

**Hydrodynamische
modellering van het
Noordzeekanaal en
Amsterdam-Rijnkanaal**



Hydrodynamische modellering van het Noordzeekanaal en Amsterdam- Rijnkanaal

Ontwikkeling en validatie SOBEK 3 en Delft3D model

Frans Buschman
Asako Fujisaki
Rudy Schueder
Theo van der Kaaij

1230071-008

Titel

Hydrodynamische modellering van het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat WVL	1230071-008	1230071-008-ZWS-0002	80

Trefwoorden

Noordzeekanaal, Amsterdam-Rijnkanaal, Merwedekanaal, SOBEK 3, Delft3D, Baseline.

Samenvatting

Op verzoek van Rijkswaterstaat zijn 1D en 3D hydrodynamische modellen opgezet voor het Noordzeekanaal en het Amsterdam-Rijnkanaal die gebaseerd zijn op actuele gegevens. Een nieuw SOBEK 3 model (1D) is opgezet, waarbij profielen zijn afgeleid van actuele gegevens uit een Baseline schematisatie. Het effect van wind is meegenomen in het SOBEK 3 model. De dynamiek in het lange aaneengesloten systeem dat is omringd door kunstwerken wordt veroorzaakt door lozingen en onttrekkingen. Bij de Irenesluis ten zuiden van Wijk bij Duurstede wordt water ingelaten. Dit debiet is geschematiseerd als een grote lozing op het Amsterdam-Rijnkanaal ten noorden van de Irenesluis. Grote onttrekkingen uit het systeem zijn het spuien en het malen bij IJmuiden. Op basis van aangeleverde gegevens is een set van 170 lozingen gegenereerd voor een periode in 2015. Omdat de genoemde lozingen bij IJmuiden te hoog leken en Rijkswaterstaat deze gegevens als onzeker had bestempeld, zijn deze gecorrigeerd door de tijdserie te vermenigvuldigen met een correctiefactor tussen 0,3 en 0,6. Daarmee werd bereikt dat de gesimuleerde waterstand aan het begin en eind van de simulatieperiode vergelijkbaar was als de metingen op die momenten. Het verloop van de waterstand lijkt in het SOBEK model echter niet op de metingen. Het Delft3D model is doorgerekend voor een periode in 2013 en voor de periode in 2015. Voor beide perioden lijkt het verloop van de waterstand niet op de metingen.

Met de huidige onnauwkeurige dataset van lozingen en onttrekkingen voor de periode in 2015 kunnen daarom geen conclusies getrokken worden over de geschiktheid van zowel het SOBEK 3 model als het Delft3D model voor beoogde toepassingen. De belangrijkste aanbeveling is de metingen van de lozingen en onttrekkingen te verbeteren en enkele ontbrekende lozingen toe te voegen aan de set van lateralen, zodat in de toekomst wel nauwkeurige modelberekeningen mogelijk worden. Voor de lozingen en onttrekkingen zullen ook completere en nauwkeurigere gegevens van de temperatuur en het zoutgehalte beschikbaar moeten komen om nauwkeurige resultaten van temperatuur en saliniteit te simuleren.

Referenties

Project 1230071-008 "Hydraulica schematisaties RWS-zoet Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal"

Status

definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Kader	1
1.2	Aanleiding en voorgeschiedenis	1
1.3	Beoogde toepassing	2
1.4	Doelstellingen	2
1.5	Gebiedsafbakening	3
1.6	Producten	3
1.7	Projectteam	4
2	Systeembeschrijving	5
3	Baseline aanpassingen	7
3.1	Aanleiding voor aanpassing	7
3.2	Uitbreiding met het Merwedekanaal en Vaartsche Rijn	7
3.3	Aanpassing referentie 2010	7
3.4	Schematisatie voor 2015	8
4	SOBEK 3 modelopbouw	9
4.1	Modelsoftware	9
4.2	Onderliggende modellen, schematisaties en versiegeschiedenis	9
4.3	WAQUA-modellen en Baseline-schematisaties	9
4.4	Hydrodynamisch model	9
4.4.1	Numerieke instellingen	9
4.4.2	Netwerk en het rekenrooster	10
4.4.3	SOBEK-vakken	11
4.4.4	Dwarsprofielen	12
4.4.5	Kunstwerken	13
4.4.6	Laterale lozingen en onttrekkingen	14
4.4.7	Hydraulische ruwheden	15
4.4.8	Wind	15
4.4.9	Saliniteit en temperatuur	16
4.5	Realtime-Control model	16
5	Lateralen in 2015 voor SOBEK 3 en Delft3D	17
5.1	Aangeleverde gegevens	17
5.2	Gegevens verwerken tot lateralen	17
5.3	Aanpassingen specifiek per lozing/onttrekking	18
5.3.1	Irenesluizen, Beatrix sluis en de Doorslag	18
5.3.2	Spuien en malen bij IJmuiden	19
5.4	De resulterende lateralen	20
5.4.1	Verschillen tussen SOBEK en Delft3D	23
5.5	Mogelijke verbeteringen	23
6	Gevoeligheidsanalyses SOBEK 3 model	25
6.1	Inleiding	25
6.2	Ruwheid	25
6.3	Windshielding factor	26

6.4	Discussie en conclusie	28
7	Validatie SOBEK 3 model	29
7.1	Resultaten	29
7.2	Discussie	31
8	Verification Delft3D model	33
8.1	Summary of previous results	33
8.2	Simulation in 2013	33
8.2.1	Introduction	33
8.2.2	Observation data	33
8.2.3	Model implementation	35
8.2.4	Comparison of observations and model results	36
8.3	Simulation in 2015	42
8.3.1	Comparison of observations and model results	43
8.4	Discussion and conclusions for ARK-NZK model in 2013 and 2015	46
9	Conclusies	47
9.1	Baseline schematisaties en rooster	47
9.2	Lateralen	47
9.3	SOBEK model	47
9.4	Delft3D model	48
10	Aanbevelingen	49
10.1	Lateralen	49
10.2	SOBEK model	49
10.3	Delft3D model	50
10.4	Baseline schematisatie en rooster	51
11	Referenties	53
 Bijlage(n)		
A	Factsheet van systeemanalyse Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal voor verzilting	A-1
A.1.1	Inleiding	A-1
A.1.2	Gebiedsbeschrijving	A-1
A.1.3	Systeemgedrag	A-3
B	De takken van het SOBEK 3 model	B-1
C	De lateralen van het SOBEK 3 model	C-1

1 Inleiding

1.1 Kader

In het kader van het KPP-programma 2016 tussen RWS-WVL en Deltares voor 2016 wordt binnen het thema “Modellen en monitoring” gewerkt aan het Beheer en onderhoud (B&O) van de gebiedsschematisaties van Rijkswaterstaat. In het kader van project 1230071 “Hydraulica schematisaties RWS-zoet” en “zout” worden schematisaties opgezet en beheerd en onderhouden.

Er wordt binnen de projecten “Hydraulica schematisaties RWS-zoet” en “zout” continu gewerkt aan een samenhangend modelinstrumentarium t.b.v. verschillende projecten/programma’s en toepassingen, waarbij het aantal modelversies zoveel mogelijk wordt beperkt en de modellen zoveel mogelijk worden opgebouwd volgens dezelfde technieken en methodes (consistentie) en tevens onderling koppelbaar zijn.

In het kader van project 1230071.008 “Hydraulica schematisaties RWS-zoet Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal” zijn in 2016 schematisaties opgezet. In het voorliggende rapport wordt hierover gerapporteerd.

1.2 Aanleiding en voorgeschiedenis

Rijkswaterstaat wenst dat hydrodynamische modellen voor het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal gebaseerd zijn op actuele gegevens in Baseline, net als voor andere onderdelen van het hoofdwatersysteem. In 2016 is duidelijk geworden dat het Merwedekanaal nu ook behoort tot het hoofdwatersysteem. Momenteel wordt voorbereid dat de gemeente Utrecht het beheer van het Merwedekanaal gaat overnemen van Rijkswaterstaat. Aangezien het Merwedekanaal nu in beheer is bij Rijkswaterstaat, heeft Rijkswaterstaat gevraagd ook het Merwedekanaal in de Baseline schematisatie op te nemen.

Er zijn 1D (SOBEK) en 3D (Delft3D) modellen beschikbaar voor deze kanalen, maar deze waren tot 2015 niet gebaseerd op Baseline informatie en waren niet opgezet met de technieken en methodes die worden gehanteerd om te komen tot het modelinstrumentarium van Rijkswaterstaat.

Tot op heden was er geen SOBEK model in beheer en onderhoud. Er zijn verschillende projecten, waar de wens bestaat een SOBEK 3 model van deze kanalen toe te passen. Ook het Landelijk SOBEK model is nog niet goed gevuld voor de kanalen. Om deze reden is voor de kanalen een SOBEK 3 model opgezet in 2016 volgens de technieken en methodes, welke een consistente en koppelbare modelschematisatie opleveren.

In 2015 is gestart met het actualiseren en uitbreiden van een 3D Delft3D model (Buschman et al., 2015). Het 3D model opgezet door Arcadis voor het Noordzeekanaal en het noordelijke gedeelte van het Amsterdam-Rijnkanaal is uitgebreid tot de Nederrijn-Lek, het rooster is deels verfijnd en er zijn lateralen toegevoegd.

1.3 Beoogde toepassing

Rijkswaterstaat heeft een aantal vragen geformuleerd waarvoor zij een hydrodynamisch model van het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal wil toepassen. Deze vragen zijn hieronder opgesomd zonder onderscheid te maken tussen het 1D en 3D model.

- Beantwoorden van specifieke vragen, zoals:
 - Hoe ver dringt zout water binnen na aanleg van nieuwe zeesluizen bij IJmuiden?
 - Hoeveel koelruimte is er en zal er zijn in het systeem?
- Operationeel:
 - Wat is de waterstand en het zoutgehalte tot in de nabije toekomst?
 - Hoeveel water kan het beste gespuid worden bij de huidige en verwachte condities (zoals BOS nu doet, maar dan inclusief temperatuur)?
- Emissie-immissie toets: kan een vergunning worden verleend voor een bepaalde lozing of onttrekking? Dit antwoord wordt gebaseerd op gearchiveerde berekeningen.
- Voor landelijke water- en temperatuurvragen: Bijvoorbeeld wat zal de temperatuur zijn bij een bepaalde waterverdeling? Dergelijke vragen worden met het Landelijke Sobek Model (LSM) beantwoord.

Voor operationele doeleinden wordt het SOBEK 3 model in 2016 opgenomen in IWP. Daartoe zijn er wensen benoemd:

- Vanuit operationeel advies is het van belang de windopzet te kunnen bepalen: het moet mogelijk zijn om windvelden op te leggen.
- Vanuit operationeel advies mag de simulatie maximaal ongeveer twee minuten per dag bedragen.
- Vanuit contaminatie berekeningen is de export van gegevens op langsprofielen (routes) gewenst. Tenminste voor de parameters "water depth, velocity, flow area, discharge (main channel), flow area (main channel) and flow width (main channel)" is dit van toepassing.

1.4 Doelstellingen

Voor 2016 zijn de volgende doelstellingen geformuleerd:

- De Baseline schematisatie wordt uitgebreid met het Merwedekanaal.
- Een set lateralen wordt samengesteld op basis van door Rijkswaterstaat aangeleverde gegevens voor een periode in 2015.
 - Wanneer nodig voor het verkrijgen van een waterbalans, wordt op vergelijkbare wijze als in Arcadis (2014) een correctie toegepast op de meest onzekere lateralen.
 - Naast afvoer, wordt ook temperatuur en zoutgehalte opgeslagen in de set lateralen.
- Ontwikkelen en valideren van een SOBEK 3 model op een vergelijkbare manier als andere SOBEK 3 modellen; zie bijvoorbeeld Berends (2014) en Berends (2015).
 - Een takkenstructuur voor de drie kanalen, havens en belangrijke zijtakken wordt opgezet met als basis het bestaande LSM 1.3 model.
 - Vak en profiel wordt bepaald voor ieder rekenpunt. Waar Baseline informatie beschikbaar is, wordt het profiel met WAQ2PROF bepaald.
 - Wind wordt meegenomen in het model.
 - Zout en temperatuur worden optioneel berekend met het model.
 - Gevoeligheidsanalyses worden uitgevoerd met de set lateralen van 2015.
 - Een validatie wordt uitgevoerd met de set lateralen van 2015.

- Valideren van het 3D Delft3D model door het doorrekenen van de simulatieperioden in 2013 en in 2015.
 - De resultaten worden vergeleken met metingen.
 - Rijkswaterstaat heeft aangegeven in 2016 niet een gevoeligheidsanalyse te willen uitvoeren, waardoor geen eindconclusie kan worden gegeven over het toepassingsbereik van het Delft3D model voor het beantwoorden van beheervragen. Uit de validatie kunnen alleen conclusies worden getrokken over toepassing van het model bij vergelijkbare condities als tijdens de validatie.

1.5 Gebiedsafbakening

Het Noordzeekanaal staat via het IJ in open verbinding met het noordelijk deel van het Amsterdam-Rijnkanaal. Het Amsterdam-Rijnkanaal ten zuiden van de Nederrijn-Lek (Betuwepand) wordt niet beschouwd in dit rapport, omdat het wordt begrensd door sluisen. Het Betuwepand is opgenomen in modellen van de Rijntakken.

Het Merwedekanaal kruist het Amsterdam-Rijnkanaal bij Utrecht. Via kunstwerken is er verbinding met de Lek, de Hollandsche IJssel en driemaal met het Amsterdam-Rijnkanaal. Omdat het kanaal in beheer is bij Rijkswaterstaat is het kanaal opgenomen in de schematisatie. Het gaat daarbij alleen om het noordelijk deel van het Merwedekanaal ten noorden van de Lek, om dezelfde redenen als voor het Amsterdam-Rijnkanaal.

Het Noordzeekanaal en het noordelijk deel van het Amsterdam-Rijnkanaal staan in open verbinding met verschillende havens. Ook is er (al dan niet via kunstwerken) verbinding met regionale waterlopen, welke niet door Rijkswaterstaat worden beheerd. Deze regionale waterlopen zijn niet opgenomen. Het gaat daarbij bijvoorbeeld om de Vecht en grachten van Amsterdam. Het Buiten-IJ en Markermeer worden ook niet geschematiseerd. De wateruitwisseling met deze wateren wordt als lozingen en onttrekkingen gemodelleerd.

Kortweg loopt het in SOBEK geschematiseerde gebied van de sluisen grenzend aan de Nederrijn-Lek via Amsterdam-Rijnkanaal, Lekkanaal en Merwedekanaal naar het IJ en Noordzeekanaal tot IJmuiden, inclusief de grotere havens en grotere zijkanalen. Dit wordt in het vervolg het gemodelleerde gebied genoemd. In Delft3D is het gemodelleerde gebied hetzelfde, met als verschil dat het Merwedekanaal niet is geschematiseerd in Delft3D.

1.6 Producten

De producten die behoren bij deze rapportage zijn opgesomd in onderstaande tabel.

P1230071.008 Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal		Product
1	3D model met Delft3D van het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal (delft3d -nzk_ark-j15_5-v1 en delft3d-nzk_ark-j13_5-v1)	Model
2	SOBEK 3 model van het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal (sobek-nzk_ark-j15_5-v1)	Model
3	Rapportage over de activiteiten van de ontwikkelingen en de resultaten van kalibratie en validatie	Rapport & verificatie formulier
4	Protocol van Overdracht Baseline 5 – 3D model en SOBEK 3 schematisaties	PvO

P1230071.008 Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal		Product
5	Factsheet 3D model	Factsheet
6	Factsheet SOBEK 3 model	Factsheet
8	Standaardrandvoorwaarden SOBEK 3 model	Excelsheet
9	Standaardrandvoorwaarden 3D model	Excelsheet
10	Aangepaste Baseline schematisatie met Merwedekanaal opgenomen (baseline-nzk_ark-j15_5-v1)	

1.7 Projectteam

Aan dit project hebben verschillende personen bijgedragen.

Rijkswaterstaat:

- Yann Friocourt (Water Verkeer en Leefomgeving)
- Martin Scholten (Water Verkeer en Leefomgeving)
- Arjen Kikkert (West-Nederland-Noord)
- Wilbert Schilperoort (Midden-Nederland)

Deltares:

- Frans Buschman (deelprojectleider)
- Asako Fujisaki (SOBEK modelleur)
- Rudy Schueder (Delft3D modelleur)
- Theo van der Kaaij (adviseur)
- Ton Visser (Baseline)
- Aukje Spruyt (projectleider)

2 Systeembeschrijving

Het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal systeem is langgerekt. Het bestaat uit het Noordzeekanaal van 28 km, wat is verbonden bij het IJ met het 60 km lange Amsterdam Rijnkanaal. Het Noordzeekanaal is 170-270 m breed over grote gedeelten en is breder bij het sluiscomplex van IJmuiden, bij het IJ en bij verschillende grotere havens gelegen aan de westkant van Amsterdam. Het Amsterdam Rijnkanaal is 100-120 m breed en ongeveer 6 m diep. Sinds 2014 is de vernauwing aan de noordkant van het Amsterdam Rijnkanaal bij Zeeburg weggehaald. De diepte in de eerste 22 km van het Noordzeekanaal vanaf IJmuiden is ongeveer 15 m en vervolgens over 5 km 11 m.

Het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal systeem kan modelmatig worden beschouwd als een grote bak water omringd door sluisen. Er zijn geen open verbindingen met rivieren of de zee. In het Amsterdam-Rijnkanaal wordt oppervlaktewater gewonnen waar drinkwater van wordt gemaakt. Bij droogte wordt water aangevoerd via het Amsterdam-Rijnkanaal voor de regionale watersystemen (o.a. voor de landbouw). Dit zijn redenen dat de aanvoer van zoet water voldoende groot moet zijn.

In het kader van project “Systeemanalyse van de Rijn-Maasmonding voor verzilting” is in 2015 als factsheet een systeembeschrijving samengesteld voor het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal (Kranenburg et al., 2015). Deze systeembeschrijving was gericht op verzilting en beschrijft ook de hydrodynamica. De variaties op dagbasis, maandbasis en jaarbasis staan beschreven. Om deze reden is het grootste gedeelte van de factsheet overgenomen in bijlage A.

3 Baseline aanpassingen

3.1 Aanleiding voor aanpassing

In 2015 is de Baseline schematisatie uitgebreid en geactualiseerd op basis van een bestaande Baseline boom (Buschman et al. 2015). In 2016 is gebleken dat het Merwedekanaal en de Vaartsche Rijn ook onder beheer vallen van Rijkswaterstaat. Om deze reden is het geschematiseerde gebied uitgebreid met het Merwedekanaal ten noorden van de Lek en de Vaartsche Rijn.

Daarnaast bleken enkele aanpassingen nodig/nuttig aan het gedeelte dat in 2015 was geactualiseerd. De redenen hiervoor worden bij de aanpassing toegelicht.

De aanpassingen zijn doorgevoerd met Baseline versie 5.3.

3.2 Uitbreiding met het Merwedekanaal en Vaartsche Rijn

Op basis van het Digitaal Terrein Bestand (DTB) is de Baseline schematisatie uitgebreid met het Merwedekanaal en Vaartsche Rijn. Omdat er geen recente peilingen beschikbaar zijn gekomen, zijn er breuklijnen gelegd op -3,5 m+NAP gelegd. Deze bodemligging van het kanaal staat beschreven op Rijkswaterstaat.nl (geraadpleegd op 11 oktober 2016).

Het Merwedekanaal is direct sectie 1 gemaakt, zodat er met WAQ2PROF profielen afgeleid zouden kunnen worden. De stuwsluis combinatie aan de noordkant van het kanaal zijn geschematiseerd als alleen een stuw, aangezien de sluizen vrijwel nooit open gaan. Verder zijn er geen bijzonderheden te vermelden.

3.3 Aanpassing referentie 2010

De as van de kanalen in Baseline kwam niet overeen met de hoofdas in SOBEK. Er is voor gekozen de as in SOBEK te verbeteren, wat onder andere betekende dat het verloop in bochten gladder gemaakt is. Vervolgens is deze as in Baseline gekopieerd, zodat de Baseline as en SOBEK as nu identiek zijn.

Een andere aanpassing aan de Baseline schematisatie is dat namen van locaties van bronnen/putten zijn aangepast. Sommige namen bleken niet overeen te komen met de aangeleverde data, andere namen bleken niet consistent. Enkele aanpassingen zijn:

- bron/put met 'overdiempolder' in de naam kwam 4 keer voor. 'Overdiempolder inlaat1' en 'Overdiempolder inlaat2' zijn verwijderd
- 'Zuider- en Noordersluis DUT schu' is veranderd in 'Zuidersluis schut'
- Noorder-, midden, en zuidersluis stonden beschreven als 'uit'. Echter water gaat in en uit het model op deze locaties, dus is 'schutten' toegevoegd aan de namen 'uit' weggehaald.
- 'Inlaat polder het honderd oost 1' lag op het land. Deze bron/put is verwijderd.

Met WAQ2PROF zijn profielen gemaakt voor SOBEK. Dit kan alleen voor gebieden die tenminste deels als 'sectie 1' zijn geschematiseerd. De meeste havens zijn als 'sectie 3' (uiterwaarde) geschematiseerd. Omdat deze gebieden wel altijd onder water staan en soms ook meestromen, zijn deze gebieden gemarkeerd als 'sectie 1' in plaats van 'sectie 3'.

Waar nodig zijn protocolchecks en content checks uitgevoerd en zijn aanpassingen doorgevoerd totdat ze voldeden.

3.4 Schematisatie voor 2015

Zoals beschreven in Buschman et al. (2015) waren vier maatregelen behorende bij de referentie 2010 (baseline-nzk_ark-j10_5-v1) toegepast om de situatie van voor 2015 weer te geven (baseline-nzk_ark-j15_5-v1).

Deze vier maatregelen zijn onveranderd en worden hier nogmaals samengevat:

- 1 Met maatregel 'ar_zbhgt13_a1' wordt de bodemhoogte in een groot deel van het zomerbed van het Amsterdam-Rijnkanaal vervangen door peilingen van 2013.
- 2 Met maatregel 'ar_fvparc_a1' wordt het sluseiland verwijderd bij km 3 in het Amsterdam-Rijnkanaal.
- 3 Met maatregel 'ar_zbhgt15_a1' wordt de bodemhoogte voor grote delen van het zomerbed tussen km-raai 2 en 7 (rond het vroegere sluseiland) van het Amsterdam-Rijn kanaal vervangen door peilingen van zomer 2015.
- 4 Met maatregel 'nk_zbhgt13_a1' wordt de bodemhoogte in een groot deel van het zomerbed van het Amsterdam-Rijnkanaal vervangen door peilingen van juli 2015 tussen de Buitenhaven (IJmuiden) en km-raai 1 van het Amsterdam-Rijnkanaal.

4 SOBEK 3 modelopbouw

4.1 Modelsoftware

Het SOBEK 3 model voor het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal is opgezet met SOBEK versie 3.4.1. Ook is tijdelijk een speciale, niet uitgebrachte versie gebruikt om extra *geometry points* toe te voegen. Nadat deze extra *geometry points* waren opgeslagen, is vervolgens weer verder gewerkt in versie 3.4.1. In deze versie is een module voor sturing van kunstwerken (D-RTC) en een module voor de waterbeweging (D-FLOW1D) beschikbaar, die via het Deltashell GUI worden aangestuurd.

Voor de profielen is WAQ2PROF versie 4.25 gebruikt, waarbij de onderliggende WAQUA-berekeningen zijn uitgevoerd met de Simona2015 release.

4.2 Onderliggende modellen, schematisaties en versiegeschiedenis

Eerder was er geen SOBEK model opgenomen in de set van Rijkswaterstaat-modellen welke worden beheerd en onderhouden voor toepassingen voor het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal. De takkenstructuur van het LSM 1.3 is gebruikt als startpunt voor het SOBEK 3 model (Prinsen en Wesselius, 2015). In het LSM zelf is een schematisatie van Waternet opgenomen, welke het doel heeft de hydrodynamica en waterkwaliteit in het boezemsysteem van Waternet goed te beschrijven (Prinsen en Wesselius, 2015). Deze schematisatie was gemaakt voor SOBEK 2.12.

4.3 WAQUA-modellen en Baseline-schematisaties

De Baseline schematisatie die het jaar 2015 beschrijft (baseline-nzk_ark-j15_5-v1), is gebruikt voor het SOBEK 3 model. Locaties van lozingen en onttrekkingen zijn geprojecteerd op de SOBEK takken.

Er is een Waqua model opgezet op basis van het RGFGGRID rooster. Op dit rooster is de Baseline schematisatie van 2015 (baseline-nzk_ark-j15_5-v1) geprojecteerd. Dit Waqua model is gebruikt voor het maken van de SOBEK profielen. Het Waqua model is slechts een tijdelijk model, wat alleen is gebruikt voor de conversie naar SOBEK en zal niet worden beheerd en onderhouden.

4.4 Hydrodynamisch model

4.4.1 Numerieke instellingen

Het SOBEK 3 model is opgezet met gebruikmaking van standaardwaarden voor parameters, behalve voor de volgende parameter:

- $ladvec = 2$. Dit betekent dat een advection-schema wordt gebruikt waarbij moment- en energiebehoud gewogen gemiddeld wordt bij vernauwing en verbreding. Voor SOBEK 3 modellen voor RWS is deze keuze gemaakt, hoewel de default is dat $ladvec = 1$ (Berends, 2014).

De standaardafstand tussen rekenpunten is 500 m, net als voor andere SOBEK 3 modellen die in het modelinstrumentarium zijn opgenomen.

De maximale tijdstap is op 1 minuut ingesteld. Het wordt geadviseerd de maximale tijdstap niet groter te maken dan 1 minuut vanwege de korte perioden waarmee de sluizen bij IJmuiden afgewisseld open of dicht zijn.

De uitwisseling met de sluiskolk geeft achtereenvolgens positieve en negatieve debieten in het model. Omdat de duur van een periode met debieten van eenzelfde teken vooral bij de Zuidersluis kort kan zijn (orde 10 minuten) en deze duur onregelmatig is, wordt de fout door interpolatie groter voor een grotere tijdstap.

4.4.2 Netwerk en het rekenrooster

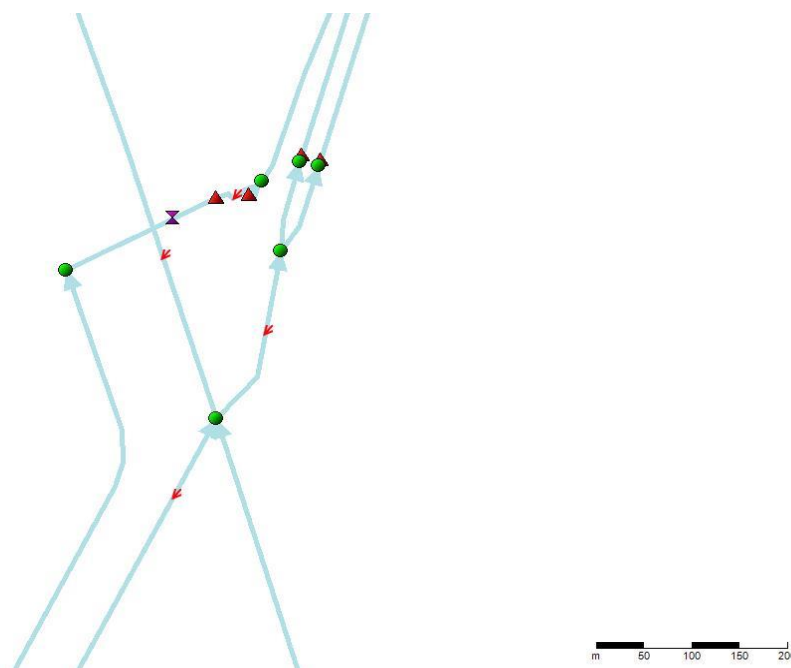
Startpunt voor de takkenstructuur was het LSM model (Figuur 3.1 uit Prinsen en Wesselius, 2015), waaruit het gedeelte met het gemodelleerde gebied is geknipt. De naamgeving van takken (*branches*) en knopen (*nodes*) is overgenomen uit het LSM model. De grens voor het model is bepaald op basis van kaarten waarop het beheergebied voor waterkwantiteit van Rijkswaterstaat is weergegeven (afkomstig van helpdeskwater.nl, geraadpleegd in mei 2016). Zoals beschreven bij de gebiedsafbakening (paragraaf 1.5) is als modeldomein het gebied tussen de grote sluizen gekozen.

Voor ontbrekende waterlopen zijn nieuwe takken gemaakt die de waterloop volgen. Als richtlijn is gehanteerd dat voor een waterloop langer dan 500 m een tak is gemaakt. In elk geval zijn takken met een lozing of onttrekking opgenomen, waarvan sommige een lengte hebben die de helft of zelfs minder dan 500 m is. Bij sluizen is voor iedere sluiskolk een tak gemaakt. Deze takken kunnen kort zijn, tot minimaal 10 m.

De richting van takken is aangepast, zodat stroming van zuid (Wijk bij Duurstede) naar noordwest (IJmuiden) positief is. De naam van nieuwe knopen en takken volgt qua nummering deze richting. De naam van knopen begint met 'WN_' (water node wordt bedoeld en niet Waternet). De naam van takken begint met de naam van de waterloop, dus bijvoorbeeld 'ARK_001'. De lengte van takken is afgerond op hele meters vanaf de werkelijke taklengte. De naam, lengte en omliggende knopen zijn weergegeven in bijlage B.

In bochten zijn verschillende takken die afkomstig zijn uit het LSM gladder gemaakt. Er zijn extra geometrie punten toegevoegd, waarmee de vorm is aangepast zodat deze beter de as van het kanaal volgt. Het bleek niet mogelijk het model te bewaren met deze extra geometriepunten in SOBEK 3.4.1. Om deze reden zijn deze bewaard in een speciale versie van SOBEK (met de verandering t.o.v. 3.4.1 dat het mogelijk was meerdere *geometry points* toe te voegen). Vervolgens konden deze gladdere takken in SOBEK 3.4.1 worden geladen en is die speciale versie van SOBEK niet meer gebruikt.

Bij de kruising van het Amsterdam-Rijnkanaal met het Merwedekanaal is het netwerk complex (Figuur 4.1). Bij de kruising komen de hoofdtakken samen. De zijtak van het Merwedekanaal aan de westkant is een open doodlopende tak. Vanaf het Noordergemaal aan de oostzijde van het kanaal (rode driehoeken stellen overlatingen voor, rode pijltjes puntlozingen en –onttrekkingen, en de paarse zandloper een duiker) wordt onder sommige omstandigheden water uit het Amsterdam-Rijnkanaal naar de doodlopende tak van het Merwedekanaal gepompt. Daarnaast zijn de oostkant van de kruising de Noordersluizen te zien, waarbij ieder van de twee sluiskolken is geschematiseerd als een tak.



Figuur 4.1 Takkenstructuur bij kruising van het Amsterdam-Rijnkanaal met het Merwedekanaal. De kruising ligt bij het onderste groene punt. De groene punten stellen een knoop voor.

Op de takken zijn (waterstands)rekenpunten geplaatst. Deze rekenpunten zijn automatisch geplaatst op het begin en eind van een tak, op 10 m van een kunstwerk en om de ongeveer 500 m op het tussenliggende gedeelte van de tak. Deze rekenpunten vormen samen het rekenrooster.

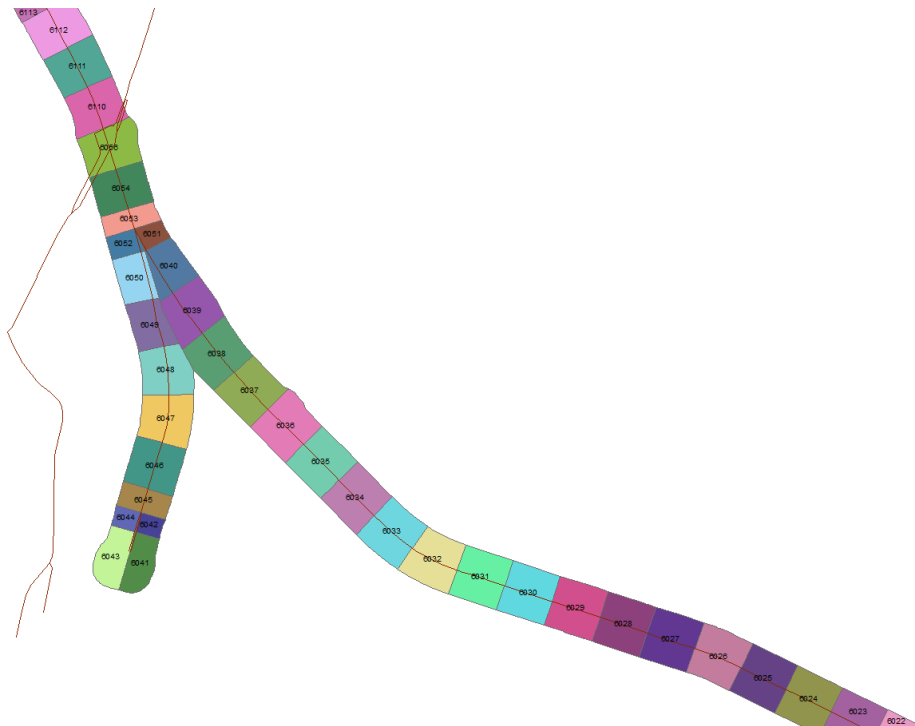
4.4.3 SOBEK-vakken

Een SOBEK-vak is een polygoon die een gebied afbakt, dat met een enkel SOBEK profiel wordt beschreven. Voor ieder waterstandsrekenpunt is een SOBEK-vak gemaakt, zodat met WAQ2PROF een profiel kon worden bepaald. Het Baseline gebied rondom het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal en aangesloten havens zijn opgedeeld in deze SOBEK-vakken. Om te voorkomen dat SOBEK-vakken volgende jaren aangepast moeten worden, zijn de vakken gemaakt voor een gebied waarvan de grenzen van het Baseline gebied 200 m naar buiten zijn geplaatst.

Voor het Merwedekanaal zijn geen SOBEK-vakken gemaakt. Een eerste reden hiervoor is dat het rooster niet meer zou voldoen aan de kwaliteitseisen voor orthogonaliteit, wanneer het Merwedekanaal zou worden toegevoegd doordat het Merwedekanaal smal is en de hoek met het Amsterdam-Rijnkanaal scherp is. Een tweede reden is dat gedurende het project bleek dat er geen dieptepeilingen voor dit kanaal beschikbaar zijn. Om deze redenen zijn de profielen handmatig bepaald in plaats van met WAQ2PROF. De breedte is bepaald op basis van Baseline gegevens en de bodemhoogte is over de hele breedte hetzelfde verondersteld.

De SOBEK-vakken zijn gemaakt uit een gebiedsdekkende polygoon, waarbij een buffer van 200 m is gehanteerd zodat bij uitbreiding van het Baseline gebied de vakken niet opnieuw gemaakt hoeven te worden. Deze polygoon is vervolgens opgedeeld in kleinere polygonen door het plaatsen van lijnen. Als eerste zijn lijnen dwars op de takken gegenereerd beginnend vanuit de afvoer-rekenpunten. De afvoer-rekenpunten liggen midden tussen de waterstandsrekenpunten en geven daarmee de grens aan tot waar een SOBEK-vak moet lopen.

Vervolgens zijn handmatig lijnen langs het kanaal gemaakt, op plaatsen waar meerdere takken parallel lopen. De lijnen dwars op de takken zijn aangepast, zodat ze elkaar niet kruisen. Voor deze handmatige aanpassingen is het hoogtemodel van Baseline leidend geweest. Als voorbeeld zijn de resulterende SOBEK-vakken voor een deel van het gebied getoond in Figuur 4.2.



Figuur 4.2 SOBEK-vakken voor het Lekkanaal en delen van het Amsterdam-Rijnkanaal. De SOBEK takken zijn te zien als bruine lijn (ook het Merwedekanaal).

De SOBEK-vakken zijn zoveel mogelijk als volledige vakken gemaakt. Bij splitsingen zijn halfvakken (met lengte van ongeveer 250 m) gemaakt, wanneer een grotere verandering van doorstroomprofiel werd verwacht, net als in Berends (2015). De SOBEK-vakken zijn genummerd met nummers tussen 6001 en 6500. Deze nummers zijn uniek en worden niet gebruikt voor andere SOBEK-vakken.

Nadat het omringende polygoon was opgedeeld in polygonen voor de SOBEK-vakken, is de lengte van zijtakken aangepast op de manier zoals getoond in Berends (2015). De lengte van een zijtak die binnen een SOBEK-vak van de hoofdtak valt is afgetrokken van de taklengte in SOBEK. Op deze manier is de lengte van zijtakken over het algemeen kleiner dan de *geometry length*, terwijl de lengte van takken die het Noordzeekanaal of Amsterdam-Rijnkanaal schematiseren gelijk is aan de *geometry length*. Tot slot zijn de lengtes van takken afgerond op hele meters.

4.4.4 Dwarsprofielen

Waar mogelijk zijn dwarsprofielen voor het Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal bepaald met WAQ2PROF met behulp van de gegenereerde SOBEK-vakken. Alleen voor de vakken Hiervoor is het vereist dat het gebied in elk geval deels geschematiseerd is als 'sectie 1' in Baseline. Zoals vermeld in paragraaf 3.3 zijn om deze reden enkele gebieden als 'sectie 1' gemarkeerd in plaats 'sectie 3' in Baseline.

Het tijdelijke Waqua model is gedraaid op een manier zodat het waterniveau uniform was over het domein. Dit is gerealiseerd door het model te vullen op 6 locaties van Wijk Bij Duurstede tot dichtbij IJmuiden met verschillende afvoertijdseries voor iedere locatie. Voor 75 waterstandsniveaus zijn resultaten bewaard. Het laagste waterstandsniveau is -6,0 m +NAP en het hoogste is 0,04 m +NAP.

De derde tot en met 75^e waterstandsniveaus zijn gebruikt om met WAQ2PROF voor ieder SOBEK-vak een profiel te genereren. Deze profielen zijn geïmporteerd in SOBEK en bij knopen in de takkenstructuur zijn de profielen waar nodig gekopieerd.

Voor enkele profielen zijn bijzonderheden te vermelden:

- Er kon geen profiel worden gegenereerd voor SOBEK-vak 6001 in de sluiskolk bij Wijk bij Duurstede. Dit profiel is gekopieerd van 6002, wat ook in de sluiskolk ligt.
- Bij SOBEK-vak 6125 (zijtak Amsterdam-Rijnkanaal noordelijk van station Utrecht centraal) is handmatig een profiel gegenereerd, omdat door het grove rooster geen water deze tak binnen kwam in het Waqua model.
- Voor SOBEK-vakken 6305 en 6306 was geen Waqua resultaat beschikbaar. Voor dit takje is handmatig een profiel gemaakt op basis van Baseline informatie.
- Voor SOBEK-vak 6313 werd ook geen profiel gemaakt door WAQ2Prof. Deze is gekopieerd van SOBEK-vak 6314.
- Voor SOBEK-vak 6244 werd geen compleet profiel gemaakt door WAQ2Prof. Deze is gekopieerd van SOBEK-vak 6243.
- Voor SOBEK-vak 6412 is een onrealistisch profiel gemaakt met WAQ2PROF. Dit is vervangen door een rechthoekig profiel op basis van Baseline informatie.

Profielen voor het Merwedekanaal zijn handmatig gemaakt. Een rechthoekig profiel is aangenomen. Bij afwezigheid van peilingen is aangenomen dat de bodem van het Merwedekanaal op -3,5 m+NAP ligt, wat de bodemhoogte is die het kanaal volgens Rijkswaterstaat zou moeten hebben om voldoende diep te zijn voor de scheepvaart. De breedte is bepaald op basis van informatie in Baseline.

4.4.5 Kunstwerken

Met kunstwerken wordt de waterstand in het gebied geregeld. Grotere kunstwerken bij Wijk bij Duurstede (Irenesluizen), bij Nieuwegein (Beatrixsluizen), bij Schellingwoude (Oranjesluizen en Prins Willem Alexandersluis) en bij IJmuiden (Noorder-, Midden- en Zuidersluis, spuisluis en gemaal) liggen aan de rand van het model. Deze grotere kunstwerken zijn niet opgenomen in het model. Via lateralen worden de lozingen en onttrekkingen op deze locaties geschematiseerd.

Het Merwedekanaal heeft een hoger streefpeil (+ 0,50 m+NAP) dan het Amsterdam-Rijnkanaal (-0.40 m+NAP) volgens wikipedia.nl (geraadpleegd op 10 oktober 2016). Met de Zuidersluis en Noordersluis en het Noordergemaal op de kruising met het Amsterdam-Rijnkanaal, en sluis Oog in Al waar het Merwedekanaal weer samenkomt met het Amsterdam-Rijnkanaal wordt gestuurd om het streefpeil in beide kanalen te realiseren.

Het is niet precies duidelijk geworden hoe deze sturing plaatsvindt. Op internet leken de dimensies en de sturing van deze kunstwerken niet volledig beschikbaar en Rijkswaterstaat heeft geen informatie over sturing van kunstwerken kunnen geven. In Prinsen en Wesselius (2015) staan deze kunstwerken niet genoemd. Wel zijn er in de schematisatie van het LSM dat als basis voor dit model kunstwerken opgenomen, maar meestal zonder sturing. Deze dimensies zijn gebruikt. Over de sturing van de kunstwerken is geen informatie beschikbaar.

Daarmee is de aanpak gekozen om de kunstwerken wel zo realistisch mogelijk op te nemen, maar ze voor deze eerste versie van het model niet te laten variëren (door sturing) om het peil in het model op de streefwaarden te krijgen. Hieronder volgt per kunstwerk hoe deze is geschematiseerd.

Sluis Oog in AI is opgenomen als *general structure*. De afmetingen zijn gebaseerd op LSM. De hoogte van de onderkant opening (*crest*) is -2,7 m+NAP. De hoogte van de opening is 1,4 m en de breedte is 6 m. Op deze manier is er dus door de opening een open verbinding tussen het noordelijke deel van het Merwedekanaal met het Amsterdam-Rijnkanaal. Er zal hierdoor niet een meters te lage of meters te hoge waterstand kunnen optreden in het Merwedekanaal. Het peil zal het peil in het Amsterdam-Rijnkanaal volgen. In feite onderschat het model de waterstand in het Merwedekanaal op deze manier met bijna een meter, doordat de sturing van de sluisen onbekend is.

De Noordersluis (Figuur 4.1) bestaat uit twee sluiskolken. De eerste sluiskolk is bij de sluisdeur dicht gezet door een *simple weir* met een crest level van 2 m (maaiVELDniveau) en een breedte van 7 m (wikipedia). De tweede sluiskolk is bij de sluisdeur dicht gezet door een *simple weir* met een crest level van 2 m (maaiVELDniveau) en een breedte van 12 m (wikipedia).

Het Noordergemaal (Figuur 4.1) is geschematiseerd als:

- (1) een door D-RTC gestuurde pomp (zie ook sectie 4.5). Deze pomp pompt water uit het Amsterdam-Rijnkanaal naar het Merwedekanaal met een capaciteit van 18 m³/s (Gemalen.nl, geraadpleegd in mei 2016).
 - (a) In werkelijkheid gaat dit water of naar het Merwedekanaal in noordelijke richting (vrij verval), of naar het zuidelijke Merwedekanaal onder het Amsterdam-Rijnkanaal door. Dit wordt gerealiseerd door twee *general structures*, die open of dicht gezet kunnen worden.
- (2) NoordergemaalB: *General structure* aan de noordkant van de pompinlaat met afmetingen opening: 94 m hoog startend op -3,5 m+NAP (geschatte bodemhoogte) en 20 m breed. Door de hoogte zal er nooit drowned flow optreden. Hier kan eventueel de 18 m³/s doorheen zonder dat de stroomsnelheid groter wordt dan 1 m/s.
- (3) NoordergemaalC: *General structure* aan de zuidkant van de pompinlaat met afmetingen opening: 94 m hoog startend op -3,5 m+NAP (geschatte bodemhoogte) en 20 m breed. Door deze hoogte zal er nooit verdrinken stroming optreden. Hier kan eventueel de 18 m³/s doorheen zonder dat de stroomsnelheid groter wordt dan 1 m/s.
 - (a) In werkelijkheid liggen er drie buizen onder het Amsterdam-Rijnkanaal door, welke het gepompte water naar het zuidelijke Merwedekanaal kunnen transporteren. De afmetingen van de buizen zijn onbekend en zijn geschat door NoordergemaalC en door het dwarsprofiel van deze speciale tak die onder het Amsterdam-Rijnkanaal doorloopt.

4.4.6 Laterale lozingen en onttrekkingen

Het gemodelleerde gebied kan gezien worden als een gebied waar lozingen en onttrekkingen de waterstandvariaties bepalen. Er is geen open verbinding, waardoor er is gekozen om geen open rand te gebruiken in het model. Het volume water dat op een moment aanwezig is in het model wordt bepaald door lozingen en onttrekkingen.

De grootste lozing van water op het gemodelleerde gebied is bij Wijk bij Duurstede. De grootste onttrekking vindt plaats bij IJmuiden, waarvan het spuien het grootste deel is. Er zijn open verbindingen tussen het gemodelleerde gebied met kleinere waterlopen, zoals de Amsterdamse grachten. Ook deze verbindingen zijn niet als open randen gemodelleerd, maar als lozingen en onttrekkingen. Voor deze lateralen heeft Rijkswaterstaat metingen aangeleverd.

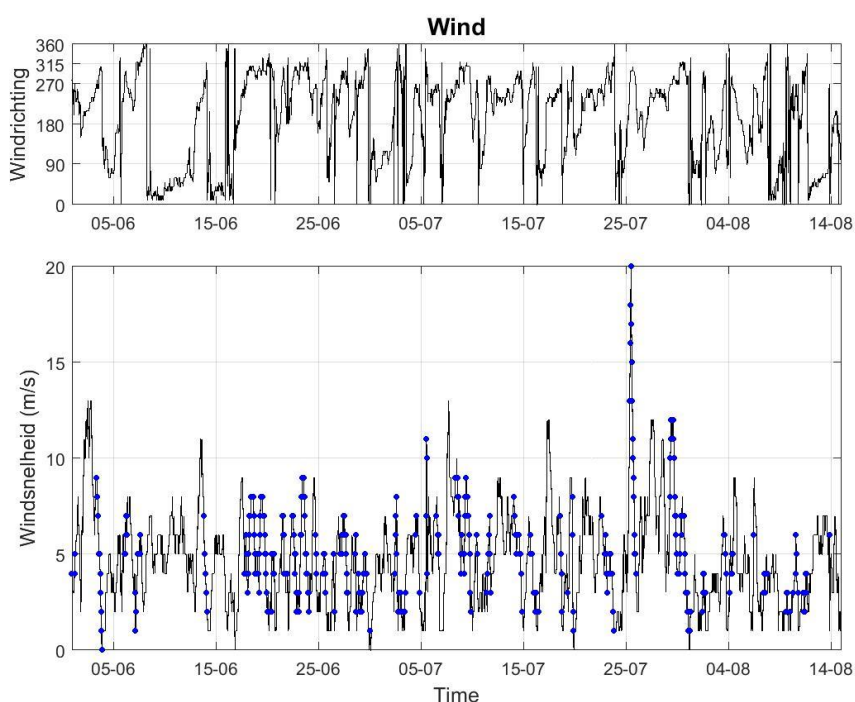
Omdat er geen open randen worden gebruikt in het model, leidt de optelsom van de lozingen en onttrekkingen tot veranderingen in waterstand. Net als in Arcadis (2014) zijn enkele minder betrouwbare lateralen (IJmuiden spuien en IJmuiden malen) gecorrigeerd om de waterbalans sluitend te maken. In hoofdstuk 5 wordt beschreven hoe de aangeleverde debieten zijn verwerkt tot lateralen voor het SOBEK 3 model.

4.4.7 Hydraulische ruwheden

Omdat er nauwelijks onderlopende gebieden (uiterwaarden) voorkomen in het modelgebied, is er geen aparte bodemruwheid geformuleerd voor uiterwaarden. Er wordt eenzelfde ruwheid gehanteerd voor uiterwaarden en de hoofdgeul. Een Manning ruwheid van $0,03 \text{ s/m}^{1/3}$ wordt gehanteerd, wat een algemeen gehanteerde waarde is voor kanalen.

4.4.8 Wind

Voor wind is de gemeten wind op Schiphol gebruikt (Figuur 4.3). Voor westelijke tot noordwestelijke wind wordt het meeste windopzet gegenereerd. Aangezien de wind afneemt met de afstand tot de kust is een *windshielding* factor gehanteerd op een vergelijkbare manier als voor de Rijn- en Maasmonding. Westelijk van Amsterdam is de *windshielding* factor 1 (volle wind). Vervolgens is de *windshielding* factor 0,75 van Amsterdam en tot en met Breukelen. Vanaf Breukelen tot aan de zuidrand is aangenomen dat de windsnelheid half zo groot is als op Schiphol.



Figuur 4.3 Tijdsree voor wind die is opgelegd op het model. Blauwe stippen voor de windsnelheid geven aan wanneer de richting tussen west en noordwest.

4.4.9 Saliniteit en temperatuur

Parallel aan het opzetten van dit SOBEK model loopt er een onderzoek hoe zoutverspreiding het beste gemodelleerd kan worden in SOBEK. Hoewel het daarbij vooral om estuaria met getij gaat, kunnen uit dit onderzoek ook aanbevelingen naar voren komen voor modellering van zoutverspreiding vanuit sluizen. Bovendien mist voor meerdere lateralen informatie over zoutgehalte en temperatuur, zoals voor de polders van Mijdrecht. Om deze redenen is zoutverspreiding niet gemodelleerd met het huidige model.

De functionaliteit voor temperatuur komt beschikbaar, nadat dit model is opgezet. Om deze reden is temperatuur nog niet meegenomen in dit SOBEK 3 model. Voor zowel zoutgehalte als temperatuur zijn deze gegevens wel opgeslagen bij de laterale debieten, wanneer ze beschikbaar waren. Daarmee kunnen in de toekomst relatief eenvoudig berekeningen met zoutgehalte en temperatuur worden uitgevoerd.

4.5 Realtime-Control model

Er wordt een D-RTC sturing toegepast binnen het SOBEK 3 model bij het Noordergemaal. Het Noordergemaal wordt aangestuurd met een niet nader gespecificeerde *condition*. Deze staat nu altijd uit, aangezien niet bekend is wanneer er wordt gepompt en hoeveel door dit gemaal. Als de *condition* waar is, wordt er gepompt uit het Amsterdam-Rijnkanaal (zie pijltje in Figuur 4.1). Door een *inverter* wordt dit gepompte water geloosd op de locatie in het Merwedekanaal (zie pijltje in Figuur 4.1).

De richting waarin het opgepompte water opstroomt wordt niet aangestuurd in D-RTC, maar moet in het huidige model worden opgelegd door de opening van general structures NoordergemaalB en NoordergemaalC te laten variëren. Wanneer de gegevens over de sturing bekend worden, kunnen deze ingevoerd worden in het opgezette RTC model.

5 Lateralen in 2015 voor SOBEK 3 en Delft3D

5.1 Aangeleverde gegevens

Rijkswaterstaat West-Nederland Noord en de dataservicedesk hebben gegevens aangeleverd aan Deltares. Rijkswaterstaat WNN heeft gegevens doorgestuurd die Waternet ook van omliggende waterschappen heeft verzameld. Deze gegevens zijn lozingen en onttrekkingen in het gebied dat afwatert op het Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal. Aangezien sommige locaties liggen aan regionale wateren die niet in het gemodelleerde gebied liggen, is slechts een deel van de aangeleverde gegevens gebruikt.

In de aangeleverde data via Waternet wordt onderscheid gemaakt tussen lozingen/onttrekkingen in het zuidelijk deel van het RWS gebied, in het noordelijk deel van het RWS gebied en in het gebied van Waternet. Er zijn geen gegevens voor Schellingwoude beschikbaar gesteld voor 2015. Zelfs in de dagrapporten van IJmuiden stonden geen waarden genoemd voor Schellingwoude. Voor deze locatie is de laterale afvoer 0 verondersteld voor 2015. Gegevens van Rijnland zijn later aangeleverd door WNN, evenals de dagrapporten van IJmuiden (welke onzeker werden genoemd). Daarnaast zijn gegevens van de zuidrand opgevraagd bij de dataservicedesk van Rijkswaterstaat. De herkomst van gegevens is weergegeven in bijlage C.

Naast aanvoer via lateralen verdampt er in werkelijkheid ook water uit de kanalen en valt er direct regen op de kanalen. Aangenomen is dat de neerslag in het gemodelleerde gebied gelijk is aan de verdamping. Gezien het beperkte oppervlak van de kanalen in verhouding tot het stroomgebied dat afwatert via deze kanalen, is de verwachting dat er geen grote fout wordt gemaakt.

5.2 Gegevens verwerken tot lateralen

Nadat alle gegevens waren verzameld en een simulatieperiode (1 juni – 15 augustus 2015) was geselecteerd binnen 2015, zijn voor alle lateralen afvoertijdseries gemaakt met als eenheid m^3/s . Hiervoor is voor alle bron/put locaties in Baseline gezocht naar die locatie in de aangeleverde gegevens. Indien nodig is ook op delen van de naam gezocht. Daarmee is het dus mogelijk dat een andere naam dan de Baseline naam wordt gebruikt in de aangeleverde data, waarmee deze lateraal onterecht niet wordt meegenomen in het model. In bijlage C is per Baseline naam weergegeven of deze is gevonden of niet (NA). Als die naam is gevonden, staat ook vermeld in welke databron. Er zijn in totaal voor 170 locaties laterale afvoeren gevonden. Daarvan was de afvoer tijdens de simulatieperiode van 2015 op 50 locaties verschillend van constant $0 \text{ m}^3/\text{s}$.

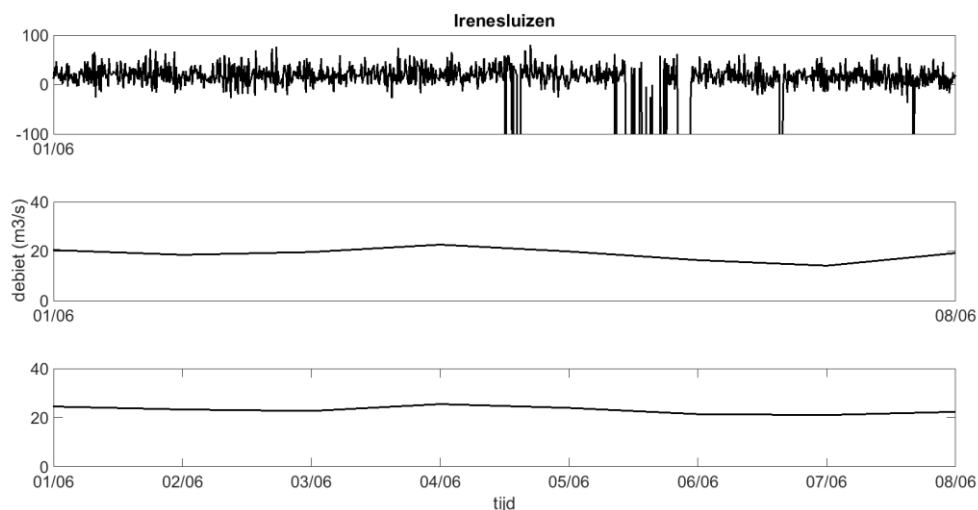
Voor iedere locatie is de aangeleverde tijdserie verwerkt tot een tijdserie met tijdstap van een minuut met eenheden van m^3/s . Ook is bepaald of de richting van de aangeleverde gegevens overeen komt met de verwachting. Lozingen op het model zijn positieve en onttrekkingen uit het model zijn negatieve getallen in de modelinvoer. Voor enkele lozingen van Rijnland (Halfweg en Spaarndam) was het nodig het teken te veranderen ten opzichte van de aangeleverde gegevens, net als voor het spuien en malen bij IJmuiden. Op deze manier is een set lozingen/onttrekkingen verkregen, welke een juist teken hebben vanuit het model gezien.

5.3 Aanpassingen specifiek per lozing/onttrekking

5.3.1 Irenesluizen, Beatrix sluisen en de Doorslag

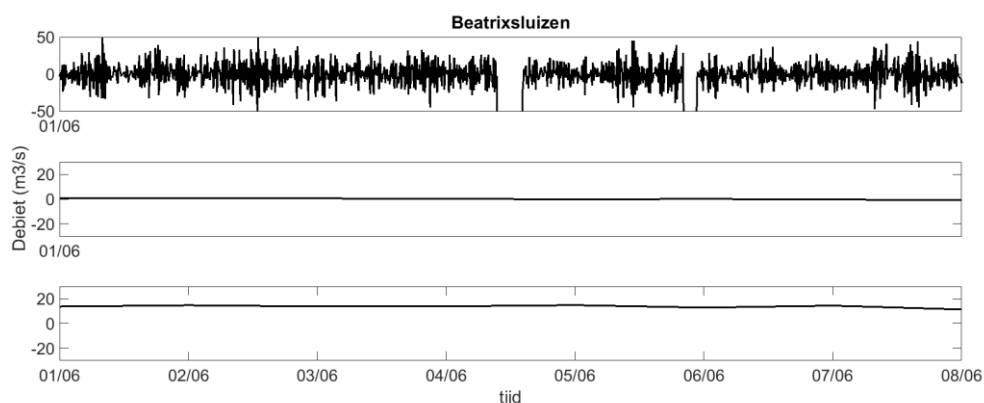
Voor twee van de drie lozingen aan de zuidkant van het gemodelleerde gebied zijn specifieke aanpassingen doorgevoerd om een betrouwbaarder tijdserie van afvoeren te krijgen.

Bij de afvoeren bij de Irenesluizen (Wijk bij Duurstede) was het opvallend dat deze een grote variatie vertoonden en binnen een dag van teken wisselden (Figuur 5.1). Bij navraag bij de servicedesk data bleek het hier om ongevalideerde data te gaan en werd gezegd dat de data vaak wordt gemiddeld over een dag. Omdat dit een lozing op de rand van het model is en omdat het doel van het model vooral is over meerdere dagen (en niet binnen een dag) goede resultaten te geven, is de dagmiddeling toegepast (middelste plot van Figuur 5.1). Mogelijk zou het beter zijn om eerst de negatieve waarden te verwijderen alvorens te middelen over een dag (onderste plot van Figuur 5.1), maar dat is niet gedaan omdat tijdelijk negatieve waarden mogelijk voor zouden kunnen komen.



Figuur 5.1 Voor de eerste week van de simulatieperiode aangeleverde ruwe afvoerdata (boven), gebruikte tijdserie in model op basis van dagmiddeling (midden) en een tweede mogelijkheid waarbij negatieve afvoeren worden verwijderd voordat het daggemiddelde is bepaald (onder)

Om dezelfde reden is ook de afvoer bij de Beatrixsluisen (Nieuwegein) daggemiddeld. Het verschil tussen directe dagmiddeling of middeling na het weghalen van negatieve debieten is aanzienlijk voor deze locatie (Figuur 5.2). De daggemiddelde afvoer (middelste plot van Figuur 5.2) is opgelegd bij de Beatrixsluisen, terwijl die feitelijk wordt gemeten aan de noordkant van het Lekkanaal.



Figuur 5.2 Voor de eerste week van de simulatieperiode aangeleverde ruwe afvoerdata (boven), gebruikte tijdserie in model op basis van dagmiddeling (midden) en een tweede mogelijkheid waarbij negatieve afvoeren worden verwijderd voordat het daggemiddelde is bepaald (onder)

De afvoer bij De Doorslag ligt in het Merwedekanaal en wordt daarmee alleen in het SOBEK model en niet in het Delft3D model gebruikt. De afvoer bij de Doorslag is afkomstig uit de Hollandsche IJssel, waar duidelijk een getijsignaal aanwezig is. De geleverde afvoerserie vertoont inderdaad een getijvariatie. Om deze reden zijn deze aangeleverde gegevens niet daggemiddeld. De wisseling van teken die dagelijks of tweemaal daags optreedt kan verklaard worden uit de invloed van het getij. Voor deze aangeleverde gegevens is geoordeeld dat het niet nodig was deze te middelen over een dag, voordat de afvoer-tijdserie als lozing/onttrekking worden gebruikt.

5.3.2 Spuien en malen bij IJmuiden

Het resultaat van het optellen van de lateralen tussen 1 juni en 15 augustus 2015 is dat de waterstand in het gemodelleerde gebied zou dalen met ongeveer 14 m, als het hele gebied zo diep zou zijn. Het is bekend dat de metingen van het spuien en malen bij IJmuiden een overschatting geven van het debiet wat wordt onttrokken bij het spuien en malen, wat de daling van de waterstand kwalitatief kan verklaren. Om de waterbalans sluitend te krijgen is een correctie uitgevoerd op de twee onttrekkingen bij IJmuiden.

Arcadis (2014) heeft een correctie op het spuidebiet en op het debiet bij Maarssen toegepast voor de periode in 2013. Voor de simulatieperiode in 2015 is alleen een correctie toegepast op het spuien en malen bij IJmuiden. De correctiefactor is voor IJmuiden Spui hetzelfde voor SOBEK als voor Delft3D. Voor beide is de aangeleverde data vermenigvuldigd met 0,5815. Voor IJmuiden-binnen zijn verschillende factoren gebruikt, omdat het dekkingsgebied van Delft3D kleiner is (zonder Merwedekanaal) dan het SOBEK model.

Voor SOBEK levert voor de periode van 1 juni – 15 augustus 2015 van 0,3387 voor IJmuiden binnen (het malen) vrijwel de waterstand op die aan het eind van de simulatieperiode is gemeten. Voor Delft3D is de correctiefactor 0,2907 voor IJmuiden-binnen. Er is een verschil voor deze modellen, omdat het Merwedekanaal wel in het SOBEK 3 model is opgenomen en niet in het Delft3D model.

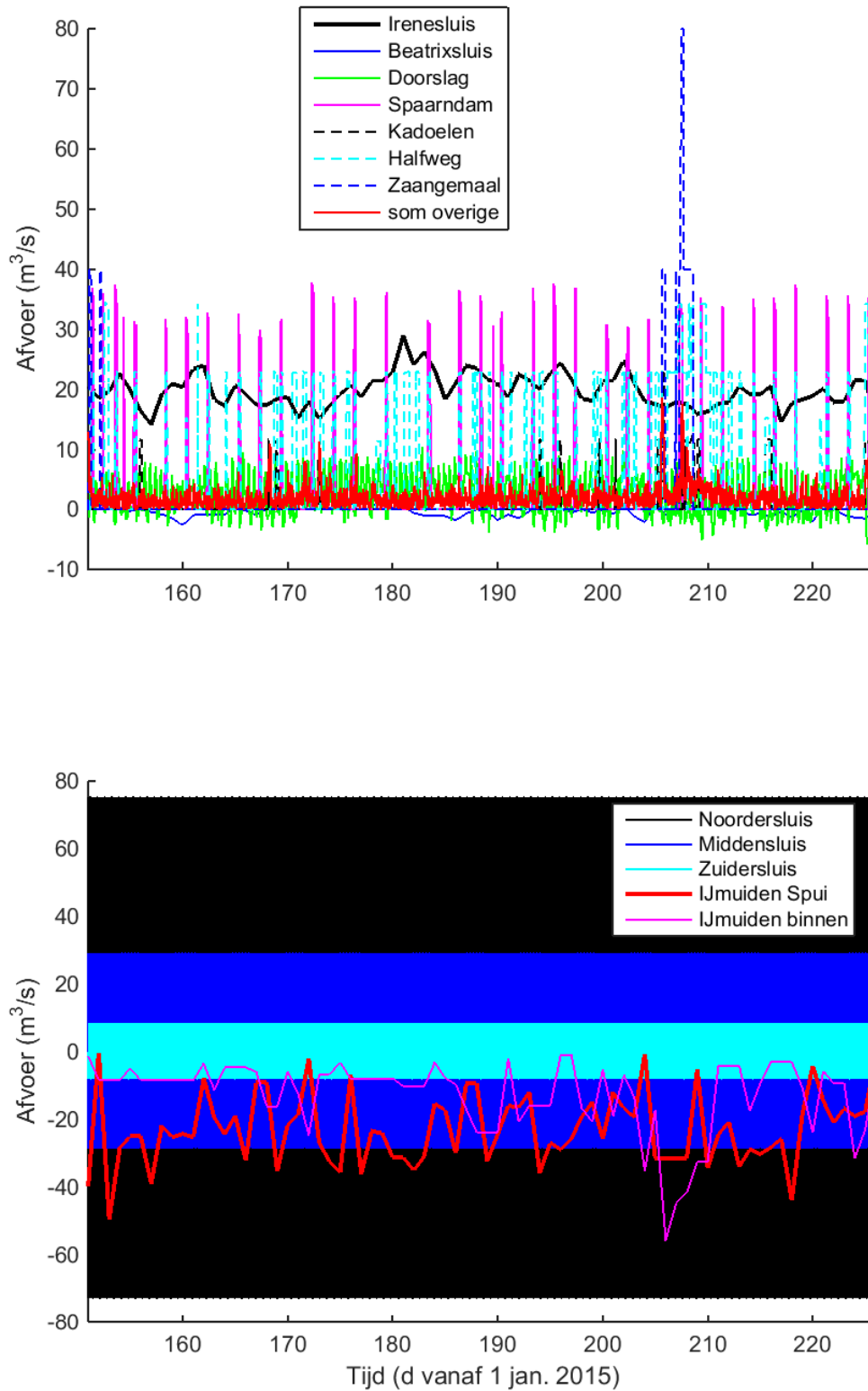
Een correctiefactor in de orde van 0,3 geeft aan dat de lozingen met 70% gereduceerd zijn om een met metingen overeenkomstige waterbalans te verkrijgen. Dit impliceert dat er erg grote onnauwkeurigheden in de afvoeren zitten. Op voorhand is hiermee eigenlijk al duidelijk dat de SOBEK 3 en Delft3D modellen met deze afvoeren geen goede overeenkomst met metingen zullen hebben.

Deze correctiefactoren zijn laag in vergelijking met eerder gevonden sluitfouten. Over verschillende jaren is de sluitfout 15-20 % geweest (bijlage A), wat zou suggereren dat correctiefactoren van ongeveer 0,8 voor IJmuiden Spui en IJmuiden-binnen gehanteerd zouden moeten worden. De lage gevonden correctiefactor voor 2015 kan niet alleen verklaard worden door het ontbreken van Schellingwoude.

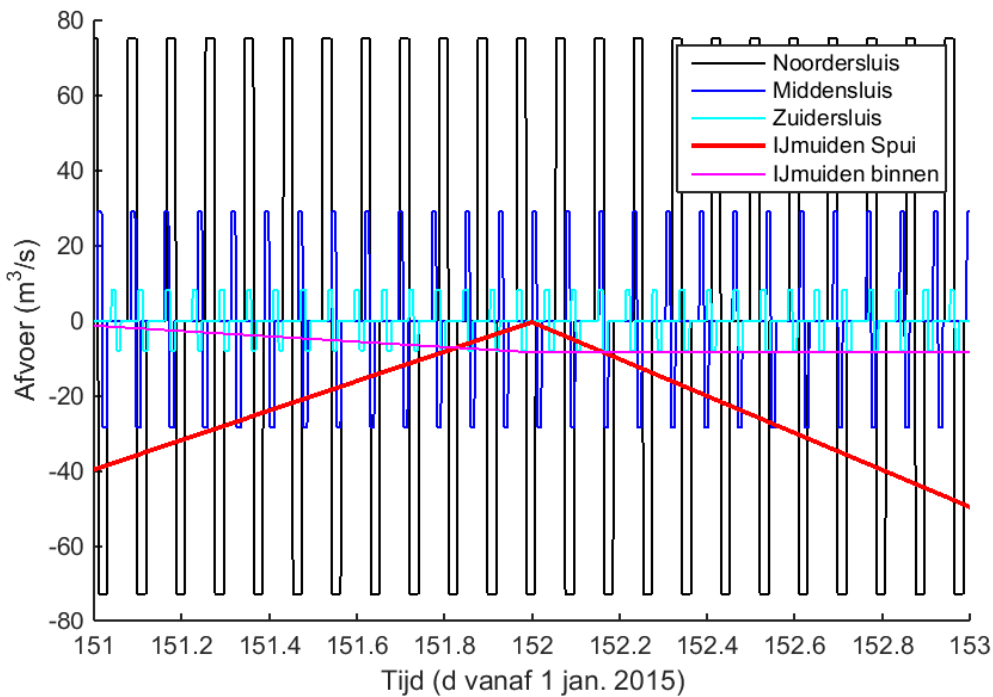
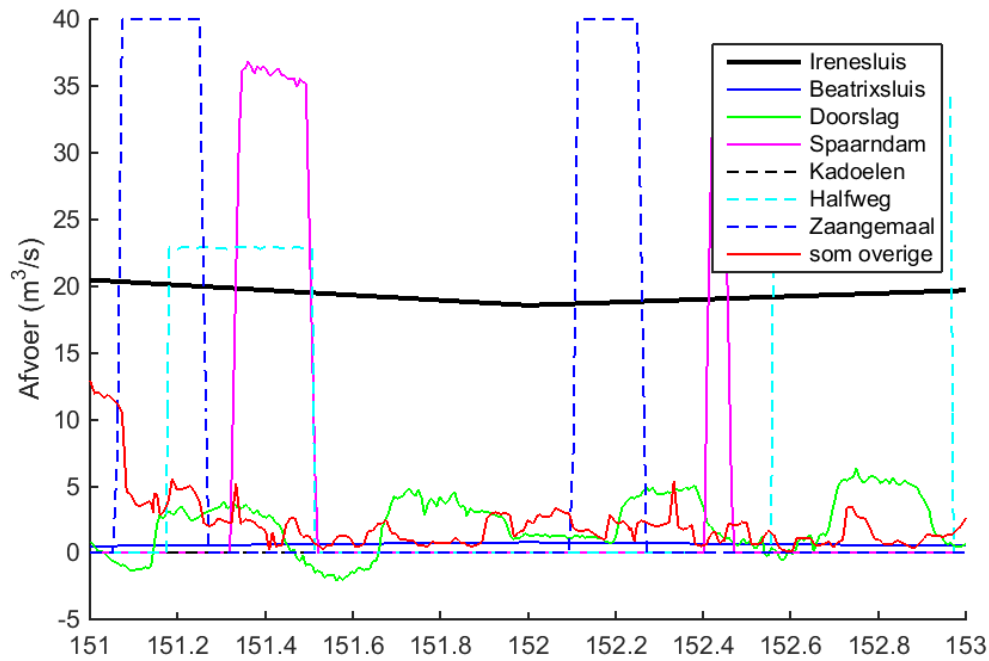
5.4 De resulterende lateralen

De belangrijkste lateralen zijn getoond in Figuur 5.3 voor de hele periode en in Figuur 5.4 voor de eerste twee dagen, zodat de blokfuncties van de sluisen bij IJmuiden goed zijn te onderscheiden.

Bij deze belangrijkste lateralen valt het op dat gemalen gedurende perioden een hoge afvoer hebben (Kadoelen, Halfweg, Spaarndam en Zaangemaal). Ook is in Figuur 5.4 te zien dat gegevens van IJmuiden spui en IJmuiden malen per dag zijn aangeleverd. De variatie per dag is dus niet bekend voor deze bepalende lateralen. Daarmee kan met deze lateralen alleen uitspraak worden gedaan op tijdschalen van een dag of groter.



Figuur 5.3 Grootste lozingen en onttrekkingen op het watersysteem gedurende de simulatieperiode bij de Lek en instromend van de zijkant (boven) en bij IJmuiden (onder) met correcties zoals gehanteerd voor SOBEK

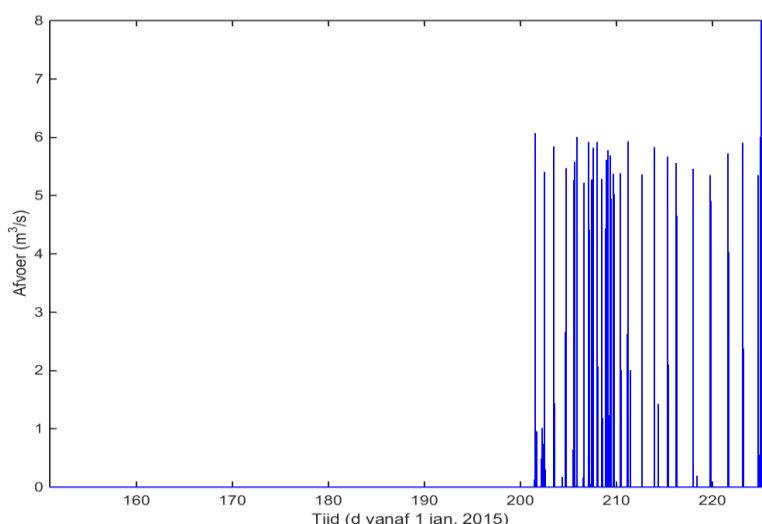


Figuur 5.4 Grootste lozingen en onttrekkingen op het watersysteem over de eerste 2 dagen van de simulatieperiode bij de Lek en instromend van de zijkant (boven) en bij IJmuiden met correcties zoals gehanteerd voor SOBEK (onder).

5.4.1 Verschillen tussen SOBEK en Delft3D

Voor de duidelijkheid worden de verschillen in lateralen zoals gebruikt in Delft3D en in SOBEK puntsgewijs opgesomd:

- De correctiefactor bij IJmuiden-binnen verschilt,
- De locatie Doorslag is alleen gebruikt in SOBEK. Deze lozing en onttrekking vindt direct op het Merwedekanaal plaats en valt buiten het modeldomein van Delft3D.
- In SOBEK is gemaal Westraven niet opgenomen, aangezien dit als kunstwerk met een aangestuurde pomp is opgenomen in het model. In Delft3D is gemaal Westraven niet geschematiseerd als kunstwerk. Figuur 5.5 toont het verloop van de lozing vanuit gemaal Westraven die wordt gehanteerd in Delft3D.
- In Delft3D wordt voor alle stations lineair geïnterpoleerd tussen meetwaarden. In SOBEK ook, behalve voor de sluisen bij IJmuiden. Voor de tijdseries waarbij de sluis zich vult met maximale onttrekking en een volgend moment juist leegt met een maximale lozing (blokfunctie) wordt constant geïnterpoleerd in de tijd van het model. In Delft3D is de fout die wordt gemaakt door lineair te interpoleren klein door de kleine tijdstap.



Figuur 5.5 De afvoer bij gemaal Westraven tijdens de simulatieperiode

5.5 Mogelijke verbeteringen

De huidige set lateralen is met zorg samengesteld uit de aangeleverde gegevens. Het aantal lateralen komt ongeveer overeen met de set die is samengesteld door Arcadis (2014). Het grootste verschil tussen de sets is dat Arcadis gegevens over koelwaterlozingen beschikbaar had, welke voor de set van 2015 niet beschikbaar zijn gesteld.

Bij het samenstellen van de set lateralen kunnen op een aantal manieren fouten ontstaan in de afvoertijdseries. Het is mogelijk dat lateralen die uitstromen op het gemodelleerde gebied niet zijn gemeten (zoals Schellingwoude) en daarmee niet zijn aangeleverd. Ook kan uit de aangeleverde gegevens een lozing onterecht zijn toegekend aan een bron/put locatie in het model. Een andere mogelijkheid is dat de naam in de aangeleverde gegevens verschilde van de bron/put locatie en dat deze daardoor juist niet is opgenomen. Tot slot zijn er mogelijk fouten aanwezig in de opgenomen lateralen, zoals voor IJmuiden-spuï en IJmuiden-binnen, waar Rijkswaterstaat heeft aangegeven dat deze metingen onzeker zijn.

Wat betreft lozingen of onttrekkingen die niet zijn aangeleverd, zijn de volgende verbeteringen aan de set laterale afvoeren voor 2015 mogelijk:

- De Amstel stroomt via de grachten van Amsterdam uit in het Noordzeekanaal. Omdat er geen gegevens beschikbaar zijn gesteld van de afvoer op de Amstel, zijn de laterale afvoeren op de grachten op 0 m³/s gezet. In werkelijkheid stroomt jaargemiddeld ongeveer 8 m³/s uit op het Noordzeekanaal. Deze waterhoeveelheid heeft ook invloed op het zoutgehalte, omdat de Amstel zoute kwel uit o.a. de polder Groot-mijdrecht afvoert.
- De Vecht bij Nigtevecht heeft nu een afvoer van 0 m³/s, omdat er geen metingen beschikbaar zijn gesteld. In werkelijkheid wordt hier ongeveer 70 % van de afvoer van de Vecht geloosd op het Amsterdam-Rijnkanaal. Daarmee wordt er op deze locatie een substantiële fout gemaakt.
- Er wordt in het model geen water geloosd of onttrokken bij de zuidrand van het Merwedekanaal (bij Vreeswijk). Mogelijk is dit in werkelijkheid anders.

Daarnaast zijn temperatuur en zoutgehalte waar beschikbaar opgenomen in de set lateralen. Hoewel de set van afvoeren vergelijkbaar is als voor de set van Arcadis, ontbreken in de set van 2015 op meer locaties zoutgehalte en temperatuur dan in de set van 2013.

6 Gevoeligheidsanalyses SOBEK 3 model

6.1 Inleiding

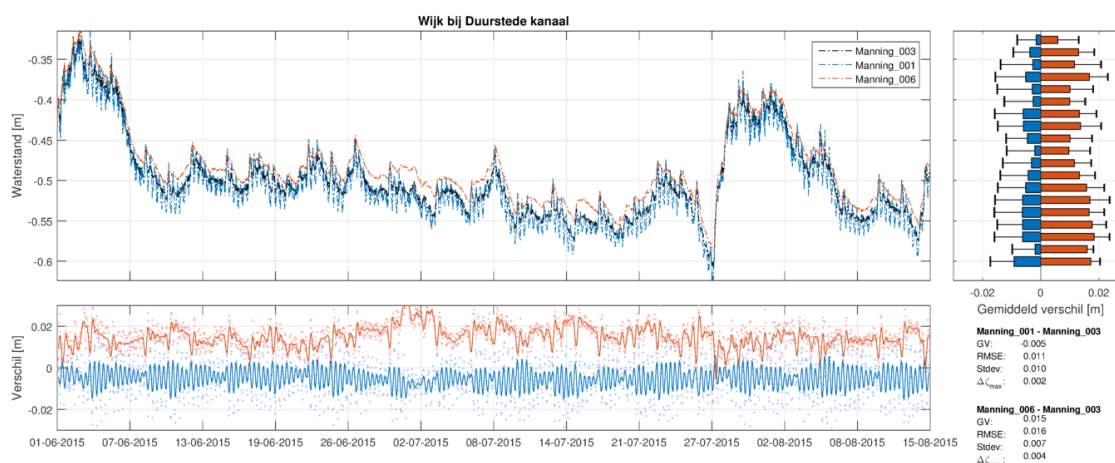
Gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd om te kunnen bepalen wat het effect is van keuzen die gemaakt zijn bij de modelopzet over ruwheid en *windshielding*. Het doel van de gevoeligheidsanalyses is aantonen dat kalibratie op deze parameters voor dit zwak-dynamische systeem niet nodig is.

Deze gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd met een op details verschillend model van het uiteindelijke model. Lateraal de Doorslag is later nog toegevoegd en gemaal Westraven is later verwijderd. De conclusie die getrokken kan worden uit de gevoeligheidsanalyses is zeer waarschijnlijk dezelfde als wanneer de gevoeligheidsanalyses waren uitgevoerd met het uiteindelijke model.

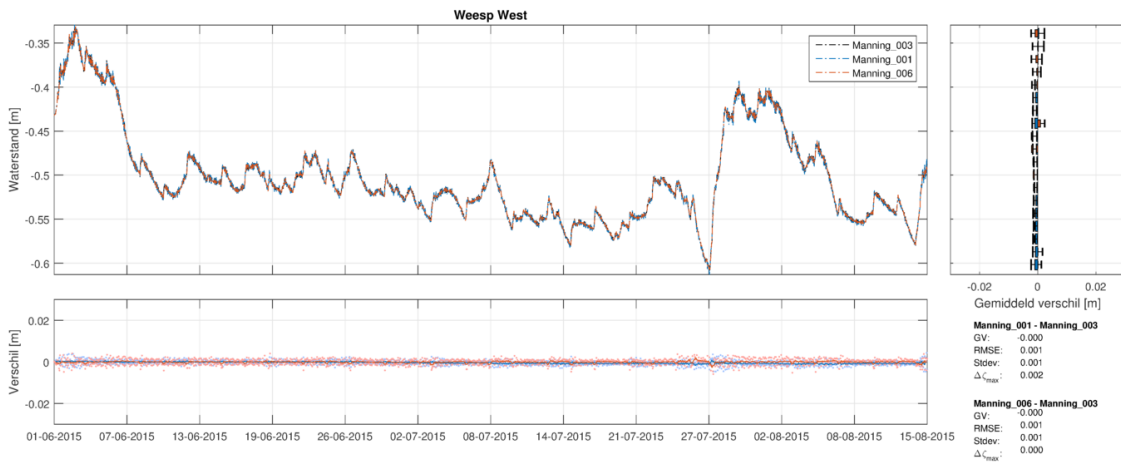
De periode die voor de gevoeligheidsanalyses is gebruikt loopt van 1 juni tot 15 augustus 2015. De modelresultaten zijn vergeleken met metingen bij enkele stations van waterstand en debiet.

6.2 Ruwheid

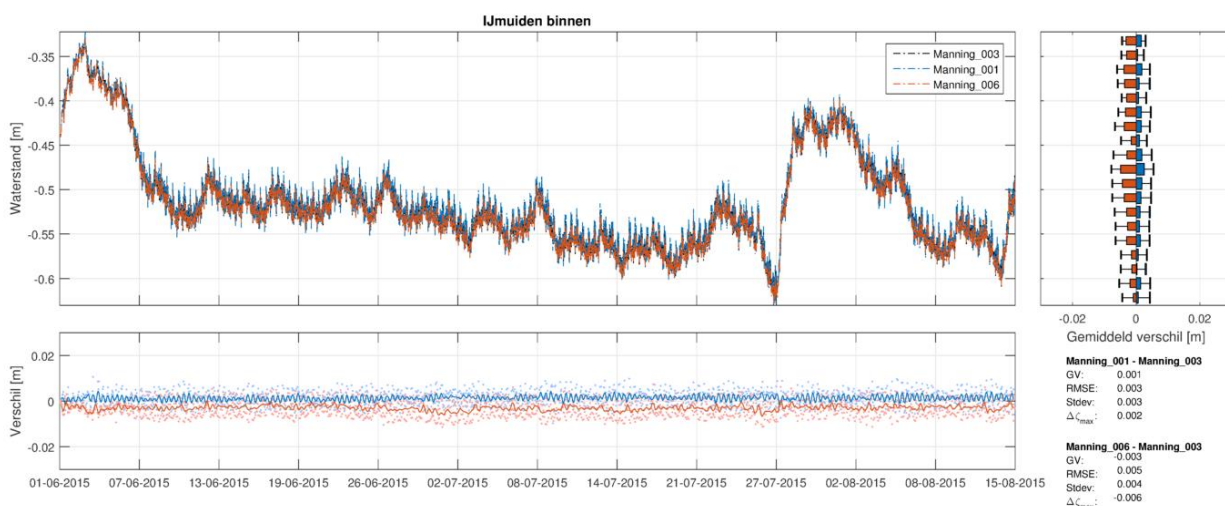
De hydraulische ruwheid is gevarieerd om de gevoeligheid van het model hiervoor te analyseren (Figuur 6.1, Figuur 6.2 en Figuur 6.3). Bij een duidelijk lagere ruwheid (Manning 0,01 $\text{s/m}^{1/3}$) neemt de waterstand bij Wijk bij Duurstede met maximaal 1,5 cm af. Bij een duidelijk hogere ruwheid (Manning 0,06 $\text{s/m}^{1/3}$) neemt de waterstand maximaal 2,5 cm toe. Hoewel deze Manning waarden buiten het normale bereik liggen voor kanalen, verandert de waterstand toch maar weinig. Bij de andere stations is het verschil kleiner. Daarmee kan gesteld worden dat er geen grote fout in waterstand zal optreden door de keuze van de ruwheidswaarde van 0,03 $\text{s/m}^{1/3}$ die past bij een kanaal.



Figuur 6.1 Gevoeligheidsanalyse van verschil in hydraulische ruwheid



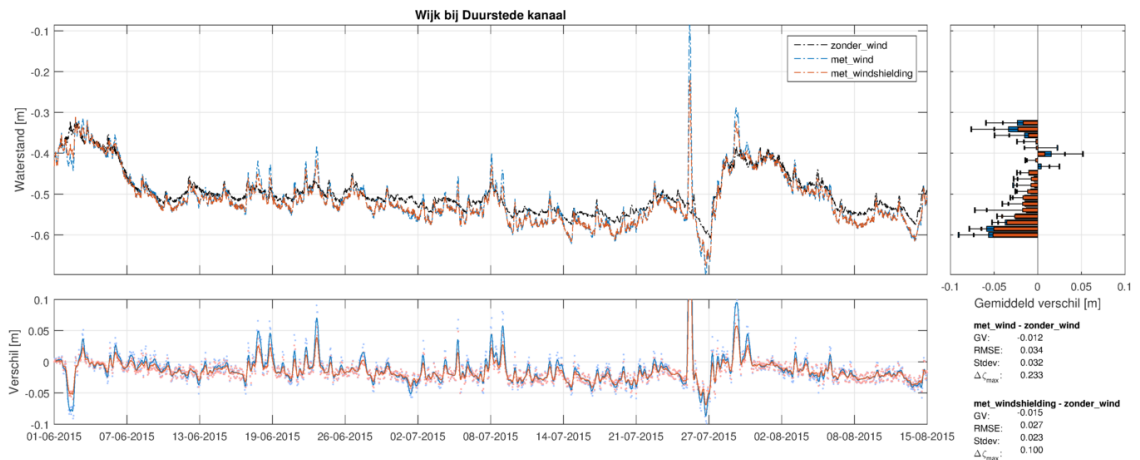
Figuur 6.2 Gevoeligheidsanalyse van verschil in hydraulische ruwheid



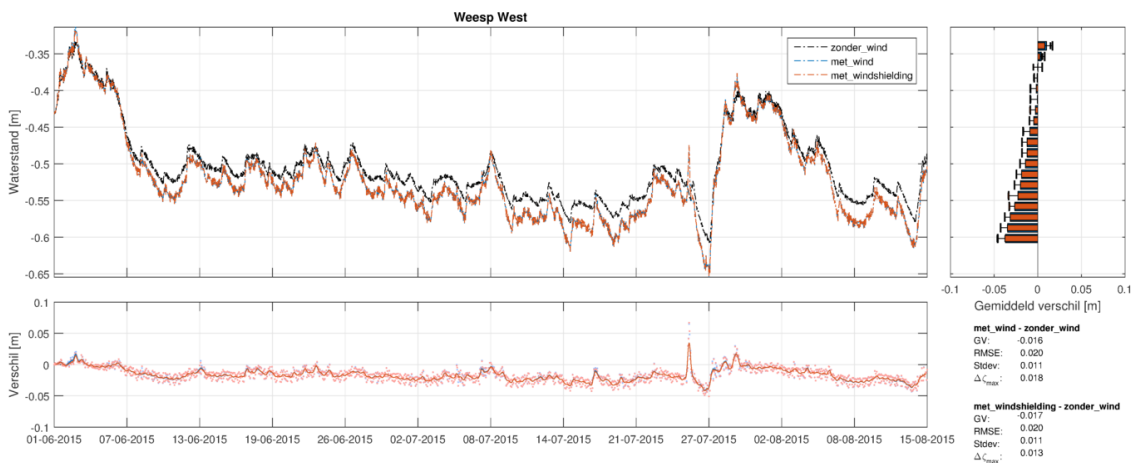
Figuur 6.3 Gevoeligheidsanalyse van verschil in hydraulische ruwheid

6.3 Windshielding factor

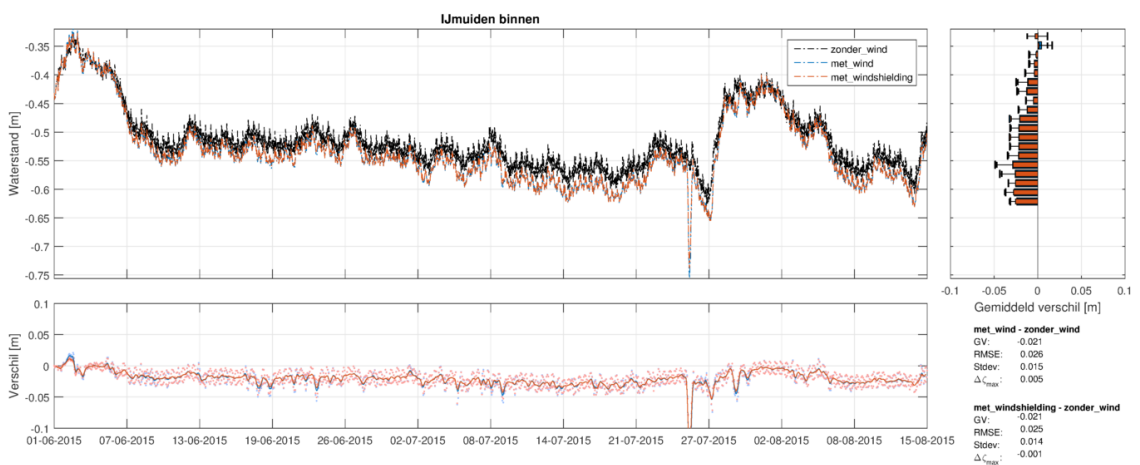
De windshielding is gevarieerd om de gevoeligheid van het model hiervoor te analyseren (Figuur 6.4, Figuur 6.5 en Figuur 6.6). Bij afwezigheid van wind is de waterstand bij Wijk bij Duurstede vaak wat lager. Er zijn verschillen waar te nemen tussen volledige wind en met windshielding. Bij de andere twee locaties (waar windshielding kleiner is) is er nauwelijks verschil tussen volledige wind of met windshielding. Gezien de consistentie met het nabij gelegen SOBEK 3 RMM model lijkt het goed ook voor het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal de Schiphol wind met *windshielding* afhankelijk van afstand tot de kust te gebruiken.



Figuur 6.4 Gevoeligheidsanalyse van verschil in windshielding.



Figuur 6.5 Gevoeligheidsanalyse van verschil in windshielding.



Figuur 6.6 Gevoeligheidsanalyse van verschil in windshielding.

6.4 Discussie en conclusie

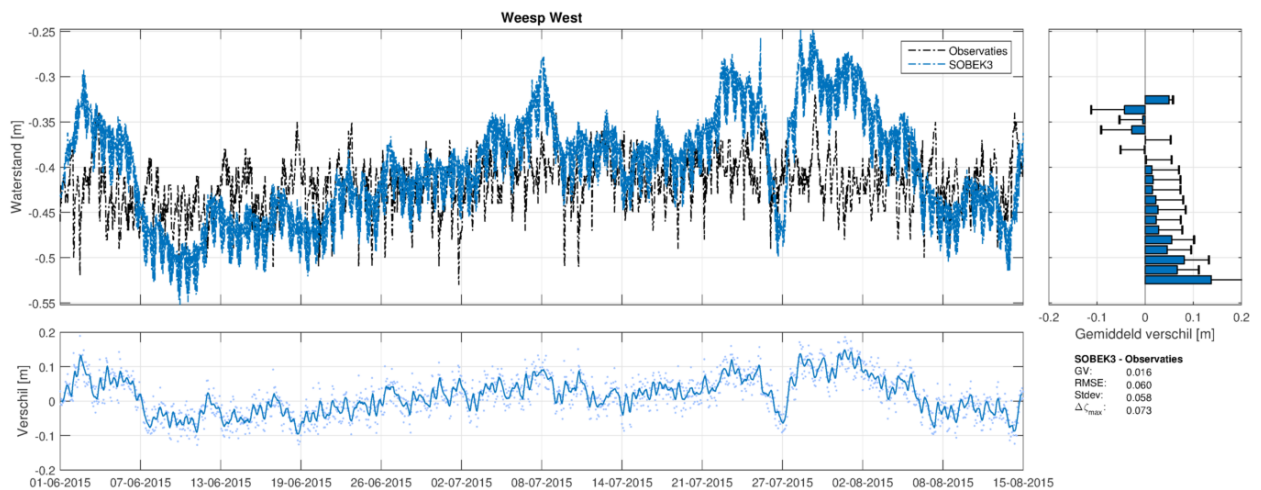
Het model is niet gevoelig voor de parameters ruwheid en windshielding factor. Hierbij moet vermeld worden dat alleen het effect van een enkele parameter in isolatie is onderzocht en niet hun interactie. De verwachting is dat ook de interactie tussen windshielding factor en ruwheid een klein effect heeft.

Er zijn geen gevoeligheidsanalyses uitgevoerd van onzekerder parameters, zoals de *crest height* van bepalende kunstwerken of van het effect van eventuele onjuistheden in de randvoorwaarden. Daarmee kan door de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse niet gesteld worden dat kalibratie van parameters voor dit zwak-dynamische systeem niet nodig is. Wel wordt aannemelijk gemaakt dat met een kalibratie van ruwheid of de windshielding factor de modelprestatie slechts licht zou kunnen verbeteren.

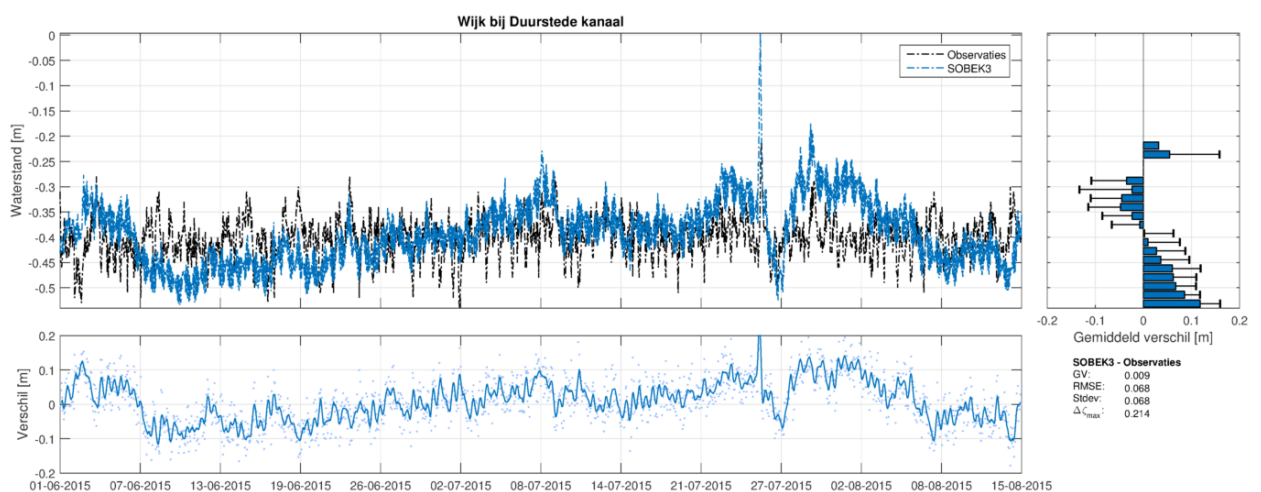
7 Validatie SOBEK 3 model

7.1 Resultaten

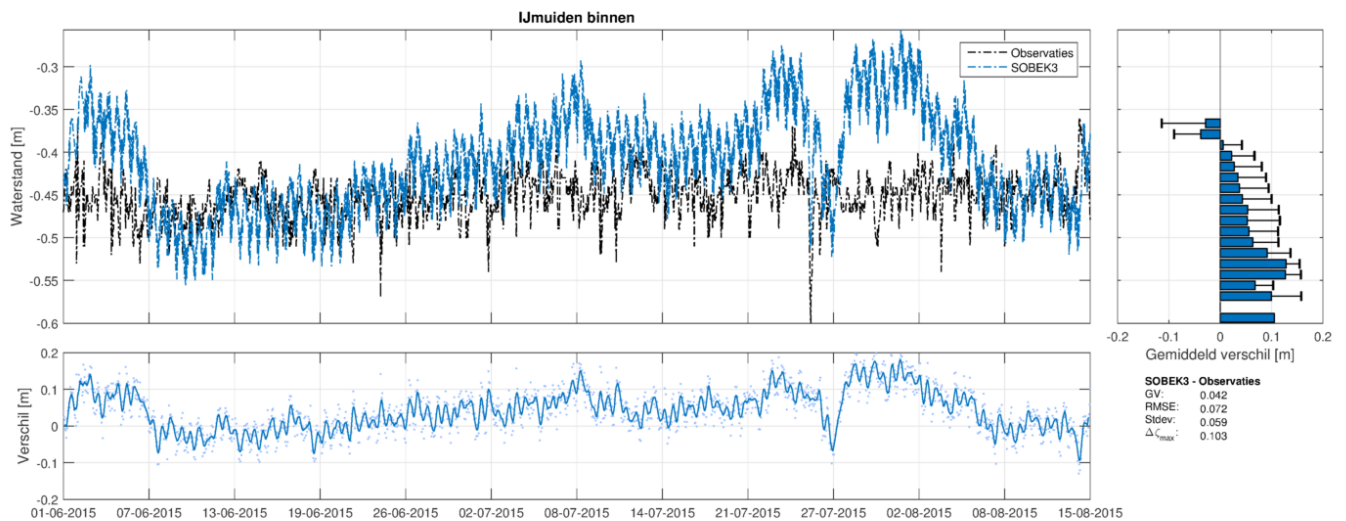
Voor de berekening van de simulatieperiode in 2015 is een initiële waterstand gebruikt van -0,432 m, overeenkomstig de meting bij Maarsse. De correctiefactoren zijn bepaald zodat aan het eind van de simulatieperiode de waterstand -0.397 m+NAP is, overeenkomstig de meting bij Maarsse. De resultaten voor het verloop van de waterstand in het midden, in het zuiden en in het westen staan weergegeven in Figuur 7.1, Figuur 7.2 en Figuur 7.3. Te zien is dat het verloop van de waterstand gedurende de simulatieperiode behoorlijk verschilt ten opzichten van metingen.



Figuur 7.1 Gesimuleerde en gemeten waterstand bij Weesp West



Figuur 7.2 Gesimuleerde en gemeten waterstand bij Wijk bij Duurstede

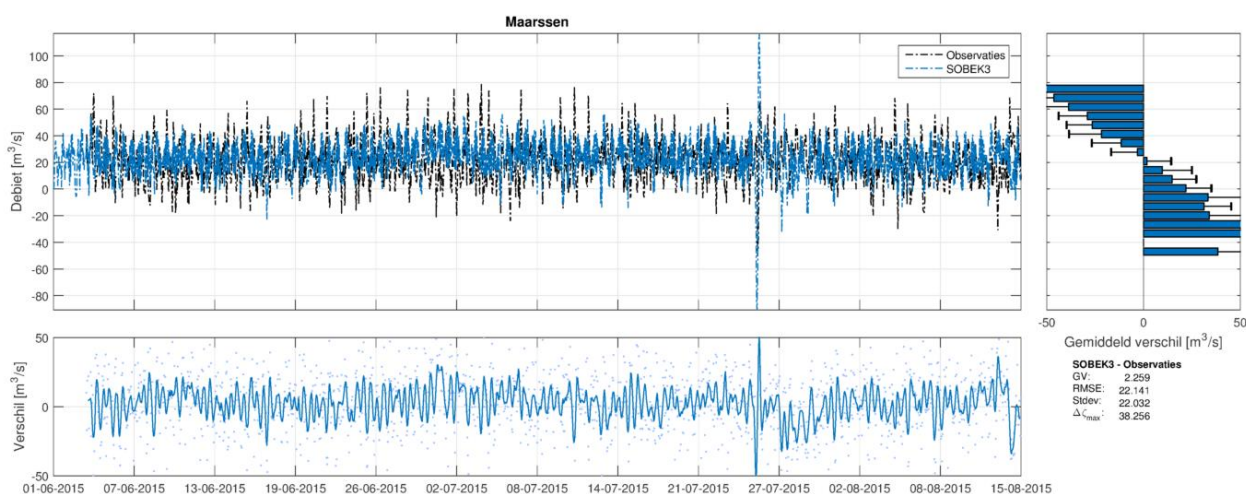


Figuur 7.3 Gesimuleerde en gemeten waterstand bij IJmuiden binnen

De modelresultaten en metingen variëren beiden tussen -0,6 en -0,2 m+NAP. Over het algemeen is de variatie van waterstand in het model groter. Rond 4 juni en 1 augustus 2015 overschat het model bijvoorbeeld met ongeveer 0,1 m, terwijl rond midden juni en op 27 juli het model juist onderschat. Blijkbaar wordt er in de eerste dagen van de simulatieperiode meer geloosd en/of minder onttrokken dan in de werkelijkheid. De optelsom van de lateralen levert dit verloop aan waterstand op. Een verklaring voor het verloop is niet eenvoudig aan te wijzen. De variatie rond 27 juli valt bijvoorbeeld samen met een grote lozing uit het Zaagemaal en een grote onttrekking bij IJmuiden-binnen.

De piek in waterstand bij Wijk bij Duurstede op 26 juli 2016 wordt veroorzaakt door de hoogste windsnelheid gedurende de simulatieperiode (Figuur 4.3 en Figuur 7.2). De piek ligt in het model hoger dan in de meting. Ondanks dat windshielding wordt toegepast heeft deze windsnelheidspiek in het model meer effect dan in de werkelijkheid.

Voor Maarssen is de afvoer vergeleken (Figuur 7.4). Gemiddeld overschat het model de afvoer met 2 m³/s. Alleen rond 27 juli is de afvoer in het model stelselmatig te laag, wat zou kunnen wijzen op een fout in de lateralen ten zuiden van Maarssen. Het valt op dat de Doorslag een netto debiet heeft van 2 m³/s, welke dus overeenkomt met de gemiddelde overschatting. Dit resultaat geeft vertrouwen dat voor deze periode de lateralen van de Irenesluizen en Beatrixsluizen in grote lijn juist zijn, hoewel de gegevens eerst gemiddeld moesten worden om er betrouwbaar uit te zien. Wanneer de niet-gemiddelde afvoer wordt bekeken, zijn de verschillen geregeld net zo groot als de absolute afvoer zelf. De variatie binnen een dag wordt niet goed te worden weergegeven door het model, terwijl het gemiddelde beter overeen komt.



Figuur 7.4 Gesimuleerde en gemeten afvoer bij Maarsse

7.2 Discussie

Het hydrodynamische en real-time control model zijn opgezet volgens de technieken en methoden van de vijfde generatie modellen (SOBEK 3). De takkenstructuur dekt het hoofdwatersysteem in het gemodelleerde gebied. Er is rekening gehouden met aansluiting op andere delen van het hoofdwatersysteem en gebieden in beheer bij waterschappen. De profielen zijn bepaald op basis van Baseline gegevens voor het overgrote deel van het model. Wind wordt toegepast met een windshielding zoals gehanteerd voor de Rijn- en Maasmonding. Er ligt daarmee een volledige en actuele gebiedsschematisatie, waarvan duidelijk is hoe die tot stand is gekomen.

Voor het Merwedekanaal waren geen peilingen beschikbaar. Ook de sturing van de sluisen en het Noordergemaal was niet bekend. Om deze reden is sluis Oog in Al deels open gezet, zodat de waterstand in het Merwedekanaal de waterstand in het Amsterdam-Rijnkanaal bij Utrecht volgt. In werkelijkheid is de waterstand ongeveer 1 m hoger in het Merwedekanaal dan in het model. Voor de rest van het gebied zal de lagere waterstand in het model weinig invloed hebben, aangezien de verwachting is dat de dynamiek van waterstanden in het Merwedekanaal zowel in werkelijkheid als in het model gering zijn.

Voor het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal en aansluitende havens presteert het SOBEK model over het algemeen redelijk. De waterstandsverschillen zijn meestal kleiner dan 0,1 m. Van de andere kant mag niet vergeten worden dat de lateralen met 70% verminderd zijn (zie de correctiefactor van ongeveer 0,3). Daarom kunnen er geen conclusies getrokken worden over de geschiktheid van het SOBEK 3 model voor toepassing in de praktijk.

De gehanteerde methode om de debieten van het spuien en malen bij IJmuiden te corrigeren dient voor iedere volgende simulatieperiode uitgevoerd te worden. Afhankelijk van de gevonden correctiefactoren verschilt de relatieve bijdrage van de overige lateralen. Anders gezegd worden fouten in volume per lateraal (inclusief ontbreken van lateralen) onzichtbaar door het aanpassen van de correctiefactoren. Fouten in lateralen zullen dus alleen zichtbaar zijn in het resulterende verloop van waterstand en afvoer. Voor iedere nieuwe simulatieperiode zal geëvalueerd moeten worden hoe betrouwbaar de set verzamelde lateralen is. Voor een gebied afgesloten door kunstwerken met zoveel laterale lozingen en onttrekkingen zal de evaluatie van deze lateralen op welke manier dan ook cruciaal zijn en de nodige inspanning met zich meebrengen.

De wensen vanuit de operationele toepassing zijn gerealiseerd in het huidige SOBEK 3 model. Met een rekentijd van 9 minuten voor de 10 weken simulatieperiode is voldaan aan het criterium van de rekentijd. Met een nauwkeurige set van lateralen en windsnelheid kan waarschijnlijk de waterstand berekend en voorspeld worden. In het voorliggende project kon dat niet aangetoond worden door de onnauwkeurige lateralen. Het SOBEK 3 model is dusdanig opgezet dat in de toekomst zoutgehalte en temperatuur kunnen worden toegevoegd, waarmee getest kan worden of het model ook voor temperatuur en zoutgehalte toegepast kan worden.

8 Verification Delft3D model

8.1 Summary of previous results

In 2015 a Delft3D model originating from Arcadis was extended to Wijk bij Duurstede and Nieuwegein. Parts of the model grid were refined in order to have the same resolution over the whole model. Baseline information of 2010 was projected on the extended and partially refined grid. The openings of the model at the sluices were closed by manually placing thin dams. This model was used to simulate a period of 3 months in 2013, for which Arcadis (2014) had set up the discharges. In order to prevent too high local flow velocities, the larger discharges at the sluices of IJmuiden were split over 5 cells adjacent to each other.

The 3D version of the model did not simulate the full three months of the simulation period in 2013. The model crashed seemingly because of high flow velocities at a lateral inflow. It was recommended to stay as close to the original Arcadis model as possible, meaning for example that a lateral discharge in an Arcadis cell is spread over the 9 cells in the refined model that represent this one cell in the Arcadis model. In this way it was thought that stable model simulations can be carried out.

8.2 Simulation in 2013

8.2.1 Introduction

The 2013 Delft3D simulation of the Amsterdam-Rhine Canal / North Sea Canal (ARK-NZK) was conducted in an effort to reproduce the model used in a study by Arcadis (Arcadis, 2014). The intent was to update this model using information exported from Baseline, and to also conduct the simulations on a grid with three times the original grid resolution used in the Arcadis model. This section describes the performance of this uncalibrated model with respect to observations in 2013.

8.2.2 Observation data

There were 6 locations at which continuous measurements of water level, salinity and temperature were available from 'diver' measurement instruments. These locations were present in two clusters in space.

Cluster 1 – Canal C:

- MP1
- MP2
- MP3

Cluster 2 – Near Amsterdam harbour:

- MP4
- MP5
- MP6

There were 3 locations at which continuous measurements of water level, salinity, and temperature using a 'logger' measurement instrument were available. These locations were Amsterdam einde pier (NDSM), Diemen (DIEM), and Binnenspuikanaal (BSK). Water level measurements were available at IJmuiden Binnen (WHyb) Weesp West (WHww), and Buitenhuizen (WHbh).

At each of the diver instrument locations, excluding location MP6, measurements were taken at two depths. Each of the measurements series was taken by a separate diver (measurement instrument), and thus there existed 11 diver units in total. Each of the three logger instrument locations were taken at between 1 and 3 depths. Information about location and depth of the instruments is shown in table Table 8.1 and a map is shown in Figure 8.1.

Table 8.1 Metadata of the continuous measurement observation points used to evaluate ARK-NZK model performance in 2013 and 2015

Name	Easting	Northing	Depth 1	Depth 2	Depth 3
Diver					
MP1	109517.8	493956.4	-1.4	-4.4	
MP2	108578.5	493342.9	-1.4	-4.4	
MP3	107042	492008.3	-1.15	-4.15	
MP4	125537.2	488062.2	-1,40	-4,50	
MP5.1	125700	487286	-1.8	NA	
MP5.2	125672.9	487286.9	NA	-4.5	
MP6	127260	484909.9	NA	-4,30	
Logger					
BSK	102113	498307	-1.4	-6.4	-10.4
DIEM	127500	484685	-1.4	NA	
NDSM	121026	490342	-1.4	-6.4	
Water level					
WHyb	101650	498350	NA	NA	
WHww	129925	481040	NA	NA	
WHbh	109810	494150	NA	NA	



Figure 8.1 Map of observation point locations

Each diver location measured conductivity, temperature, and water head for two continuous time periods at a frequency of 1 hour. Diver stations MP1, MP2, and MP3 took measurements between January 19, 2013 and February 13, 2013 and resumed sampling between February 13, 2013 and March 13, 2013. Diver stations MP4, MP5, and MP6 took measurements between February 09, 2013 and March 5, 2013, and resumed sampling between March 5, 2013 and April 5, 2013. Each logger location took measurements of temperature and salinity at 10 minute intervals between 2013 and 2016, except for NDSM which did not have measurement data between January and July 2013. The water level stations WHyb, WHww, and WHbh measured water level only during 2015.

8.2.3 Model implementation

Numerous uncalibrated test runs of the ARK-NZK model were conducted with the objective of producing a model that possessed the same characteristics and settings as the Arcadis model. However, the model differed from the Arcadis model in the following ways:

- 1 Time step reduced from 0.5 min to 0.2 min (and 0.1 min in 2015 simulation)
- 2 Attributes were generated by Baseline wherever possible
- 3 Extended domain to the Nederrijn-Lek
- 4 Grid resolution increased x3 throughout most of domain
- 5 Open boundary replaced with 2 discharges (Wijk bij Duurstede and Nieuwegein)
- 6 New restart file, different number of restarts employed
- 7 No vertical eddy viscosity or diffusivity
- 8 DPSOPT = DP from MAX
- 9 DPUOPT = MIN from MEAN
- 10 Horizontal Forester filter turned off
- 11 Vertical Forester filter turned on
- 12 Trachytopes used

The larger discharges that are imposed on the model at locations having a refined grid, were spread over a square of 9 cells. The discharges at IJmuiden, Nieuwegein and Wijk bij Duurstede were spread in this way, ensuring that they are modelled in the same way as in the original Arcadis model.

The discharge files used in this simulation were taken directly from an Arcadis simulation, with the only change being the Irene and Beatrix sluices in the domain extension to the south of the original model domain at the Nederrijn-Lek instead of a discharge at Maarsssen. The thin dams were taken from the Baseline export and were manually amended based on expert knowledge where the export was inaccurate. After the manual adaptations the model was closed at the sluices surrounding the Noordzeekanaal and Amsterda-Rijnkanaal.

Like the Arcadis model, the simulation ran from January 1, 2013 to March 18, 2013. The model required a time step of 0.2 minutes (12 seconds), and had a run time of about 14 days and 18 h. Due to time constrains relating to the model's long run time, only two restart runs were conducted. Arcadis (2014) used more restart files in order to obtain more reliable initial conditions, particularly for salinity.

8.2.4 Comparison of observations and model results

8.2.4.1 Salinity and Temperature time series comparison

Observation points MP4, MP5, and MP6 were in the main channel, and unlike observation points in Canal C (MP1, MP2, and MP3), these locations were more influenced by the salinity introduced at the noorder, midden, and zuider sluices under short time scales. As locations within the main channel are of more interest in this study, analysis of model performance will be largely limited to these locations.

Figure 8.2, Figure 8.3, and Figure 8.4 show a comparison of observed and modelled salinity and temperature at locations MP4, MP5, and MP6 respectively.

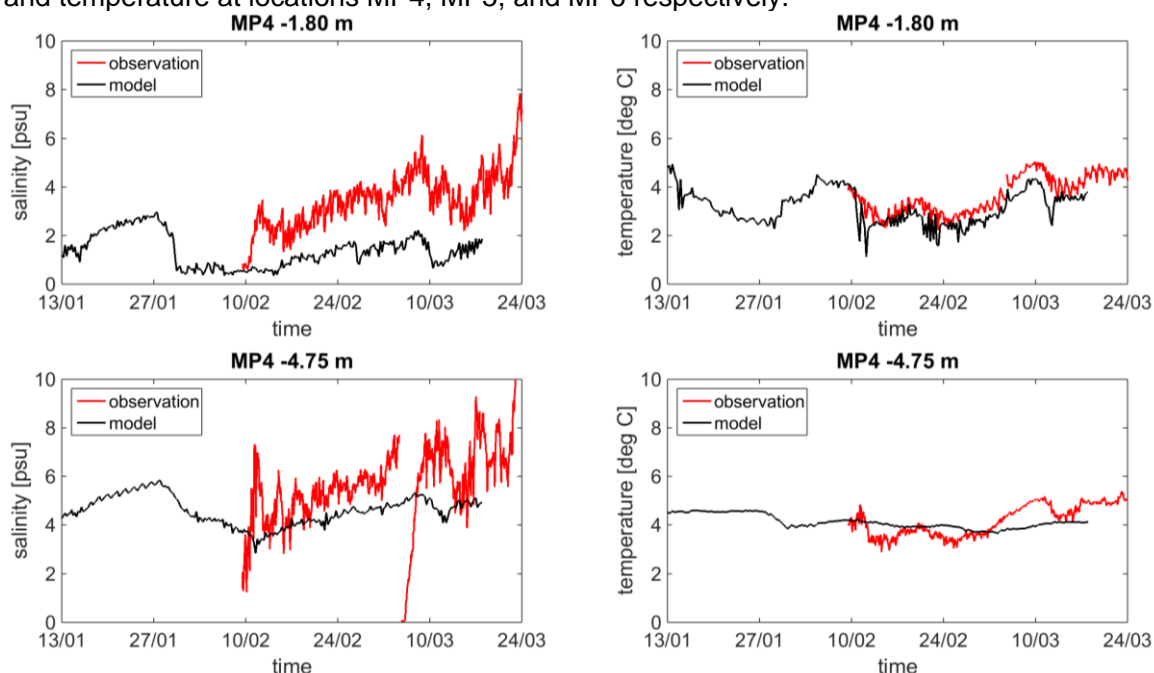


Figure 8.2 Time series comparison for observed (red) and modelled (black) salinity and temperature at two depths (-1.40 m and -4.50 m NAP) for location MP4

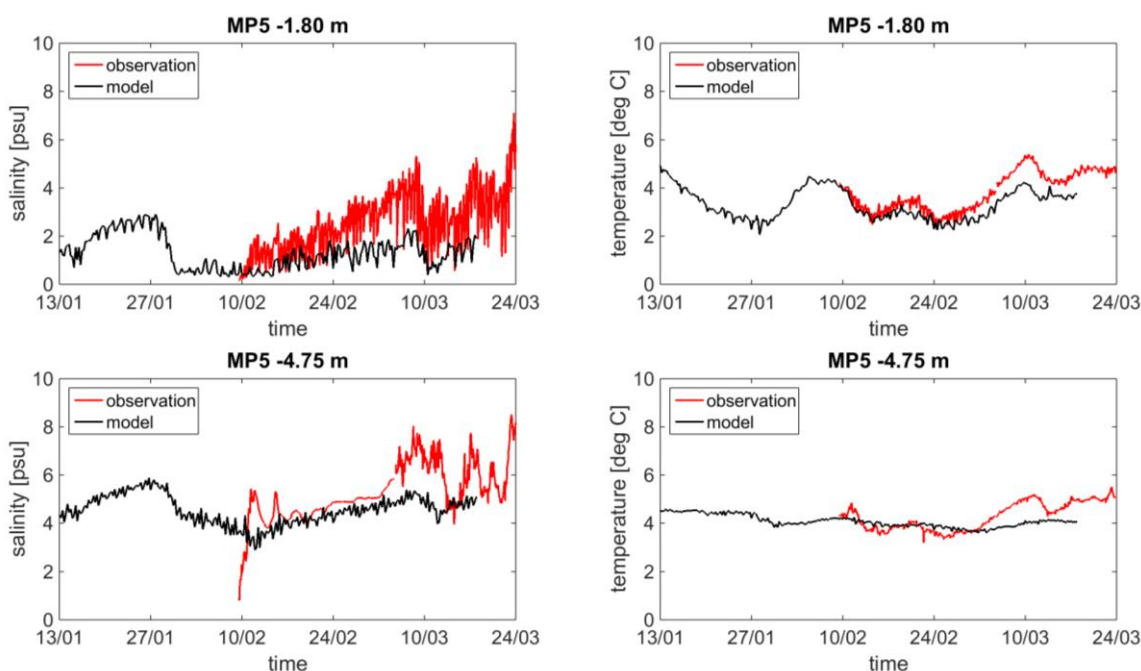


Figure 8.3 Time series comparison for observed (red) and modelled (black) salinity and temperature at two depths (-1.8 m and -4.75 m NAP) for location MP5

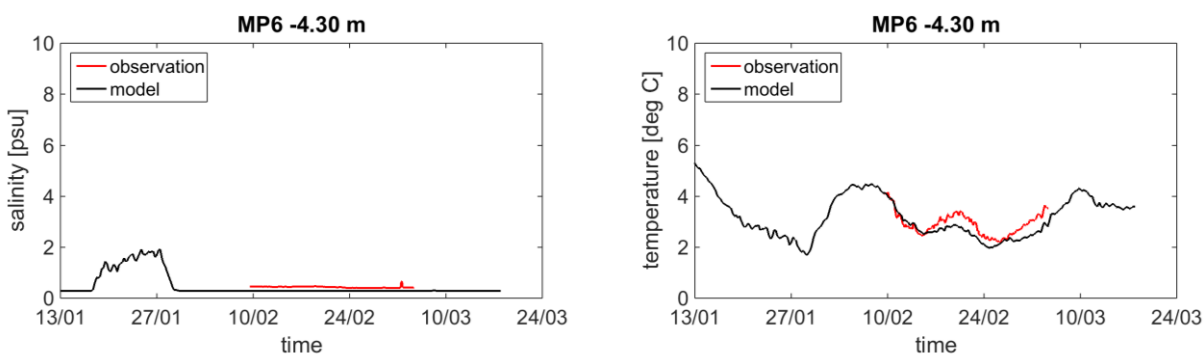


Figure 8.4 Time series comparison for observed (red) and modelled (black) salinity and temperature at two depths for location MP6

At locations MP4 and MP5, the model generally predicted salinities that were lower than observed salinities. However, the discrepancy was not unreasonable, and the observed salinity trend in time was loosely reproduced in both the upper and lower measurement depths during times for which model predictions and observations were both available. The observations showed that there was somewhat substantial salt intrusion present as far as location MP5, but the model correctly predicted that the salt did not reach as far as location MP6 during the time period for which observations are available. The model did predict an intrusion even in mid to late January, but this time period was not covered by observations and cannot be verified.

Due to the large uncertainty in the discharges, together with a reduction of the discharges by roughly 30-70%, it cannot be expected that the computed and measured results are in good agreement with each other.

Temperature was predicted well by the model at locations MP4, MP5, and MP6. In general, the modelled temperature was not as of much interest as the salinity predictions are for evaluating model performance, as temperature was primarily governed by heat fluxes at the surface and not the transport of temperature originating at the model boundary conditions and discharges and thus the suitability of modelling decisions.

Observation locations MP1, MP2, and MP3 are located in a side canal (Canal C) at approximately the 10 km mark of the Noordzeekanaal. It is important to note that this canal is much shallower than the depth of the Noordzeekanaal at the 10 km mark. Figure 8.6 and Figure 8.7 show a comparison between observations and model results for both salinity and temperature at two depths for each measurement location. In general, it was evident that at all locations, the model was fresher at both depths than the observations. This was somewhat expected at these locations due to their shallow depths and the lack of reasonably quick processes that would enable salt from the bottom of the Noordzeekanaal to mix into the shallow Canal C. None the less, it was apparent that the model had a tendency to under predict salinity at all diver locations (MP1-MP6) during the 2013 simulation.

The model performed reasonable for the prediction of temperature trends. In Canal C, the trend in the top layer was represented well, and the bottom layer was less well represented and was often colder than observations. The observed temperature at MP3 showed influence of the Spaarndam sluices (i.e. temperature decrease) whereas this effect is not visible in the modelled result to the same extent.

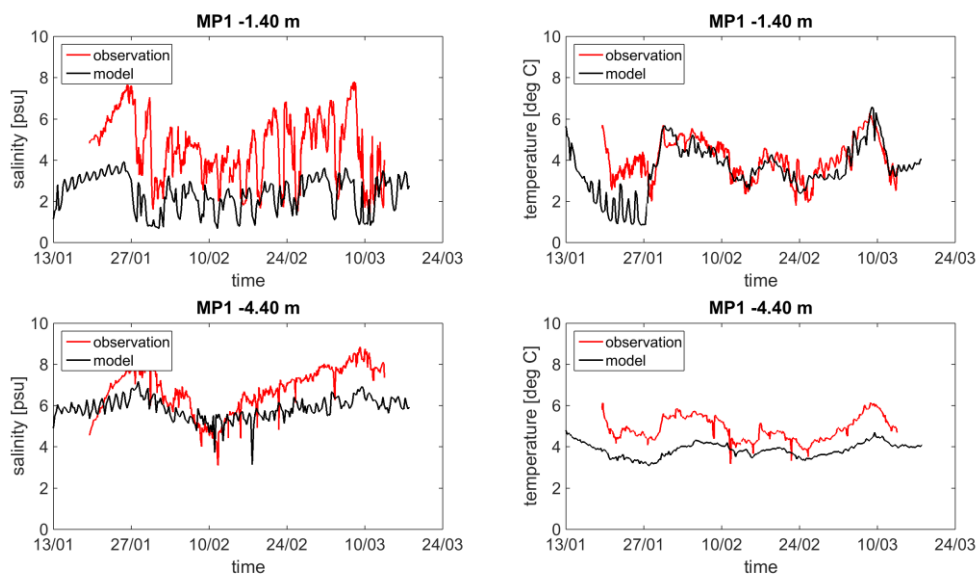


Figure 8.5 Time series comparison for observed (red) and modelled (black) salinity and temperature at two depths for location MP1

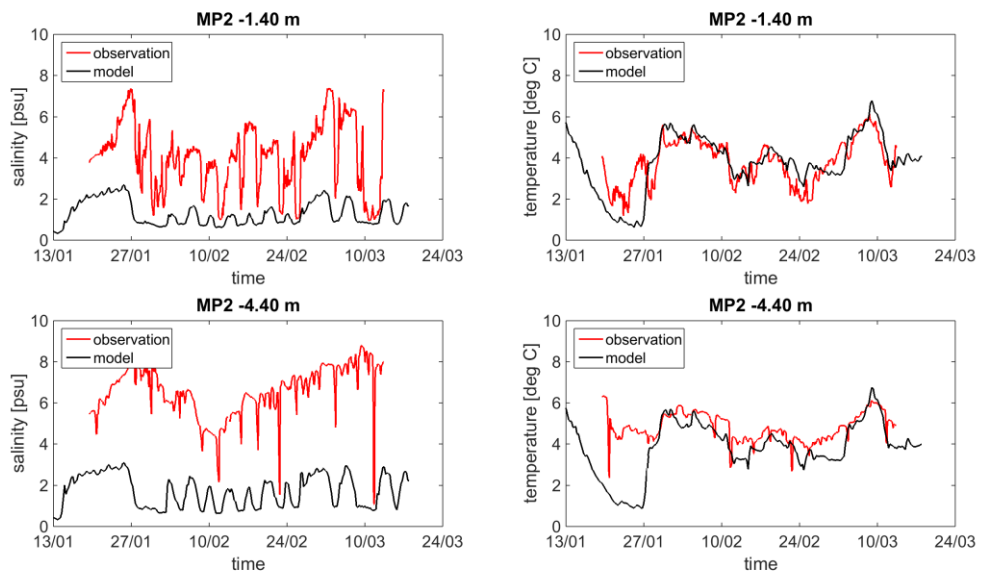


Figure 8.6 Time series comparison for observed (red) and modelled (black) salinity and temperature at two depths for location MP2

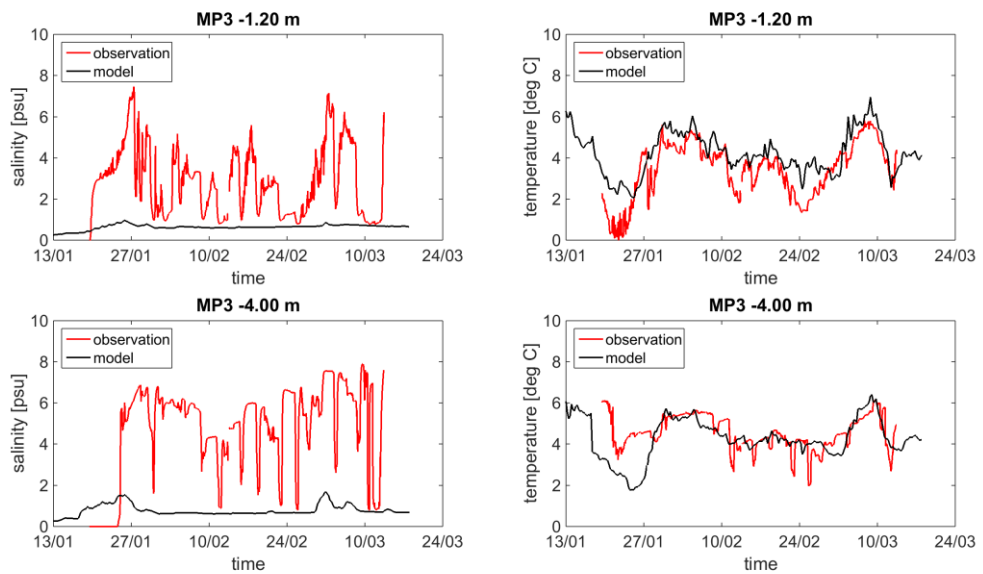


Figure 8.7 Time series comparison for observed (red) and modelled (black) salinity and temperature at two depths for location MP3

A comparison of model results and observations at locations BSK and DIEM is shown in Figure 8.8 and Figure 8.9. Observations for salinity and temperature at NDSM were not available prior to July 2013 and so model results are not shown at this location.

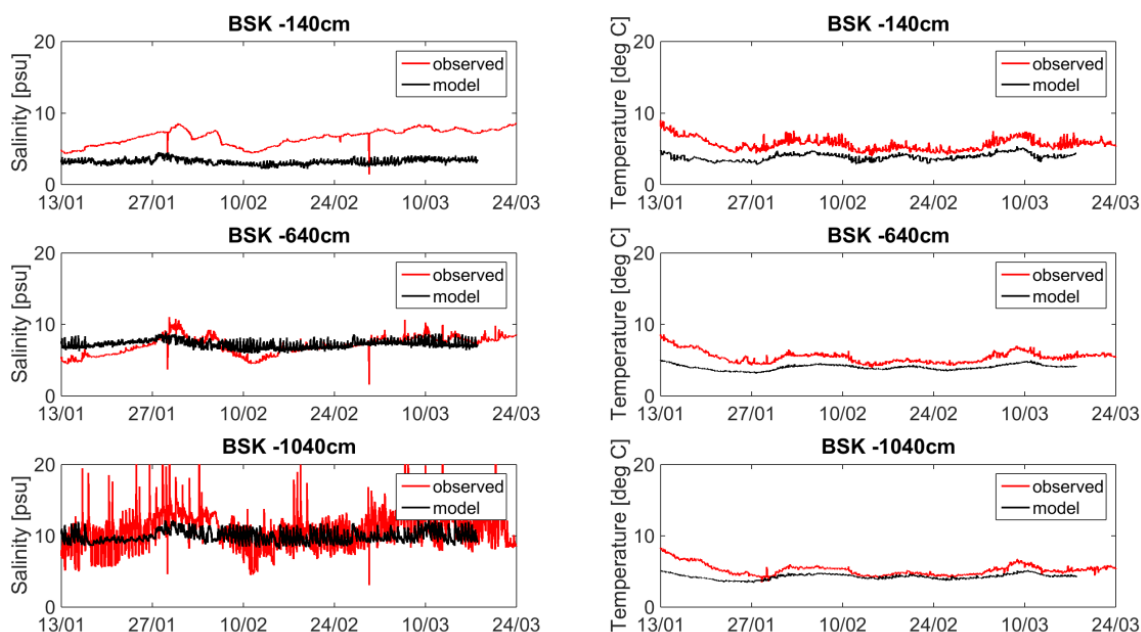


Figure 8.8 Model prediction compared with observations of salinity and temperature at -140 cm, -640cm, and -1040 cm NAP at Binnenspuikanaal.

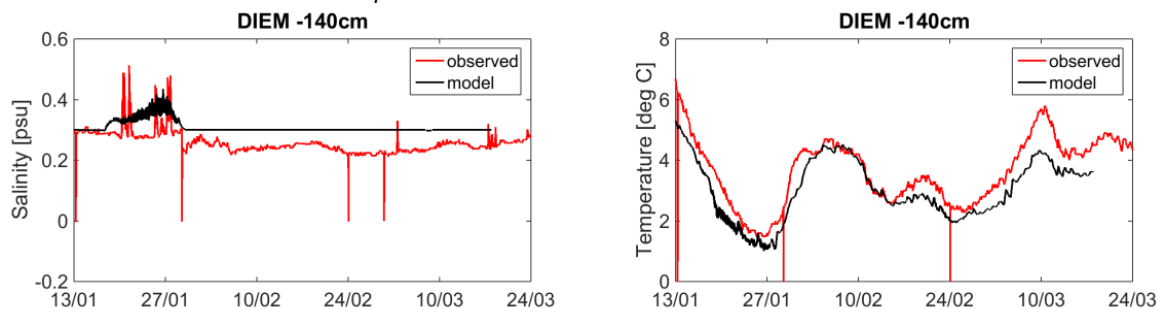


Figure 8.9 Model prediction compared with observations of salinity and temperature at -140 cm NAP at Diemen.

The data available at these locations shed further light on the model performance. Firstly, observations at DIEM showed a spike in salinity in the time leading up to January 27, and during this time there was a corresponding salinity response in the model observations. This model prediction could not be verified using the observations at MP6, but due to the proximity between MP6 and DIEM, congruence between model prediction and DIEM observations does increase confidence in the model's ability to predict the extent of the salt intrusion and the occurrence of intrusions in this region of the channel. Observations at BSK revealed that again the model under predicted salinity in the top layer, but the predicted average magnitudes of salinity at depths of -640 cm and -1040 cm were not as poorly predicted as they were in Canal C. However, especially in the -1040 cm reading, the variability of the modelled salinity time signal was much smaller than observations as is the absolute range of the predictions compared to observations.

8.2.4.2 Water level

The divers indirectly measured water level via a pressure transducer that provided an indication of the sensor's current depth below the water surface. It was possible to calculate the water level from this measurement if the absolute height of the diver relative to NAP was known. The height of each of the diver instrument was taken from Arcadis (2014).

Figure 8.10 and Figure 8.11 show model water levels compared to observed water levels at locations MP1 and MP5. The observed water levels were inferred from pressure measurements taken from the higher of the 2 divers at each of the 6 measurement points. In Figure 8.10 it is evident that there were two discrete time series that exhibited noticeably different water levels. The difference in water levels between the two time series (taken by the same diver) more closely resembled a bias rather than an indication of changing water levels in the Amsterdam-Rijnkanaal. It is possible that the bias was due to redeployment of the diver at a different absolute elevation than was used in the initial deployment. This type of discrepancy was indicative of the diver data at locations MP1, MP2, MP3, MP4, and MP6.

It was difficult to compare the magnitudes of the water levels due to the aforementioned uncertainty of the deployment depths. However, the model prediction of water level at location MP5 was in relative agreement compared to the other locations where there were inconsistencies in the data. The model did an acceptable job at following the overall trend in water level rise and decline, but exhibited larger variations in water level than the observations.

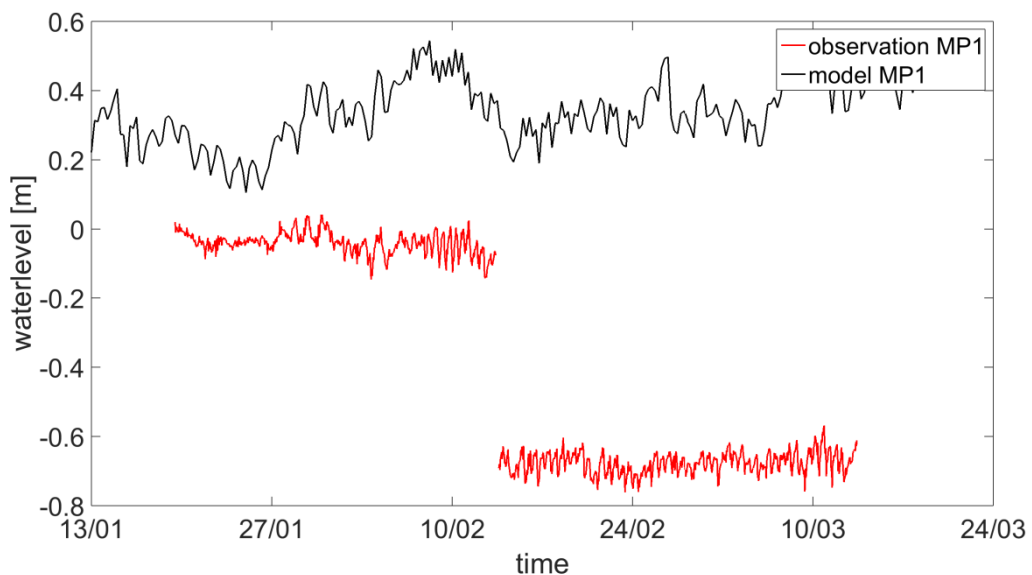


Figure 8.10 Time series comparison for observed (red) and modelled (black) water level based on data from the higher of the two Divers at location MP1

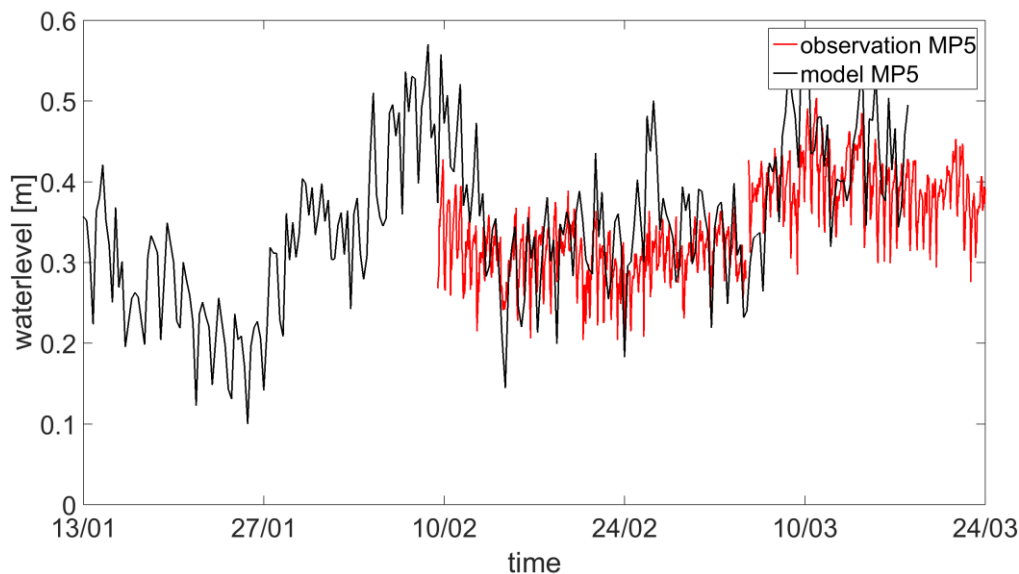


Figure 8.11 Time series comparison for observed (red) and modelled (black) water level based on data from the higher of the two Divers at location MP5

8.3 Simulation in 2015

As for 2013, a period in 2015 was simulated. The setup of the discharges used for this simulation in Delft3D was described in chapter 5. Using the same number of layers, time step, different Baseline information, and a different set of lateral discharges, numerical instabilities caused the simulation to crash at 75% model completion (11 days of run time). The instability appeared in the centre of the channel close to the 11 km point in the Noordzeekanaal. Most likely this instability was caused by a too large time step for the refined grid.

A new simulation was created that used a reduced time step (0.1) minutes. Due to time constraints, this model was run with a shorter simulation period than that of the original 20 layer model that crashed at 75%. The simulation period presented in the report is July 20 to August 15. The initial conditions for this simulation were derived from the results of the simulation that crashed at 75% (on July 27), the initial condition of which was specified as uniform values as there had been no 20 layer 2015 simulation conducted previously. The simulation start date of July 20 was chosen because it was a week before the instance of the observed instability that resulted in the crash and did not exhibit evidence of the aforementioned instability.

8.3.1 Comparison of observations and model results

Shown in Figure 8.12, Figure 8.13 and Figure 8.14 are comparisons of observed and modelled salinity at locations Binnenspuikanaal, Diemen, and Amsterdam einde pier. There is a clear difference between observed and modelled values in that the observations showed substantial variation in time, especially in the lower layers. This type of behaviour was also generally observed in the 2013 observations, especially at BSK. The model is largely unable to reproduce the variability in the salinity signal, and at all depths at all three locations the model predicted salinities that were relatively constant during period where the averaged observed value was not. In this regard the model performs better in the 2013 simulation where the model predicted a more variability in the salinity time signal and responded more similarly to the signal at MP4 and MP5. It is worth noting however that restarts were not employed in the 2015 simulation. If more time had been available, numerous restarts would have been conducted in order to get a better initial condition with more salt intruded into the model.

The salinity magnitudes predicted by the 2015 model are not consistent with observations. At Binnenspuikanaal, model predictions at -140 cm were difficult to compare to observations because the observations appear to show a 'drift bias'. This was demonstrated by two instances during which measurement steadily drifted toward a low salinity value, read a value of 0 salinity for 20 minutes, and then jumped to a much higher salinity value. This temporary dip to salinity 0 was seen at the other three depths as well. Additionally, one can see how at -1040 cm, the measurement is 0 psu during the time around August 8, whereas the upper measurement at -640 cm read ~ 10 psu during the same time. This was not physically realistic and does not inspire confidence in the observations at this location.

It is worth noting that the observed salinity signal at BSK -1040 cm very clearly showed the influence of the adjacent sluice discharge, where the salt water pulses from the sluices are clearly visible as spikes in the signal. These were not visible in the model observations even though the station was in direct proximity to the model boundary at IJmuiden. This would suggest that the time series prescribed at the sluices was not representative of real-life operation and was much more uniform. This suggests that the IJmuiden sluice discharge boundary was at least partially responsible for the lack of variability salinity signal throughout the model.

Observations at Diemen were only taken at one depth (-140 cm), and it is evident that the salinity intrusion in the top 140 cm was minimal at this location in both the observations and model prediction. This was in agreement with the observations at MP6 in the 2013 simulation where the model correctly predicted that there was no intrusion at this river kilometre of the Amsterdam-Rijnkanaal. However, the 2015 simulation predicted more salt than was observed in both 2013 and 2015.

Observations at 'Amsterdam einde pier' exhibited less stratification than that predicted by the model, clearly demonstrated by the fact that the surface prediction was fresher than the observations and the bottom prediction was more saline than observations. Model predictions at this location also exhibited less variability than that present in observations. Although the model prediction at -140 cm depth was always more fresh than the observation, the predicted salinity at -640 cm depth was within the range of observed salinity at that depth.

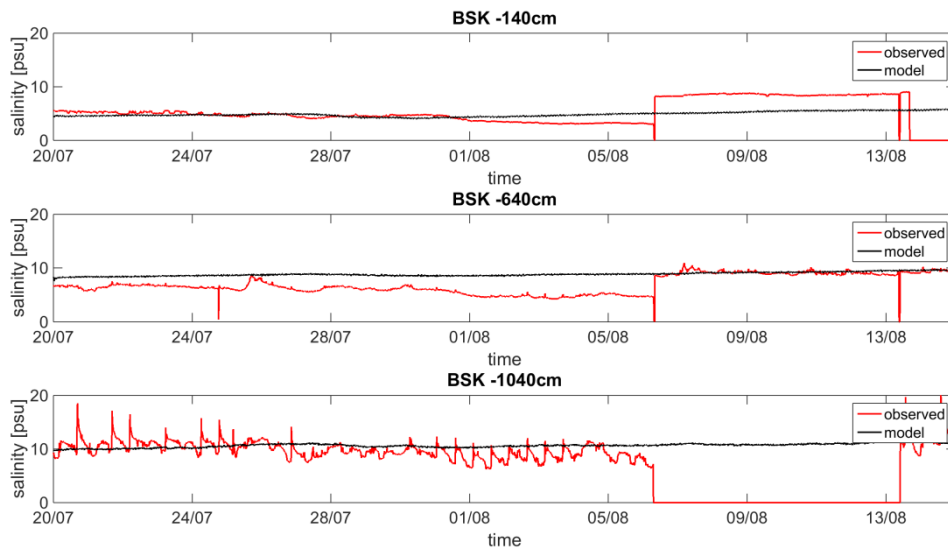


Figure 8.12 Model prediction compared with observations of salinity at -140 cm, -640 cm, and -1040 cm NAP at Binnenspuikanaal.

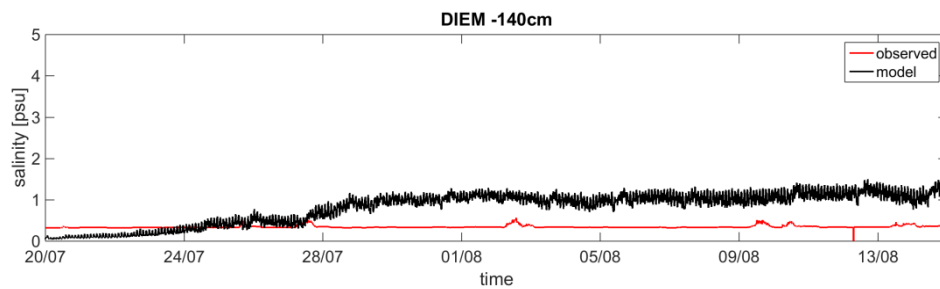


Figure 8.13 Model prediction compared with observations of salinity at -140 cm NAP at Diemen.

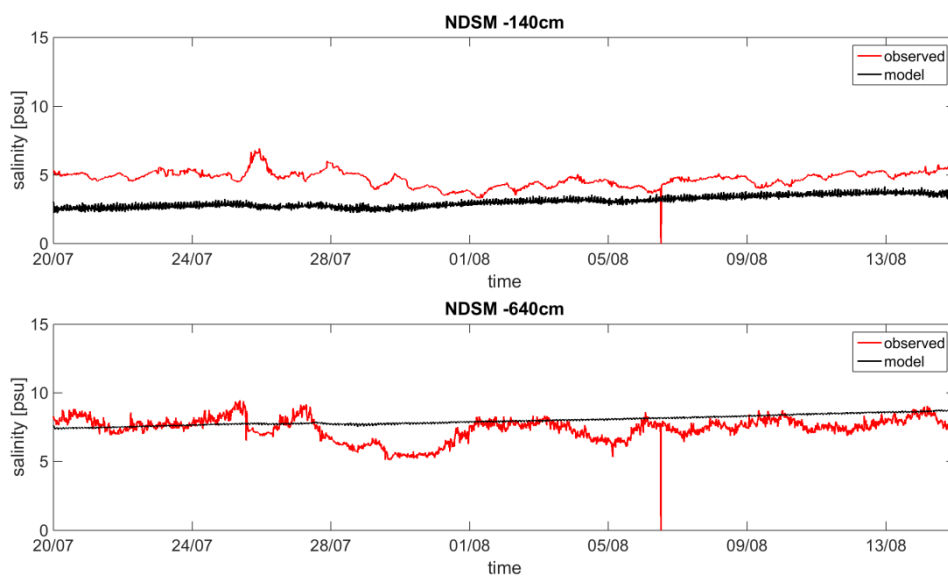


Figure 8.14 Model prediction compared with observations of salinity at -140 cm and -640 cm at Amsterdam einde pier.

Shown in Figure 8.15 are observations of water level compared to model predictions for Buitenhuizen, Weesp West, and IJmuiden Binnen. The initial condition for the simulation that provided the restart file for the 2015 simulation was set to 0.0 m NAP. As such, the absolute water level elevations were not expected to reflect those in observations. However, the ability of the model to reproduce the water level trend seen in the observations in with respect to fluctuations can be evaluated.

The model predictions showed much more variation in water level than the observations. For instance, the model predicted a water level range of 0.42 m, whereas observations at Binnenhuizen exhibited a range of close to 0.22 m. There were also clear features in the model prediction time series, such as the sharp drop followed by an increase near July 27, which was not evident in the observations. These comments also apply to stations Weesp West and IJmuiden Binnen. It is possible that this corresponded to intermittent high discharges present at Zaangemaal and Kadoelen between July 26 and July 28.

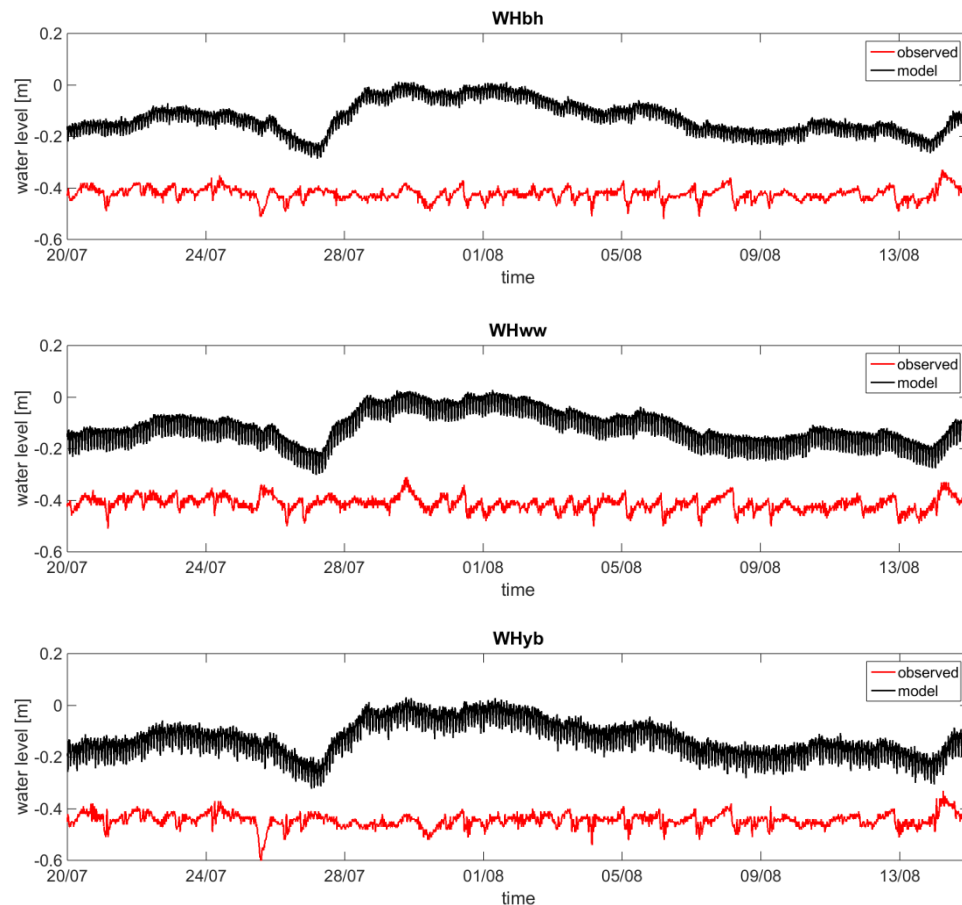


Figure 8.15 Time series comparison for observed (red) and modelled (black) water level at Buitenhuizen, Weesp West, and IJmuiden Binnen

8.4 Discussion and conclusions for ARK-NZK model in 2013 and 2015

In conclusion, it appears that in both the 2013 and 2015 simulation, the model had a tendency to underpredict salinity. It was certainly the case for the 2015 simulation that the predicted salinities were too constant relative to observations, whereas in some cases this variability was better predicted in 2013. Data at logger stations revealed that both simulations exhibited too large stratification, but this was difficult to quantify when only two or three depths measurements were available. The 2013 simulation showed greater agreement with observations, but also had more observations to compare with. It also modelled temperature, and used a different and more complete discharge series.

It is possible that the lack of variability in the salinity time signal in the 2015 simulation was due to the lack of discharges relative to the 2013 simulation. There were no industrial discharges included in the 2015 simulation, and these would have been of substantial size such that they would have had an effect on the variability of the salinity signal if situated a distance apart. The lack of response of the modelled salinity at station BSK -1040 cm compared to the observations which heavily influenced by the IJmuiden sluices suggests that the time series prescribed at the IJmuiden sluice discharge boundary was at least partially responsible for the lack of variability salinity signal throughout the model.

The accuracy of lateral discharges and the Beatrix and Irene sluis discharges used in the model is unknown. At some locations unvalidated data was used (sluices at the south), whereas Rijkswaterstaat mentioned that the data at IJmuiden spui and IJmuiden malen are uncertain. The correction factor applied at IJmuiden spui and IJmuiden malen to get a closed water balance might have masked missing laterals or errors present in other lateral discharges.

Due to the inaccuracy in discharges and boundary conditions it is not possible to draw any conclusions about the suitability of the Delft3D NZK model for applications. The primary recommendation is to improve the quality of the lateral discharges of this model, particularly at IJmuiden, Nieuwegein and Wijk bij Duurstede.

9 Conclusies

9.1 Baseline schematisaties en rooster

De Baseline schematisaties voor 2010 en 2015 zijn uitgebreid met het Merwedekanaal. Voor de diepte is de benodigde vaardiepte aangenomen, aangezien er geen peilingen beschikbaar bleken te zijn.

9.2 Lateralen

Voor een nieuwe simulatieperiode (1 juni – 15 augustus 2015) zijn de lozingen en onttrekkingen verzameld en voorbereid om gebruikt te worden in het SOBEM en het Delft3D model. Er zijn in totaal voor 170 locaties laterale afvoeren klaargezet, waarvan de afvoer in de nieuwe simulatieperiode op 50 locaties groter of kleiner is dan $0 \text{ m}^3/\text{s}$. Waar beschikbaar zijn ook temperatuur en zoutgehalte klaargezet. Het resultaat van het optellen van de lateralen voor deze periode van tweeëneenhalve maand zou leiden tot leeglopen van het model (een waterstandsval van ongeveer 14 m). In werkelijkheid varieert het peil slechts enkele decimeters rond $-0,4 \text{ m+NAP}$. Dit geeft aan dat de set van lozingen niet representatief is. Deels wordt dit verklaard door het ontbreken van de afvoer van de Amstel, een deel van de Vecht-afvoer en de uitwisseling met het Markermeer bij Schellingwoude.

Waarschijnlijk wordt het grootste gedeelte van de te grote afvoer uit het gemodelleerde gebied veroorzaakt door de aangeleverde tijdseries van afvoer bij IJmuiden spui en bij IJmuiden binnen. Rijkswaterstaat heeft deze als onzeker bestempeld. Deze afvoertijdseries zijn gecorrigeerd door ze te vermenigvuldigen met een factor. Voor IJmuiden-spui is met factor 0,5815 vermenigvuldigd. Voor IJmuiden-binnen is voor SOBEM met 0,3387 en voor Delft3D met 0,2907 vermenigvuldigd. Deze correctiefactoren zijn laag in vergelijking met de geconstateerde sluitfout over meerdere jaren, op basis waarvan een correctiefactor van ongeveer 0,8 verwacht zou worden. Met deze correctie is gerealiseerd dat het verschil in waterstand tussen begin en eind van de simulatieperiode in de modellen vergelijkbaar is als in metingen.

Het verloop van de waterstand in de simulatieperiode zal alleen juist zijn, als de correcties van onttrekking bij IJmuiden hebben geleid tot afvoer-tijdseries die voldoende dicht bij de werkelijkheid liggen. Het zou toevallig zijn wanneer door een reductie van een gemeten tijdserie met ongeveer 40-70 % het gedrag van de resulterende tijdserie nog voldoende de werkelijkheid weergeeft.

Bij de afvoer-tijdserie van een lateraal zijn voor 2015 ook tijdseries van temperatuur en zoutgehalte opgeslagen, wanneer deze beschikbaar waren. Zoutgehalte en temperatuur zijn op minder locaties beschikbaar dan in de tijdserie die Arcadis (2014) heeft opgezet voor 2013. De onzekerheid in de huidige sets van lateralen beperken de mogelijkheid om conclusies te trekken over de geschiktheid van de modellen.

9.3 SOBEM model

Het SOBEM model is nieuw opgezet volgens de methoden en standaarden van de vijfde generatie hydro-modellen. Profielen zijn bepaald op basis van Baseline gegevens, met uitzondering van het Merwedekanaal waar handmatig profielen zijn bepaald. Er wordt wind van Schiphol toegepast, waarbij *windshielding* is toegepast in drie zones afhankelijk van de afstand tot de Noordzee.

Uit gevoeligheidsstudies voor ruwheid en de *windshielding* factor blijkt dat het model niet gevoelig is voor deze parameters. De rekentijd is 9 minuten voor een simulatieperiode van 10 weken op één core, wat voldoende klein is voor operationele doelen.

Een validatie met de set lateralen in 2015 geeft aan dat waterstanden gedurende de simulatieperiode meestal niet meer dan 0,1 m verschillen. De variatie in de simulaties is groter dan in metingen. Dit wordt veroorzaakt doordat voor enkele opeenvolgende dagen meer wordt onttrokken dan wordt geloosd op het systeem met als gevolg een te grote daling van de waterstand, of vice versa. Trends in gesimuleerde waterstanden komen niet overeen met gemeten waterstanden.

Een noodzakelijke voorwaarde voor de toetsing van het 1D en het 3D model is dat de laterale afvoeren voldoende compleet en nauwkeurig zijn. Omdat de beschikbare set van laterale afvoeren in 2015 niet voldoende compleet en nauwkeurig is, kunnen er momenteel geen conclusies getrokken worden over de geschiktheid van het SOBEK 3 model voor de beoogde toepassingen.

9.4 Delft3D model

Het Delft3D model dat in 2015 is uitgebreid tot de Nederrijn-Lek, verfijnd en geactualiseerd is doorgerekend voor twee perioden: een periode in 2013 en een in 2015. Het model van 2015 is aangepast zodat het meer lijkt op het originele Arcadis model. Met een tijdstap van 0,2 minuut (12 s) is een simulatie van de volledige periode van 2013 uitgevoerd. Net als voor het SOBEK model, is het bereik van de waterstand vergelijkbaar met metingen, maar vertoont het verloop tijdens de simulatieperiode van 2013 weinig overeenkomst met de metingen.

De rekentijd is lang en beperkend voor het gebruik van het model: het duurt twee weken voordat de simulatieperiode is doorgerekend bij gebruik van 40 cores. Voor de simulatieperiode in 2015 was de rekentijd nog langer, omdat de simulatietijd voor een deel van de periode is verkleind tot 6 s. Door de onnauwkeurigheden in de set lozingen en onttrekkingen kunnen er momenteel geen conclusies getrokken worden over de geschiktheid van het geactualiseerde Delft3D model voor de beoogde toepassingen.

10 Aanbevelingen

10.1 Lateralen

De onzekerheid van de aangeleverde lozingen en onttrekkingen is niet goed bekend. Naast onzekerheid in de opgenomen lateralen, zullen er ook lateralen ontbreken. Enkele mogelijk belangrijke lateralen zijn de afvoer van de Amstel die via de Amsterdamse grachten uitstroomt op het Noordzeekanaal en een deel van de afvoer van de Vecht, welke bij Nigtevecht wordt geloosd. Ook waren er voor Schellingwoude geen metingen beschikbaar voor 2015, dus deze lateraal ontbreekt in de set. Niet alleen voor de waterbalans in het model, maar ook voor de waterbalans van de kanalen per jaar is het completeren van de lateralen van groot belang.

Aanbevelingen om de afvoer tijdseries te verbeteren en completer te krijgen zijn:

1. Genoemde ontbrekende lateralen toevoegen.
2. Nagaan wat de betrouwbaarheid is van enkele genoemde lateralen: zijn deze voldoende betrouwbaar om als basis te dienen voor het beoogde gebruik van de modellen?
3. Bepalen met wat voor aannames ontbrekende data van Schellingwoude het beste opgevangen kan worden.
4. Omdat iedere set van afvoeren onvolkomenheden zal vertonen, kan ervoor worden gekozen om de afvoeren (bij IJmuiden) zodanig aan te passen dat de waterstanden in het model dezelfde trend laten zien als in de metingen. Dit vereist een tijdsafhankelijke correctie van de afvoeren.

Om de zoutbalans en temperatuurbalans juist te kunnen maken zijn voor veel lateralen nog aanvullende zoutconcentraties en temperatuurlozingen nodig. Aanbevelingen om deze tijdseries completer te maken zijn:

5. Voor de industriële lozingen en onttrekkingen ontbreekt momenteel debiet en temperatuurverschil. Deze gegevens zijn te verkrijgen via vergunningverleners van Rijkswaterstaat West-Nederland-Noord of via WVL en worden ook gebruikt in het Landelijk Temperatuur Model. Zonder deze koelwaterlozingen kan in elk geval de koelcapaciteit niet juist berekend worden.
6. Bevraag de waterschappen direct voor ontbrekende tijdseries, zodat bijvoorbeeld het zouttransport in het model op locaties met brakke lozingen overeen komt met de werkelijkheid.
7. Om te bepalen of de zoutbalans een volledig beeld geeft voor twee weken in 2015, zouden de 100-punten meetcampagnes van de dagen rondom 28 juli en van de dagen rondom 11 augustus gebruikt kunnen worden. Uit de verschillen tussen deze twee 100-punten meetcampagnes kan een netto zouttransport worden bepaald. Met aannames zoals gehanteerd als in het conceptuele model van zouttransport (Figuur A-9), kan het gemiddelde netto zouttransport van de lateralen bij IJmuiden worden geverifieerd.

10.2 SOBEK model

Aanbevelingen voor verbetering van het SOBEK model zijn:

- 1) Pas een verbeterde set lateralen toe, waarin afvoertijdseries zijn opgenomen voor enkele extra locaties
- 2) Pas nadat aanbeveling 1 is opgevolgd lijkt het zinvol de volgende aanbevelingen op te volgen:

- a) Omdat de set lozingen/onttrekkingen voor 2013 completer lijkt, kunnen mogelijk op basis van een validatie met deze set conclusies worden getrokken over geschiktheid van het model.
- b) Wanneer de bodemhoogte in het Merwedekanaal beschikbaar komt, actualiseer de profielen in het Merwedekanaal.
- c) Implementeer de sturingsregels die in de praktijk worden gehanteerd voor de kunstwerken (o.a. voor Noordergemaal)
- d) Om zoutverspreiding te kunnen simuleren zijn een aantal stappen nodig:
 - i) Zet zoutgehalte aan.
 - ii) Completeer zoutgehalte in lateralen. Er zijn bijvoorbeeld geen gegevens beschikbaar van het zoutgehalte van water uit brakke polders.
 - iii) Stel de waarde voor parameters voor de dispersiecoëfficiënt in (theoretische waarden zijn $f_1=0$ en $f_3=25$ voor Thatcher-Harleman formulering).
 - iv) Evalueer hoe zoutuitwisseling bij de sluizen van IJmuiden het beste kan worden meegenomen. Nu is dat een blokfunctie net als voor het 3D Delft3D model. Mogelijk is voor SOBEK een andere methode optimaal.
- e) Om temperatuur te modelleren zijn een tweetal stappen nodig:
 - i) Zet temperatuur aan, wanneer dat in de software mogelijk wordt per eind 2016.
 - ii) Zorg dat de lateralen worden verbeterd. In elk geval moeten koelwaterlozingen worden toegevoegd voor de simulatieperiode in 2015.

10.3 Delft3D model

Enkele aanbevelingen om te komen tot een Delft3D model wat wel opgenomen kan worden in de set Rijkswaterstaat-modellen die wordt beheerd en onderhouden voor toepassing worden hier genoemd:

1. Pas een verbeterde set lateralen toe, waarin afvoertijdseries zijn opgenomen voor enkele extra locaties en waarin zoutgehalte en temperatuur wordt toegevoegd voor de locaties waar die nog ontbreken.
2. Pas nadat aanbeveling 1 is opgevolgd lijkt het zinvol de volgende aanbevelingen op te volgen:
 - a) Voor 2013 kan het geactualiseerde model worden vergeleken met uitkomsten uit het oorspronkelijke Arcadis model. Hieruit kan geleerd worden welke processen wel goed gesimuleerd worden en kan daarmee worden bepaald of beide modellen bijvoorbeeld voor zoutgehalte al voldoende goed presteren.
 - b) Gevoeligheidsanalyse uitvoeren voor enkele nader te bepalen parameters voor de simulatieperiode periode in 2015 (nadat het sluseiland en drempel bij Zeeburg zijn verwijderd) en de resultaten vergelijken met metingen van de 100-punten meetcampagne. Het gaat om het systematisch variëren van de belangrijkste invoervariabelen.
 - c) Mogelijk geeft een z-lagen model betere resultaten wat betreft zoutgehalte, aangezien het een zwak dynamisch systeem is.

10.4 Baseline schematisatie en rooster

Enkele aanbevelingen voor de Baseline schematisaties:

1. De Baseline bomen zouden met gebiedsdeskundigen doorgelopen moeten worden op juistheid.
2. Daarnaast zijn er enkele punten waargenomen, die verbeterd kunnen worden:
 - a. Bij IJmuiden zijn er hoogwatervrije vlakken dichtbij een sluis, is het gehele gebied wel sectie 1 (ondanks de hoogwatervrije vlakken), sluiten de sluisen het model niet af en zitten er gaten in het rooster op plaatsen waar eigenlijk hoogwatervrije lijnen zouden moeten staan.
 - b. Pieren bij de Hemspoottunnel lijken met een gat tussen sectie 3 gebied te zijn geschematiseerd, in plaats van met hoogwatervrije lijnen.
 - c. Er zitten gaten in het rooster bij IJmuiden, wat niet gebruikelijk is.
 - d. Het rooster loopt niet ver genoeg in een zijtak van de Amerikahaven.

11 Referenties

- Arcadis, Zoutindringing sluizen IJmuiden, effect nieuwe sluis op Noordzeekanaal, Rapport C03041.002769.001, 2011.
- Arcadis, Verfijning onderzoek chloride indringing Noordzeekanaal (ZTIJ), rapport A3026R1r3, 28 februari 2014.
- Berends, K.D., Rijn-modellen 5e generatie: Bouw, kalibratie en verificatie van SOBEK 3.2 modellen voor de Rijntakken, kenmerk 1209449-003-ZWS-0015-v1, 2014.
- Berends, K.D., SOBEK 3 model van de Rijn-Maasmonding - Modelbouw, kalibratie en verificatie, kenmerk 1209449-0004-ZWS-0015, 2015.
- Bijlsma, A., O. Weiler, Zoutindringing IJmuiden Fase 3: Verdere uitwerking mogelijke bronmaatregelen, interim-rapport, 2015.
- Buschman, F.A., R. Schueder, M. Irazoqui Apecechea, T. van der Kaaij, Ontwikkeling van een Delft3D model voor het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal, kenmerk 1220072-012, 2015
- Gemalen.nl, geraadpleegd in mei 2016;
http://www.gemalen.nl/gemaal_detail.asp?gem_id=116
- Helpdeskwater.nl, geraadpleegd in mei 2016;
http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/waterwet/kaarten/kaart-waterregeling/detail_kaarten/2e-rij-kaart-1/@28200/beheergrenzen_rws_48/
- HKV, Benodigde doorvoercapaciteit van de Irenesluizen: inventarisatie van de kennisleemten, rapport PR3104.10, augustus 2015.
- Karelse, M. en J.A.G. van Gils, Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal: waterbeweging en zouthuishouding, WL Delft nota ANW 91.11, 1991.
- Kranenburg, W., M. Mens, F.A. Buschman, C. Wesselius, Y. Huismans, J. ter Maat en F. Diermanse, Systeemanalyse van de Rijn-Maasmonding voor verzilting: Factsheets proceskennis, systeemkennis, modelinstrumentarium en statistiek, Referentie 1220107-002-HYE-0003-v1, 2015.
- Haskoning, Waterbalans Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal 2001-2003, rapport 9R0452, oktober 2005.
- Hydrologic, Studie toename debiet Amsterdam-Rijnkanaal, P576, oktober 2013.
- Prinsen, G. en C. Wesselius, Achtergronddocument LSM 1.3, kenmerk 1220072-015-ZWS-0002, 2015.
- Rijkswaterstaat WNN, Probleembeschrijving en voorstel voor aanpak van de zoutproblematiek op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal, concept 2015.

Rijkswaterstaat Noord-Holland, Het Noordzeekanaal in cijfers anno 2004: Een kwantitatieve beschrijving van de historie en huidige eigenschappen van het kanaal, zijkanalen, havens en kunstwerken, Rapport ANW-04.04, 2004.

Rijkswaterstaat.nl, geraadpleegd op 11 oktober 2016;

<http://www.rijkswaterstaat.nl/water/vaarwegenoverzicht/merwedekanaal.aspx>

Weiler, O., Uittenbogaard, R., i.s.m. Royal Haskoning DHV, 2014, Beperking Zoutindringing bij aanleg Nieuwe Sluis, Fase 1. Eerste Verkenning, 1209034-000-HYE-0002.

Wikipedia.nl, geraadpleegd op 10 oktober 2016; <https://nl.wikipedia.org/wiki/Merwedekanaal>.

A Factsheet van systeemanalyse Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal voor verzilting

A.1.1 Inleiding

Deze factsheet beschrijft de zoutindringing in open water vanuit de sluizen bij IJmuiden. Het zoute water dringt het Noordzeekanaal binnen en kan onder bijzondere condities leiden tot een verhoogd zoutgehalte in het noordelijke deel van het Amsterdam Rijnkanaal. Deze factsheet beschrijft de wateren die in open verbinding staan met water aan de landzijde van de sluizen bij IJmuiden. Dit watersysteem omvat het Noordzeekanaal en het gedeelte van het Amsterdam Rijnkanaal ten noorden van de Nederrijn-Lek, en wordt in deze bijlage het NZK/ARK watersysteem genoemd.

De doelen van het waterbeheer van het NZK/ARK watersysteem zijn (Rijkswaterstaat Noord-Holland, 2004):

- Afvoeren van overtollig water.
- Het zoveel mogelijk handhaven van het streefpeil van -0,4 m t.o.v. NAP met een bandbreedte tussen -0,55 en -0,3 m t.o.v. NAP.
- Doorspoelen van het Markermeer.
- Handhaven van een minimum debiet van 10 m³/s op het Amsterdam Rijnkanaal (noordwaarts gericht) ter voorkoming van zoutindringing. Enkele richtlijnen voor de zoutconcentratie zijn:
 - De KRW-richtwaarde op het Amsterdam Rijnkanaal is 300 mg/l gemiddeld over het zomerhalfjaar.
 - Bij het drinkwaterinnamepunt Nieuwersluis is de norm 150 mg/l gemiddeld over het jaar.
 - Er is geen enkele richtlijn of norm die een momentaan maximum stelt.

Het Amsterdam Rijnkanaal ten zuiden van de Nederrijn-Lek wordt niet beschouwd in deze factsheet, omdat het wordt afgegrensd door sluizen. Om dezelfde reden worden de Vecht, de Nederrijn en de Lek ook niet tot het beschouwde watersysteem gerekend. Het Buiten-IJ en Markermeer worden ook niet tot het beschouwde watersysteem gerekend, hoewel onder sommige condities water met een verhoogd zoutgehalte bij Schellingwoude op deze meren terecht kan komen.

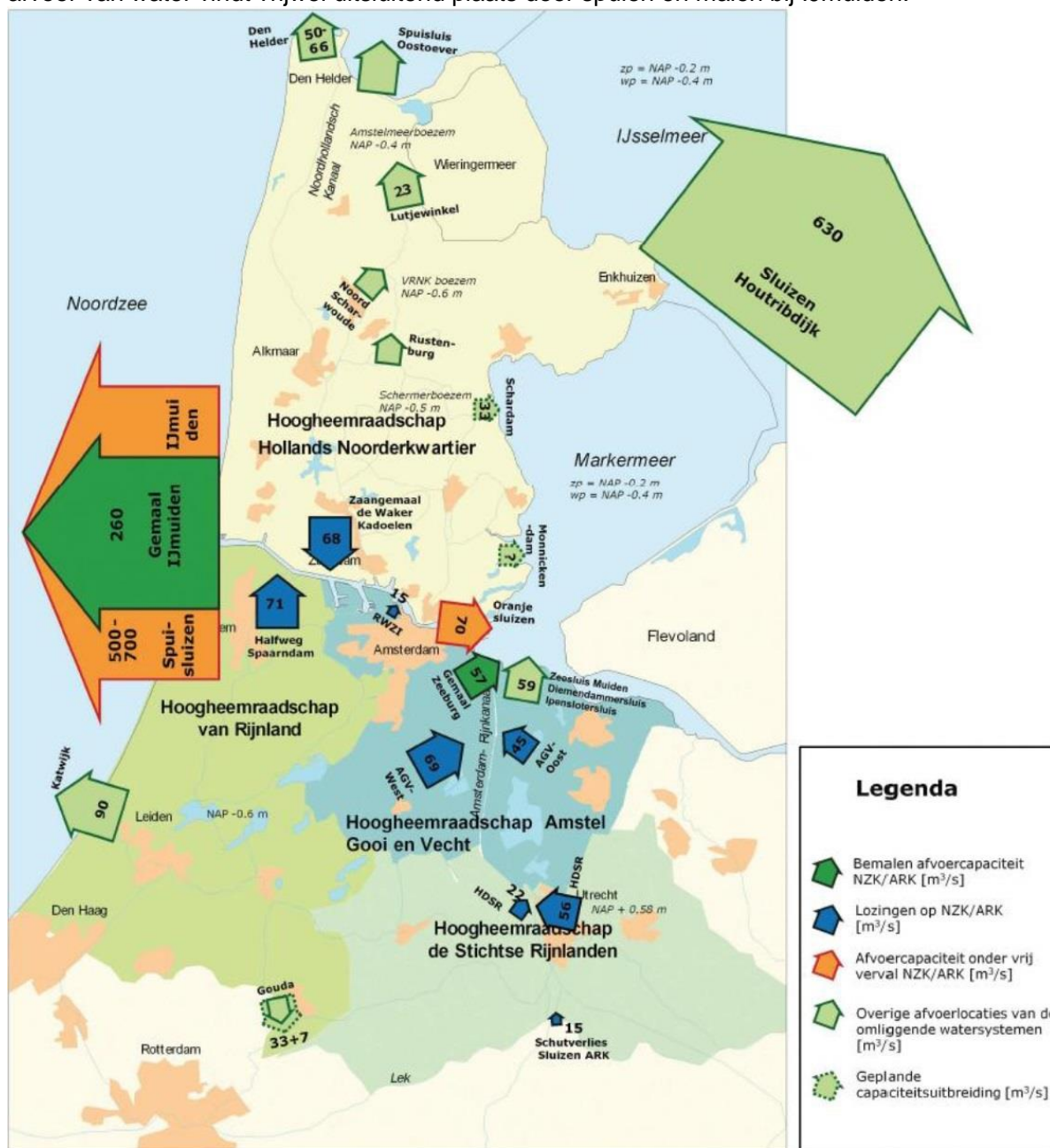
A.1.2 Gebiedsbeschrijving

Het NZK/ARK watersysteem is langgerekt. Het bestaat uit het Noordzeekanaal van 28 km, wat is verbonden bij het IJ met het 60 km lange Amsterdam Rijnkanaal. Het Noordzeekanaal is 170-270 m breed over grote gedeelten en is breder bij het sluiscomplex van IJmuiden, bij het IJ en bij verschillende grotere havens gelegen aan de westkant van Amsterdam. Het Amsterdam Rijnkanaal is 100-120 m breed en 6 m diep. Sinds 2014 is de vernauwing in de aan de noordkant van het Amsterdam Rijnkanaal bij Zeeburg weggehaald (km 1,5 op het Amsterdam Rijnkanaal). De diepte in de eerste 22 km van het Noordzeekanaal vanaf IJmuiden is ongeveer 15 m en vervolgens voor 5 km 11 m.

Dit watersysteem NZK/ARK kan worden gezien als een grote bak water omringd door sluizen. Er zijn geen open verbindingen met rivieren of de zee. In het ARK wordt oppervlaktewater gewonnen waar drinkwater van gemaakt wordt en wordt bij droogte water ingelaten voor de

regionale watersystemen (o.a. voor de landbouw). Dit zijn redenen dat de aanvoer van zoet water voldoende groot moet zijn.

Op verschillende locaties wordt water aangevoerd naar het NZK/ARK watersysteem. In totaal grenzen meer dan 100 gemalen, molens, sluisen en lozingen van rioolwaterzuiveringen aan het NZK/ARK watersysteem (Haskoning, 2005). De belangrijkste aanvoerlocaties worden getoond in Figuur A.1. De grootste aanvoer van zoetwater vindt plaats aan de zuidkant van het watersysteem in het Amsterdam Rijnkanaal bij de Irenesluizen (bij Wijk bij Duurstede). De afvoer van water vindt vrijwel uitsluitend plaats door spuien en malen bij IJmuiden.



Figuur A.1 Overzicht van de bemalen afvoercapaciteit, aanvoer door lozingen en afvoer onder vrij verval voor de belangrijkste kunstwerken van het NZK/ARK watersysteem; Pijlen geven niet altijd de actuele afvoercapaciteit weer. Ook worden afvoerlocaties van omliggende watersystemen getoond (Bron: RWS-WNN).

Het oppervlak van het NZK/ARK watersysteem is ongeveer 39 km² en de inhoud 320 miljoen m³ (Rijkswaterstaat Noord-Holland, 2004). Jaargemiddelde aanvoer van water ligt in het bereik 80-100 m³/s (Haskoning, 2005; Arcadis, 2014). Dit volume en een dergelijke aanvoer van water betekent dat het gehele NZK/ARK watersysteem in ongeveer 40 dagen verversd kan worden. Naar verwachting is deze verversingstijd langer voor het zoute water wat binnendringt bij IJmuiden en korter voor het zoetere water afkomstig uit het ARK. Het zoetere water blijft grotendeels in de bovenlaag, waaruit wordt gespuid bij IJmuiden.

De laatste jaren zijn er enkele veranderingen geweest in het NZK/ARK watersysteem. Een belangrijke is het weghalen van het sluiseland bij Zeeburg en de drempel bij dit sluiseland, welke zijn voltooid in 2014. Deze ingreep bij het begin van het Amsterdam Rijnkanaal biedt voordelen voor de scheepvaart, maar heeft een verhoging van zoutgehalten in het Amsterdam Rijnkanaal tot gevolg (HKV, 2015). Voor deze factsheet wordt de huidige situatie beschreven, wat betekent zonder sluiseland en drempel.

A.1.3 Systeemgedrag

A.1.3.1 Forceringen

Getij en wind

Getij is afwezig in het NZK/ARK watersysteem. Getij beïnvloedt wel de hoeveelheid water die kan worden afgevoerd bij IJmuiden, doordat bij hoogwater of zee niet gespuid kan worden. Ook is het waterstandsverschil in de sluizen bij IJmuiden groter bij hoogwater op zee, waardoor het water in de sluisenkolk zouter is. Dit water wisselt uit met zoeter water uit het Noordzeekanaal en zorgt dus voor een grotere zoutlast.

Wind kan zorgen voor een windgedreven stroming. Deze stroming zal net als een verhanggedreven stroming ook een verticale component hebben, waardoor de waterkolom wordt gemengd. In dit langgerekte en rechte watersysteem kan de wind voor een aanzienlijke opzet zorgen.

Menging door scheepvaart

Scheepvaart is intensief in het NZK/ARK watersysteem en zorgt voor menging van de waterkolom. Een schip verplaatst water door de voortstuwing (schroefstraal) en door het verplaatsen van het schip. Beide veroorzaken verticale stromingen, waarmee water uit diepere lagen met mogelijk een hoger zoutgehalte uitwisselt met water van nabij het wateroppervlak. Karelse en Van Gils (1991) hebben schattingen gemaakt van de energie die schepen leveren voor de menging. Voor dit watersysteem vinden zij dat de menging door schepen een orde groter is dan door wind of stroming.

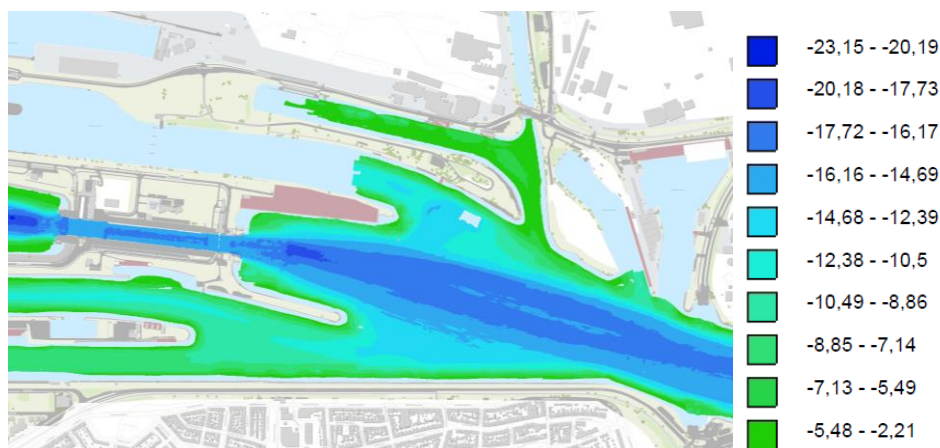
Verdamping en neerslag

Verdamping en neerslag binnen het NZK/ARK watersysteem hebben een klein direct effect op de hoeveelheid water in het NZK/ARK watersysteem, aangezien het oppervlakte beperkt is. Neerslag en verdamping die optreden buiten het NZK/ARK watersysteem hebben indirect een groter effect op de waterkwantiteit en -kwaliteit doordat bij aanhoudende regen de gemalen uit het omringende polderlandschap water gaan lozen op het NZK/ARK watersysteem.

Lozingen, onttrekkingen en uitwisseling bij sluizen

De water- en zoutbeweging in het NZK/ARK watersysteem wordt voor een groot deel bepaald door meer dan 100 lozingen, onttrekkingen en uitwisselingen bij sluizen. Het is bekend dat de waterbalans van het systeem niet klopt. Volgens de balans stroomt er meer water uit het systeem dan erin komt. Door deze 'sluitfout' van 15-20% bestaat er een flinke onzekerheid rond alle getallen van aan- en afvoer.

Onder normale omstandigheden wordt er vrijwel uitsluitend geloosd op het NZK/ARK watersysteem en is er dus sprake van aanvoer naar het watersysteem. Vooral in de zomer na een periode met weinig neerslag is het nodig om water in te laten naar de polders en is er dus sprake van afvoer uit het NZK/ARK watersysteem. De omstandigheden wanneer water wordt afgevoerd zijn tijdens normale en ernstigere droogte, tijdens regionale waterschaarste of wanneer Kleinschalige Wateraanvoer (KWA) in werking treedt. Over de typische duur van de afvoer van water uit het NZK/ARK watersysteem onder deze omstandigheden is weinig bekend (HKV, 2015).



Figuur A.2 Bodemligging binnen-voorhaven (m t.o.v. NAP) bij de sluizen van IJmuiden met de vaargeul naar de Noordersluis duidelijk zichtbaar.

Bij de sluizen van IJmuiden vindt uitwisseling van water plaats in de 4 schutsluizen, wordt er gespuid met behulp van een spuisluis en wordt er gemaald. De uitwisseling van water is het grootst in de Noordersluis, omdat de afmetingen het grootst zijn (Tabel A.1). Het spuien vindt plaats in de spuisluis op een hoogte van ongeveer -5 m t.o.v. NAP. Het maximale spuidebiet is 500-700 m³/s (Figuur A.5). Om zoutindringing via de spuisluizen te voorkomen, wordt er alleen gespuid wanneer de waterstand 8-12 cm hoger is dan in de buitenhaven. Onder normale omstandigheden kan slechts ongeveer 3 uur per getijperiode worden gespuid. Het malen vindt juist plaats wanneer de waterstand in het kanaal lager is dan het waterpeil in de buitenhaven. Alleen in deze periode mogen de pompen worden gebruikt. De as van de zes spuiokers met een diameter van 3,94 m bevindt zich op -4,5 m t.o.v. NAP (Arcadis, 2011). Het maximale maaldebiet is 260 m³/s.

Tabel A.1 Kenmerken verschillende sluiskolken bij IJmuiden (inclusief de geplande sluis die de Noordersluis moet gaan vervangen).

Sluiskolk	Lengte (m)	Breedte (m)	Diepte (m +NAP)
Noordersluis (nieuw)	400 (550)	50 (70)	15 (18)
Middensluis	225	25	10
Zuidersluis	111	18	8
Kleine sluis	70	12	5

Rond 2019 zal een nieuwe sluis worden gebouwd die de Noordersluis bij IJmuiden vervangt (Tabel A.1). Door de grotere diepte en het grotere volume zal er meer water worden uitgewisseld tussen de sluiskolk en het Noordzeekanaal. De sluisuitbreiding zal de forcering van het NZK/ARK watersysteem veranderen, welke nog zal afhangen van de hoeveelheid schuttingen per dag en de lengte dat de sluisdeuren open staan. Wanneer er geen maatregelen worden genomen, zal de zoutindringing toenemen.

Om dit te voorkomen, worden mogelijk mitigerende maatregelen genomen. Voor de mitigerende maatregelen wordt gedacht aan selectieve onttrekkingen, waarmee water van nabij de bodem wordt onttrokken zodat het zoutgehalte van het gespuide water zo hoog mogelijk is (Bijlsma en Weiler, 2015). Andere zoutbeperkende maatregelen zijn het plaatsen van een bellenscherm en het plaatsen van een drempel, waarmee het binnendringende zoute water bij de bodem wordt tegengehouden. In deze systeembeschrijving wordt in het vervolg alleen de huidige situatie beschreven.

Het sluizencomplex bij Schellingwoude bestaat uit drie kleinere sluisen bedoeld voor kleine beroepsvaart en pleziervaart (Oranjesluisen), een grote sluis voor de binnenvaart (Prins Willem-Alexander sluis), twee voormalige maalgangen die ooit deel uitmaakten van het stoomgemaal en twee vispassages. Er wordt water ingelaten via een inlaatsluis, via maalgangen, via het schutten en via vispassages. De in 1995 toegevoegde Prins Willem-Alexandersluis heeft een kolk van 24 bij 200 meter.

Het waterbeheer in de zomer is er op gericht om te voorkomen dat te veel verzilt water van het IJ naar het Buiten-IJ en Markermeer stroomt. In de zomer heeft het Markermeer de functie van zoetwaterbron voor de landbouw. De waterstand is dan ongeveer -0,2 m t.o.v. NAP, waardoor er onder natuurlijk verval water ingelaten kan worden vanuit het Buiten-IJ. In de winter is het streefpeil van het Buiten-IJ en Markermeer hetzelfde als voor het NZK/ARK watersysteem, waardoor inlaten vanaf het Buiten-IJ wordt bemoeilijkt. In deze periode komen er zoutpulsen uit het Noordeekanaal in het Markermeer, welke in het voorjaar bij het opzetten van het Markermeerpeil weer worden weg gespoeld.

De prinses Beatrixsluisen bestaan uit twee sluiskolken. Beide kolken hebben een lengte van 225 m en een breedte van 18 m. Er wordt water ingelaten via een waterinlaatsysteem en via het schutten. De capaciteit exclusief schutten is 14 m³/s (Haskoning, 2005).

De prinses Irenesluisen bestaan uit een oostelijke kolk met een lengte van 260 m en een breedte van 24 m, en een westelijke kolk met een lengte van 350 m en een breedte van 18 m. Bij ieder van deze sluiskolken kan het inlaten van 10 m³/s worden gecombineerd met het schutten van de scheepvaart, waarmee in totaal 20 m³/s kan worden ingelaten zonder stremmingen voor de scheepvaart te veroorzaken. Vanwege het grote verval tussen de Lek en het Amsterdam Rijnkanaal ter hoogte van de sluisen, wordt een belangrijk deel van deze inlaat gerealiseerd door het schutten (HKV, 2015).

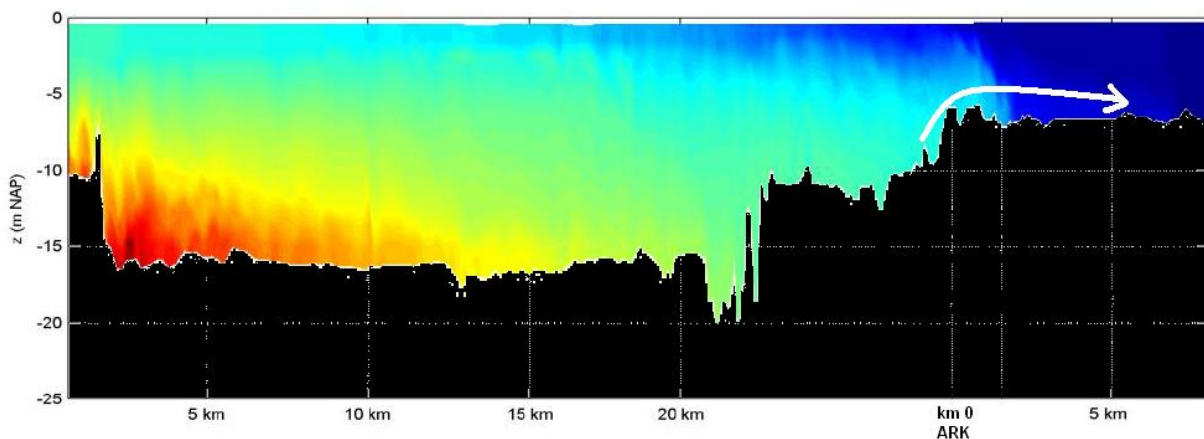
Door een sluis voor de scheepvaart te sluiten is het fysiek mogelijk om met de huidige sluisen 50-55 m³/s in te laten (Hydrologic, 2013). Momenteel wordt alternatieven onderzocht zodat meer water ingelaten kan worden en hinder voor de scheepvaart beperkt blijft.

A.1.3.2 Waterverdeling

Laag en hoog debiet in Amsterdam Rijnkanaal

In het langgerekte en aaneengesloten NZK/ARK watersysteem bepalen voornamelijk de lozing en onttrekkingen het gedrag. De lozingen en onttrekkingen worden bepaald door het gevolgde waterbeheer. Vooral in zomerperioden met een laag debiet op het Amsterdam Rijnkanaal worden keuzen gemaakt over de verdeling van zoetwater, zoals hoeveel water wordt ingelaten op het ARK/NZK watersysteem bij de Irenesluizen en hoeveel onttrokken mag worden door waterschappen.

Onder normale omstandigheden is zoetwaterafvoer door het Amsterdam Rijnkanaal substantieel (hoger dan het jaargemiddelde van 37,5 m³/s). Onder deze omstandigheden is er normaliter geen sprake van zoutindringing in het Amsterdam Rijnkanaal: het zoutgehalte in het Amsterdam Rijnkanaal is laag (Figuur A.3). Een verklaring hiervoor is dat de stuwdruk van het debiet voldoende groot is om zoutindringing te voorkomen. De stuwdruk is evenredig met het kwadraat van de stroomsnelheid. Omdat de stroomsnelheid bij Zeeburg is gehalveerd doordat de breedte is toegenomen door het verwijderen van het sluisseiland in 2014, is de stuwdruk met 75% afgenomen. Aangezien de stuwdruk op deze locatie eerder maximaal was, kan het verwijderen van het sluisseiland een substantieel effect gehad hebben op de zoutindringing in het Amsterdam Rijnkanaal (HKV, 2015).



Figuur A.3 Zoutindringing vanuit het Noordzeekanaal naar het Amsterdam-Rijnkanaal en de verondieping ter hoogte van km 0 bij Amsterdam. Zeeburg ligt bij km 1,5. Rood is een hoog zoutgehalte en donkerblauw is een zoutgehalte van 0 psu.

Bij een aanhoudend laag debiet op het Amsterdam Rijnkanaal kan zout het Amsterdam Rijnkanaal binnen dringen. Om dit te voorkomen is in het waterakkoord opgenomen dat een minimum daggemiddeld debiet bij Weesp van 10 m³/s wordt gehandhaafd. Dit debiet blijkt ruim onvoldoende om de zoutindringing te voorkomen, tenzij het als minimaal gemiddelde over een langere periode wordt gehanteerd. In de praktijk is een weekgemiddeld debiet zo laag als 10 m³/s niet voorgekomen in 2006-2013, zelfs niet in perioden met lage Rijnafvoer (Hydrologic, 2013). Wanneer zout te ver oprukt, is een beheersmaatregel dat het inlaatdebiet bij de Irenesluizen wordt verhoogd. Deze beheersmaatregel is bijvoorbeeld eind 2014, eind 2015 en juni 2016 toegepast.

Dagelijkse variatie

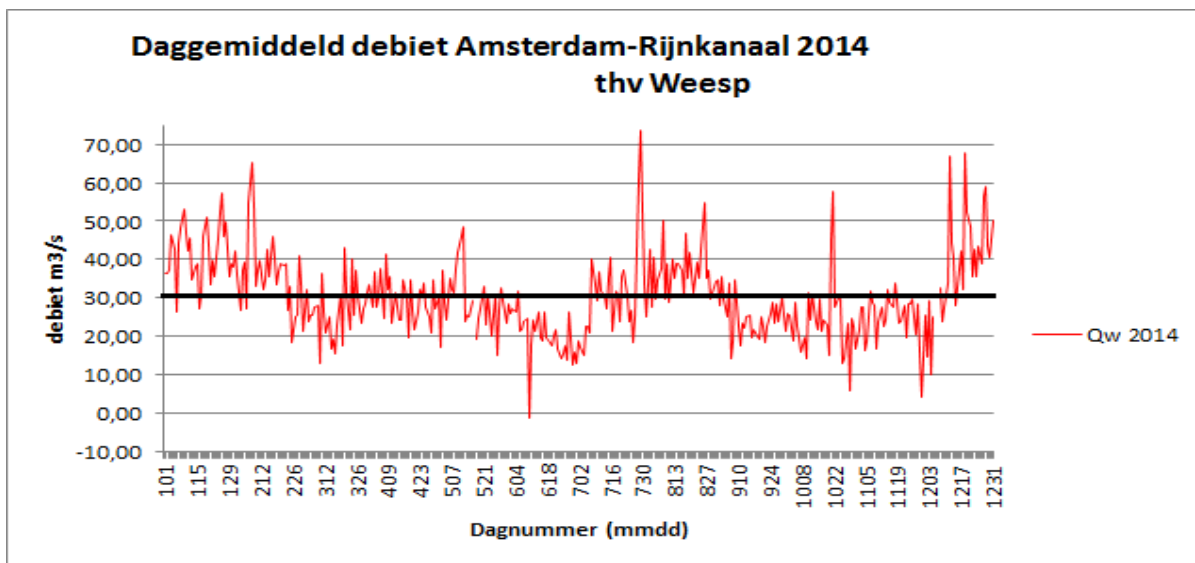
Binnen een dag kunnen er schommelingen in waterstand en stromingsrichting optreden in het NZK/ARK watersysteem, vooral door de variatie tussen wel en niet spuien. Typisch daalt de waterstand in de spuiperiode van enkele uren met 10 cm (Karelse en van Gils, 1991). Ook het aan en uit schakelen van de gemalen en het openen van de kolkdeuren waarna zoet en zout water uitwisselt leveren schokken op in het systeem. Deze schokken kunnen zich verplaatsen in het NZK/ARK watersysteem en zijn zichtbaar in de waterbeweging, waardoor waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting in korte tijd kunnen veranderen.

Het debiet kan lokaal variëren van 0 tot 500 m³/s, nadat er een aantal uur niet is gespuid. De variatie in debiet werkt door tot in het ARK, waar de stroomrichting soms kan omdraaien richting Nederrijn-Lek. Gezien de relatief grote dwarsdoorsnede zijn de dieptegemiddelde stroomsnelheden veroorzaakt door het spuien klein (rond 0,1 m/s). Dichtbij grote lozingen en onttrekkingen kan de stroomsnelheid lokaal een stuk hoger zijn.

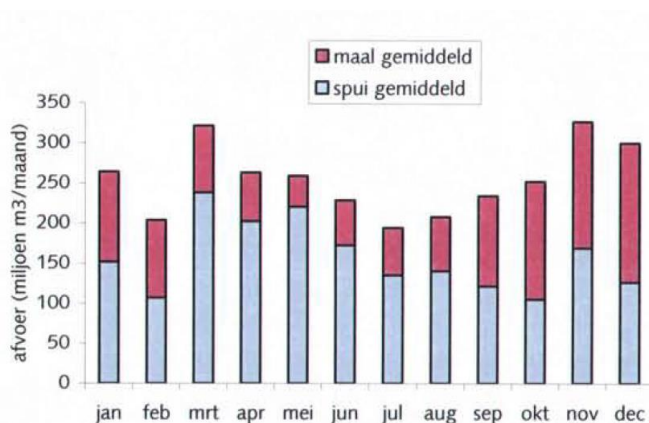
Maandelijks variatie

Het daggemiddeld debiet in het Amsterdam Rijnkanaal varieert behoorlijk. Figuur A.4 toont het verloop van het daggemiddeld debiet in 2014 (Rijkswaterstaat, 2015). Het debiet varieert tussen -1 en 75 m³/s en onderschrijdt slechts een enkele dag de 10 m³/s uit het waterakkoord. In mei tot en met juli is het debiet lager dan het jaargemiddelde debiet van 30 m³/s, terwijl in januari, februari en december het debiet gemiddeld hoger ligt. In december wordt dit verklaard door een beheermaatregel om het zout in het Amsterdam Rijnkanaal terug te dringen. Met een jaargemiddeld debiet van 30,4 m³/s was het debiet in 2014 lager dan het tienjarig gemiddelde van 37,5 m³/s.

Maandelijks varieert het gedrag met onder andere de variatie van de neerslagoverschotten, welke via het NZK/ARK watersysteem worden afgevoerd naar zee. De maandelijks variatie van het spuien en malen bij IJmuiden worden getoond in Figuur A.5. Uit deze figuur blijkt dat het meeste water wordt geloosd door spuien en dat er in de zomer minder wordt gespuid en gemaal.



Figuur A.4 Debiet in het Amsterdam Rijnkanaal ter hoogte van Weesp van 1 januari tot en met 31 december 2014; De zwarte lijn geeft het jaargemiddelde debiet aan voor 2014.

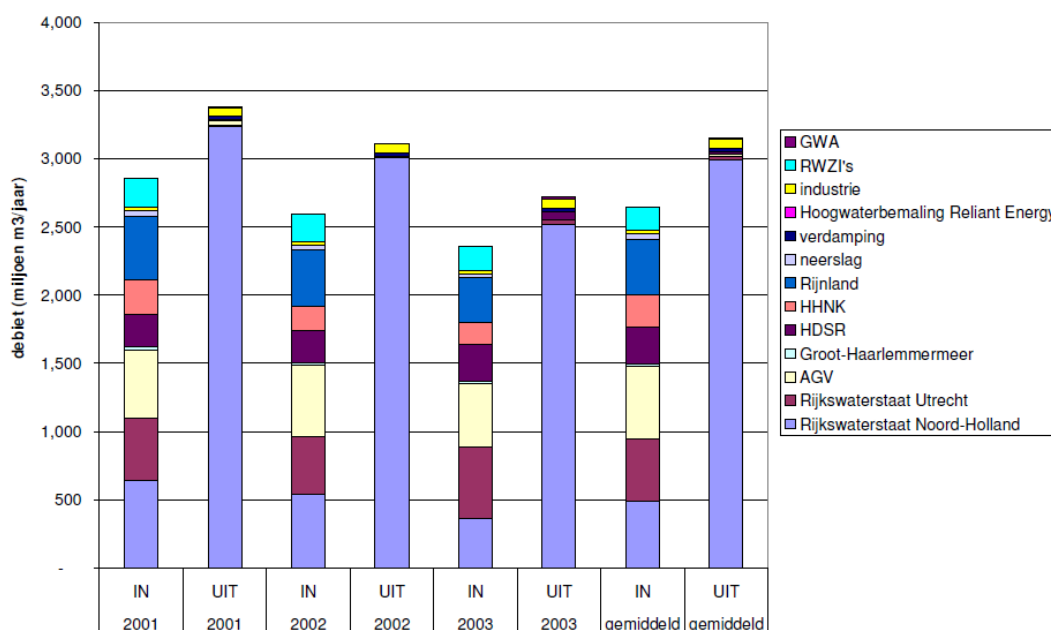


Figuur A.5 Afvoer per maand door malen en spuien bij IJmuiden, gemiddeld over de jaren 1998-2000 (Haskoning, 2005).

Jaarlijkse variatie

Jaarlijks is er ook variatie in afvoer. Figuur A.6 toont de bijdragen aan debiet voor de jaren 2001-2003 voor de toenmalige beheersgebieden. In 2003 is de gemaalcapaciteit vergroot van 160 naar 260 m³/s. Om deze reden en omdat het beheer is veranderd, is ook de meest recente waterbalans van 2012 opgenomen (Tabel A.2). Sinds 2013 is er geen waterbalans meer opgesteld.

Zoals eerder gesteld, verlaat vrijwel al het water het NZK/ARK watersysteem bij IJmuiden (spui- en maaldebiet). De inlaten zijn bij elkaar opgeteld voor ieder beheergebied. De rioolwaterzuiveringen, verdamping en neerslag zijn in de figuur en tabel weergegeven als een post over het hele NZK/ARK watersysteem. Alleen de bijdrage van de rioolwaterzuiveringen is wezenlijk. De belangrijkste inlaten per gebied staan genoemd in het bijschrift bij de figuur.



Figuur A.6 Verdeling in- en uitdebiet op jaarbasis in miljoen m³/jaar; GWA= Gemeentelijke Waterleiding Amsterdam, RWZI's= Rioolwaterzuiveringen, Rijnland (grootste lozingen: gemaal Halfweg en Spaarndam), HHNK = Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (grootste lozingen: Zaangemaal en Kadoelen), HDSR= hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden en Groot-Haarlemmermeer (grootste lozing: spuisluis Oog in Al), AGV= Amstel, Gooi en Vecht (grootste lozing: Zeeburg), Rijkswaterstaat Utrecht (grootste inlaten: Irenesluis en Beatrixsluis) en Rijkswaterstaat Noord-Holland (grootste debieten: spuien en malen bij IJmuiden en de inlaatsluis bij Schellingwoude). Bron: Haskoning, 2005.

Tabel A.2 Waterbalans posten in en uit het NZK/ARK watersysteem voor 2012 (Grontmij, 2013)

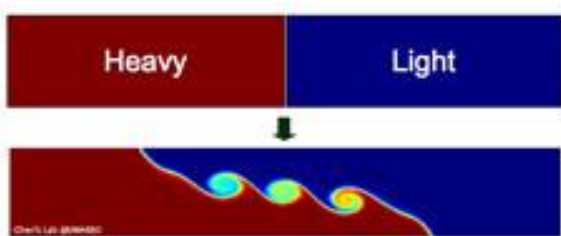
	In	Uit
AGV	307,3	-7,1
HDSR	418,1	-25,6
HHNK	269,7	-4,9
Industrie	0,5	0,0
Neerslag	37,0	0,0
RWS-MN	671,2	0,0
RWS-WNN	308,6	-2.943,0
RWZI	193,3	0,0
Verdamping	0,0	-28,3
Berging	125,0	-120,8
Totaal	2.793,5	3.132,3

Ook laten Figuur A.6 en Tabel A.2 zien dat er een sluitfout zit in de waterbalans. Er wordt gemiddeld 15-20 % (12% in 2012) meer water uitgelaten bij IJmuiden dan er het NZK/ARK watersysteem in komt. Deze sluitfout wordt nog altijd waargenomen en is nog niet volledig verklaard. Het vermoeden bestaat dat deze sluitfout wordt veroorzaakt doordat een te hoog spui- en maaldebiet wordt verondersteld op basis van de langjarige waterstandsmetingen rond IJmuiden. Er wordt hier gekozen om het debiet uit het NZK/ARK watersysteem met 15-20 % te verlagen om te waterbalans sluitend te krijgen.

Met deze verlaging bedraagt het totale debiet uit gemiddeld over 2001-2003 85 m³/s. Voor recentere jaren is dit debiet waarschijnlijk lager.

A.1.3.3 Zoutindringing Algemeen

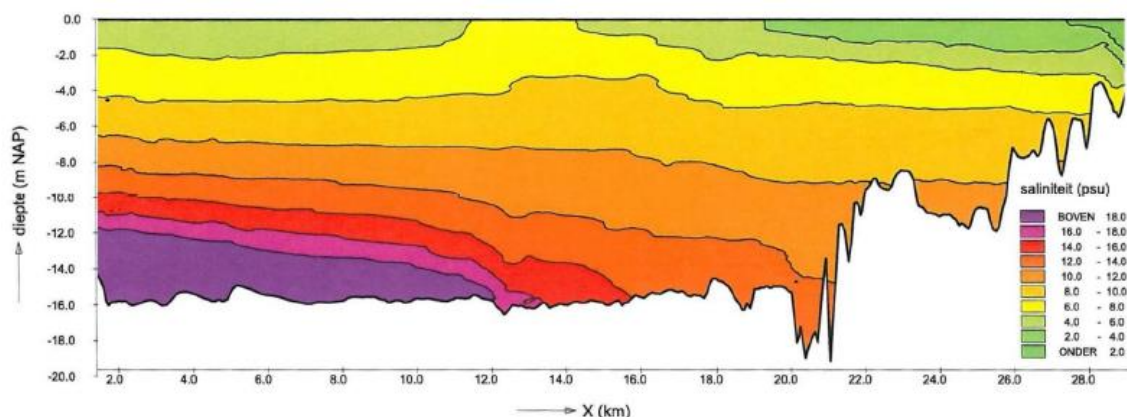
Elke keer dat aan de zeezijde van de sluisen bij IJmuiden de sluisdeuren worden geopend, stroomt het zwaardere zeewater uit de buitenhaven naar de sluisenkolk in de onderlaag en stroomt het lichtere brakke water aan de bovenkant naar zee (Figuur A.7). Bij opening van de sluisdeuren aan de binnenzijde stroomt het zwaardere zeewater langs de kanaalbodem richting Amsterdam, waarbij het wordt vervangen door zoeter water uit de bovenlaag. Door het regelmatig schutten (Noordersluis ongeveer 10 keer per dag) ontstaat er een constante stroom zout water bij de kanaalbodem landinwaarts.



Figuur A.7 Zout water links van de sluisdeur (boven) stroomt de sluisenkolk binnen na opening van de sluisdeur (onder)

Het zout dat binnenkomt dringt het NZK/ARK watersysteem verder binnen als gevolg van diffusie (streven naar gelijke zoutconcentratie) en gravitationele circulatie (water met hoog zoutgehalte stroomt in de onderste laag landinwaarts en zoeter water stroomt in de bovenste laag zeewaarts). Door menging wordt zout naar hogere lagen getransporteerd. Door de netto stroming zeewaarts wordt zout afgevoerd. Wanneer zout wat binnenkomt op 10-15 m diepte het systeem verlaat bij het spuien op een diepte van 5 m moet het zijn gemengd met zoeter water dat wordt aangevoerd.

In vergelijking met de Rijn- en Maasmonding rond Rotterdam is de menging van de waterkolom door stroming klein, vooral door de afwezigheid van getij in het NZK/ARK watersysteem. Scheepvaart zorgt voor meer menging dan stroming en wind (Karelse en Van Gils, 1991). Het resultaat van de balans tussen menging en de gravitationele circulatie en diffusie is een gelaagd systeem. In diepere delen van het Noordzeekanaal kan de saliniteit bij het oppervlak en bij de bodem 15 psu verschillen. Figuur A.8 geeft een voorbeeld van het zoutgehalte in het Noordzeekanaal op een moment na een periode met een laag debiet op het Amsterdam Rijnkanaal. De grootste zoutgehalten zijn te vinden op dieptes van meer dan 8 m. Het zoutgehalte in het Amsterdam Rijnkanaal kan oplopen tot 4-8 psu.



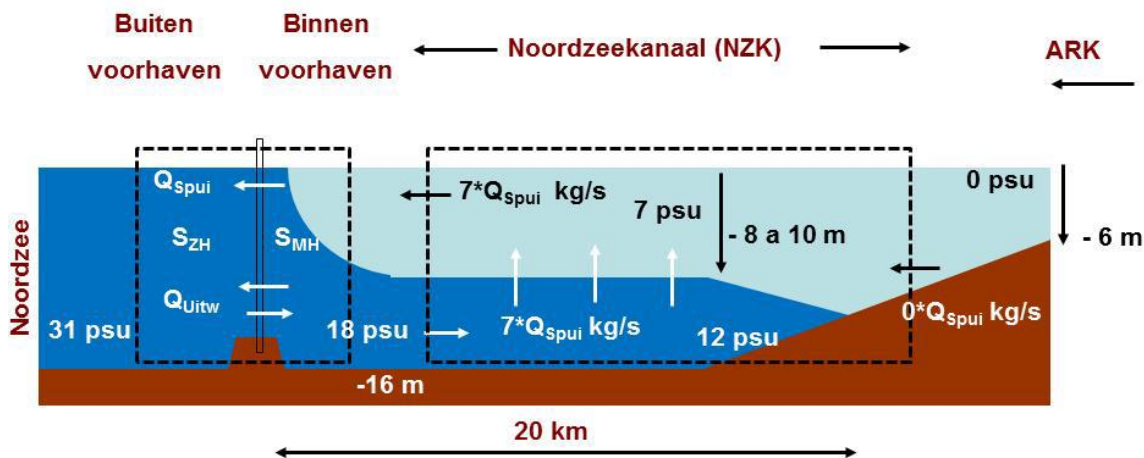
Figuur A.8 Voorbeeld van saliniteit (psu) in februari 2011 langs de as van het Noordzeekanaal; Het Noordzeekanaal gaat over in het Amsterdam Rijnkanaal bij km 28.

Vanwege de lage stroomsnelheden kan het NZK/ARK watersysteem getypeerd worden als zwak dynamisch. Dat wil zeggen dat het lang (orde maanden) duurt voordat het systeem is aangepast op een nieuwe situatie. De voorgeschiedenis bepaalt dus voor een groot deel de zoutgehalten in het NZK/ARK watersysteem. Ondanks de dagelijkse variaties van waterstand en debiet en de pulsen van zout die bij een schutting het systeem binnen komen, verandert het zoutgehalte slechts langzaam. Om deze reden begint zoutindringing pas na een periode van enkele weken tot maanden met een laag doorspoeldebiet op het ARK een probleem te worden. Alleen na een dergelijke periode heeft het zoutfront de monding van het ARK bereikt.

Zouttransporten

Sinds het sluseiland en de drempel bij Zeeburg zijn weg gehaald, geeft het vaste meetpunt bij Diemen (km 3,8 op een hoogte van -1,4 m t.o.v. NAP) vaker hoge zoutgehalten aan. Vanaf eind 2014 zijn hoge pieken van 500 mg/l chloride (0,9 psu) gemeten en een uitschieter van 1700 mg/l chloride (3,1 psu) in december 2014 (Rijkswaterstaat, 2015). Daarna zijn hogere waarden gemeten (Arjen Kikkert). Deze pieken worden grotendeels veroorzaakt door het verkleinen van het doorstroomoppervlak op deze locatie.

Het zout in het NZK/ARK watersysteem komt vrijwel geheel binnen bij het sluzencomplex van IJmuiden. Om te begrijpen hoe onder verschillende omstandigheden zout binnenkomt en hoe de concentraties verschillen, hebben Weiler en Uittenbogaard (2014) een conceptueel model opgesteld, zie Figuur A.9.



Figuur A.9 Conceptueel model van de zoutvrachten naar en uit het Noordzeekanaal

Dit conceptuele model bevat de volgende uitgangspunten, van rechts naar links:

- Het debiet dat het Noordzeekanaal in stroomt wordt gelijk gesteld aan het debiet dat (jaargemiddeld) het kanaal verlaat via de spuisluizen en gemalen, namelijk $91 \text{ m}^3/\text{s}$ (dit aangenomen debiet is groter dan hierboven genoemd, wat de onzekerheid van dit getal door de sluitfout van de waterbalans weergeeft);
- Dit instromende water heeft een aangenomen zoutgehalte van 0 psu;
- Over de lengte van het Noordzeekanaal vindt transport plaats van zout uit de onderlaag naar de bovenlaag als gevolg van (o.a.) menging door scheepvaart;
- Het zoutgehalte in de binnenvoorhaven, ter plaatse van het sluiscomplex, is ca. 7 psu in de bovenlaag en ca. 18 psu in de onderlaag (dit laatste getal is voor de berekening straks van minder groot belang)
- Over het sluiscomplex zijn twee soorten debieten:
 - Het spui- en maaldebiet van $91 \text{ m}^3/\text{s}$ jaargemiddeld;
 - Het uitwisselingsdebiet door de schutkolken; hiermee wordt wel zout getransporteerd naar het Noordzeekanaal, maar netto geen water;
- In de buitenvoorhaven, net buiten de sluisen, bedraagt het zoutgehalte 27 psu;
- Het zoutgehalte op de Noordzee er hoogte van IJmuiden bedraagt 31 psu.

In dit model wordt het schutdebiet verwaarloosd. Dit debiet, het gevolg van de nivelleerstromingen tussen de kolken en de voorhavens, bedraagt netto circa $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ vanuit de buiten- naar de binnenvorhavens en dit is klein ten opzichte van het jaargemiddelde debiet van $91 \text{ m}^3/\text{s}$. Ook is het schutvolume (de schutshijf) slechts ongeveer 3% van het uitwisselingsvolume (Arcadis, 2014). De invloed op zouttransport van het schutdebiet is klein ten opzichte van de debieten die wel zijn opgenomen in het conceptuele model.

Vooral de uitwisselingsdebieten in de sluisgolven zijn dus verantwoordelijk voor het zouttransport van zee naar het Noordzeekanaal. Met de aangenomen zoutgehalten, volumes van de schutsluisen en het aantal schuttingen per dag kunnen de uitwisselingsdebieten en de zoutvolumes worden bepaald, zie Tabel A.3.

Tabel A.3 Karakteristieken van de sluiscolken bij IJmuiden en geschatte zoutlek op basis van het beschreven conceptuele model, inclusief de geplande nieuwe Noordersluis

	Volume (1000 m ³)	Zout per schutting (ton)	Schuttingen per dag (-)	Uitwisselingsdebiet (m ³ /s)	Zoutlek (kg/s)
Noordersluis	300	5651	10,4	34,0	680
Middensluis	56	1174	12,4	8,4	168
Zuidersluis	16	367	18,4	3,9	78
Kleine sluis	5	116	10,7	0,7	14

Zoutbalans

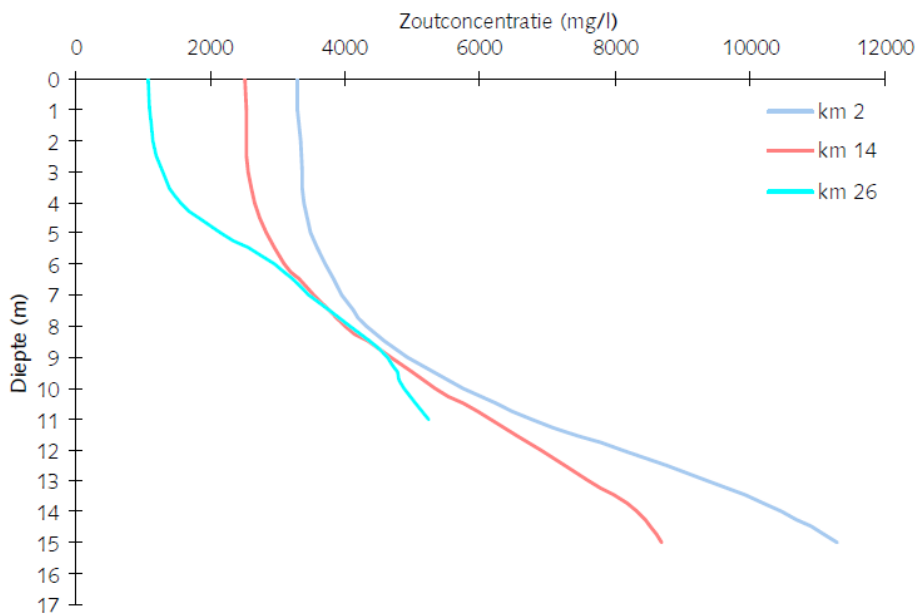
In de huidige situatie wordt er kennelijk volgens de aannamen in het conceptuele model door de verschillende sluisen samen een hoeveelheid zout van 940 kg/s getransporteerd van buiten naar binnen. Het Noordzeekanaal wordt niet jaarlijks zouter, dus nemen we aan dat eenzelfde hoeveelheid zout jaargemiddeld wordt afgevoerd naar zee. Met het jaargemiddelde spui- en maaldebiet van 91 m³/s wordt, voor de evenwichtssituatie, ditzelfde zout weer afgevoerd, waaruit dan een gemiddeld zoutgehalte van het gespuide en gemaalde water volgt van 10,2 psu.

De verzamelde gegevens en relaties maken het ook mogelijk te bekijken wat er gebeurt als er een dag niet gespuid wordt, bijvoorbeeld omdat er een tekort is aan zoetwater. Met een zoutlek van 940 kg/s zou het Noordzeekanaal als geheel (250m breed, 16 m diep, 20 km lang) per dag ongeveer 1 psu zouter worden. Als we het zout toevoegen aan de onderlaag van het Noordzeekanaal (8m dik, 250m breed, 20 km lang) en we de zoutgehalten in de beide lagen gelijk houden (18 psu in de onderlaag en 7 psu in de bovenlaag) zou de onderlaag per dag ongeveer 1,5 m dikker worden. Dit maakt duidelijk dat het in de huidige situatie noodzakelijk is om dagelijks te spuien en uit te malen om het zoutgehalte te beheersen. Het maakt ook duidelijk dat de werkelijke zoutgehalten sterk kunnen variëren afhankelijk van de voorgeschiedenis in de voorgaande dagen, zoals door het aantal schuttingen per dag en de tijd dat er gespuid werd.

Zeespiegelstijging van 0,85 m geeft volgens berekeningen een 8% hogere zoutlek dan in de huidige situatie (Weiler en Uittenbogaard, 2014).

Variatie langs de as van het NZK/ARK watersysteem

In Figuur A.10 worden zoutprofielen drie locaties in het Noordzeekanaal vergeleken. Op km 2 is de zoutconcentratie het hoogst. Door menging met zoet water is het zoutgehalte bij km 14 1 g/l kleiner geworden. In het IJ (km 26) is het zoutgehalte in de bovenste 3 m gedaald naar 1 g/l, waaronder het zoutgehalte toeneemt tot vergelijkbare waarden op 7 m diepte als bij de zeewaarts gelegen locaties. In het Amsterdam Rijnkanaal is een vaste meter opgesteld bij het voormalige sluiseland Zeeburg, welke maximaal 1 g/l zout aangeeft in 2013 (Arcadis, 2014). Bij de vaartocht in augustus 2011 is na een lange periode met laag debiet in het Amsterdam Rijnkanaal een zoutprofiel gemeten van 1,5 g/l bij het oppervlak tot 3,5 g/l bij de bodem. Dit geeft aan dat er ook op het relatief ondiepe Amsterdam Rijnkanaal gelaagdheid kan optreden. De gemeten piek van 3,1 psu bij meetstation Diemen in 2014 zal dus betekenen dat het zoutgehalte bij de bodem nog hoger is.



Figuur A.10 Zoutprofielen gemiddeld over meerdere vaartochten tussen juni 1999 en juni 2001 op drie afstanden vanaf de sluisen van IJmuiden in het Noordzeekanaal (Rijkswaterstaat Noord-Holland, 2004)

Jaarlijkse variatie

In de bovenstaande analyse is geen onderscheid gemaakt tussen dagelijkse, maandelijkse of jaarlijkse variatie. Gezien het zwak dynamische karakter verandert het zoutgehalte pas aanzienlijk wanneer de aanvoer van zoet water enkele weken tot maanden laag of juist hoog is.

Karelse en Van Gils (1991) vergeleken jaren met veel aanvoer (nat; 1980) en met weinig zoetwater aanvoer (droog; 1967). Uit deze vergelijking volgt dat het zoutgehalte aan het oppervlak in het Noordzeekanaal lager is in het natte jaar. Misschien tegen de verwachting in, is het zoutgehalte bij de bodem het hoogst in het natte jaar. Blijkbaar wordt de gravitationele circulatie versterkt bij hogere zoetwateraanvoeren in het Noordzeekanaal. Waarschijnlijk betekent de hogere zoutconcentratie bij de bodem in het natte jaar niet dat er meer zoutindringing in het Amsterdam Rijnkanaal heeft plaats gevonden. Door de meer dan 2 keer kleinere diepte van het ARK en de relatief grote doorspoeldebieten in het natte jaar, en de daarmee samenhangende menging, is het onwaarschijnlijk dat het zout voorbij de monding van het ARK is gekomen in het natte jaar.

Lopende ontwikkelingen en onderzoeken

- Vervanging van de Noordersluis bij IJmuiden door een grotere sluis inclusief zoutbeperkende maatregelen (2019)
- Bypass bij de Irenesluis

B De takken van het SOBEK 3 model

Taknaam	Lange taknaam	Lengte (m)	Geometrische lengte (m)	startknoop	eindknoop
WN_CH1206	ARK8	3317	3317.2	WN_NOD58	WN_NOD59
WN_CH1273_A_A	NZK1_A_A	2144	2143.8	WN_NOD134	WN_NZK020
WN_CH1273_A_B	NZK1_A_B	443	443.0	WN_NZK020	WN_NZK021
Binnenspuikan001	NZK1_B	1694	1694.5	WN_NZK021	WN_binnenspui001
WN_CH1290_B_B	IJ1_B_B	1686	1685.6	WN_buiksloterkan001	WN_NOD159
WN_CH1291	IJ2	635	635.3	WN_NOD133	WN_Noordholkan002
WN_CH1292_A	IJ3_A	473	473.1	WN_NOD140	WN_Peerebooms003
WN_CH1292_B	IJ3_B	2300	2300.4	WN_Peerebooms003	WN_NOD133
WN_CH1365_A	Pr_Beatrrixsluis_A	402	402.5	N_ARK_1	WN_Lekkanaal001
WN_CH1365_B	Pr_Beatrrixsluis_B	2896	2896.5	WN_Lekkanaal001	WN_NOD165
WN_CH1366	ARK2	824	824.3	WN_NOD165	WN_NOD166
WN_CH1368_A_A	ARK3C_A_A	392	392.1	WN_NOD168	WN_Energiehaven1
WN_CH1368_A_B	ARK3C_A_B	528	528.1	WN_Energiehaven1	WN_Uraniumkanaal1
WN_CH1368_B	ARK3C_B	3016	3016.4	WN_Uraniumkanaal1	WN_NOD169
WN_CH1370	ARK7	2955	2954.7	WN_NOD61	WN_NOD58
WN_CH1381	ARK_IJ2	597	596.7	WN_NOD178	WN_NOD140
WN_CH1382_A	ARK10_A	3070	3069.6	WN_NOD74	WN_NieuweDiep003
WN_CH1383	ARK9	1329	1328.8	WN_NOD59	WN_NOD74
WN_CH1440	Westhaven3A	1061	1060.8	WN_NOD216	WN_NOD217
WN_CH1441	IJ_NZK5	2052	2052.3	WN_NOD218	WN_NOD219
WN_CH1442	Amerikahaven_3	1262	1261.6	RL_1851	WN_NOD221
WN_CH1443_A	NZK3_A	1958	1957.6	WN_NOD219	WN_zijkanE002
WN_CH1443_B	NZK3_B	1038	1037.5	WN_NOD219	WN_NOD222
WN_CH1444	Afrikahaven	1829	1987.4	WN_NOD223	WN_NOD224
WN_CH1445	NZK5	1603	1603.1	WN_NOD224	WN_NOD225
WN_CH1446	NZK6	1671	1671.2	WN_NOD222	WN_NOD224
WN_CH1452	Zuidersluis	748	747.9	WN_BG_ZdsIDUT	WN_NOD166
WN_CH1456_A	Mercuriushaven_A	567	757.1	WN_NOD231	WN_Neptunushav

Taknaam	Lange taknaam	Lengte (m)	Geometrische lengte (m)	startknoop	eindknoop
_A_A	A_A				002
WN_CH1456_A_A_B	Mercuriushaven_A_A_B	990	1158.7	WN_Neptunushav002	WN_NOD232
WN_CH1459	Petroleumhaven	899	1013.2	WN_NOD236	WN_NOD237
WN_CH1460	Jan_van_Riebeeck_2	1259	1259.7	WN_NOD238	WN_NOD239
WN_CH1461	Usselincxhaven1	661	661.5	WN_NOD240	WN_NOD241
WN_CH1462	Usselincxhaven2	601	800.7	WN_NOD242	WN_NOD241
WN_CH1463	Westhaven1	855	1009.9	WN_NOD243	WN_NOD244
WN_CH1464	Westhaven2	800	931.3	WN_NOD245	WN_NOD246
WN_CH1465	Westhaven3	785	915.8	WN_NOD247	WN_NOD217
WN_CH1466_A	Zaangemaal_A	1208	1208.0	HN_CF_799	WN_Baarthav002
WN_CH1466_B	Zaangemaal_B	212	327.5	WN_Baarthav002	WN_NOD218
WN_CH1467	zijkanaal_H_Waker	1636	1796.1	WN_BG_Waker_I	WN_NOD237
WN_CH1468	Nauerna	990	1395.5	HN_CF_1792	WN_NOD224
WN_CH1469_A_A_A	Zijkanaal_I2_A_A_A	909	969.0	WN_NOD251	WN_ankerplaats002
WN_CH1469_B	Zijkanaal_I2_B	206	477.2	WN_hasselkan003	WN_NOD159
WN_CH1471	Amerikahaven_Z1	1015	1218.9	WN_NOD253	WN_NOD254
WN_CH1472	Amerikahaven_Z2	1012	1214.0	WN_NOD255	WN_NOD221
WN_CH1473	Zijkanaal_A	1945	2094.8	WN_BG_Aagt_I	WN_NOD134
WN_CH1475	ARK4A	3586	3585.5	WN_NOD169	WN_NOD257
WN_CH1477	Zijkanaal_I1	1132	1132.0	WN_NOD259	WN_NOD251
WN_CH1478	IJ_NZK1	1255	1254.9	WN_NOD159	WN_NOD232
WN_CH1480	IJ_NZK2	1140	1139.9	WN_NOD232	WN_NOD260
WN_CH1481	Jan_van_Riebeeck_1	1	255.8	WN_NOD239	WN_NOD218
WN_CH1482	Usselincxhaven	350	350.6	WN_NOD241	WN_NOD239
WN_CH1483	Westhaven	1725	1867.3	WN_NOD244	WN_NOD219
WN_CH1484	Westhaven1A	459	458.6	WN_NOD246	WN_NOD244
WN_CH1485	Westhaven2A	348	348.0	WN_NOD217	WN_NOD246
WN_CH1486	Amerikahaven_1	1783	1920.4	WN_NOD254	WN_NOD222
WN_CH1487	Amerikahaven_2	853	853.3	WN_NOD221	WN_NOD254
WN_CH1488	NZK2	5071	5070.5	WN_NOD225	WN_NOD134
WN_CH1489	IJ_NZK3	818	813.3	WN_NOD260	WN_NOD237
WN_CH1490	IJ_NZK4	1124	1124.0	WN_NOD237	WN_NOD218
WN_CH1495	ARK_IJ	585	584.8	WN_NOD177	WN_NOD262
WN_CH1499	Ertshaven&IJhaven	2903	2903.1	WN_NOD178	WN_NOD133
WN_CH1516	ARK6	8730	8730.4	WN_NOD2	WN_NOD61
WN_CH1521	ARK5	3299	3299.5	WN_NOD167	WN_NOD2
WN_CH1522	ARK4B	3099	3098.5	WN_NOD257	WN_NOD167
WN_CH1524	ARK3B	1665	1665.1	R_ARK_46_5	WN_NOD168

Taknaam	Lange taknaam	Lengte (m)	Geometrische lengte (m)	startknoop	eindknoop
WN_CH1525_A	ARK1_A	610	610.0	WN_401	WN_ARK003
WN_CH1525_B	ARK1_B	4073	4072.9	WN_ARK003	WN_246
WN_CH1526	ARK3A	879	879.2	WN_NOD166	270
WN_CH1539_A	Diemerdam_A	887	993.5	N_ARK_3153	WN_NOD74
WN_CH1540_A	Nieuwe_Diep_Ipensluis_A	457	553.6	WN_BSI_lepenslot_UI	WN_NieuweDiep003
prWAlexandersl001		238	477.8	WN_prWAlexandersl001	WN_NOD140
SRO_KRRIJUTR_9992		1802	1802.3	SRO_KRRIJUTR_13	SRO_KRRIJUTR_24
SRO_KRRIJUTR_9993		347	346.8	SRO_KRRIJUTR_24	SRO_KRRIJUTR_11
SRO_KRRIJUTR_9994		2116	2116.4	SRO_KRRIJUTR_13	SRO_KRRIJUTR_3
SRO_KRRIJUTR_9995		1016	1016.2	SRO_KRRIJUTR_3	SRO_KRRIJUTR_116
SRO_KRRIJUTR_9998		1611	1611.3	SRO_KRRIJUTR_16	WN_NOD168
SRO_KRRIJUTR_1		1209	1208.7	SRO_KRRIJUTR_1	SRO_lat_PG0649-09
ARK002		12446	12445.7	WN_246	WN_NOD165
61		1916	1916.2	269	R_ARK_46_5
68		1314	1314.2	270	269
SRW_DM_1		830	830.1	Onl_DM435	SRW_DM_10
SRW_DM_2		718	718.4	SRW_DM_4	WN_BG_ZdsIDUT
SRW_DM_4_A		1134	1134.2	WN_Merwedekan006	SRO_KRRIJUTR_113
SRW_DM_9		623	622.7	SRW_DM_12	SRW_DM_4
SRW_DM_12_B_B		505	504.5	WN_Merwedekan003	SRW_DM_10
SRW_DM_13		2501	2500.5	SRW_DM_10	SRW_DM_12
Merwedekan004		872	872.0	WN_BG_ZdsIDUT	WN_Merwedekan004
3 buizen onder ARK door		230	230.1	WN_Merwedekan004	WN_Merwedekan005
Merwedekan007		267	266.8	WN_Merwedekan005	WN_Merwedekan006
Lekkanaal001		406	406.0	WN_Lekkanaal000A	WN_Lekkanaal001
ARK001	ARK1_AA	590	590.4	WN_ARK002	WN_ARK003
Uraniumkanaal1		392	461.7	WN_Uraniumkanaal1	WN_Protonhaven1
Uraniumkanaal3		1425	1425.5	WN_Protonhaven1	WN_Uraniumhaven
Protonhaven		224	448.8	WN_Protonhaven1	WN_Protonhaven

Taknaam	Lange taknaam	Lengte (m)	Geometrische lengte (m)	startknoop	eindknoop
					2
Industriehaven		524	574.8	WN_Energiehaven1	WN_Industriehaven
Energiehaven		399	467.6	WN_Energiehaven1	WN_energiehaven2
Vecht002		250	374.3	WN_vecht001	WN_NOD61
NieuweDiep001		1301	1301.4	WN_NieuweDiep003	WN_NOD177
Entrepothaven001		1640	1640.9	WN_entrepothaven001	WN_NOD262
Spoorwegbassin		1122	1122.0	WN_spoorwegbas001	WN_NOD262
Oranjesl002		116	233.9	WN_oranjesl002	WN_oranjesl004
Oranjesl004		178	356.6	WN_oranjesl004	WN_NOD140
Oranjesl001		126	252.7	WN_oranjesl001	WN_oranjesl004
Oranjesl003		116	233.5	WN_oranjesl003	WN_oranjesl004
Peereboomsloot001		482	481.9	WN_peereboomsloot001	WN_Peereboomsloot00201
Peereboomsloot002		920	1086.0	WN_Peereboomsloot00201	WN_Peereboomsloot003
Buiksloterkanal001		2148	2528.6	WN_buiksloterkanal001	WN_hasselkanal003
Tolhuskanal001		873	1331.6	WN_tolhuskanal001	WN_NOD159
Baarthaven		972	1217.7	WN_Baarthav001	WN_Baarthav002
Metselaarhaven001		473	709.6	WN_Metselaarhav001	WN_Baarthav002
Thomassenhav001		280	280.2	WN_Thomassenhav001	WN_Houthav001
Thomassenhav002		1129	1255.8	WN_Houthav001	WN_NOD219
Houthaven001		353.99 766	354.2	WN_OudeHaven001	WN_Houthav001
Zijkanel		390	519.5	WN_zijkanel001	WN_zijkanel002
Neptunushaven001		747	747.3	WN_Neptunushav001	WN_Neptunushav002
Coenhaven002		790	927.7	WN_NOD233	WN_NOD260
Merwedekan008		261	260.6	WN_Merwedekan008	WN_Merwedekan006
Merwedekan006		237	237.0	WN_Merwedekan009	WN_Merwedekan006
Vecht001		236	330.7	WN_Vecht002	WN_NOD61
NZK023		257	256.7	WN_Noordholkanal002	WN_buiksloterkanal001
Zijkanel		412	412.5	WN_ankerplaats002	WN_hasselkanal003

Taknaam	Lange taknaam	Lengte (m)	Geometrische lengte (m)	startknoop	eindknoop
ZijkanaalG		983	983.2	WN_OudeHaven002	HN_CF_799
OudeHaven002		628	628.5	WN_OudeHaven001	HN_CF_799
OudeHaven001		731	731.0	WN_OudeHaven002	WN_OudeHaven001
ZijkanaalC003		3153	3295.9	WN_zijkanaalC004	WN_NOD225
ZijkanaalC004		167	334.4	WN_zijkanaalC001	WN_zijkanaalC004
ZijkanaalC002		239	478.2	WN_zijkanaalC002	WN_zijkanaalC004
ZijkanaalC001		1703	1703.0	WN_zijkanaalC003	WN_zijkanaalC004
Staalhaven001		1567	1567.1	WN_staalhav001	WN_eersterijksbinhav002
Staalhaven002		212	424.9	WN_eersterijksbinhav002	WN_NZK021
DerdeRijksbinhav001		384	531.6	WN_DerdeRijksbinhav001	WN_NZK020
TweedeRijksbinhav001		436	674.1	WN_TweedeRijksbinhav001	WN_NZK020
EersteRijksbinhav001		821	821.6	WN_EersteRijksbinhav001	WN_eersterijksbinhav002
NZK021		926	926.4	WN_NZK021	WN_NZK025
NZK022		660	660.0	WN_NZK021	WN_NZK022
NZK024		1585	1585.6	WN_NZK022	WN_NZK023
NZK025		1034	1033.9	WN_NZK022	WN_NZK024
Merwedekan010		196	196.1	WN_NOD166	WN_Merwedekan010
Merwedekan011		100	99.6	WN_Merwedekan010	WN_Merwedekan008
Merwedekan012		98	97.7	WN_Merwedekan010	WN_Merwedekan009
ARK031		359	359.5	WN_NOD262	WN_NOD178

C De lateralen van het SOBEK 3 model

BRONPUTNAAM	Bron meting						Correctie richting	Temperatuur beschikbaar	Zoutgehalte beschikbaar
	RWSZ uid	RWS Noord	water net	Rijnland	serviced esk RWS	WNN dagrapporten			
Bethlem			x				1	No	No
Papeland			x				1	No	No
Aetsveldsche Polder Oost			x				1	No	No
Aetsveldsche Polder West			x				1	No	No
Gemaal Hoeker-Garsten			x				1	No	No
Baambrugge oost			x				1	No	No
Voorburg			x				1	No	No
Nijenrode			x				1	No	No
Breukelen Broeckland			x				1	No	No
Korte Stammersdijk			x				1	No	No
Kadoelen		x					1	No	No
Schellingwoudebreek		x					1	No	No
Schellingwoud-inlaat		x					1	No	No
Zeeburg			x				1	No	No
Albemarle(AKZO)29.02_inlaat							NA	No	No
Albemarle(AKZO)29.02_uitlaat							NA	No	No
Zaandammer Westzoner							NA	No	No
Halfweg				x			-1	No	No
Pontweg		x					1	No	No
Zaangemaal		x					1	No	No
Gemaal Soeteboom		x					1	No	No
De Waker		x					1	No	No
Cargill Multis 14.00_inlaat							NA	No	No
Cargill Multis 14.00_uitlaat							NA	No	No
Afval Energi B 14.15_inlaat							NA	No	No
Afval Energi B 14.15_uitlaat							NA	No	No
Crompton BV 15.06_inlaat							NA	No	No
Crompton BV 15.06_uitlaat							NA	No	No

BRONPUTNAAM	Bron meting					Correc tie richtin g	Temperat uur beschik- baar	Zoutgeh alte beschik- baar
Norit Nederl. 17.04_inlaat						NA	No	No
Norit Nederl. 17.04_uitlaat						NA	No	No
DSM Food Spec. 18.00_inlaat						NA	No	No
DSM Food Spec. 18.00_uitlaat						NA	No	No
Nuon Power E7 20.14_inlaat						NA	No	No
Nuon Power E7 20.14_uitlaat						NA	No	No
A_dam Fertil. 22.12_inlaat						NA	No	No
A_dam Fertil. 22.12_uitlaat						NA	No	No
Cargill Soja 23.06_inlaat						NA	No	No
Cargill Soja 23.06_uitlaat						NA	No	No
Nauernasche Polder		x				1	No	No
Gemaal Nauerna		x				1	No	No
Gemaal Ruigoord				x		1	No	No
Ijmuiden - spui 01					x	-1	No	No
Ijmuiden-binnen 1					x	-1	No	Yes
Corus Staal-1 01.00_inlaat						NA	No	No
Corus Staal-1 01.00_uitlaat						NA	No	No
Corus Staal-2 01.00_inlaat						NA	No	No
Corus Staal-2 01.00_uitlaat						NA	No	No
DSM Agro BV-1 03.00_inlaat						NA	No	No
DSM Agro BV-1 03.00_uitlaat						NA	No	No
DSM Agro BV-2 03.00_inlaat						NA	No	No
DSM Agro BV-2 03.00_uitlaat						NA	No	No
Nuon Power V24 03.06_inlaat						NA	No	No
Nuon Power V24 03.06_uitlaat						NA	No	No
Nuon Power V25 03.06_inlaat						NA	No	No
Nuon Power V25 03.06_uitlaat						NA	No	No
Crown v Gelder 04.00_inlaat						NA	No	No
Crown v Gelder 04.00_uitlaat						NA	No	No
Noordersluis-uit_1						NA	No	No
Noordersluis-uit_2						NA	No	No
Middensluis-uit_1						NA	No	No
Middensluis-uit_2						NA	No	No
Zuidersluis-uit_1						NA	No	No

BRONPUTNAAM	Bron meting						Correc tie richtin g	Temperat uur beschik- baar	Zoutgehal te beschik- baar
Zuidersluis-uit_2							NA	No	No
Rijksweg 22				x			1	No	No
AagtendijkBuitenl.		x					1	No	No
Wijkermeer		x					1	No	No
Spaarndam				x			-1	No	No
Gemaal Zuidspaarndammer				x			1	No	No
Velserbroek dammers							NA	No	No
Irenesluis Wijk bij Duurstede					x		1	yes	No
Beatrixsluis Nieuwegein					x		1	yes	No
SRO_inlaat_16							NA	No	No
SRO_inlaat_17							NA	No	No
SRO_lozing_14							NA	No	No
SRW_lozing_30							NA	No	No
6049							NA	No	No
RWZI Tiel							NA	No	No
WRK Cornelis Biemond							NA	No	No
Breukelerwaard West							NA	No	No
industrie ARK							NA	No	No
Breukelen, gemaal bij			x				1	No	No
Gemaal Caspargouwse Wetering	x						1	No	No
Gemaal Galecop	x						1	No	No
Gemaal Goyerbrug	x						1	No	No
Gemaal Hoon-Oost							NA	No	No
Gemaal de Hoon-West							NA	No	No
Gemaal Ouwnaar							NA	No	No
Gemaal Westraven (alleen voor Delft3D)	x						1	No	No
Broekweg (AMI de Put)							NA	No	No
Gemaal Maarssenbroek	x						1	No	No
Gemaal Vuylcop-oost							NA	No	No
Gemaal Vuylcop-west	x						1	No	No
RWZI Breukelen	x						1	No	No
Waternet-PWN Nieuwegein							NA	No	No
niet bemeten posten HDSR							NA	No	No
Gemaal Utrecht	x						1	No	No
Inlaat Polder Het Honderd Oost 1							NA	No	No
Inlaat Waterleidingplas (ARK)							NA	No	No
RWZI Houten	x						1	No	No

BRONPUTNAAM	Bron meting					Correc tie richtin g	Temperat uur beschik- baar	Zoutgeh alte beschik- baar
Stuw De Hoon-West						NA	No	No
stuw vml. Molenwetering						NA	No	No
Stuw Poeldijk	x					1	No	No
Stuw Wulven (RW27)						NA	No	No
Correctie Maarssen						NA	No	No
Inlaat Loosdrechtse Plassen (ARK						NA	No	No
RWZI Maarssenbroek	x					1	No	No
RWZI Wijk bij Duurstede	x					1	No	No
Stuw afgesneden Hoon-Oost						NA	No	No
Stuw de Hoon						NA	No	No
Stuw Maatwetering						NA	No	No
AMI-stuw Marckenburgwetering						NA	No	No
Stuw Molenvliet	x					1	No	No
Gemaal Kerkeland	x					1	No	No
Inlaat Polder Het Honderd West 1						NA	No	No
RWZI Leidsche Rijn	x					1	No	No
Noordersluis RWS DUT schutverlie						NA	No	No
Stuw Caspargouwse Wetering						NA	No	No
Stuw Hoeksedijk						NA	No	No
Stuw Schalkwijksebrug						NA	No	No
Stuw Wijkerbroek						NA	No	No
Stuw Houtense Wetering	x					1	No	No
Stuw Kerkeland						NA	No	No
Zuider- en Noordersluis DUT schu						NA	No	No
RV_sif_Linge						NA	No	No
SRO_ARK_BR2820						NA	No	No
SRO_lat_PG0651-06	x					1	No	No
SRO_DWP_BR000031 49						NA	No	No
WN_CH1527_3						NA	No	No
SRW_DM_BR7751_0						NA	No	No
SRO_36						NA	No	No
SRO_lat_PG0649-19						NA	No	No
SRO_DWP_BR000068 00						NA	No	No
SRO_KRRIJUTR_9992 _3						NA	No	No
SRO_lozing_5						NA	No	No
SRW_inlaat_20						NA	No	No

BRONPUTNAAM	Bron meting					Correc tie richtin g	Temperat uur beschik- baar	Zoutge halte beschik- baar
P_RT_0319						NA	No	No
P_RT_0321						NA	No	No
RV_node_22						NA	No	No
RV_Loc_A1-03A0001II						NA	No	No
Gemaal H.A. van Beuningen						NA	No	No
industrie NZK						NA	No	No
RWZI Westpoort		x				1	No	No
Diempolder			x			1	No	No
Gemaal Houtrak				x		1	No	No
Meerweiden		x				1	No	No
Overtoom		x				1	No	No
Zaandammer polder		x				1	No	No
RWZI Weesp		x				1	No	No
Diemendammersluis		x				1	No	No
Vrij afwaterend gebied cluster 1						NA	No	No
Vrij afwaterend gebied cluster 2						NA	No	No
Vrij afwaterend gebied cluster 3						NA	No	No
Vrij afwaterend gebied cluster 4						NA	No	No
Vrij afwaterend gebied cluster 5						NA	No	No
Vrij afwaterend gebied cluster 6						NA	No	No
Vrij afwaterend gebied cluster 7						NA	No	No
Gemaal De Dammers						NA	No	No
Overdiempolder			x			1	No	No
Tuindorp Oostzaan						NA	No	No
Inlaat zijkanaal I						NA	No	No
RWZI Loenen						NA	No	No
RWZI Velsen						NA	No	No
Willem I sluizen						NA	No	No
Vrij afwaterend gebied cluster 1						NA	No	No
Vrij afwaterend gebied cluster 1						NA	No	No
Bloemendalerpolder West						NA	No	No
Linnaeusstraat polder						NA	No	No
Noodvijzel bij gemaal Spaarndam						NA	No	No
Westzoner		x				1	No	No
Inlaat 1 Overdiempolder						NA	No	No
Inlaat 2 Overdiempolder						NA	No	No

BRONPUTNAAM	Bron meting					Correc tie richtin g	Temperat uur beschik- baar	Zoutgeh alte beschik- baar
RWZI Amsterdam-West		x				1	No	No
RWZI Zaandam						NA	No	No
Inlaat 1 Diempolder						NA	No	No
Inlaat 2 Diempolder						NA	No	No
RWZI Beverwijk en omstreken						NA	No	No
Spaarndammersluis						NA	No	No
Inlaat Gemeenschapspolder West 1						NA	No	No
Inlaat Overdiempolder (De Diem						NA	No	No
Gemaal Noordspaarndammer						NA	No	No
RWZI Beverwijk en Zaanstreek						NA	No	No
WN_KBR_TOP102903 01_7372						NA	No	No
WN_KBR_TOP102903 01_4945						NA	No	No
WN_FCP197						NA	No	No
WN_KBR_TOP102903 01_7370						NA	No	No
WN_L09_13853						NA	No	No
WN_BP_IJmeer3						NA	No	No
113_2						NA	No	No
WN_M_OranjslWst_R WS		x				1 (empty)	No	No
WN_NOD180						NA	No	No
WN_BSI_Iepenslot_UI						NA	No	No
WN_L96_A10-202						NA	No	No
KE_NUON.DM33_Diem en						NA	No	No
WN_KBR_TOP102903 01_6008						NA	No	No
WN_NOD2						NA	No	No
WN_KBR_TOP102903 01_6631						NA	No	No
WN_NOD167						NA	No	No
WN_NOD169						NA	No	No
De Doorslag					x	1	No	no