpunten en een capaciteit bij de Roode Vaart van $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (variant op som S01C). Het gevaar van dit maatregelpakket is dat op de Steenbergse Vliet de zoutindringing iets verder kan komen dan nu berekend,

omdat het zoete water minder ver de Vliet op wordt getrokken bij hetzelfde spuiregime. Dit zou weer gecompenseerd kunnen worden door knijpen bij Dintelsas en zou nader onderzocht moeten worden;

- wel toepassen IZZS, niet verplaatsen van inlaatpunten en de gemaalcapaciteit bij de Roode Vaart uitbreiden naar 7 m³/s (som S13). Er zou onderzocht kunnen worden of 5 of 6 m³/s ook voldoende is. Belangrijke randvoorwaarde is hierbij dat alle 6 benedenstroomse inlaatpunten hun water van bovenin de waterkolom innemen en niet van onderin, omdat daar de hoogste zoutconcentraties worden verwacht;
- deels toepassen IZZS, waarbij onderzocht zou moeten worden of het bellenscherm of de drempel in de Manderssluis achterwege gelaten zou kunnen worden, niet verplaatsen van inlaatpunten en de gemaalcapaciteit bij de Roode Vaart uitbreiden naar 7 m³/s (variant op som S13). Belangrijke randvoorwaarde is hierbij dat alle 6 benedenstroomse inlaatpunten hun water van bovenin de waterkolom innemen en niet van onderin, omdat daar de hoogste zoutconcentraties worden verwacht;
- niet toepassen IZZS, niet verplaatsen van inlaatpunten, de gemaalcapaciteit bij de Roode Vaart uitbreiden naar 10 m³/s (mogelijk zelfs minder) en licht opzetten van het peil op het MDV-stelsel. Door het peil op te zetten op het MDV-stelsel is er een groter verval beschikbaar. Dit verval kan worden benut voor het doorspoelen van de sluiskolken. Voor dit maatregelenpakket is nog geen som gemaakt, maar op basis van de overige resultaten wordt dit wel kansrijk geacht.

Peilopzet zou ook toegepast kunnen worden bij de eerste drie pakketten, maar is minder effectief omdat minder aanvoerdebiet om te spoelen beschikbaar is.

6.2. Aanbevelingen

6.2.1. Dispersie en gelaagdheid

Om meer inzicht te krijgen in betekenis van de dieptegemiddelde resultaten van Sobek verdient het de aanbeveling om voor één of meerdere scenario's 3D-sommen te maken. Dit zal meer inzicht geven in hoe de Sobek-sommen met dieptegemiddelde resultaten voor verschillende dispersiecoëfficiënten geïnterpreteerd moeten worden.

6.2.2. Beschikbaarheid zoet water via Oosterhout

In het model is ervan uitgegaan dat er via Oosterhout altijd aan de zoetwatervraag van de polders voldaan kan worden. Het verdient aanbeveling te toetsen of aan dit uitgangspunt daadwerkelijk altijd voldaan kan worden. Indien dit niet het geval is dan kan het gemaal bij de Roode Vaart meer capaciteit gegeven worden.

6.2.3. Bouwstenen schut- en spoelregime

Het gekozen schutregime in de berekeningen is mogelijk te optimistisch gekozen, voor wat betreft het zoutlek. We adviseren daarom bij het vaststellen van het daadwerkelijk schutregime nog een aanvullende gevoeligheidsanalyse uit voeren naar het effect van het schutregime op het zoutlek van de schutsluizen. De resultaten hiervan zullen enerzijds inzicht kunnen geven in de mogelijke variatie van zoutlek en anderzijds inzicht kunnen geven in de optimalisatie van het schutregime zoals met de sluiswachters kan worden afgestemd. Uit ander onderzoek (zoals rond de Krammersluizen) is bekend dat het sluisbeheer een zeer belangrijke rol kan spelen bij de beperking van het zoutlek – naast uiteraard technische maatregelen zoals een bellenscherm en drempel.

Bij het vaststellen van het daadwerkelijk schut- en spoelregime adviseren we tevens om rekening te houden met de mogelijke effecten van het spoelen van de sluiskolk. Spoelen van de sluiskolk kan bijdragen aan de beperking van het zoutlek (mits er voldoende afvoer en voldoende tijd tussen de schuttingen beschikbaar is). Daarnaast kan de vismigratie door de sluiskolk worden gefaciliteerd wanneer er door de sluiskolk kan worden gespoeld. In dit licht verdient het aanbeveling na te gaan wat de effecten zouden kunnen zijn van een verhoging van het peil in het MDV-stelsel (NAP +0,20 m in plaats van NAP +0 m), om het spoelen van de sluiskolk mogelijk te maken.

6.2.4. Monitoring

De doelstelling van de verschillende maatregelen is de verzilting van het MDV-systeem te beperken en de beschikbaarheid van voldoende zoet water voor de landbouw zekerder te maken. In de winterperiode zal in de praktijk meestal geen water worden ingelaten en is het dus niet nodig om allerlei maatregelen te implementeren. Tijdens de zomerperiode is het gewenst om – naast IZZS – water aan te voeren via Oosterhout en de Roode Vaart. De benodigde hoeveelheid zal samenhangen met de afvoeren van de Brabantse rivieren, het aantal schuttingen en de zoetwatervraag van de polders.

We adviseren in aanvulling op de technische maatregelen ook een zoutmonitorsysteem in te richten waarmee de inzet van de verschillende maatregelen kan worden afgestemd. Zo kan besloten worden hoeveel water dient te worden aangevoerd en hoeft het bellen-scherm niet jaarrond te worden ingezet.

Eventueel (in een extreme situatie of bij een calamiteit) kan worden besloten extra maatregelen te nemen, zoals het schutregime optimaliseren (meer schepen per schutting, aantal schuttingen beperken), alleen 's nachts water inlaten in de polders, of inlaten in de polders afstemmen op het spuien (zodat er alleen wordt ingelaten als er gespuid wordt, bij een zo laag mogelijke zoutconcentratie).

Een monitorsysteem voor de zoutconcentratie bij de relevante inlaatpunten vormt zo een essentieel onderdeel van de toepassing van de verschillende technische maatregelen. Het verdient aanbeveling een dergelijk monitorsysteem te combineren met specifieke protocollen voor de waterbeheerders en sluisbeheerders. Zij kunnen dan in voorkomende gevallen op de juiste wijze de beschikbare maatregelen op een effectieve manier inzetten.

Verder verdient het aanbevelingen een protocol op te stellen voor het geval de bellen-schermen tijdelijk buiten werking geraken.

6.2.5. Keuze en toetsing van maatregelpakketten

Het verdient aanbeveling een inschatting te maken welk maatregelpakket economisch het meest gunstige is. Hierin moeten naast investeringskosten ook beheerkosten en mogelijke risico's op bijvoorbeeld falen meegenomen worden.

Aanbevolen wordt dit voorkeurs-maatregelpakket voor het jaar 2003 met een hoge dispersiecoëfficiënt van $10 \text{ m}^2/\text{s}$ te toetsen middels het itereren van deze ene som tussen Wanda-Locks en Sobek totdat convergentie volledig bereikt is.

7. REFERENTIES

1. Beersma, J.J., T.A. Buishand, S. de Goederen en P. Jacobs, Zout, zouter, zoutst. Statistiek van de externe verzilting in Midden-West Nederland, KNMI-publicatie 119-III, 2005.
2. Deltares, Waterkwaliteit en ecotopen in een zout Volkerak-Zoommeer, Planstudie Volkerak-Zoommeer, Q4448, 2008.
3. Deltares, Manual WANDA-Locks, Oplevering bij het KPP-project LT-verzilting, Zoutlekmodel, memo 1209463-000-HYE-0007, 2014.
4. Deltares, WANDA-Locks, het nieuwe zoutlekmodel. Achtergrondrapportage. I. de Groot-Wallast. Rapport 1209463, 2015.
5. Fischer et al., Mixing in Inland and Coastal Waters, Academic Press, ISBN:978-0-12-258150-2, 1979.
6. I&M (Ministerie van Infrastructuur en Milieu), Joint Fact Finding zoet water: Eindrapportage voor de Rijksstructuurvisie Grevelingen en Volkerak-Zoommeer, 2015.
7. Rijkswaterstaat, Maatregelen tegen zoutindringing bij schutsluizen. Planstudie Volkerak-Zoommeer, 2008.
8. DHV, Projectnota Waterkwaliteit Volkerak-Zoommeer, LW-AF20112078, 2012.
9. Waterschap Brabantse Delta, Analyse scheepvaartgegevens provinciale vaarwegen West-Brabant 2000-2013 en afwegingskaders Beheer en Onderhoud, 12.zk08310, 2014.
10. Winter, H.V., A.B. Griffioen, O.A. van Keeken. De Vismigratierivier: Bronnenonderzoek naar gedrag van vis rond zoet-zout overgangen. Rapport C035/14. IMARES, 2014.
11. Witteveen+Bos, Effecten van een zout Volkerak-Zoommeer op de West-Brabantse rivieren, BR585-1, 2008.
12. Witteveen+Bos, Nadere verkenning alternatieve zoetwatervoorziening West-Brabant, Tholen en St. Philipsland, HT367-1, 2010.
13. Witteveen+Bos, fysische en numerieke dispersie MDV stelsel, BR585-6/15-011.292, 2015.

BIJLAGE I APART BIJLAGENBOEK: MODELBEREKENINGEN ZOUTINDRINGING

**Waterschap Brabantse Delta en
Rijkswaterstaat**

**Optimalisatieonderzoek zoutmitige-
rende maatregelen West-Brabant
bij een zout Volkerak-Zoommeer**

**bijlagenboek
modelresultaten zoutindringing**



Waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat

Optimalisatieonderzoek zoutmitige- rende maatregelen West-Brabant bij een zout Volkerak-Zoommeer

bijlagenboek modelresultaten zoutindringing

referentie	projectcode	status
	BR585-6	definitief
projectleider	projectdirecteur	datum
dr. r. R.J. van der Ent	ir. H.J. Mondeel	19 november 2015

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. OVERZICHT ALLE GEMAAKTE BEREKENINGEN IN 3^E MODELRONDE SOBEK	1
2. S01A	3
3. S01B	7
4. S01C	11
5. S12	15
6. S13	19
7. S14	23
8. S12D10	27
9. S12D20	31
10. S15	35
11. S16	39
12. S17	43
13. S18	49
laatste bladzijde	49

1. OVERZICHT ALLE GEMAAKTE BEREKENINGEN IN 3^E MODELRONDE SOBEK

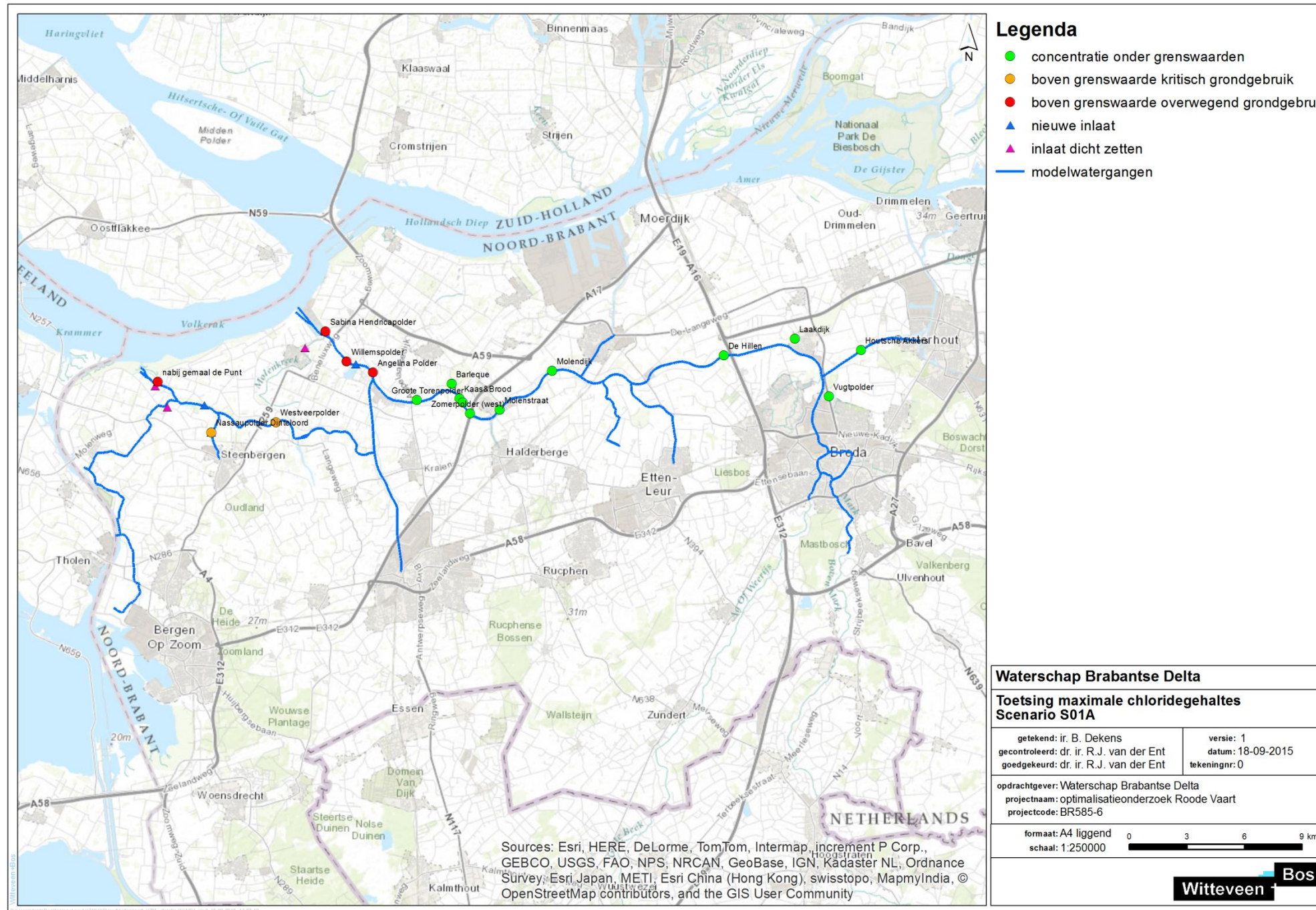
In tabel 1.1 wordt een overzicht gegeven van de gemaakte berekeningen in de 3^e ronde Sobekberekeningen. De tussenresultaten zijn weggelaten uit dit rapport.

Tabel 1.1. overzicht Sobekberekeningen 3^e modelronde.

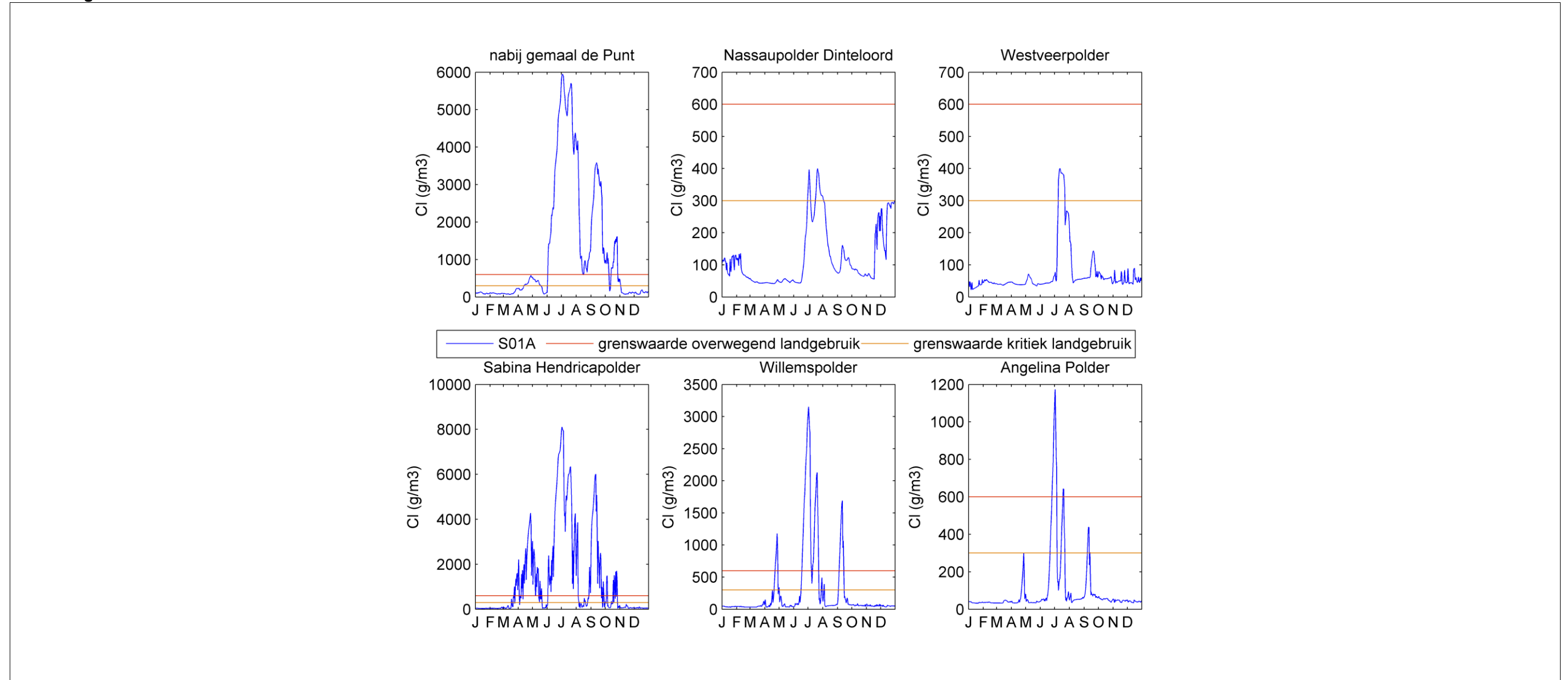
Som	jaar	dispersie-coëfficiënt (m ² /s)	basis-model	schutbeheer	Zoutvracht Dintelsas / Benedensas	Maatregel zoutreductie	inlaat polders	inlaat Oosterhout (m ³ /s)	inlaat Roode Vaart (m ³ /s)	Doel van som
S01A	2003	3	2008	zoals in 2008-studie	zoals in 2008-studie	geen IZZS (0% reductie)	zoals in 2008-studie	zoals in 2008-studie	0	Link met 2008-studie, maar dan som met 0% reductie (niet gedaan in 2008)
S01B	2003	1	2008 /2010	zoals in 2008-studie	obv 1e resultaten base-case Wanda-Locks	geen IZZS (0% reductie)	Volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	basissom/referentiesom met alle nieuwe inzichten verwerkt, behalve het schutten
S01C	2003	1	2008 /2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten base-case Wanda-Locks	geen IZZS (0% reductie)	Volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	Effect van nieuwe inzichten schutbeheer. Referentiecasi zonder IZZS
S12	2003	1	2008 /2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	effect van IZZS in 10% droog hydrologisch jaar 2003.
S13	2003	1	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	7	effect van 7 m ³ /s doorspoelen via Roode Vaart in 10% droog hydrologisch jaar 2003
S14	2003	1	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	10	effect van 10 m ³ /s doorspoelen via Roode Vaart in 10% droog hydrologisch jaar 2003
S12D10	2003	10	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	gevoeligheidsanalyse dispersiecoëfficiënt (mogelijk hoger door dichtheidsstroming)
S12D20	2003	20	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	gevoeligheidsanalyse dispersiecoëfficiënt (mogelijk hoger door dichtheidsstroming)
S15	1990	1	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens verhouding JFF en Sobek08	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	effect van doorspoelen via Roode Vaart in extreem zout jaar 1990
S16	1990	1	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens verhouding JFF en Sobek08	gelijk aan vraag vanuit polders	10	effect van doorspoelen via Roode Vaart in extreem zout jaar 1990
S17	1996	1	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens verhouding JFF en Sobek08	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	effect van doorspoelen via Roode Vaart in gemiddeld zout jaar 1996
S18	1996	1	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregelsom IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens verhouding JFF en Sobek08	gelijk aan vraag vanuit polders	10	effect van doorspoelen via Roode Vaart in gemiddeld zout jaar 1996

2. S01A
Kenmerken

Som	jaar	dispersie-coëfficiënt (m ² /s)	basis-model	schutbeheer	Zoutvracht Dintelsas / Benedensas	Maatregel zoutreductie	inlaat polders	inlaat Oosterhout (m ³ /s)	inlaat Roode Vaart (m ³ /s)	Doel van som
S01A	2003	3	2008	zoals in 2008-studie	zoals in 2008-studie	geen IZZS (0% reductie)	zoals in 2008-studie	zoals in 2008-studie	0	Link met 2008-studie, maar dan som met 0% reductie (niet gedaan in 2008)



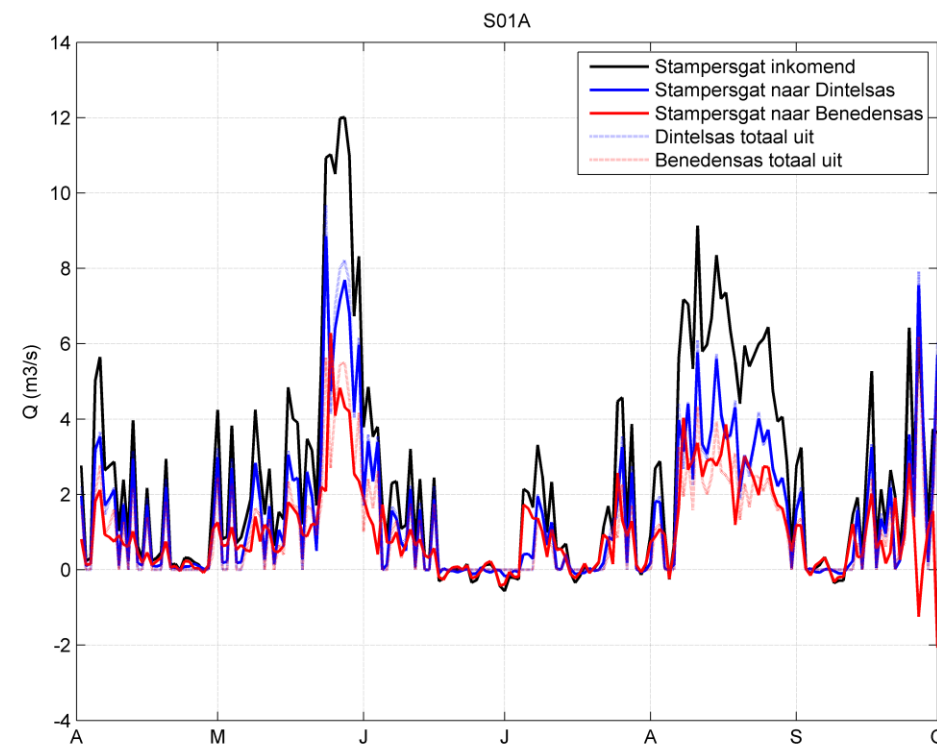
Afbeelding 2.1. Zoutconcentraties in Scenario S01A



Tabel 2.1. Zoutconcentraties bij verschillende inlaatpunten in scenario S01A

inlaatpunt	maximum cl/gehalte mg/l	grenswaarde overwegend grondgebruik	grenswaarde kritisch grondgebruik
		duur overschrijding (da- gen/jaar)	duur overschrijding (dagen/jaar)
nabij gemaal de Punt	5.948	141	187
Nassaupolder Dinteloord	400	0	24
Westveerpolder	401	0	14
Sabina Hendricapolder	8.107	148	175
Willemspolder	3.152	49	61
Angelina Polder	1.173	12	27
Groote Torenpolder	220	0	0
Barleque	94	0	0
Prins Hendrikpolder	63	0	0
Kaas&Brood	71	0	0
Zomerpolder (west)	59	0	0
Molenstraat	60	0	0
De Hillen	57	0	0
Houtsche Akkers	62	0	0
Laakdijk	57	0	0
Molendijk	63	0	0
Vugtpolder	54	0	0

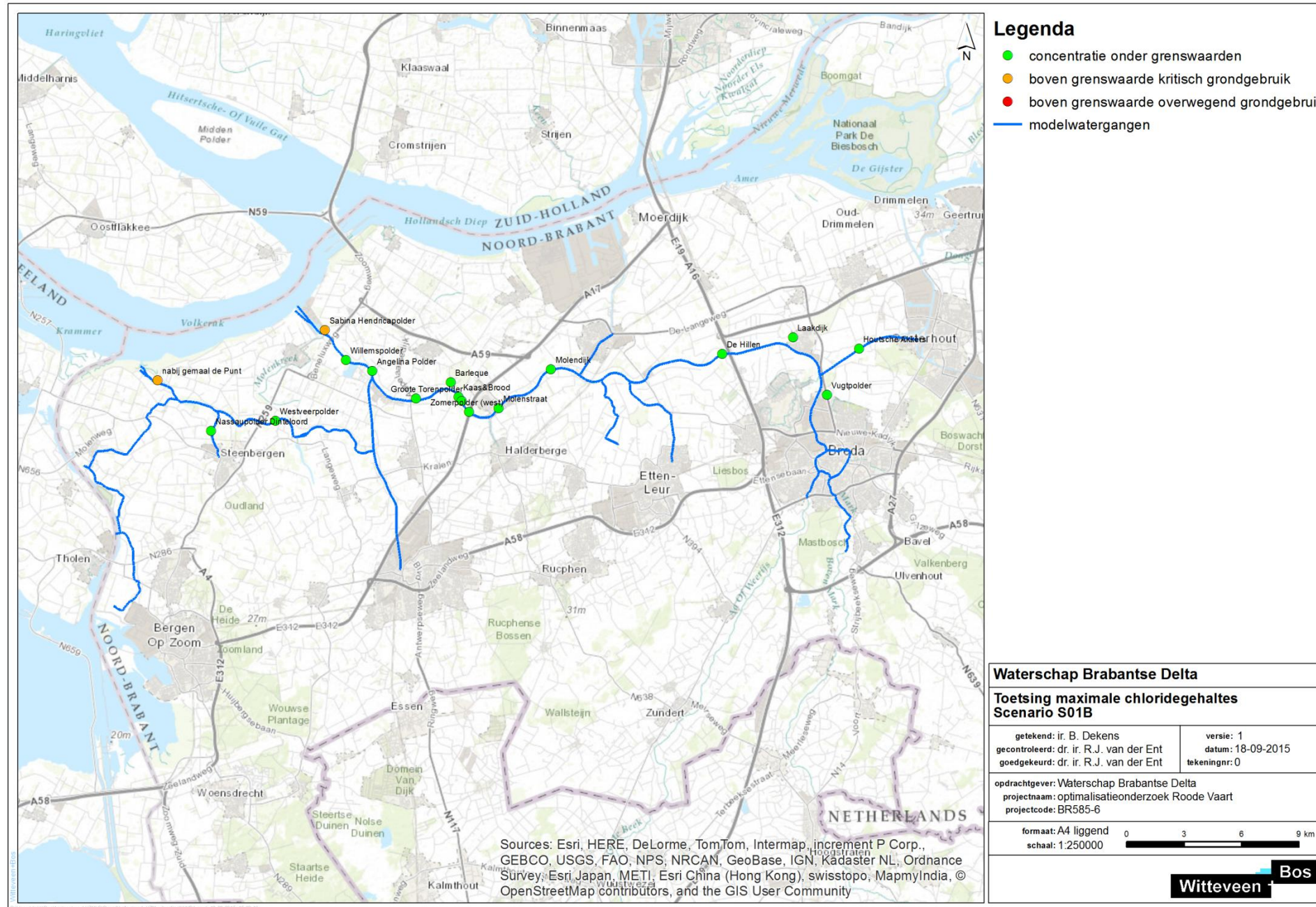
Afbeelding 2.2. Debietverdeling bij Stampersgat, scenario S01A



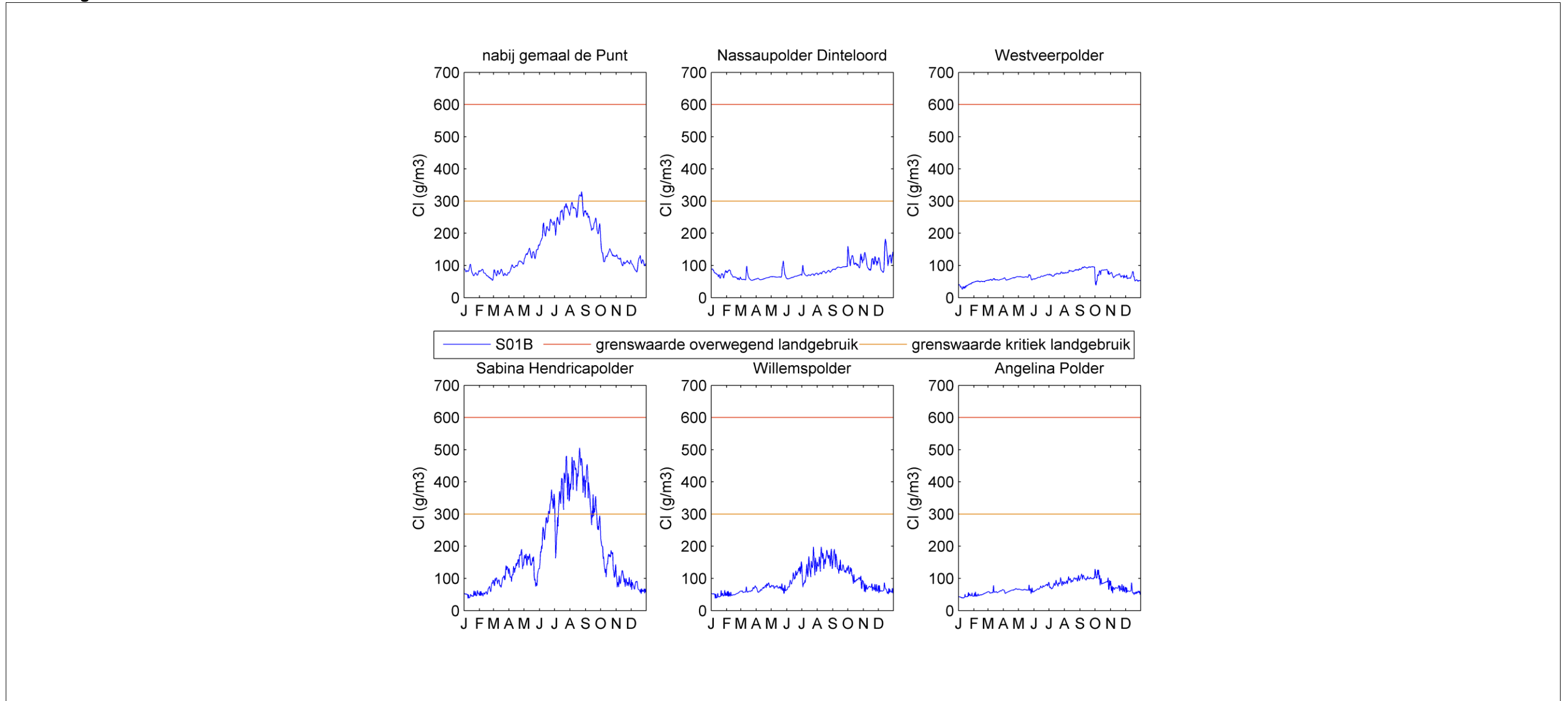
3. S01B

Kenmerken

Som	jaar	dispersie-coëfficiënt (m ² /s)	basis-model	schutbeheer	Zoutvracht Dintelsas / Benedensas	Maatregel zoutreductie	inlaat polders	inlaat Oosterhout (m ³ /s)	inlaat Roode Vaart (m ³ /s)	Doel van som
S01B	2003	1	2008 /2010	zoals in 2008-studie	obv 1e resultaten base-case Wanda-Locks	geen IZZS (0% reductie)	Volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	basissom/referentiesom met alle nieuwe inzichten verwerkt, behalve het schutten



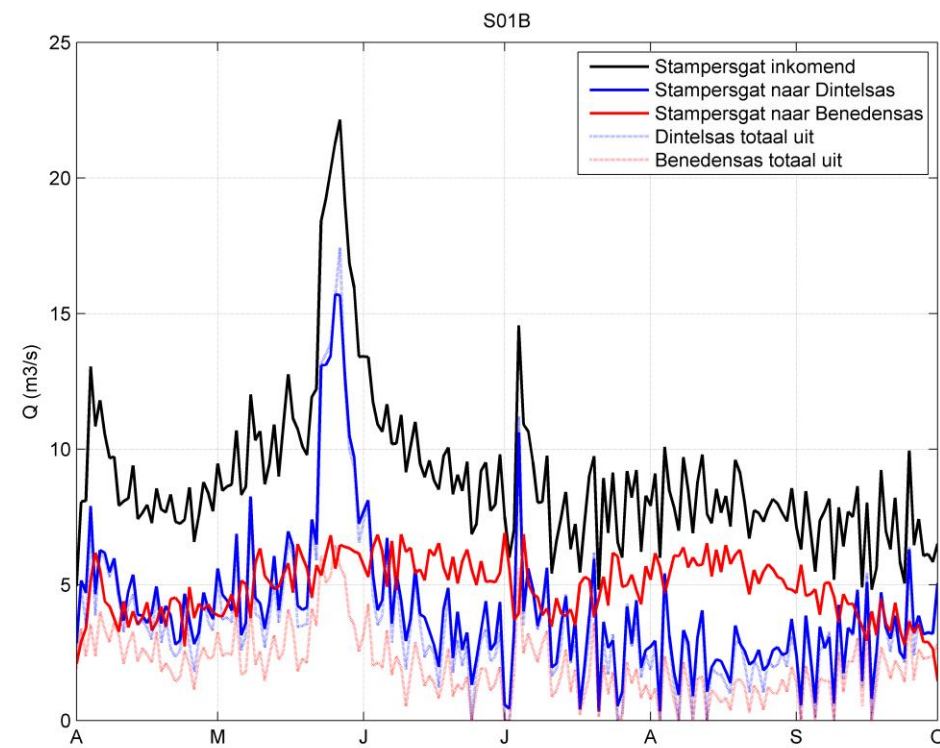
Afbeelding 3.1. Zoutconcentraties in Scenario S01B



Tabel 3.1. Zoutconcentraties bij verschillende inlaatpunten in scenario S01B

inlaatpunt	maximum cl/gehalte	grenswaarde overwegend grondgebruik	grenswaarde kritisch grondgebruik
	mg/l	duur overschrijding (da- gen/jaar)	duur overschrijding (dagen/jaar)
nabij gemaal de Punt	330	0	8
Nassaupolder Dinteloord	182	0	0
Westveerpolder	96	0	0
Sabina Hendricapolder	505	0	86
Willemspolder	198	0	0
Angelina Polder	129	0	0
Groote Torenpolder	109	0	0
Barleque	109	0	0
Prins Hendrikpolder	109	0	0
Kaas&Brood	109	0	0
Zomerpolder (west)	110	0	0
Molenstraat	110	0	0
De Hillen	61	0	0
Houtsche Akkers	64	0	0
Laakdijk	62	0	0
Molendijk	112	0	0
Vugtpolder	61	0	0

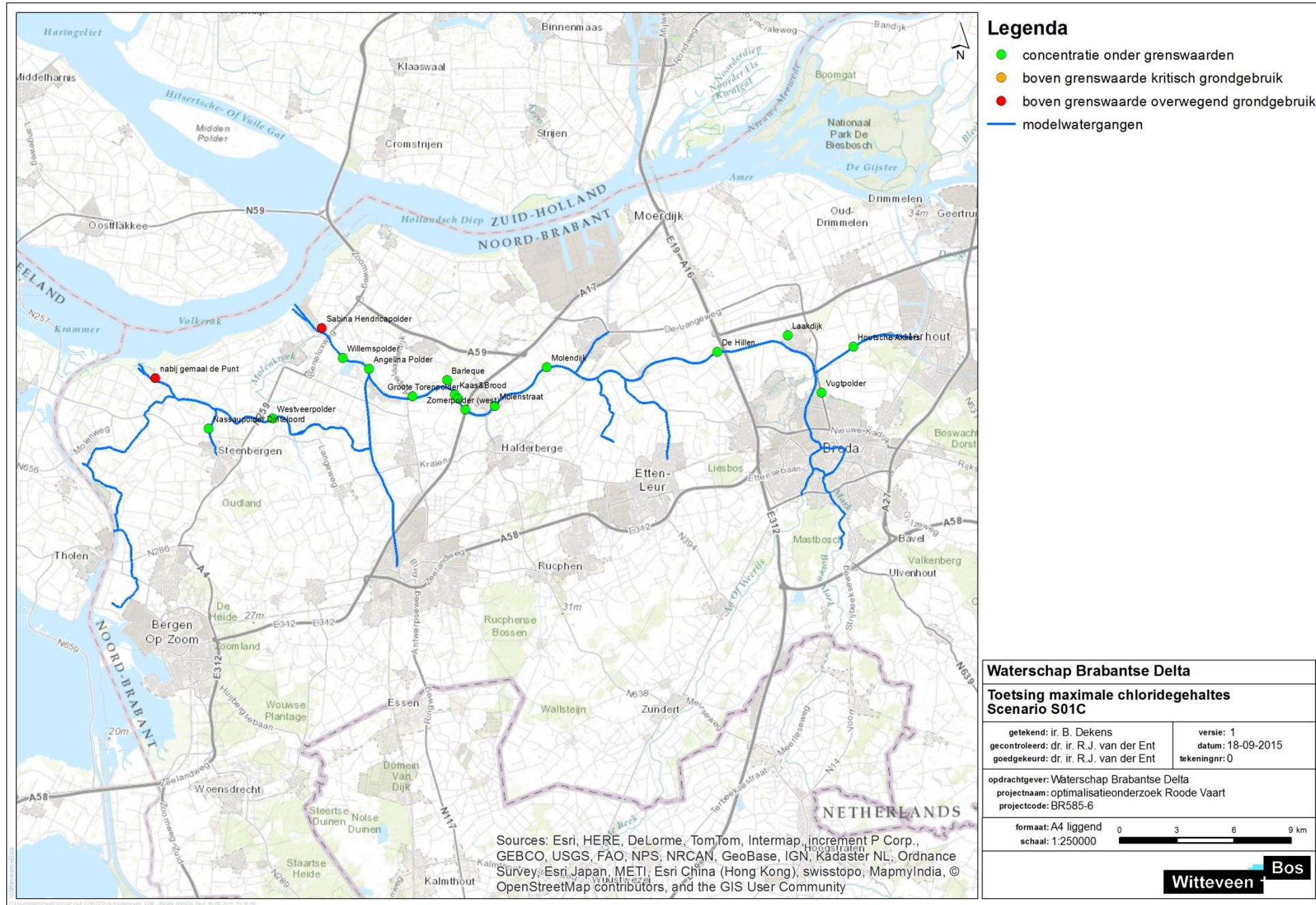
Afbeelding 3.2. Debietverdeling bij Stampersgat, scenario S01B



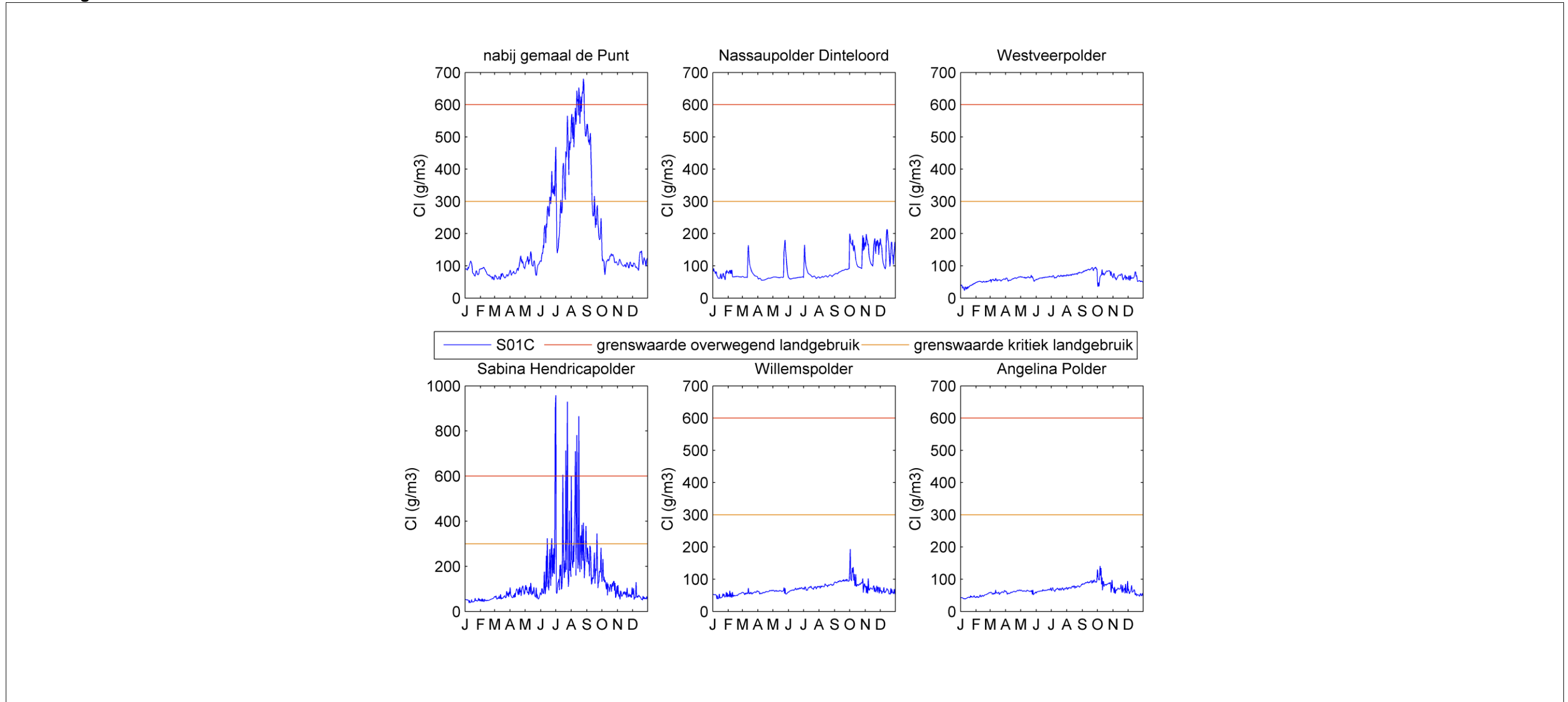
4. S01C

Kenmerken

Som	jaar	dispersie-coëfficiënt (m ² /s)	basis-model	schutbeheer	Zoutvracht Dintelsas / Benedensas	Maatregel zoutreductie	inlaat polders	inlaat Oosterhout (m ³ /s)	inlaat Roode Vaart (m ³ /s)	Doel van som
S01C	2003	1	2008 /2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten base-case Wanda-Locks	geen IZZS (0% reductie)	Volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	Effect van nieuwe inzichten schutbeheer. Referentiecasse zonder IZZS



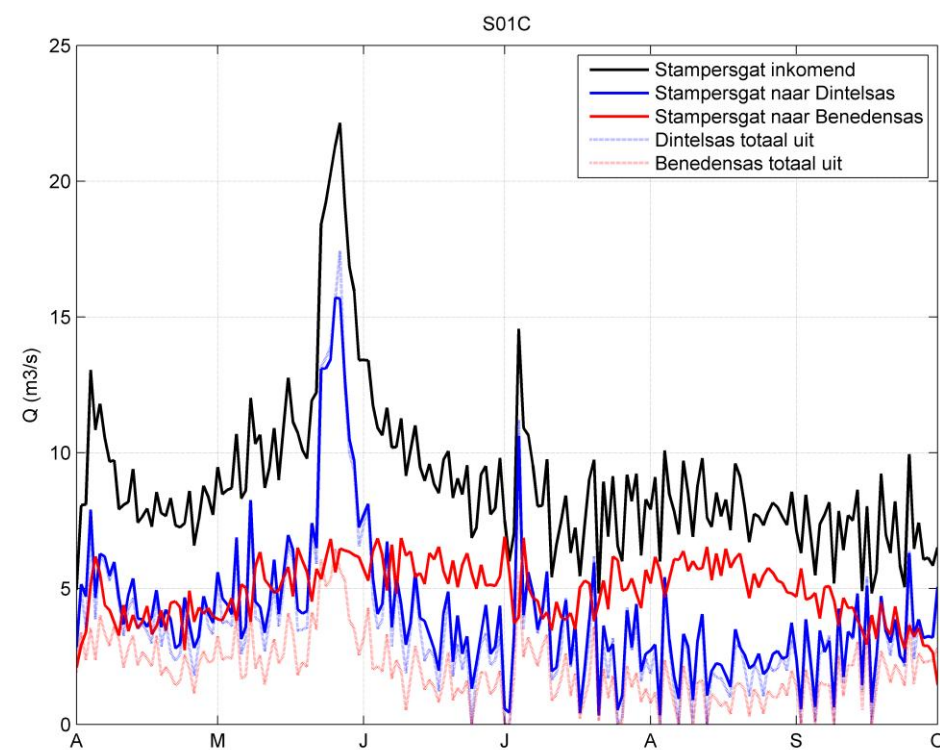
Afbeelding 4.1. Zoutconcentraties in Scenario S01C



Tabel 4.1. Zoutconcentraties bij verschillende inlaatpunten in scenario S01C

inlaatpunt	maximum cl/gehalte	grenswaarde overwegend grondgebruik	grenswaarde kritisch grondgebruik
	mg/l	duur overschrijding (da- gen/jaar)	duur overschrijding (dagen/jaar)
nabij gemaal de Punt	681	11	74
Nassaupolder Dinteloord	213	0	0
Westveerpolder	96	0	0
Sabina Hendricapolder	958	9	23
Willemspolder	193	0	0
Angelina Polder	141	0	0
Groote Torenpolder	119	0	0
Barleque	119	0	0
Prins Hendrikpolder	120	0	0
Kaas&Brood	120	0	0
Zomerpolder (west)	121	0	0
Molenstraat	120	0	0
De Hillen	62	0	0
Houtsche Akkers	65	0	0
Laakdijk	62	0	0
Molendijk	124	0	0
Vugtpolder	49	0	0

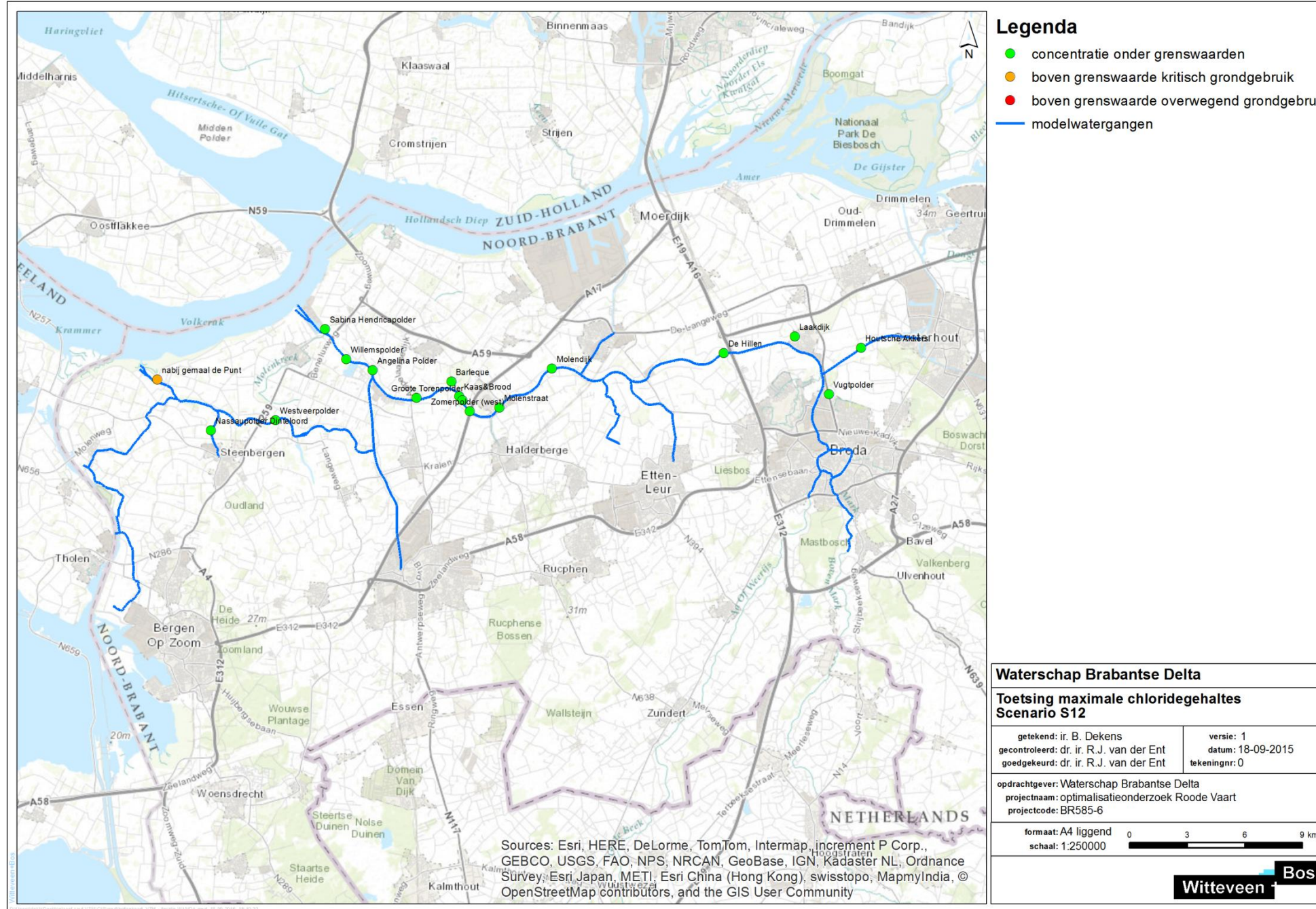
Afbeelding 4.2. Debietverdeling bij Stampersgat, scenario S01C



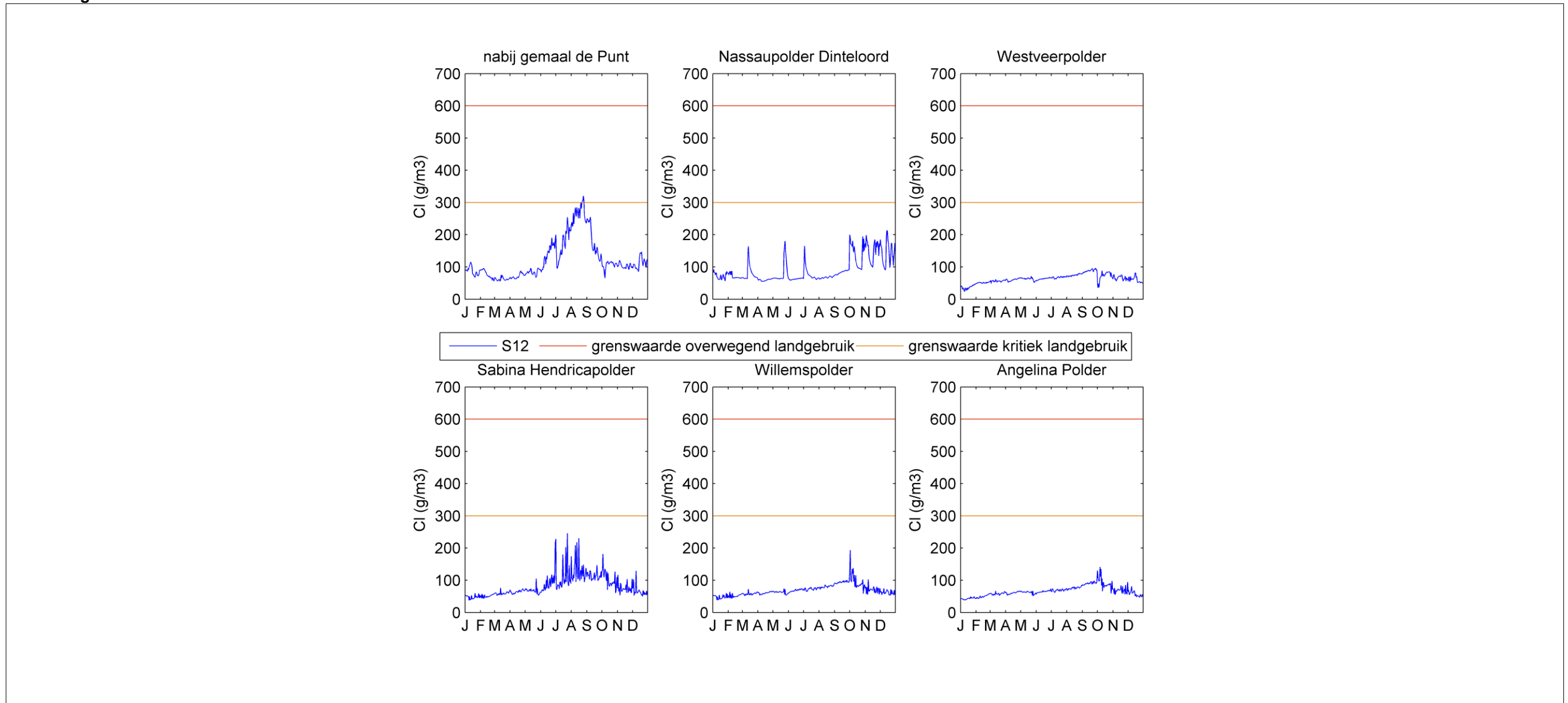
5. S12

Kenmerken

Som	jaar	dispersie-coëfficiënt (m ² /s)	basis-model	schutbeheer	Zoutvracht Dintelsas / Be-nedensas	Maatregel zoutreductie	inlaat polders	inlaat Oosterhout (m ³ /s)	inlaat Roode Vaart (m ³ /s)	Doel van som
S12	2003	1	2008 /2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregel-som IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	effect van IZZS in 10% droog hydrologisch jaar 2003.



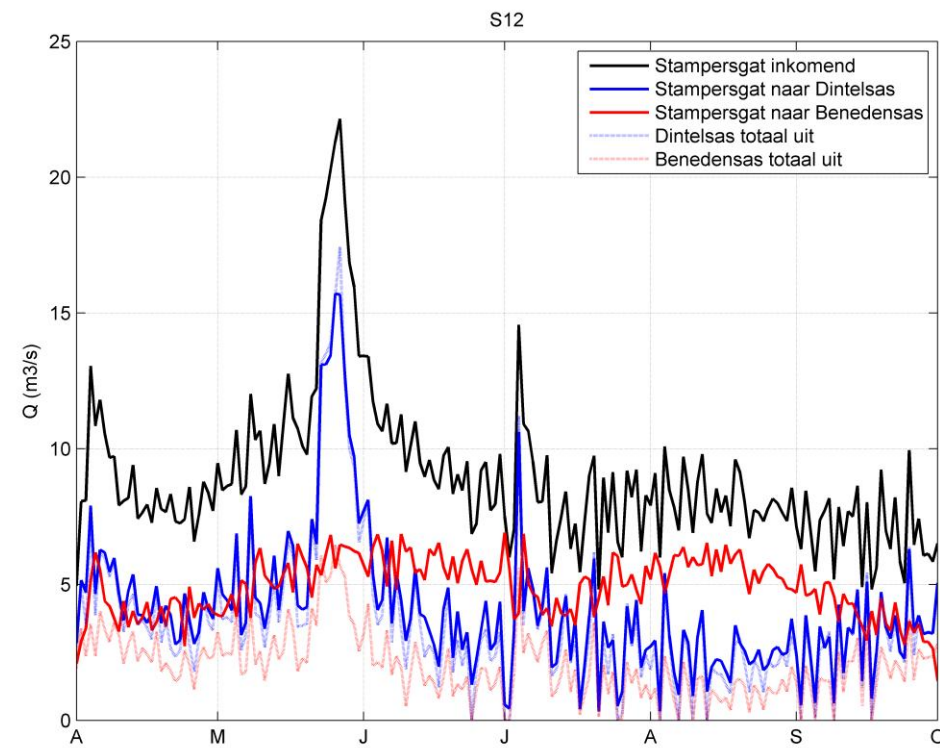
Afbeelding 5.1. Zoutconcentraties in Scenario S12



Tabel 5.1. Zoutconcentraties bij verschillende inlaatpunten in scenario S12

inlaatpunt	maximum cl/gehalte	grenswaarde overwegend grondgebruik	grenswaarde kritisch grondgebruik
	mg/l	duur overschrijding (da- gen/jaar)	duur overschrijding (dagen/jaar)
nabij gemaal de Punt	321	0	5
Nassaupolder Dinteloord	213	0	0
Westveerpolder	96	0	0
Sabina Hendricapolder	246	0	0
Willemspolder	193	0	0
Angelina Polder	141	0	0
Groote Torenpolder	119	0	0
Barleque	119	0	0
Prins Hendrikpolder	120	0	0
Kaas&Brood	120	0	0
Zomerpolder (west)	121	0	0
Molenstraat	120	0	0
De Hillen	62	0	0
Houtsche Akkers	65	0	0
Laakdijk	62	0	0
Molendijk	124	0	0
Vugtpolder	49	0	0

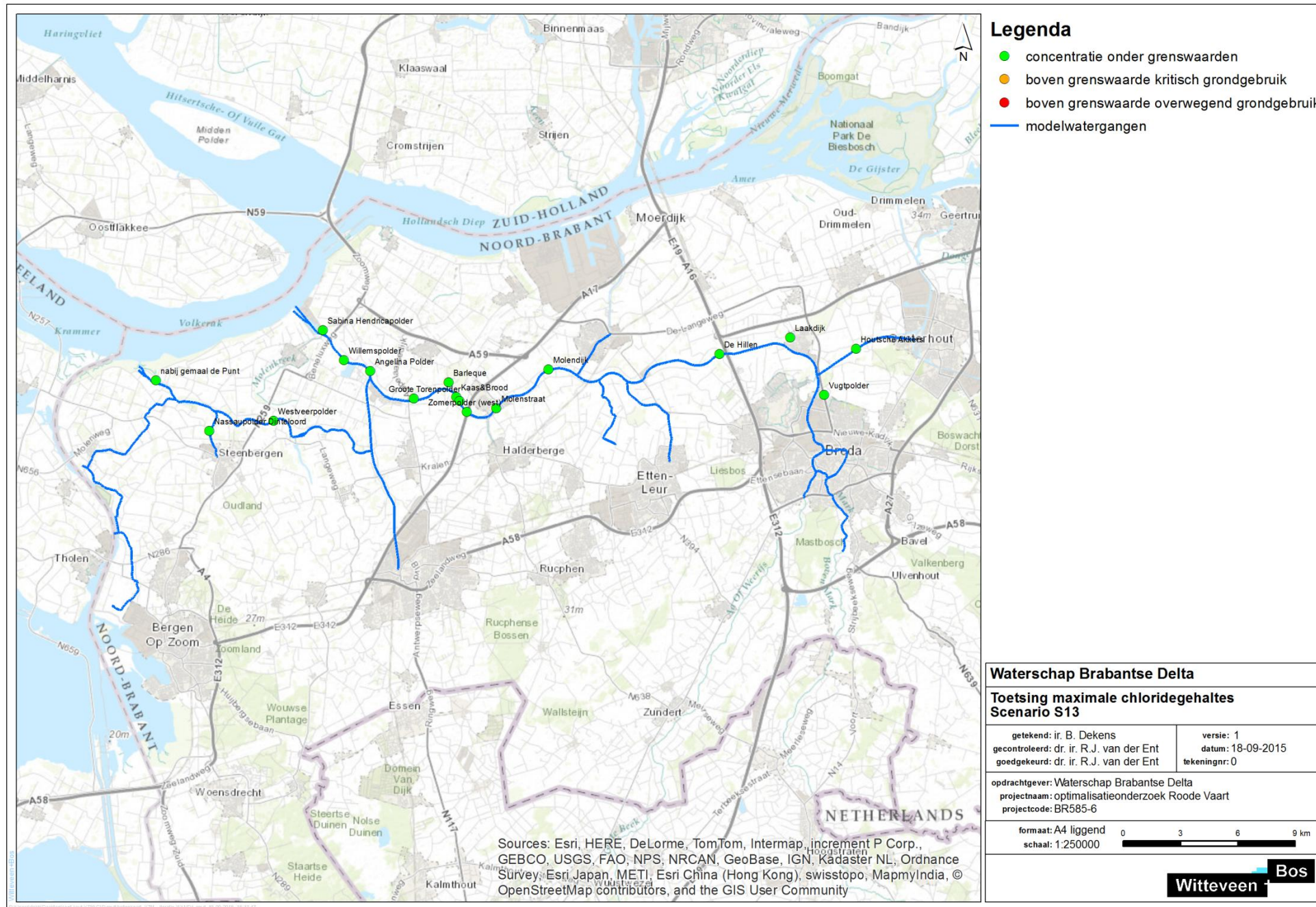
Afbeelding 5.2. Debietverdeling bij Stampersgat, scenario S12



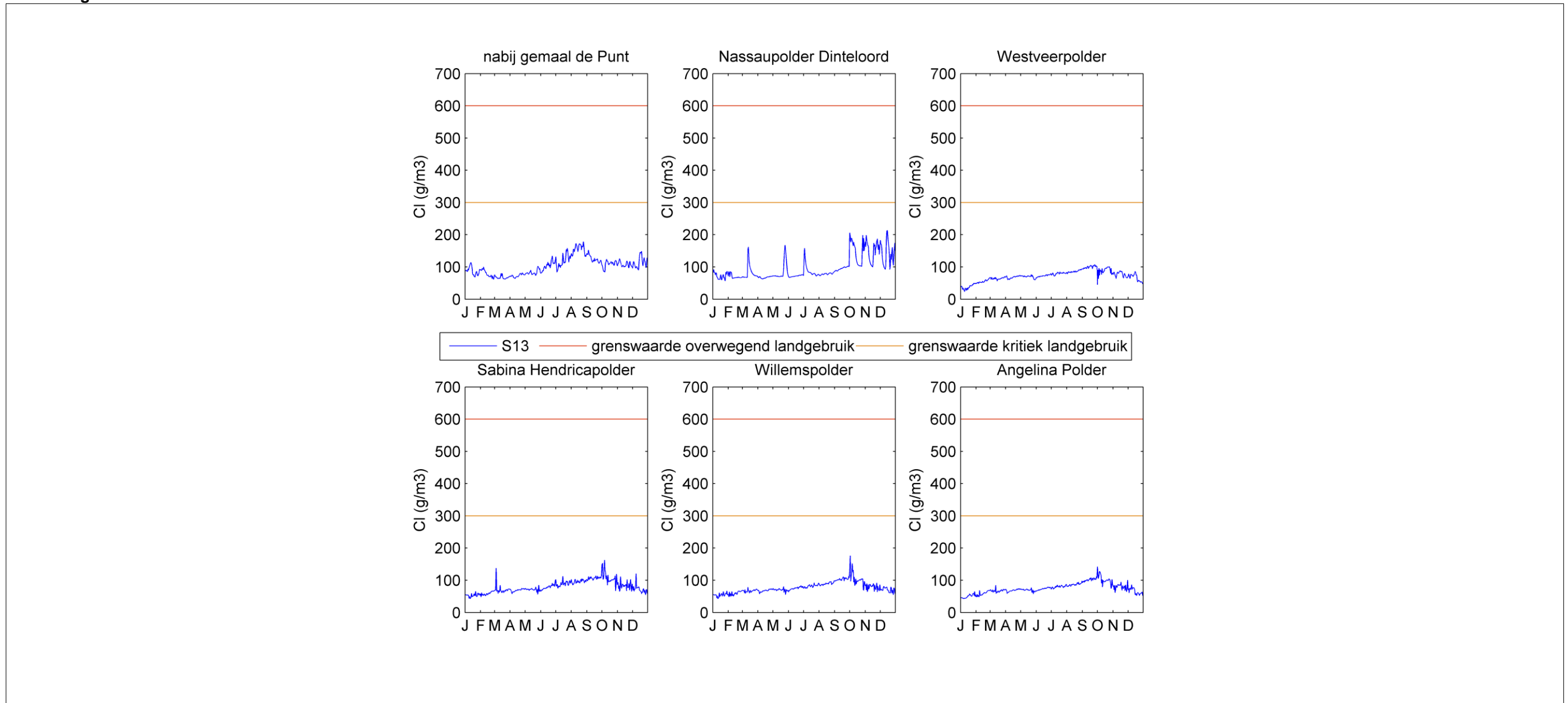
6. S13

Kenmerken

Som	jaar	dispersie-coëfficiënt (m ² /s)	basis-model	schutbeheer	Zoutvracht Dintelsas / Benedensas	Maatregel zoutreductie	inlaat polders	inlaat Oosterhout (m ³ /s)	inlaat Roode Vaart (m ³ /s)	Doel van som
S13	2003	1	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregel-som IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	7	effect van 7 m ³ /s doorspoelen via Roode Vaart in 10% droog hydrologisch jaar 2003



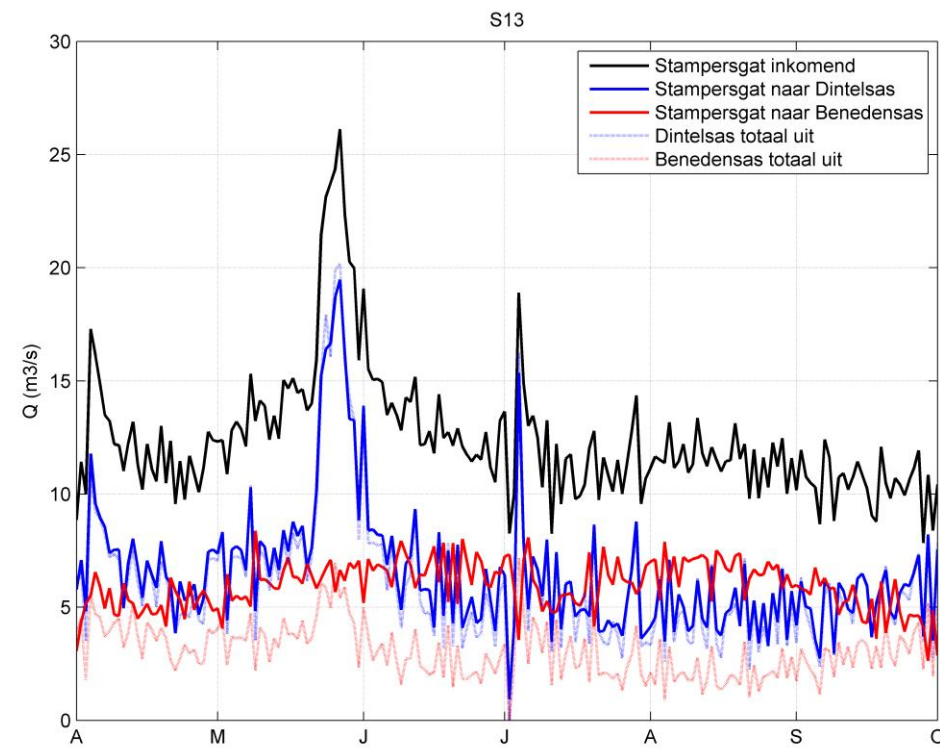
Afbeelding 6.1. Zoutconcentraties in Scenario S13



Tabel 6.1. Zoutconcentraties bij verschillende inlaatpunten in scenario S13

inlaatpunt	maximum cl/gehalte	grenswaarde overwegend grondgebruik	grenswaarde kritisch grondgebruik
	mg/l	duur overschrijding (da- gen/jaar)	duur overschrijding (dagen/jaar)
nabij gemaal de Punt	179	0	0
Nassaupolder Dinteloord	213	0	0
Westveerpolder	107	0	0
Sabina Hendricapolder	163	0	0
Willemspolder	176	0	0
Angelina Polder	142	0	0
Groote Torenpolder	124	0	0
Barleque	124	0	0
Prins Hendrikpolder	124	0	0
Kaas&Brood	124	0	0
Zomerpolder (west)	124	0	0
Molenstraat	125	0	0
De Hillen	62	0	0
Houtsche Akkers	65	0	0
Laakdijk	62	0	0
Molendijk	126	0	0
Vugtpolder	50	0	0

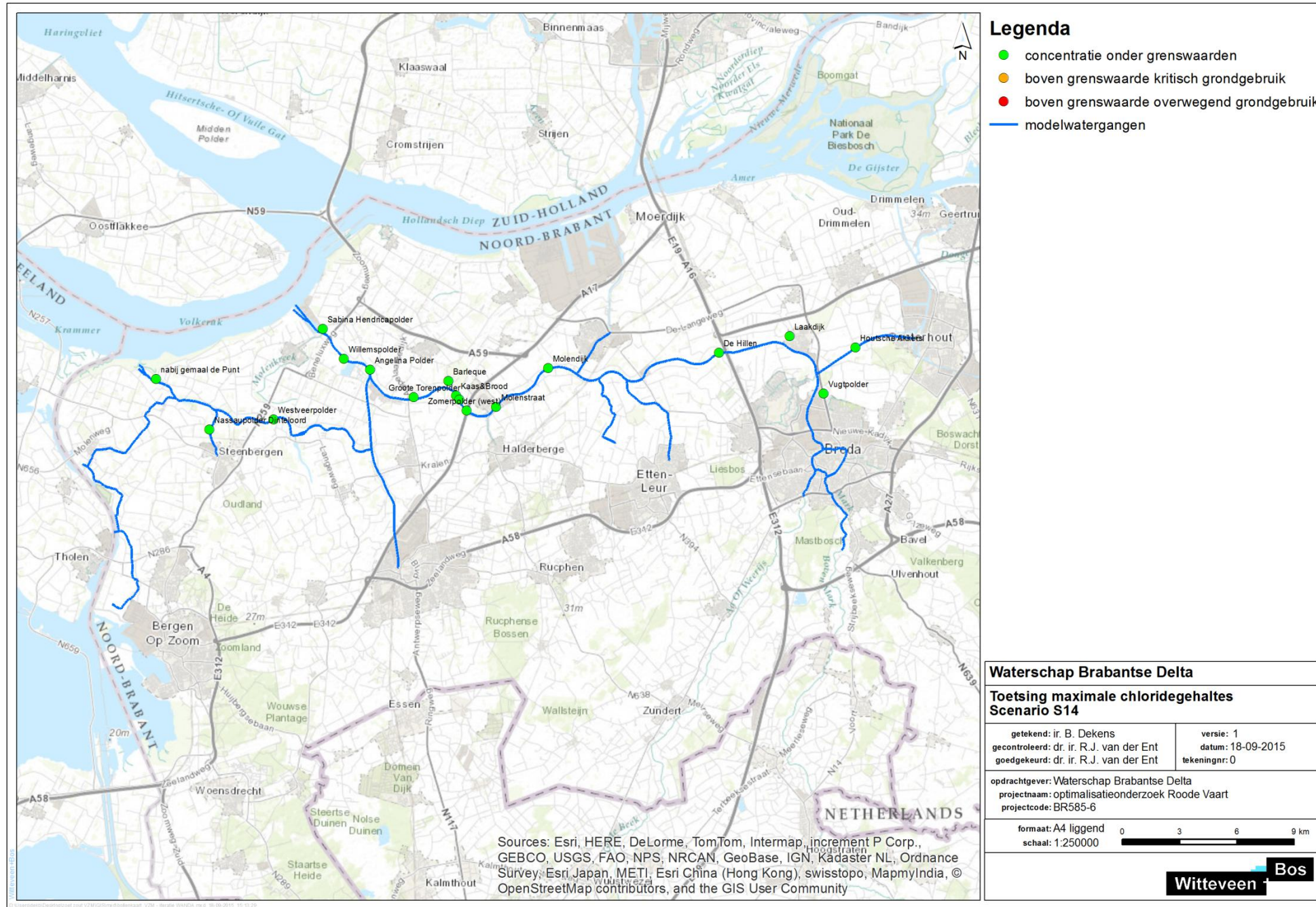
Afbeelding 6.2. Debietverdeling bij Stampersgat, scenario S13



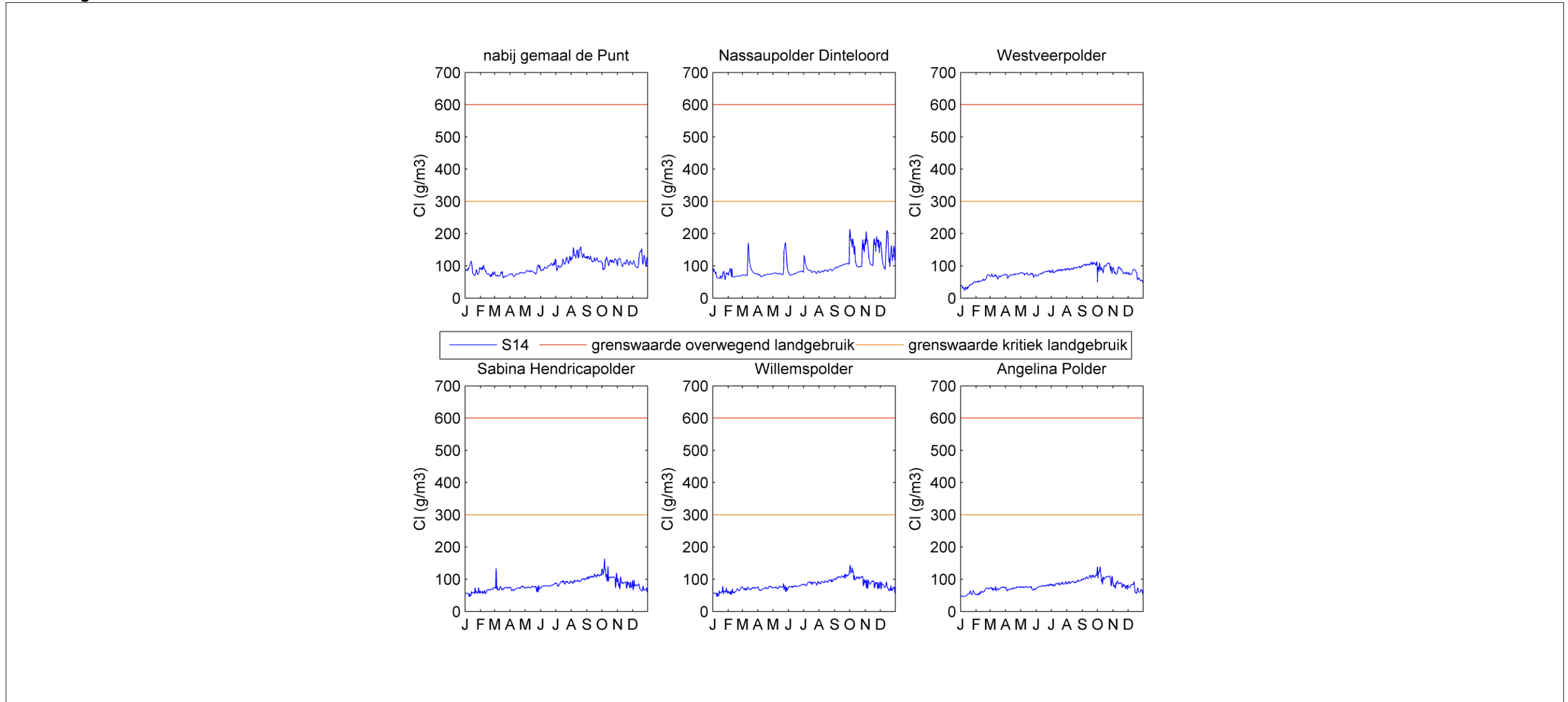
7. S14

Kenmerken

Som	jaar	dispersie-coëfficiënt (m ² /s)	basis-model	schutbeheer	Zoutvracht Dintelsas / Be-nedensas	Maatregel zoutreductie	inlaat polders	inlaat Oosterhout (m ³ /s)	inlaat Roode Vaart (m ³ /s)	Doel van som
S14	2003	1	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregel-som IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	10	effect van 10 m ³ /s doorspoelen via Roode Vaart in 10% droog hydrologisch jaar 2003



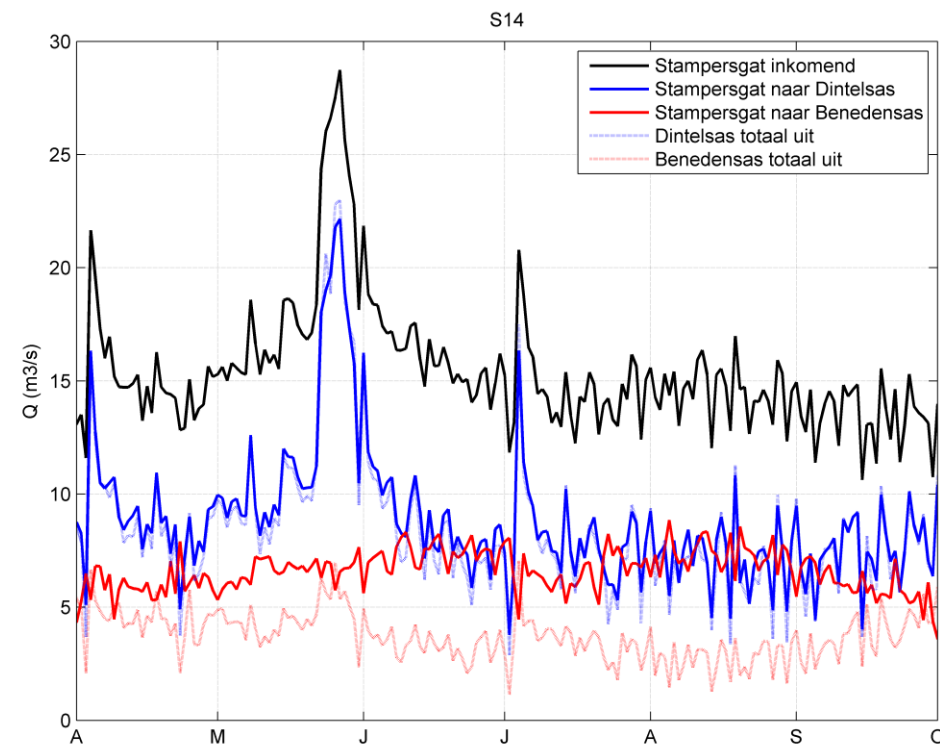
Afbeelding 7.1. Zoutconcentraties in Scenario S14



Tabel 7.1. Zoutconcentraties bij verschillende inlaatpunten in scenario S14

inlaatpunt	maximum cl/gehalte	grenswaarde overwegend grondgebruik	grenswaarde kritisch grondgebruik
	mg/l	duur overschrijding (dagen/jaar)	duur overschrijding (dagen/jaar)
nabij gemaal de Punt	159	0	0
Nassaupolder Dinteloord	214	0	0
Westveerpolder	113	0	0
Sabina Hendricapolder	164	0	0
Willemspolder	144	0	0
Angelina Polder	139	0	0
Groote Torenpolder	125	0	0
Barleque	125	0	0
Prins Hendrikpolder	125	0	0
Kaas&Brood	125	0	0
Zomerpolder (west)	126	0	0
Molenstraat	125	0	0
De Hillen	62	0	0
Houtsche Akkers	65	0	0
Laakdijk	62	0	0
Molendijk	125	0	0
Vugtpolder	50	0	0

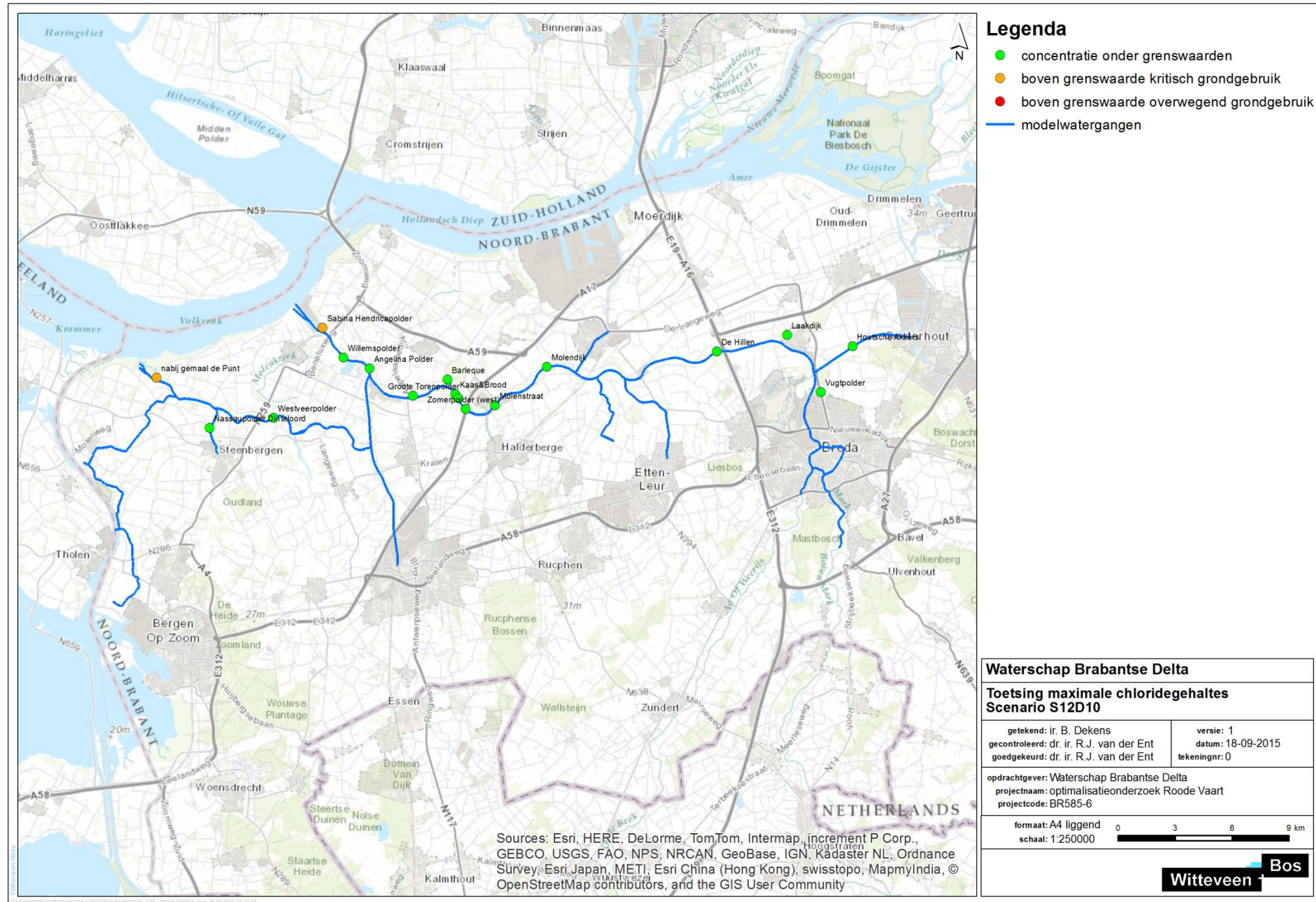
Afbeelding 7.2. Debietverdeling bij Stampersgat, scenario S14



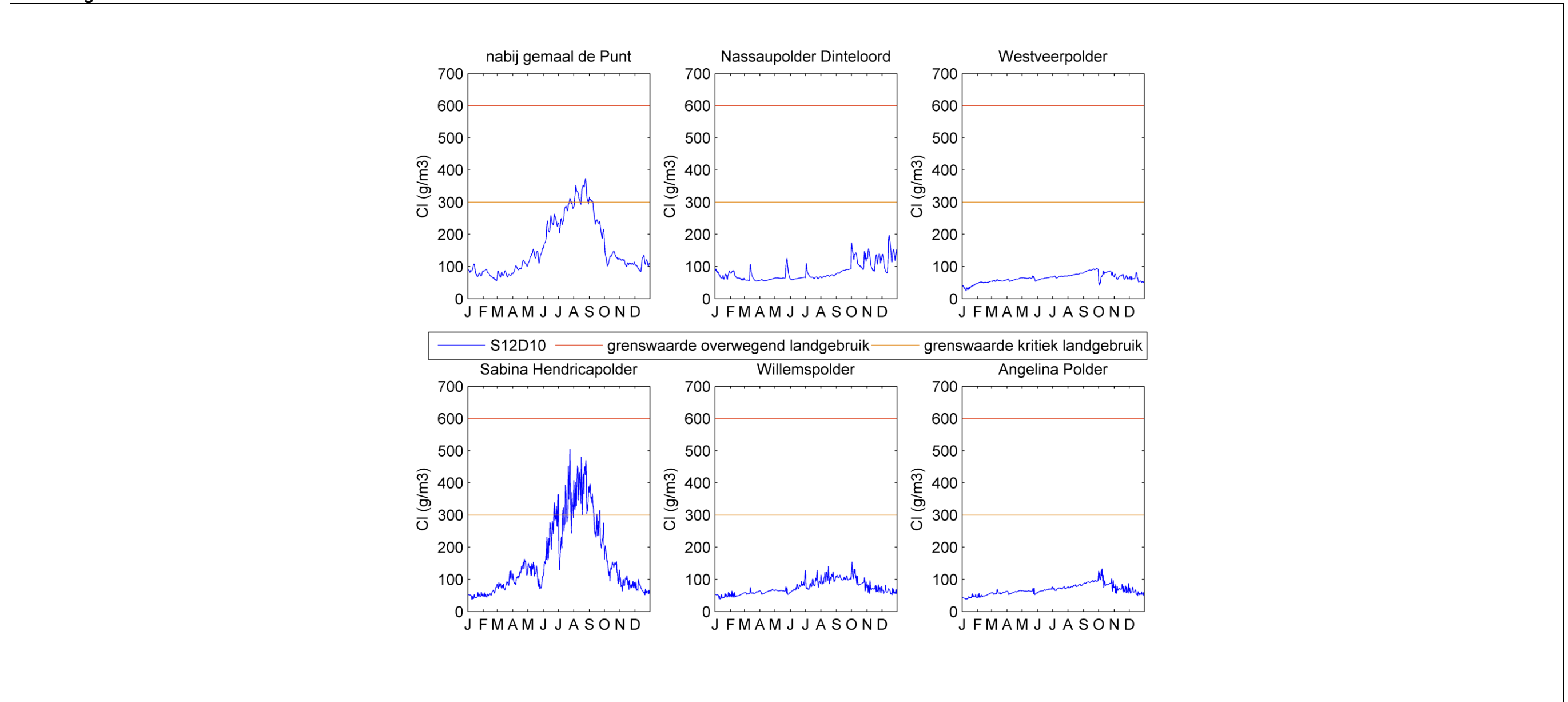
8. S12D10

Kenmerken

Som	jaar	dispersie-coëfficiënt (m ² /s)	basis-model	schutbeheer	Zoutvracht Dintelsas / Benedensas	Maatregel zoutreductie	inlaat polders	inlaat Oosterhout (m ³ /s)	inlaat Roode Vaart (m ³ /s)	Doel van som
S12D10	2003	10	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregel-som IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	gevoeligheidsanalyse dispersiecoëfficiënt (mogelijk hoger door dichtheidsstroming)



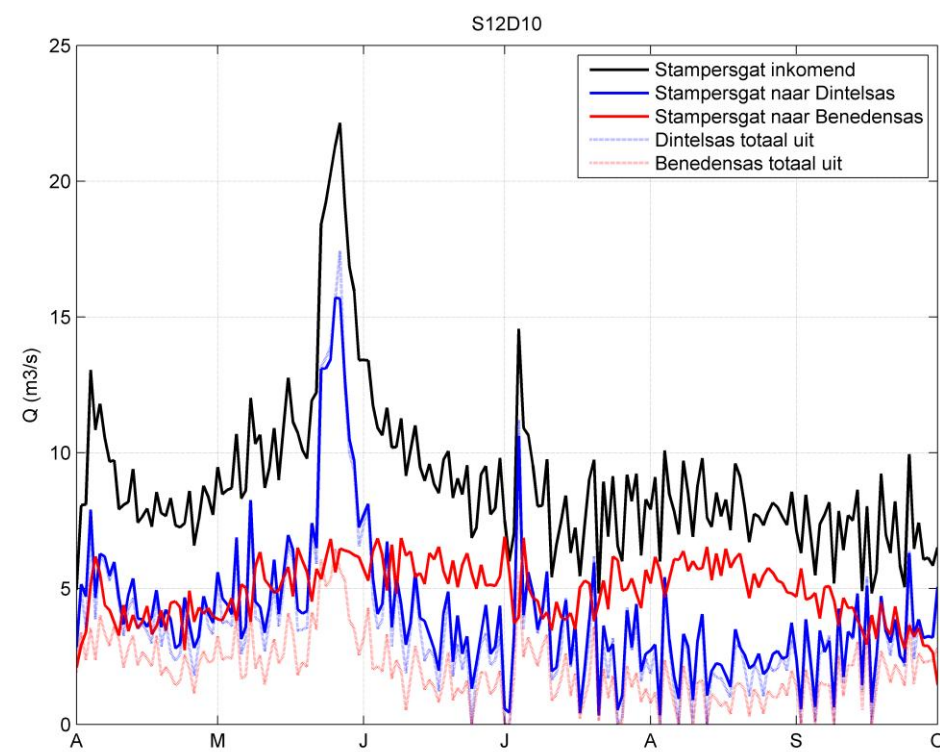
Afbeelding 8.1. Zoutconcentraties in Scenario S12D10



Tabel 8.1. Zoutconcentraties bij verschillende inlaatpunten in scenario S12D10

inlaatpunt	maximum cl/gehalte	grenswaarde overwegend grondgebruik	grenswaarde kritisch grondgebruik
	mg/l	duur overschrijding (da- gen/jaar)	duur overschrijding (dagen/jaar)
nabij gemaal de Punt	374	0	37
Nassaupolder Dinteloord	198	0	0
Westveerpolder	94	0	0
Sabina Hendricapolder	505	0	60
Willemspolder	155	0	0
Angelina Polder	133	0	0
Groote Torenpolder	113	0	0
Barleque	112	0	0
Prins Hendrikpolder	113	0	0
Kaas&Brood	113	0	0
Zomerpolder (west)	114	0	0
Molenstraat	114	0	0
De Hillen	61	0	0
Houtsche Akkers	64	0	0
Laakdijk	62	0	0
Molendijk	116	0	0
Vugtpolder	60	0	0

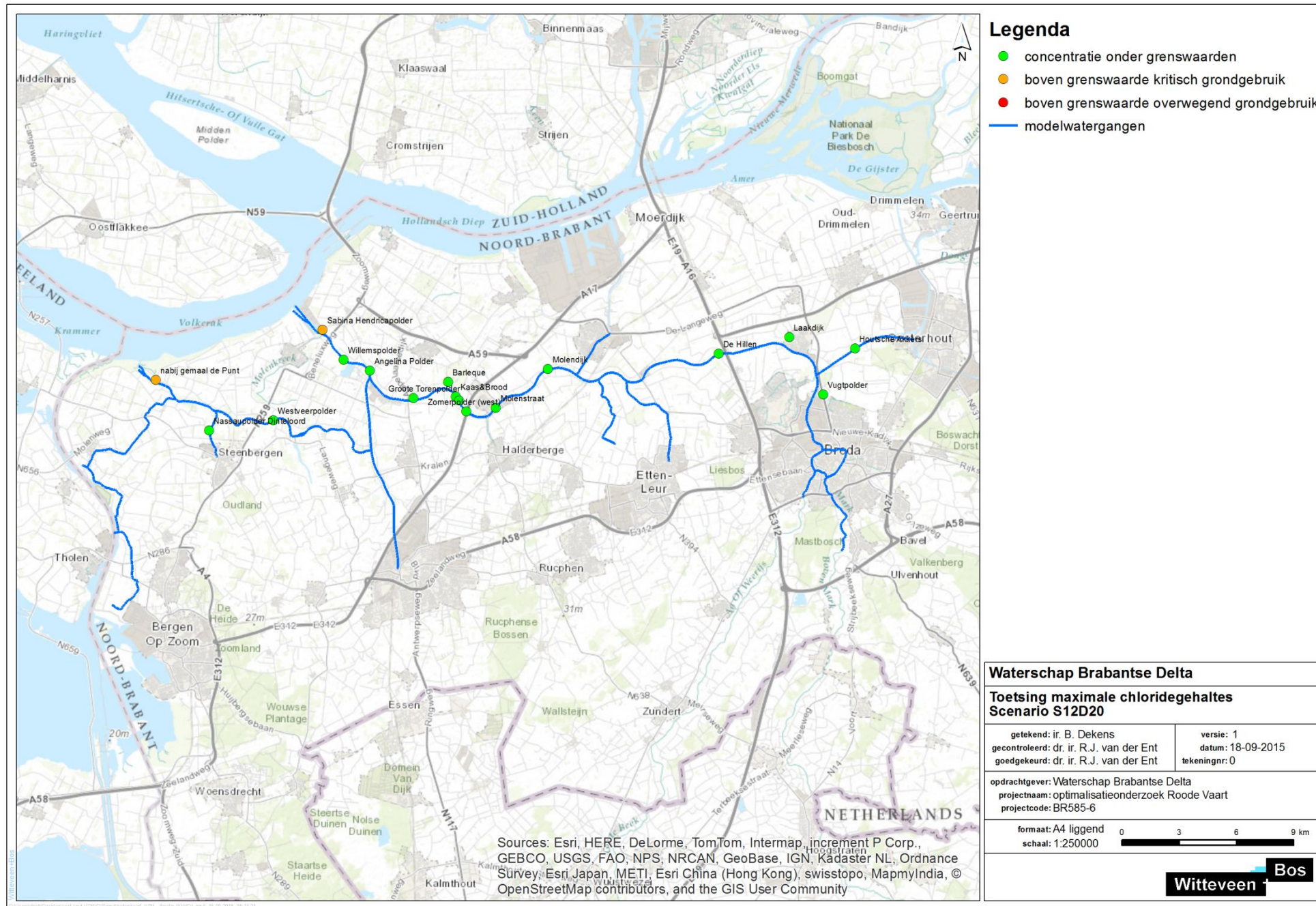
Afbeelding 8.2. Debietverdeling bij Stampersgat, scenario S12D10



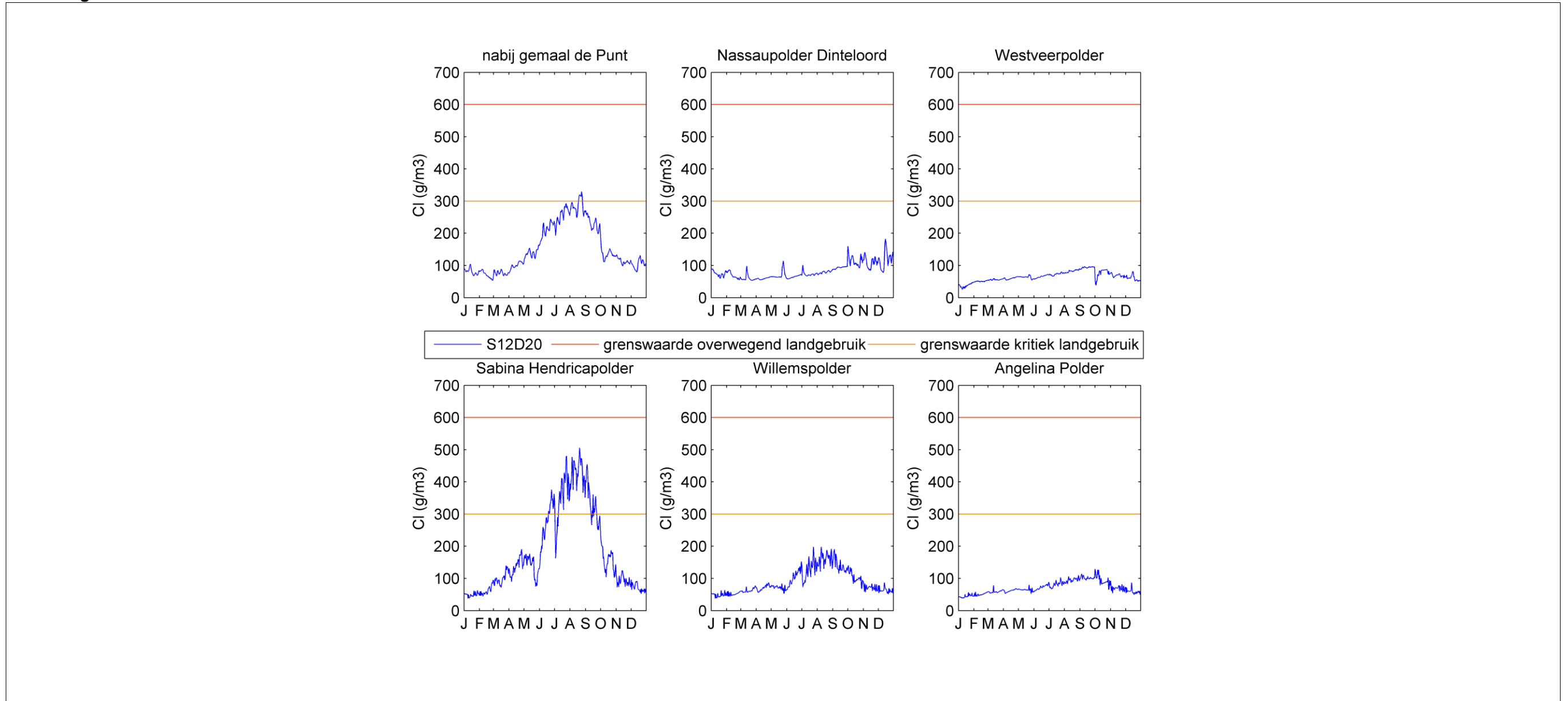
9. S12D20

Kenmerken

Som	jaar	dispersie-coëfficiënt (m ² /s)	basis-model	schutbeheer	Zoutvracht Dintelsas / Be-nedensas	Maatregel zoutreductie	inlaat polders	inlaat Oosterhout (m ³ /s)	inlaat Roode Vaart (m ³ /s)	Doel van som
S12D20	2003	20	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregel-som IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens nieuwste inzichten JFF.	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	gevoeligheidsanalyse dispersiecoëfficiënt (mogelijk hoger door dichtheidsstroming)



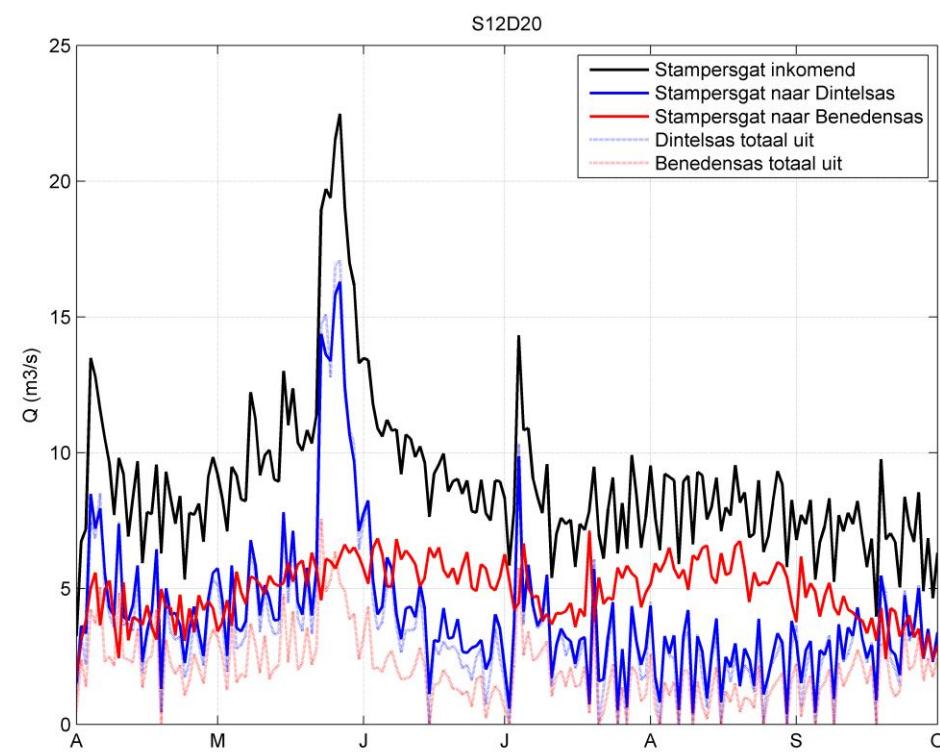
Afbeelding 9.1. Zoutconcentraties in Scenario S12D20



Tabel 9.1. Zoutconcentraties bij verschillende inlaatpunten in scenario S12D20

inlaatpunt	maximum cl/gehalte	grenswaarde overwegend grondgebruik	grenswaarde kritisch grondgebruik
	mg/l	duur overschrijding (da- gen/jaar)	duur overschrijding (dagen/jaar)
nabij gemaal de Punt	330	0	8
Nassaupolder Dinteloord	182	0	0
Westveerpolder	96	0	0
Sabina Hendricapolder	505	0	86
Willemspolder	198	0	0
Angelina Polder	129	0	0
Groote Torenpolder	109	0	0
Barleque	109	0	0
Prins Hendrikpolder	109	0	0
Kaas&Brood	109	0	0
Zomerpolder (west)	110	0	0
Molenstraat	110	0	0
De Hillen	61	0	0
Houtsche Akkers	64	0	0
Laakdijk	62	0	0
Molendijk	112	0	0
Vugtpolder	61	0	0

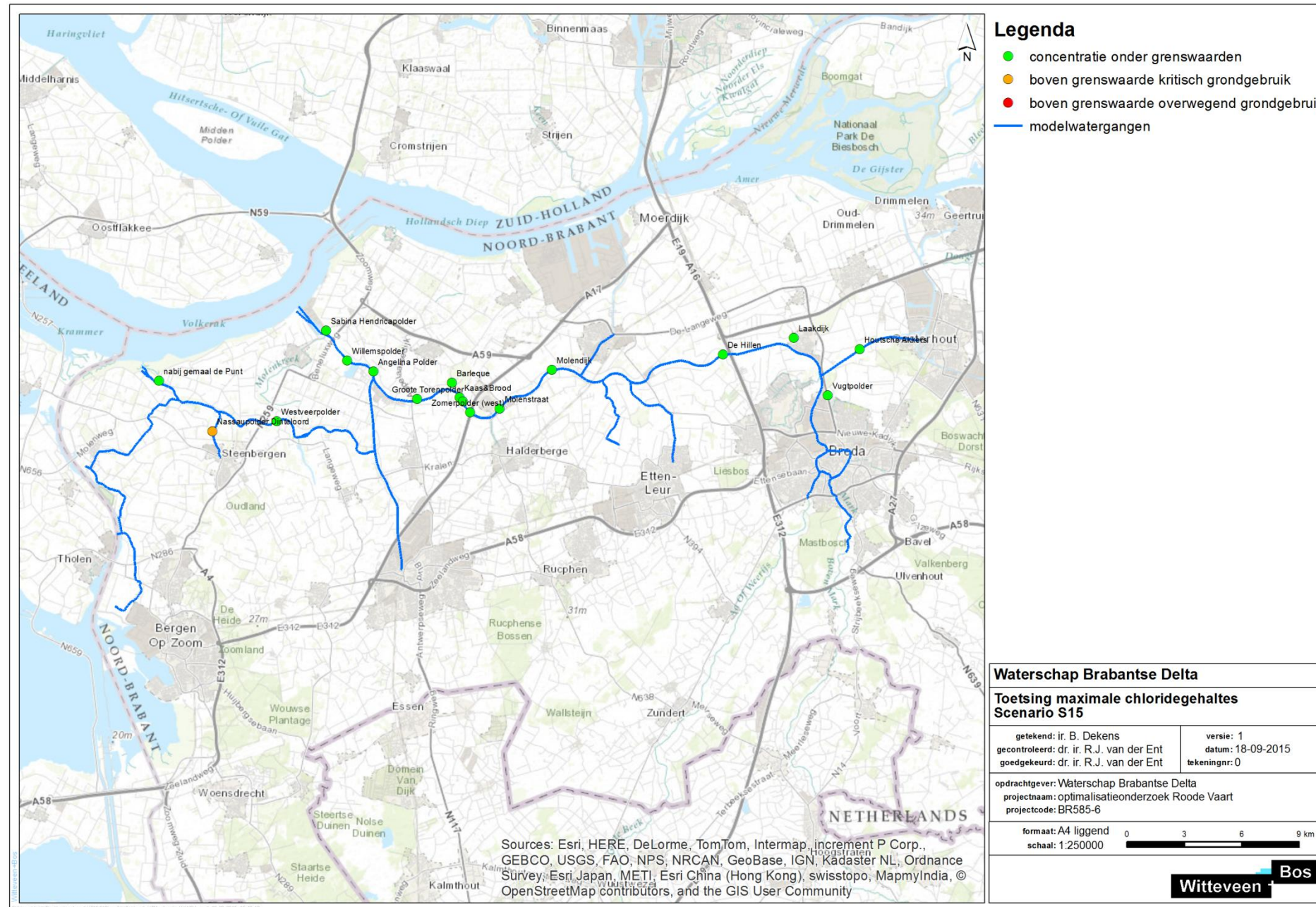
Afbeelding 9.2. Debietverdeling bij Stampersgat, scenario S12D20



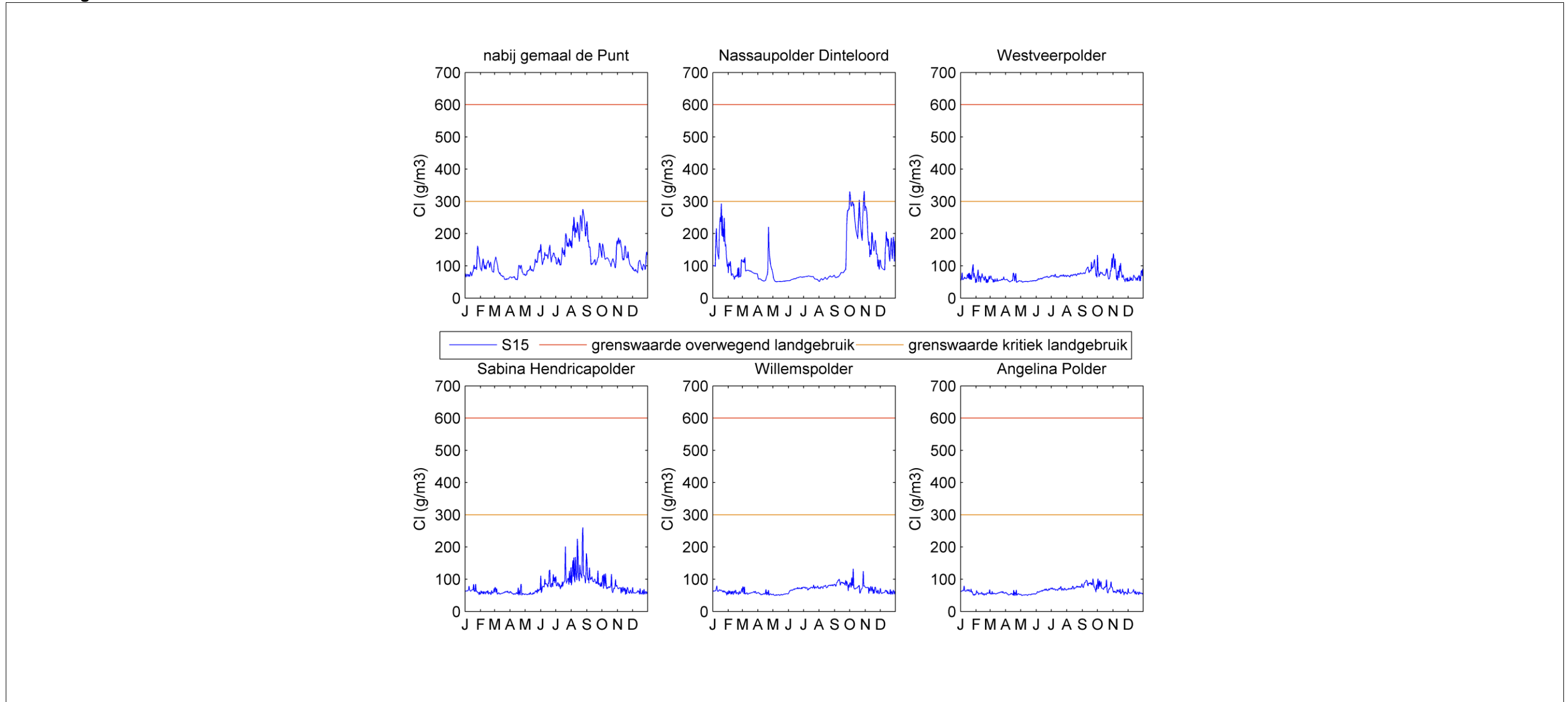
10. S15

Kenmerken

Som	jaar	dispersie-coëfficiënt (m ² /s)	basis-model	schutbeheer	Zoutvracht Dintelsas / Benedensas	Maatregel zoutreductie	inlaat polders	inlaat Oosterhout (m ³ /s)	inlaat Roode Vaart (m ³ /s)	Doel van som
S15	1990	1	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregel-som IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens verhouding JFF en Sobek08	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	effect van doorspoelen via Roode Vaart in extreem zout jaar 1990



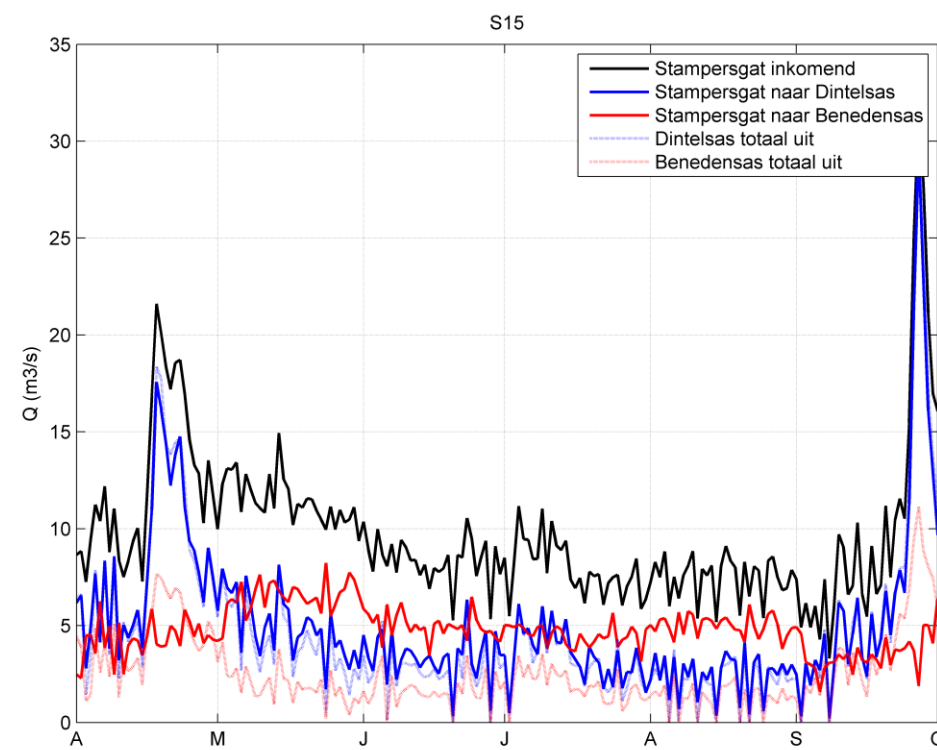
Afbeelding 10.1. Zoutconcentraties in Scenario S15



Tabel 10.1. Zoutconcentraties bij verschillende inlaatpunten in scenario S15

inlaatpunt	maximum cl/gehalte	grenswaarde overwegend grondgebruik	grenswaarde kritisch grondgebruik
	mg/l	duur overschrijding (da- gen/jaar)	duur overschrijding (dagen/jaar)
nabij gemaal de Punt	276	0	0
Nassaupolder Dinteloord	332	0	6
Westveerpolder	138	0	0
Sabina Hendricapolder	260	0	0
Willemspolder	132	0	0
Angelina Polder	101	0	0
Groote Torenspolder	99	0	0
Barleque	100	0	0
Prins Hendrikpolder	100	0	0
Kaas&Brood	100	0	0
Zomerpolder (west)	99	0	0
Molenstraat	101	0	0
De Hillen	56	0	0
Houtsche Akkers	64	0	0
Laakdijk	57	0	0
Molendijk	99	0	0
Vugtpolder	50	0	0

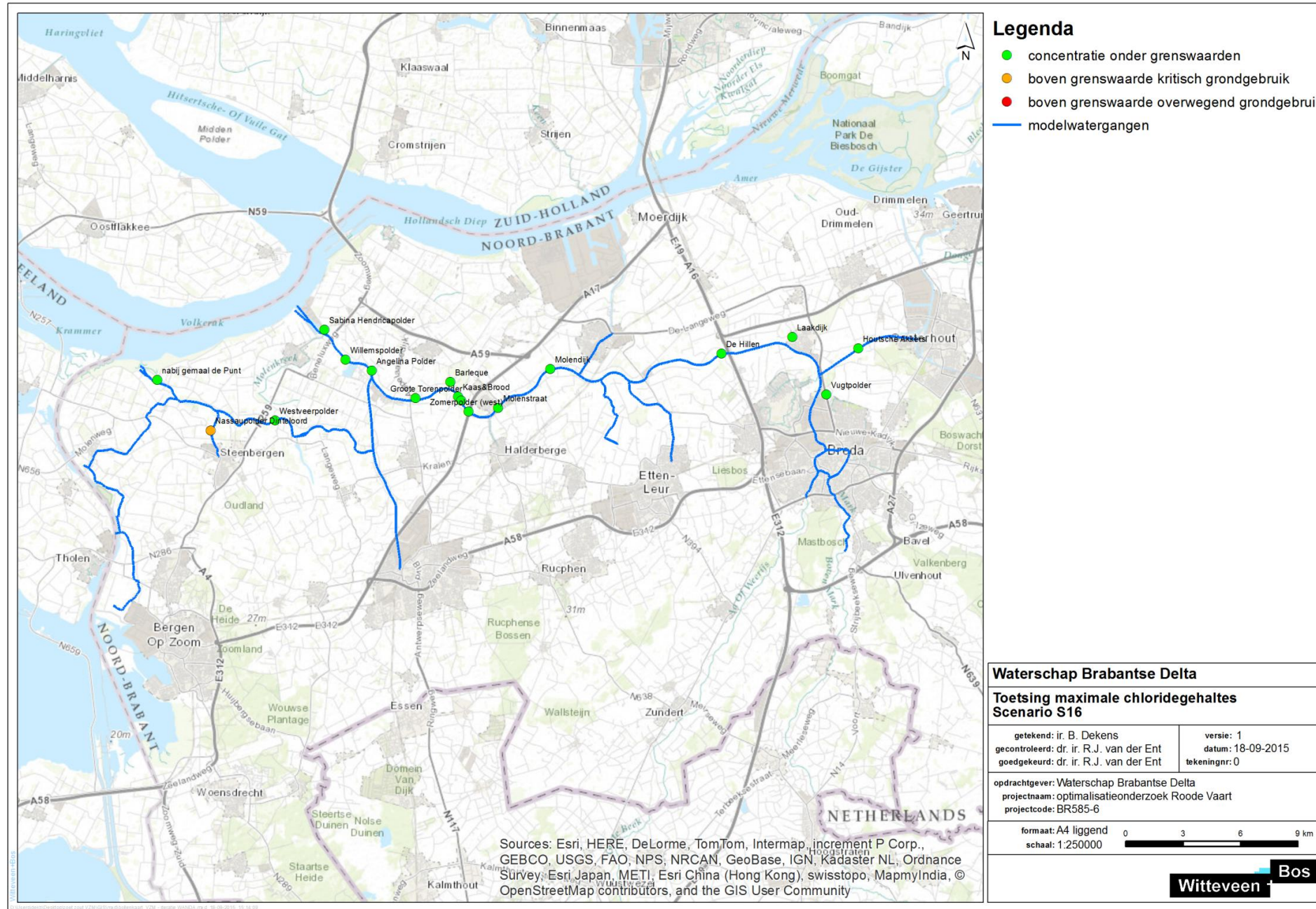
Afbeelding 10.2. Debietverdeling bij Stampersgat, scenario S15



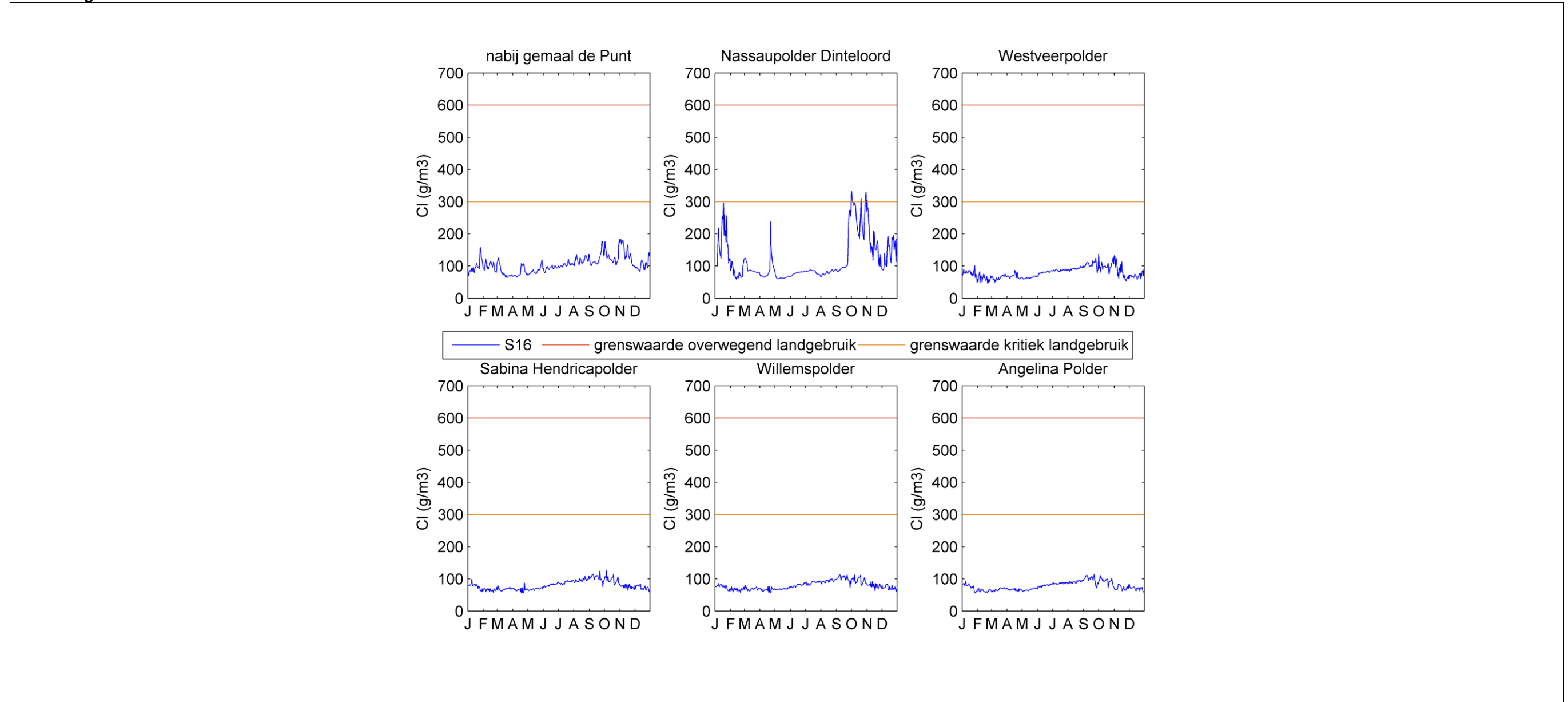
11. S16

Kenmerken

Som	jaar	dispersie-coëfficiënt (m ² /s)	basis-model	schutbeheer	Zoutvracht Dintelsas / Benedensas	Maatregel zoutreductie	inlaat polders	inlaat Oosterhout (m ³ /s)	inlaat Roode Vaart (m ³ /s)	Doel van som
S16	1990	1	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregel-som IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens verhouding JFF en Sobek08	gelijk aan vraag vanuit polders	10	effect van doorspoelen via Roode Vaart in extreem zout jaar 1990



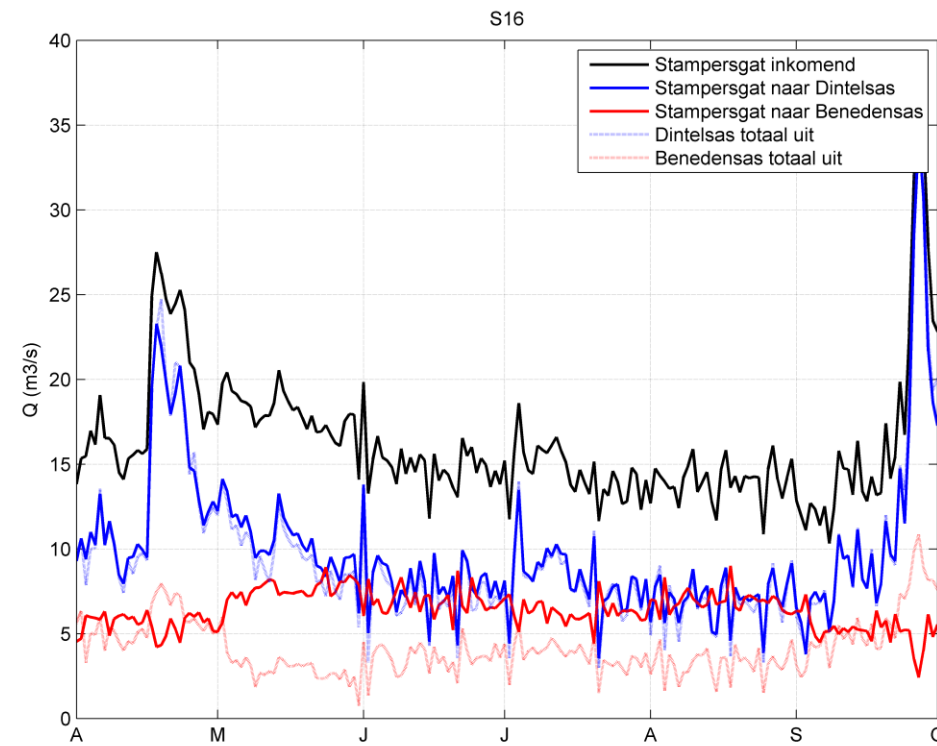
Afbeelding 11.1. Zoutconcentraties in Scenario S16



Tabel 11.1. Zoutconcentraties bij verschillende inlaatpunten in scenario S16

inlaatpunt	maximum cl/gehalte	grenswaarde overwegend grondgebruik	grenswaarde kritisch grondgebruik
	mg/l	duur overschrijding (da- gen/jaar)	duur overschrijding (dagen/jaar)
nabij gemaal de Punt	183	0	0
Nassaupolder Dinteloord	334	0	6
Westveerpolder	137	0	0
Sabina Hendricapolder	128	0	0
Willemspolder	114	0	0
Angelina Polder	115	0	0
Groote Torenpolder	112	0	0
Barleque	114	0	0
Prins Hendrikpolder	113	0	0
Kaas&Brood	113	0	0
Zomerpolder (west)	114	0	0
Molenstraat	113	0	0
De Hillen	56	0	0
Houtsche Akkers	64	0	0
Laakdijk	57	0	0
Molendijk	110	0	0
Vugtpolder	50	0	0

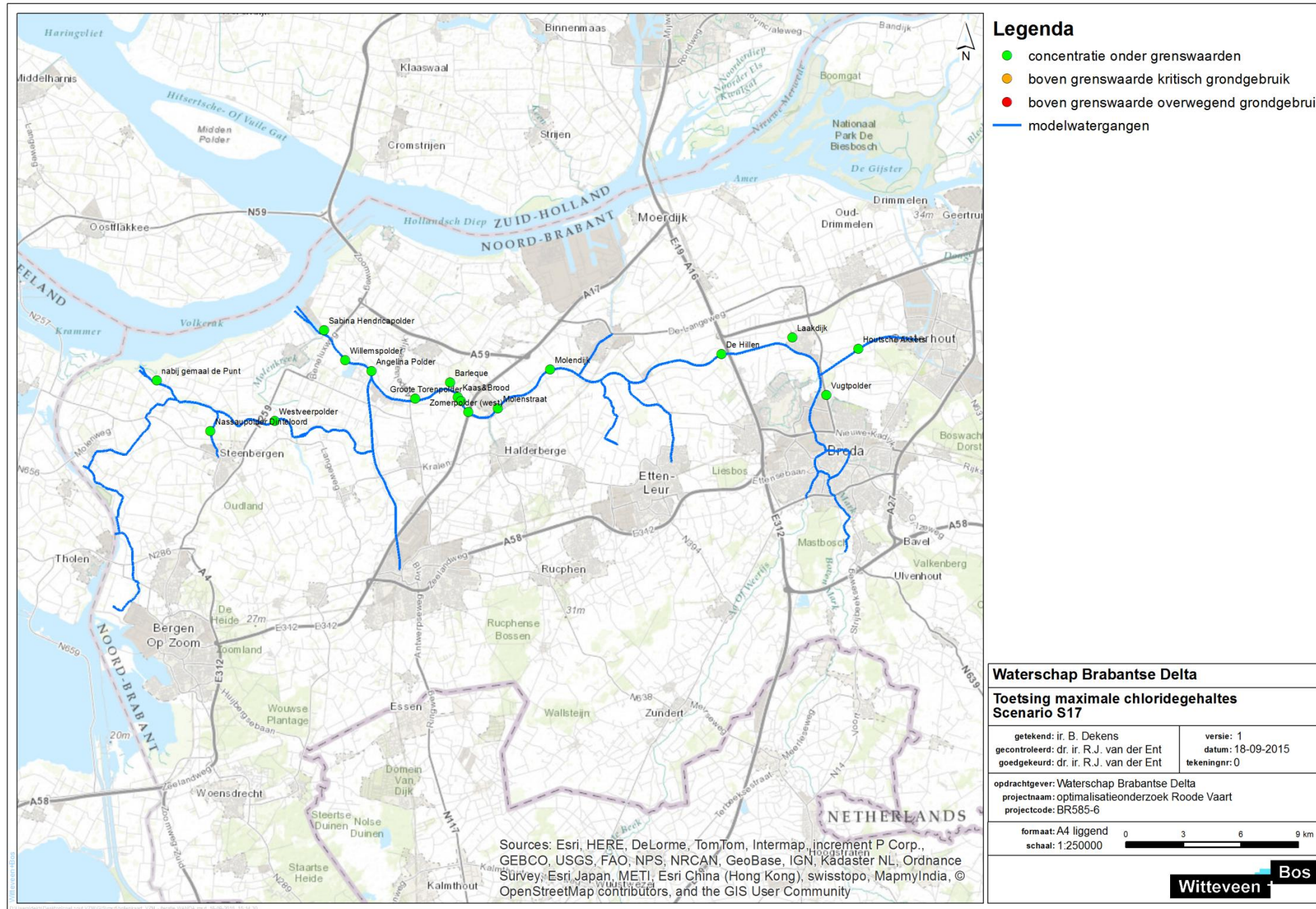
Afbeelding 11.2. Debietverdeling bij Stampersgat, scenario S16



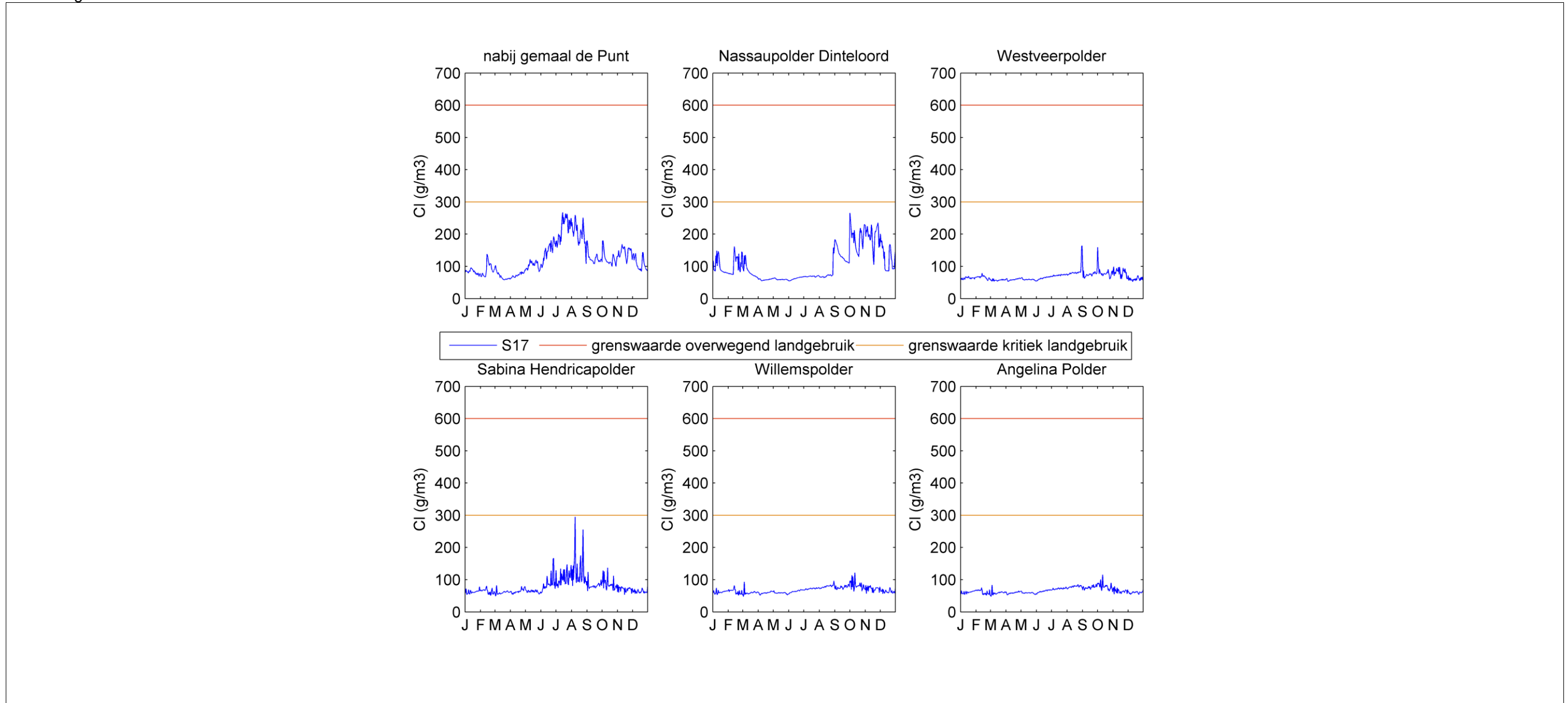
12. S17

Kenmerken

Som	jaar	dispersie-coëfficiënt (m ² /s)	basis-model	schutbeheer	Zoutvracht Dintelsas / Benedensas	Maatregel zoutreductie	inlaat polders	inlaat Oosterhout (m ³ /s)	inlaat Roode Vaart (m ³ /s)	Doel van som
S17	1996	1	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregel-som IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens verhouding JFF en Sobek08	gelijk aan vraag vanuit polders	3,5	effect van doorspoelen via Roode Vaart in gemiddeld zout jaar 1996



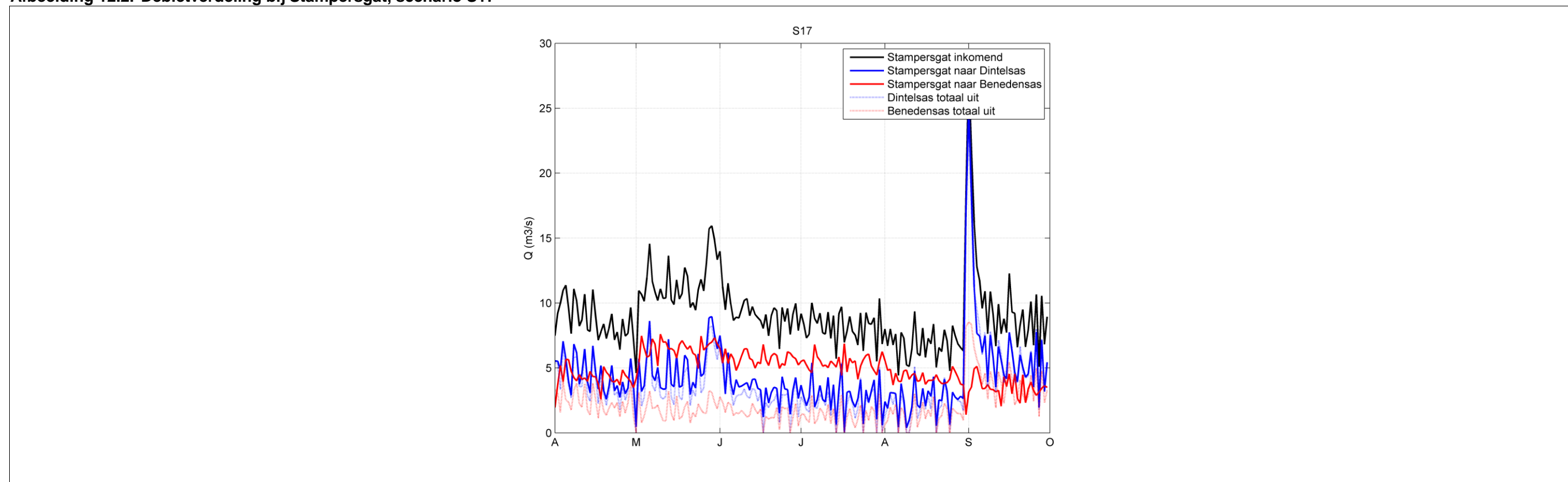
Afbeelding 12.1. Zoutconcentraties in Scenario S17



Tabel 12.1. Zoutconcentraties bij verschillende inlaatpunten in scenario S17

inlaatpunt	maximum cl/gehalte	grenswaarde overwegend grondgebruik	grenswaarde kritisch grondgebruik
	mg/l	duur overschrijding (da- gen/jaar)	duur overschrijding (dagen/jaar)
nabij gemaal de Punt	267	0	0
Nassaupolder Dinteloord	266	0	0
Westveerpolder	164	0	0
Sabina Hendricapolder	295	0	0
Willemspolder	121	0	0
Angelina Polder	116	0	0
Groote Torenspolder	89	0	0
Barleque	90	0	0
Prins Hendrikpolder	86	0	0
Kaas&Brood	87	0	0
Zomerpolder (west)	86	0	0
Molenstraat	92	0	0
De Hillen	52	0	0
Houtsche Akkers	52	0	0
Laakdijk	52	0	0
Molendijk	87	0	0
Vugtpolder	47	0	0

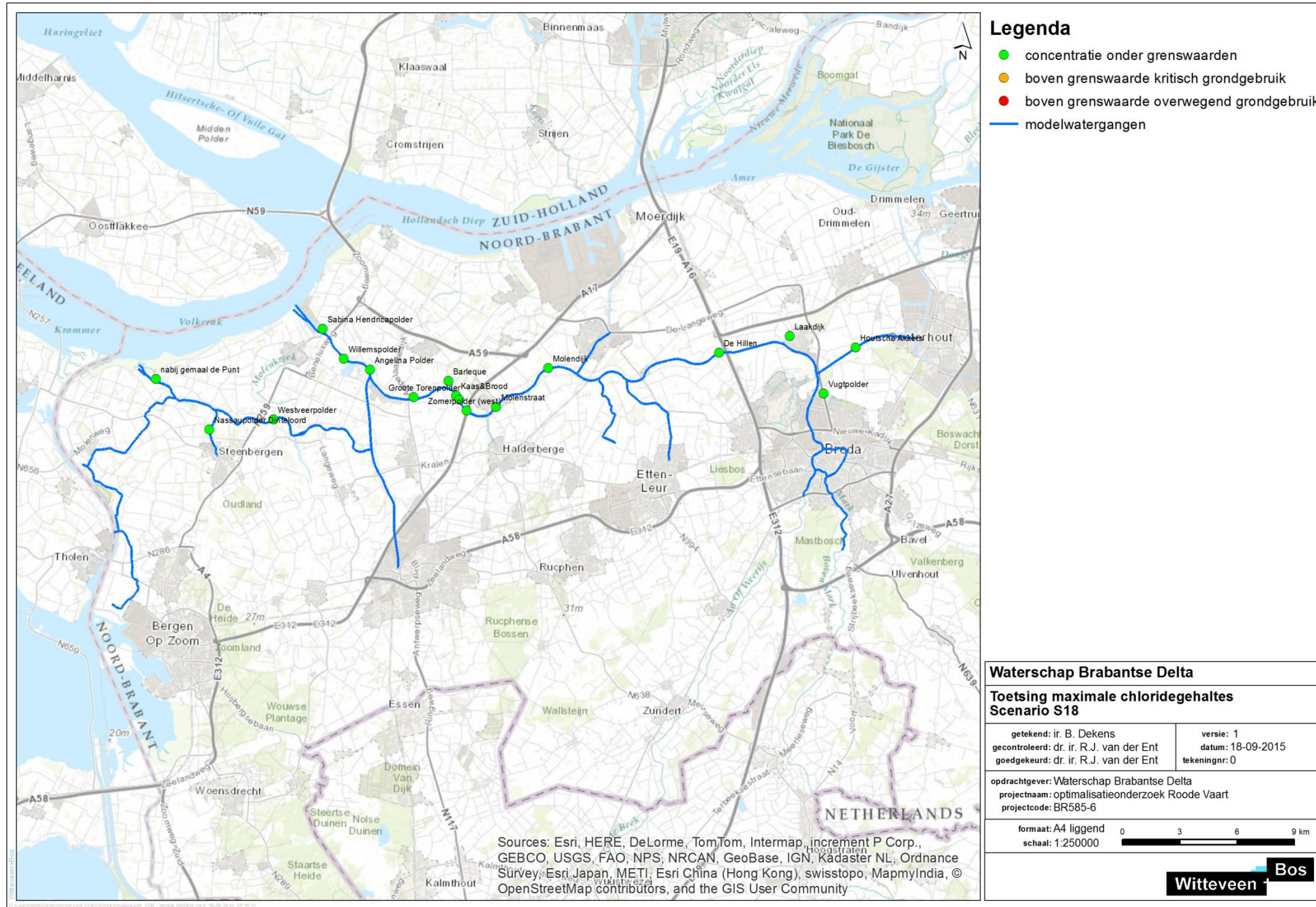
Afbeelding 12.2. Debietverdeling bij Stampersgat, scenario S17



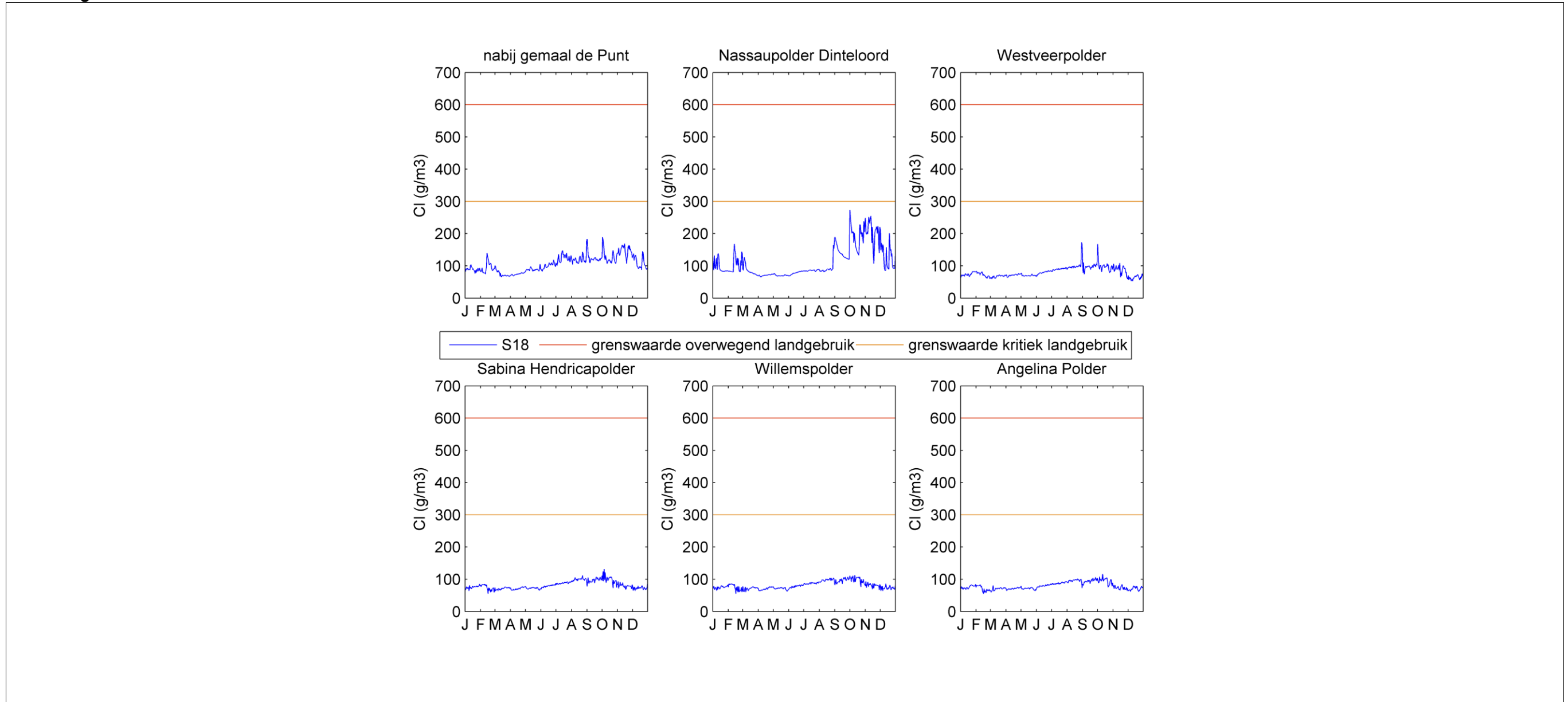
13. S18

Kenmerken

Som	jaar	dispersie-coëfficiënt (m ² /s)	basis-model	schutbeheer	Zoutvracht Dintelsas / Benedensas	Maatregel zoutreductie	inlaat polders	inlaat Oosterhout (m ³ /s)	inlaat Roode Vaart (m ³ /s)	Doel van som
S18	1996	1	2008/2010	volgens info anno 2015	obv 1e resultaten maatregel-som IZZS Wanda-Locks	met IZZS	Volgens verhouding JFF en Sobek08	gelijk aan vraag vanuit polders	10	effect van doorspoelen via Roode Vaart in gemiddeld zout jaar 1996



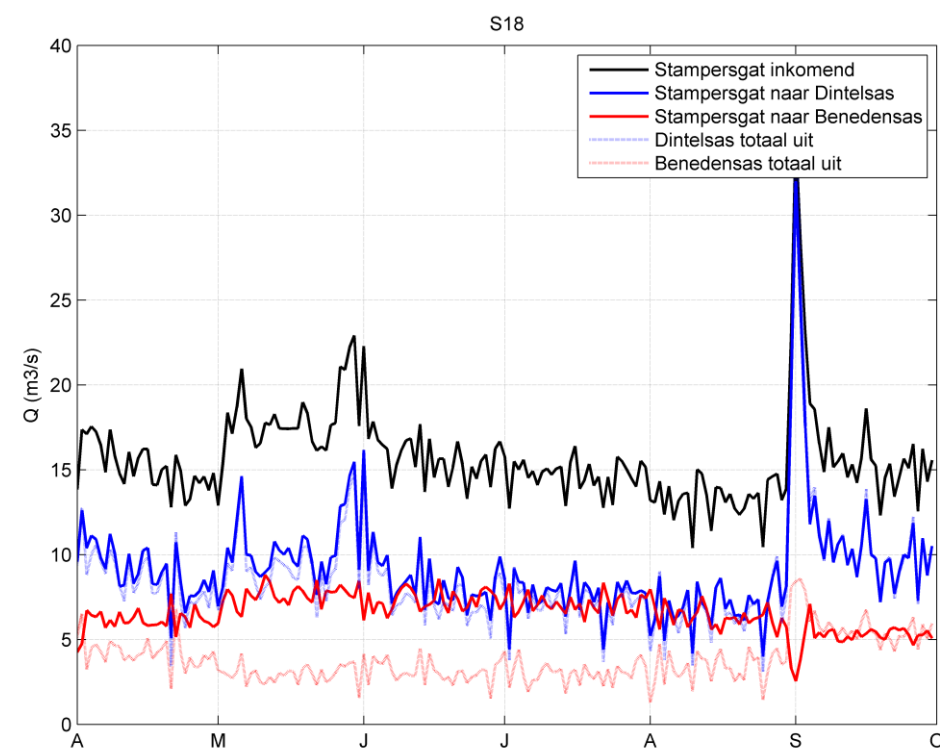
Afbeelding 13.1. Zoutconcentraties in Scenario S18



Tabel 13.1. Zoutconcentraties bij verschillende inlaatpunten in scenario S18

inlaatpunt	maximum cl/gehalte	grenswaarde overwegend grondgebruik	grenswaarde kritisch grondgebruik
	mg/l	duur overschrijding (da- gen/jaar)	duur overschrijding (dagen/jaar)
nabij gemaal de Punt	189	0	0
Nassaupolder Dinteloord	274	0	0
Westveerpolder	173	0	0
Sabina Hendricapolder	131	0	0
Willemspolder	112	0	0
Angelina Polder	116	0	0
Groote Torenspolder	106	0	0
Barleque	110	0	0
Prins Hendrikpolder	110	0	0
Kaas&Brood	110	0	0
Zomerpolder (west)	108	0	0
Molenstraat	109	0	0
De Hillen	52	0	0
Houtsche Akkers	52	0	0
Laakdijk	52	0	0
Molendijk	106	0	0
Vugtpolder	47	0	0

Afbeelding 13.2. Debietverdeling bij Stampersgat, scenario S18



BIJLAGE II INVOERGEGEVENS WANDA-LOCKS

II.1. Benedensas

Onbekend of onzekere waarden zijn aangeduid met een oranje markering. Waarden die worden voorgeschreven vanuit Sobek zijn aangegeven met een paarse markering.

Eigenschap	Eenheid	Waarde	Opmerking
Benedensas			
Aantal kolken	-	1	
Lengte	m	75	Google Earth
Breedte	m	25	Google Earth
Oppervlakte	m ²	2000	tussen de deuren
Bodem	m NAP	-3.5	1:4 helling aan beide kanten, 4 m max depth → -3,5 m gemiddeld? [1] & [2]
Drempel VZM	m NAP	-3,10	[1]
Drempel SBV	m NAP	-3,5	[1]
Deurbreedte VZM	m	8,0	[1]
Deurbreedte SBV	m	8,25	[1]
Nivelleeropening (µA)	m ²	1.5	nog geen bruikbare data van de omloopriolen. Schatting.
Voorhaven West (afwaarts)			
Oppervlakte	m ²	7600	Google Earth
Bodem	m NAP	-3,75	
Mondingbreedte (met haven)	m	50	Google Earth
Haven West (afwaarts)			
Oppervlakte	m ²	50000	Google Earth
Bodem	m NAP	-5	
Mondingbreedte (met VZM)	m	80	Google Earth
Voorhaven Oost (opwaarts)			
Oppervlakte	m ²	2100	Google Earth
Bodem	m NAP	-3,75	
Mondingbreedte (met Haven)	m	38	Google Earth
Haven Oost (opwaarts)			
Oppervlakte	m ²	100.000	Google Earth
Bodem	m NAP	-4,5	
Mondingbreedte (met rivier)	m	155	Google Earth
Volkerak Zoommeer (zout)			
Saliniteit	psu	17.5	Ongeveer 17.5 ppt.
Waterstand	m NAP	-	Opgelegd vanuit Sobek.
Dintel			
Saliniteit	psu	-	Opgelegd vanuit Sobek.
Waterstand	m NAP	-	Opgelegd vanuit Sobek.

[1]	Situatie Benedensas met doorsnede.pdf
[2]	Dwarsprofielen Benedensas 1 tm 10.pdf

Overige aannames en sluisoperatie

Invaartijd/uitvaartijd/scheepsrichting

- Invaarduur/uitvaarduur constant. Totaal is 6 minuten deur open.

Bellenschermen

- Bellenschermen opereren op variabel luchtdebiet, dusdanig dat de doorlaatfractie altijd 25 % is.
- Bellenschermen staan dicht bij de schutdeuren, en niet op een verhoging.

Nivelleren

- Nivelleren kent geen maximumdebiet.
- Maximaal waterstandsverschil voor het openen van de deuren is verondersteld op 0,1 m, en een mogelijk nivelleerproces eindigt dus bij dit waterstandsverschil.
- Rinketten/omloopwerken/openingen worden lineair geopend in 30 seconden. Sluiten in 10 seconden. Dat betekent dat de echte klep/opening van 0 – 30% open ongeveer een minuut duurt, en daarna snel opent tot 100 %.

Deuren

- Deuren openen/sluiten in 2 minuten, waarvan de helft wordt besteed aan ontgrendelen/vergrendelen.
- Gaan dicht na uitvaren vanwege de aangenomen regelmatige spreiding van de scheepvaart.

II.2. Manderssluis

Onbekend of onzekere waarden zijn aangeduid met een oranje markering. Waarden die worden voorgeschreven vanuit Sobek zijn aangegeven met een paarse markering.

Eigenschap	Eenheid	Waarde	Opmerking
Manderssluis			
Aantal kolken	-	1	
Lengte	m	110	[1]
Breedte	m	12	[1]
Oppervlakte	m ²	1320	[1]
Bodem	m NAP	-5,0	[1]
Drempel VZM	m NAP	0 / 1.2	[2] 1.2 m in geval van IZZS, anders 0 m
Drempel Dintel	m NAP	0	[1], "
Nivelleeropening (µA)	m ²	1,5	Gleuf aan de onderkant. Exact oppervlak kan wat verschillen. Lineaire Kv-karakteristiek.
Voorhaven West (afwaarts)			
Oppervlakte	m ²	12.000	
Bodem	m NAP	-7	Onbekend.
Mondingbreedte (met Haven)	m	90	
Haven 1 (afwaarts)			
Oppervlakte	m ²	61.000	
Bodem	m NAP	-7	Onbekend
Mondingbreedte (met Haven)	m	100	
Haven 2 (afwaarts)			
Oppervlakte	m ²	150.000	
Bodem	m NAP	-7	Onbekend
Mondingbreedte (met VZM)	m	100	
Voorhaven Oost (opwaarts)			
Oppervlakte	m ²	3100	
Bodem	m NAP	-7	Onbekend
Mondingbreedte (met Haven)	m	75	
Haven 1 (opwaarts)			
Oppervlakte	m ²	228.000	
Bodem	m NAP	-7	Onbekend
Mondingbreedte (met Dintel)	m	100	
Volkerak Zoommeer (zout)			
Saliniteit	psu	17.5	Ongeveer 17.5 ppt.
Waterstand	m NAP	-	Opgelegd vanuit Sobek.
Dintel			
Saliniteit	psu	-	Opgelegd vanuit Sobek.
Waterstand	m NAP	-	Opgelegd vanuit Sobek.

[1]	Aanzicht en doorsnede Manderssluis.pdf
[2]	Principeontwerp Tauw luchtbellenscherm Manderssluis.pdf

Overige aannames en sluisoperatie

Invaartijd/uitvaartijd/scheepsrichting

- Invaarduur/uitvaarduur constant. Totaal is 6 minuten deur open.

Bellenschermen:

- Bellenschermen opereren op variabel luchtdebiet, dusdanig dat de doorlaatfractie altijd 25 % is.
- Bellenschermen staan dicht bij de schutdeuren, en niet op een verhoging.

Nivelleren

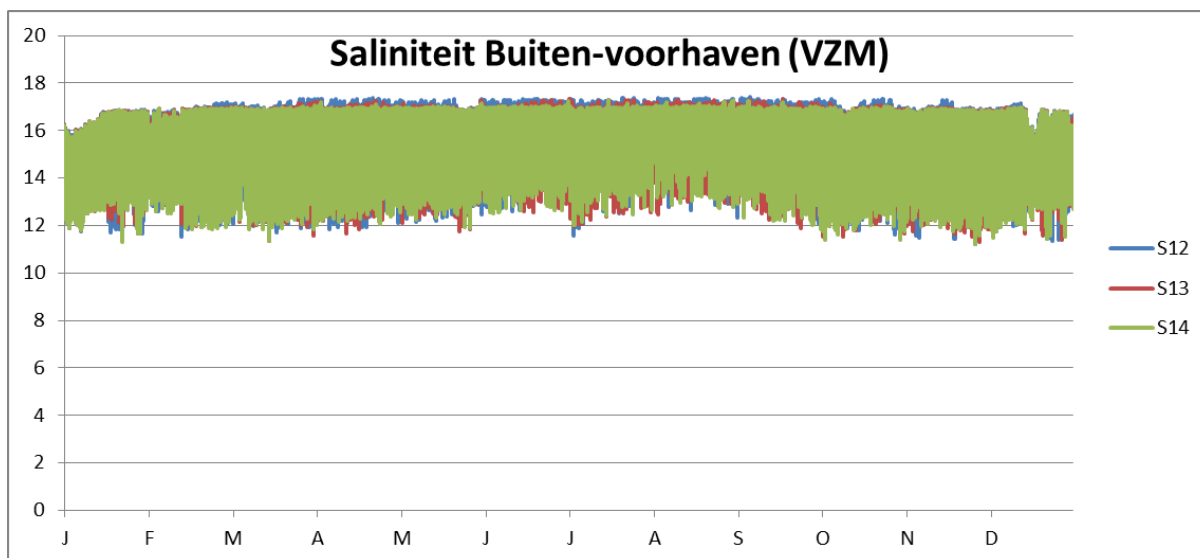
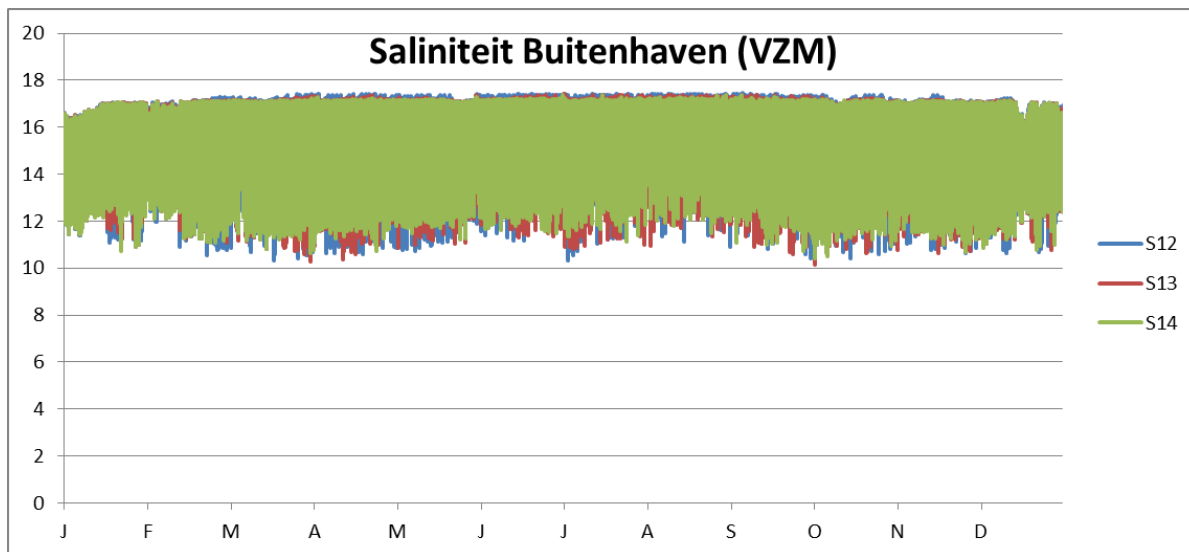
- Nivelleren kent geen maximumdebiet.
- Maximaal waterstandsverschil voor het openen van de deuren is verondersteld op 0,1 m, en een mogelijk nivelleerproces eindigt dus bij dit waterstandsverschil.
- Rinketten/omloopwerken/openingen worden lineair geopend in 30 seconden. Sluiten in 10 seconden. Dat betekent dat de echte klep/opening van 0 – 30 % open ongeveer een minuut duurt, en daarna snel opent tot 100 %.

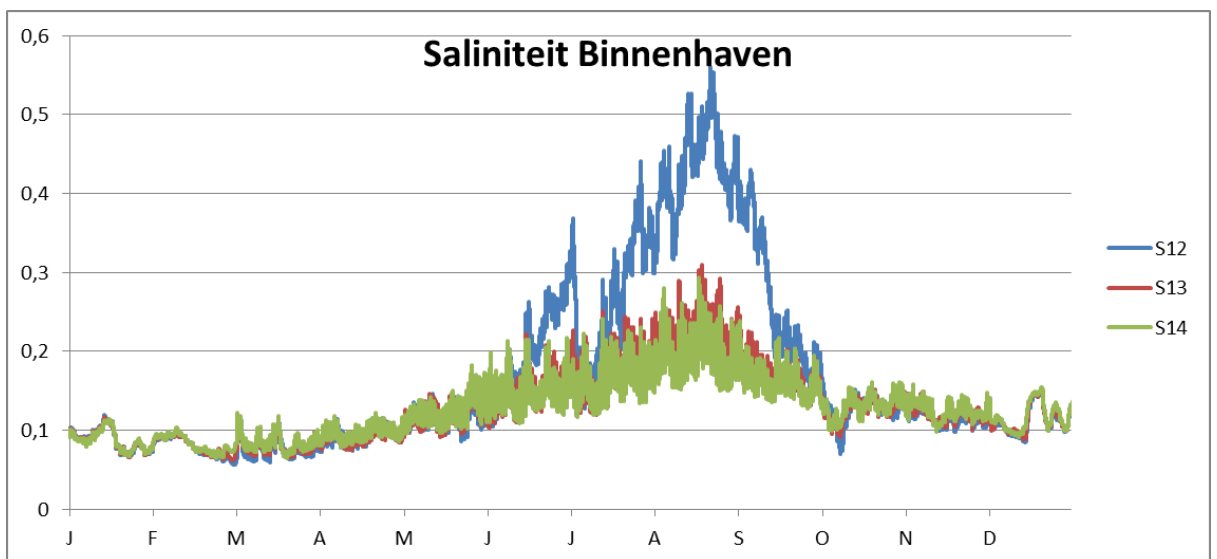
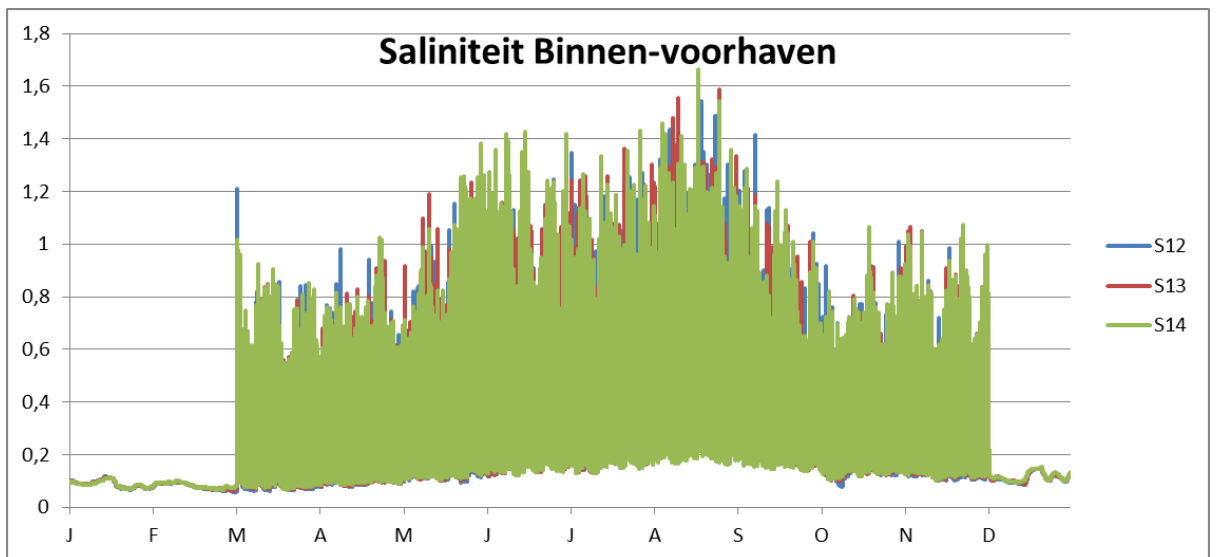
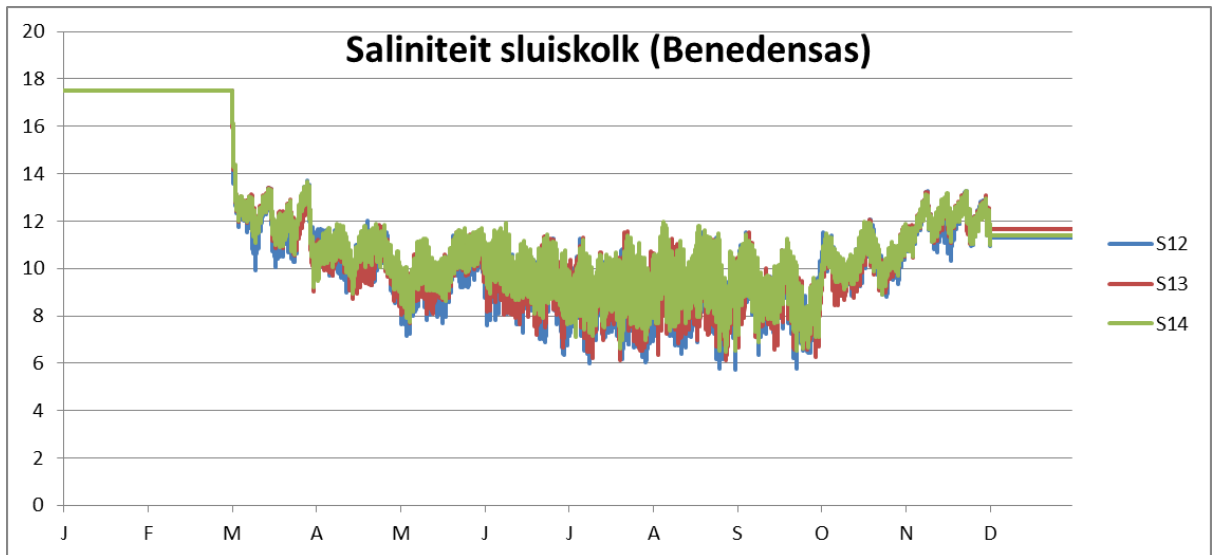
Deuren:

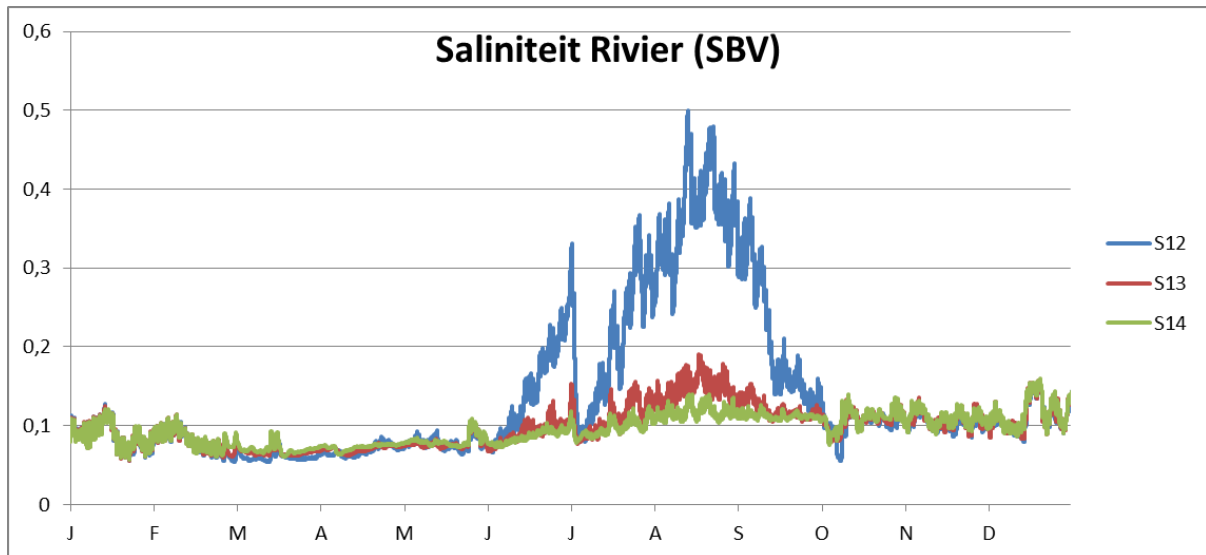
- Deuren openen/sluiten in 2 minuten, waarvan de helft wordt besteed aan ontgrendelen/vergrendelen.
- Gaan dicht na uitvaren vanwege de aangenomen regelmatige spreiding van de scheepvaart.

BIJLAGE III MET WANDA-LOCKS BEREKENDE SALINITEIT

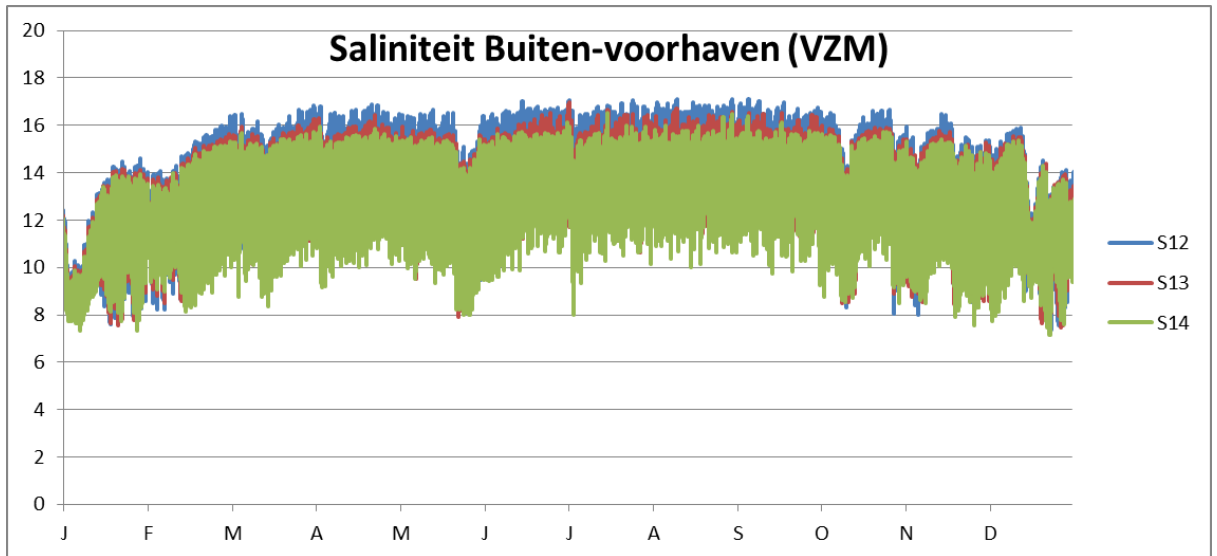
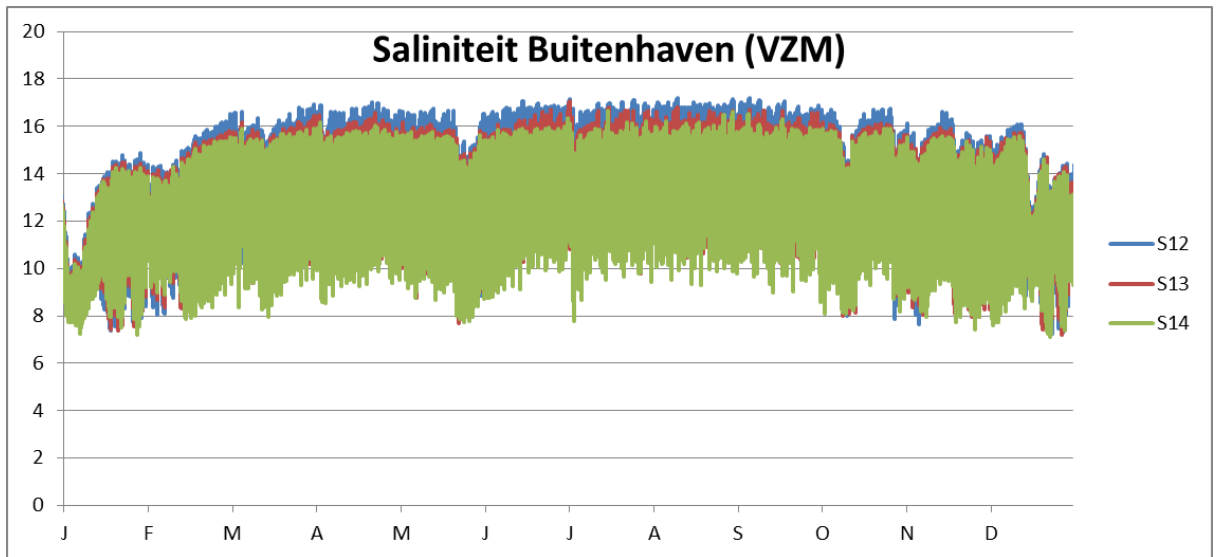
III.1. Met Wanda-Locks berekende saliniteit (psu) Steenbergse Vliet / Benedensas

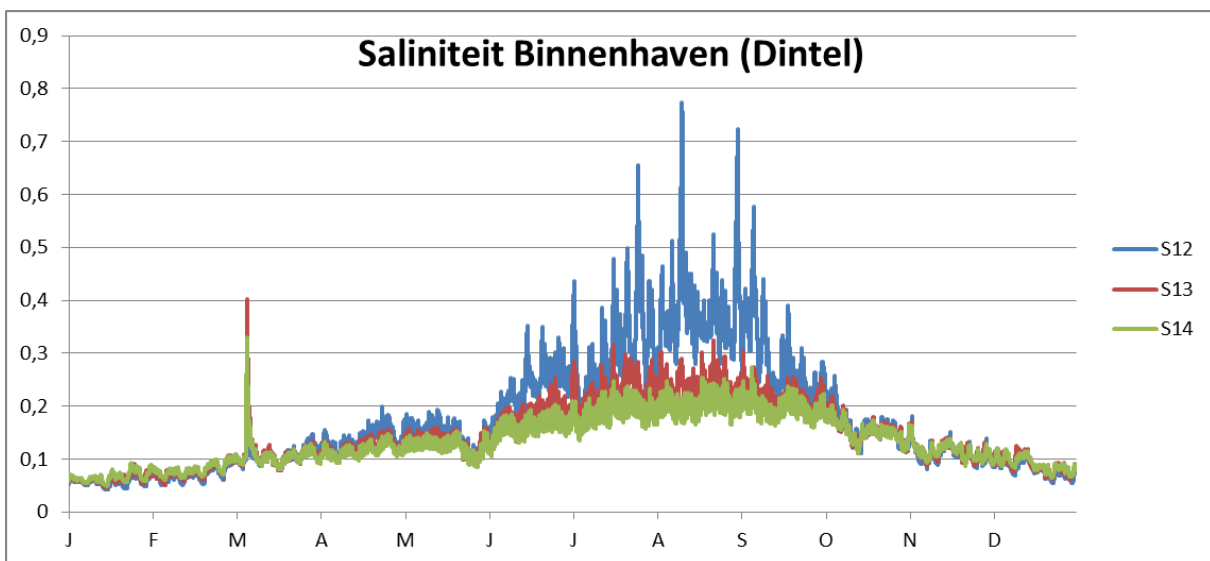
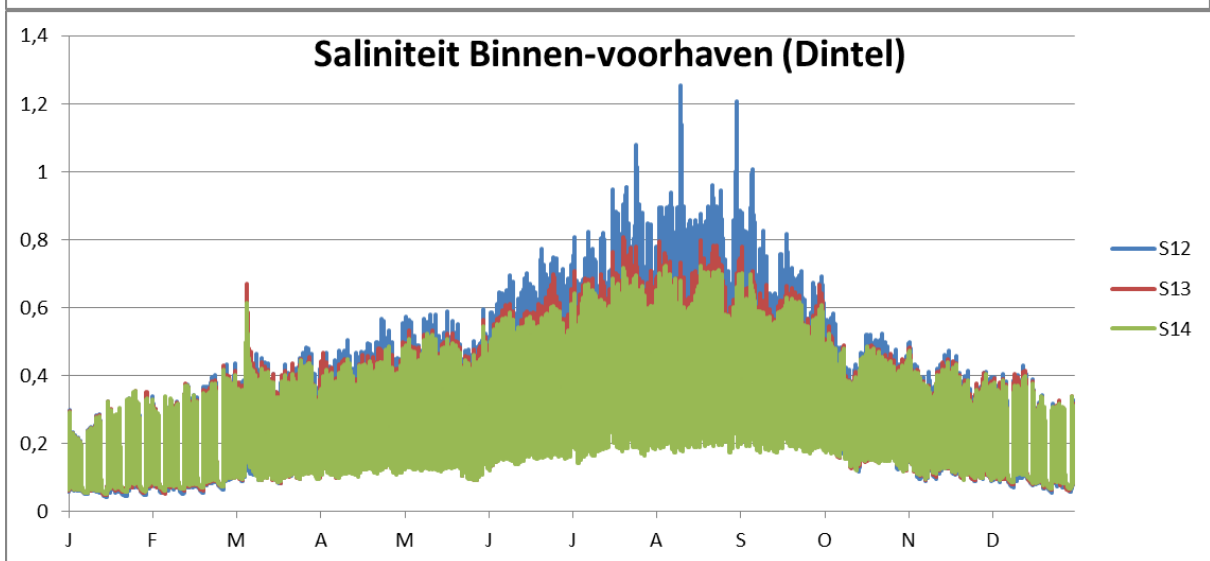
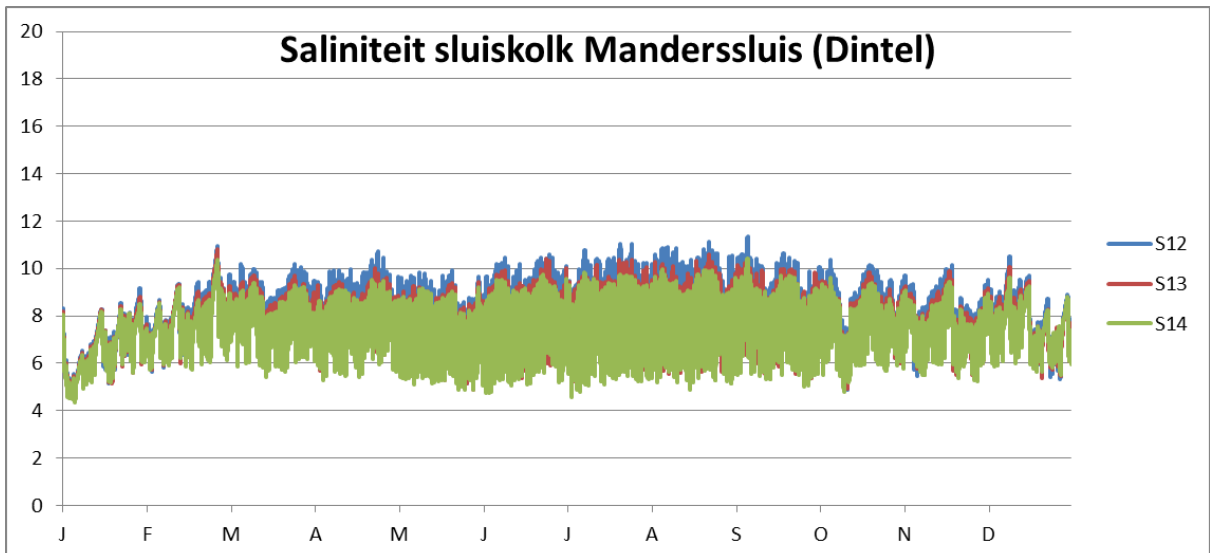


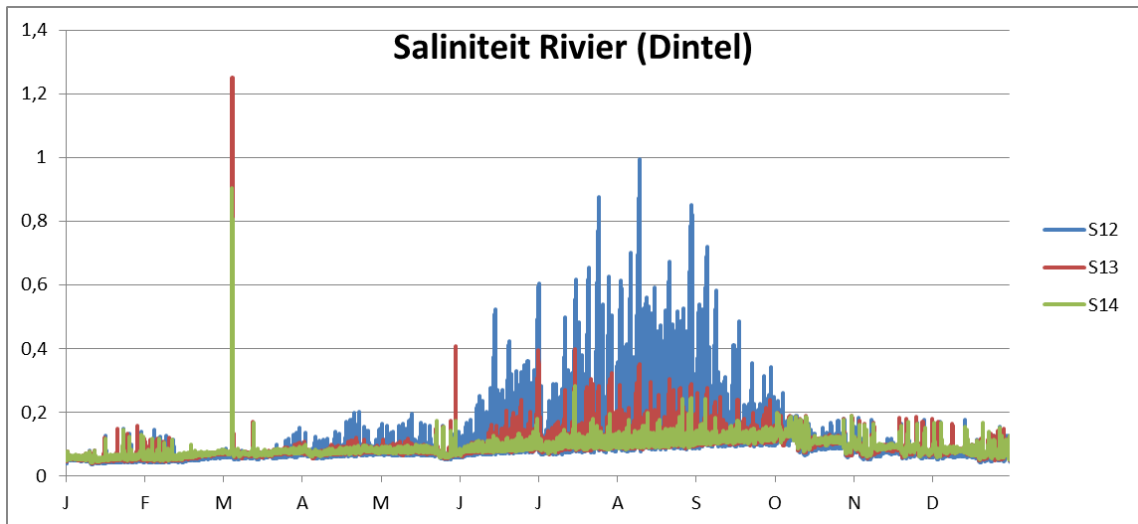




III.2. Met Wanda-Locks berekende saliniteit (psu) Dintel / Manderssluis








BIJLAGE IV NOTITIE FYSISCHE EN NUMERIEKE DISPERSIE MDV STELSEL

Witteveen+Bos
Willemstraat 28
Postbus 3465
4800 DL Breda
076 523 33 33
www.witteveenbos.nl

onderwerp fysische en numerieke dispersie MDV stelsel
project optimalisatieonderzoek Roode Vaart als alternatieve zoetwatervoorziening voor West-Brabant, Tholen en St. Philipsland bij een zout Volkerak-Zoommeer
opdrachtgever waterschap Brabantse Delta
projectcode BR585-6
referentie BR585-6/15-011.292
opgemaakt door ir. B. Dekens,
goedgekeurd door dr.ir. R.J. van der Ent
status definitief
datum opmaak 3 juli 2015
bijlagen -

paraaf 

aan	Brabantse Delta	Klaas-Jan Douben Edwin Arens
kopie	Rijkswaterstaat Witteveen+Bos Deltares	René Boeters Herman Mondeel Erik Ruijgh Otto Weiler Tjerk Vreeken

1. AANLEIDING

Uit de werksessie met Deltares met betrekking tot dispersie d.d. 1 juni 2015 kwam naar voren dat de gekozen (niet locatieafhankelijke) dispersiecoëfficiënt van 3 m²/s uit het Sobek model-2008 op basis van enkele kentallen aardig overeenkomt met wat volgens Fischer wordt berekend. Omdat de totale dispersiecoëfficiënt als volgt is opgebouwd:

$$\text{dispersie} = \text{fysische dispersie} + \text{numerieke dispersie}$$

waarbij de fysische (longitudinale) dispersie volgens Fischer afhankelijk is van de profielafmetingen (met name de breedte) en numerieke dispersie afhankelijk van de stroomsnelheid, is er afgesproken om de fysische en numerieke dispersie tegen het debiet uit te zetten om te bepalen hoe de coëfficiënten zich tot elkaar verhouden en of een ruimtelijk variërende dispersiecoëfficiënt mogelijk al deels wordt bewerkstelligd door de numerieke dispersie.

2. FYSISCHE EN NUMERIEKE DISPERSIE

De fysische en numerieke dispersie zijn vergeleken voor een aantal verschillende profielen uit het in 2008 opgestelde Sobek model van het Mark-Dintel-Vlietstelsel. Voor de fysische dispersiecoëfficiënt volgens Fischer is de volgende formulering aangehouden:

$$D_{Fischer} = 0.011 \frac{W^2 u^2}{d u^*}$$
$$u^* = \frac{\sqrt{g} u}{C} = \frac{\sqrt{g} u}{K_s R^{1/6}}$$

waarbij W de gemiddelde profielbreedte (m), u de stroomsnelheid (m/s), d de waterdiepte (m), u^* de schuifspanningssnelheid, g de valversnelling (m/s^2) en C de Chézy weerstandscoëfficiënt ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$), K_s de Strickler weerstandscoëfficiënt en R de hydraulische straal (m).

Voor de numerieke dispersie bij een impliciet numeriek schema geldt de volgende formulering:

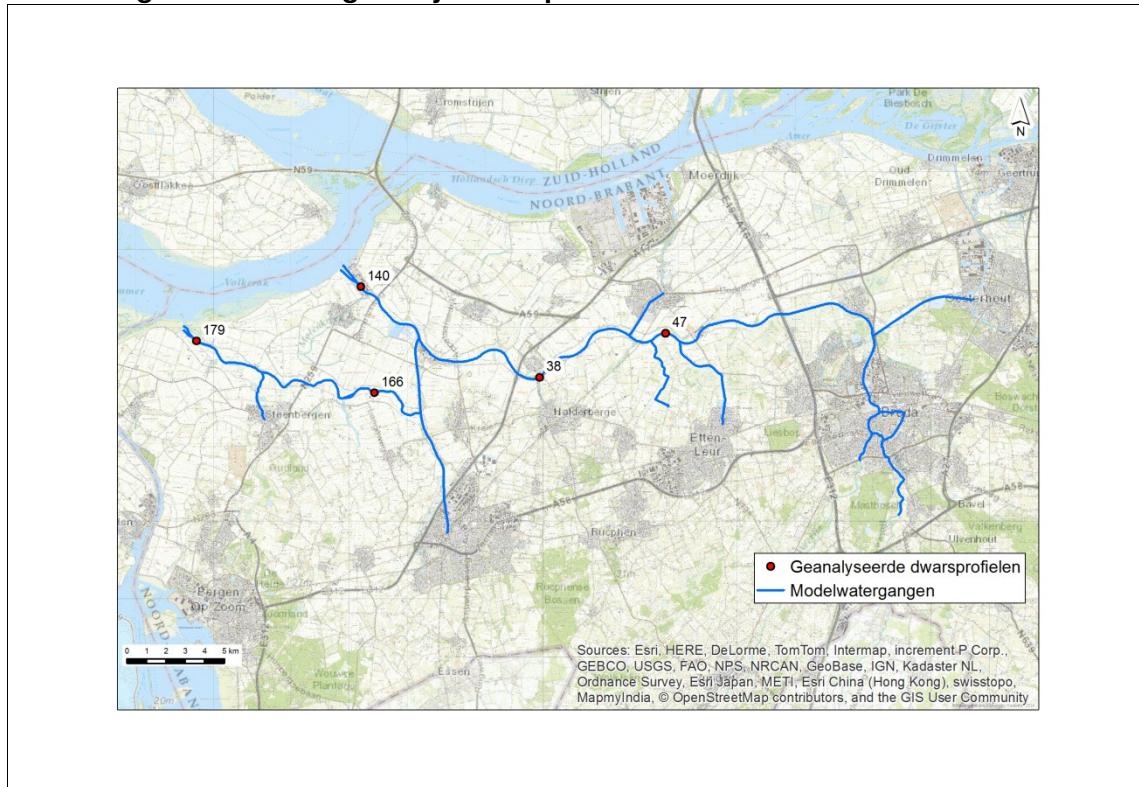
$$D_{numeriek} = \frac{u}{2} (\Delta x + u \Delta t)$$

waarbij Δx de afstand tussen rekenpunten (m), en Δt de rekestijdstap (s).

3. LOCATIES GEANALYSEERDE DWARSPROFIELEN

In onderstaande afbeelding zijn de locaties van de vijf geanalyseerde dwarsprofielen opgenomen. De afmetingen van de profielen zijn opgenomen in tabel 3.1.

Afbeelding 3.1. Locaties geanalyseerde profielen



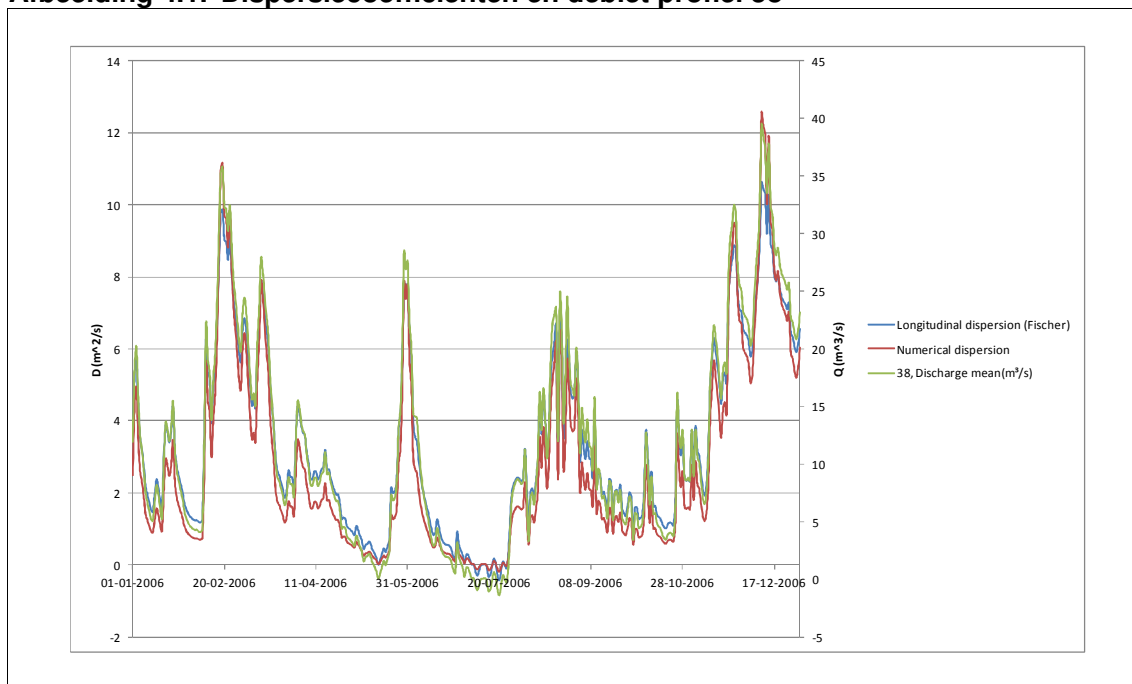
Tabel 3.1. Dimensies dwarsprofielen

ID dwars-profiel	locatie	bodemhoogte (m+NAP)	bodembreedte (m)	talud (1:x)	jaargemiddelde waterdiepte in model (m)
38	Mark, bij Standdaarbuiten	-4,24	26	3	4,39
47	Mark, bij Zevenbergen	-3,58	26	3	3,75
140	Dintel, bij Jachthaven	-5,15	26	3	5,28
166	Roosendaalse Vliet	-2,00	10	3	2,11
179	Steenbergse Vliet, bij Dintelsas	-3,50	170	3	3,57

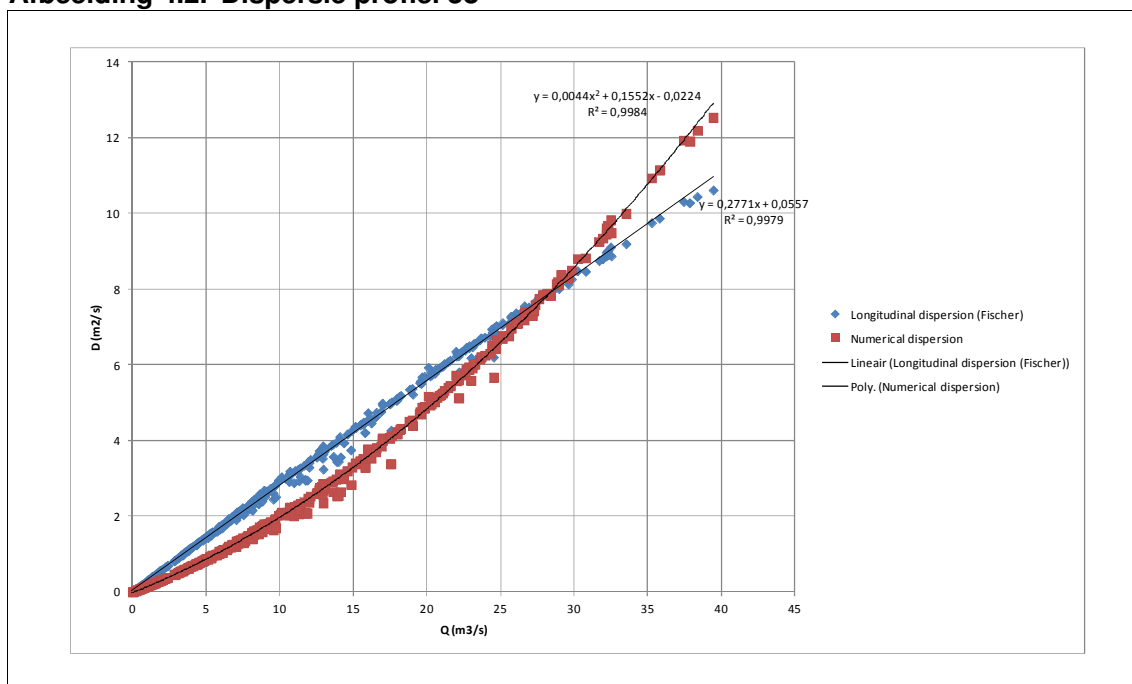
4. ANALYSE OP BASIS VAN MODELBEREKENING

De analyse is uitgevoerd op basis van de case 'Kalibratie_5_WQ_2006' uit het model van 2008. Omdat alle profielen zijn gemodelleerd als trapeziumprofiel, kon de dispersie eenvoudig in een spreadsheetberekening worden bepaald. Voor de eerdergenoemde locaties zijn de waterdiepte, het debiet en de stroomsnelheid geëxporteerd naar Excel. In onderstaande afbeeldingen zijn de fysische dispersiecoëfficiënt volgens Fischer en de numerieke dispersie weergegeven, samen met het gemodelleerde debiet. Tevens zijn de dispersiecoëfficiënt volgens Fischer en de numerieke dispersiecoëfficiënt geplotted als functie van het debiet. Voor de totale dispersie in het gebruikte Sobekmodel moet bij de numerieke dispersie de opgegeven dispersiecoëfficiënt van $3 \text{ m}^2/\text{s}$ worden opgeteld.

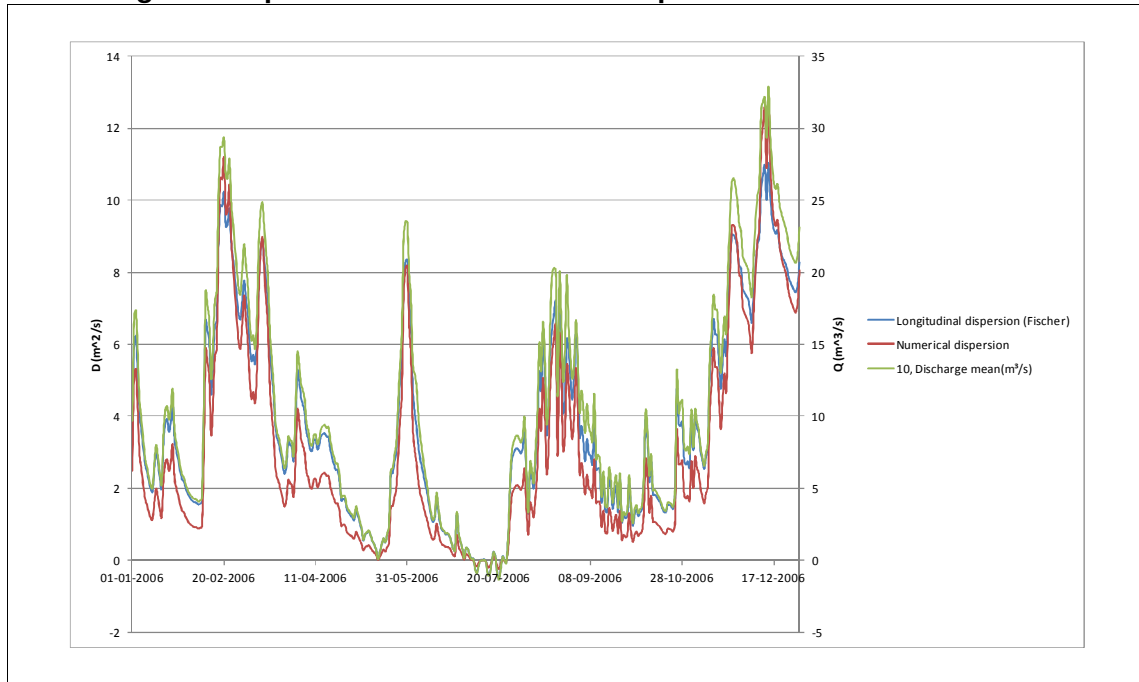
Afbeelding 4.1. Dispersiecoëfficiënten en debiet profiel 38



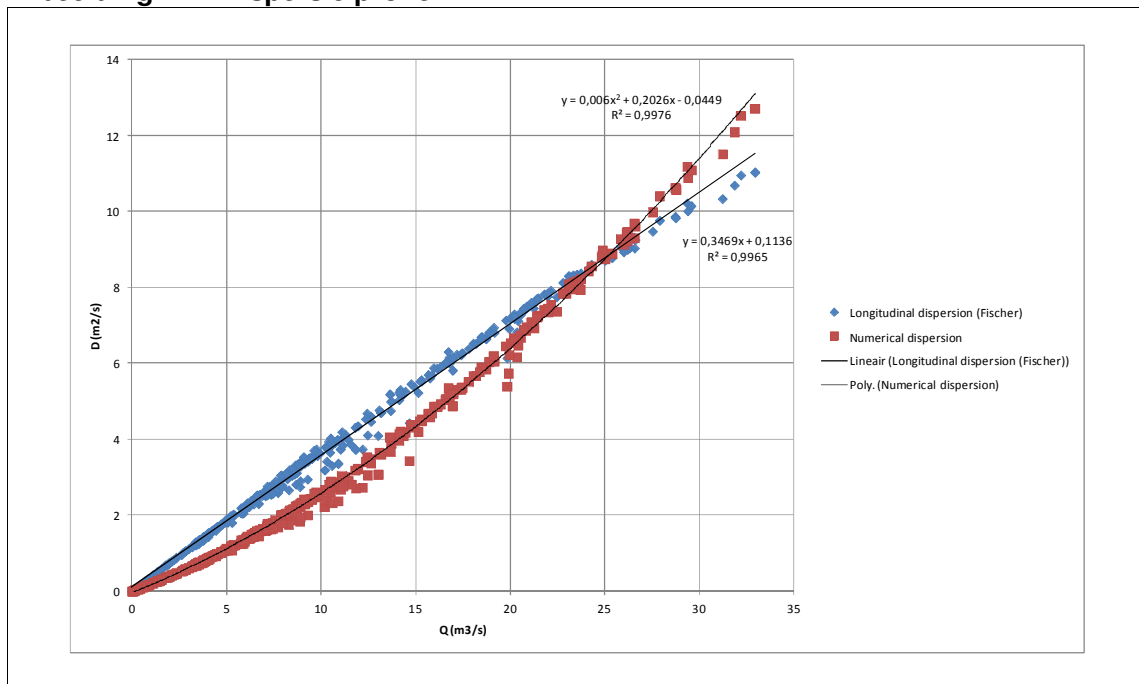
Afbeelding 4.2. Dispersie profiel 38



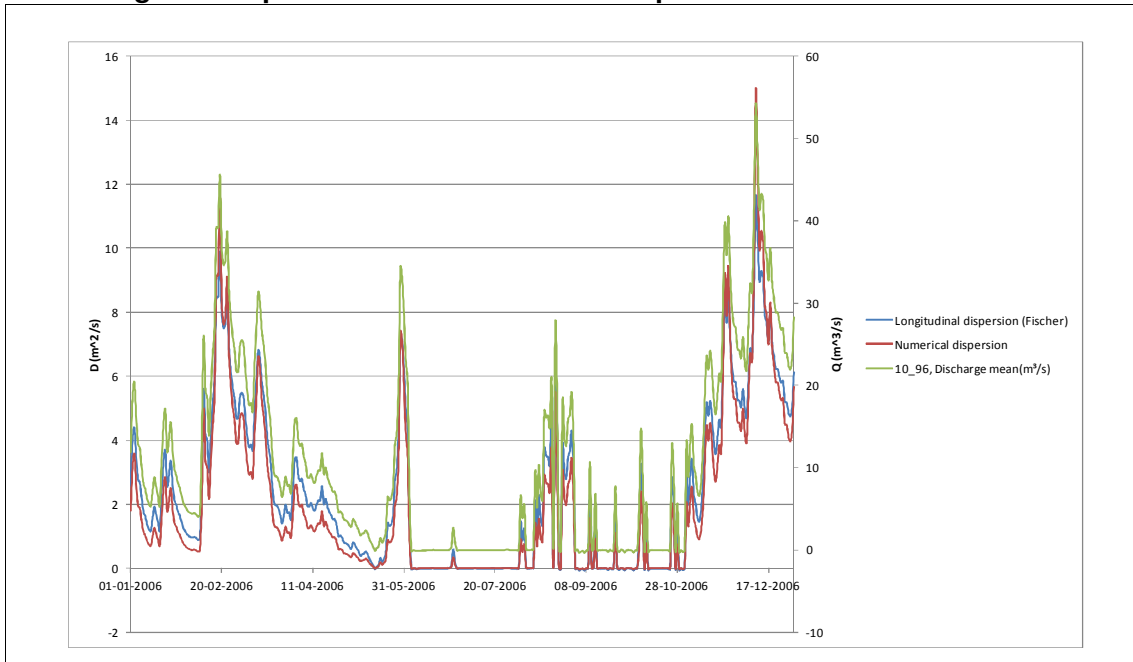
Afbeelding 4.3. Dispersiecoëfficiënten en debiet profiel 47



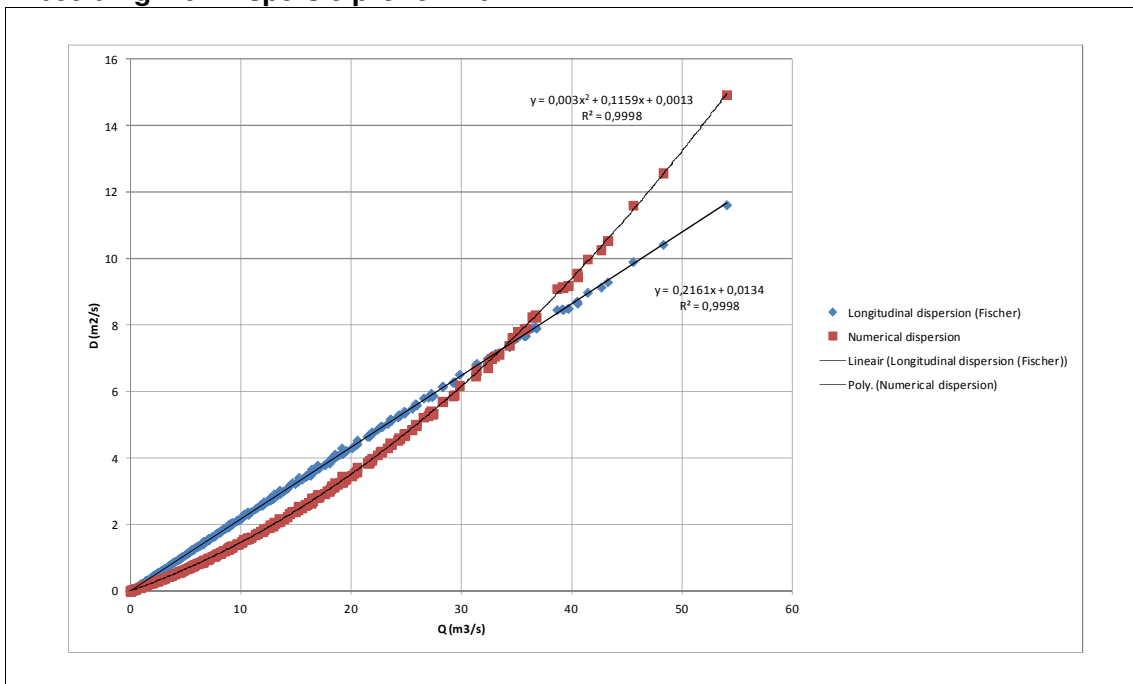
Afbeelding 4.4. Dispersie profiel 47



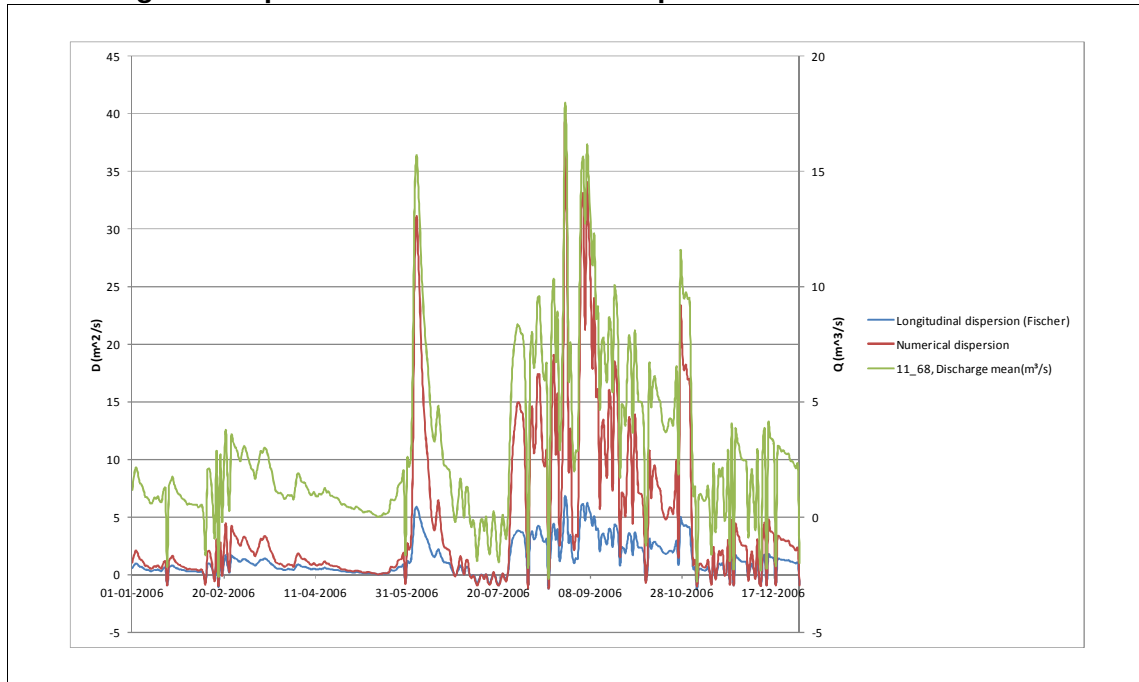
Afbeelding 4.5. Dispersiecoëfficiënten en debiet profiel 140



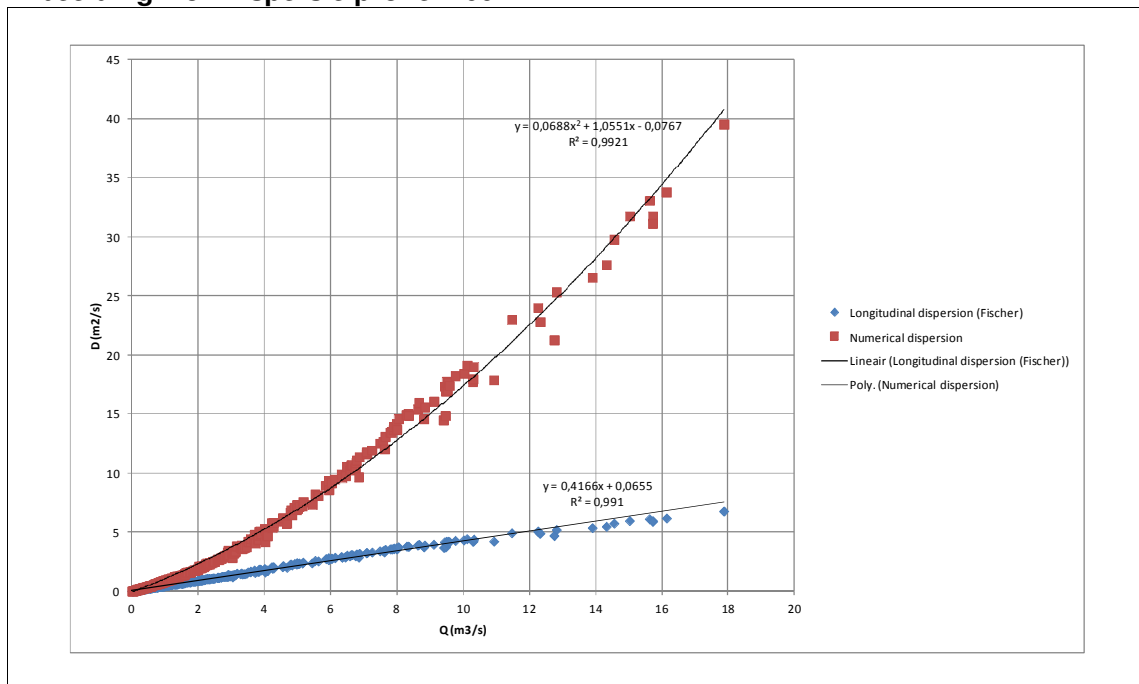
Afbeelding 4.6. Dispersie profiel 140



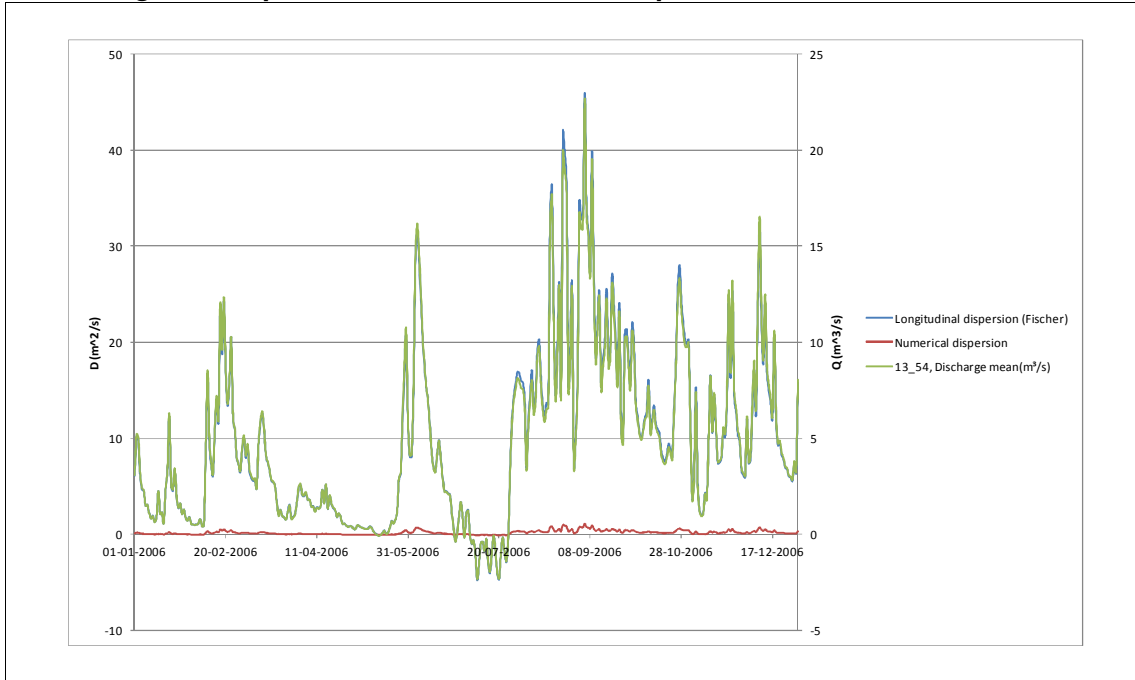
Afbeelding 4.7. Dispersiecoëfficiënten en debiet profiel 166



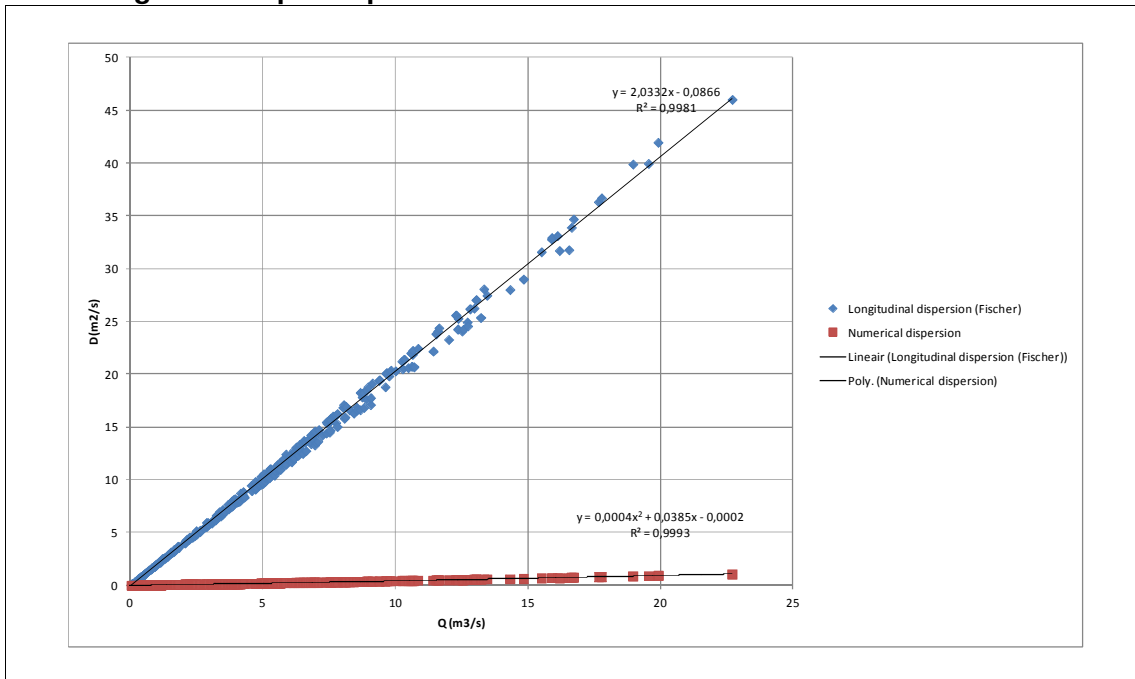
Afbeelding 4.8. Dispersie profiel 166



Afbeelding 4.9. Dispersiecoëfficiënten en debiet profiel 179



Afbeelding 4.10. Dispersie profiel 179



Zoals in bovenstaande figuren kan worden waargenomen is er een lineair verband tussen het debiet en de fysische dispersie, en een kwadratisch verband tussen het debiet en de numerieke dispersie. Dit kan overigens ook uit de formules kan worden afgeleid (met aanname $V = Q/A$).

Profielen 38, 47 en 140 hebben vergelijkbare afmetingen, maar verschillen in bodemhoogte en waterdiepte (en dus in stroomvoerend oppervlak). Bij deze profielen is de verhouding tussen de fysische en numerieke dispersie ongeveer gelijk aan elkaar. Qua grootte zijn de

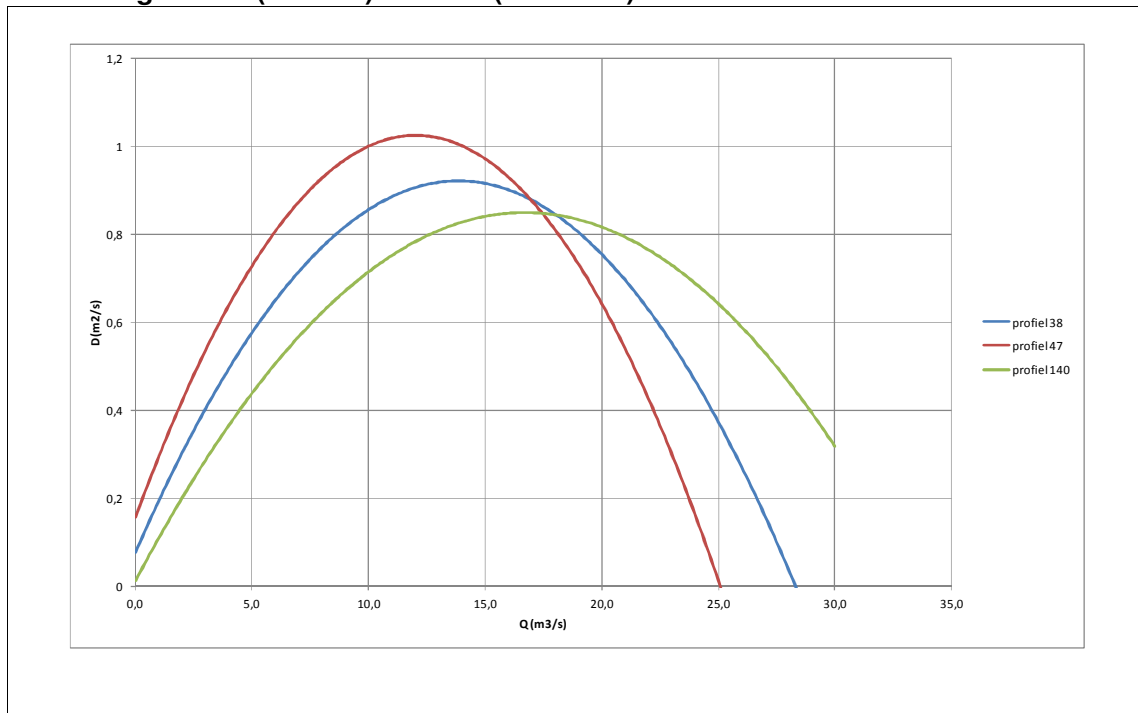
fysische en numerieke dispersie orde grootte gelijk. Bij lage debieten is de fysische dispersie groter dan de numerieke dispersie.

Profiel 179 is erg breed, waardoor de stroomsnelheid bij gelijk debiet erg laag is. Hierdoor is de fysische dispersie erg groot, en is de numerieke dispersie verwaarloosbaar klein ten opzichte van de fysische dispersie. In de richting van de Roosendaalse Vliet wordt het profiel al snel smaller.

Profiel 166 is juist een relatief smal en ondiep profiel. Hierdoor is de stroomsnelheid bij gelijk debiet groter dan bij de andere profielen en is de numerieke dispersie altijd groter dan de fysische dispersie.

Door de numerieke dispersie af te trekken van de dispersie volgens Fischer wordt de theoretische 'op te leggen' dispersie berekend. Deze is voor de Dintel en de Mark uitgezet in onderstaande afbeelding. De aan het model op te leggen dispersie varieert op basis van deze analyse grofweg tussen de 0 en 1 m²/s.

Afbeelding 4.11. D(Fischer) minus D(numeriek) voor de Dintel en de Mark



5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Onderstaand staan de conclusies opgesomd van deze memo. Echter, moet wel aangetekend worden dat hierbij de dispersie ten gunste van gelaagdheid in het systeem nog niet is meegenomen.

- Bij een profiel met een groot stroomvoerend oppervlak zoals profiel 179 (op de Steenbergse Vliet nabij Benedensas) is de fysische dispersie groot en de numerieke dispersie verwaarloosbaar. Dit profiel komt echter maar op een kort stukje voor.
- Bij een smal en ondiep profiel zoals profiel 166 (op de Roosendaalse Vliet) is de numerieke dispersie aanzienlijk groter dan de fysische dispersie. Als de dispersiecoëfficiënt volgens Fischer juist is, dan hoeft er hier mogelijk geen dispersiecoëfficiënt aan het

model te worden opgelegd omdat er al veel numerieke dispersie zal optreden. Advies is om hier de dispersiecoëfficiënt op aan te passen.

- Op de Dintel en de Mark verhouden de fysische en numerieke dispersie zich ongeveer gelijk tot elkaar. De aan het model op te leggen dispersiecoëfficiënt ligt grofweg tussen de 0 en 1 m²/s.
- De berekende debieten voor de kalibratiesom van 2006 (gemiddeld hydrologisch jaar) laten zien dat de debieten op de Dintel en de Mark met enige regelmaat zakken tot onder de 5 m³/s. In dat geval is de op te leggen dispersie rond de 0,4 - 0,7 m²/s.
- De gekozen locatieafhankelijke dispersiecoëfficiënt van 3 m²/s lijkt op basis van bovenstaande analyse iets te hoog gekozen voor de Dintel en de Mark. Of er veel verschil in de berekende zoutindringing zal zijn bij een aan het model opgelegde dispersiecoëfficiënt van bijvoorbeeld 1 m²/s ten opzichte van 3 m²/s is zou moeten worden bekeken met aanvullende berekeningen.

Advies is om de dispersiecoëfficiënt ten gevolge van gelaagdheid verder te onderzoeken.