

**ZOUTINDRINGING SLUIZEN IJMUIDEN,
EFFECT NIEUWE SLUIS OP
NOORDZEEKANAAL**

DHV

12 oktober 2011
- Definitief
C03041.002769.001

Inhoud

Lijst van figuren	4
Lijst van tabellen	6
Samenvatting	8
1 Inleiding	10
1.1 Algemeen	10
1.2 Doel	11
1.3 Aanpak van de studie	12
1.3.1 Bepaling van de zoutlast	12
1.3.2 Zout- en temperatuurverdeling op het Noordzeekanaal.	13
1.4 Leeswijzer	13
2 Beschikbare gegevens	14
2.1 Terminologie	14
2.2 Beschrijving van het systeem	15
2.3 Gegevens	17
2.3.1 Inleiding	17
2.3.2 Gegevens van Rijkswaterstaat	17
2.4 Gegevens PonTIs	18
2.5 Gegevens PMSS	18
2.6 Varianten	18
2.7 Scenarios	19
2.8 Simulaties	21
2.9 Slib	21
3 Gegevensanalyse en aanpak	24
3.1 Inleiding	24
3.2 Bijdragen van de verschillende sluizen	24
3.3 Variaties schuttingen over het jaar	25
3.4 Reductie zoutlast door schepen in de schutsluis.	26
3.5 Conclusies	26
3.6 PMSS data	27
3.7 Aanpak modellering	28
4 Resultaten NZK model	30
4.1 Inleiding	30
4.2 Huidige situatie	31
4.3 Nulalternatief	31
4.4 Projectalternatief voor 3 sluisvarianten	32
4.5 Gevoeligheidsanalyse maximale benutting sluizencomplex voor 3 sluisvarianten	32
4.6 Gevoeligheidsanalyse hoge en lage afvoer Noordzeekanaal	33
4.7 Mitigerende maatregelen	34
4.7.1 Nut en noodzaak	34
4.7.2 Overzicht mogelijke maatregelen	34

4.7.3 Maatregelen die de oorzaak aanpakken	34
4.7.4 Maatregelen die de gevolgen bij de bron bestrijden	35
4.7.5 Maatregelen die de gevolgen bij inname lokaal bestrijden	35
4.7.6 simulatieresultaten	36
4.8 Mate van verversing bij de bodem	37
5 Conclusies en aanbevelingen	38
5.1 Conclusies	38
5.2 Aanbevelingen	39
Referenties	40
Colofon	41

Lijst van figuren

- 2.1 Rekenrooster - gehele NZK-model
- 2.2 Overzicht projectgebied - westelijk deel, Ligging lozingen/onttrekkingen (gemaal en spui) en meetpunten
- 2.3 Overzicht projectgebied - oostelijk deel, Ligging lozingen/onttrekkingen (gemaal en spui) en meetpunten
- 2.4 Overzicht projectgebied - omgeving Nuon Velsen, Ligging lozingen en onttrekkingen (koelwater)
- 2.5 Overzicht projectgebied - omgeving Nuon Hemweg, Ligging lozingen en onttrekkingen (koelwater)

- 3.1 Bijdragen zoutlast per sluis
- 3.2 Variatie aantal schuttingen over het jaar

- 4.1 De langsdoorsnede van het Noordzeekanaal en de afstanden in km's
- 4.2 Oppervlakte saliniteit, huidige situatie 2008
- 4.3 Bodem saliniteit, huidige situatie 2008
- 4.4 Langsdoorsnede saliniteit en standaarddeviatie in het Noordzeekanaal, huidige situatie 2008
- 4.5 Oppervlakte saliniteit, verschil 95 MTA, sluis nulalternatief t.o.v. huidige situatie 2008
- 4.6 Bodem saliniteit, verschil 95 MTA, sluis nulalternatief t.o.v. huidige situatie 2008
- 4.7 Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal, verschil 95 MTA, sluis nulalternatief t.o.v. huidige situatie 2008
- 4.8 Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal, verschil 125 MTA, sluis variant 1 t.o.v. huidige situatie 2008
- 4.9 Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal, verschil 125 MTA, sluis variant 2 t.o.v. huidige situatie 2008
- 4.10 Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal, verschil 125 MTA, sluis variant 3 t.o.v. huidige situatie 2008
- 4.11 Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal, verschil 140 MTA, sluis variant 1 t.o.v. huidige situatie 2008
- 4.12 Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal, verschil 140 MTA, sluis variant 2 t.o.v. huidige situatie 2008
- 4.13 Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal, verschil 140 MTA, sluis variant 3 t.o.v. huidige situatie 2008
- 4.14 Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal, verschil 125 MTA, 2% droog scenario t.o.v. huidig 2008 2% droog scenario
- 4.15 Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal, verschil 125 MTA, 2% nat scenario t.o.v. huidig 2008 2% nat scenario
- 4.16 Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal, verschil 125 MTA, 2% droog en 2% nat scenario t.o.v. huidig 2008 zomer scenario
- 4.17 Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal, verschil 125 MTA, sluis variant 2, verplaatsing maallocatie IJmuiden t.o.v. 125 MTA, sluis variant 2

- 4.18 Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal, verschil 125 MTA, sluis variant 2, hogere bezettingsgraad nieuwe sluis t.o.v. 125 MTA, sluis variant 2
- 4.19 Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal, verschil 125 MTA, sluis variant 2, bellenscherm nieuwe sluis t.o.v. 125 MTA, sluis variant 2
- 4.20 Saliniteitsprofielen in verschillende innamelocaties voor de verschillende ladingsscenario's en sluisvarianten
- 4.21 Saliniteitsprofielen in verschillende koelwater innamelocaties voor de verschillende ladingsscenario's en sluisvarianten
- 4.22 Saliniteitsprofielen in verschillende koelwater innamelocaties voor de verschillende ladingsscenario's en sluisvarianten
- 4.23 Saliniteitsprofielen in verschillende koelwater innamelocaties en de open rand ARK voor de verschillende ladingsscenario's en sluisvarianten
- 4.24 Vergelijking tracerconcentraties na 1 en 2 dagen

Lijst van tabellen

- 2.1 Afmetingen bestaande sluizen (uitgaande van een streefpeil van NAP-0,40 m voor het Noordzeekanaal en een buiten niveau van NAP+0,02 m)
- 2.2 Afmetingen sluisvarianten

- 3.1 Zoutlast door de verschillende sluizen
- 3.2 PMSS gegevens huidige situatie 2008 77 MTA
- 3.3 PMSS gegevens nulalternatief 95 MTA
- 3.4 PMSS gegevens projectalternatief 125 MTA
- 3.5 PMSS gegevens gevoeligheidsanalyse optimale benutting sluiscomplex 140 MTA
- 3.6 Zoutlast naar het Noordzeekanaal (miljoen kg zout per dag)

Samenvatting

DHV verricht een planstudie voor de aanleg van een nieuwe Noordersluis te IJmuiden ter vervanging van de huidige Noordersluis.

Als onderdeel van deze planstudiefase wordt er gekeken naar de effecten van de nieuwe grotere zeesluis op de grondwaterhuishouding, de waterkwantiteit en de waterkwaliteit.

Deze studie richt zich expliciet op de toename van de zoutindringing op het Noordzeekanaal en het Amsterdam-Rijnkanaal, als gevolg van de aanleg van een nieuwe Noordersluis.

In de studie zijn vergelijkende simulaties uitgevoerd voor verschillende varianten van de nieuwe sluis (afmetingen), voor verschillende belastingscenario's (nat, droog en gemiddeld zomer) en voor verschillende ladingstromen.

De zoutbelasting op het Noordzeekanaal wordt bepaald door de afmetingen en het gebruik van het sluizencomplex, maar ook door het zoutverschil tussen binnen en buiten. Naarmate het Noordzeekanaal zouter wordt, wordt het verschil tussen binnen en buiten kleiner en zal dus ook de zoutindringing minder toenemen, dan op basis van de afmetingen van het nieuwe spuisysteem zou mogen worden verwacht. Er heerst een zogenoemd tegengekoppeld systeem, dat ook wel bekend staat als de wet van de verminderde meeropbrengst.

De resultaten van de simulaties laten zien dat het zoutgehalte toeneemt met toenemende ladingstroom. Ook geeft de variant met de grootste sluisinhoud de grootste zoutlast. Dat zijn de tweede varianten met ladingstromen van respectievelijk 125 en 140 MTA. In het meest extreme geval is er een toename van orde 3 tot 5 psu waarneembaar over vrijwel de gehele eerste 20 kilometer van het Noordzeekanaal. Nabij de sluizen is deze het grootst en geleidelijk iets afnemend tot orde 3 psu 20 kilometer van het sluizencomplex. Van 20 tot 30 kilometer is de toename geringer en daar voorbij is het verschil kleiner dan 1 psu. Maar ook daar zijn de effecten nog wel merkbaar. In een 2 % nat scenario is er een afname van 4 tot 5 psu over hetzelfde gebied. Zodra het ondieper wordt dan orde 5 meter verdwijnt ook de stratificatie vrijwel geheel en is de verticaal goed gemengd.

De doorgerekende mitigerende maatregelen laten allen een vermindering van de zoutdoor-dringing zien. Het verminderen van de zoutlast door meer schepen in de grootste sluizen en daardoor minder schutten blijkt het meest efficiënt.

HOOFDSTUK

1 Inleiding

1.1

ALGEMEEN

De toenmalige Minister van Verkeer en Waterstaat heeft besloten een planstudie te starten voor de aanleg van een nieuwe sluis te IJmuiden ter vervanging van de huidige Noordersluis.

Als onderdeel van deze planstudiefase, wordt er gekeken naar de effecten van de nieuwe grotere zeesluis op de grondwaterhuishouding, de waterkwantiteit en de waterkwaliteit. Deze studie richt zich expliciet op de toename van de zoutindringing op het Noordzeekanaal en het Amsterdam-Rijnkanaal.

Achtergrond:

Er bestaan significante dichtheidsverschillen tussen het relatief zoete water van het Noordzeekanaal en het zoutere water van de Buitenhaven in IJmuiden. Door deze dichtheidsverschillen, die het gevolg zijn van verschillen in zoutgehalten en in temperatuur, vindt er tijdens het schutten van schepen door de schutsluizen uitwisseling van water met verschillende dichtheden plaats, tussen het water in de schutkolk en het water buiten de schutkolk. Deze uitwisseling begint zodra de sluisdeur open gaat.

De waterinhoud van de sluis kolk wordt door deze dichtheidgedreven stroming in relatief korte tijd vrijwel volledig gemengd met het water buiten de kolk. Dat is mede een gevolg van de grote ingang van de sluis kolk. De huidige grote sluis in IJmuiden heeft afmetingen van 400 bij 50 bij 15 meter. Ook geldt, hoe dieper de sluis, hoe groter de dichtheidsverschillen nabij de bodem en hoe sneller de uitwisseling verloopt. Zo vindt er bij een schutting met de huidige grote sluis in IJmuiden, een uitwisseling plaats van maximaal 300.000 m³ water (in werkelijkheid wordt deze hoeveelheid verminderd met de waterverplaatsing van de geschutte schepen). Als we ervan uitgaan dat het gemiddelde zoutgehalte in de Buitenhaven ongeveer 22 PSU (Practical Salinity Unit) bedraagt en op het Noordzeekanaal nabij de sluisen ongeveer 7 PSU, dan betekent dat, dat er per schutting maximaal 11 kg/m³ maal 300.000 m³ is 3300 ton zout¹ wordt toegelaten op het relatief zoete Noordzeekanaal. Uiteraard vindt deze uitwisseling alleen plaats bij het schutten van west (de zeezijde) naar oost (de kanaalzijde).

Het gemiddeld aantal schuttingen voor 2010 van de huidige Noordersluis, in oostelijke richting, bedraagt 10,4 schuttingen per dag.

¹ Zeer globale omrekening van PSU naar dichtheid in kg/m³ is $\rho = 0,75 \cdot \text{PSU}$

Er vindt ook uitwisseling plaats die het gevolg is van waterstandsverschillen tussen beide waterlichamen en eveneens als gevolg van het malen en het spuien. Maar tijdens het malen en het spuien wordt er in het algemeen alleen relatief zoet water van het Noordzeekanaal op de Buitenhaven gebracht. Een uitzondering hierop wordt gevormd door de kleine retourstromen door de vispassage die in de meest zuidelijke van de zeven spuikokers is aangebracht en tijdens het begin en het einde van een spuiperiode geringe hoeveelheden water terug kan laten stromen van buiten naar binnen. Vooral aan het begin van een spuiperiode (dan is het water relatief zout aan de buitenzijde), kan dit tot een wat extra zoutlast aan de binnenzijde leiden. Deze zoutlast is echter verwaarloosbaar ten opzichte van de grote hoeveelheid zout die er door het schutten op het Noordzeekanaal komt.

In het algemeen zal het uitgewisselde zout mede door zijn grotere dichtheid aan de binnenzijde van de schutsluizen in de zogenaamde Velserskom aan de bodem blijven hangen. Dat is mede een gevolg van de grotere diepte aldaar. Echter in de praktijk zet deze zoutlast zich door diffusie en een dichtheidsgedreven stroming aan de bodem verder door op het Noordzeekanaal. De zoutgehalten worden geleidelijk minder in de richting van Amsterdam. De aanleg van de nieuwe zeesluis zal naar alle waarschijnlijkheid, in vergelijking met de huidige situatie, leiden tot een toename van de zoutlast op het Noordzeekanaal en het Amsterdam-Rijnkanaal.

Het maximaal toegestane chloridegehalte is zowel op het Buiten-IJ als op het Amsterdam-Rijnkanaal (km 3,5) 200 mg/l (i.v.m. waterinname voor drinkwaterbereiding op het Amsterdam-Rijnkanaal). Er moet dus een balans zijn tussen de zoutlast vanuit het sluizencomplex enerzijds en de afvoer van zoet water via het Noordzeekanaal anderzijds [Rijkswaterstaat, 2004].

Naast het zout is de temperatuur mede bepalend voor de dichtheid van het water en dus de uitwisseling door de schutsluizen. De temperatuur op het Noordzeekanaal en het Amsterdam-Rijnkanaal wordt mede bepaald door meteorologische omstandigheden en door het gebruik van koelwater. Ook de lozingen vanuit zijkanalen en gemaaltjes en sluisjes draagt hieraan bij. Het is daarom noodzakelijk naast het zout ook de temperatuur als variabele op te nemen.

De zoutindringing is berekend voor verschillende sluisvarianten en bij verschillende ladingstromen. Er is een selectie gemaakt van de varianten en landingstromen.

De studie bestaat uit twee delen. Het eerste deel gaat over de bepaling van de zoutlast. Het tweede deel betreft het doorrekenen van een aantal gevallen met een al gevalideerd 3D model van het Noordzeekanaal en het noordelijke deel van het Amsterdam-Rijnkanaal.

1.2

DOEL

Het doel van de studie is tweeledig:

1. Het bepalen van de toekomstige zoutlast op het Noordzeekanaal als gevolg van drie verschillende varianten voor drie ladingstromen voor de nieuwe Noordersluis.
2. Het bepalen van de drie dimensionale zout- en temperatuurverdeling op het Noordzeekanaal en het meest noordelijke stuk van het Amsterdam-Rijnkanaal met behulp van een 3D model.

Gerelateerd aan onderdeel 2 zijn de subdoelen:

- Het beschrijven van het mogelijke effect van de toekomstige zoutlast op slib.
- Het beschrijven van mogelijke mitigerende maatregelen om de zoutlast te beperken.
Daarbij wordt aandacht besteed aan de noodzaak zowel als de effectiviteit.

1.3

AANPAK VAN DE STUDIE

1.3.1

BEPALING VAN DE ZOUTLAST

Voor het bepalen van de zoutlast is gebruik gemaakt van het bestaande Noordzeekanaal model, dat is afgeregeld met een grote hoeveelheid gegevens die hierop van invloed zijn. Het betreft onder andere:

- Metingen van zout- en temperatuur-vertikalen op verschillende hoogten in het binnenspuikanaal (km 2) en de natuurlijke variatie daarin;
- Metingen van zout en temperatuur op regelmatige intervallen op een groot aantal punten in het Noordzeekanaal en de variaties daarin;
- Spui- en maalhoeveelheden gedurende het jaar als functie van de tijd;
- Het aantal schuttingen per sluis per jaar en de individuele verdeling van de schuttingen over de verschillende jaren;
- De “Gross Register Tonnage (GRT)” van de geschutte schepen per sluis;
- Metingen van debieten, zout en temperatuur langs de gemalen die op het Noordzeekanaal uitkomen;
- Lozingen en onttrekkingen van koel- en proceswater, inclusief de hoogte en afmetingen van inname- en lozingspunt;
- De afvoer, de temperatuur en het chloridegehalte van het Rijnwater;
- De afmetingen van de verschillende schutkolken, de afmetingen van de sluiskolken, het aantal schuttingen per jaar, maar ook van het gedrag van het zout in de nabijheid van de schutsluizen;
- De meteorologische omstandigheden;
- Het getij in de buitenhaven;
- Diverse andere van belang zijnde gegevens.

De uiteindelijke zoutlast is bepaald op basis van deze gegevens met behulp van spreadsheets. Er zijn belastingen afgeleid voor de bestaande situatie en voor de drie verschillende voorgestelde varianten voor de nieuwe Noordersluis.

In geval de ladingstroom toeneemt, zal er vaker geschut moeten worden en neemt daardoor ook de zoutlast toe. Het gaat daarbij voornamelijk om de toename van de zoutindringing in vergelijking met de bestaande situatie.

De gevoeligheden van de belastingen als gevolg van bijvoorbeeld variaties in Rijnafvoer, maar ook als gevolg van verschillende omgevings scenario's (getij, seizoen, meteo) zijn in de beschouwing meegenomen en in de rapportage beschreven. Hier betreft het een inschatting op basis van expert judgement.

Mitigerende maatregelen en hun effect zijn in de beschouwingen meegenomen. Het betreft hier een beoordeling op werkingsprincipes, die niet in detail zijn uitgewerkt. Een voorbeeld is het afzuigen van zout uit de diepste putten in de Velser kom, met behulp van de bestaande pompkracht uit het gemaal. Een ander voorbeeld is het plaatsen van een scherm bij de ingang van het binnenspuikanaal dat tot bijvoorbeeld 2 meter boven de bodem rijkt. Daar-

door wordt juist zout water van nabij de bodem aangezogen. Een andere vorm van mitigatie is hoog innemen bij de inlaatpunten.

1.3.2

ZOUT- EN TEMPERATUURVERDELING OP HET NOORDZEEKANAAL.

Voor de bepaling van de zout- en temperatuurverdeling op het Noordzeekanaal en het noordelijkste deel van het Amsterdam-Rijnkanaal, is gebruik gemaakt van het bestaande Delft-3D model van het Amsterdam-Rijnkanaal. Dat model is in het verleden afgeregeld en gevalideerd. De gevoeligheden van het model voor variaties in omstandigheden zijn afgetaast. In het verleden zijn al eens zes verschillende scenario's opgesteld voor de temperatuurverdeling.

In dit geval zijn de scenario's geconcentreerd op scenario's voor verschillende zoutverdelingen. Voor het standaard scenario is een zomerscenario gekozen. Dat is een scenario, waarbij de waterbalans van het watersysteem kloppend is gemaakt op de gemiddelde zomer afvoer van alle uitwaterende sluizen, een gemiddelde afvoer van het Amsterdam-Rijnkanaal en een zomerafvoer door de spuisluizen en door het gemaal.

Daarnaast zijn gevoeligheden afgetast voor droog en een nat scenario. Bij een droog scenario zal het zout verder naar binnen komen, in een nat scenario zal het verder worden teruggedrongen.

Bij de bepaling van de zoutverdeling is vooral vergelijkenderwijs gekeken. Eerst is het model, dat afgeregeld is op een maatgevend sluisgebruik, opgeschaald naar het door PMSS toegeleverde uitgangsscenario. De andere simulaties zijn voor de verschillende varianten hiermee vergeleken.

1.4

LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 is een algemene beschrijving gegeven van de voor deze studie beschikbare gegevens en de wijze van interpretatie.

In hoofdstuk 3 zijn de belastingen voor de verschillende varianten en scenario's op een rijtje gezet en wordt de schematisatie daarvan beschreven.

Hoofdstuk 4 geeft de resultaten van de simulaties met het 3D model van het Noordzeekanaal. Tevens zijn de aanpassingen aan het model beschreven.

Hoofdstuk 5 geeft een interpretatie van de resultaten en de wijze waarop de resultaten leiden tot veranderingen in de gelaagdheid op het Noordzeekanaal.

Hoofdstuk 6 geeft de conclusies en aanbevelingen.

HOOFDSTUK 2 Beschikbare gegevens

2.1

TERMINOLOGIE

Chlorideconcentratie: Het gewicht van opgeloste ionen chloride (Cl-) gedeeld door het volume zoutwater, gerekend als:

$$\text{zoutinhoud [kg/m}^3\text{] of [g/l]} = \text{saliniteit [psu]} / 1,80655$$

Ladingsstroom: De hoeveelheid lading die verondersteld wordt in een bepaald verkeersscenario in een jaar de sluizen te passeren.

Lege schutting: Een lege schutting betekent een schutting waarbij er geen schepen in de kolk zitten. Dit komt regelmatig voor en is nodig om het verschil in scheepsaanbod tussen buiten en binnen te compenseren.

Lozingsvolume: Het volume buitenwater dat aan de waterinhoud van het Noordzeekanaal wordt toegevoegd als de sluiskolken genivelleerd worden (symbool V_{loz}).

$$V_{\text{loz}} = \text{kolkoppervlak} \times \text{waterstandverschil tussen het buiten en binnenwater}$$

Het streefpeil in het NZK (Noordzeekanaal) is NAP -0,4 m [Rijkswaterstaat, 1992], terwijl het gemiddelde peil in de buitenhaven NAP + 0,02 m is (http://www.rijkswaterstaat.nl/water/scheepvaartberichten_waterdata/statistieken_kengetallen/waternormalen/).

Uitwisselingsvolume: Het volume dat tijdens een schutting tussen de sluiskolk en het NZK uitgewisseld wordt (symbool V_{uitw}).

$$V_{\text{uitw}} = \text{kolkoppervlak} \times \text{waterdiepte in de kolk onder het NZK streefpeil}$$

Deze uitwisseling wordt veroorzaakt door het dichtheidsverschil tussen het water in de buitenhaven van IJmuiden en het water van het NZK. Bij opening van de sluisdeuren vermengt het water uit de sluis met het water op het NZK. Dit veroorzaakt bij schutten van de buitenhaven (West) naar het NZK (Oost) een netto toename van de zoutconcentratie op het NZK. Het zoutere (zwaardere) water stroomt naar het NZK en gelijktijdig stroomt het zoutere (lichtere) water in de sluiskolk. Dit gaat door tot de dichtheden binnen de sluiskolk gelijk zijn aan die op het NZK voor de sluis.

Verkeersgegevens: De tijdseries van het schutten van het scheepvaartverkeer over de verschillende sluiskolken. Voor het zoutgehalte op het NZK zijn alleen de schuttingen van West naar Oost van belang.

Verkeersscenario: Het aantal schuttingen en schepen per sluis en per jaar dat de sluizen passeert. Bij elk verkeersscenario hoort een veronderstelde ladingsstroom die gekoppeld is aan de te verwachten economische ontwikkelingen voor de middellange en lange termijn. Voor deze studie leverde PMSS [R. Groenveld, 2011] de benodigde gegevens. Hiervan zijn alleen de gegevens voor het schutten in oostelijke richting van belang voor het zoutgehalte op het NZK.

Zoutconcentratie: De zoutconcentratie of saliniteit wordt hier weergegeven in psu (*practical salinity units*) die praktisch gelijk is aan ppt (*parts per thousand*).

Zoutindringing: hier gedefinieerd als het aantal kilogram ionen chloride (symbool kg Cl-) dat door de schuttingen op het NKZ wordt geloosd.

$$\text{zoutindringing} = (\text{uitwisselingsvolume} + \text{lozingsvolume}) \times \text{zoutinhoudsverschil}$$

Voorbeeld:

De inhoud van de Noordersluis is $400 \times 50 \times 15,02 = 300.400 \text{ m}^3$.

Het gemiddelde zoutverschil tussen de buitenhaven (vlak voor de schutsluizen) en het NZK (vlak achter de sluizen) bedraagt ongeveer $15.000 \text{ mg/l} = 15 \text{ kg/m}^3$.

Dit betekent dat één schutting met de bestaande Noordersluis van west naar oost gelijk staat aan het storten van ongeveer 4500 ton zout in het NZK.

Indien de sluiskolk schepen bevat zal hier orde 7,5 % vanaf gaan.

2.2

BESCHRIJVING VAN HET SYSTEEM

Het Noordzeekanaal (NZK) vormt samen met een deel van het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) de verbinding tussen de Lek bij Wijk bij Duurstede en de Noordzee bij IJmuiden. Het Noordzeekanaal loopt van de Oranjesluizen bij Schellingwoude tot aan de zeesluizen in IJmuiden. Tot het watersysteem van het Noordzeekanaal behoren Het IJ bij Amsterdam, de zijkanalen A tot en met K en de havens daaraan gelegen. De stad Amsterdam staat op verschillende plekken in open verbinding met het Noordzeekanaal, maar kan hiervan worden afgesloten door het sluiten van het IJ-front. Het Amsterdam-Rijnkanaal begint bij Amsterdam en staat eveneens in open verbinding met het Noordzeekanaal.

Het sluizencomplex bij IJmuiden

Het sluizencomplex bij IJmuiden, dat de primaire verbindende waterkering is voor het NZK, bestaat uit een viertal schutsluizen, eenemaal en een spuisluis.

De vier schutsluizen zijn verschillend van afmetingen en dienen voor het schutten van schepen van de Noordzee naar het NZK en vice versa.

De spuisluis loost onder natuurlijk verval water van het Noordzeekanaal (NZK) op de buitenhaven. Dat gebeurt van het binnenspuikanaal op het buitenspuikanaal. Er wordt alleen gespuid als de waterstand op het NZK hoger is dan op het buitenwater. Gezien de gemiddelde waterstand op het NZK van NAP - 0,40 m, zal er alleen tijdens laag water aan de

buitenzijde worden gespuid. De tijdseries van de hoeveelheden die er gespuid worden zijn bekend en beschikbaar [www.waterbase.nl].

Omdat het spuien onvoldoende ruimte geeft voor het beheer van het waterpeil op het Noordzeekanaal, is er naast het spuien de mogelijkheid aanwezig om te malen (pompen). Er zijn 6 kokers aanwezig in het gemaal. In vier kokers zitten pompen met een capaciteit van 40 m³/s en in twee kokers zitten pompen met een capaciteit van 50 m³/s. De maximale pompcapaciteit bedraagt dus 260 m³/s. De ashoogte van de pompen ligt op NAP -4,5 m. De waaierdiameter van de pompen bedraagt 3,94 m. Ook voor het malen zijn tijdseries beschikbaar afkomstig van Waterbase [www.waterbase.nl].

Lozingen en onttrekkingen

Naast het sluisencomplex in IJmuiden wordt het NZK op een groot aantal plaatsen gevoed via gemalen en afwateringssluizen en sluisjes en is er sprake van gebruik van het water van het NZK als proceswater voor de industrie en als koelwater voor de energievoorziening. Elk van deze aspecten is in het model meegenomen.

Wateraanvoer

Het water op het Noordzeekanaal wordt daarnaast aangevoerd vanaf de Rijn via het Amsterdam Rijnkanaal (minimum debiet van 10 m³/s). Tevens is er een inlaatsluis bij Schellingwoude waardoor maximaal 100 m³/s kan worden ingelaten. Naast de inlaatsluis kan er water worden ingelaten via de oude maalgangen (drie stuks) en soms via de Prins Willem Alexander (PWA) sluisen [Rijkswaterstaat, 2004]. De PWA sluis is een onderdeel van het complex dat Oranjesluizen heet en de afscheiding vormt tussen het Noordzeekanaal en het Markermeer.

NZK model

Over de jaren 2003 tot en met 2010 is in opdracht van Rijkswaterstaat Noord-Holland een stromingsmodel van het Noordzeekanaal in fases opgezet en gecalibreerd. In eerste instantie is dit model opgezet in Waqua-in-Simona. Vanwege het indertijd ontbreken van een zogenaamde power station optie (een gekoppelde lozing/onttrekking ten behoeve van koelwatermodellering) is het model omgezet naar Delft3D.

Het model omvat het Noordzeekanaal van IJmuiden tot de Oranjesluizen, de meeste zijkanalen en havenbekkens, het Amsterdam-Rijnkanaal tot Weesp en de Amsterdamse grachten op een sterk geschematiseerde manier. Het rekenrooster is in figuur 2.1 weergegeven.

Alle toevoeren van de verschillende gemalen zijn in het model meegenomen. De locaties hiervan zijn gepresenteerd in figuren 2.2 en 2.3. De koelwaterlocaties zijn in figuren 2.4 en 2.5 weergegeven. Van elke koelwaterlozing zijn het debiet en de temperatuurverhoging van het geloosde water opgelegd.

2.3

GEGEVENS

2.3.1

INLEIDING

Data zijn beschikbaar uit eerdere studies, van waterbase, van Rijkswaterstaat, van Alkyon modelstudies uitgevoerd voor Rijkswaterstaat en van DHV.

Het drie dimensionale simulatiemodel voor het Noordzeekanaal is in een aantal studies in het verleden door Alkyon ontwikkeld. Het model is uitvoerig gekalibreerd voor de zout- en temperatuurverdeling op het Noordzeekanaal. Voor de voor het model gebruikte gegevens wordt dan ook verwezen naar eerdere rapporten; Zie referentielijst.

2.3.2

GEGEVENS VAN RIJKSWATERSTAAT

Sluisafmetingen

De afmetingen van de bestaande schutsluizen zijn weergegeven in tabel 2.1.

Tabel 2.1

Afmetingen bestaande sluizen (uitgaande van een streefpeil van NAP-0,40 m voor het Noordzeekanaal en een buiten niveau van NAP+0,02 m)

Maten sluizen	Noordersluis	Middensluis	Zuidersluis	Kleine sluis
Lengte [m]	400	225	111	111
Breedte [m]	50	25	18	11
Diepte [m NAP]	15	10	8	3,75
Uitwisselingsvolume ² [m ³]	292.000	54.000	15.185	4.090
Lozingsvolume ³ [m ³]	8.400	2.362,5	839,2	512,8

Malen

Voor het malen zijn gemiddelde waarden aangehouden, die representatief worden geacht voor de bestaande situatie. In het model wordt er continu gemalen. Op de lange termijn zal als gevolg van zeespiegelstijging de spuicapaciteit afnemen en moet de maalcapaciteit dus evenredig toenemen.

Spuien

Voor het spuien zijn gemiddelde waarden aangehouden. Er wordt voor het spuien tweemaal per dag gespuid. In werkelijkheid rond laag water. In de schematisatie van het NZK model is het tijdstip van laag water buiten niet van belang. Daarom wordt er tweemaal per dag bloksgewijs gespuid voor 4 uur.

Voor de verschillende scenario's zijn de volgende waarden aangehouden voor het gecombineerde spui- en maaldebiet:

Zomerscenario: 87 m³/s

2% droog scenario: 52 m³/s

2% nat scenario: 191 m³/s

In de simulaties wordt de toename van het lozingsvolume door frequenter of met een grotere sluis schutten gecompenseerd door het maaldebiet percentueel te verhogen zodat over de

² Uitwisselingsvolume = Lengte x Breedte x (Diepte – 0,40)

³ Lozingsvolume = Lengte x Breedte x 0,42. Het lozingsvolume zal op de lange termijn toenemen als gevolg van zeespiegelstijging.

simulatieperiode van 30 dagen de massabalans sluitend is. Voor 125 MTA bedraagt deze compensatie ongeveer 5% (afhankelijk van de afmetingen van de nieuwe sluis) en bij 140 MTA ca. 11%.

Zout en temperatuur

Voor het zout en de temperatuur zijn de volgende waarden aangehouden voor de verschillende scenario's voor de buitenhaven:

1. Zomer scenario: 20,3 PSU, 20,2 °C,
2. Droog scenario: 23,2 PSU, 19,0 °C,
3. Nat scenario: 14,4 PSU, 4,0 °C,

2.4

GEGEVENS PONTIS⁴

Uit recente studies gerelateerd aan de opzet van een modelinstrumentarium voor de buitenhaven heeft Alkyon tijdseries beschikbaar van het schutten in het sluizencomplex te IJmuiden. Hieruit zijn de cijfers gehaald voor een periode van 1 jaar. Vanwege de beschikbaarheid van de gegevens is gekozen voor de periode van 1 december 2009 – 30 november 2010 (dus 365 dagen), die als representatief wordt geacht voor de huidige situatie.

Van deze gegevens zijn alleen de schuttingen in oostelijke richting in beschouwing genomen. Schuttingen naar het westen leveren geen zoutbezwaar op het NZK op.

De zoutindringing door één schutting is evenredig aan de grootte van de sluiskolk. Deze waarden worden in Tabel 2.1 per sluis weergegeven. Het lozingsvolume is gering vergeleken bij het uitwisselingsvolume. De Noordersluis is qua volume duidelijk dominant ten opzichte van de andere sluizen.

2.5

GEGEVENS PMSS

De gegevens van PMSS zijn ontvangen als tabellen per sluisvariant en per ladingstroom. De tabellen geven de aantallen schuttingen per sluis, het aantal lege schuttingen en het aantal schuttingen met 1 respectievelijk 2, 3, 4, 5, 6 en 7 schepen per schutting. De kleine sluis is in geen van de simulaties van PMSS meegenomen. Zoals verderop te zien is, is het effect Van deze kleine sluis op de zoutbelasting te verwaarlozen. In hoofdstuk 3 zijn de verschillende door PMSS via DHV toegeleverde gegevens overzichtelijk verzameld.

2.6

VARIANTEN

Er is sprake van de volgende varianten:

- De bestaande situatie, die als referentie dient: huidige situatie zoals gemeten in 2010.

⁴ Pontis is de naam van het systeem waarin wordt bijgehouden welke schepen op welk moment welke sluizen gebruiken.

- Nulvariant nieuwe sluis met een ladingstroom van 95 MTA (megaton per annum). Dit is de bestaande situatie met de nieuwe Noordersluis qua afmeting gelijk aan de huidige Noordersluis, die als referentie dient voor alle simulaties. Deze ladingstroom is gebaseerd op allerlei aannames ten aanzien van de ladingstroom. De basisgegevens zijn uit 2008.
- Drie varianten waarbij de huidige Noordersluis wordt vervangen door een nieuwe sluis. Voor deze nieuwe sluis worden drie verschillende varianten (dus ook drie verschillende afmetingen) aangehouden. Bij alle drie deze varianten bedraagt de ladingstroom 125 MTA en wordt de bestaande Noordersluis niet gebruikt voor schutten.
- Drie varianten waarbij de huidige Noordersluis gerenoveerd wordt en eveneens de nieuwe sluis operationeel is. Voor deze nieuwe sluis worden drie verschillende varianten (dus ook drie verschillende afmetingen) aangehouden. Bij alle drie deze varianten bedraagt de ladingstroom 140 MTA en wordt de bestaande Noordersluis eveneens gebruikt voor schutten.

Tabel 2.2

Afmetingen suisvarianten

	Lengte [m]	Breedte [m]	Diepte [m]
Variant 1	500	65	18
Variant 2	500	70	17
Variant 3	500	60	18

2.7

SCENARIOS

Er is sprake van verschillende scenario's, die alleen verschillen in de zin van seizoen of waterbalans. Het belangrijkste scenario, waarmee de meeste simulaties zijn uitgevoerd is het zogenaamde Warm zomer gemiddeld scenario. Een scenario dat representatief is voor een gemiddelde warme zomerperiode. Hieronder is een en ander samengevat uit rapport A1524 [Alkyon, 2005]. Voor een uitgebreidere beschrijving van de selectie wordt naar dit rapport verwezen.

Warm gemiddeld zomer Scenario

Dit scenario beschrijft een gemiddelde afvoer situatie bij IJmuiden tijdens de zomermaanden juni, juli en augustus. Hierbij is speciaal geselecteerd op de combinatie met hoge watertemperaturen.

Voor het selecteren van geschikte perioden is allereerst de zomergemiddelde afvoer bepaald aan de hand van de beschikbare afvoergegevens voor de jaren 1990 t/m 2004. Deze middeling resulteert in een afvoer bij IJmuiden van 84 m³/s (= 44 % waarde). Voor de watertemperaturen zijn de meetreeksen van Lobith gehanteerd omdat hiervoor volledige meetreeksen beschikbaar zijn voor de periode 1990 tot 2004. Er is een vergelijking gemaakt voor de watertemperaturen te Lobith en op een aantal meetlocaties langs het NZK. De watertemperatuur te Lobith blijkt een goede representant voor deze grootheid.

Het selecteren van perioden voor simulaties met het NZK-model is gedaan op basis van de gemeten afvoer bij IJmuiden (spui + gemaal) en watertemperatuur te Lobith binnen de maanden juni t/m augustus. Voor de afvoer is gekeken naar perioden waarbij de afvoer binnen 10 % ligt van de gewenste afvoer (m.a.w. tussen 76 en 92 m³/s). Voor de temperatuur is gekeken naar perioden waarbij de daggemiddelde watertemperatuur hoger is dan 22 °C (ca. 10% overschrijdingswaarde). Door toepassing van een logische expressie zijn de dagen

bepaald die voldoen aan beide criteria. Er is verder niet gekeken naar andere afvoeren of temperaturen binnen het watersysteem van het NZK.

Vervolgens is het model op metingen aangepast en afgeregeld op sluitende waterbalans. Daaruit komt de eerder genoemde waarde van 87 m³/s.

Naast dit zomer scenario zijn er simulaties uitgevoerd met een droog en een nat scenario.

Droog minimum Scenario

Dit scenario beschrijft een minimum afvoer situatie bij IJmuiden in combinatie met een hoge watertemperatuur die 2% van de tijd wordt overschreden. Er zijn geen duidelijke richtlijnen gegeven over de manier waarop beide grootheden moeten worden gecombineerd. Bij de data-analyse is uitgegaan van de watertemperatuur te Lobith, omdat voor deze locatie een volledige meetreeks beschikbaar was voor de periode 1990 tot 2004. De watertemperatuur op het NZK en op de Rijn bij Lobith vertonen een grote mate van overeenkomst.

Nat maximum scenario

Dit scenario beschrijft een conditie met een maximum afvoer die 98% van de tijd wordt overschreden. Er wordt geen restrictie in de periode gedurende het jaar of de watertemperatuur voorgeschreven.

Op basis van de cumulatieve afvoer verdeling van IJmuiden is de gewenste 98% afvoer vastgesteld op 191 m³/s. Het selecteren van geschikte perioden is gedaan op basis van de gemeten afvoer te IJmuiden binnen de jaren 1990 t/m 2004. Er wordt niet geselecteerd op andere parameters. Voor de afvoer is gekeken naar perioden waarbij de afvoer groter is dan 181 m³/s (m.a.w. maximaal 5% kleiner dan gewenste 98% afvoer). Bij de selectie is geen bovengrens voor de afvoer toegepast.

Mitigerende scenario's

Tenslotte is er een aantal aanvullende simulaties uitgevoerd om het effect van mitigerende maatregelen in te schatten. Als eerste is er een scenario doorgerekend, waarbij er water direct achter de sluis aan de bodem onttrokken wordt. De reden voor het uitvoeren van deze simulatie is dat het naar verwachting de meest effectieve mitigerende maatregel is. In de praktijk is deze oplossing uit het oogpunt van realiseerbaarheid en kosten minder haalbaar. Het doorrekenen hiervan geeft echter inzicht in de maximale beperkingen die bereikt kunnen worden.

Daarnaast zijn twee andere mitigerende scenario's doorgerekend:

- een scenario waarbij de grootste schutsluizen effectiever gebruikt worden. Dat betekent meer schepen per schutting en daardoor minder schuttingen, maar ook langere wachttijden
- een scenario waarbij een bellenscherm is gesimuleerd. Dat is gedaan door de uitwisselingstijd per schutting te verlengen. In de praktijk verminderen de bellenschermen de uitwisseling tussen zout en zoet water.

In hoofdstuk 4.7 wordt nader ingegaan op de resultaten van deze simulaties en op andere mogelijke oplossingen. Tevens komt het nut en de noodzaak van dergelijke mitigerende maatregelen aan de orde.

2.8

SIMULATIES

De volgende simulaties zijn uitgevoerd:

1. Simulatie 1, huidige situatie met ladingsstroom en schutten volgens PMSS gegevens voor 2008.
2. Simulatie 2, nulalternatief met ladingsstroom en schutten volgens PMSS gegevens voor dit alternatief.
3. Simulaties 3, 4 en 5: projectalternatief ladingstroom van 125 miljoen ton, en met de drie varianten in afmetingen van de nieuwe sluis, in plaats van de huidige Noordersluis. Voor elk van de varianten wordt ook de bodem aangepast en zal de bodem over een afstand van 1,5 scheepslengte van het grootste schip, vanaf de sluisdeur geleidelijk oplopen naar de bestaande bodem. Ook de sluiseilanden aan de binnenzijde zullen overeenkomstig het voorlopig ontwerp worden aangepast. De ladingsstroom is gebaseerd op PMSS gegevens voor 125 MTA, zonder onderscheid in sluisvarianten. Deze zijn voor deze ladingsstroom niet apart gesimuleerd.
4. Simulaties 6, 7 en 8: gevoeligheidssimulaties maximale benutting sluizencomplex met ladingstroom van 140 miljoen ton voor elk van de 3 sluisvarianten. Voor 140 miljoen ton wordt de nieuwe sluis toegevoegd, maar wordt ook de Noordersluis geheel gebruikt. De ladingsstroom is gebaseerd op PMSS gegevens voor 140 MTA, zonder onderscheid in sluisvarianten.
5. Simulaties 9 en 10: Simulaties voor huidige ladingstroom van 95 miljoen. Variant met 2% droge situatie (weinig aanvoer van Amsterdam-Rijn kanaal (ARK)). Dus weinig fris water aanvoer. Idem met nat 2% nat jaar met relatief veel zoetwater aanvoer van ARK, voor referentiesimulatie van 11 en 12. Ladingsstromen gebaseerd op PMSS gegevens huidige situatie.
6. Simulaties 11 en 12: Simulaties voor ladingstroom van 125 miljoen maar met vervanging Noordersluis door nieuwe sluis variant met 65 m breed en 18 m diep. Variant met 2% droge situatie (weinig aanvoer van Amsterdam-Rijn kanaal (ARK)). Dus weinig fris water aanvoer. Idem met nat 2% nat jaar met relatief veel zoetwater aanvoer van ARK. Ladingsstromen gebaseerd op PMSS gegevens 125 MTA.

Daarnaast zijn er drie mitigerende maatregelen doorgerekend (simulatie 13, 14 en 15). In simulatie 13 is aangenomen dat de onttrekking van het gemaal wordt gedaan nabij de nieuwe schutsluis. Gezien de lokale zoutgradiënt maakt het veel verschil waar dit precies gebeurt, zodat dit meer als een indicatieve berekening kan worden gezien. In simulatie 14 zijn de aantallen schepen per schutsluis hoger gezet, waardoor het aantal schuttingen kan verminderen. In simulatie 15 is het effect van een bellenscherm nagebootst.

2.9

SLIB

Er worden regelmatig metingen van TSM (Total Suspended Matter) uitgevoerd op verschillende plaatsen langs het Noordzeekanaal en buiten in de voorhaven. Op basis van gemiddelden over de afgelopen 20 jaar (300 – 500 individuele metingen, ongeveer elke 2 of 3 weken), komen we grofstoffelijk tot de conclusie dat de concentraties bij Amsterdam gemiddeld 10 mg/l bedragen, nabij IJmuiden (km 2) komen we op 8 mg/l. In de buitenhaven komen we op drie stations op respectievelijk 10, 8 en 7 mg/l. De conclusie moet op basis van deze metingen luiden dat de concentraties binnen en buiten even hoog zijn en dat er moge-

lijk veel meer slib van binnen naar buiten als van buiten naar binnen gaat. Eenvoudigweg omdat er veel meer water wordt gemalen en gespuid dan uitgewisseld door de sluizen. Er zijn ook slib concentratiemetingen beschikbaar bij Zijkanaal B en Zijkanaal C (bij de brug over zijkanaal C). Bij Zijkanaal B worden waarden van 40 mg/l gevonden als gemiddelde over 13 metingen in de jaren 1991 en 1992, bij Zijkanaal C wordt in deze periode een concentratie gevonden van 19 mg/l. De conclusie moet dan ook luiden dat er vanuit de uitwaterende gebieden en de zijkanalen meer slib in het systeem komt als via de schutsluizen.

Overigens zegt dit niets over de aanwezigheid van slib op de bodem. Het is aannemelijk dat het meeste slib zich als gevolg van de zwaartekracht zal verzamelen op de diepste plekken van het Noordzeekanaal en dat is juist nabij de sluizen. Dat is de plaats waar de dichtheid het grootst is en waar het water bij de bodem relatief stagnant is. Aangezien de slibconcentraties binnen en buiten de sluizen vergelijkbaar zijn is het aan te nemen dat voor alle ladingstromen en sluisvarianten geldt dat de slibbelasting op het Noordzeekanaal niet zal toenemen.

HOOFDSTUK

3 Gegevensanalyse en
aanpak

3.1

INLEIDING

Aangezien de gegevens van PMSS slechts een jaargemiddelde situatie beschrijven, op basis van een gemiddelde van 10 individuele wachttijden-simulaties, is aanvullende informatie gewenst om deze toe te passen in de simulaties van de zoutverspreiding op het Noordzeekanaal. Op basis van de PONTIS gegevens is daarom gezocht naar antwoorden op de volgende vragen:

- Is het niet meenemen van schuttingen van de kleine sluis acceptabel, of moeten de gegevens op de een of andere manier worden gecompenseerd hiervoor?
- Varieert het aantal schuttingen sterk over een jaar, zodat de jaargemiddelde gegevens moeten worden aangepast voor een typisch zomer-scenario?
- Hoe moet het effect van de reductie van de zoutlast ten gevolge van schepen in de schutsluizen worden gemodelleerd?

3.2

BIJDRAGEN VAN DE VERSCHILLENDE SLUIZEN

Op basis van de gegevens uit hoofdstuk 2 en uitgaande van een gemiddeld zoutverschil tussen binnen en buiten van $8 \text{ kg Cl-}/\text{m}^3$ kan worden berekend wat globaal de bijdrage is van elk van de schutsluizen. Zonder rekening te houden met het feit dat de zoutlast bij de kleinste sluizen als gevolg van een kleinere waterdiepte geringer zal zijn en de zoutlast nog wat afneemt door het volume van de schepen in de schutkolk, komen we dan tot het volgende. Onderstaande tabel geeft het aantal schuttingen per sluis, samen met het aantal schepen in de kolk zoals beschikbaar uit de verkeersgegevens.

Tabel 3.1

Zoutlast door de verschillende sluizen

Schepen per schutting	Noordersluis	Middensluis	Zuidersluis	Kleinesluis
0 (N_{leeg})	991	1212	1504	1403
1	1113	2503	3770	2242
2	831	632	1317	232
3	627	144	128	23
4	153	31	12	6
5	50	6	0	0
6	12	0	0	0
7+	6	1	0	0
Bezette schuttingen [#]	2792	3317	5227	2503
Totaal schuttingen [#]	3783	4529	6731	3906
Uitwisselingsvolume [m^3]	292.000	54.000	15.185	4.090
Lozingsvolume [m^3]	8.400	2.362,5	839,2	512,8
Zoutindringing [10^6 kg Cl-]	9091	2042	863	144

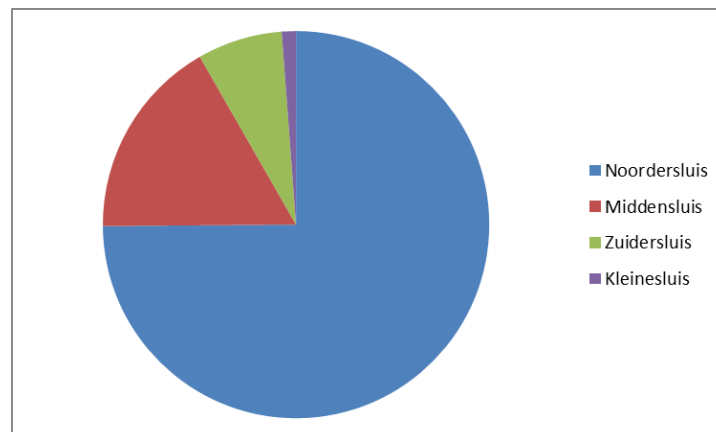
Uit de tabel is te zien dat de Bijdrage van de kleine sluis aan de zoutindringing maximaal 1,2 % bedraagt. In werkelijkheid is de belasting van de kleine sluis nog veel minder omdat hij relatief ondiep is.

Het is daarom gerechtvaardigd de belasting door de kleine sluis niet mee te nemen.

Hieronder is in twee figuurtjes de bijdrage van elk van de sluizen voor de bestaande situatie weergegeven.

Figuur 3.1

Bijdragen zoutlast per sluis



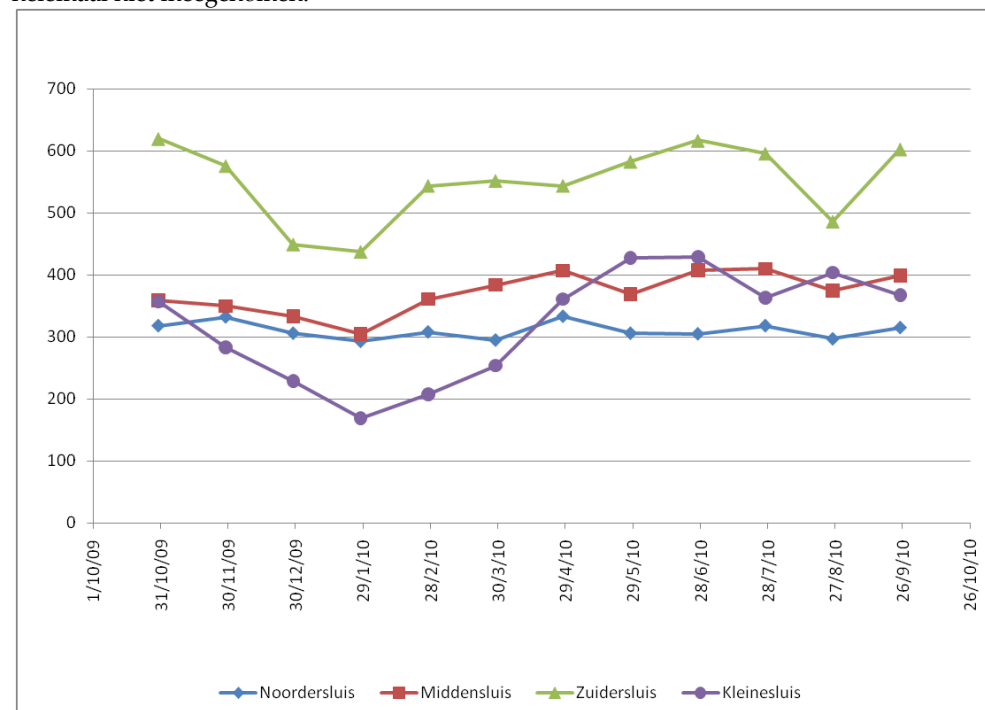
3.3

VARIATIES SCHUTTINGEN OVER HET JAAR

Uit de beschikbare gegevens blijkt het aantal schuttingen over het jaar redelijk constant. Slechts voor de zuidersluis en de kleine sluis geldt dat er in de zomer iets meer schuttingen zijn en in de winter iets minder. Dit is voornamelijk het gevolg van de recreatievaart, die in de winter minder actief is. De kleine sluis wordt bovendien op basis van het voorgaande helemaal niet meegenomen.

Figuur 3.2

Variatie aantal schuttingen over het jaar



3.4

REDUCTIE ZOUTLAST DOOR SCHEPEN IN DE SCHUTSLUIS.

Als gevolg van de aanwezigheid van schepen in de schutkolk zal niet het lozingsvolume veranderen, maar wel het uitwisselingsvolume.

Door de aanwezigheid van schepen neemt de waterinhoud van de sluis af. De reductie van de inhoud hangt af van de waterverplaatsing van de schepen in de kolk, die weer gelijk is aan het gewicht van de schepen gedeeld door de dichtheid van het water (Archimedes).

Helaas geven de verkeersgegevens geen details over het gewicht van de schepen.

Daarom zijn er aannames gedaan over het gewicht van het schip ten opzichte van het DWT.

Het DWT (*dead weight tonnage*, DWT) is voor de meeste schepen die de sluizen hebben gebruikt wel beschikbaar. De DWT kan gebruikt worden om een schatting te maken van de vermindering van de sluisinhoud door de schepen.

In de door PMSS toegeleverde ladingstroom scenario's zijn geen gegevens bekend van de DWT's van de schepen in elk van de schutkolken.

Op basis van overleg met scheepvaartdeskundigen is aangenomen dat de waterverplaatsing van een schip maximaal gelijk is aan 1,15 maal de DWT. Dit geldt voor schepen die volledig geladen zijn. Niet bekend is of de schepen die van west naar oost door de sluizen gaan geladen of ongeladen zijn.

Voor de watervolumes in bezette schutkolken, geldt dat:

$$V_{\text{uitw}} + V_{\text{loz}} = V_{\text{kolk}} - V_{\text{schepen}}$$

Voor lege schuttingen (geen schip in de kolk) geldt:

$$V_{\text{uitw}} + V_{\text{loz}} = V_{\text{kolk}}$$

De maximale zoutlast kan worden gezien als de situatie waarbij er alleen lege schuttingen zijn. De minimale zoutlast is de zoutlast indien alle schepen volledig beladen zijn.

Voor de PONTIS gegevens van 2009/ 2010 is voor de grotere schepen de DWT bekend.

Daarnaast is het totaal aantal schuttingen en het aantal lege schuttingen bekend. De schepen waarvan de DWT niet bekend is zijn voornamelijk sleepboten en plezierjachtvaart.

Op basis van de beschikbare gegevens kan op die wijze een schatting gemaakt worden van de afname van het kolkvolume door de aanwezigheid van scheepvaart.

3.5

CONCLUSIES

Op basis van bovenstaande kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Het is niet nodig om de kleine sluis mee te nemen in de modellering, aangezien de bijdrage hiervan op de zoutlast verwaarloosbaar is.

- De variatie in het aantal schuttingen over het jaar is niet zo significant, dat wij het noodzakelijk achten hier de jaarlijkse data voor te corrigeren. Het is de vraag of de seizoensafhankelijkheid kan worden bepaald op basis van één jaar gegevens. Alleen de kleine Sluis vertoont een duidelijk verloop over het jaar (zomerse toerisme), maar deze schuttingen worden niet meegenomen (zie eerste punt).
- Op basis van de analyses van de DWT-gegevens uit PONTIS is afgeleid dat er een gemiddelde reductie is van het kolkvolume ten gevolge van scheepvaart van:
 - Noordersluis: 12,5% bij een gemiddelde bezetting van 2.02 schepen per niet-lege schutting
 - Middensluis: 8,4% bij een gemiddelde bezetting van 1.32 schepen per niet-lege schutting
 - Zuidersluis 6,8 % bij een gemiddelde bezetting van 1.31 schepen per niet-lege schutting

3.6

PMSS DATA

Op basis van de PMSS gegevens zijn de volgende tabellen gegenereerd voor de verschillende scenario's:

Tabel 3.2

PMSS gegevens huidige
situatie 2008 77 MTA

	aantal schuttingen oost- waarts		aantal schepen	aantal sche- pen per niet- lege schutting	aantal schut- tingen per dag
	totaal	leeg			
Noordersluis	5310	1379	5089	1.29	14.55
Middensluis	6528	1899	5806	1.25	17.88
Zuidersluis	8280	2429	6438	1.10	22.69
totaal	20118	5706	17334	1.20	55.12

Tabel 3.3

PMSS gegevens nulalter-
natief 95 MTA

	aantal schuttingen oost- waarts		aantal schepen	aantal sche- pen per niet- lege schutting	aantal schut- tingen per dag
	totaal	leeg			
Noordersluis	-	-	-	-	-
Middensluis	7222	1757	7741	1.42	19.79
Zuidersluis	10024	2919	8480	1.19	27.46
nieuwe sluis	5084	981	6183	1.51	13.93
totaal	22330	5658	22405	1.34	61.18

Tabel 3.4

PMSS gegevens projectal-
ternatief 125 MTA

	aantal schuttingen oost- waarts		aantal schepen	aantal sche- pen per niet- lege schutting	aantal schut- tingen per dag
	totaal	leeg			
Noordersluis	-	-	-	-	-
Middensluis	7364	1601	9213	1.60	20.18
Zuidersluis	10415	3479	8902	1.28	28.53
nieuwe sluis	5066	893	8378	2.01	13.88
totaal	22845	5972	26492	1.57	62.59

Tabel 3.5

PMSS gegevens gevoeligheidsanalyse optimale benutting sluiscomplex 140 MTA

	aantal schuttingen oost- waarts		aantal schepen	aantal sche- pen per niet- lege schutting	aantal schut- tingen per dag
	totaal	leeg			
Noordersluis	5379	1599	6282	1.66	14.74
Middensluis	7766	1719	9244	1.53	21.28
Zuidersluis	11615	3104	10654	1.25	31.82
nieuwe sluis	5415	1572	6172	1.61	14.83
totaal	30174	7993	32352	1.46	82.67

Dit zijn de gegevens die de basis vormen voor de modelschematisatie (zie hieronder).

3.7

AANPAK MODELLERING

Voor het modelleren van de zoutlast van de schutsluizen op het Noordzeekanaal zijn de gegevens van PMSS en PONTIS gecombineerd.

Bij de keuze van de aanpak is geprobeerd om een zo juist mogelijke hoeveelheid water en zout te schatten, die ten gevolge van de schuttingen aan het systeem van het Noordzeekanaal wordt toegevoegd. Hierbij is rekening gehouden met:

- aantal schuttingen
- afmeting schutkolk
- bezettingsgraad/aantal lege schuttingen
- zoutgehalte instromend water

Gedeeltelijk is de keuze van de aanpak arbitrair, maar vooral van belang is dat de aanpak eenduidig is, waardoor de verschillende scenario's objectief met elkaar vergeleken kunnen worden.

Daarnaast is ook gekeken naar de waterbalans op het Noordzeekanaal. In (Alkyon, 2005) is speciaal aandacht besteed aan het sluitend maken van de waterbalans. Om te voorkomen dat bij een toe- of afname van het aantal schuttingen het Noordzeekanaal langzaam vol of leeg loopt, is ervoor gekozen om dit overschot of gebrek te compenseren in het maaldebiet.

Op basis van de PMSS gegevens en de analyse van de PONTIS gegevens is de volgende aanpak gekozen:

- Het lozingsvolume per schutting in oostgaande richting is gelijk aan de lengte keer de breedte van de sluis keer het gemiddelde waterstandsverschil tussen binnen en buiten.
- Het schutkolk volume bij een lege schutting in oostgaande richting is gelijk aan de lengte keer de breedte keer de diepte van de sluis.
- Het schutkolk volume bij een niet-lege schutting in oostgaande richting is gelijk aan de lengte keer de breedte keer de diepte van de sluis, verminderd met de in de vorige paragraaf gevonden percentages, geschaald met de gemiddelde bezettingsgraad.
- De zoutlast per schutting in oostgaande richting is gelijk aan het aantal lege schuttingen keer het schutkolk volume bij een lege schutting, plus het aantal niet-lege schuttingen keer het gereduceerde schutkolk volume gedeeld door het totaal aantal schuttingen, vermenigvuldigd met de saliniteit buiten.

- De zoutlast per schutting in westgaande richting is gelijk aan hetzelfde volume als in oostgaande richting (aannahme dat het aantal schepen oost- en westgaand ongeveer gelijk zijn) vermenigvuldigd met de saliniteit op het Noordzeekanaal voor de sluizen.

Voor de verschillende scenario's en sluisvarianten geeft dit de volgende waarden, gesommeerd over alle sluizen:

Tabel 3.6

Zoutlast naar het Noordzeekanaal (miljoen kg zout per dag)

	Noorder- sluis	Midden- sluis	Zuider- sluis	nieuwe sluis	totaal	relatief t.o.v. 2008
huidig 2008	83.6	17.2	7.5	-	108.3	-
nulalternatief	-	18.8	9.1	75.9	103.8	-4.2%
125MTA, var1	-	18.9	9.4	158.7	187.1	72.7%
125MTA, var2	-	18.9	9.4	163.4	191.7	77.0%
125MTA, var3	-	18.9	9.4	145.0	173.4	60.0%
140MTA, var1	83.6	20.1	10.5	181.2	295.3	172.6%
140MTA, var2	83.6	20.1	10.5	186.5	300.6	177.5%
140MTA, var3	83.6	20.1	10.5	165.5	279.6	158.1%
PONTIS 2010	57.5	11.9	6.0	0.0	75.4	-30.4%

De lozingsvolumes en zoutlasten zijn per sluis als een blokfunctie gemodelleerd, waarbij met het gegeven interval het schutvolume en de zoutlast telkens in 30 minuten voor de Nieuwe en de Noordersluis en 15 minuten voor de andere sluizen aan het systeem wordt toegevoegd. Dit geeft de periode van nivellering van de waterstand en het uitwisselen van het kolkvolume door dichtheidseffecten weer.

HOOFDSTUK

4 Resultaten NZK model

4.1

INLEIDING

Alle simulaties zijn uitgevoerd met het Delft3D pakket versie 4.0 in 3 dimensies met 20 Sigma lagen, van elk 5% van de waterdiepte, in de verticaal.

Er zijn een groot aantal simulaties gedraaid voor de bestaande en de toekomstige situatie. Uit de resultaten van de simulaties bleek dat zich bij de modelering van de uitwisseling door de schutsluizen een probleem voordeed. In het verleden werd het model afgeregeld op de huidige situatie. Daarbij werd de uitwisseling gemodelleerd als een grote zoutlast bij een relatief gering debiet (de hoeveelheid water die als gevolg van de nivellering van buiten naar binnen komt). Een dergelijke aanpak was gerechtvaardigd, omdat het een stabiele situatie betreft. Het zoutverschil tussen binnen en buiten is relatief constant.

Echter indien er een nieuwe schutsluis wordt aangelegd, zal het Noodzeekanaal naar verwachting zouter worden. Dat betekent dat het verschil tussen buiten en binnen kleiner wordt en dus ook dat de netto instroom afneemt. Er is sprake van een gekoppeld systeem met een negatieve terugkoppeling. Een dergelijk systeem kon met het bestaande model niet worden nagebootst. Daarom is er gekozen voor een aanpak waarbij de uitwisseling in de sluiskolk wordt gemodelleerd als een lozing en een onttrekking (met beide hetzelfde debiet). Voor de lozing wordt het gemiddelde zoutgehalte buiten genomen. Voor de onttrekking wordt het heersende zoutgehalte van het water voor de sluis onttrokken.

Dit heeft tot gevolg dat het lozingsdebiet en instroom van zout juist wordt gemodelleerd, maar dat het proces van zoet/zout uitwisseling in en net voor de sluis niet realistisch is. Aangezien de focus van de studie niet de nabije omgeving van het sluizencomplex is, maar juist het Noordzeekanaal als geheel, is dit niet van groot belang en heeft het geen significante invloed op het gezochte resultaat.

De volgende resultaten zijn voor elk van de simulaties gevisualiseerd:

- saliniteit bij het oppervlak
- saliniteit bij de bodem
- langsdoorsnede van saliniteit langs het Noordzeekanaal

Hierbij zijn de resultaten over een dag gemiddeld. Dit is enerzijds gedaan omdat de data van PMSS alleen gemiddelden kent, zodat het ook niet zinvol is om te kijken naar individuele momenten. Anderzijds zou bij vergelijkingen kunnen worden gekeken naar een moment dat in de ene simulatie juist is geslut, terwijl in de referentie simulatie dit al weer een tijd geleden is, doordat de intervallen tussen de schuttingen en daarmee de tijdstippen van

schutten niet gelijk zijn. Voor de tweede is het zout dan veel meer verdeeld, zodat de verschillen niet vergelijkbaar zijn. Dit wordt voorkomen door over een dag te middelen.

Bij het visualiseren van de saliniteitswaarden, is de volgende indeling aangehouden:

- zoet: S kleiner dan 0,54 PSU (= 0,3 g Cl-/l)
- licht brak: S tussen 0,54 en 5,4 PSU (= 0,3 en 3 g Cl-/l)
- brak: S tussen 5,4 en 18 PSU (= 3 en 10 g Cl-/l)
- zout: S groter dan 18 PSU (= 10 g Cl-/l)

Deze grenzen zijn in de figuren ook als contour weergegeven.

De ligging van de langsdoorsnede is in figuur 4.1 weergegeven. Dit is een roosterlijn van het model. Km 0 ligt bij het sluiscomplex bij IJmuiden, de Oranjesluizen liggen op circa km 27. Belangrijk is wel te constateren dat de afstanden langs de langsraai afwijkend zijn van de officiële km-punten, zoals weergegeven in figuren 2.2 en 2.3.

4.2

HUIDIGE SITUATIE

Figuren 4.2 en 4.3 laten de oppervlakte- en bodemsaliniteit zien in de omgeving van het sluizencomplex. 'Bodemsaliniteit' is gedefinieerd als de saliniteit in de onderste laag van het model. Aan de zijanten van het model, waar het ondieper is, ligt deze laag dus hoger. Dit verklaart de lagere saliniteitswaarden langs de rand. Bij de oppervlakesaliniteit speelt dit effect minder; de laag is weliswaar dunner, maar de saliniteit bij de oppervlakte varieert niet zodanig dat dit zichtbaar is. Aan het oppervlak liggen de waarden rond de 5,4 PSU (grens licht brak en brak). Bij de bodem worden waarden gevonden tussen 13,5 en 18 PSU (brak).

Figuur 4.4 toont in de bovenste figuur de saliniteit in de langsdoorsnede. De grens van 18 PSU (brak/zout) wordt nergens overschreden. De onderste figuur in 4.4 laat de standaarddeviatie in de saliniteit zien. Doordat er periodiek zout water door het schutten binnen komt, vertoont de saliniteit vlakbij de sluizen een grotere tijdsvariatie dan op enige afstand. De standaardafwijking bij de sluis ligt rond de 1 PSU. Het effect is zichtbaar tot op circa 5 km van de sluizen. Opvallend is wel dat bij de bodem de standaarddeviatie kleiner is dan tussen de 10 en 15 m. Dit toont aan dat bij de bodem de saliniteit vrijwel constant is en het zout uit de sluis voornamelijk te vinden is tussen 10 en 14 m diepte.

Bij de Piet Heintunnel (km 30) is ook een hoge standaarddeviatie zichtbaar. Dit hangt samen met de ligging van de zoutgradiënt in die omgeving, die ten gevolge van het spuien en de toevoer van zoet water bij de Oranjesluizen in de tijd heen en weer schuift. In de figuur van de saliniteit in de langsdoorsnede is zichtbaar dat deze tunnel een drempel vormt, die voorkomt dat het zoute water verder oostwaarts komt.

4.3

NULALTERNATIEF

Figuren 4.5 en 4.6 laten de verschillen in saliniteit zien tussen het nulalternatief en de huidige situatie. Zowel aan het oppervlak als bij de bodem is een afname in saliniteit zichtbaar. Dit is consistent met de afname in zoutlast met 4,2%, zoals gegeven in tabel 3.6. Ter plaatse

van de nieuwe sluis is bij de bodem wel een duidelijke toename in saliniteit zichtbaar, puur door de schematisatie.

Figuur 4.7 toont de saliniteit in de langsdoorsnede en het verschil ten opzichte van de huidige situatie. De verschillen laten duidelijk zien dat het zout minder ver doordringt. Bijna alle contouren schuiven ongeveer 1 km op richting IJmuiden. In de eerste 8 km neemt de saliniteit bij de bodem af met meer dan 1 PSU.

De vraag is wel hoe realistisch dit scenario is. Uit de gegevens van PMSS volgt dat de Midden- en Zuidersluis meer scheepvaart trekken dan voor 2008, en de nieuwe Sluis met dezelfde afmetingen als de Noordersluis juist minder. Het is onduidelijk waarom dit het geval is.

4.4

PROJECTALTERNATIEF VOOR 3 SLUISVARIANTEN

Voor het projectalternatief zijn in figuren 4.8, 4.9 en 4.10 de langsdoorsneden gepresenteerd voor respectievelijk sluisvariant 1, 2 en 3 (zie Tabel 2.2) en het verschil ten opzichte van het 2008-scenario (onderste figuur). Zoals in tabel 3.6 gegeven is de zoutlast ten opzichte van de huidige situatie toegenomen met 73, 77 en 60 procent. Het gevolg hiervan is ook duidelijk in de figuren zichtbaar. Het gebied waar het verschil meer dan 2 PSU bedraagt, is voor variant 2 het grootst, iets kleiner voor variant 1 en minimaal voor variant 3. Analooq aan de geconstateerde patronen voor de standaarddeviatie van de saliniteit in de huidige situatie (figuur 4.4) treden de grootste verschillen niet op bij de bodem, maar juist tussen de -5 en -12 m diepte. Blijkbaar wordt het water uit de sluis al voldoende verdund nabij de sluis, waardoor de saliniteit al zoveel wordt verlaagd dat dit water niet direct naar de bodem zakt. De saliniteit bij de bodem verandert hierdoor dus minder sterk dan halverwege de waterkolom en de gradiënt wordt dus steiler.

Ter hoogte van de Piet Heintunnel neemt de saliniteit af. Dit lijkt tegenstrijdig met het feit dat er meer zout water naar het Noordzeekanaal wordt gevoerd bij de schutsluizen, maar hierdoor neemt tegelijkertijd de dynamiek toe. Het zout komt verder richting het Amsterdam-Rijn-Kanaal, terwijl het zoete water verder richting Noordzeekanaal. De verschuiving van de zouttong richting zoeter water overheerst, zodat de gemiddelde saliniteit afneemt.

4.5

GEVOELIGHEIDSANALYSE MAXIMALE BENUTTING SLUIZENCOMPLEX VOOR 3 SLUISVARIANTEN

De resultaten van de saliniteit langs de langsraai en het verschil ten opzichte van het 2008-scenario voor de drie sluisvarianten zijn weergegeven in figuren 4.11 tot en met 4.13. Let op de aangepaste kleurenschaal bij de verschilfiguren ten opzichte van paragraaf 4.4. Vergelijkbaar als bij het projectalternatief zijn de verschillen voor variant 2 het grootst (toename zoutlast resp. 173, 178 en 158 procent).

De grotere hoeveelheid zout die op het Noordzeekanaal komt, zorgt voor een duidelijke toename van de saliniteit in de omgeving van het sluizencomplex. Hoewel daardoor de onttrekking van zout door schuttingen in westelijke richting ook toeneemt, is dit niet vol-

doende om de saliniteit niet te veel op te laten lopen. Bij de bodem neemt de saliniteit zelfs toe tot boven de 18 PSU (zout water). Afhankelijk van de afmetingen van de nieuwe sluis komen deze hoge waarden voor tot op een afstand van 6 tot 8 km van de sluizen.

Het beeld komt goed overeen met de andere simulaties dat nabij de bodem de saliniteit minder toeneemt dan op dieptes tussen de 3 en 12 m diepte. De hoogte waarover de verschillen groter zijn, is wel beduidend meer dan in de simulaties van 125 MTA.

Ook de effecten op het Amsterdam-Rijn-Kanaal verschillen bij de bodem niet significant ten opzichte van die bij 125 MTA. Dit hangt samen met het feit dat het hier bij de simulaties met 125 MTA al volledig zoet is geworden.

4.6

GEVOELIGHEIDSANALYSE HOGE EN LAGE AFVOER NOORDZEEKANAAL

Om te kijken naar het effect van het gekozen scenario op de resultaten, zijn ook simulaties uitgevoerd met een extreem hoge en extreem lage afvoer op het Noordzeekanaal. Voor de droge periode neemt zowel de doorstroming af, als de zoutlast toe (zouter water in de haven van IJmuiden). In de extreem natte periode werken beide effecten juist de andere kant op; meer doorspoeling en minder hoge zoutgehalten van het binnenkomende water. Hierdoor zal het zoutere water minder ver of verder doordringen richting Amsterdam. Er zijn simulaties gedraaid voor beide afvoeren met de schuttingsen van 2008 (77 MTA) als referentie en met de 125 MTA ladingsstroom voor de grootste sluisvariant (variant 2) voor de gevoeligheid, aangezien voor deze variant de effecten het meest significant zijn.

Figuren 4.14 en 4.15 tonen weer de saliniteit langs het Noordzeekanaal en de verschillen ten opzichte van de referentie simulatie voor zowel de extreem lage als de extreem hoge afvoer. Bij de 2-procents lage afvoer (figuur 4.14) worden in de eerste 12 km vanaf de sluizen saliniteitswaarden van boven de 18 PSU gevonden. Het zoete water bij het oppervlak komen ook minder ver richting IJmuiden. Het effect van de toename van de zoutlast ten gevolge van de nieuwe schutsluis is ook beduidend groter dan in het geval van het zomerscenario. Door de lagere afvoer neemt de doorspoeling van het systeem af, waardoor veranderingen zich duidelijker manifesteren.

Bij de hoge afvoer (figuur 4.15) is het effect omgekeerd. De saliniteit van het water op het Noordzeekanaal neemt af en de gevolgen van de nieuwe sluis worden meer weggedrukt. Ook zijn de effecten in de omgeving van de Piet Heintunnel nog nadrukkelijker zichtbaar; ten zuiden wordt alles zoeter en ten noorden alles zouter. Door het extra schutten neemt de dynamiek toe en door de hoge afvoer worden de gevolgen alleen maar versterkt.

In figuur 4.16 zijn de resultaten niet vergeleken met de referentiesimulatie met dezelfde afvoeren en zonder nieuwe sluis, maar met het zomerscenario met nieuwe sluis. Voor het droge scenario is een duidelijke toename van de saliniteit in het gehele Noordzeekanaal zichtbaar tussen de 2 en 3 PSU. Voor het natte scenario is er juist een duidelijke afname zichtbaar tussen de 4 en 5 PSU, voornamelijk bij de bodem. De figuren laten duidelijk het effect zien van het meer of minder doorspoelen en hogere of lagere zoutlast.

4.7 MITIGERENDE MAATREGELEN

4.7.1 NUT EN NOODZAAK

Het is de vraag of het verder doordringen van zout op het Noordzeekanaal, als een te mitigeren verschijnsel moet worden beschouwd. In het algemeen geldt dat de Nederlandse overheid een meer geleidelijke overgang tussen zoet en zout water nastreeft. Dat staat beschreven in de Kader Richtlijn Water.

Het verder doordringen van het zout op het Noordzeekanaal zal leiden tot een iets meer geleidelijke overgang tussen zoet en zout op het Noordzeekanaal. Dat is dus een positief effect van een nieuwe schutsluis.

Er zijn echter ook nadelen aan de verdere zoutindringing. Die moeten vooral gezocht worden in het eventueel zouter worden van inname punten voor de waterbeheersing en drinkwaterinnamepunten. Voor de drinkwaterinname is er slechts een punt van belang, dat is het drinkwaterinnamepunt nabij Nieuwersluis op het Amsterdam Rijnkanaal.

Voor de waterbeheersing zijn er meerdere punten, maar hier kunnen juist lokaal maatregelen worden getroffen door bijvoorbeeld inname aan het oppervlak.

4.7.2 OVERZICHT MOGELIJKE MAATREGELEN

De mitigerende maatregelen kunnen worden onderverdeeld in maatregelen die:

1. de oorzaak aanpakken (beperken instroom zout);
2. de gevolgen van de zoutindringing nabij de bron bestrijden;
3. de gevolgen bij inname lokaal bestrijden (bijv. innemen op een andere diepte)

4.7.3 MAATREGELEN DIE DE OORZAAK AANPAKKEN

Voorbeelden van maatregelen die de oorzaak van de grotere zoutindringing beperken zijn bijvoorbeeld:

- Het optimaliseren van de bezetting van de grootste sluizen. Door meer schepen per schutting door de grotere sluizen te schutten, neemt het aantal schuttings af en tevens het uitwisselingsvolume per schutting. Een en ander zal resulteren in een verminderde zoutlast op het Noordzeekanaal. Tegelijkertijd zullen overigens de wachttijden van de scheepvaart toenemen. Dat betekent extra kosten voor de vervoerders en een verminderde aantrekkelijkheid van de havens achter de sluizen.
- Het werken met een bellenscherm bij of juist stroomopwaarts van de ingang van de sluis aan de Noordzeekanaal zijde. Door het aanleggen van een bellenscherm zal de uitwisseling tussen de sluis en het Noordzeekanaal verminderen. De mate waarin dat het geval is afhankelijk van de effectiviteit en het type bellenscherm. Het is een kostbaar en kwetsbaar systeem, waarvan de werking in een operationele situatie twijfelachtig is.

- Door het vul- en ledigingssysteem van de sluizen te veranderen kan een verdere beperking van de zoutindringing worden bewerkstelligd. Indien de schutsluis wordt uitgerust met bodem- en met omloopriolen, bestaat de mogelijkheid om het zoutere water onder in de sluis naar zee af te voeren terwijl de sluis door de omloop riolen van bovenaf wordt aangevuld met Noordzeekanaal water. Een dergelijk systeem zal zeker leiden tot een reductie van de zoutlast. Maar een dergelijk systeem is kostbaar in aanleg en in onderhoud. Bovendien kost het vullen en ledigen daardoor meer tijd, wat de schuttijd doet toenemen.
- Door te werken met spaarbekkens. Dit is gezien de beperkte ruimte in IJmuiden geen optie.

De eerste twee maatregelen zijn met behulp van simulaties verder uitgewerkt.
De resultaten worden in paragraaf 4.7.6 beschreven

4.7.4

MAATREGELEN DIE DE GEVOLGEN BIJ DE BRON BESTRIJDEN

Voorbeelden van grootschalige maatregelen die de gevolgen bij de bron bestrijden zijn:

- Het vergroten van het doorspoelen door meer water in te laten bij de Oranjesluizen heeft duidelijk effect, zoals ook blijkt uit de resultaten voor een extreem hoge afvoer. Het zoutere water wordt bij een hoge afvoer meer teruggedrongen in de richting van IJmuiden en ook kunnen de effecten van de toename van de zoutlast beter worden gecompenseerd. Bij een extreem hoge afvoer wordt een afname tot 5 PSU bereikt. De mate waarin een toename van het doorstromingsdebiet zorgt voor een voldoende grote afname van de saliniteit hangt ook af van de afmetingen van de nieuwe sluis, en de locaties waar specifiek een afname van de saliniteit tot onder een bepaalde norm moet worden bereikt.
- Het afzuigen van zout water nabij de bodem juist stroomopwaarts van de ingang van de grote sluizen. Dat zou bijvoorbeeld kunnen worden gerealiseerd door een van de inlaten van de pompen te verplaatsen naar deze locatie. Uiteraard een kostbare en ingrijpende maatregel. Deze maatregel zal alleen werken indien er zeer voorzichtig en geleidelijk wordt aangezogen. Bij te hoge aanzuigsnelheden zal de turbulentie rondom het aanzuigen de gelaagdheid in het systeem verstoren.
- Een andere optie is het plaatsen van een scherm nabij de ingang van het binnenspuikanaal. Door dit scherm tot ongeveer 1 á 1,5 meter boven de bodem te laten reiken, zal bij spuien en malen vooral water langs de bodem worden aangezogen. Voorwaarde is dat de stroomsnelheid in deze onderlaag klein genoeg is om de gelaagdheid in het systeem niet te verstoren. Daarom zal het scherm voldoende ver van de spuisluis en het gemaal moeten worden geplaatst en de opening moet groot genoeg zijn om de snelheid laag te houden, zodat de stratificatie niet verstoord wordt.

De tweede maatregel is in detail doorgerekend en wordt onder 4.7.6 beschreven.

4.7.5

MAATREGELEN DIE DE GEVOLGEN BIJ INNAME LOKAAL BESTRIJDEN

Bij deze maatregelen moet gedacht worden aan lokale maatregelen bij het innamepunt.
Voorbeelden zijn:

- Een dammetje aan de bodem bij het innamepunt, dat als het ware de zoute onderlaag blokkeert, waardoor de zoetere bovenlaag wordt aangezogen.

- De opmenging van het innamepunt zo hoog mogelijk in de vertikaal plaatsen, zonder dat deze bij lage waterstanden of golfwerking lucht gaat aanzuigen.
- Het maken van een bellenscherm dat menging aan de bodem zoveel mogelijk beperkt.

Uiteraard zijn deze maatregelen alleen zinvol als er voldoende stratificatie is. Onder 4.7.6 worden de saliniteitsprofielen bij de verschillende inname punten getoond.

4.7.6

SIMULATIERESULTATEN

Het effect van het verplaatsen van de maallocatie naar de omgeving van de nieuwe sluis is gesimuleerd voor sluisvariant 2 en een ladingstroom van 125 MTA. De resultaten hiervan zijn weergegeven in figuur 4.17 (bovenste figuur) en de vergelijking met de 125 MTA ladingstroom zonder deze maatregel (onderste figuur). De contourlijnen zijn ten opzichte van de normale maallocatie over een afstand van circa 1 km verschoven, en de saliniteitsverschillen bedragen tussen de 0,1 en 0,5 PSU. Uit kostenoverweging is deze maatregel niet realistisch, maar het laat wel duidelijk zien dat een directe ingreep nabij de schutsluizen een effectieve maatregel is en geeft de mogelijkheid om de andere maatregelen te beoordelen.

Figuur 4.18 toont het resultaat van de simulatie waarbij de bezettingsgraad van de nieuwe sluis is verhoogd van 2 naar 2,5 schepen per niet-lege schutting. In een groot gedeelte van het Noordzeekanaal neemt de saliniteit af met 0,5 tot 1 PSU, en nabij de sluizen zelfs met meer dan 1 PSU. De afname van de dynamiek zorgt tegelijkertijd ook voor een toename van de saliniteit op het Amsterdam-Rijn-Kanaal. Dit is in overeenstemming met de eerder gevonden resultaten. Het optimaliseren van de bezetting heeft een beduidend groter effect dan het zoute water nabij de sluizen wegpompen. Het toepassen van omlooppielen zorgt er ook voor dat er kleinere hoeveelheden zout water naar het Noordzeekanaal stroomt. Hierbij verandert de dynamiek niet, zodat de gevolgen op het Amsterdam-Rijn-Kanaal kleiner zullen zijn. Deze maatregel is echter niet in detail doorgerekend.

Het effect van een bellenscherm bij het nieuwe sluizencomplex is gesimuleerd door de duur van de uitwisseling te verhogen van 30 naar 50 minuten. De hoeveelheid zout die uit de schutkolk stroomt, zal door het bellenscherm niet afnemen, maar door het bellenscherm gaat het uitwisselen wel trager. Figuur 4.19 laat het resultaat zien. Doordat de uitwisseling trager verloopt, dringt het zoutere water minder ver het Noordzeekanaal op, en wordt bij het schutten de andere kant op zouter water afgevoerd. Het gevolg is dat de saliniteit op het hele Noordzeekanaal tussen de 0,1 en 0,5 PSU afneemt. Aan de bodem is de saliniteit tot op 7 km afstand zelfs meer dan 1 PSU afgenomen.

Om te kijken naar de effecten bij waterinlaatpunten, zijn de saliniteitsprofielen voor de verschillende scenario's in een aantal punten weergegeven in figuur 4.20. Het betreft de punten in Zijkanaal C nabij het Noordzeekanaal en ter hoogte van Spaarndam, in Zijkanaal B, bij Zaandam en bij de Oranjesluizen. Voor het eerste en de laatste twee locaties is duidelijk de toename van de saliniteit te zien voor de verschillende 125 en 140 MTA simulaties en een kleine afname bij het nulalternatief. Zelfs met een drempel voor de inlaat is het moeilijk om een saliniteit in te nemen zonder toename van de saliniteit.

Figuren 4.21 tot en met 4.23 laten de saliniteitsprofielen zien voor de verschillende koelwater-innamepunten.

In de tweede en derde locatie vinden kleine veranderingen van de saliniteit plaats. Deze locaties liggen in het zuiden van Zijkanaal C en in Zijkanaal B waar in de omgeving ook drie bronnen van zoet water liggen (Spaarndam, Zuidspaarndammer polder en de Dammers, als toevoer vanuit de Velsbroek). De saliniteit blijft onder de 1 PSU. Wel opvallend is dat bij de 125 MTA simulaties de saliniteit in deze locaties het laagst is, en niet voor de huidige situatie of het nulalternatief. De oorzaak hiervan is onduidelijk, maar heeft waarschijnlijk te maken met het schematiseren van beide Zijkanalen met resp. 3 en 2 cellen over de breedte en dat door de geringe dynamiek het model langer nodig heeft om een evenwicht te bereiken. Bovendien is er op deze ondiep water locaties geen sprake van enige stratificatie.

4.8

MATE VAN VERVERING BIJ DE BODEM

Om te kijken naar de mate van verversing van het water aan de bodem, zijn de laatste twee dagen van de simulaties opnieuw gedraaid, waarbij in de onderste sigma laag een conservatieve tracer is aangebracht. Na twee dagen is gekeken welk percentage van deze stof over is gebleven in de onderste twee lagen. Er is bewust gekeken naar twee lagen, aangezien de sterke initiële gradiënt in concentratie direct vanaf het begin voor een herverdeling zorgt van de onderste naar de één na onderste laag.

Daarnaast vindt er verdunning plaats ten gevolge van verversing en doorstroming van het water in het Noordzeekanaal. Figuur 4.18 laat de percentages zien van hoeveel tracerstof over is na 1 en 2 dagen langs de langsraai voor de verschillende simulaties. Na 1 dag is over ongeveer de eerste 5 km de invloed van het schutten duidelijk zichtbaar. Na 2 dagen is het gebied waar nauwelijks tracer over is, uitgebreid tot 10 km. Op de lange termijn zal alle stof langzaam uit het Noordzeekanaal verdwijnen, maar de snelheid waarmee en vooral de veranderingen ten opzichte van de huidige situatie laten wel de gebieden zien waar eventueel problemen kunnen optreden. Dit is vooral het geval na km 18. Zelfs met een toename van het schutvolume neemt de verdunning nauwelijks toe.

HOOFDSTUK

5

Conclusies en aanbevelingen

5.1

CONCLUSIES

Met uitzondering van het Nulalternatief neemt de hoeveelheid zout op het Noordzeekanaal toe. Het feit dat voor het Nulalternatief een afname van de saliniteit gevonden is, hangt samen met een lager aantal schuttingen door de nieuwe sluis, vergeleken met het aantal schuttingen door de Noordersluis in het 2008 scenario. Hierdoor neemt de zoutlast naar het Noordzeekanaal af met 4,2%.

De resultaten voor grotere ladingsstromen laten een duidelijke toename van de waarden van de saliniteit zien op het Noordzeekanaal. Hierbij geldt dat hoe groter de ladingsstroom is en hoe zouter het water in de omgeving van het sluizencomplex, hoe verder het zout doordringt.

Het inlaten van meer water bij de Oranjesluizen zorgt voor een toename van de doorstroming, waardoor het zout minder ver op het Noordzeekanaal doordringt, zoals volgt uit de simulatie met een extreem nat scenario. Dit is dus een methode om de toename van de zoutlast ten gevolge van de nieuwe sluis tegen te gaan. Verder onderzoek zou moeten aantonen welke debieten haalbaar zijn en voor voldoende effect zorgen.

De saliniteitswaarden in een aantal innamelocaties nemen duidelijk toe. Dit gebeurt in zo sterke mate, dat indien op dit moment bij de bodem water zou worden ingenomen, in de toekomstige situaties alleen door vlakbij het oppervlak water te onttrekken een zelfde saliniteit wordt gehaald. Voornamelijk van belang is om te weten wat de criteria zijn en welke saliniteit acceptabel is voor het in te nemen water.

De verversing van het water bij de bodem neemt in de eerste 18 km toe ten gevolge de toename van schutvolume door toename van het ladingstransport en de grotere afmetingen van de sluis. Verderop is het effect minder. Significante verslechtingen lijken er niet op te treden. Indien de waterdiepte kleiner wordt dan 5 meter is de stratificatie vrijwel geheel verdwenen en is er een goede menging in de vertikaal.

Zoals te verwachten is zijn de grootste zoutgehalten op het Noordzeekanaal te verwachten in een droge zomerperiode waarbij de doorstroming als gevolg van uitwateringen van omliggende polders gering is.

5.2

AANBEVELINGEN

De uitwisseling van zoet/zout water in schutsluizen is een zeer complex fenomeen, waarbij een groot aantal aspecten een rol spelen. In deze studie is de nadruk gelegd op het zo juist mogelijk inschatten van de hoeveelheden zout die over een lange periode vanaf de Noordzee naar het Noordzeekanaal worden getransporteerd.

In werkelijkheid is het proces veel ingewikkelder. Zo speelt het getij op de Noordzee een rol bij de variatie over de dag van de zoutlast. Bij hoog water is de waterstand buiten ongeveer één meter boven NAP, waardoor de hoeveelheid zout water tussen de 6,5 en 12,5% hoger ligt (afhankelijk van de sluisdiepte) dan bij NAP. Tijdens laag water wordt er minder zout water geslut. Terwijl tijdens laag water juist water van het Noordzeekanaal naar de Noordzee wordt gespuid.

Om een beter gevoel te krijgen van de uitwisseling van zoet/zout water via de schutsluizen, zou een gedetailleerd model kunnen worden opgezet van de omgeving van de sluizen, waarbij zowel het Noordzeekanaal als de Buitenhaven worden meegenomen. Op basis van een werkelijk opgetreden situatie met realistische schuttingen, spui- en maaldebieten, zou het model moeten worden gekalibreerd op basis van een uitgebreide meetcampagne, waarbij zowel in de haven, op het Noordzeekanaal als in de schutsluizen met een hoge frequentie in de tijd saliniteitsprofielen, waterstanden en stroomsnelheden dienen te worden gemeten.

De meest effectieve maatregel tegen de zoutdoordringing is het verhogen van de doorstroming op het Noordzeekanaal. De zoutlast kan beperkt worden door de grotere sluizen beter te bezetten (meer schepen per schutting). Met name in een droge zomer situatie kan door een dergelijke maatregel de zoutlast beperkt worden.

Referenties

Alkyon, 2005, Hartsuiker G., *Data-analyse voor simulaties Noordzeekanaal model*, A1524R1r2, Alkyon, september 2005.

Alkyon, 2003a, Hartsuiker G., *Gebiedsschematisatie Noordzeekanaal, bouw stromingsmodel*, A1054R1, Alkyon, februari 2003.

Alkyon, 2003b, Reen M.J. van, Banning G. van, Hartsuiker G., *Calibratie en validatie model Noordzeekanaal, Data inventarisatie en model toepasbaarheid, Fase 1*, A1215R1r1, Alkyon, november 2003.

Alkyon, 2003c, Reen M.J. van, Banning G. van, Hartsuiker G., *Calibratie en validatie model Noordzeekanaal, Gevoeligheidsanalyse en verificatie, Fase 2*, A1215R2r1, Alkyon, november 2003.

Rijkswaterstaat, 2004, *Het Noordzeekanaal in cijfers, anno 2004*, Rapport ANW-04.04

PMSS, 2011, R. Groenveld, *Interimrapportages scheepsverkeers simulaties Isuziencomplex IJmuiden*.

Colofon

ZOUTINDRINGING SLUIZEN IJMUIDEN, effect nieuwe sluis op Noordzeekanaal

OPDRACHTGEVER:

DHV

STATUS:

Definitief

AUTEUR:

Gijs van Banning

Adema Jeroen

Giordano Lipari

GECONTROLEERD DOOR:

Henk Steetzel

VRIJGEGEVEN DOOR:

Rob Steijn

12 oktober 2011

ARCADIS NEDERLAND BV

Voorsterweg 28

Postbus 248

8300 AE Emmeloord

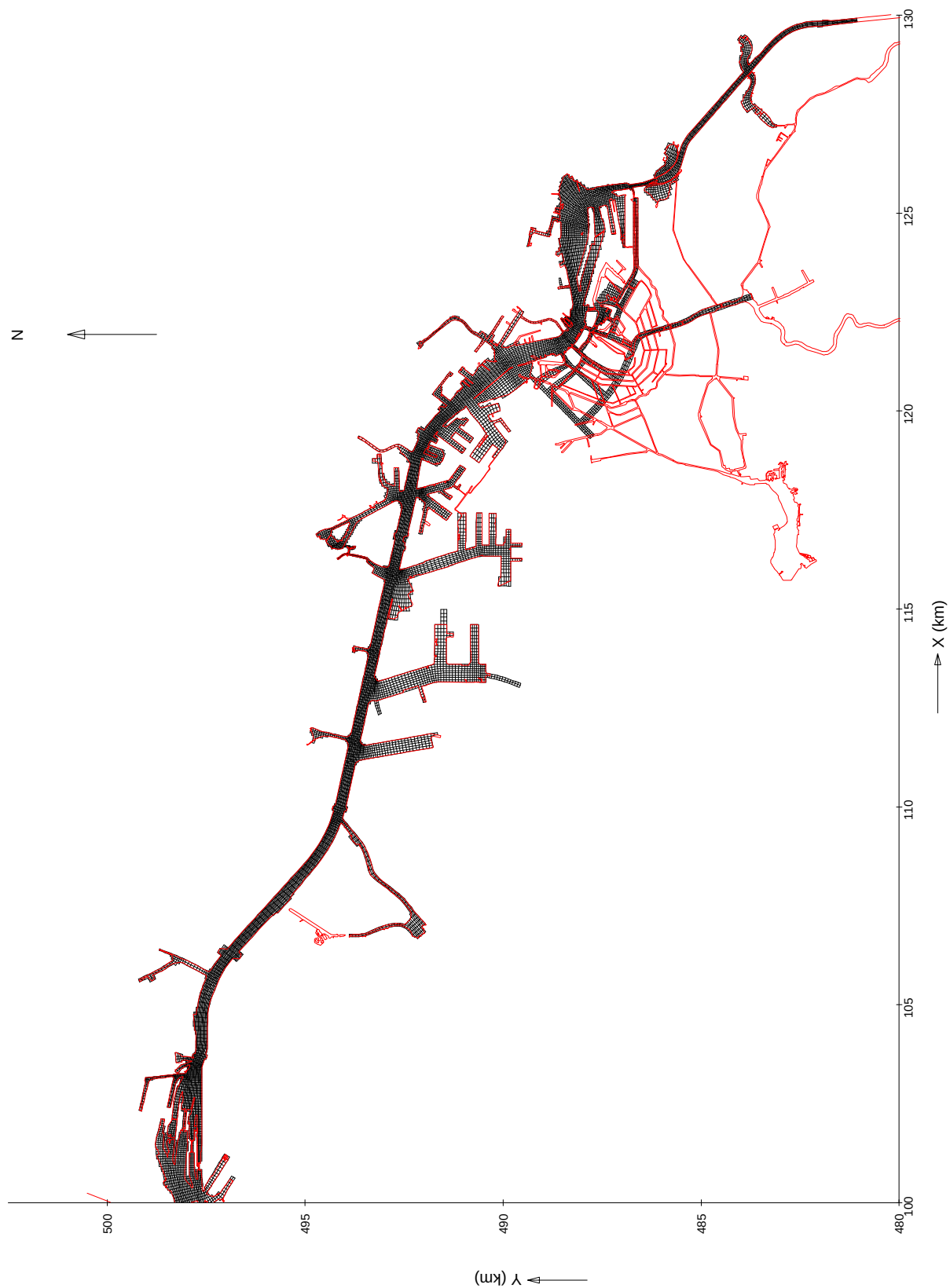
Tel +31 527 248 100

Fax +31 527 248 111

www.arcadis.nl

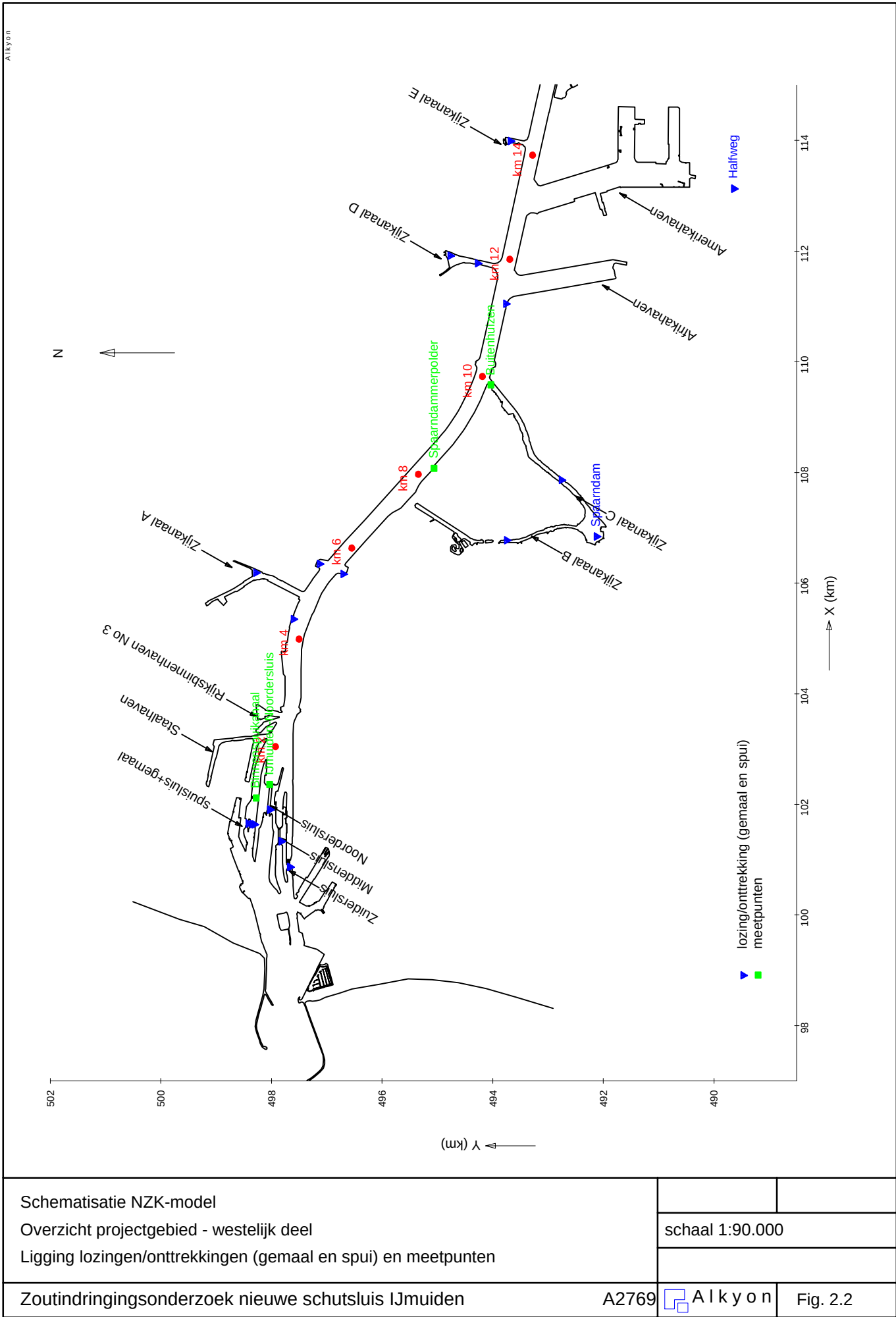
Handelsregister 9036504

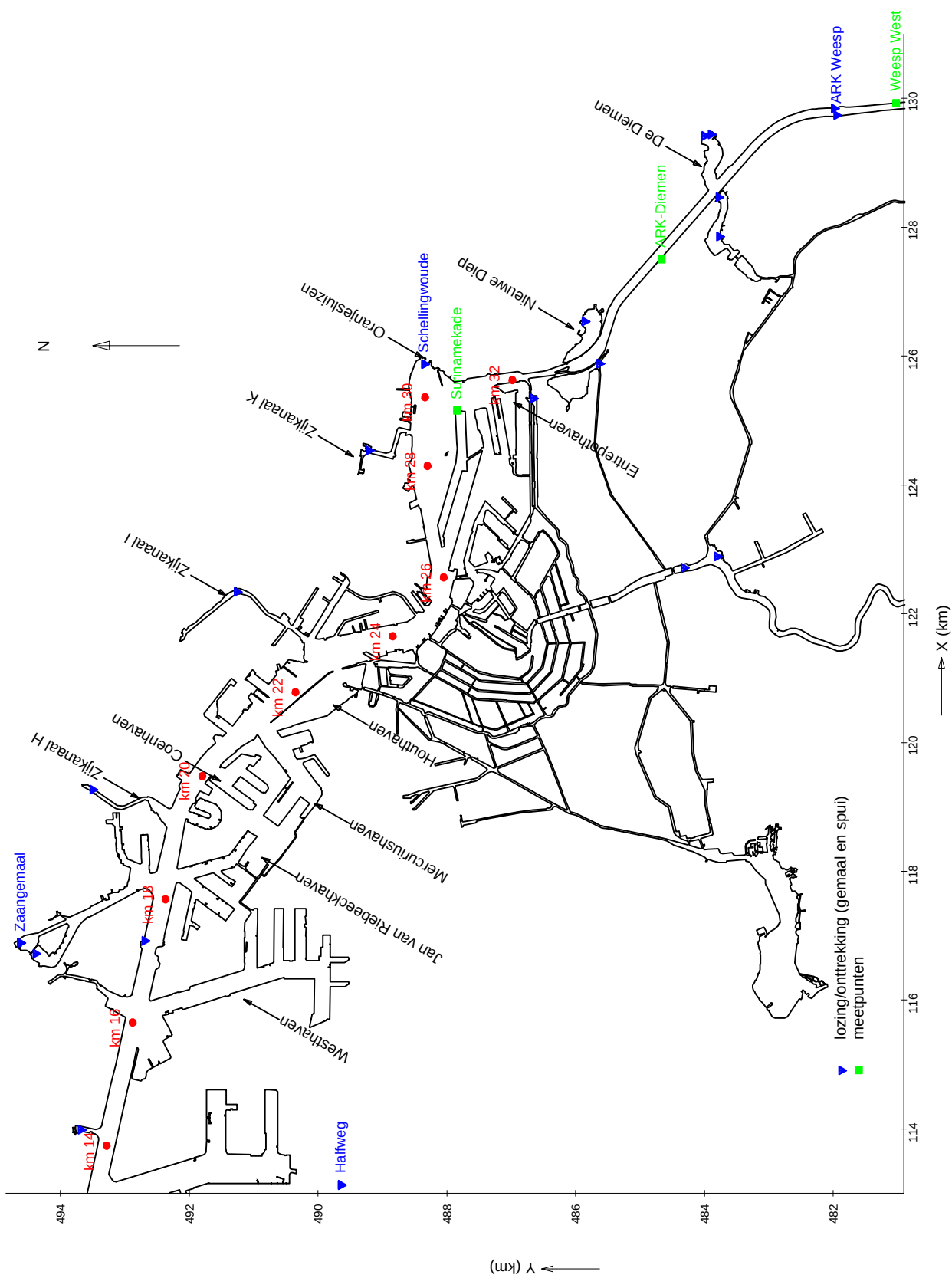
©ARCADIS. Alle rechten voorbehouden. Behoudens uitzonderingen door de wet gesteld, mag zonder schriftelijke toestemming van de rechthebbenden niets uit dit document worden veeleelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, digitale reproductie of anderszins.



Schematisatie NZK-model
Rekenrooster - gehele NZK-model

schaal 1:150.000





Schematisatie NZK-model

Overzicht projectgebied - oostelijk deel

Ligging lozingen/onttrekkingen (gemaal en spui) en meetpunten

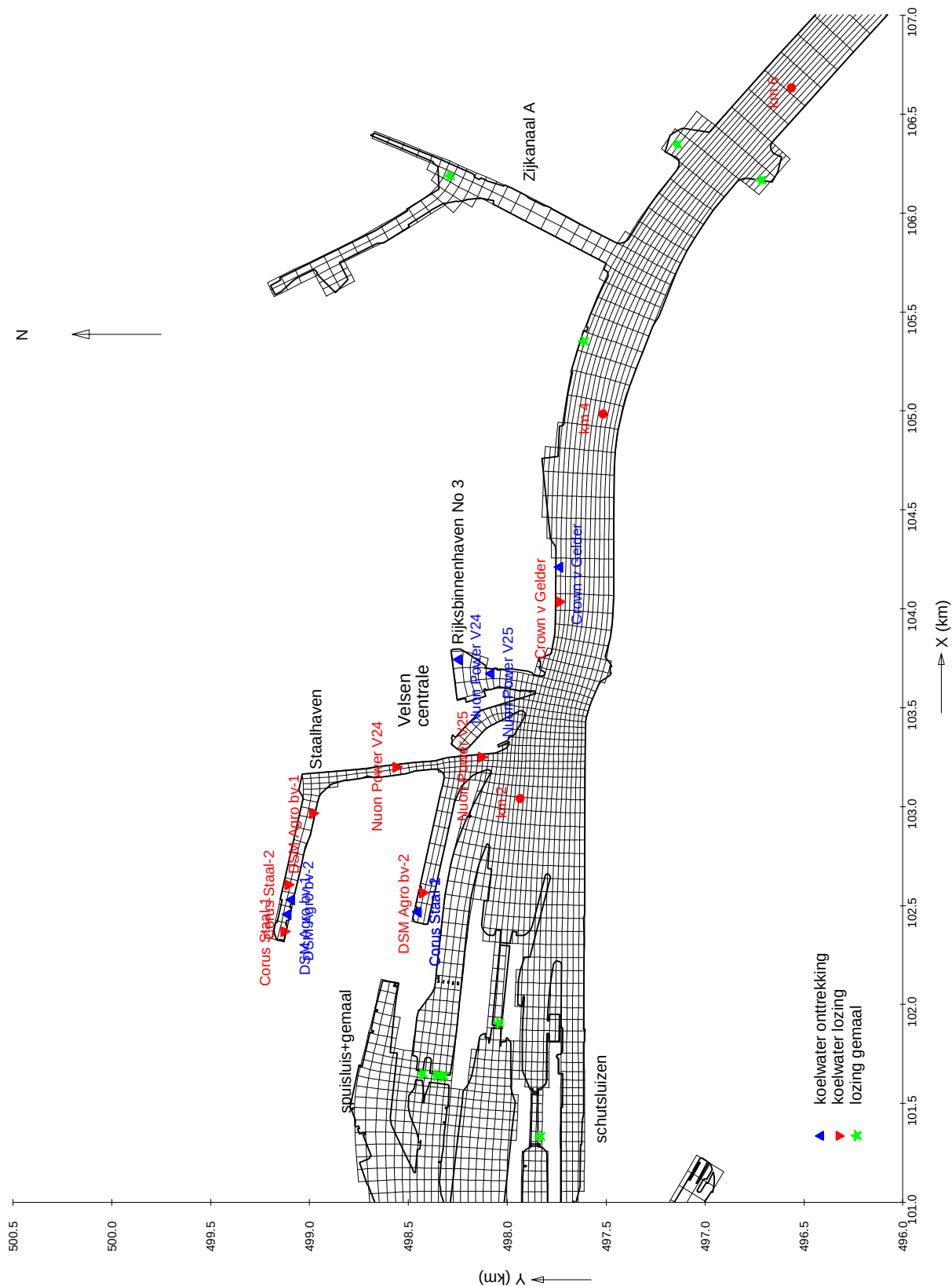
schaal 1:90.000

Zoutindringingsonderzoek nieuwe schutsluis IJmuiden

A2769

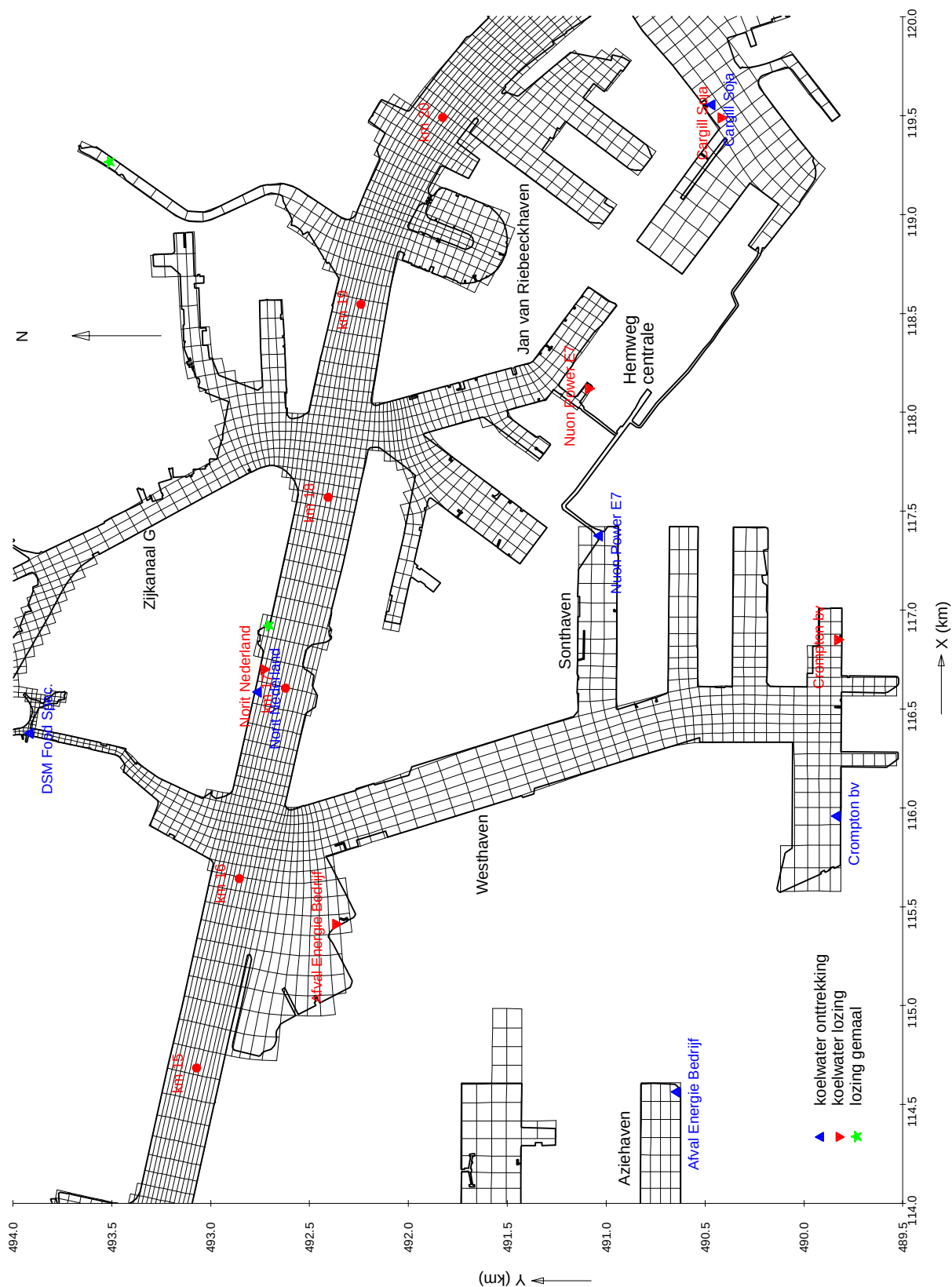
Alkyon

Fig. 2.3



Schematisatie NZK-model
Overzicht projectgebied - omgeving Nuon Velsen
Ligging lozingen en onttrekkingen (koelwater)

schaal 1:30.000



Schematisatie NZK-model

Overzicht projectgebied - omgeving Nuon Hemweg

Ligging lozingen en onttrekkingen (koelwater)

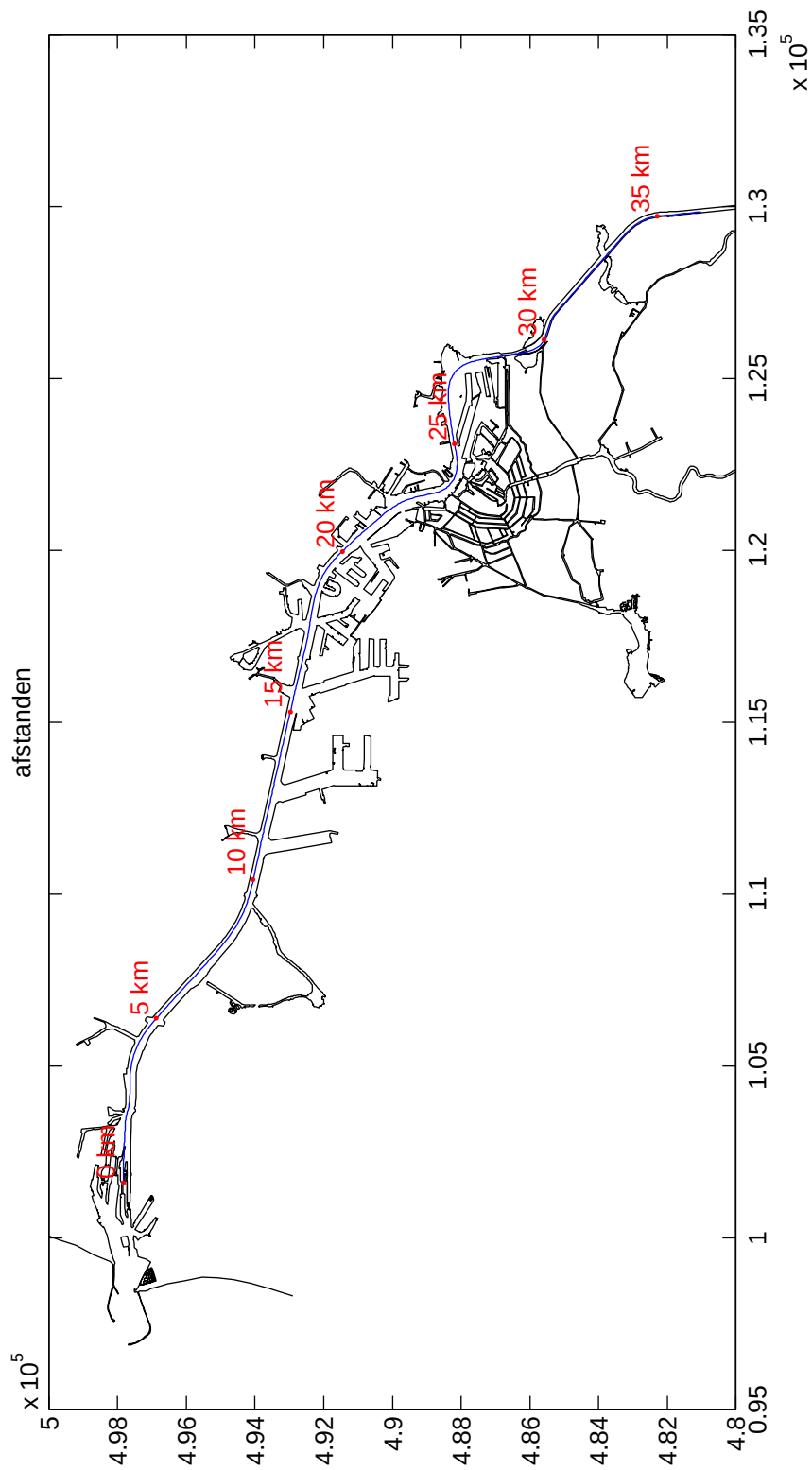
schaal 1:30.000

Zoutindringingsonderzoek nieuwe schutsluis IJmuiden

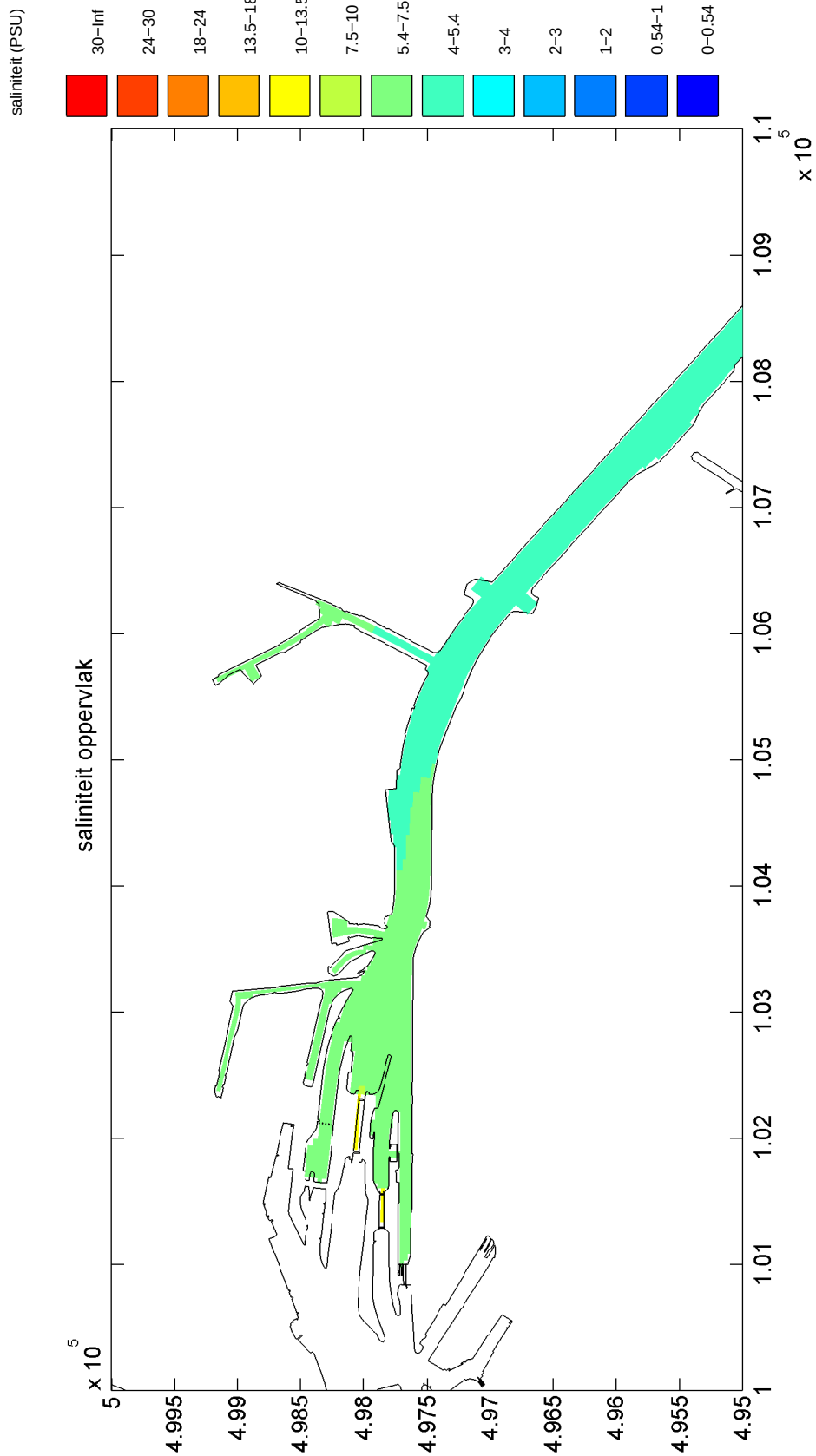
A2769

Alkyon

Fig. 2.5

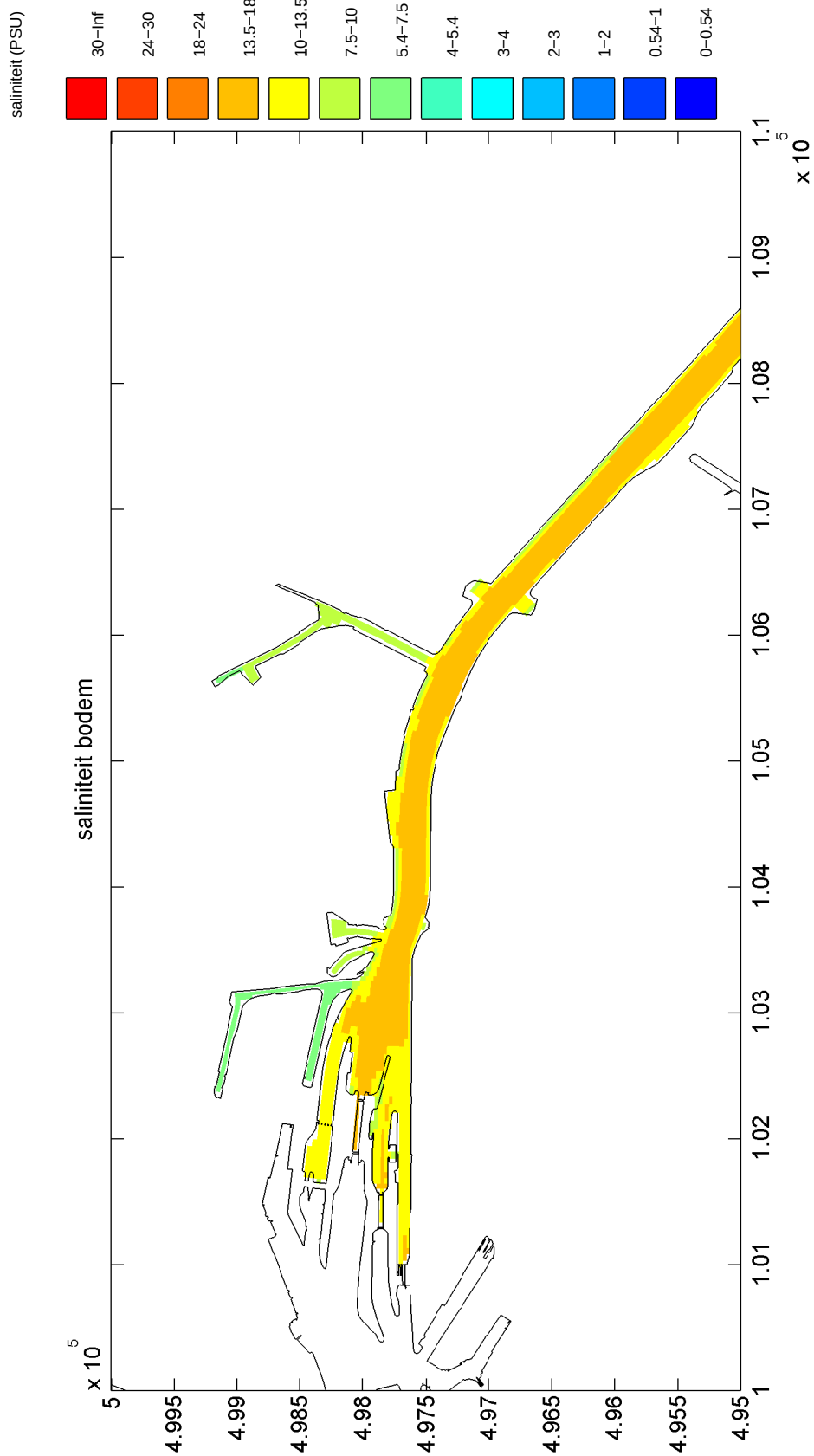


De langsdoorsnede van het Noordzeekanaal
en de afstanden in km's



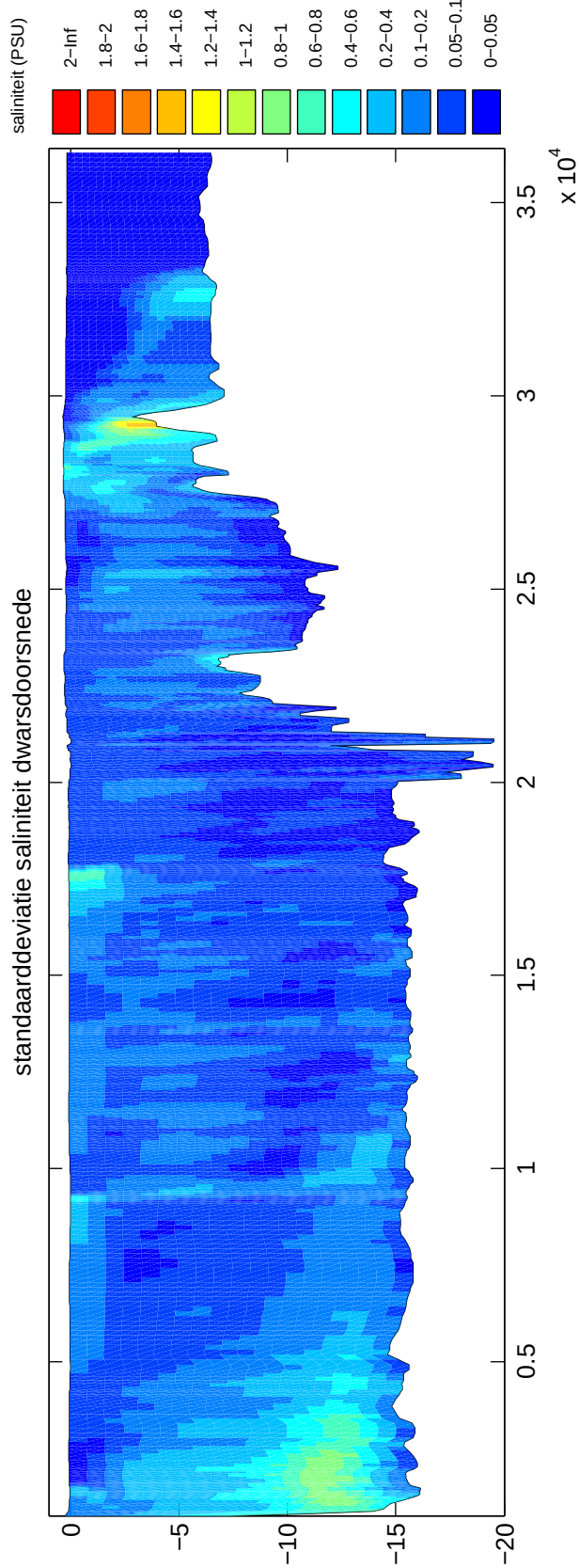
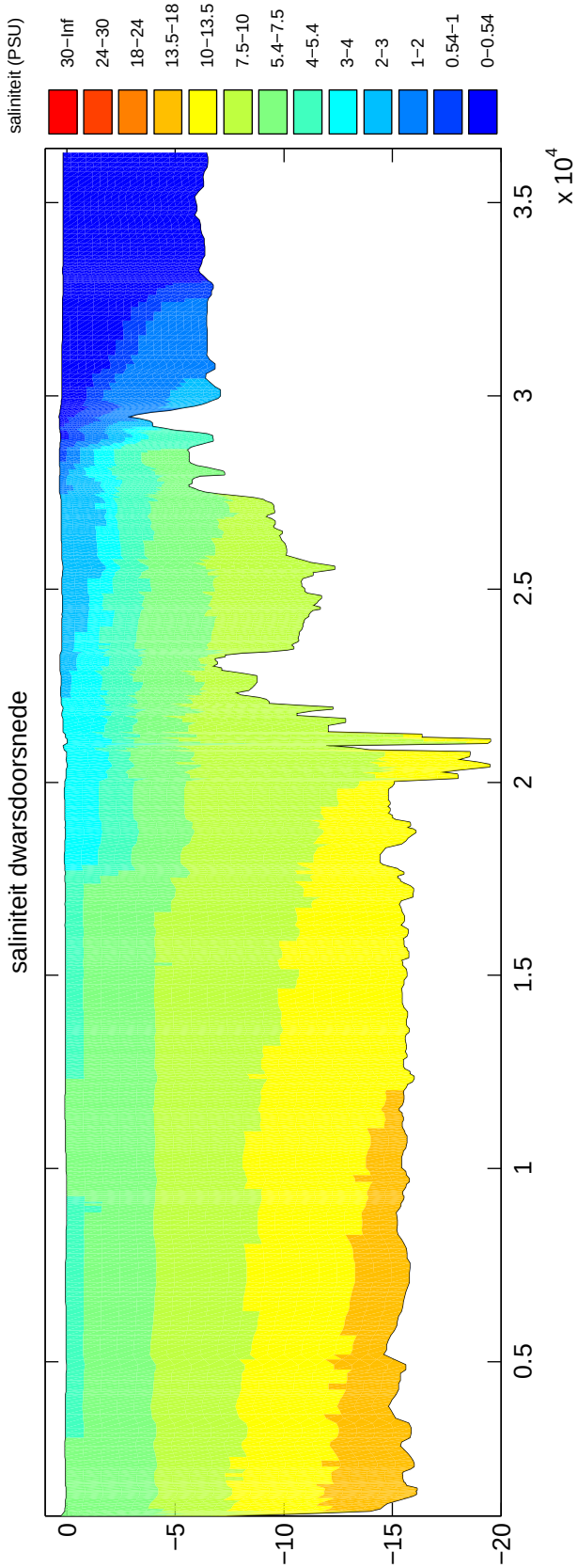
Oppervlakte saliniteit
huidige situatie 2008

sc4-2008



Bodem saliniteit
huidige situatie 2008

sc4-2008



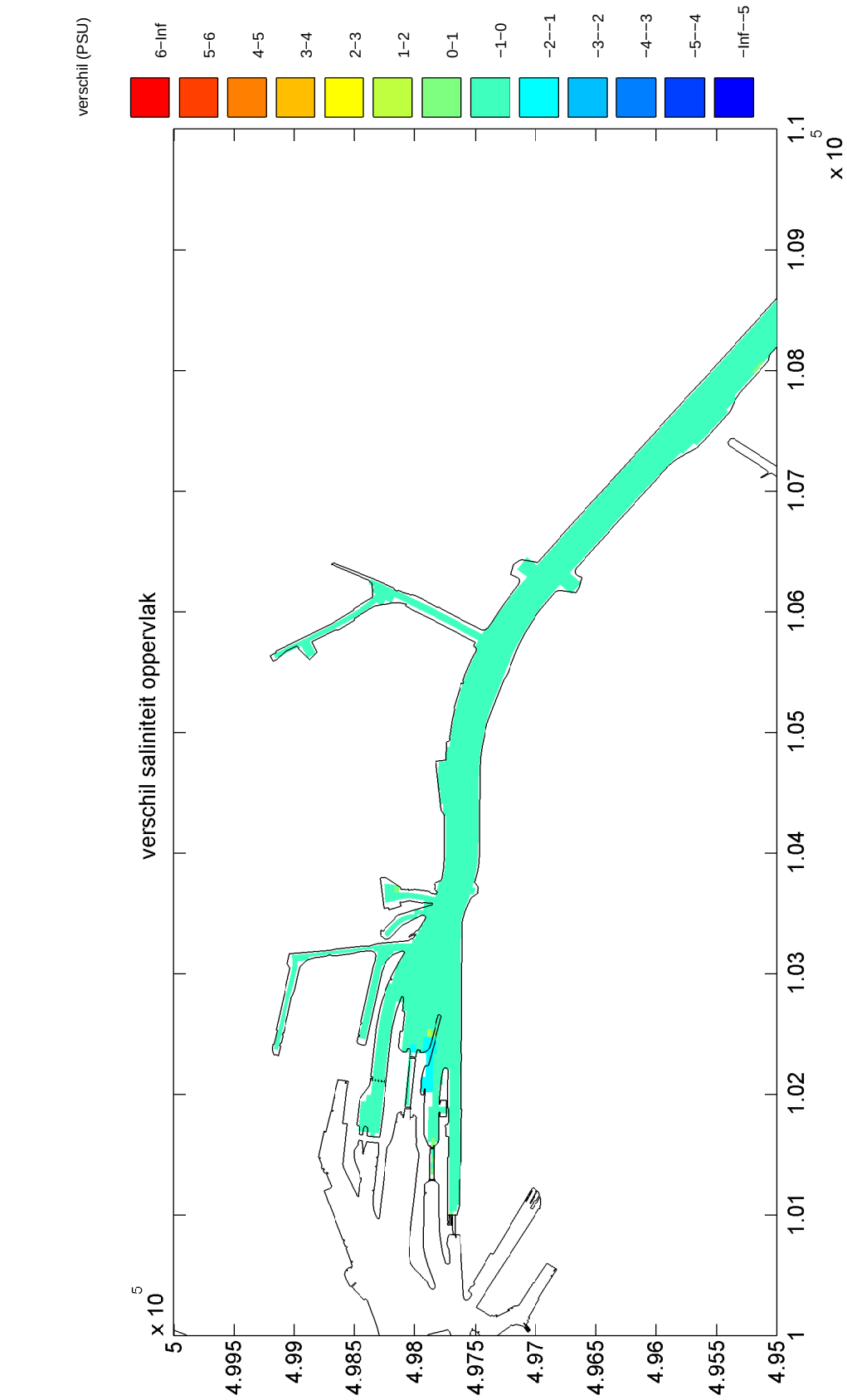
Langsdoorsnede saliniteit en standaarddeviatie in het Noordzeekanaal
huidige situatie 2008

sc4-2008

Zoutindringingsonderzoek nieuwe schutsluis IJmuiden

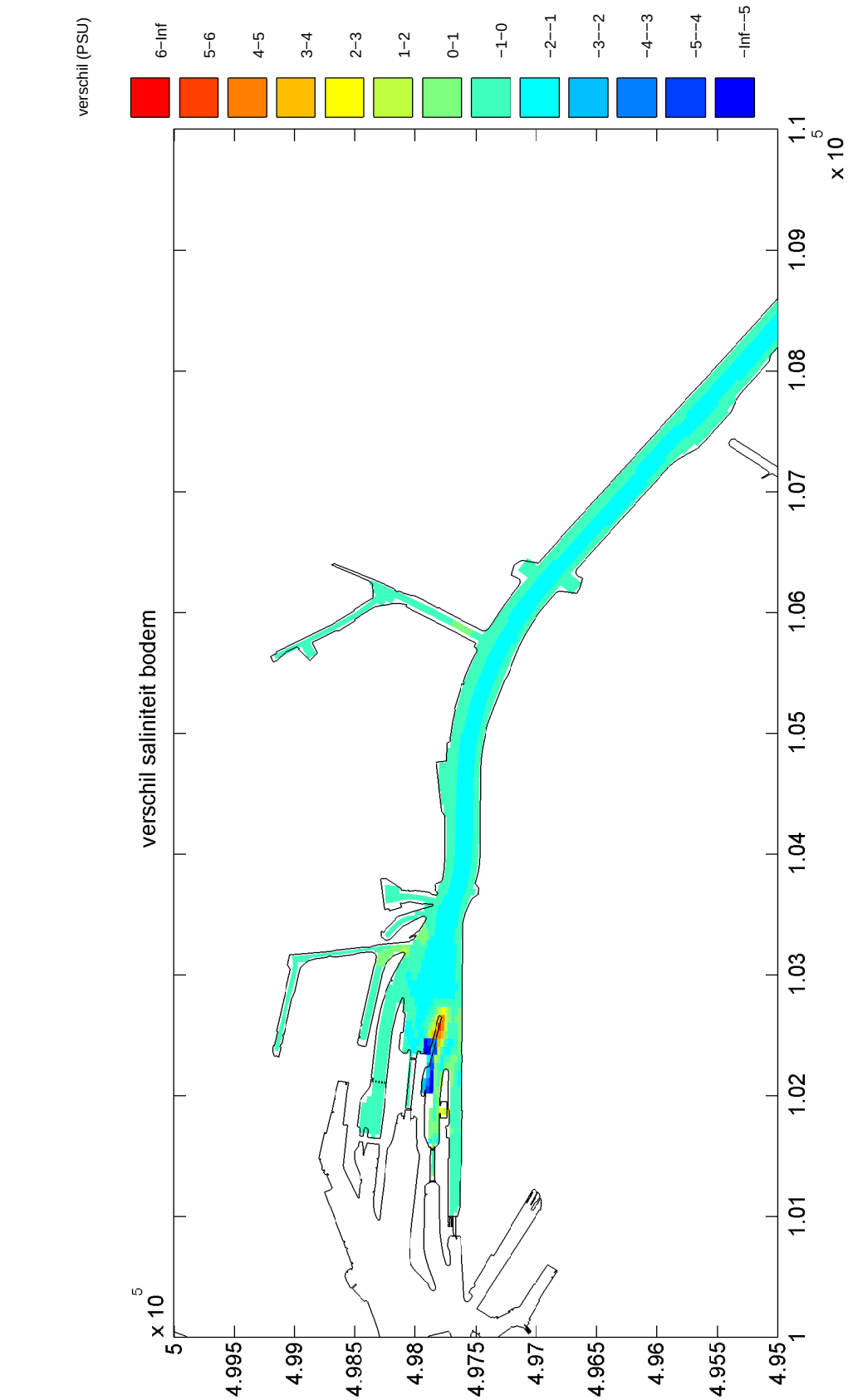
A2769

Fig. 4.4



Oppervlakte saliniteit
verschil 95 MTA, sluis nulalternatief t.o.v. huidige situatie 2008

sc4-2008/sc4-sluis_nulalt



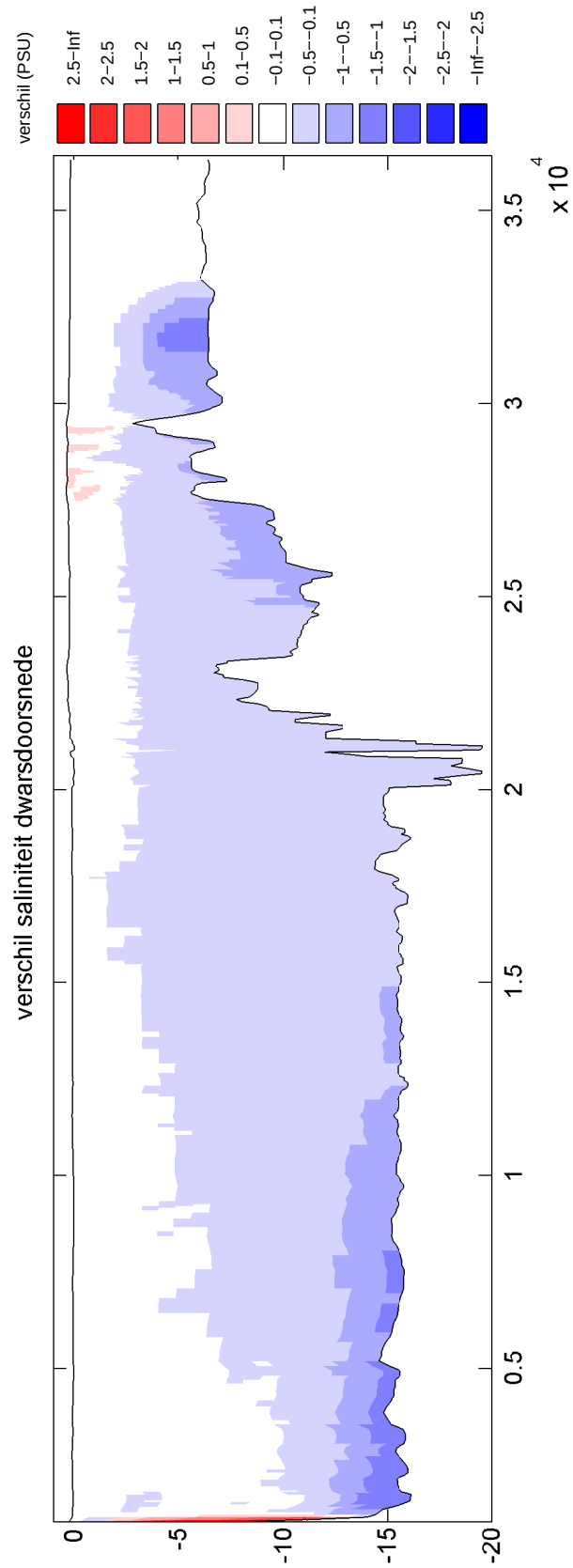
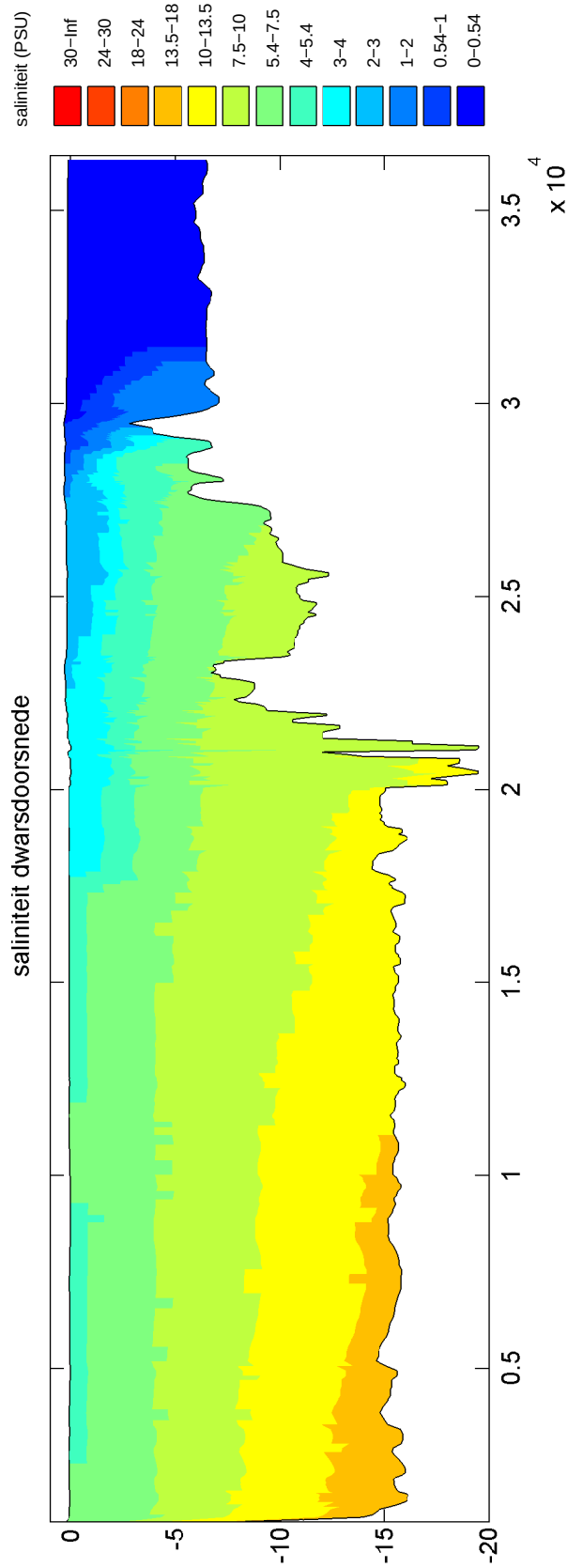
Bodem saliniteit
verschil 95 MTA, sluis nulalternatief t.o.v. huidige situatie 2008

sc4-2008/sc4-sluis_nulalt

Zoutindringingsonderzoek nieuwe schutsluis IJmuiden

A2769

Fig. 4.6



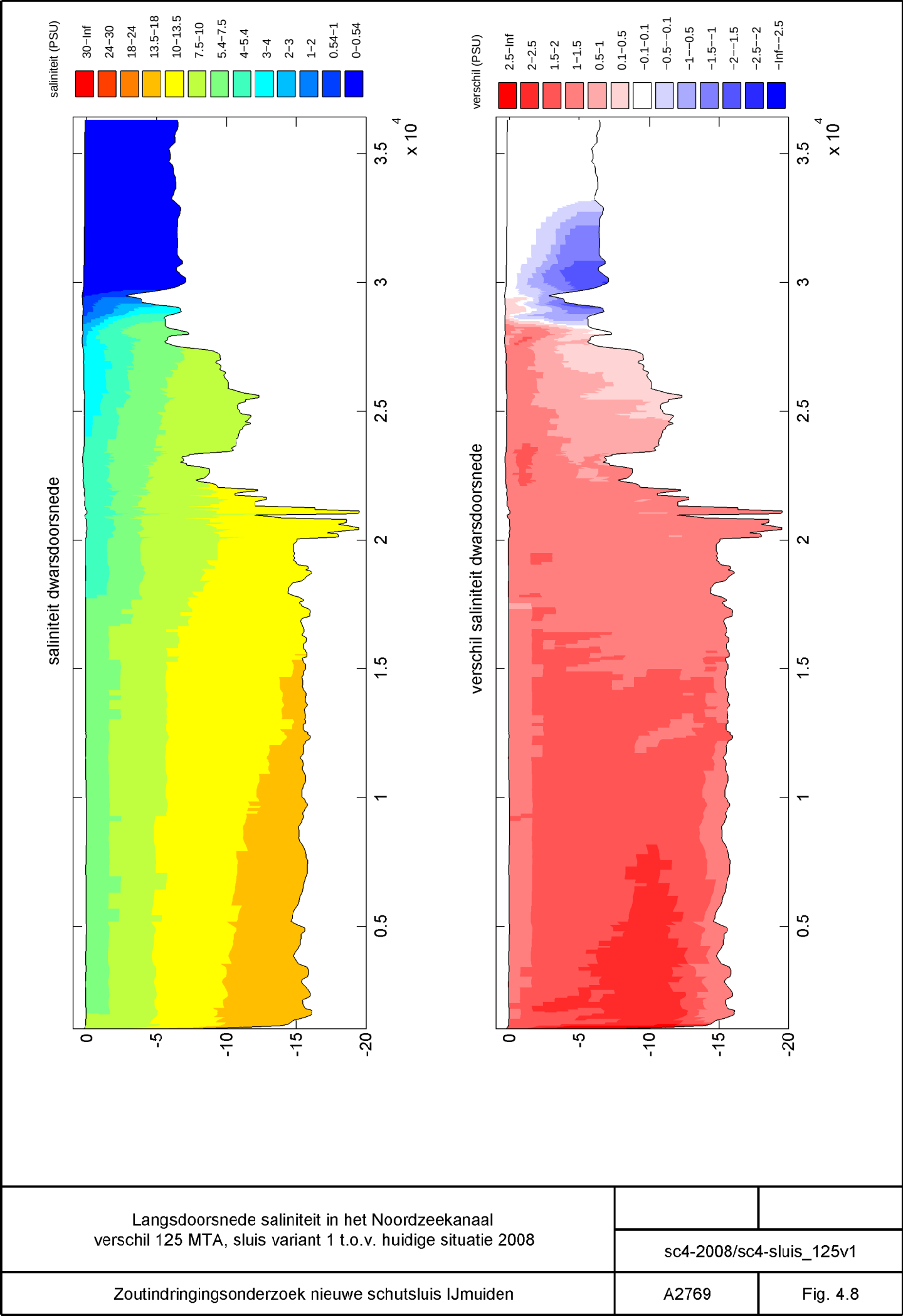
Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal
verschil 95 MTA, sluis nulalternatief t.o.v. huidige situatie 2008

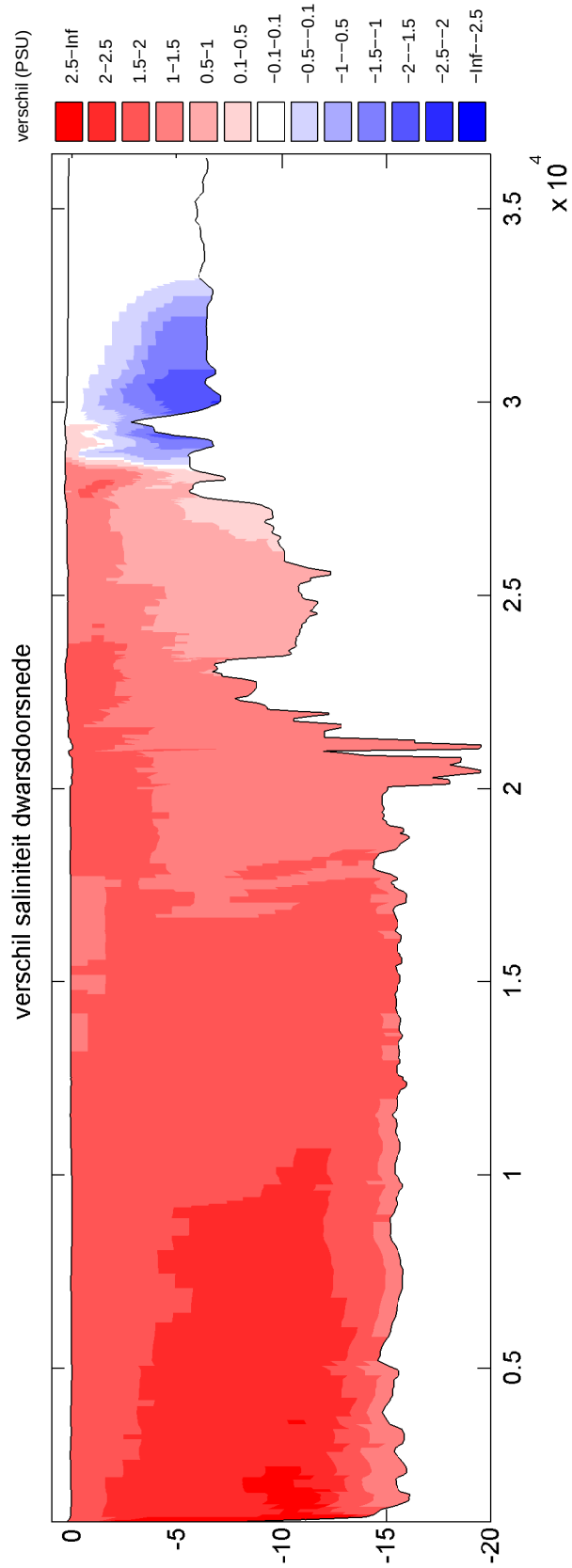
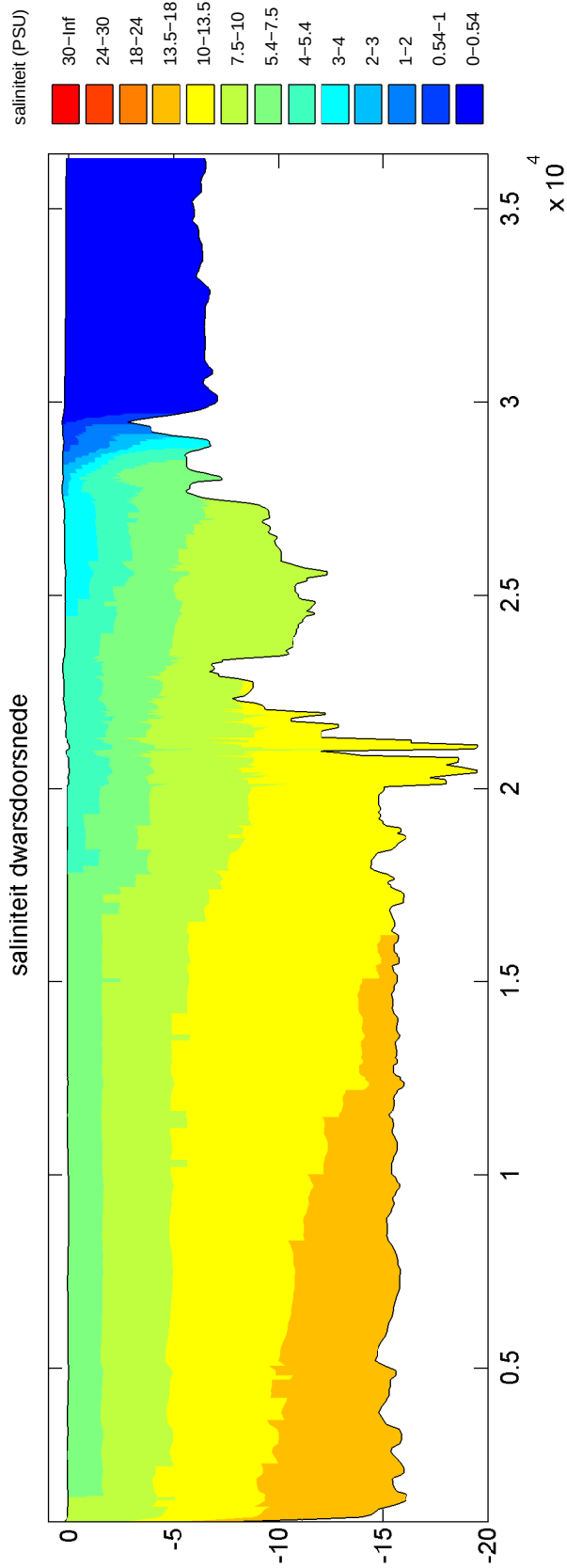
sc4-2008/sc4-sluis_nulalt

Zoutindringingsonderzoek nieuwe schutsluis IJmuiden

A2769

Fig. 4.7





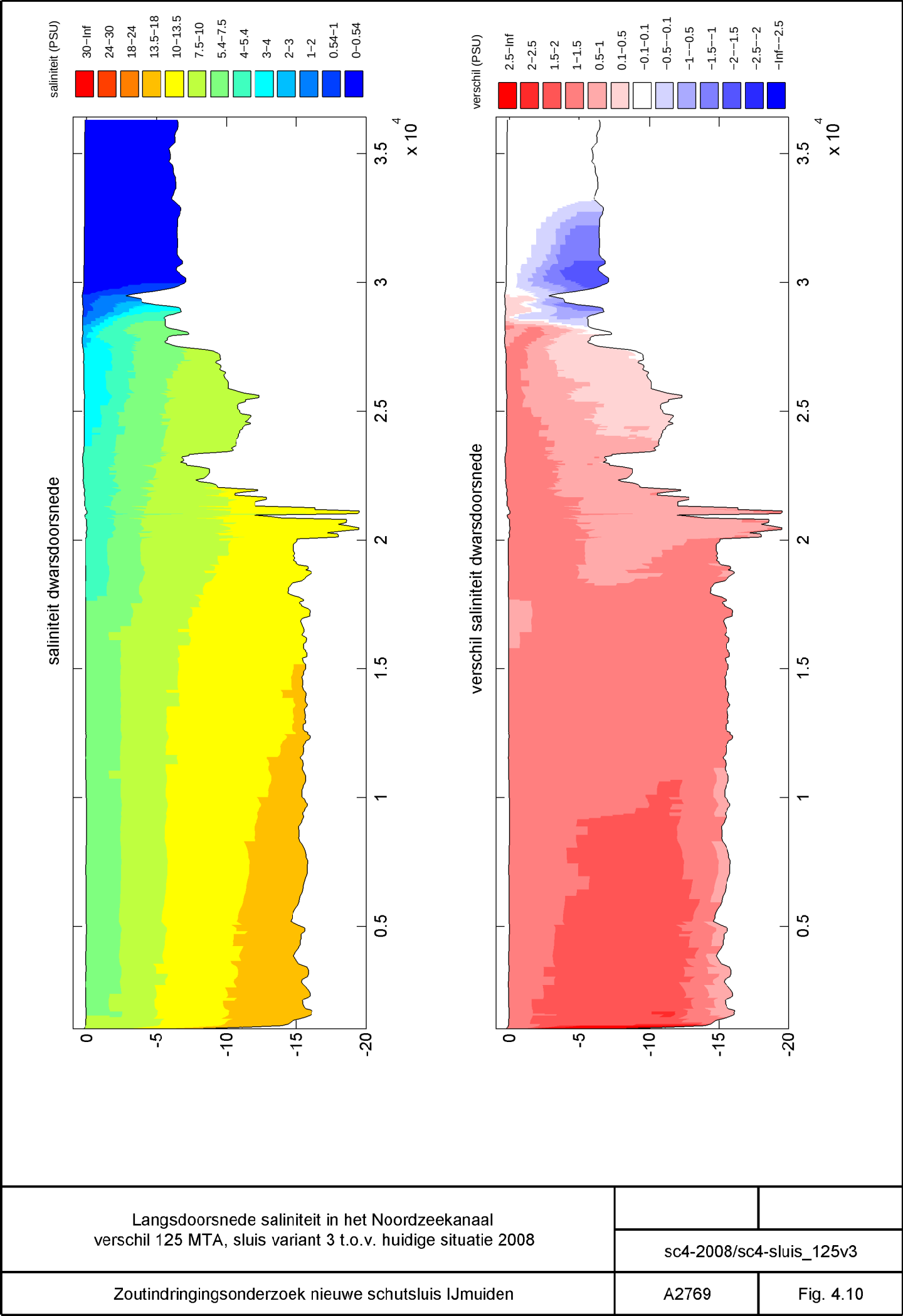
Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal
verschil 125 MTA, sluis variant 2 t.o.v. huidige situatie 2008

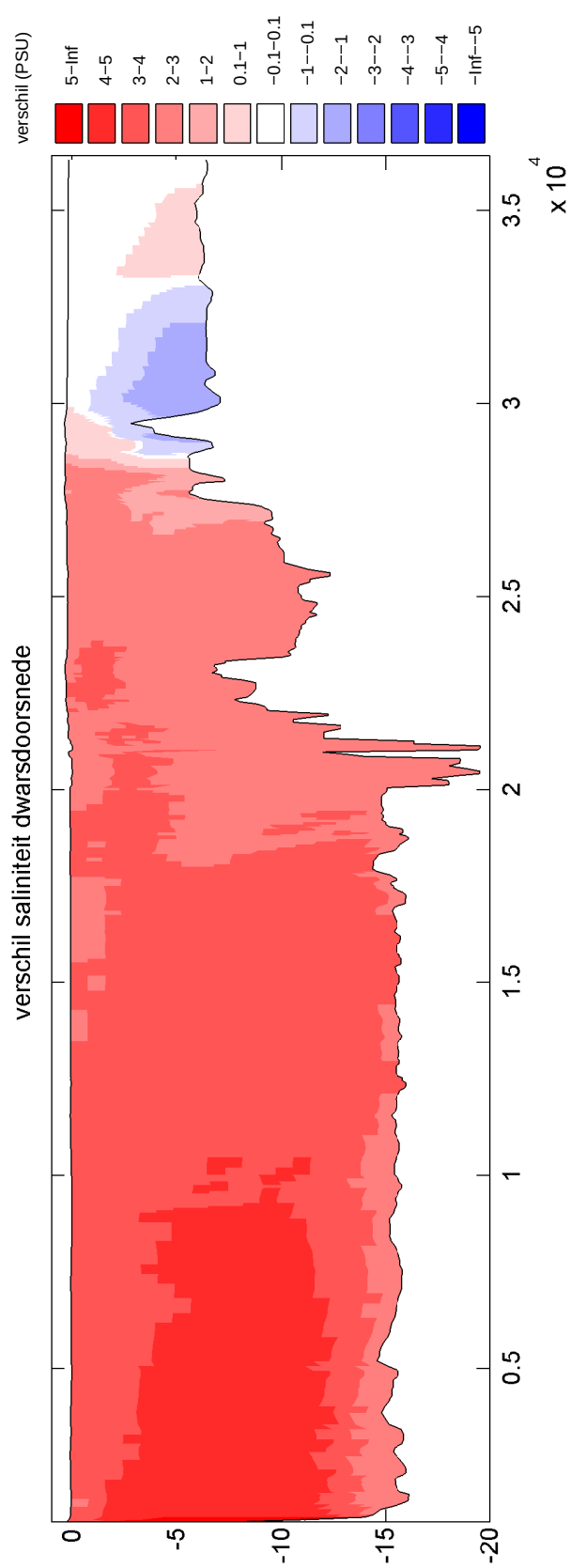
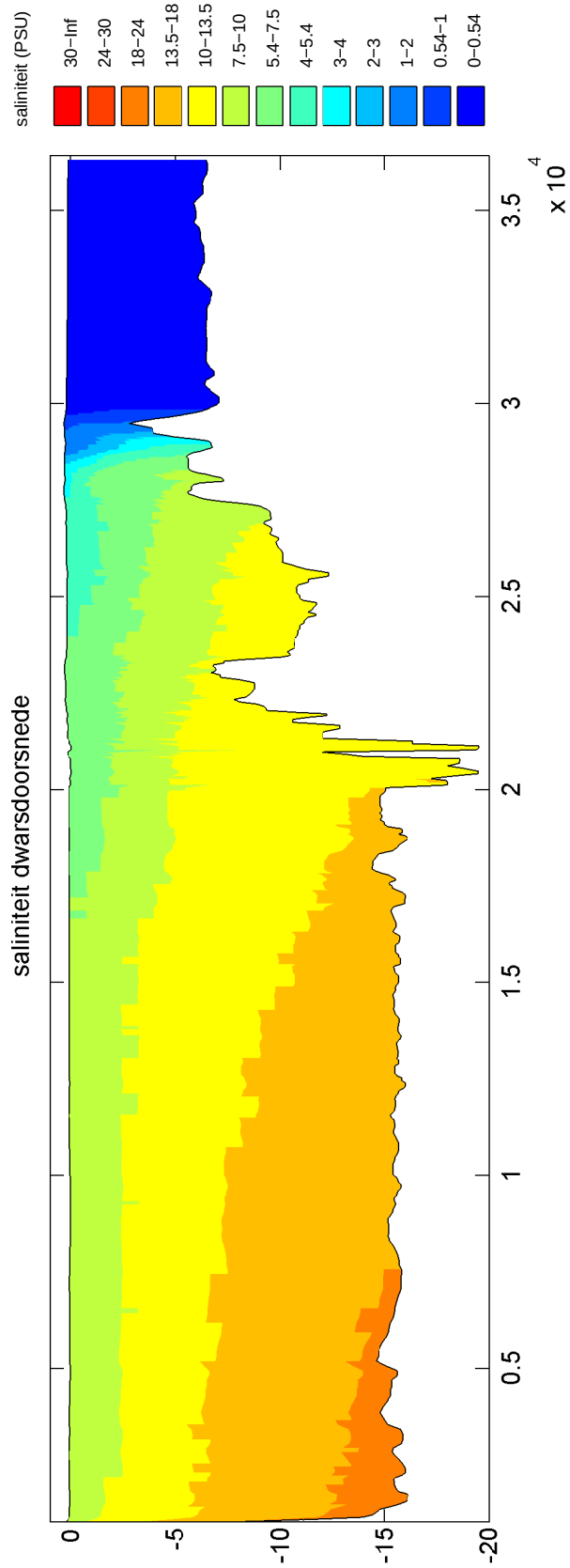
sc4-2008/sc4-sluis_125v2

Zoutindringingsonderzoek nieuwe schutsluis IJmuiden

A2769

Fig. 4.9





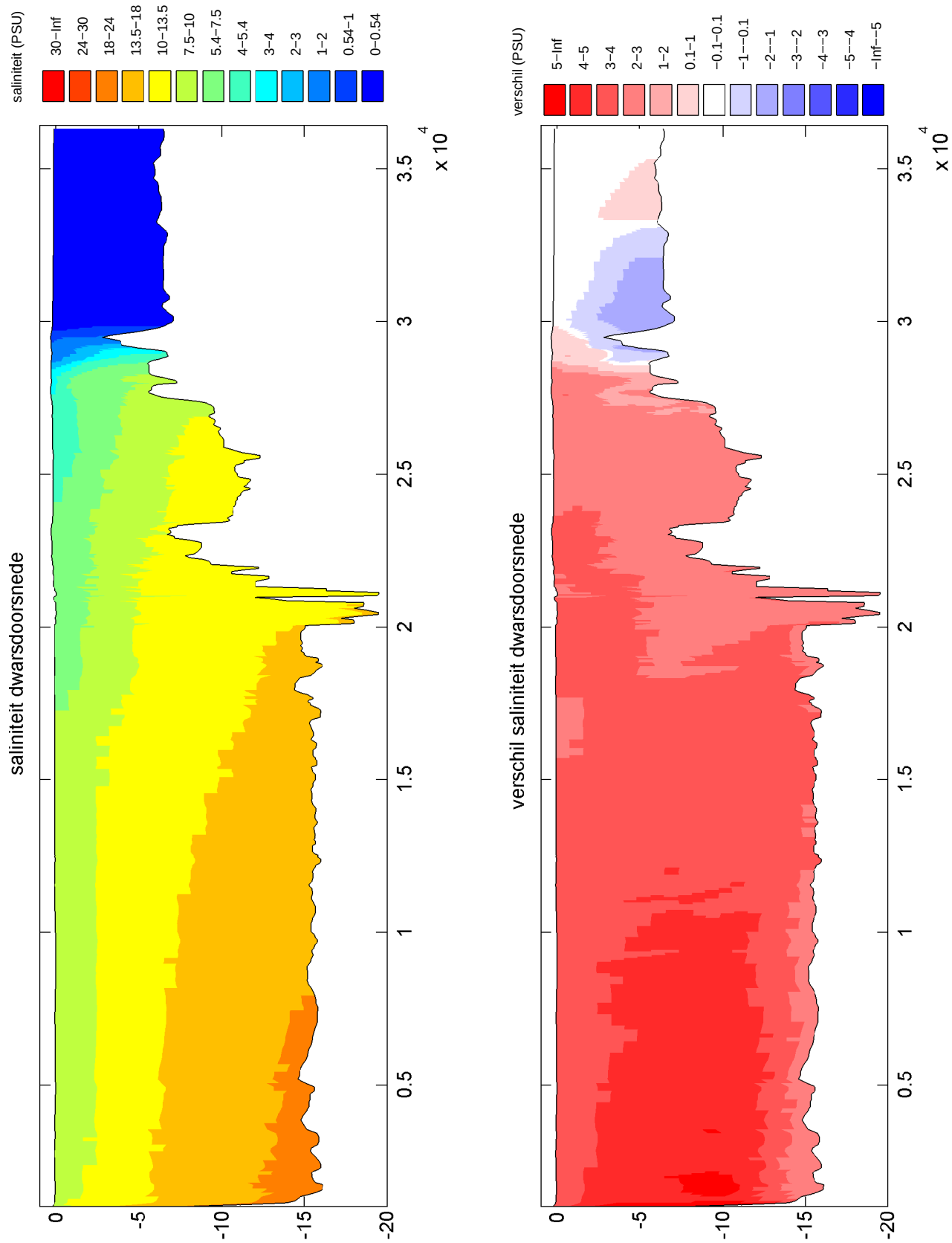
Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal
verschil 140 MTA, sluis variant 1 t.o.v. huidige situatie 2008

sc4-2008/sc4-sluis_140v1

Zoutindringingsonderzoek nieuwe schutsluis IJmuiden

A2769

Fig. 4.11



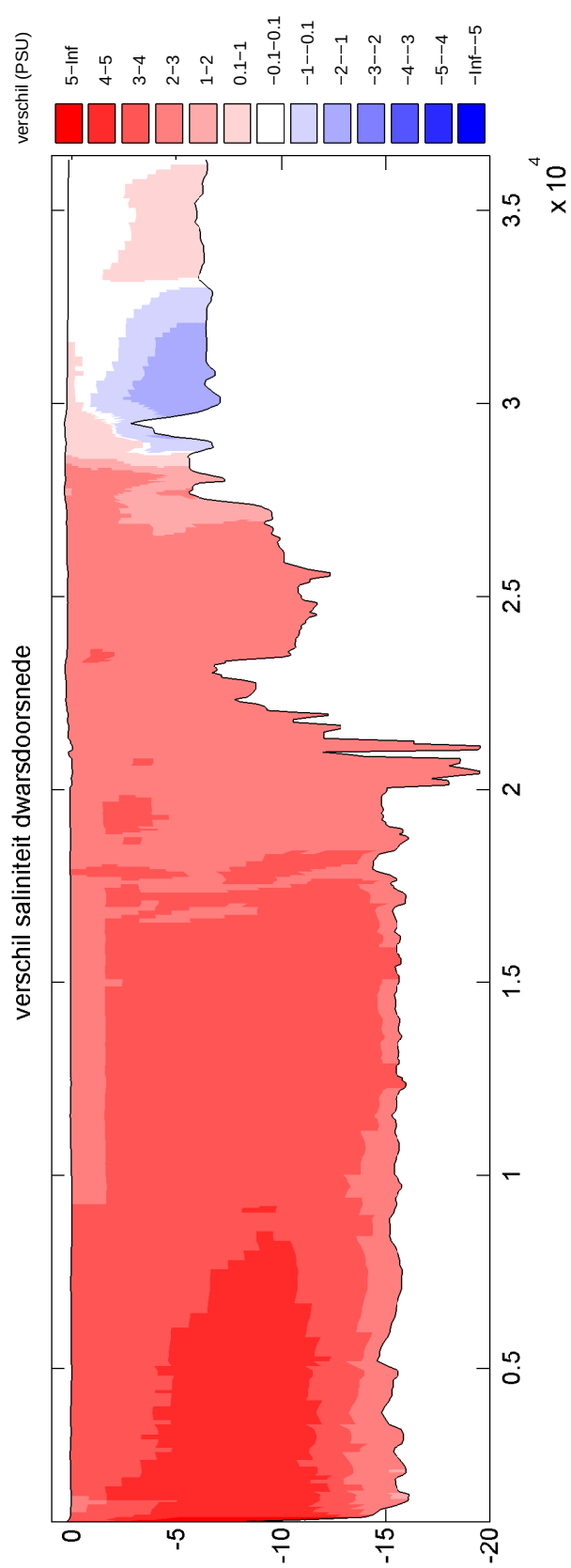
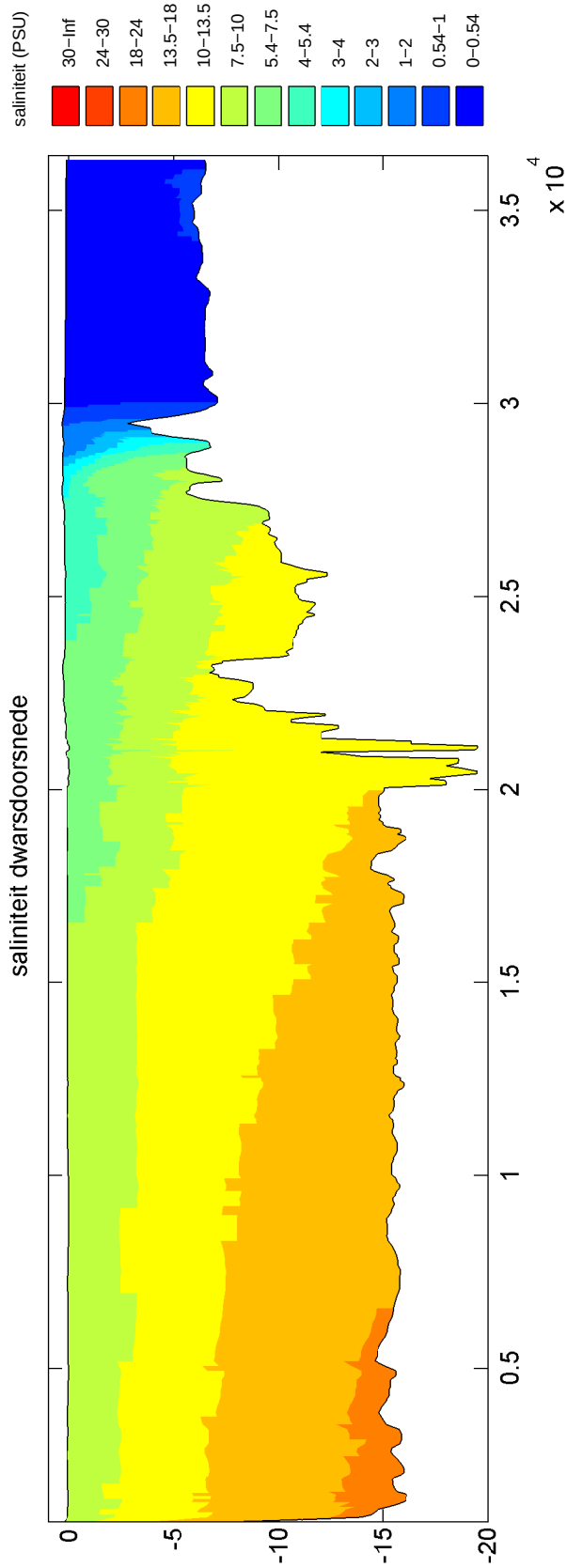
Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal
verschil 140 MTA, sluis variant 2 t.o.v. huidige situatie 2008

sc4-2008/sc4-sluis_140v2

Zoutindringingsonderzoek nieuwe schutsluis IJmuiden

A2769

Fig. 4.12



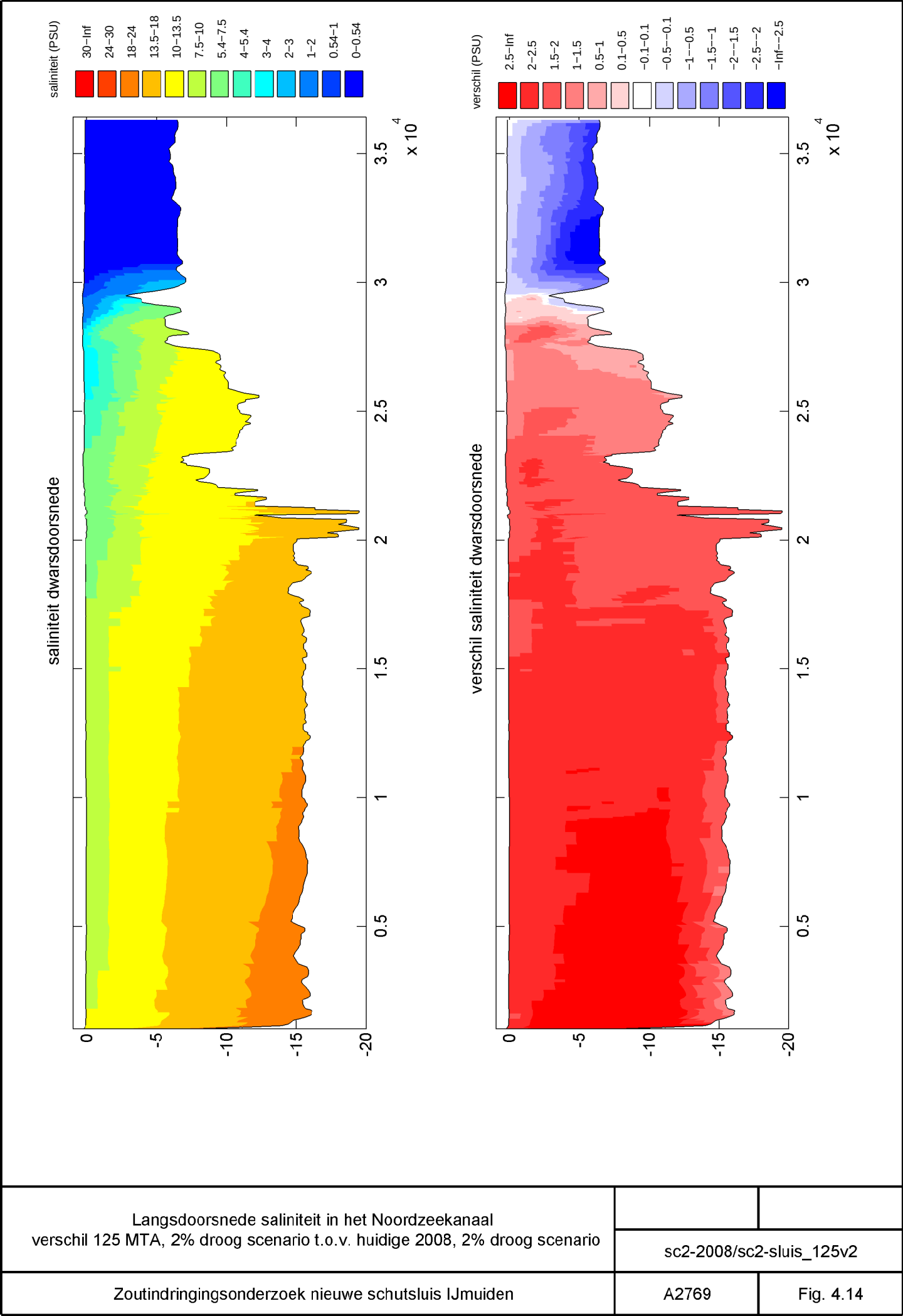
Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal
verschil 140 MTA, sluis variant 3 t.o.v. huidige situatie 2008

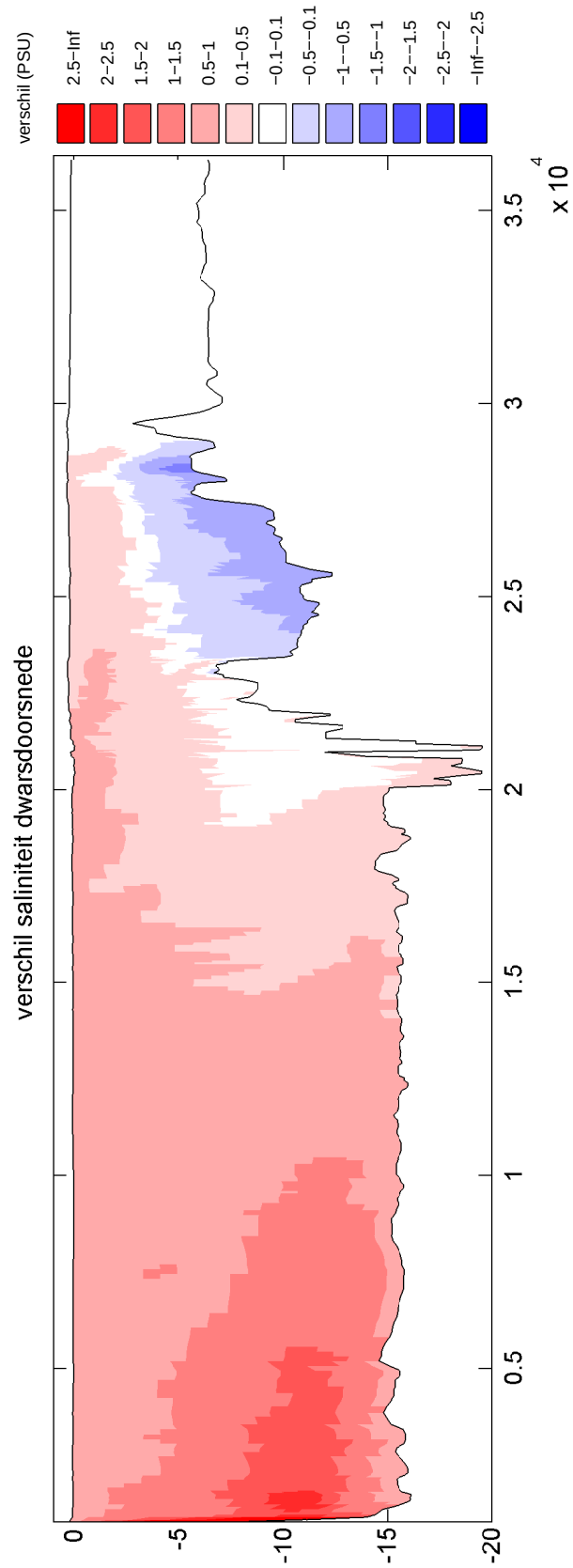
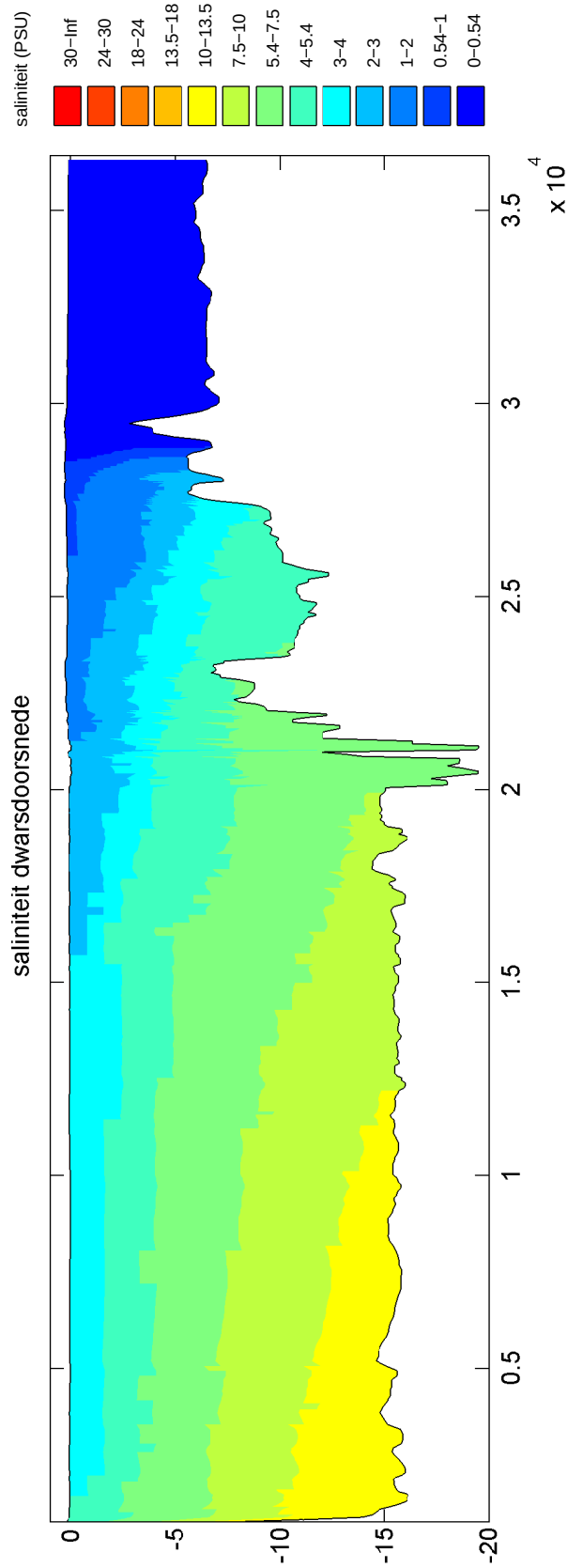
sc4-2008/sc4-sluis_140v3

Zoutindringingsonderzoek nieuwe schutsluis IJmuiden

A2769

Fig. 4.13





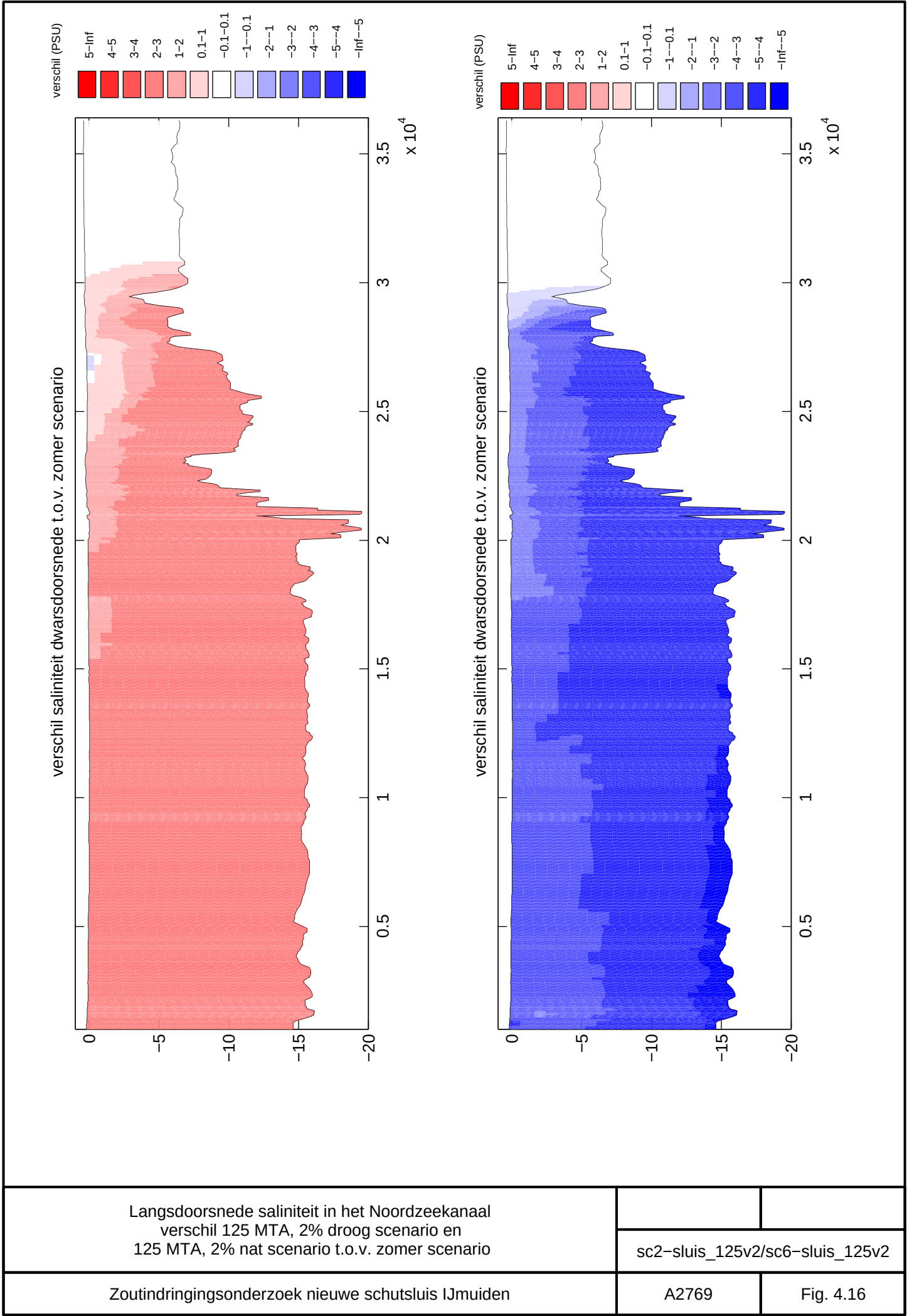
Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal
verschil 125 MTA, 2% nat scenario t.o.v. huidige 2008, 2% nat scenario

sc6-2008/sc6-sluiss_125v2

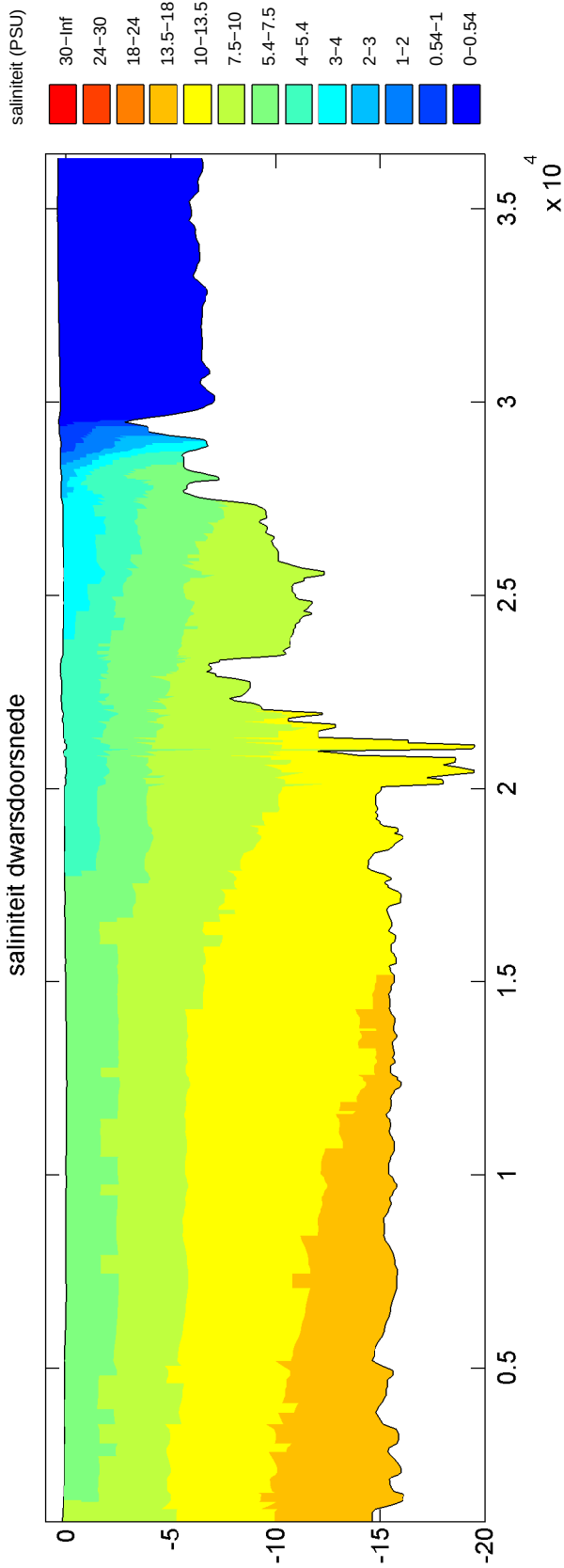
Zoutindringingsonderzoek nieuwe schutsluis IJmuiden

A2769

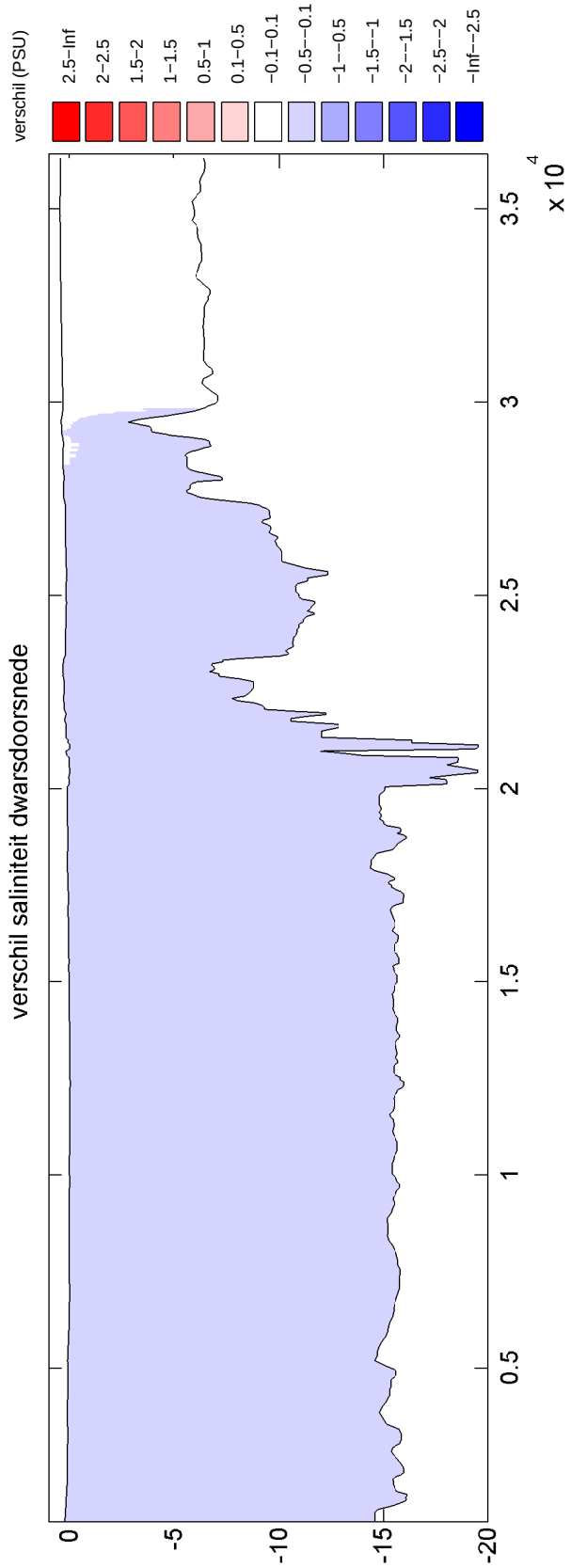
Fig. 4.15



saliniteit dwarsdoorsnede

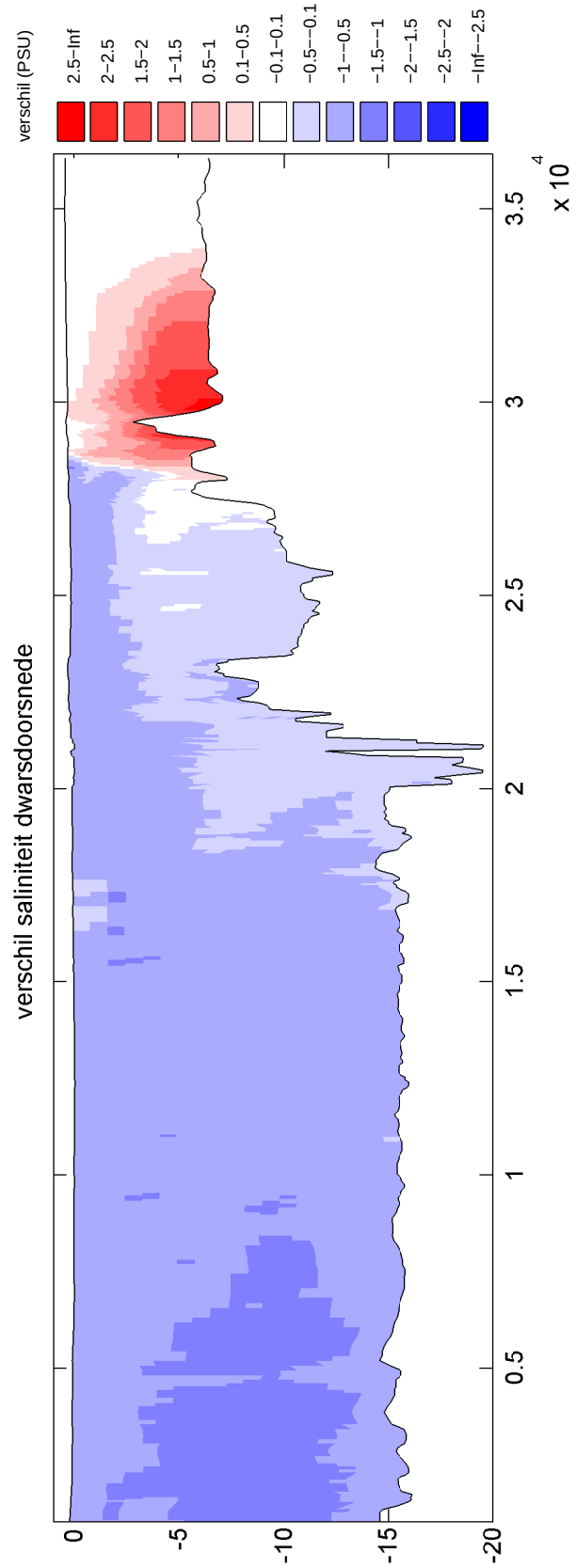
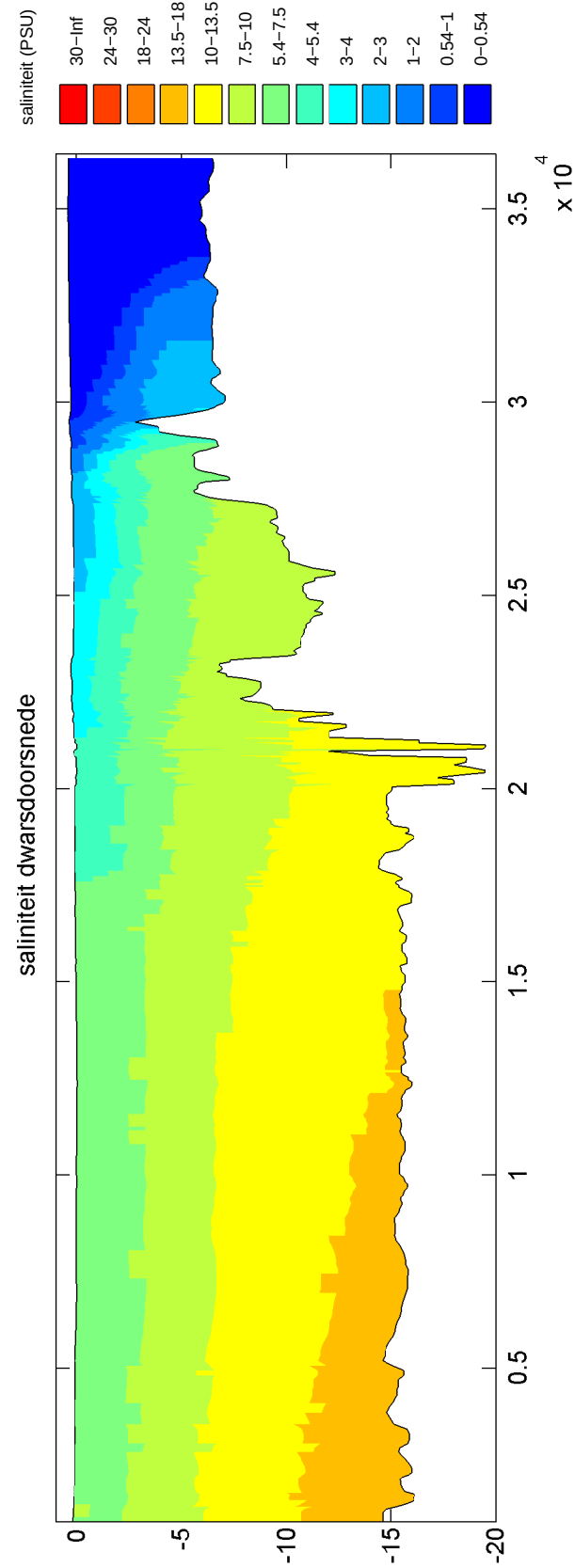


verschil saliniteit dwarsdoorsnede



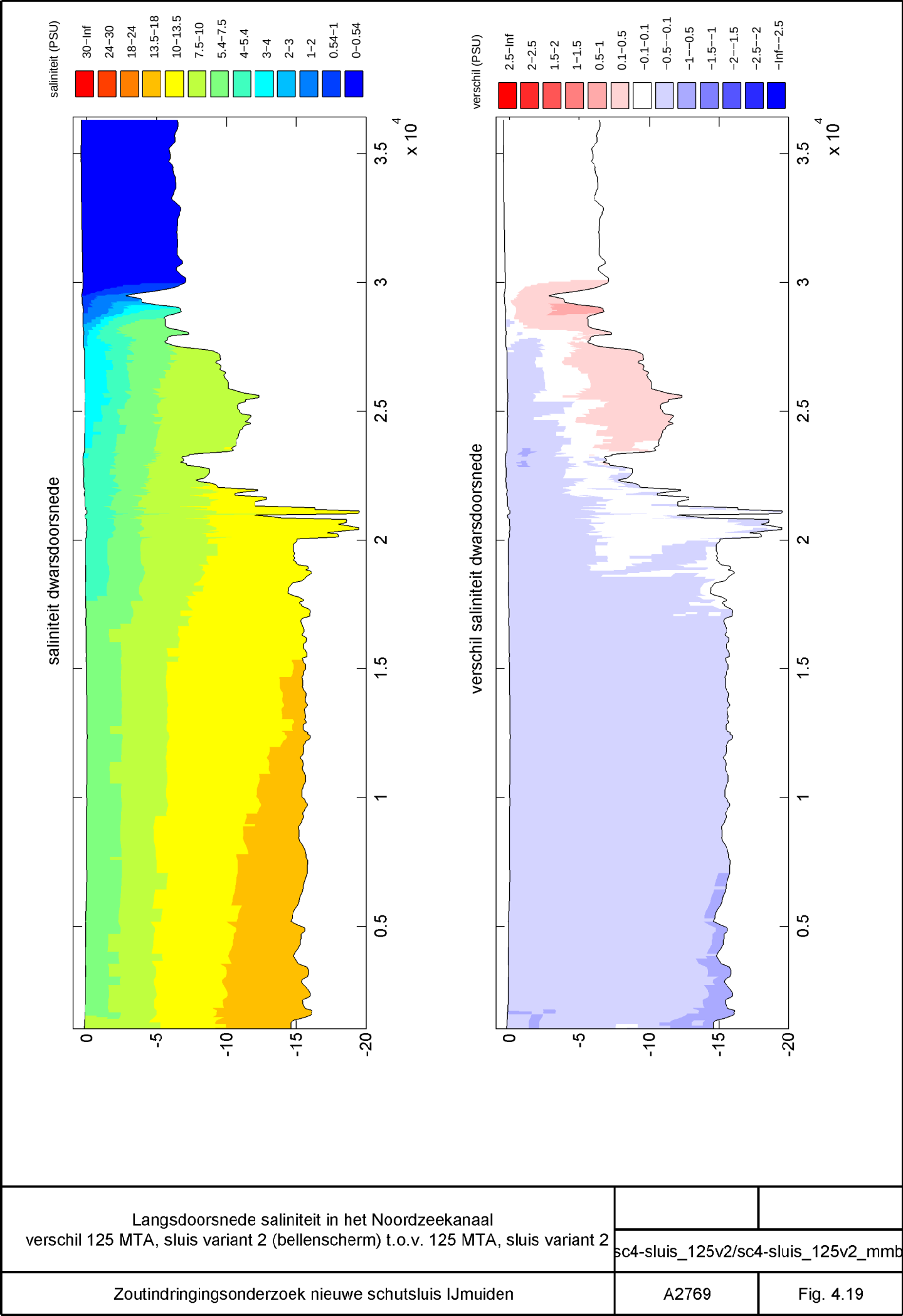
Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal
verschil 125 MTA, sluis variant 2 (maallocatie) t.o.v. 125 MTA, sluis variant 2

sc4-sluis_125v2/sc4-sluis_125v2_mm

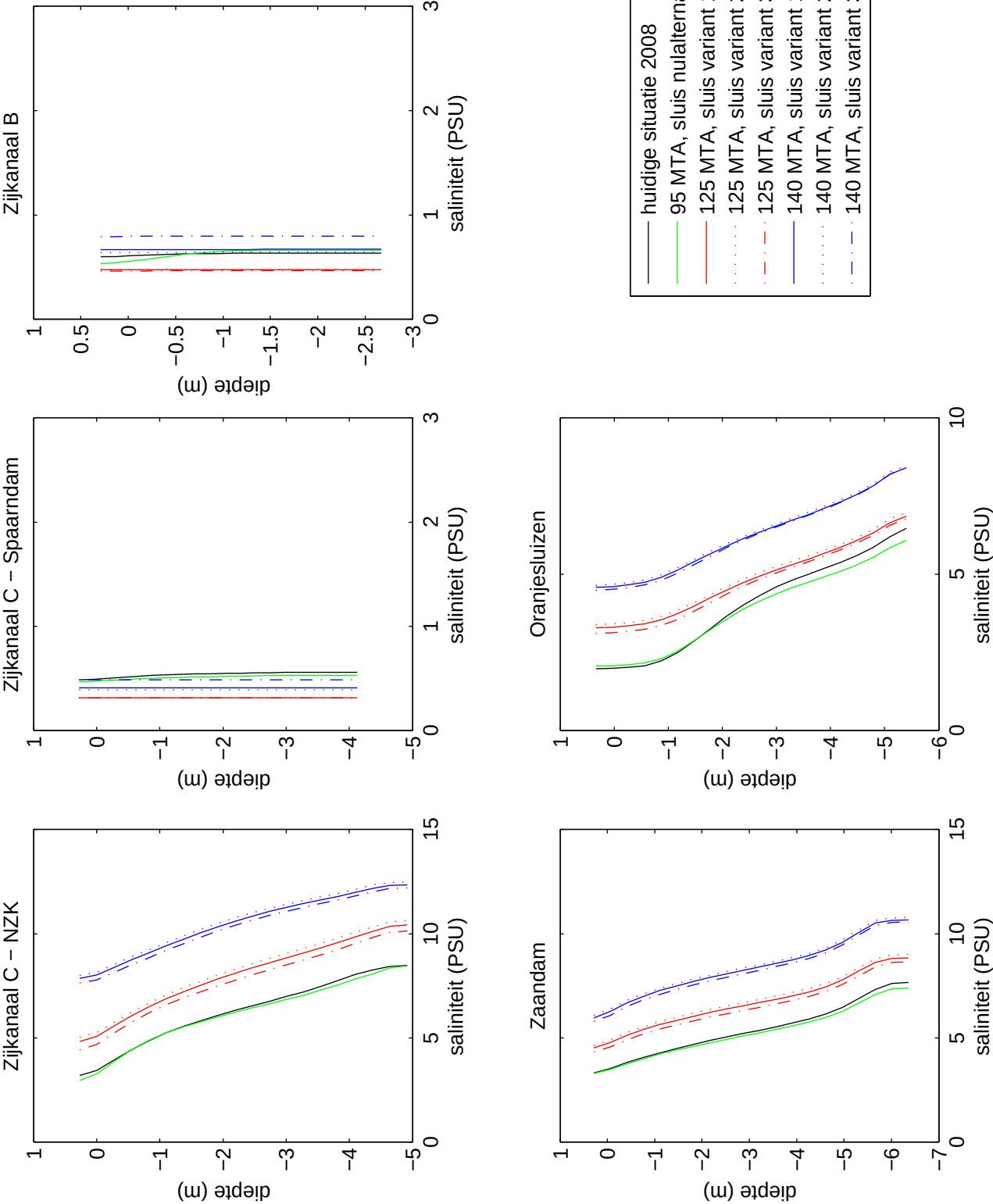


Langsdoorsnede saliniteit in het Noordzeekanaal
verschil 125 MTA, sluis variant 2 (bezetting) t.o.v. 125 MTA, sluis variant 2

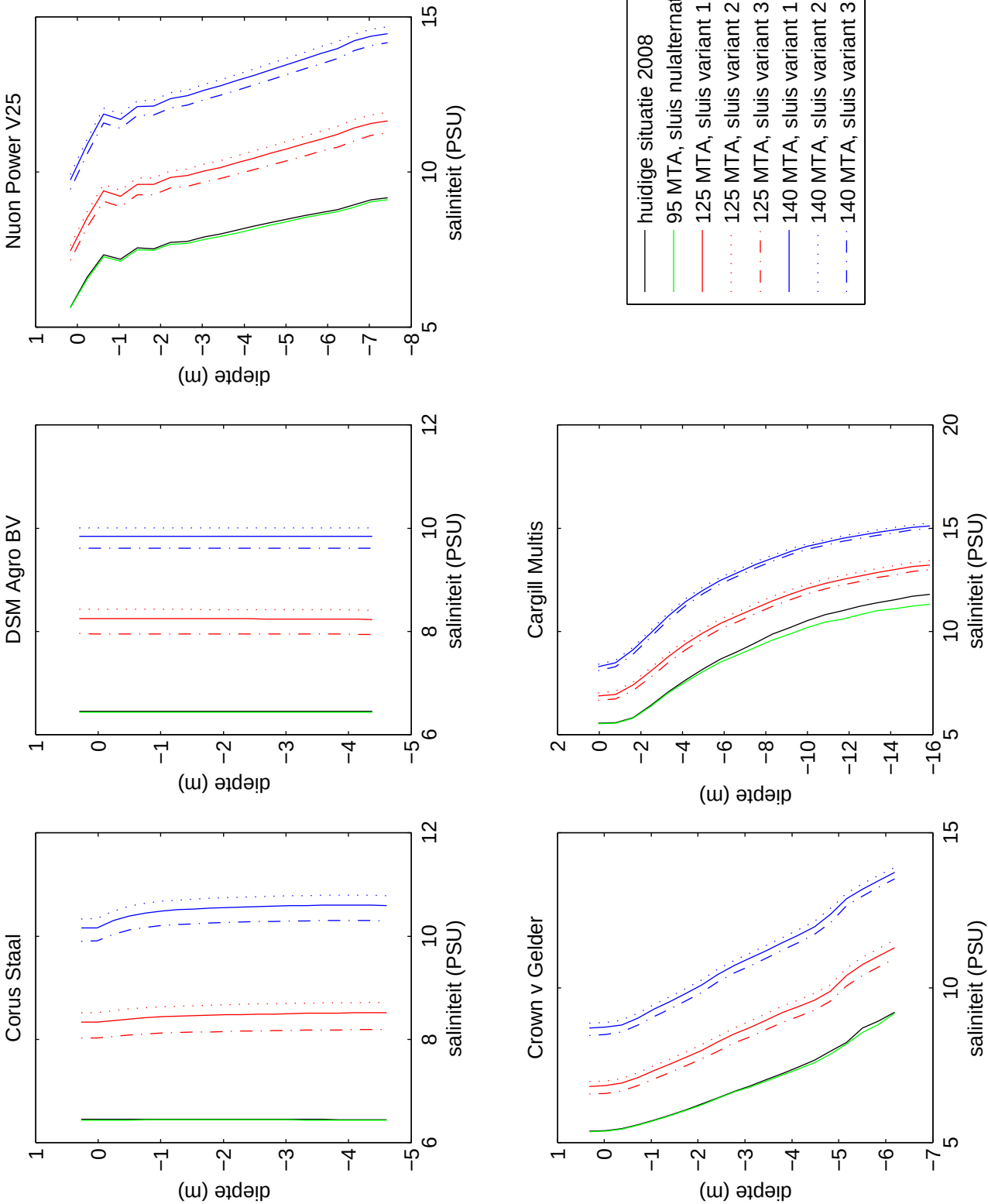
sc4-sluis_125v2/sc4-sluis_125v2_mmopt



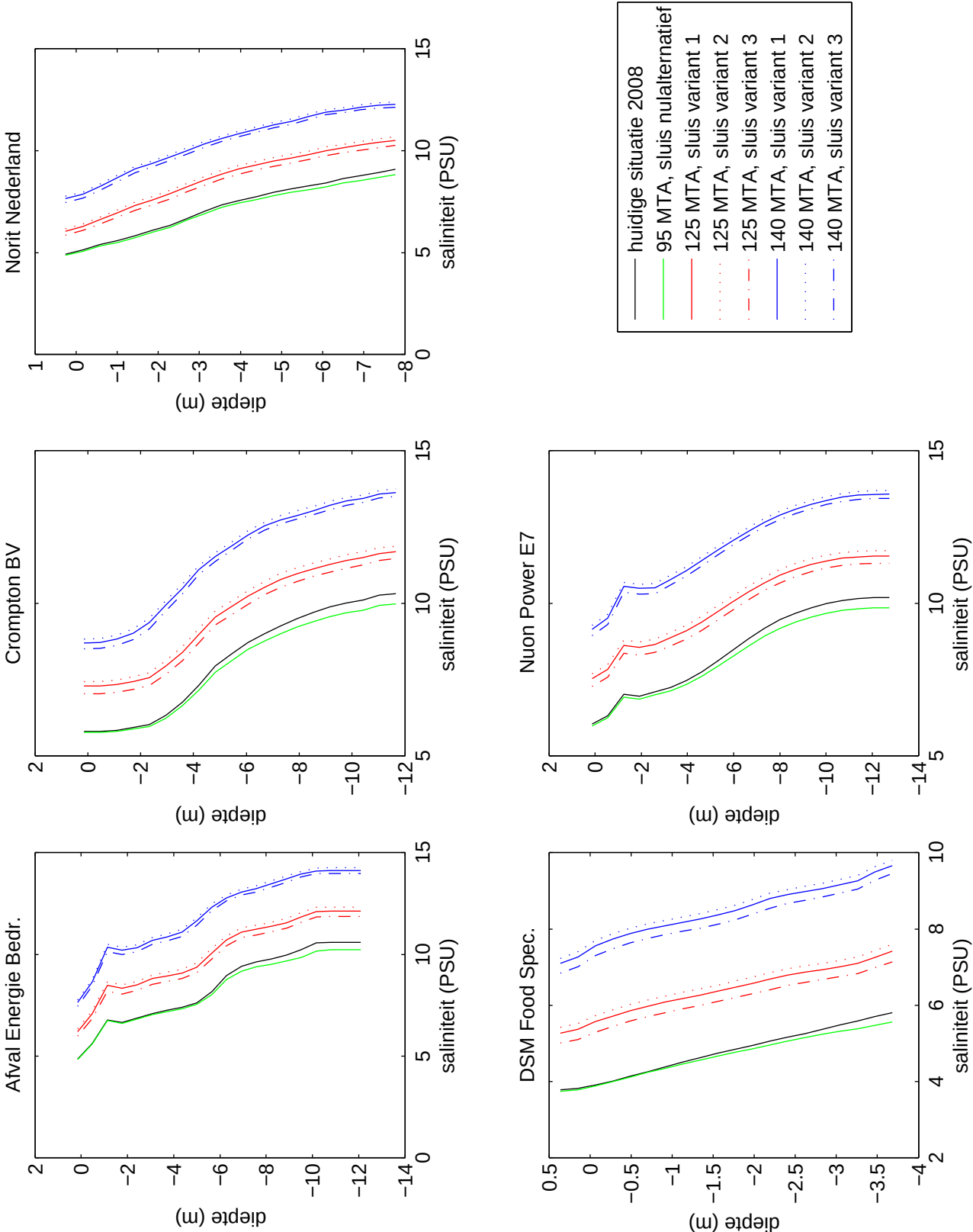
Saliniteitsprofielen in verschillende innamelocaties voor de verschillende ladingsscenario's en sluisvarianten



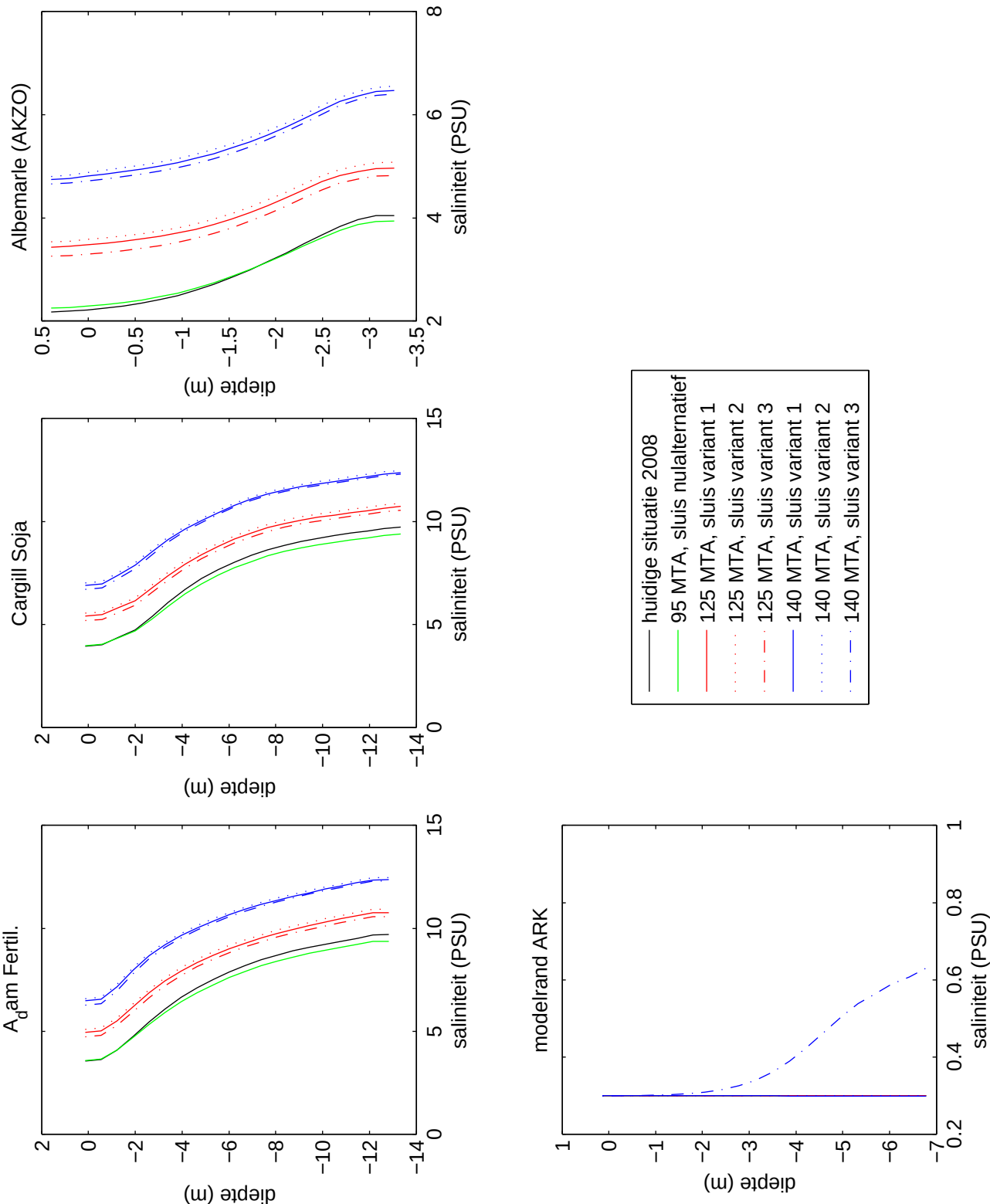
Saliniteitsprofielen in verschillende koelwater inname locaties voor de verschillende ladingsscenario's en sluisvarianten



Saliniteitsprofielen in verschillende koelwater innamelocaties voor de verschillende ladingsscenario's en sluisvarianten



Saliniteitsprofielen in verschillende koelwater
innamelocaties en nabij de open rand ARK
voor de verschillende ladingsscenarios en sluisvarianten



Vergelijking tracerconcentraties na 1 en 2 dagen

Zoutindringingsonderzoek nieuwe schutsluis IJmuiden

A2769

Fig. 4.24

