

DATARAPPORT PMR-NCV PERCEEL ABIOTIEK

Simulaties 2015 en alternatieve aanpak golfgerelateerde
bodemschuifspanningen

5 DECEMBER 2016

Contactpersonen



JEROEN ADEMA
Senior Specialist Flow Modelling

T +31 (0)88 4261 440

M +31 (0)6 1116 5649

E jeroen.adema@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 137

8000 AC Zwolle

Nederland

INHOUDSOPGAVE

LIJST VAN TABELLEN	5
LIJST VAN FIGUREN	6
LIJST VAN BIJLAGEN	8
1 INLEIDING	9
1.1 Inleiding	9
1.2 Leeswijzer	10
2 VALIDATIE MET GEMETEN DATA	11
2.1 Inleiding	11
2.2 Synoptische beschrijving 2015	12
2.2.1 Lucht- en watertemperatuur	12
2.2.2 Rivierafvoeren en spuidebieten	14
2.2.3 Wind	16
2.2.4 Golven	18
2.3 Validatie	18
2.3.1 Definities van statistische parameters	18
2.3.2 Validatie waterstand	19
2.3.3 Validatie watertemperatuur	19
2.3.4 Validatie saliniteit	20
2.3.5 Dag-analyses waterstand, temperatuur en saliniteit	21
2.4 Conclusies	21
3 ALTERNATIEVE AANPAK BODEMSCHUIFSPANNING T.G.V. GOLVEN	23
3.1 Beschrijving aanpak	23
3.2 Vergelijking modelresultaten	24
3.3 Conclusies	32
4 ANALYSES MODELRESULTATEN 2015	33
4.1 Inleiding	33
4.2 Juli storm	33

4.3	Lage en hoge spuidebieten Haringvliet	38
4.4	Overzicht van resultaten in de database	46
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	47
5.1	Conclusies	47
5.2	Aanbevelingen	47
	REFERENTIES	48

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 4.1	Percentage van voorkomen saliniteit in heel jaar, natte periode (januari) en droge periode (oktober) in Vissen-monitoringspunt MPA_10A.	41
-----------	---	----

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 2.1	Bodemligging Oosterscheldemonding 2013 en Haringvlietmondning 2015.	11
Figuur 2.2	Versilbodern Oosterscheldemonding 2013 en Haringvlietmondning 2015 met Voordelta 2010 en 2004.	12
Figuur 2.3	Vergelijking van de luchttemperatuur in de Voordelta tussen de maandvariaties over de periode 2004-2014 en de 50-percentieldswaarde voor 2015. Ook is de tijdserie (elke 3 uur) voor 2015 weergegeven.	13
Figuur 2.4	Vergelijking van de watertemperatuur in station K13A Platform tussen de maandvariaties over de periode 2004-2014 en de 50-percentieldswaarde voor 2015. Ook is de tijdserie (dagelijks) voor 2015 weergegeven.	14
Figuur 2.5	Daggemiddelde spuidebiet Haringvliet in 2015.	15
Figuur 2.6	Boxplots van het daggemiddelde debiet van het Haringvliet voor de jaren 2004 tot en met 2015.	15
Figuur 2.7	Boxplots van de daggemiddelde afvoer van de Maasmond voor de jaren 2005 tot en met 2015.	16
Figuur 2.8	Windrozen Hoek van Holland voor de periode 2004-2014 en 2015.	17
Figuur 2.9	Tijdserie van de wind in Hoek van Holland voor 2015.	17
Figuur 2.10	Golfrozen Europlatform voor de periode 2004-2014 en 2015.	18
Figuur 3.1	Ligging van de raai en de twee uitvoerpunten.	24
Figuur 3.2	Dieptes langs de raai (km 0 op de Brouwersdam).	25
Figuur 3.3	Maandgemiddelde (gem) en 98-percentiel (98p) bodemschuifspanning voor de maanden september, oktober, november en december 2015 (van boven naar beneden), berekend met transformatiematrices (trnsf) en de alternatieve aanpak (swan).	26
Figuur 3.4	Vergelijking van de golfhoogtes, berekend met transformatiematrices (trnsf) en de alternatieve aanpak (swan), over de laatste 4 maanden van 2015, in het zeewaartse uitvoerpunt.	27
Figuur 3.5	Vergelijking van de golfhoogtes, berekend met transformatiematrices (trnsf) en de alternatieve aanpak (swan), over de laatste 4 maanden van 2015, in het uitvoerpunt ten noordwesten van de Bollen van de Ooster.	27
Figuur 3.6	Vergelijking van de bodemschuifspanningen, berekend met transformatiematrices (trnsf) en de alternatieve aanpak (swan), over de laatste 4 maanden van 2015, in het zeewaartse uitvoerpunt.	28
Figuur 3.7	Vergelijking van de bodemschuifspanningen, berekend met transformatiematrices (trnsf) en de alternatieve aanpak (swan), over de laatste 4 maanden van 2015, in het uitvoerpunt ten noordwesten van de Bollen van de Ooster.	29
Figuur 3.8	Vergelijking van de bodemschuifspanning in het zeewaartse uitvoerpunt voor het hele jaar 2015 berekend met transformatiematrices (trnsf) en de alternatieve aanpak (swan). Op de grijze lijn zouden beide resultaten overeenkomen.	30
Figuur 3.9	Vergelijking van de bodemschuifspanning in het uitvoerpunt ten noordwesten van de Bollen van de Ooster voor het hele jaar 2015 berekend met transformatiematrices (trnsf) en de alternatieve aanpak (swan). Op de grijze lijn zouden beide resultaten overeenkomen.	31
Figuur 3.10	Frequentie van voorkomen van afluiddige golven in Europlatform per maand en over heel 2015 en daarin frequentie van voorkomen van de bodemschuifspanning volgens de nieuwe aanpak in een aantal klassen (in N/m ²) in het uitvoerpunt ten noordwesten van de Bollen van de Ooster.	32
Figuur 4.1	HIRLAM windvelden 24 juli 18 uur UTC tot en met 25 juli 18 uur UTC.	34
Figuur 4.2	Windsnelheid en -richting in Vlissingen en Hoek van Holland.	35
Figuur 4.3	Berekende waterstanden astronomische en hindcast in Hoek van Holland en Vlissingen en stormopzet tijdens de juli storm.	36

Figuur 4.4	Significante golfhoogte, piekperiode en golfrichting in Europlatform tijdens de juli storm.	36
Figuur 4.5	Bodemschuifspanningen langs de raai uit figuur 3.1 van 25 juli 3.00 uur tot 26 juli 3.00 uur (km 0 op de Brouwersdam).	37
Figuur 4.6	Berekende significante golfhoogte (links) en bodemschuifspanning (rechts) op 25 juli om 12.00 uur.	38
Figuur 4.7	Minimale bodemsaliniteit tijdens hoge afvoer periode (januari) en twee lage afvoer perioden (juli en oktober). Ook aangegeven is de ligging van de drie Vis-monitoringspunten MPA_10A, MPA_17A en MPA_29A.	38
Figuur 4.8	Tijdseries van oppervlaktesaliniteit in Vissen-monitoringspunten MPA_10A, MPA_17A en MPA_29A (zie figuur 4.7 voor locaties).	39
Figuur 4.9	Tijdseries van bodemsaliniteit in Vissen-monitoringspunten MPA_10A, MPA_17A en MPA_29A (zie figuur 4.7 voor locaties).	40
Figuur 4.10	Tijdseries van verschil in oppervlakte- en bodemsaliniteit in Vissen-monitoringspunten MPA_10A, MPA_17A en MPA_29A (zie figuur 4.7 voor locaties).	40
Figuur 4.11	Afvoer Haringvliet in 2015 en geselecteerde droge (2e helft juli) en natte (1e helft april) perioden.	42
Figuur 4.12	Oorspronkelijke afvoer Haringvliet in 2e helft juli 2015 en de in de tijd verschoven afvoer 1e helft april.	42
Figuur 4.13	Tijdseries van oppervlakte- en bodemsaliniteit in Vissen-monitoringspunt MPA_10A, voor de verschillende simulaties: hindcast (W), hindcast met hoge afvoer (WQ), astronomisch (A) en astronomisch met hoge afvoer (AQ).	43
Figuur 4.14	Tijdseries van oppervlakte- en bodemsaliniteit in Vissen-monitoringspunt MPA_17A, voor de verschillende simulaties: hindcast (W), hindcast met hoge afvoer (WQ), astronomisch (A) en astronomisch met hoge afvoer (AQ).	44
Figuur 4.15	Tijdseries van oppervlakte- en bodemsaliniteit in Vissen-monitoringspunt MPA_29A, voor de verschillende simulaties: hindcast (W), hindcast met hoge afvoer (WQ), astronomisch (A) en astronomisch met hoge afvoer (AQ).	45

LIJST VAN BIJLAGEN

BIJLAGE A TABELLEN EN FIGUREN VOOR SIMULATIES JANUARI – DECEMBER 2015	49
--	-----------

1 INLEIDING

1.1 Inleiding

In september 2008 is begonnen met de aanleg van Maasvlakte 2. Een belangrijke consequentie van deze aanleg is dat er 2.455 ha aan habitat H1110 verloren is gegaan. Op grond van de Natuurbeschermingswet dient dit te worden gecompenseerd. De compensatiemaatregel bestaat uit:

- het instellen van een verbod op de zware boomkorvisserij (boomkorvisserij met wekkerkettingen met motorvermogens tussen 260 en 300 pk) in een gebied binnen de Voordelta ter grootte van 24.550 ha, en
- het instellen van een aantal rustgebieden voor de zwarte zee-eend, grote stern en visdief.

Het doel van deze compensatieregeling is het bewerkstelligen van een toename in voedselaanbod voor vogels door de reductie van de visvangst en een kwaliteitsverbetering van het bodemleven.

De effecten van de compensatiemaatregel worden gemonitord in het langlopende project PMR-NCV (Project Mainportontwikkeling Rotterdam – NatuurCompensatie Voordelta), met als doel om aan te tonen dat de compensatiemaatregelen voldoende zijn geweest. Van 2009 tot en met 2015 is de eerste fase uitgevoerd. Deze studie maakt onderdeel van de tweede fase, die loopt van 2016 tot en met 2020. Een van de resultaten van de eerste fase is geweest dat de begrenzing en periode van bescherming in de rustgebieden voor de zwarte zee-eend is aangepast.

Het doel van het perceel Abiotiek is om een beschrijving te geven van de abiotiek van de Voordelta, om op die manier een mogelijk effect van de omgevingscondities op de gemeten aantallen vogels, vissen en benthos te kunnen vaststellen en aan het eind van het project een overzicht van de variaties en veranderingen in abiotische omgevingscondities in de Voordelta over de gehele monitoringsperiode 2004-2018.

Voor de beschrijving van de abiotische omgevingscondities wordt gebruik gemaakt van analyses van metingen en modelonderzoek. In de eerste fase van PMR-NCV zijn modelsimulaties uitgevoerd voor de periode juni 2004 t/m december 2014. Met het oog op consistentie met de modelresultaten uit Fase I van PMR-NCV is dezelfde aanpak ook voor fase 2 gevolgd.

De abiotische parameters die met behulp van modelberekeningen zijn bepaald, zijn:

- waterstanden;
- stroomsnelheden;
- golven;
- bodemschuifspanningen ten gevolge van stroming en golven;
- watertemperatuur, en
- saliniteit.

Hiervoor is gebruik gemaakt van het modelleninstrumentarium van Rijkswaterstaat, bestaande uit de SIMONA modellen CSM8 (Continental Shelf Model met 8 kilometer maaswijdte), Zuno (Zuidelijk Noordzee model), Kustgrof en Kustzuid (uitsnede van het zuidelijke deel van Kustfijn) en het golfvoortplantingsmodel SWAN. De benodigde gegevens voor waterstanden, meteo-velden, saliniteit- en temperatuurmetingen, afvoer- en lozingsgegevens, de bodemligging in de Voordelta en golfgegevens op zee zijn gebruikt om de modellen aan te sturen en te valideren. Voor de afvoergegevens voor de Maasmond en het Haringvliet zijn de resultaten van de SOBEK-simulaties van Rijkswaterstaat gebruikt.

Naast deze ‘standaard’ modelstudie is een aanvullende studie uitgevoerd om te kijken of de methode waarmee de bodemschuifspanningen ten gevolge van golven in de eerste fase zijn bepaald, aanpassing behoeft. In de oorspronkelijke aanpak zijn de bodemschuifspanningen voor aflandige golfcondities verondersteld klein te zijn. In de berekeningen zijn daarom deze condities niet beschouwd en in de analyses worden de bodemschuifspanningen dan verondersteld nul te zijn. In deze aanvullende studie is deze aanname getoetst door een hindcast van de golfcondities te maken door onder alle condities de golven uit te rekenen en de bodemschuifspanningen te bepalen. Hiermee sluit deze aanpak ook beter aan bij de manier waarop de andere abiotische grootheden zijn bepaald.

De resultaten van deze studie worden net als de metingen van de andere percelen opgeslagen in een grote database, zodat de data voor iedereen toegankelijk zijn en er eenvoudig aanvullende analyses op kunnen worden uitgevoerd.

1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 behandelt de validatie van de modelresultaten met beschikbare metingen. In paragraaf 2.2 wordt eerst een beschrijving gegeven van de omgevingscondities en hoe die zich verhouden tot de andere jaren in de monitoringsperiode. In paragraaf 2.3 en 2.4 wordt verder ingegaan op de validatie zelf, op een vergelijkbare manier als dit is gegaan voor de eerdere jaren.

In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de studie naar een aangepaste manier om de bodemschuifspanningen te berekenen. In plaats van voor een select aantal condities de golfvoortplanting te bepalen en deze te gebruiken om de tijdserie van Europlatform te vertalen naar een punt in de Voordelta, wordt in deze aanpak elk uur een berekening uitgevoerd. De verwachting is dat deze aanpak leidt tot nauwkeurigere resultaten. In dit hoofdstuk wordt de aanpak beschreven en worden de resultaten vergeleken met de originele aanpak.

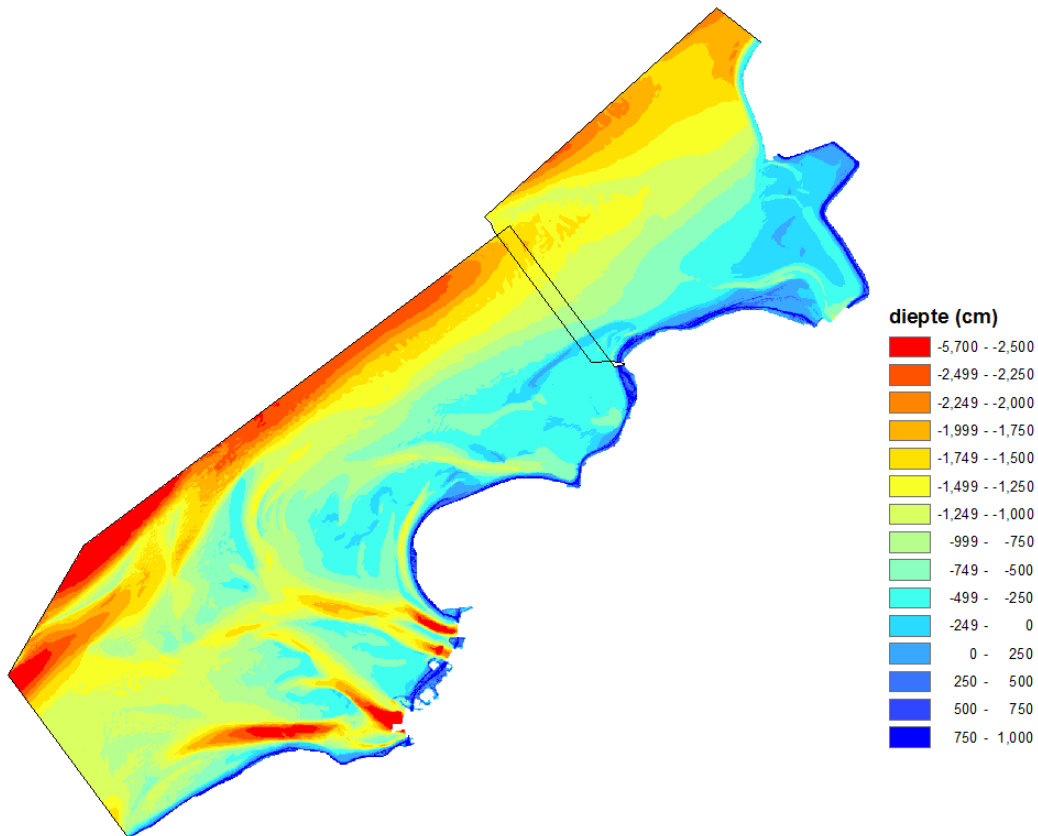
In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de analyses op de modelberekeningen gepresenteerd. Voor 2015 is ervoor gekozen om op twee verschijnselen in te zoomen. De eerste is een storm die in juli over Nederland trok, wat uitzonderlijk is voor de zomer. Daarnaast wordt beschreven hoe de Haringvlietafvoer de saliniteit in de Voordelta beïnvloedt. Stormen en de Haringvlietafvoer beïnvloeden de abiotiek in de Voordelta in hoge mate.

In hoofdstuk 5 worden tenslotte conclusies getrokken en worden aanbevelingen gedaan op basis van deze studie.

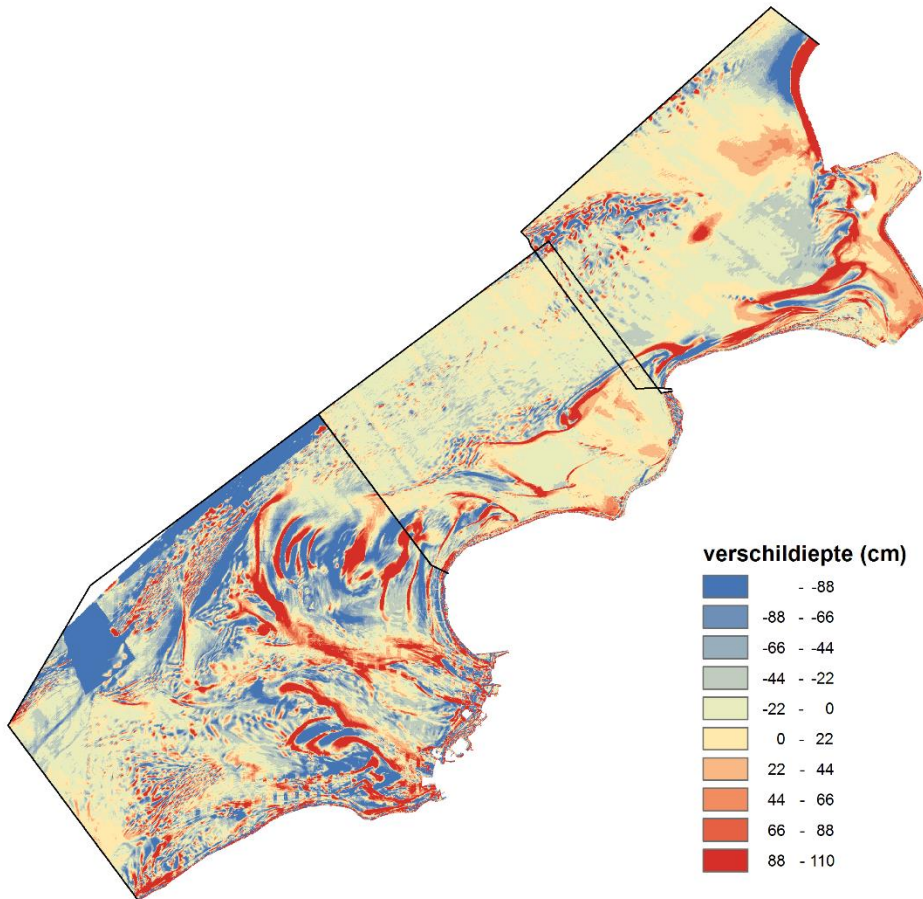
2 VALIDATIE MET GEMETEN DATA

2.1 Inleiding

De aanpak van de modelberekeningen is identiek gehouden ten opzichte van die in de eerste fase (simulaties over de periode juni 2004 tot en met december 2014), om zoveel mogelijk consistentie te behouden in de uitkomsten. Net als de berekeningen vanaf 2013 loopt de simulatieperiode weer van januari tot en met december, in tegenstelling tot de voorafgaande jaren, waarbij die liepen van juni tot en met mei. Ook zijn de nieuwe bodemliggingen voor de Oosterscheldemonding uit 2013 en de Haringvlietmondning van 2015 meegenomen, zie figuur 2.1. Het verschil



Figuur 2.1 Bodemligging Oosterscheldemonding 2013 en Haringvlietmondning 2015.



Figuur 2.2 Verschilbodem Oosterscheldemonding 2013 en Haringvlietmonding 2015 met Voordelta 2010 en 2004.

In dit hoofdstuk zal eerst een beschrijving worden gegeven van de omgevingscondities in 2015. Hierbij worden de rivier- en spuidebieten, temperatuur en wind- en golfcondities van 2015 beschreven en worden deze vergeleken met de eerdere jaren van de monitoring. Deze gegevens zijn ook gebruikt om de verschillende modellen aan te sturen.

Aansluitend wordt aangetoond dat de modelresultaten betrouwbaar zijn door de validatie met de metingen. Hierbij is dezelfde aanpak gevolgd als in het Eindrapport 2009-2013 (Deltares, 2014) en de twee datarapporten betreffende de jaarsimulaties 2013 (Arcadis, 2015) en 2014 (Arcadis, 2016), om op die manier de verschillende jaren 1-op-1 te kunnen vergelijken. Hierbij zijn vergelijkingen gemaakt tussen gemeten en berekende waterstanden, watertemperaturen en saliniteiten.

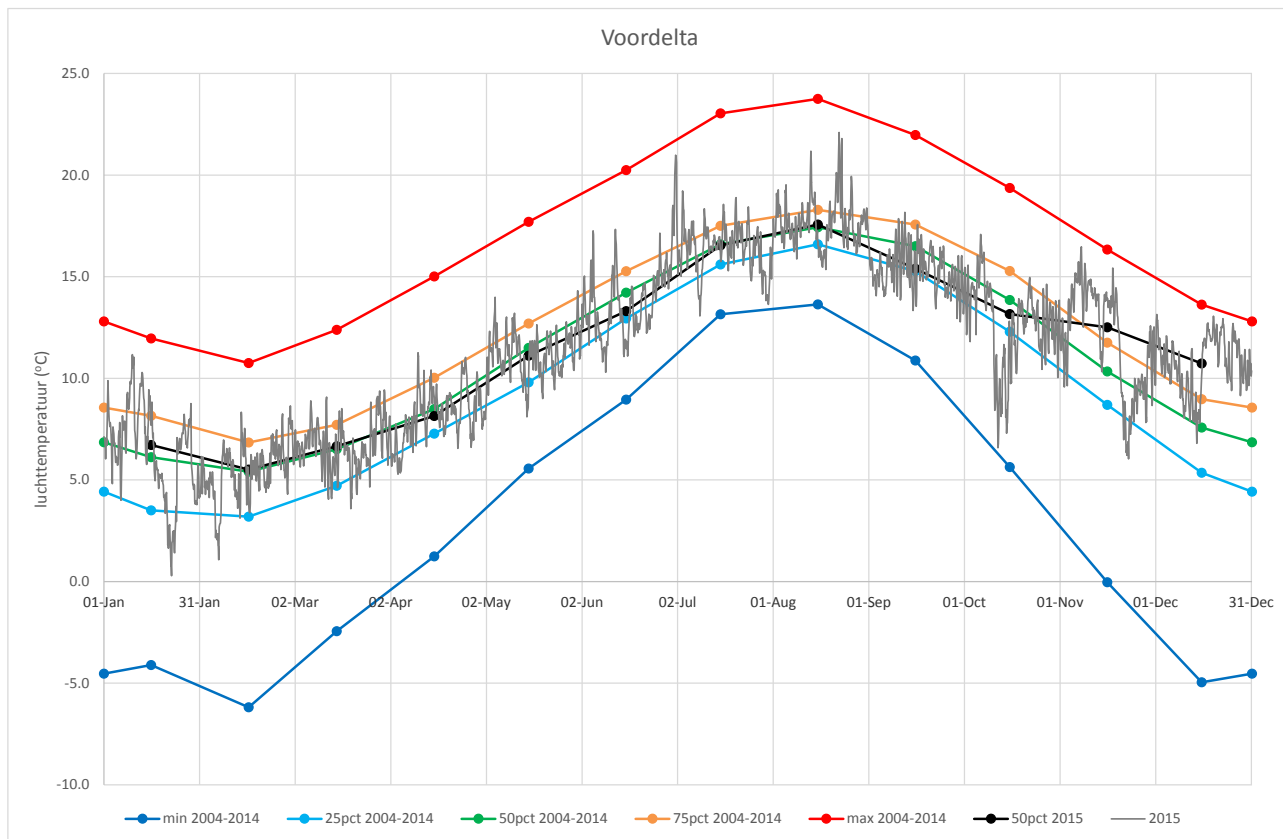
2.2 Synoptische beschrijving 2015

2015 was gemiddeld wat betreft temperatuur, met uitzondering van november en december, die relatief warm waren. De eerste helft van het jaar was de Haringvlietafvoer gemiddeld, de tweede helft laag.

2.2.1 Lucht- en watertemperatuur

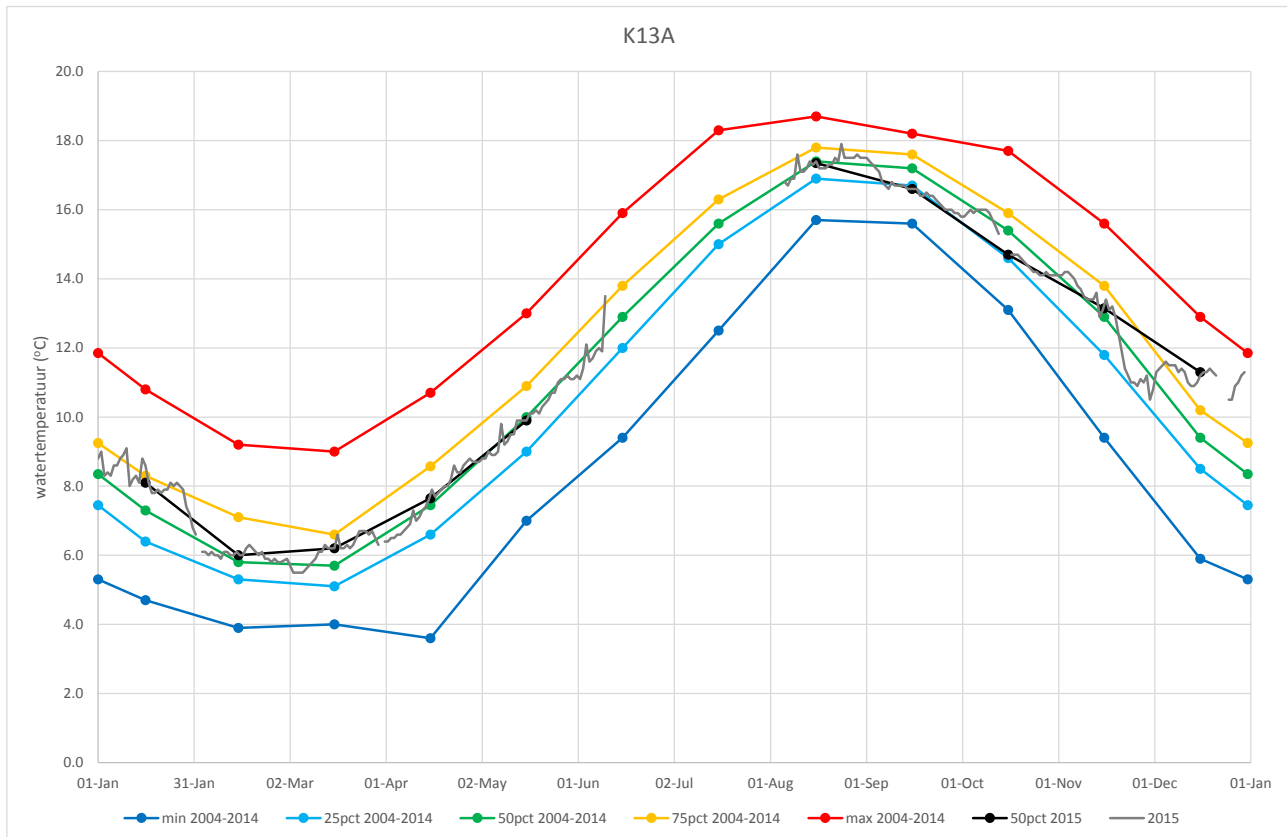
Voor de analyse van de luchttemperatuur is de HIRLAM modeluitvoer ruimtelijk gemiddeld over de Voordelta. Voor de watertemperatuur zijn de metingen bij K13A Platform, zoals beschikbaar in Waterbase, geanalyseerd. Beide worden gebruikt in de aansturing van het temperatuurmodel in het 3D Kustzuid model, naast bewolgingsgraad en relatieve luchtvochtigheid.

In figuur 2.3 zijn de luchttemperaturen over 2015 vergeleken met de variaties over de monitoringsperiode van 2004 tot en met 2014.



Figuur 2.3 Vergelijking van de luchttemperatuur in de Voordelta tussen de maandvariaties over de periode 2004-2014 en de 50-percentielswaarde voor 2015. Ook is de tijdserie (elke 3 uur) voor 2015 weergegeven.

Januari begon relatief warm. Halverwege januari begon de temperatuur snel te dalen. Op 22 januari wordt de laagste waarde van het jaar bereikt, rond de 0 °C. De mediaan voor januari 2015 ligt ongeveer een halve graad boven die voor de periode 2004 tot 2014. Februari tot en met mei 2015 komen voor wat betreft de mediaan goed overeen met de langjarige waarden. De eerste helft van juni komen er twee dagen voor dat de temperatuur boven de 17 graden uitkomt, maar over de hele maand ligt de temperatuur relatief laag. Juli begint met een dag waarop de temperatuur oploopt tot boven de 20 graden, maar de rest van de maand vertoont de temperatuur een dalende trend. Pas in augustus komt de temperatuur weer een aantal dagen uit boven de 20 graden. Deze worden ook afgewisseld met lage waarden, zodat de mediaan weer samenvalt met de mediaan over de periode 2004-2014. De temperatuur in september en oktober viel weer laag uit in vergelijking met de hele monitoringsperiode, met begin oktober temperaturen onder de 7 graden. In november komt de mediane temperatuur uit op vrijwel dezelfde waarde als in oktober, circa 2 graden warmer dan wat in november gewoon is. De eerste helft van de maand is relatief warm. Maar rond 20 november treedt er een plotselinge afkoeling in, waarbij de temperatuur van ronde de 14 graden afkoelt tot rond de 7 graden. Daarna loopt de temperatuur echter weer op, waarna december ook relatief warm is. De mediaan ligt ruim 3 graden hoger dan over de periode 2004-2014.

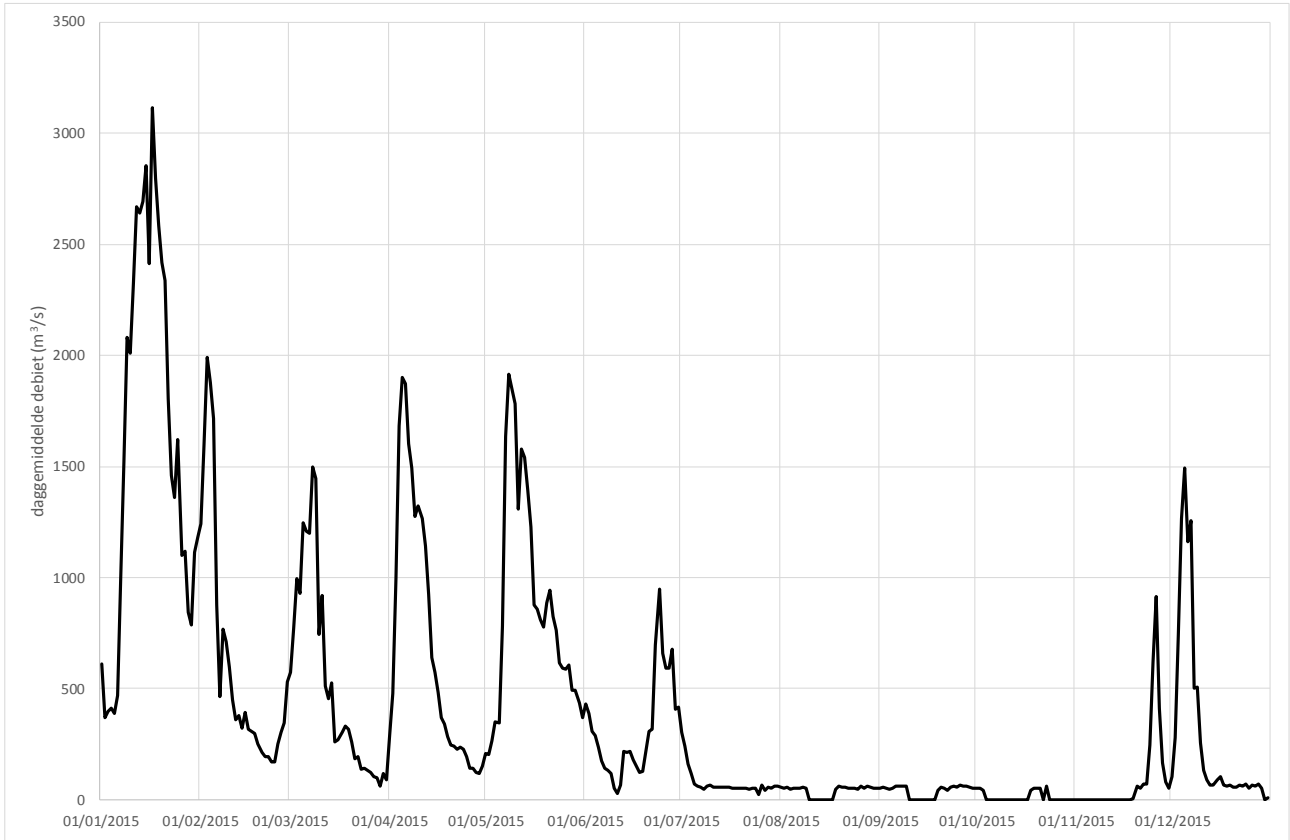


Figuur 2.4 Vergelijking van de watertemperatuur in station K13A Platform tussen de maandvariaties over de periode 2004-2014 en de 50-percentielswaarde voor 2015. Ook is de tijdserie (dagelijks) voor 2015 weergegeven.

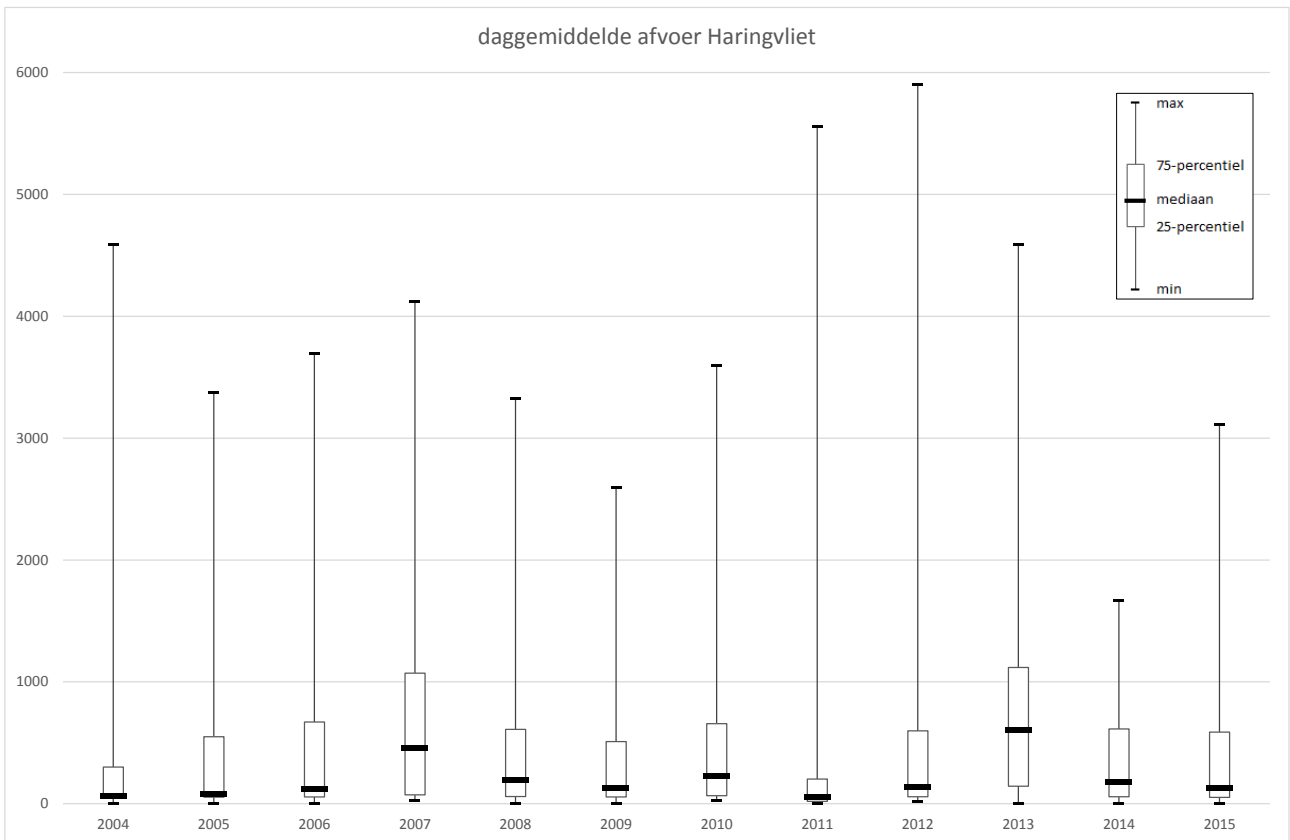
Een vergelijkbare analyse als voor de luchttemperatuur is ook gedaan voor de watertemperatuur in station K13A Platform. De resultaten zijn te zien in figuur 2.4. De variaties in watertemperatuur zijn veel minder groot dan die voor de luchttemperatuur. De bandbreedte tussen de minimale en maximale maandtemperatuur over de periode 2004-2014 ligt vrij constant in de orde van 6 °C, maar in de zomer orde 3 °C. Voor de luchttemperatuur bedraagt dit respectievelijk 15 °C en 10 °C. Het beeld van de watertemperatuur komt goed overeen met dat van de luchttemperatuur; januari, november en december zijn relatief warm, terwijl september en oktober relatief koud zijn.

2.2.2 Rivierafvoeren en spuidebieten

Het daggemiddelde spuidebiet van de Haringvlietsluizen is weergegeven in figuur 2.5. In januari vonden de hoogste daggemiddelde debieten plaats van het jaar. Deze bereikten op 17 januari een waarde van ruim 3100 m³/s. Ook het maandgemiddelde debiet had in januari de hoogste waarde van het jaar, 1630 m³/s. Begin februari, maart, april en mei treden er ook nog pieken op in de daggemiddelde afvoeren, maar die bereiken niet het niveau van januari. Juni was een overgangsmoed naar de droge zomerperiode. Juli tot en met november vielen droog uit, met ruim 140 dagen achtereen dat de afvoer de 100 m³/s niet oversteeg met bijna 60 dagen waarop er geen afvoer was. Eind november en begin december was er nog een periode waarin de afvoer toenam, maar deze twee perioden duurden relatief kort in vergelijking met eerdere jaren.

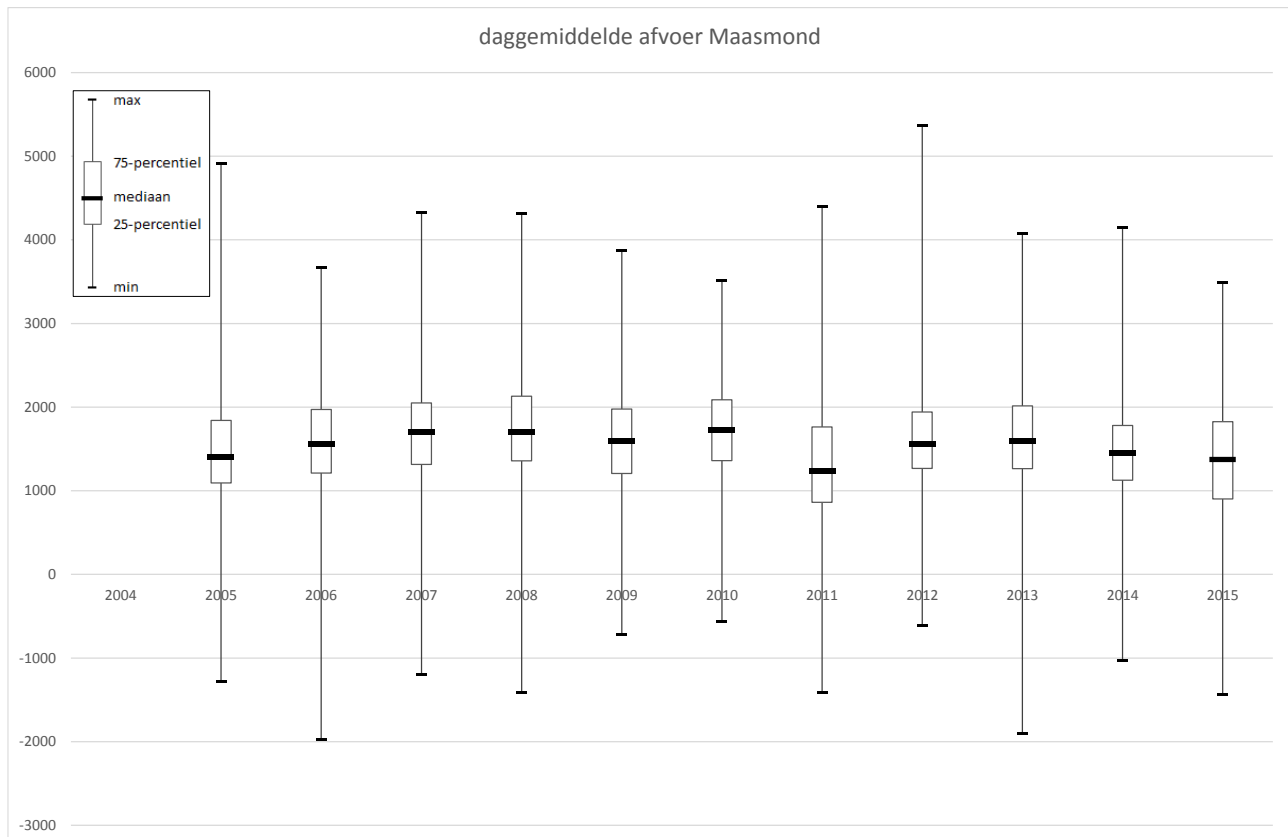


Figuur 2.5 Daggemiddelde spuidebiet Haringvliet in 2015.



Figuur 2.6 Boxplots van het daggemiddelde debiet van het Haringvliet voor de jaren 2004 tot en met 2015.

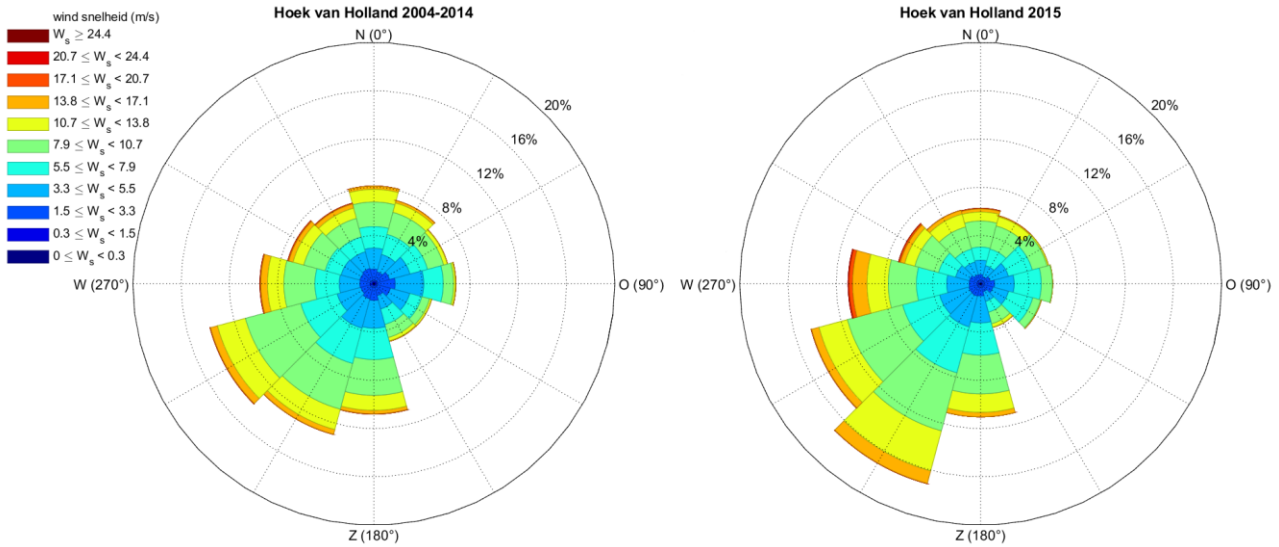
In figuur 2.6 is de Haringvlietafvoer vergeleken met de andere jaren. Deze laat zien dat 2015 niet extreem nat of droog was. De maximale daggemiddelde afvoer van ruim 3100 m³/s bedraagt ongeveer de helft van wat er in 2012 is opgetreden, terwijl in 2014 de maximale afvoer maar de helft bedroeg. De mediaan van de daggemiddelde afvoer was juist in 2013 hoog. Datzelfde beeld is ook te zien voor de Maasmond, zoals weergegeven in figuur 2.7. Hoewel de mediaan hoger ligt dan voor het Haringvliet, is de variatie van jaar tot jaar kleiner.



Figuur 2.7 Boxplots van de daggemiddelde afvoer van de Maasmond voor de jaren 2005 tot en met 2015.

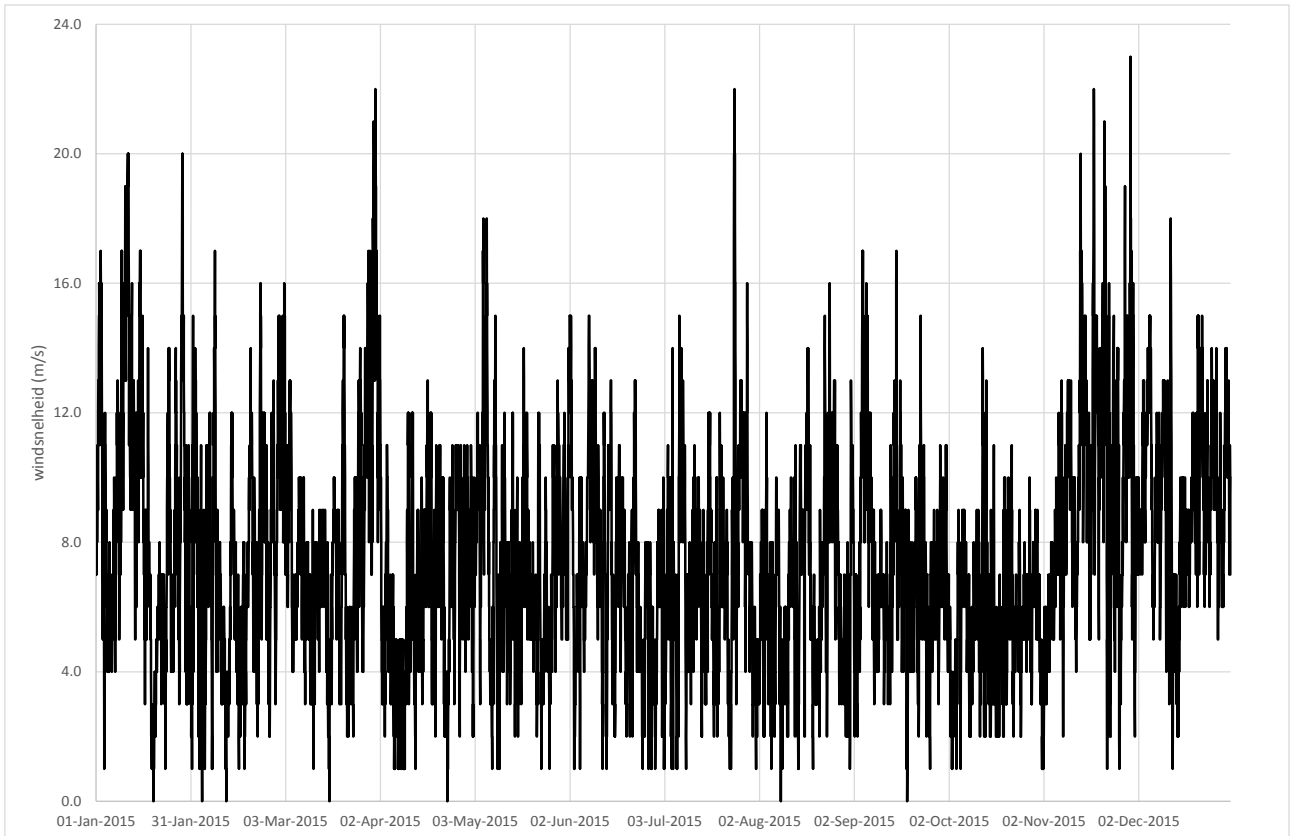
2.2.3 Wind

In figuur 2.8 is de windroos van 2015 voor Hoek van Holland vergeleken met die over de periode 2004-2014. In 2015 waaide het relatief vaak uit zuidwestelijke en westelijke richtingen en uit bijna alle andere richtingen minder vaak. Opvallend is dat in 2015 relatief vaak windsnelheden boven de 17,1 m/s (Beaufort 8) uit het westen zijn voorgekomen.



Figuur 2.8 Windrozen Hoek van Holland voor de periode 2004-2014 en 2015.

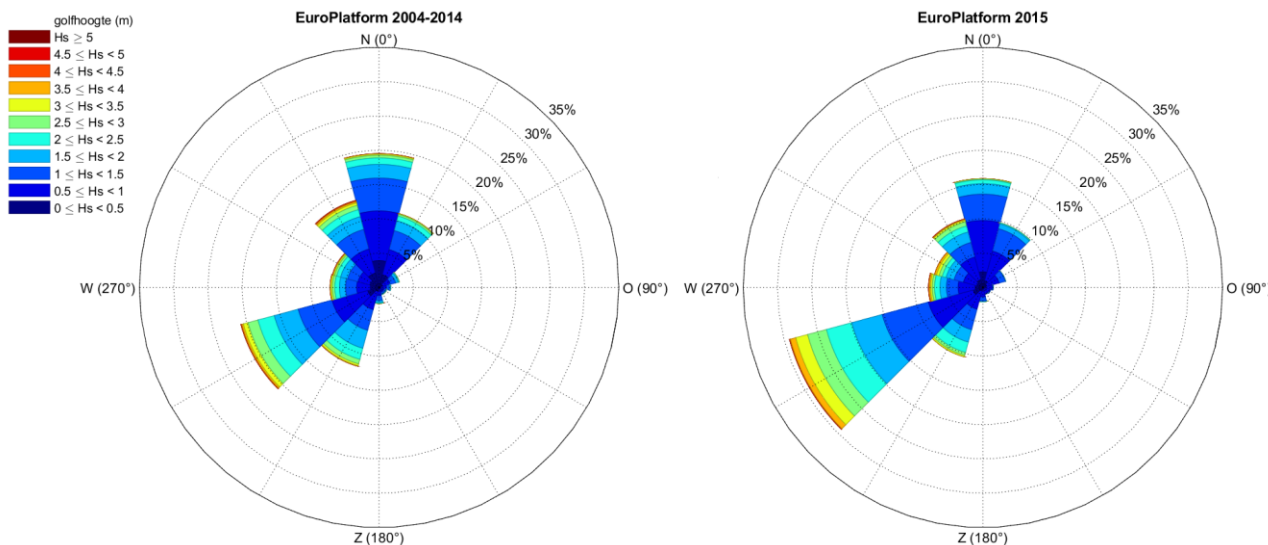
De tijdserie van de windsnelheid is weergegeven in figuur 2.9. Naast de verschillende winterstormen was de storm op 25 juli uitzonderlijk. Hoewel de windsnelheden daarbij niet het hoogst waren van wat er in 2015 is opgetreden, was het wel uitzonderlijk dat een dergelijke storm in de zomer plaatsvond. Doordat bomen volop in blad stonden, was er veel schade door afgewaaide takken en omwaaiende bomen. Hierdoor viel er ook een dode. Het vliegverkeer op Schiphol ondervond hinder en ook werden verschillende evenementen afgelast. In paragraaf 4.2 wordt teruggekomen op deze storm.



Figuur 2.9 Tijdserie van de wind in Hoek van Holland voor 2015.

2.2.4 Golven

Figuur 2.10 geeft de frequenties van voorkomen van golfhoogtes bij Europlatform over 2015 en over de periode 2004-2014.



Figuur 2.10 Golfrozen Europlatform voor de periode 2004-2014 en 2015.

In 2015 kwamen relatief weinig golven uit noordelijke richtingen en veel uit zuidwestelijke richting. In hoofdstuk 3 zal dit in meer detail worden besproken.

2.3 Validatie

Metingen in het Nederlandse kustgebied zijn beschikbaar via Waterbase en DONAR. In (Alkyon, 2010) is een uitgebreide beschrijving gegeven van alle metingen die in het project worden gebruikt en welke bewerkingen op deze data zijn losgelaten.

2.3.1 Definities van statistische parameters

Bij de analyses worden de volgende definities van statistische parameters aangehouden:

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{model,i} - X_{meting,i}) = \overline{X_{model}} - \overline{X_{meting}} \tag{1}$$

$$RMSE_0 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((X_{model,i} - \overline{X_{model}}) - (X_{meting,i} - \overline{X_{meting}}))^2} \tag{2}$$

waarbij n staat voor het totaal aantal waarnemingen. De BIAS is een maat voor de gemiddelde afwijking. De $RMSE_0$ is de standaardafwijking, gecorrigeerd voor een eventueel verschil in gemiddelde waarde.

De analyses zijn uitgevoerd per maand, per kwartaal en over het gehele jaar, uiteraard voor zover metingen beschikbaar zijn.

2.3.2 Validatie waterstand

Uit Waterbase zijn waterstanden gehaald voor de stations:

- Euro Platform
- Hoek van Holland
- Haringvliet 10
- Roompot Buiten
- Vlissingen

De gegevens zijn compleet, er zijn geen ontbrekende metingen.

In bijlage A worden de resultaten van de vergelijkingen weergegeven in:

- Tabel A.1: Vergelijking tussen berekende en gemeten waterstand, Euro Platform, Hoek van Holland, Haringvliet 10, Roompot Buiten en Vlissingen

en:

- Figuur A.1: Ligging waterbase-stations waterstand
- Figuren A.2 – A.5: Vergelijking metingen en modelresultaten, waterstand 1e, 2e, 3e en 4e kwartaal, Waterbase-station Vlissingen

Het nummer van het kwartaal refereert aan de periode binnen de simulatie. Aangezien de simulatie loopt van januari tot en met december, omvat het eerste kwartaal de maanden januari, februari en maart, het tweede de maanden april, mei en juni, enzovoorts. Bij het vergelijken met de resultaten uit de jaren tot en met 2012 is het belangrijk om te beseffen dat indertijd de simulatie liep van juni tot mei, en het eerste kwartaal de maanden juni, juli en augustus omvatte, het tweede de maanden september, oktober en november, enzovoorts. De resultaten voor de waterstanden in tabel A.1 komen goed overeen met die uit eerdere jaren.

2.3.3 Validatie watertemperatuur

Voor de validatie van de temperatuur is als eerste gekeken naar een aantal stations waarvoor metingen aan het oppervlakte beschikbaar zijn. Het betreft de stations:

- Euro Platform
- Lichteiland Goeree
- Vlissingen
- Hoek van Holland

Omdat de recente metingen nog niet beschikbaar waren in Waterbase, zijn deze opgevraagd bij de datahulpdesk water. De metingen zijn gegeven om 12 uur 's middags. Voor Vlissingen, Lichteiland Goeree en Hoek van Holland ontbreken er enkele meetwaarden (tussen de 1 en 5), voor Europlatform ontbreken in totaal 53 waarden (waaronder twee lange aaneengesloten perioden, te weten 18 januari t/m 10 februari en 15 februari t/m 6 maart). Bij de validatie is de vergelijking alleen uitgevoerd voor de beschikbare gegevens. Een sterk afwijkend modelresultaat zal sterker doorwerken op een gemiddelde afwijking of standaarddeviatie als er veel metingen ontbreken, dan als een meetserie compleet is.

Voor station K13a Platform, dat wordt gebruikt om het Kustzuid model van temperatuurrandvoorwaarden te voorzien, zijn voor in totaal 64 dagen geen metingen beschikbaar, waaronder de periode van 11 juni tot en met 5 augustus. In de modelberekeningen worden de ontbrekende waarden middels lineaire interpolatie opgevuld. De fout op de open rand die dan gemaakt wordt, wordt voor een deel gecompenseerd doordat in het model opwarming door zonne-instraling wordt meegenomen.

De resultaten van de vergelijkingen zijn in de bijlagen gepresenteerd in:

- Tabel A.2: Vergelijking tussen berekende en gemeten watertemperatuur bij oppervlak, Europlatform, Lichteiland Goeree, Vlissingen en Hoek van Holland

en:

- Figuur A.6: Ligging Waterbase-stations oppervlaktetemperatuur
- Figuren A.7 – A.10: Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlaktetemperatuur 1e, 2e, 3e en 4e kwartaal, Waterbasestations Europlatform en Lichteiland Goeree en de randvoorwaarde K13a Platform.
- Figuren A.11 – A.14: Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlaktetemperatuur 1e, 2e, 3e en 4e kwartaal, Waterbase-stations Vlissingen en Hoek van Holland

Daarnaast zijn gecontroleerde watertemperatuurmetingen van het meetnet Zege gedownload. Hierin zijn in principe de onjuiste meetwaarden verwijderd, die veroorzaakt worden door bijvoorbeeld aangroei op de sensoren. In de data van 2015 zijn er geen perioden waarin dit duidelijk zichtbaar optreedt. Metingen zijn beschikbaar nabij de oppervlakte en bij de bodem. De volgende stations zijn in de analyse meegenomen:

- Vlakte van de Raan (NAP -3,25 m en -9,35 m)
- Oosterschelde 4 (NAP -2,80 m en -7,56 m)
- Brouwershavensche Gat 2 (NAP -4,00 m en -10,00 m)
- Brouwershavensche Gat 8 (NAP -4,00 m en -5,50 m)
- Haringvliet 10 (NAP -2,50 m en -9,00 m)

Net als in de andere jaren ontbreken er veel meetwaarden. Dit varieert van 10,9% (oppervlaktetemperatuur Brouwershavensche Gat 2) tot 82,1% (oppervlaktetemperatuur Oosterschelde 4). Ook voor de oppervlaktetemperatuur in Brouwershavensche Gat 8 en de bodemtemperatuur Oosterschelde 4 ontbreken met respectievelijk 57,9% en 72,5% meer dan de helft van de metingen.

Voor deze vergelijkingen zijn de volgende tabellen en figuren in de bijlagen opgenomen:

- Tabel A.3: Vergelijking tussen berekende en gemeten watertemperatuur bij oppervlak en bodem, Vlakte van de Raan en Oosterschelde 4
- Tabel A.4: Vergelijking tussen berekende en gemeten watertemperatuur bij oppervlak en bodem, Brouwershavensche Gat 2 en Brouwershavensche Gat 8
- Tabel A.5: Vergelijking tussen berekende en gemeten watertemperatuur bij oppervlak en bodem, Haringvliet 10

en:

- Figuur A.15: Ligging Zege-stations temperatuur en saliniteit
- Figuren A.16 – A.19: Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemtemperatuur 1e, 2e, 3e en 4e kwartaal, Zege-station Oosterschelde 4
- Figuren A.20 – A.23: Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemtemperatuur 1e, 2e, 3e en 4e kwartaal, Zege-station Vlakte van de Raan
- Figuren A.24 – A.27: Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemtemperatuur 1e, 2e, 3e en 4e kwartaal, Zege-station Brouwershavensche Gat 2
- Figuren A.28 – A.31: Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemtemperatuur 1e, 2e, 3e en 4e kwartaal, Zege-station Brouwershavensche Gat 8
- Figuren A.32 – A.35: Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemtemperatuur 1e, 2e, 3e en 4e kwartaal, Zege-station Haringvliet 10

In de zomermaanden, wanneer de Voordelta opwarmt, berekent het model de daggemiddelde temperatuur globaal tussen een halve graad en één graad te laag. Dit beeld is zichtbaar voor alle stations en is consistent met de eerdere jaren. In (Arcadis, 2015) is dit toegeschreven aan het temperatuurverschil tussen K13A Platform (station dat als randvoorwaarde voor het model wordt gebruikt) en Europlatform (wat dichterbij de modelrand ligt).

2.3.4 Validatie saliniteit

Voor de saliniteit zijn dezelfde stations vanuit het Zege-meetnet genomen als die zijn gebruikt voor de watertemperatuur. De hoeveelheid ontbrekende data komt overeen met die voor de temperatuur. Ook voor de saliniteit lijken er geen sterk afwijkende waarden meer aanwezig in de meetreeksen.

De tabellen en figuren van de vergelijkingen met gemeten saliniteit zijn:

- Tabel A.6: Vergelijking tussen berekende en gemeten saliniteit bij oppervlak en bodem, Vlake van de Raan en Oosterschelde 4
- Tabel A.7: Vergelijking tussen berekende en gemeten saliniteit bij oppervlak en bodem, Brouwershavensche Gat 2 en Brouwershavensche Gat 8
- Tabel A.8: Vergelijking tussen berekende en gemeten saliniteit bij oppervlak en bodem, Haringvliet 10

en:

- Figuren A.36 – A.39: Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 1e, 2e, 3e en 4e kwartaal, Zege-station Oosterschelde 4
- Figuren A.40 – A.43: Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 1e, 2e, 3e en 4e kwartaal, Zege-station Vlake van de Raan
- Figuren A.44 – A.47: Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 1e, 2e, 3e en 4e kwartaal, Zege-station Brouwershavensche Gat 2
- Figuren A.48 – A.51: Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 1e, 2e, 3e en 4e kwartaal, Zege-station Brouwershavensche Gat 8
- Figuren A.52 – A.55: Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 1e, 2e, 3e en 4e kwartaal, Zege-station Haringvliet 10

De gevonden gemiddelde afwijkingen en standaarddeviaties komen voor 2015 overeen met die voor de eerdere jaren van de monitoring.

2.3.5 Dag-analyses waterstand, temperatuur en saliniteit

Ten slotte zijn per jaarsimulatie zogenaamde “dag-analyse”-figuren opgenomen waarin gemeten en berekende 'daggemiddelden' en 'dagelijkse variaties' van de verschillende grootheden (waterstand, temperatuur en saliniteit) worden vergeleken. Deze zijn vooral nuttig, omdat die in één oogopslag laten zien of er systematische afwijkingen zijn in het gemiddelde niveau en of de dagelijkse variatie goed wordt gemodelleerd. Tevens zijn perioden waarin de saliniteit of temperatuur door bijvoorbeeld aangroei op de sensoren sterk verloopt snel zichtbaar.

De figuren zijn:

- Figuren A.56: Dag-analyse van de waterstand, vergelijking van gemiddelde en variatie per dag tussen meting en berekening in station Vlissingen
- Figuren A.57 – A.61: Dag-analyse van de temperatuur, vergelijking van gemiddelde en variatie per dag tussen meting en berekening in stations Vlake van de Raan, Oosterschelde 4, Brouwershavensche Gat 2, Brouwershavensche Gat 8 en Haringvliet 10
- Figuren A.62 – A.66: Dag-analyse van de saliniteit, vergelijking van gemiddelde en variatie per dag tussen meting en berekening in stations Vlake van de Raan, Oosterschelde 4, Brouwershavensche Gat 2, Brouwershavensche Gat 8 en Haringvliet 10

Deze serie figuren bevestigen het beeld dat het model goed in staat is om dagelijkse variaties en daggemiddelde waarden van waterstand, temperatuur en saliniteit nauwkeurig te berekenen. Het ontbreken van temperatuurmetingen bij K13A Platform (8 weken in de zomer) en het in plaats daarvan lineair interpoleren resulteert niet in een periode waarin de onnauwkeurigheid sterk afwijkt. Of dit wordt veroorzaakt doordat de temperatuur niet sterk heeft afgeweken van de lineaire benadering of het temperatuurmodel onder invloed van zonne-instraling dit compenseert, is niet in detail onderzocht. In ieder geval wordt de dagelijkse variatie gestuurd door de zonne-instraling, omdat dit niet in de randvoorwaarde wordt opgelegd.

2.4 Conclusies

De nauwkeurigheid van het model is voor zowel waterstanden, watertemperatuur als saliniteit consistent met de resultaten voor eerdere jaren. Aangezien de aansturing van het model met afvoeren, ruimtelijk variërende

wind- en luchtdrukvelen en watertemperatuur ook niet afwijkt van wat er voor de eerdere jaren is gedaan, is dat ook niet te verwachten.

3 ALTERNATIEVE AANPAK BODEMSCHUIFSPANNING T.G.V. GOLVEN

3.1 Beschrijving aanpak

Zoals in de inleiding is beschreven, wordt bij de methode die in de eerste fase van PMR-NCV is gebruikt om de bodemschuifspanningen ten gevolge van golven te bepalen, aangenomen dat bij afluiddige golven in Europlatform de bodemschuifspanningen relatief klein zijn. Voor het bepalen van de maandgemiddelde waarde en percentielen is de bodemschuifspanning in die perioden dan ook nul gesteld.

In deze oorspronkelijke aanpak zijn de bodemschuifspanningen ten gevolge van golven bepaald door voor een beperkt aantal golfcondities in Europlatform de golfvoortplanting in de Voordelta te berekenen en voor alle rekenpunten in de Voordelta te bepalen hoe de condities lokaal zich verhouden tot die in Europlatform, de zogenaamde transformatiematrices. Dit is gedaan met het Kustzuid model dat ook voor de waterbeweging wordt toegepast. In totaal zijn 144 condities met het golfvoortplantingsmodel SWAN doorgerekend:

- 4 golfhoogtes (1.5, 2.5, 3.5, 5.5 m)
- 6 golfrichtingen (255, 285, 315, 345, 15, 45°N)
- 2 golfsteilheden (0.02, 0.04, als maat voor de golfperiode)
- 3 waterstanden (-1.0, 0.0, 2.0 m)

Voor alle uitvoerpunten van het stromingsmodel zijn transformatiematrices bepaald voor de grootheden:

- significante golfhoogte,
- piek periode,
- golfrichting, en
- de rms-waarde van de maxima van de orbitaalsnelheden bij de bodem.

Bij deze aanpak worden een aantal aannames gedaan:

- de waterstand wordt ruimtelijk uniform verondersteld, zonder het lokale effect van getij en windopzet mee te nemen
- bij afluiddige golven (golfrichting in Europlatform groter dan 45°N en kleiner dan 255°N, buiten de richtingen waarvoor SWAN-berekeningen zijn uitgevoerd) wordt de bodemschuifspanning nul verondersteld,
- morfologische ontwikkelingen zijn in zeer beperkte mate meegenomen (de bodemligging voor de periode juni 2004 tot en met mei 2010 is gelijk gehouden en voor de periode juni 2010 tot en met december 2014 zijn de bodemverandering tussen 2004 en 2010 en de aanleg van Maasvlakte 2 meegenomen).

Zoals in figuur 2.9 (paragraaf 2.2.4) is te zien, komen in Europlatform echter regelmatig relatief hoge golven voor uit richtingen tussen 45 en 255°N, en dan met name in de richtingssector 225-255°N. Toevallig was 2015 ook nog een jaar waarin dit meer dan gemiddeld voorkwam. Dit was aanleiding om te kijken of met een alternatieve aanpak de resultaten betrouwbaarder kunnen worden.

De alternatieve aanpak voorziet erin dat elk uur een golfberekening wordt uitgevoerd, waarbij in het SWAN model de waterdiepten en wind uit het SIMONA model worden meegenomen en de gemeten golven bij Europlatform als randvoorwaarde worden opgelegd. Ook zijn de stroomsnelheden aan het oppervlak in de golfberekening meegenomen om het effect van de stroming op de golfvoortplanting niet te verwaarlozen. De modelinstellingen van SWAN zijn hetzelfde gehouden als in de eerste fase, om de resultaten zo consistent mogelijk te houden, dus hetzelfde rekenrooster, hetzelfde convergentiecriteria en ook de overige parameters zijn gelijk.

Aangezien er geen directe SIMONA-SWAN koppeling is, is dit proces geautomatiseerd om de kans op fouten zo klein mogelijk te maken. De volgende stappen worden uitgevoerd:

- elk uur worden bodemligging en waterstands-, snelheids- en windvelden vanuit de Kustzuid berekening uitgelezen, en omgezet naar SWAN invoer
- uit de tijdseries van golfcondities bij Europlatform worden de significante golfhoogte, gemiddelde golfrichting en piekperiode op dat tijdstip uitgelezen,

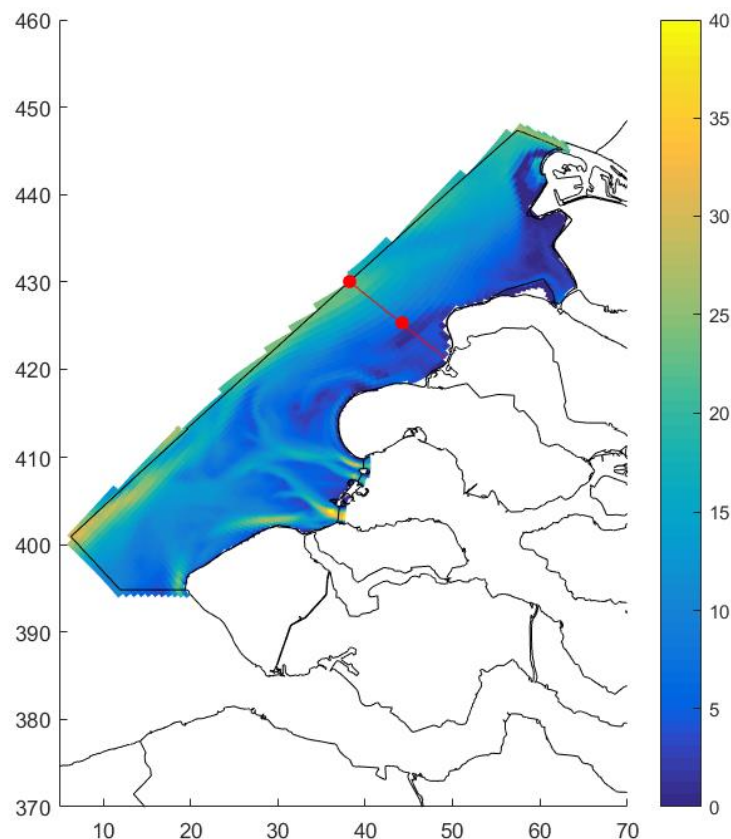
- er wordt een simulatie met het SWAN model van de Voordelta uitgevoerd om de golfcondities in de Voordelta te berekenen, en
- de bodemschuifspanningen worden uitgerekend.

Op deze manier worden dus zowel de ruimtelijke variaties in de waterstand niet genegeerd en wordt automatisch de bodemligging uit het stromingsmodel overgenomen. Ook bij aflandige condities wordt er een berekening gemaakt, zodat ook voor die condities een bodemschuifspanning wordt uitgerekend. Deze aanpak is in principe meer overeenkomstig de aanpak zoals die voor de waterbeweging is toegepast.

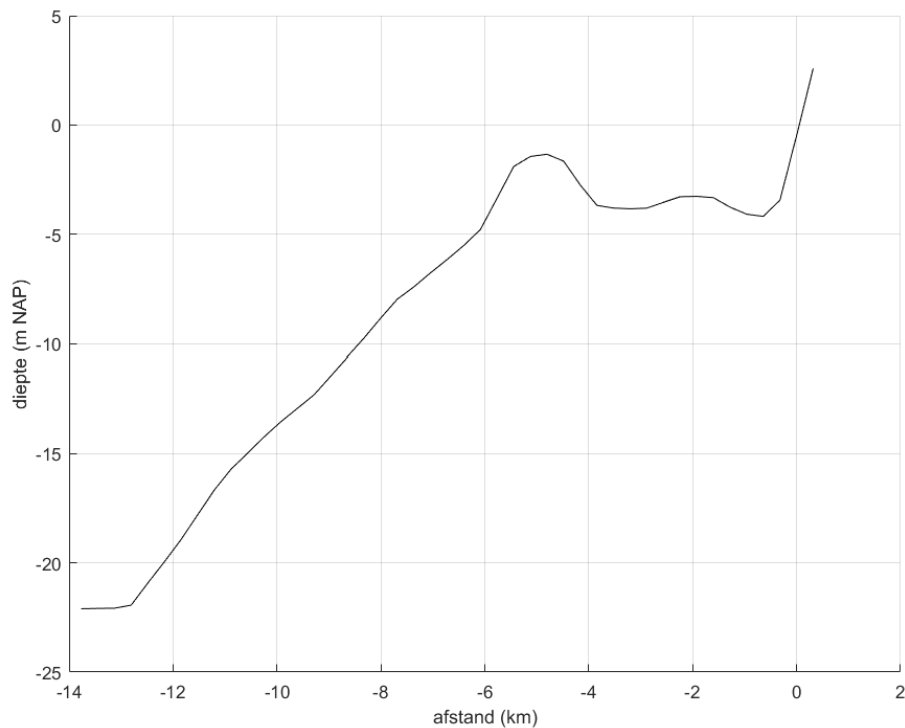
Vervolgens zijn weer afgeleide grootheden als maandgemiddelde en 98-percentielswaarden bepaald. In de volgende paragraaf worden de resultaten van beide methoden met elkaar vergeleken.

3.2 Vergelijking modelresultaten

De vergelijking tussen de oorspronkelijke en deze alternatieve aanpak is als voorbeeld uitgevoerd langs een raai die loopt van de rand van het Natura2000 gebied naar de Brouwersdam, over de Bollen van de Ooster, zoals weergegeven in figuur 3.1. Verder zijn er twee uitvoerpunten geselecteerd, de eerste op de rand van het Natura2000 gebied en de andere ten noordwesten van de Bollen van de Ooster, waarvoor ook tijdseries worden vergeleken. In figuur 3.2 is de bodemligging langs de raai gegeven als functie van de afstand (0 op de Brouwersdam, km -13,75 op de rand van het Natura2000 gebied).

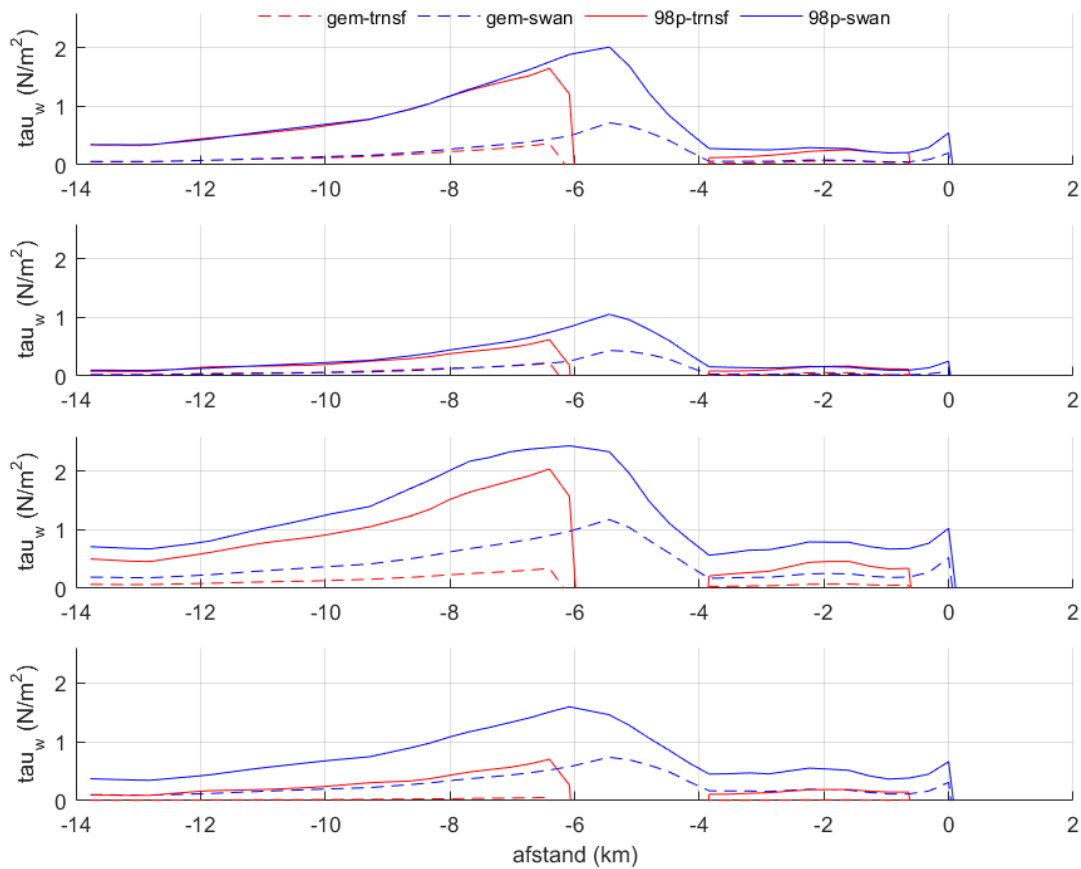


Figuur 3.1 Ligging van de raai en de twee uitvoerpunten.



Figuur 3.2 Dieptes langs de raai (km 0 op de Brouwersdam).

De Bollen van de Ooster zijn duidelijk herkenbaar tussen kilometers -6 en -4. Figuur 3.3 laat als voorbeeld de maandgemiddelde en de 98-percentiel waarden zien van de bodemschuifspanning in de laatste 4 maanden van 2015. Bij het naderen van de kust neemt de bodemschuifspanning geleidelijk toe. Ter plaatse van de Bollen van de Ooster kon met de oorspronkelijke aanpak geen transformatiematrix worden bepaald, zodat er ook geen bodemschuifspanningen werden bepaald.

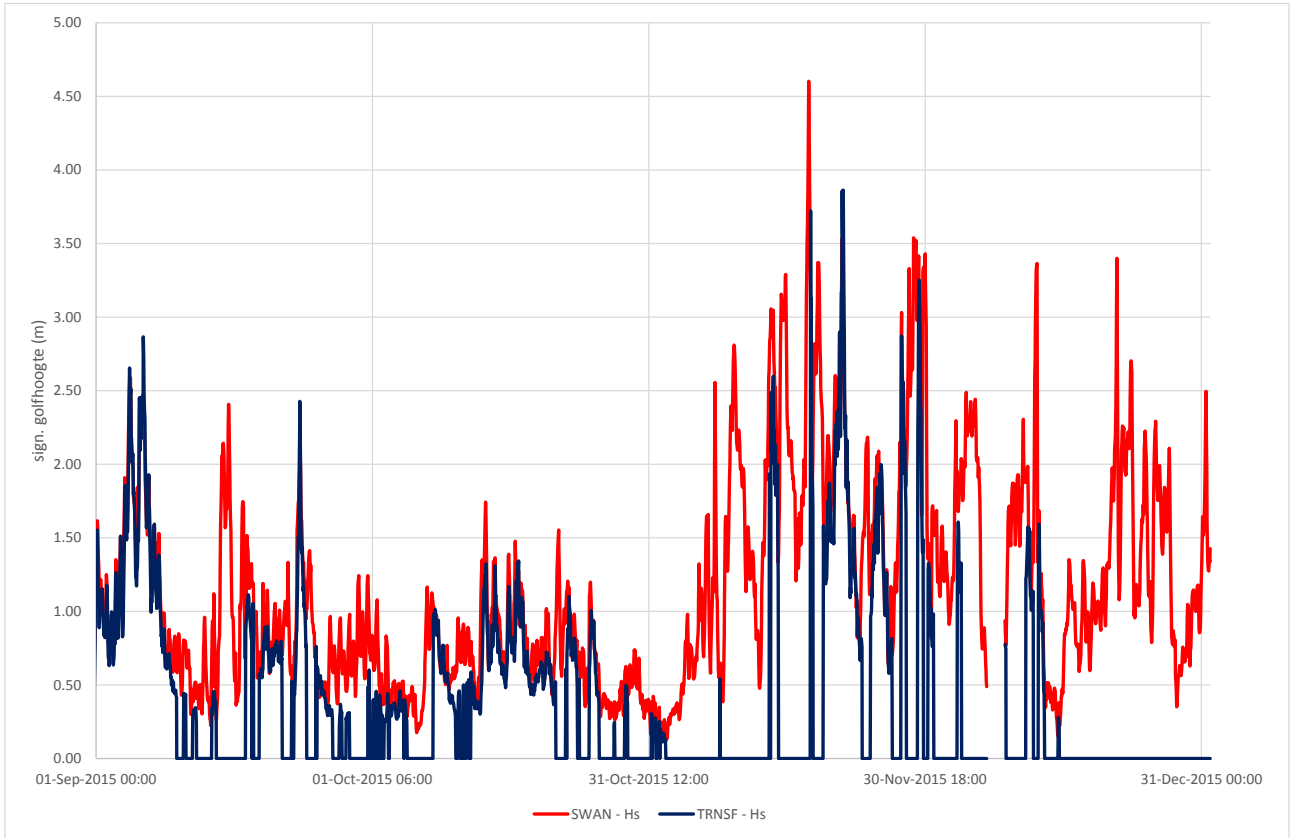


Figuur 3.3 Maandgemiddelde (gem) en 98-percentiel (98p) bodemschuifspanning voor de maanden september, oktober, november en december 2015 (van boven naar beneden), berekend met transformatiematrices (trnsf) en de alternatieve aanpak (swan).

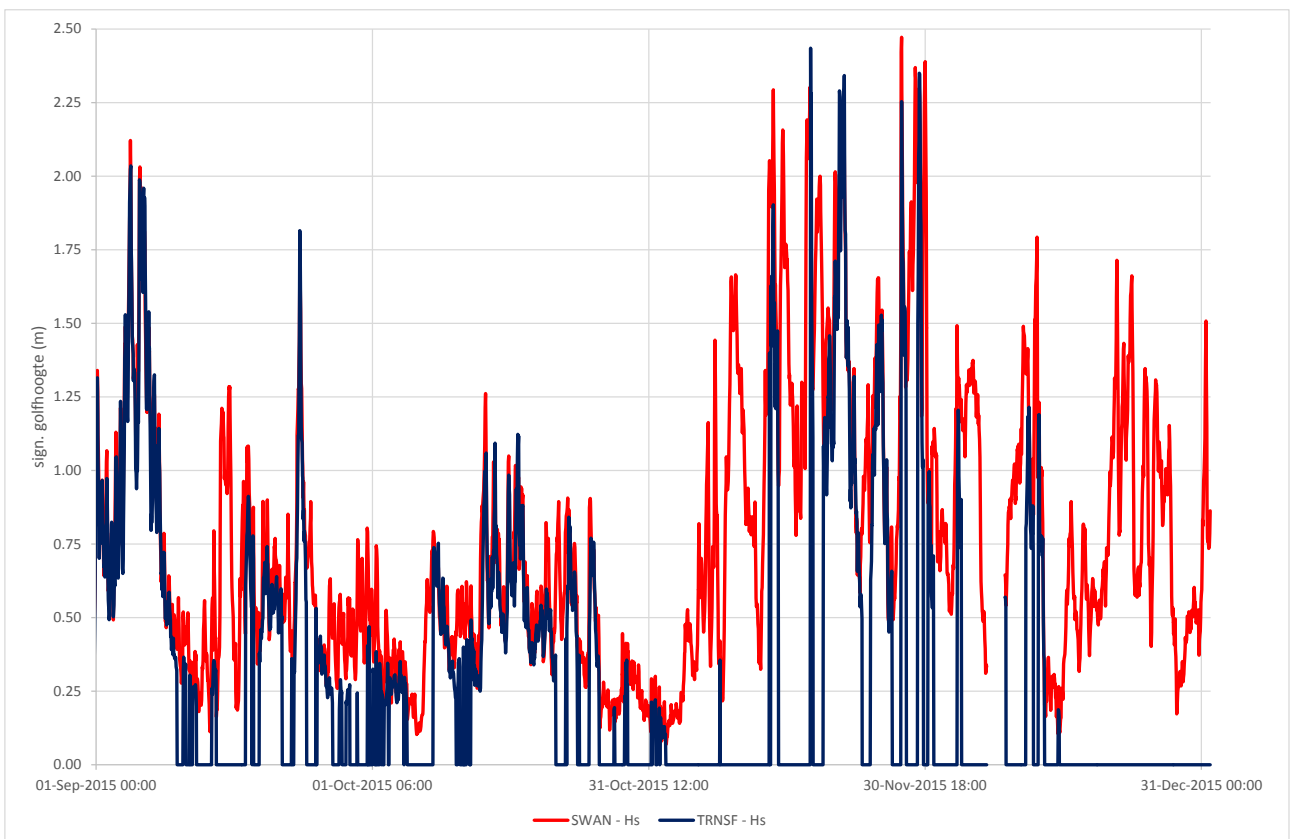
De resultaten laten zien dat de maandgemiddelde en 98-percentielwaarden berekend met de nieuwe aanpak ofwel beduidend hoger uitkomen, of heel goed overeenkomen. Om de verschillen te verklaren, zijn de volgende twee aspecten nader onderzocht:

- Hoe verhouden de resultaten zich momentaan?
- Welk percentage van de tijd zijn de golven in Europlatform in de verschillende maanden aflagdig?

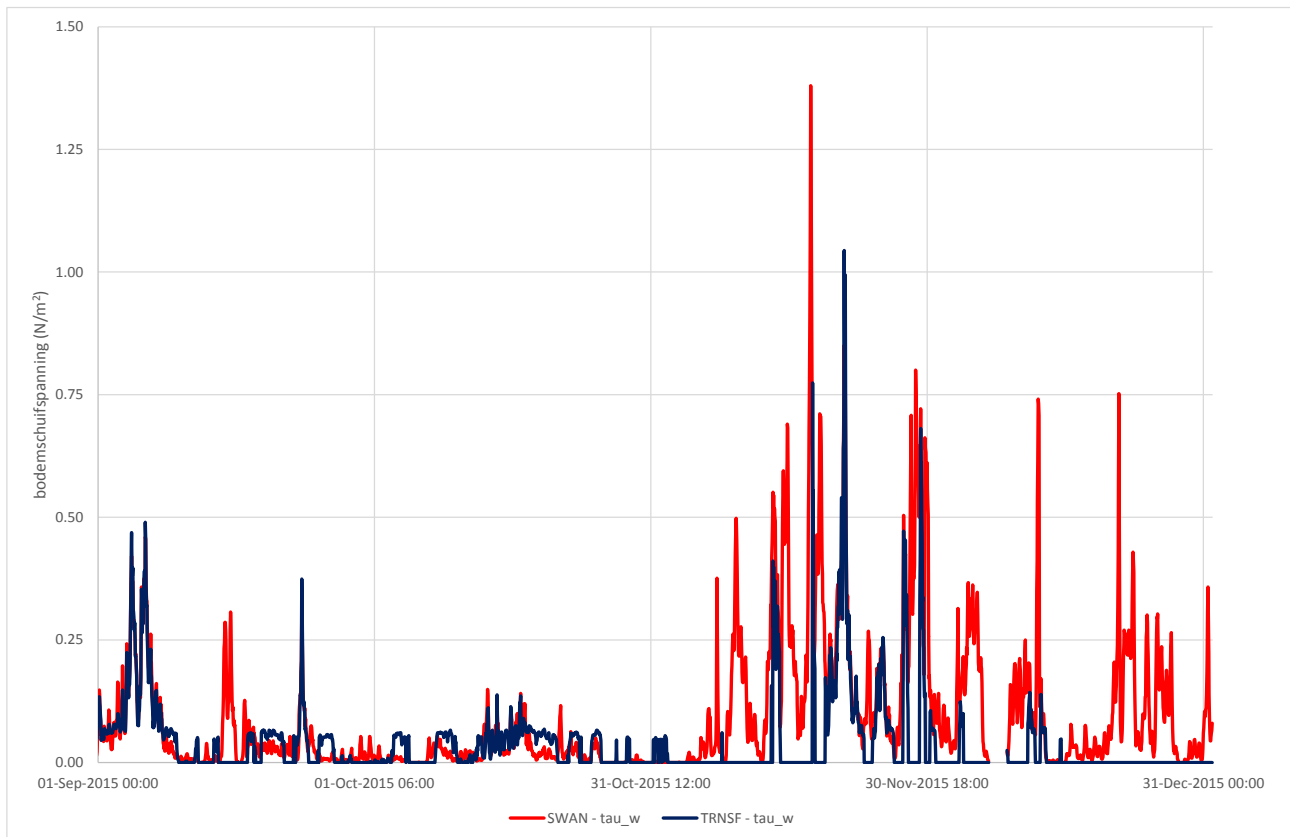
Een vergelijking van de tijdseries van golfhoogten in de twee uitvoerpunten uit figuur 3.1 is in figuren 3.4 en 3.5 gemaakt, terwijl de tijdseries van de bodemschuifspanningen zijn weergegeven in figuren 3.6 en 3.7.



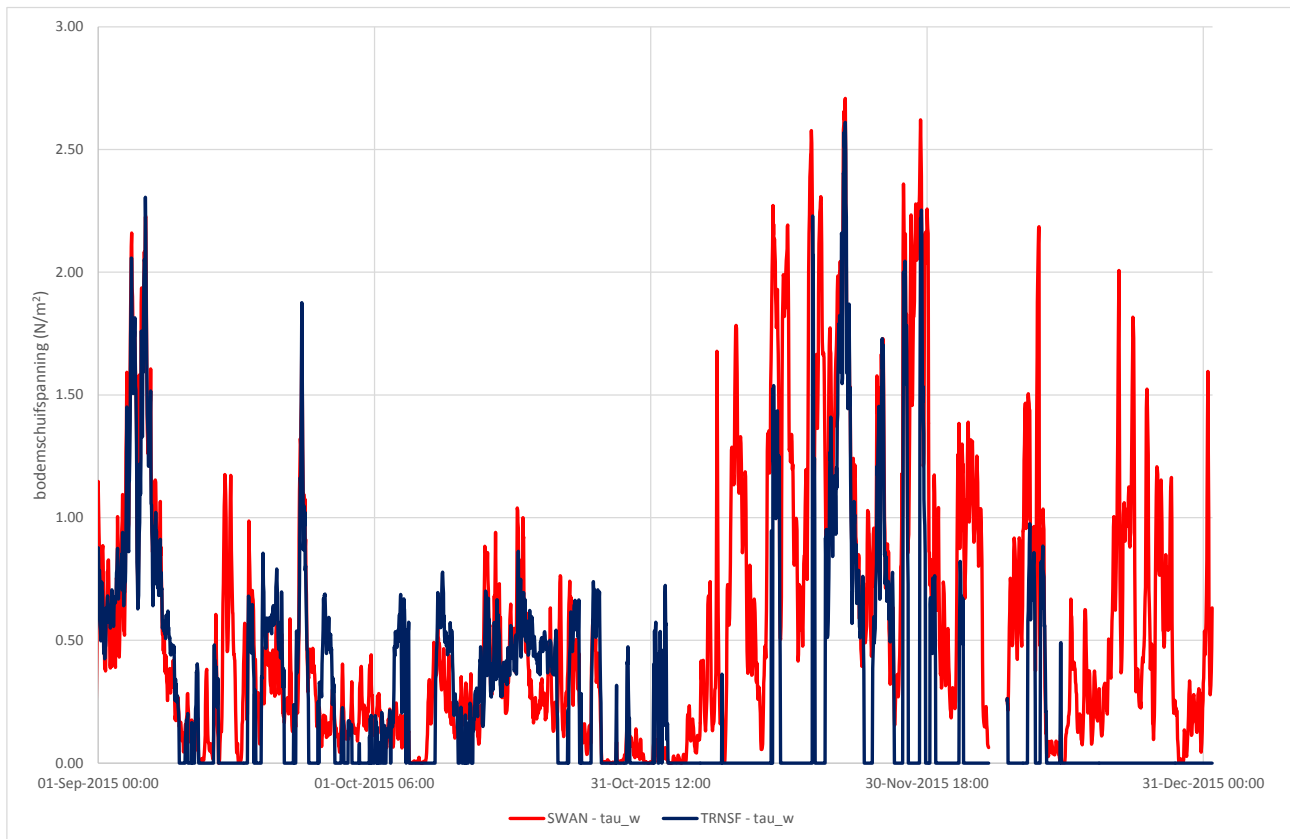
Figuur 3.4 *Vergelijking van de golfhoogtes, berekend met transformatiematrices (trnsf) en de alternatieve aanpak (swan), over de laatste 4 maanden van 2015, in het zeewaartse uitvoerpunt.*



Figuur 3.5 *Vergelijking van de golfhoogtes, berekend met transformatiematrices (trnsf) en de alternatieve aanpak (swan), over de laatste 4 maanden van 2015, in het uitvoerpunt ten noordwesten van de Bollen van de Ooster.*

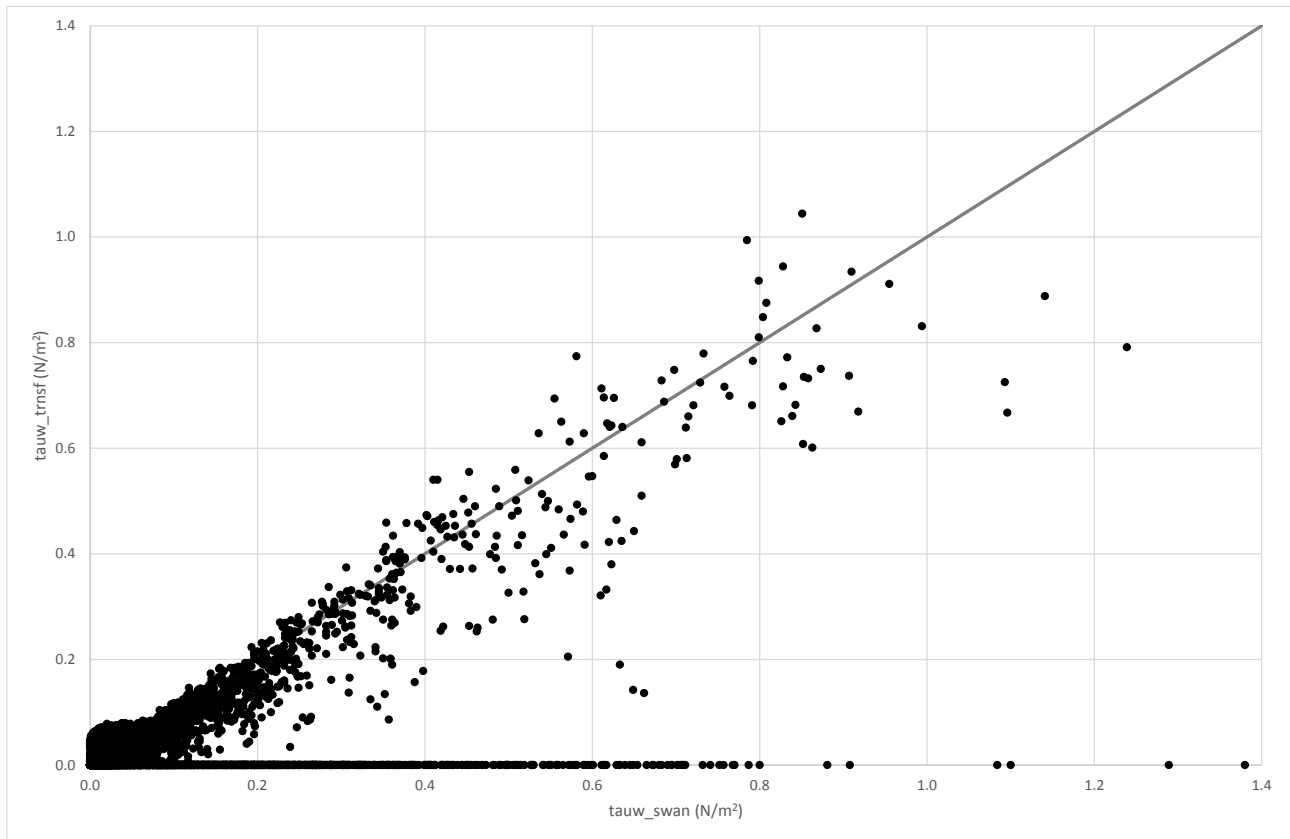


Figuur 3.6 Vergelijking van de bodemschuifspanningen, berekend met transformatiematrices (trnsf) en de alternatieve aanpak (swan), over de laatste 4 maanden van 2015, in het zeewaartse uitvoerpunt.

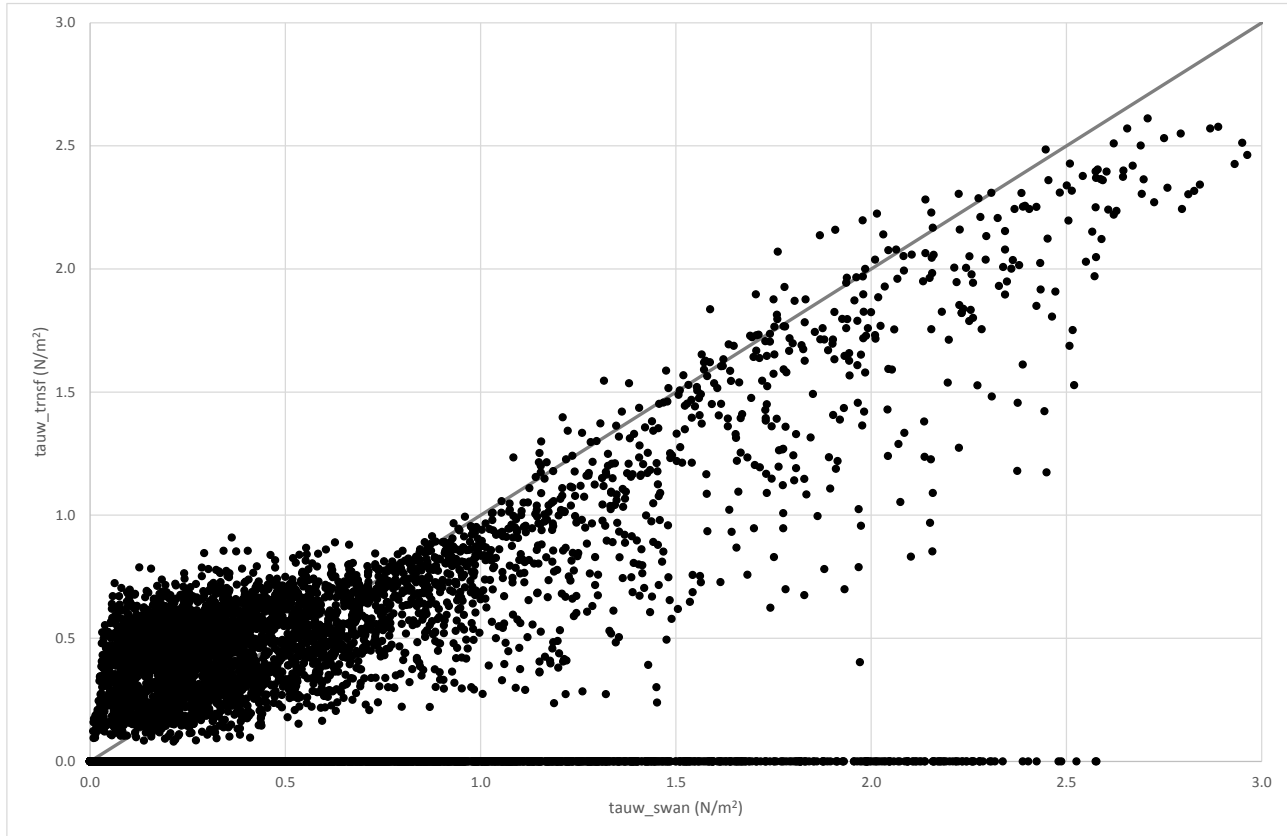


Figuur 3.7 *Vergelijking van de bodemschuifspanningen, berekend met transformatiematrices (trnsf) en de alternatieve aanpak (swan), over de laatste 4 maanden van 2015, in het uitvoerpunt ten noordwesten van de Bollen van de Ooster.*

Perioden met afluisterende golven (resultaat volgens transformatiematrix gelijk aan nul) en perioden waar metingen bij Europlatform ontbreken (gaten in de resultaten) wisselen af met perioden waarin de resultaten met de verschillende aanpakken redelijk tot goed overeenkomen. Figuren 3.8 en 3.9 laten de correlatie zien van de bodemschuifspanningen tussen de beide methodes, respectievelijk in het zeevaartse uitvoerpunt en dat nabij de Bollen van de Ooster. Dit is gedaan voor het gehele jaar 2015. In perioden dat de bodemschuifspanningen relatief hoog zijn, liggen de resultaten met de alternatieve aanpak vaak hoger dan bij de oorspronkelijke aanpak, maar niet consequent. Er is een relatief grote spreiding zichtbaar in de resultaten. Als de bodemschuifspanningen relatief klein zijn, liggen de resultaten van de nieuwe aanpak in meerderheid lager, maar ook hier is de spreiding relatief groot.



Figuur 3.8 Vergelijking van de bodemschuifspanning in het zeewaartse uitvoerpunt voor het hele jaar 2015 berekend met transformatiematrices (trnsf) en de alternatieve aanpak (swan). Op de grijze lijn zouden beide resultaten overeenkomen.



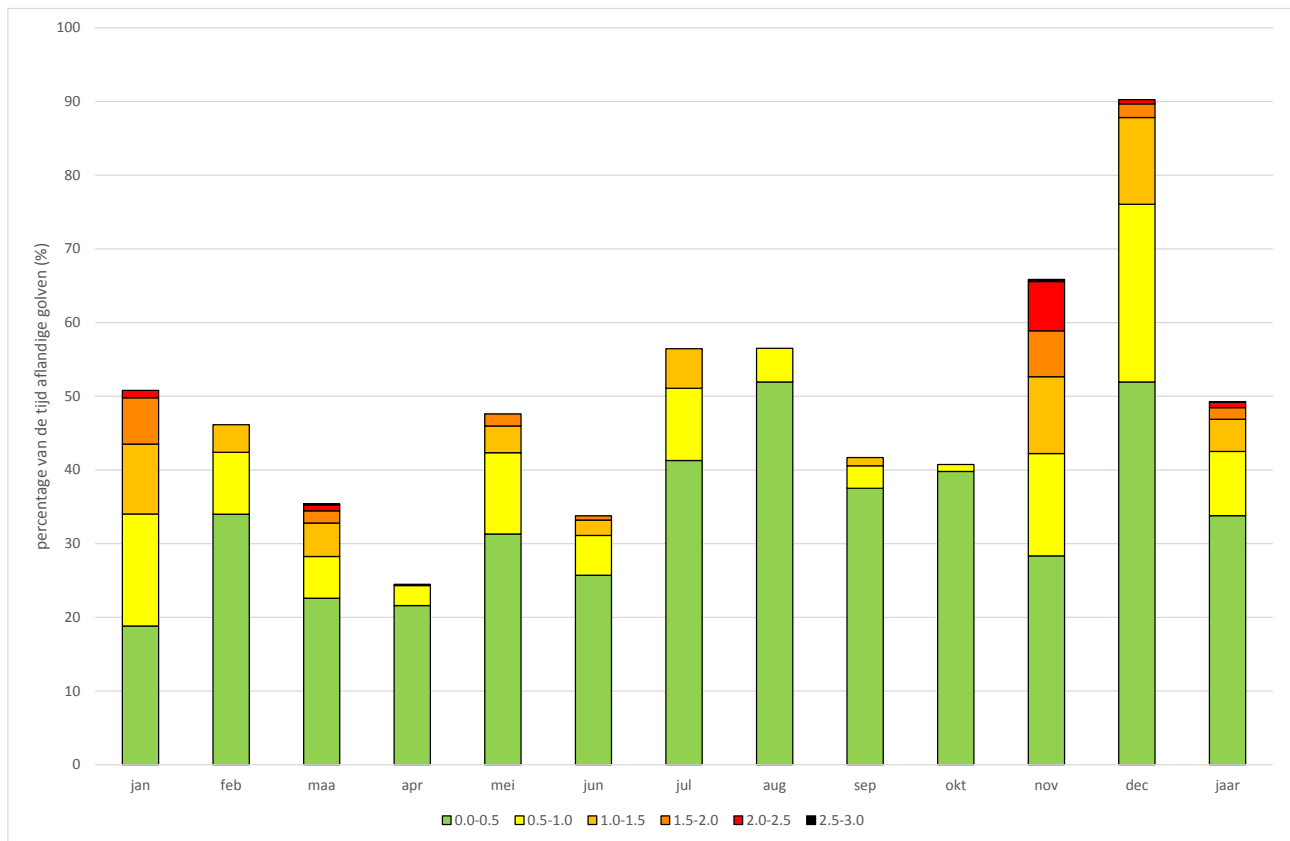
Figuur 3.9 Vergelijking van de bodemschuifspanning in het uitvoerpunt ten noordwesten van de Bollen van de Ooster voor het hele jaar 2015 berekend met transformatiematrices (*trnsf*) en de alternatieve aanpak (*swan*). Op de grijze lijn zouden beide resultaten overeenkomen.

Wat de figuren 3.4 tot en met 3.7 ook duidelijk laten zien, is dat de golfhoogtes en bodemschuifspanningen volgens de nieuwe aanpak zeker niet verwaarloosbaar zijn als de golven bij Europlatform aflagdig zijn. In figuur 3.10 is voor alle maanden en voor het hele jaar aangegeven hoeveel procent van de tijd de bodemschuifspanningen volgens de alternatieve aanpak binnen de gegeven klassen vallen bij aflagdige condities. De totale kolomhoogte laat dus zien hoeveel procent van de tijd de golven bij Europlatform in die maand of het hele jaar aflagdig zijn.

Het percentage van de tijd dat de golven aflagdig zijn, varieert van 25% in april tot 90% in december. Over het gehele jaar is dit ongeveer 50% van de tijd. Figuur 3.10 laat zien dat er maanden zijn dat de bodemschuifspanningen bij aflagdige condities de meeste tijd inderdaad relatief laag blijven (april, augustus, september en oktober). Maar er zijn ook maanden dat de bodemschuifspanningen dan hoger dan 2 N/m^2 uitkomen (bijvoorbeeld tot 7% van de tijd in november).

Bij het bepalen van een maandgemiddelde of een 98-percentielwaarde zal het, als de bodemschuifspanningen relatief klein zijn, niet veel uitmaken wanneer de bodemschuifspanningen bij aflagdige condities nul worden verondersteld te zijn. In figuur 3.3 is te zien dat dit voor september en oktober inderdaad het geval is. Als de bodemschuifspanningen niet verwaarloosbaar zijn, dan zullen de resultaten van beide aanpakken sterker verschillen. In november en december is dit zoals in figuur 3.3 te zien is inderdaad het geval.

De resultaten voor de andere maanden bevestigen dit beeld.



Figuur 3.10 Frequentie van voorkomen van aflandige golven in Europlatform per maand en over heel 2015 en daarin frequentie van voorkomen van de bodemschuifspanning volgens de nieuwe aanpak in een aantal klassen (in N/m^2) in het uitvoerpunt ten noordwesten van de Bollen van de Ooster.

3.3 Conclusies

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de oorspronkelijke aanpak om bodemschuifspanningen ten gevolge van golven vergeleken met die van een alternatieve aanpak. De nieuwe aanpak is meer in overeenstemming met de aanpak voor de waterbeweging, omdat de variaties van de golfcondities en de bodemschuifspanningen in hindcast in de tijd worden uitgerekend, waarbij ook netjes de variaties in waterstand over de Voordelta worden meegenomen.

Een vergelijking van de resultaten van de oorspronkelijke en de alternatieve aanpak toont aan dat:

- voor relatief lage bodemschuifspanningen de gewijzigde aanpak ook resulteert in relatief lage waarden en de alternatieve aanpak niet tot duidelijk hogere of lagere waarden leidt;
- de alternatieve aanpak voor relatief hoge bodemschuifspanningen gemiddeld tot 20% hogere waarden leidt; en
- de golven uit de in de oorspronkelijke aanpak verwaarloosbaar veronderstelde richtingssector 45-255 °N in Europlatform wel degelijk tot bodemschuifspanningen kunnen leiden die niet verwaarloosbaar zijn. Dit is hoofdzakelijk in de wintermaanden het geval.

Op basis van vooral het derde punt kan worden aangenomen dat de alternatieve aanpak beter overeenkomt met de werkelijkheid en dus tot accuratere resultaten leidt.

4 ANALYSES MODELRESULTATEN 2015

4.1 Inleiding

De abiotische parameters die in deze studie worden beschouwd, zijn:

- waterstanden;
- stroomsnelheden;
- golven;
- bodemschuifspanningen ten gevolge van stroming en golven;
- watertemperatuur, en
- saliniteit.

In de Voordelta laten elk van deze parameters een duidelijke ruimtelijke en temporele variatie zien. Voor de waterstand hangen die samen met het getij en het voorkomen van stormen. De stroomsnelheden en bodemschuifspanningen ten gevolge van stroming worden bepaald door het getij, stormen en variaties in waterdiepte. De bodemschuifspanningen ten gevolge van golven hangen af van de wind op zee en de bodemligging. Voor de watertemperatuur spelen de seizoensvariaties en het dag/nacht-ritme van de luchttemperatuur en de zonne-instraling een grote rol. De saliniteit wordt grotendeels bepaald door de debieten van het Haringvliet en de Maasmond, waarbij vooral het Haringvliet een grote variatie vertoont in de tijd, en het getij, omdat beide bovengenoemde debieten ook een tijdsafhankelijkheid hebben die samenhangt met hoog en laag water.

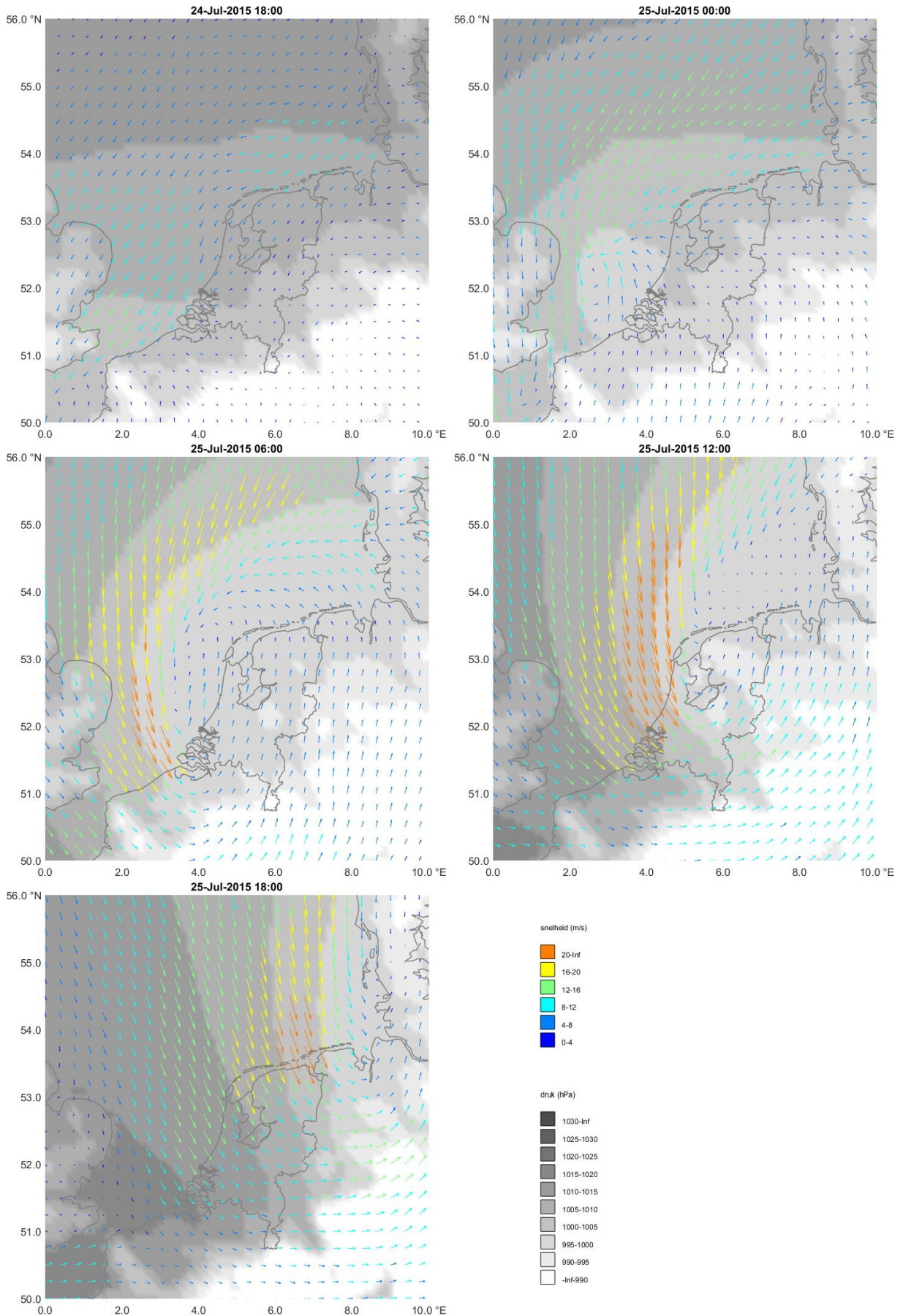
In dit hoofdstuk zal in meer detail worden ingegaan op twee verschijnselen die een grote invloed hebben op de dynamiek van de Voordelta;

- een storm, in dit geval specifiek de uitzonderlijke zomerstorm in juli, en
- de variaties in spuidebieten van het Haringvliet en hoe dat doorwerkt op de verspreiding van zoet water in de Voordelta.

4.2 Juli storm

Zoals in paragraaf 2.2.3 is genoemd, viel juli 2015 op doordat er een storm over Nederland trok. Deze viel samen met doortij en voor de Voordelta met laag water, waardoor deze niet tot extreme waterstanden leidde. De windsnelheden die optraden, waren ten opzichte van de rest van het jaar hoog maar niet uitzonderlijk (tijdens winterstormen komen regelmatig hogere windsnelheden voor), maar zijn wel uitzonderlijk voor de zomer. Sinds het KNMI in 1901 is begonnen met meten, was dit nog niet voorgekomen.

Figuren 4.1 en 4.2 laten het verloop van de storm zien. In de loop van de avond op 24 juli beginnen de windsnelheden in Vlissingen en Hoek van Holland toe te nemen als een lagedrukgebied van Frankrijk richting de Nederlandse kust beweegt. Rond middernacht bevindt dit lagedrukgebied zich ter hoogte van Zeeland, waarna het verder trekt in noordoostelijke richting. Tijdens het passeren van dit lagedrukgebied draait de wind van oostelijk, naar zuidelijk, westelijk en tenslotte noordwestelijk, en neemt de windsnelheid snel in kracht toe. In Vlissingen wordt op het hoogtepunt een windsnelheid van 15 m/s gemeten, rond 9 uur 's ochtends, in Hoek van Holland 22 m/s, een uur later. Verder naar het noorden, rond IJmuiden, worden zelfs windsnelheden van 25 m/s gemeten. Om 3 uur 's middags heeft de storm de Waddenzee bereikt, waarna die verder trekt naar Duitsland en Denemarken. De rest van de dag blijft de wind uit noordwestelijke richting waaien, maar nemen de windsnelheden weer af.

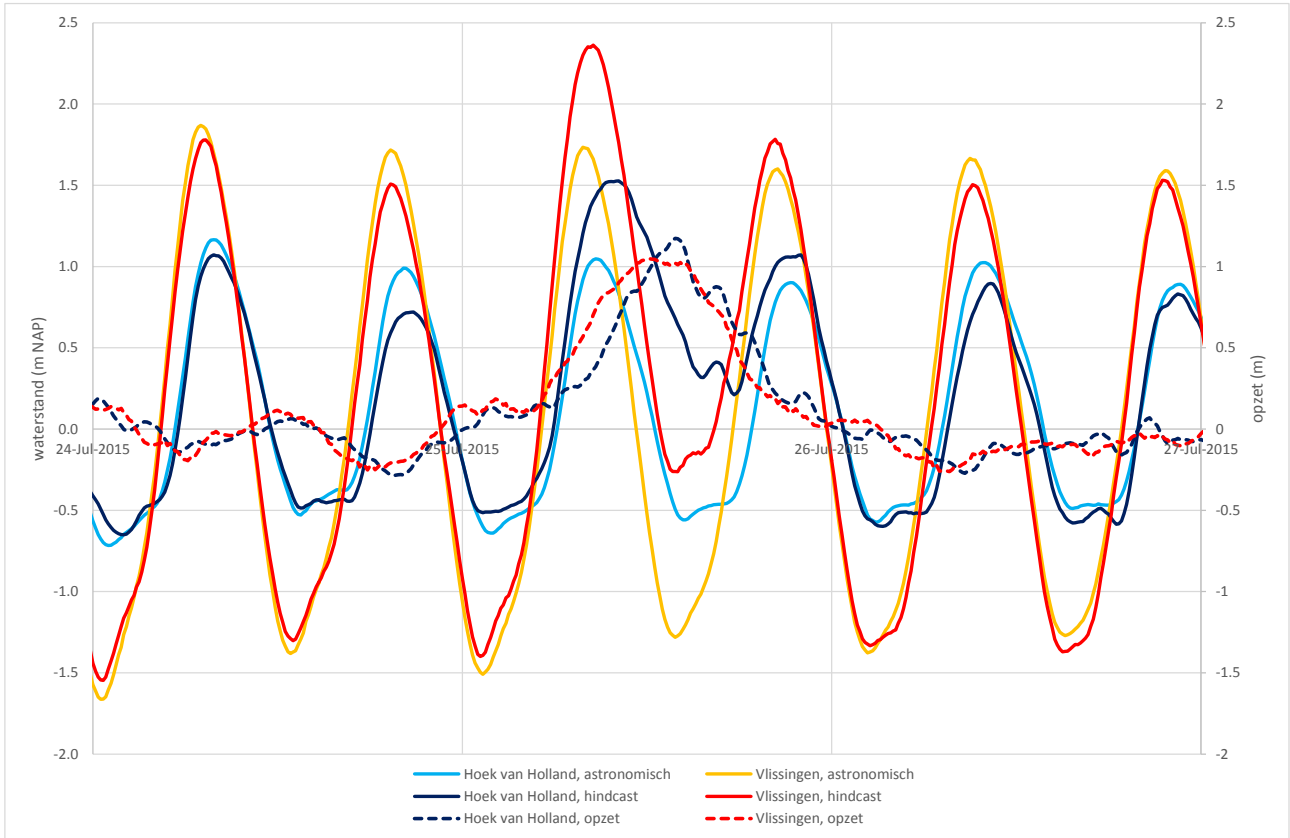


Figuur 4.1 HIRLAM windvelden 24 juli 18 uur UTC tot en met 25 juli 18 uur UTC.



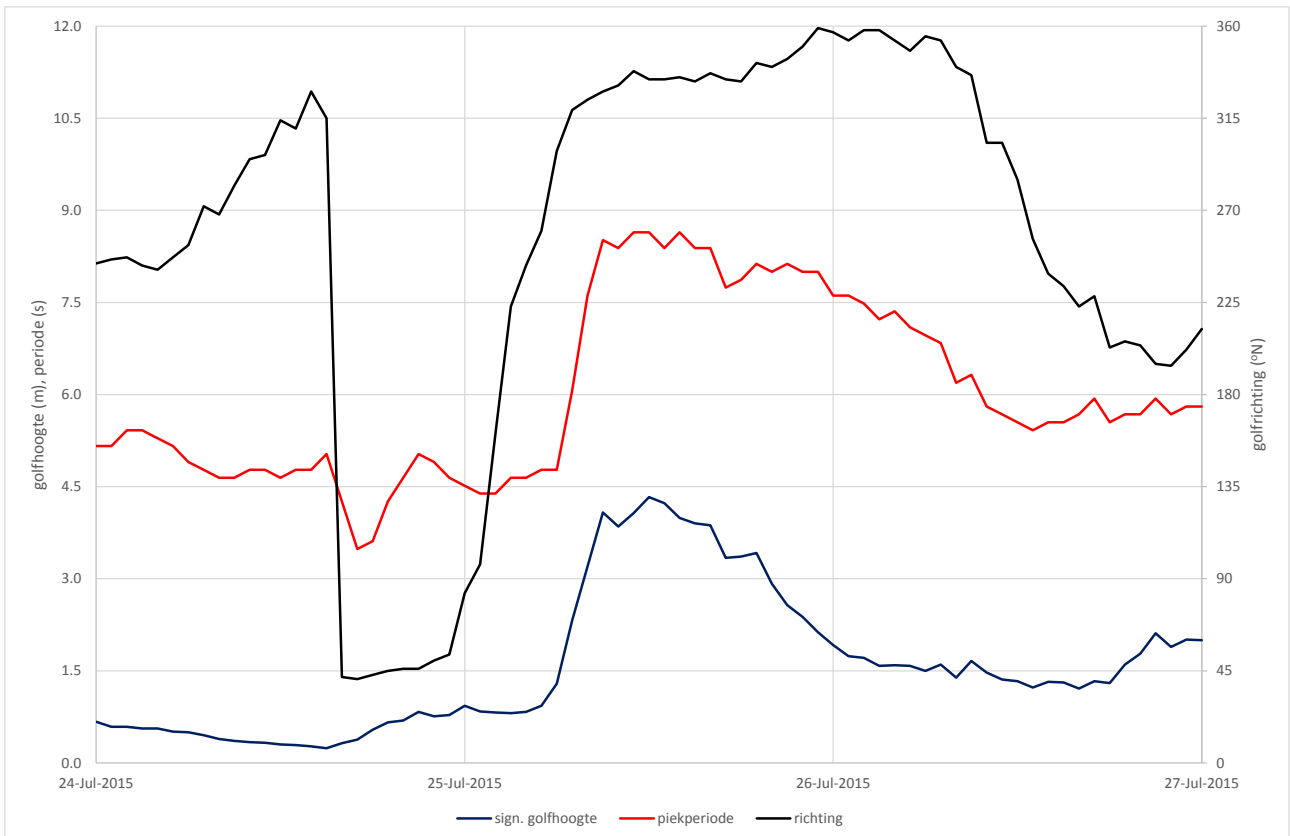
Figuur 4.2 Windsnelheid en –richting in Vlissingen en Hoek van Holland.

Om in meer detail naar deze storm te kunnen kijken, is er voor de maand juli een aanvullende berekening uitgevoerd voor alleen astronomische condities. In figuur 4.3 zijn de waterstanden van de astronomische berekening en de jaarberekening in Vlissingen en Hoek van Holland weergegeven. Tevens laat deze figuur de stormopzet zien. De stormopzet in Vlissingen komt uit op 1,05 m, in Hoek van Holland bedraagt die 1,17 m. De waterstanden bereiken respectievelijk NAP +2,36 m en +1,53 m. Ter vergelijking, de astronomische waterstand die in Vlissingen in juli bij springtij wordt bereikt, bedraagt NAP +2,57 m, dus ongeveer 20 cm hoger. In Hoek van Holland ligt de stormvloed juist 5 cm hoger dan het springtij in juli (NAP +1,48 m).



Figuur 4.3 Berekende waterstanden astronomische en hindcast in Hoek van Holland en Vlissingen en stormopzet tijdens de juli storm.

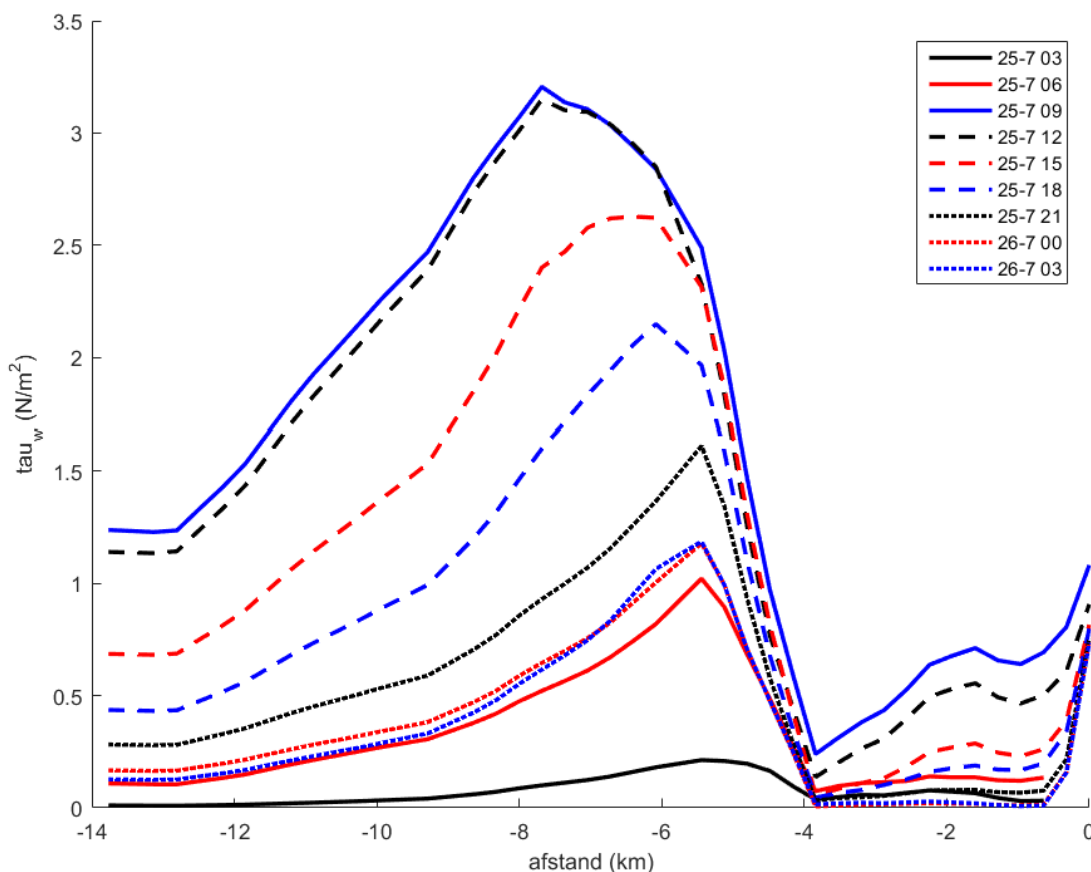
De golfmetingen in Europlatform zijn weergegeven in figuur 4.4.



Figuur 4.4 Significante golfhoogte, piekperiode en golfrichting in Europlatform tijdens de juli storm.

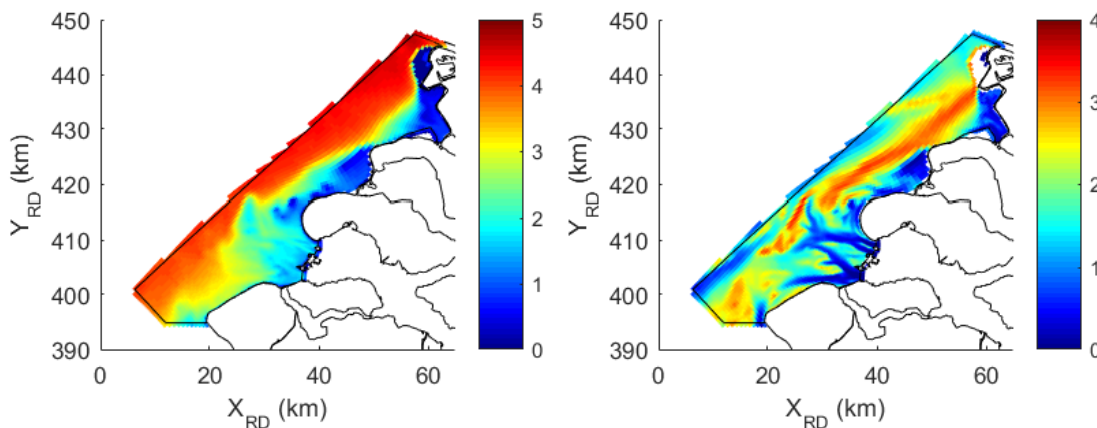
De golven op zee hebben tijdens de piek van de storm een typische golfhoogte van orde 4 m, een piekperiode van 8,5 s en komen uit het noord-noordwesten. Aan het begin van de storm nemen deze snel toe, om daarna langzaam af te nemen.

In figuur 4.5 zijn de bodemschuifspanningen door golven langs de raai uit figuur 3.1 weergegeven gedurende de storm. Vanaf 25 juli om 3.00 uur beginnen deze snel op te lopen. Op het hoogtepunt van de storm, rond 9.00-12.00 uur, bereiken de bodemschuifspanningen maximale waarden van 3,25 N/m². Parallel aan de afname van de windsnelheden en golven, nemen ook de bodemschuifspanningen langzaam af in de loop van de middag en avond.



Figuur 4.5 Bodemschuifspanningen langs de raai uit figuur 3.1 van 25 juli 3.00 uur tot 26 juli 3.00 uur (km 0 op de Brouwersdam).

Figuur 4.6 toont de ruimtelijke patronen van de golfhoogtes en bodemschuifspanningen om 12.00 uur, als deze maximaal zijn. De verschillende platen en ondieptes zijn herkenbaar doordat daar de golven breken en dus de hoogste bodemschuifspanningen optreden.

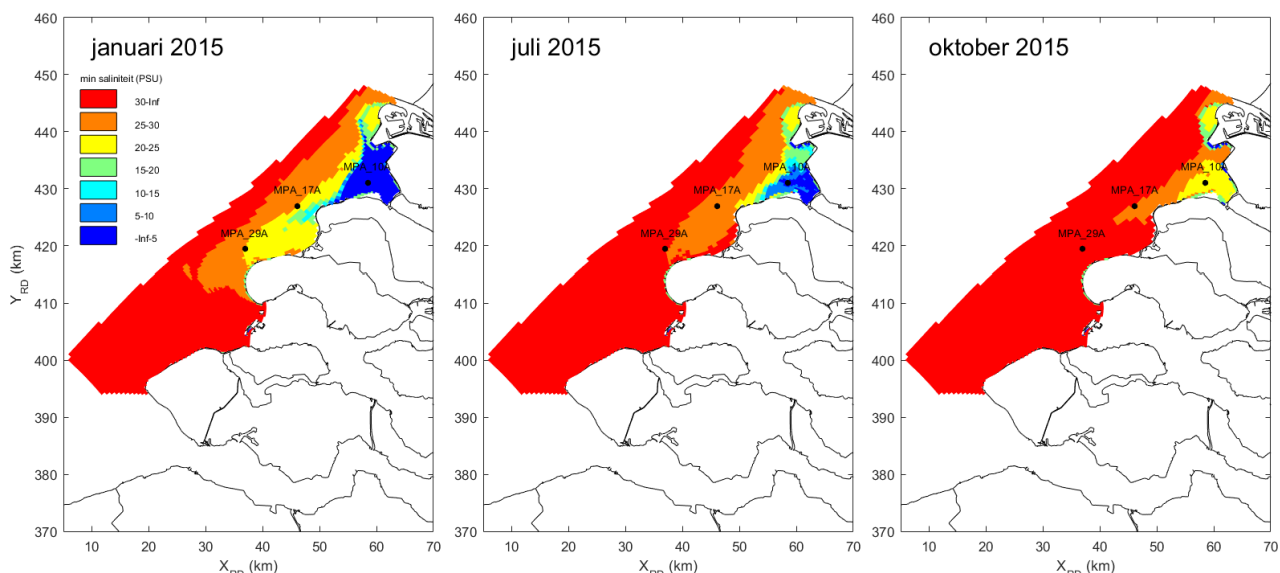


Figuur 4.6 Berekende significante golphoogte (links) en bodemschuifspanning (rechts) op 25 juli om 12.00 uur.

4.3 Lage en hoge spuidebieten Haringvliet

Het spuidebiet van het Haringvliet varieert sterk over het jaar, zoals in figuur 2.4 te zien is. In januari loopt het daggemiddelde debiet op tot boven de 3000 m³/s, terwijl er ook perioden voorkomen dat de daggemiddelde waarde onder de 100 m³/s blijft. In 2015 is het 59 dagen voorgekomen dat de Haringvlietsluizen gesloten bleven, in oktober-november zelfs een lange aaneengesloten periode van bijna 4 weken.

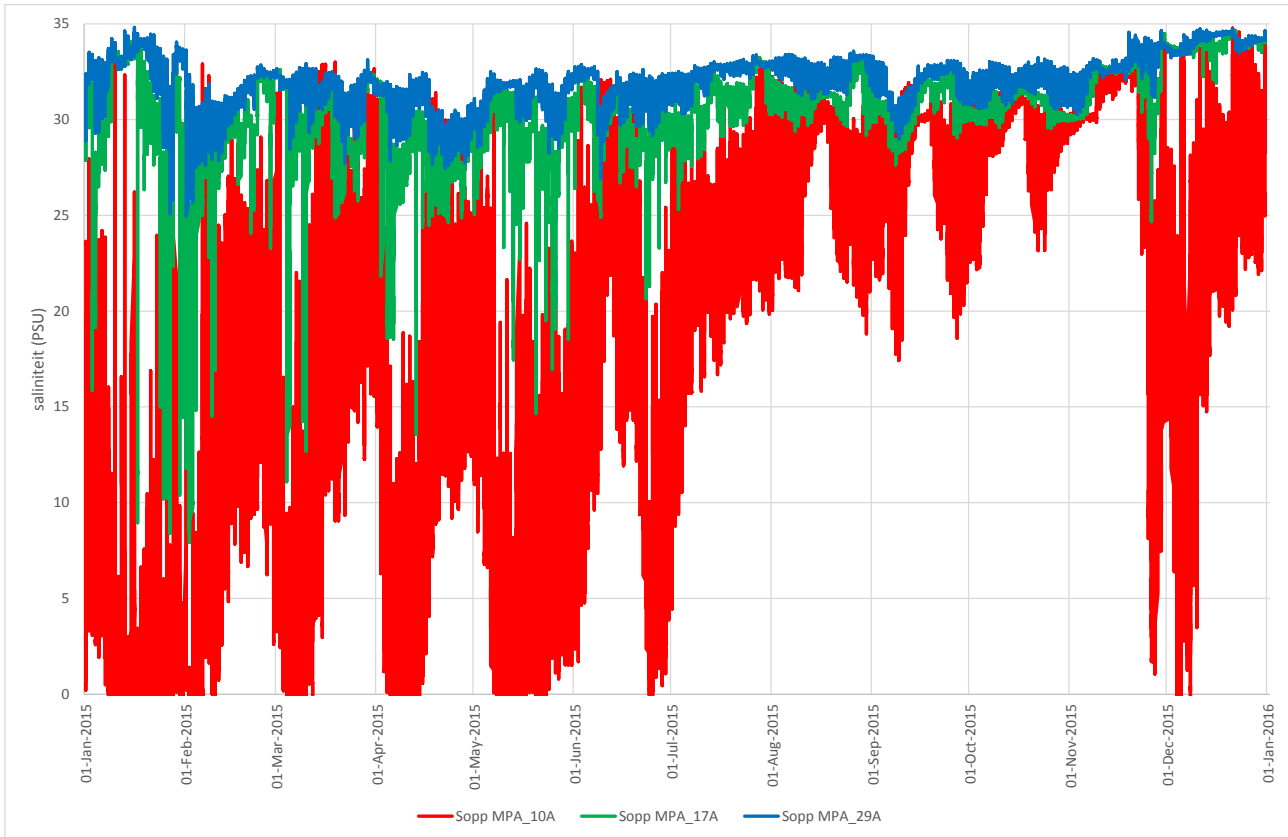
Dit heeft direct effect op de saliniteit in de Voordelta. In figuur 4.7 is voor 3 maanden de minimale bodemsaliniteit weergegeven; in januari (hoge afvoer), juli (begin periode lage afvoer) en oktober (na een lange periode met lage afvoeren). De grootste verschillen zijn voornamelijk zichtbaar in de directe omgeving van de Haringvlietsluizen, waarbij bij een hoge afvoer de minimale saliniteit onder de 5 PSU ligt en in een droge periode niet onder de 20 PSU uitkomt. Maar ter hoogte van de kop van Schouwen zijn verschillen te zien. Figuur 4.7 laat zien dat de grens van 25 PSU in een droge periode bij de Haringvlietmonding ligt, maar in natte perioden tot de Kop van Schouwen doordringt.



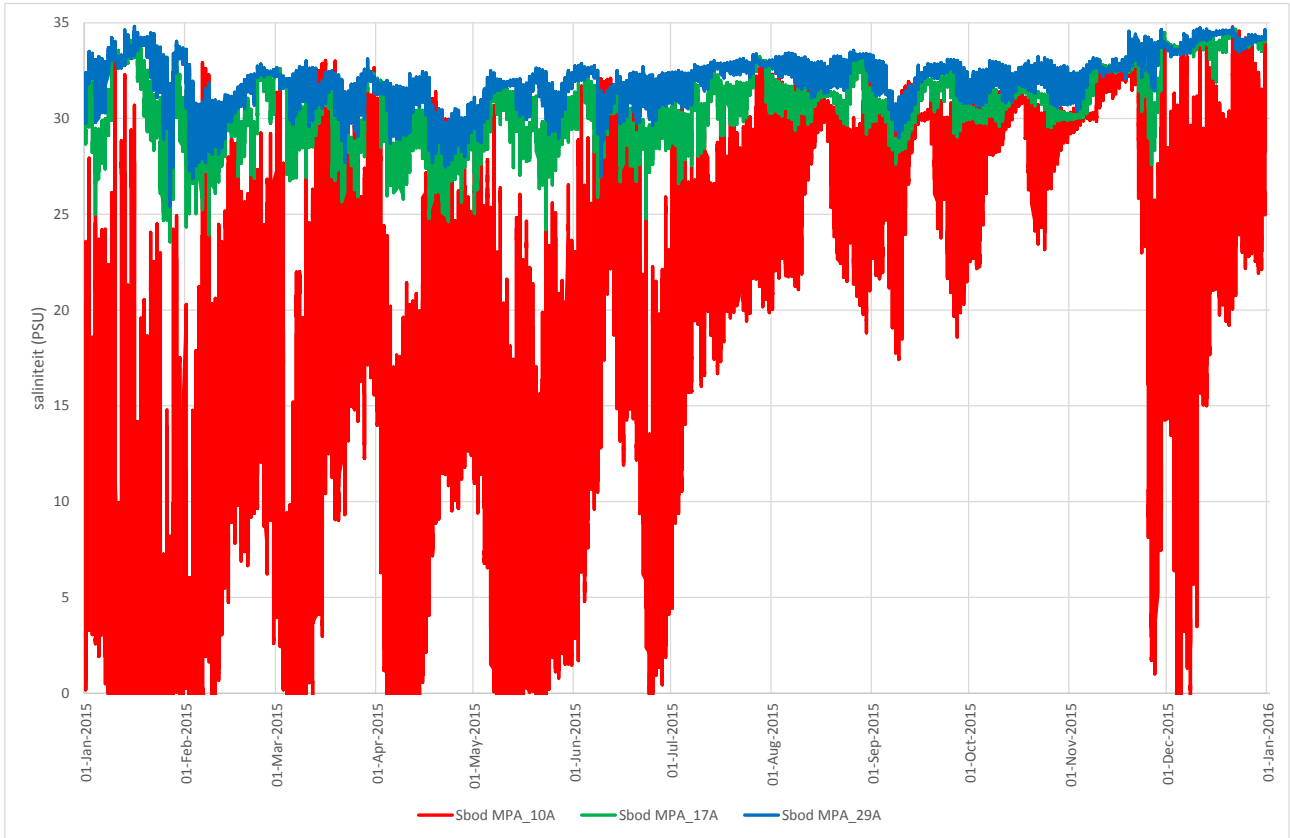
Figuur 4.7 Minimale bodemsaliniteit tijdens hoge afvoer periode (januari) en twee lage afvoer perioden (juli en oktober). Ook aangegeven is de ligging van de drie Vis-monitoringspunten MPA_10A, MPA_17A en MPA_29A.

Voor de drie vis-monitoringslocaties in figuur 4.7 zijn in figuren 4.8 en 4.9 respectievelijk de momentane saliniteit aan het oppervlakte en nabij de bodem weergegeven voor het hele jaar 2015. Figuur 4.10 laat het verschil tussen oppervlak en bodem zien voor de drie locaties. In de Haringvlietmonding (station MPA_10A) varieert de saliniteit het sterkst, zowel in de tijd als in de verticaal. Naast het Haringvlietdebiet bepalen ook

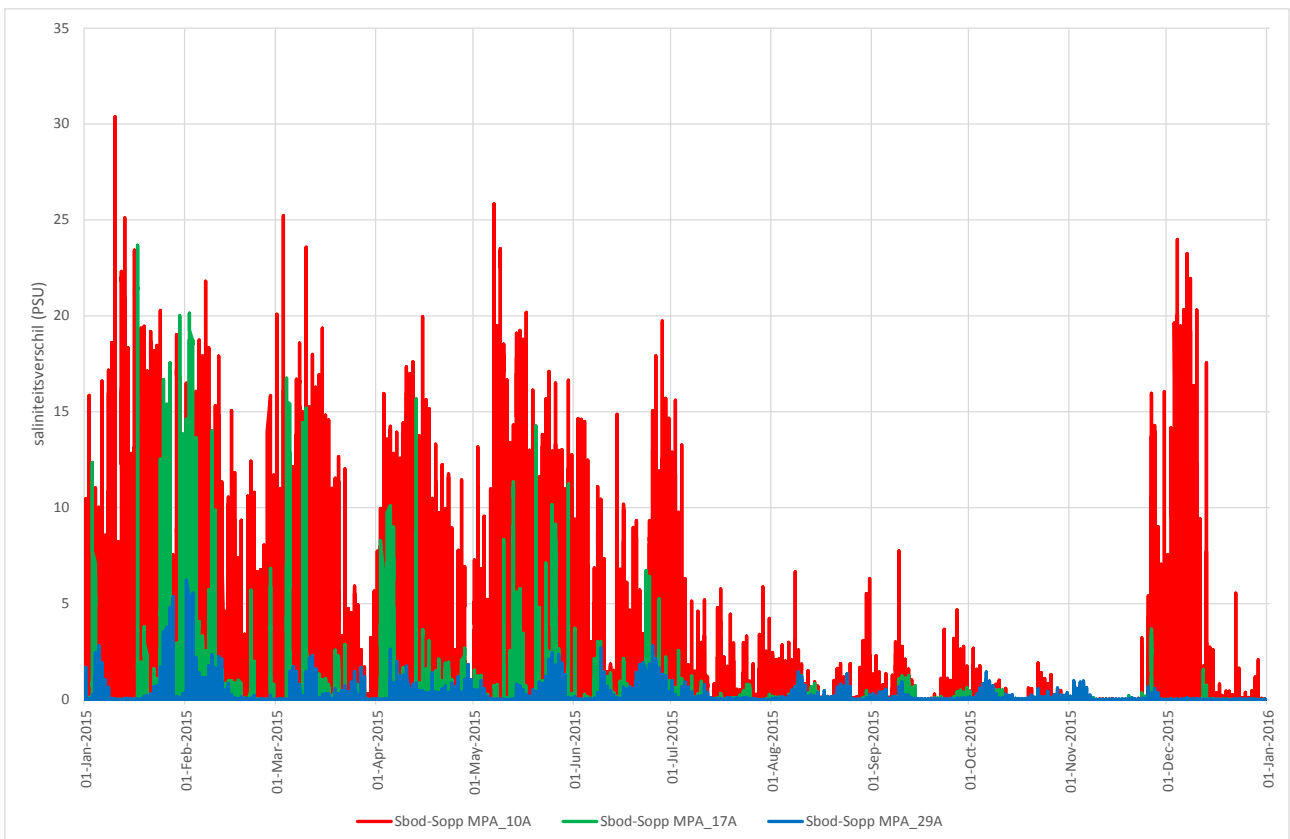
de andere afvoeren zoals de Nieuwe Waterweg en de Schelde de saliniteit in de Voordelta, zoals blijkt uit het feit dat als de Haringvlietsluizen gesloten zijn, de saliniteit niet constant is. Verder naar het zuiden neemt de invloed van het Haringvlietdebiet af, zoals blijkt uit de resultaten voor de kust bij Goeree-Overflakkee (station MPA_17A) en ter hoogte van Schouwen-Duiveland (station MPA_29A).



Figuur 4.8 *Tijdseries van oppervlaktesaliniteit in Vissen-monitoringspunten MPA_10A, MPA_17A en MPA_29A (zie figuur 4.7 voor locaties).*



Figuur 4.9 Tijdsreeis van bodemsaliniteit in Vissen-monitoringspunten MPA_10A, MPA_17A en MPA_29A (zie figuur 4.7 voor locaties).



Figuur 4.10 Tijdsreeis van verschil in oppervlakte- en bodemsaliniteit in Vissen-monitoringspunten MPA_10A, MPA_17A en MPA_29A (zie figuur 4.7 voor locaties).

Voor het punt in de Haringvlietmond zijn in tabel 4.1 de percentages van voorkomen weergegeven dat de saliniteit aan het oppervlak en nabij de bodem binnen de gegeven klassen valt. In de droge periode (oktober) komen saliniteitswaarden onder 20 PSU niet voor, terwijl in de natte periode (januari) waarden boven 25 PSU zeldzaam zijn. Over het hele jaar komen lage (< 5 PSU) en hoge waarden (> 30 PSU) ongeveer even vaak voor.

Tabel 4.1 Percentage van voorkomen saliniteit in heel jaar, natte periode (januari) en droge periode (oktober) in Vissen-monitoringspunt MPA_10A.

klasse	Jaar 2015		januari		oktober	
	oppervlak	bodem	oppervlak	bodem	oppervlak	bodem
≤ 5	20.5%	16.7%	73.7%	59.1%	0.0%	0.0%
5 - 10	7.8%	6.3%	12.1%	10.4%	0.0%	0.0%
10 - 15	8.3%	8.1%	5.0%	8.3%	0.0%	0.0%
15 - 20	8.2%	9.4%	3.9%	8.7%	0.0%	0.0%
20 - 25	16.0%	17.0%	3.2%	8.7%	8.9%	8.9%
25 - 30	21.4%	22.3%	1.4%	3.4%	50.8%	48.4%
30 - 35	17.8%	20.1%	0.7%	1.5%	40.3%	42.7%

Naast de afvoer, speelt ook de wind een rol in de verspreiding. Enerzijds doordat die zorgt voor een windgedreven stromingscomponent naast de getijstroming, en anderzijds zorgt de wind voor meer menging van zoet en zout water in de verticaal. Om het effect van spuidebiet en wind inzichtelijk te maken, zijn de volgende vier scenario's bekeken:

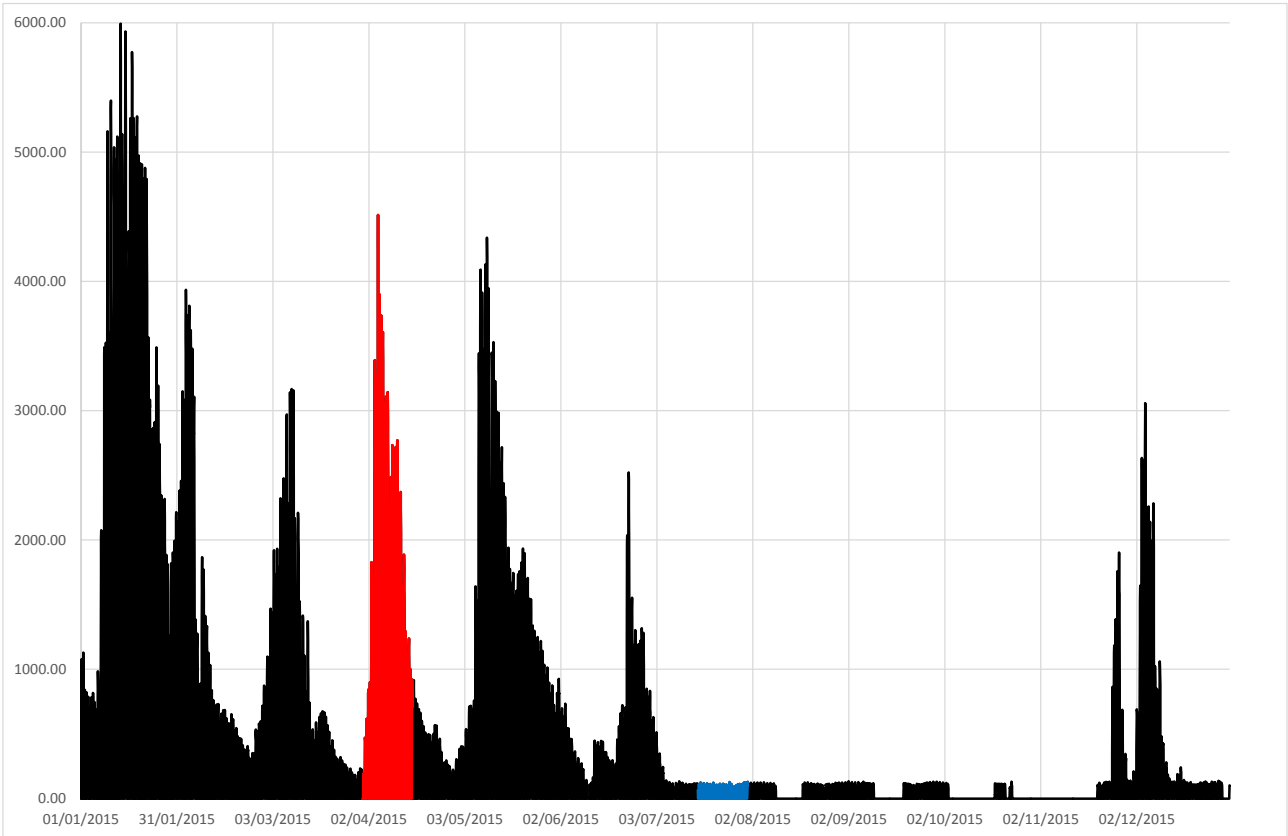
- hindcast berekening, met realistische wind en realistische (lage) spuidebieten;
- hindcast berekening, met realistische wind en hoge spuidebieten;
- astronomisch getij, met realistische (lage) spuidebieten;
- astronomisch getij, met hoge spuidebieten;

Er is uitgegaan van de beschikbare berekening voor de tweede helft van juli 2015, waarin de spuidebieten relatief laag zijn. Voor het scenario met hoge debieten is de tijdserie van de eerste helft van april gekozen. In die periode zijn de debieten hoog, maar niet zo extreem hoog als in bijvoorbeeld januari. In figuur 4.11 zijn de debieten tijdens deze twee perioden aangegeven, in relatie met de variaties over het jaar. Het begin van de periode met hoge afvoer is zodanig gekozen dat het debiet goed overeenkomt met dat van juli.

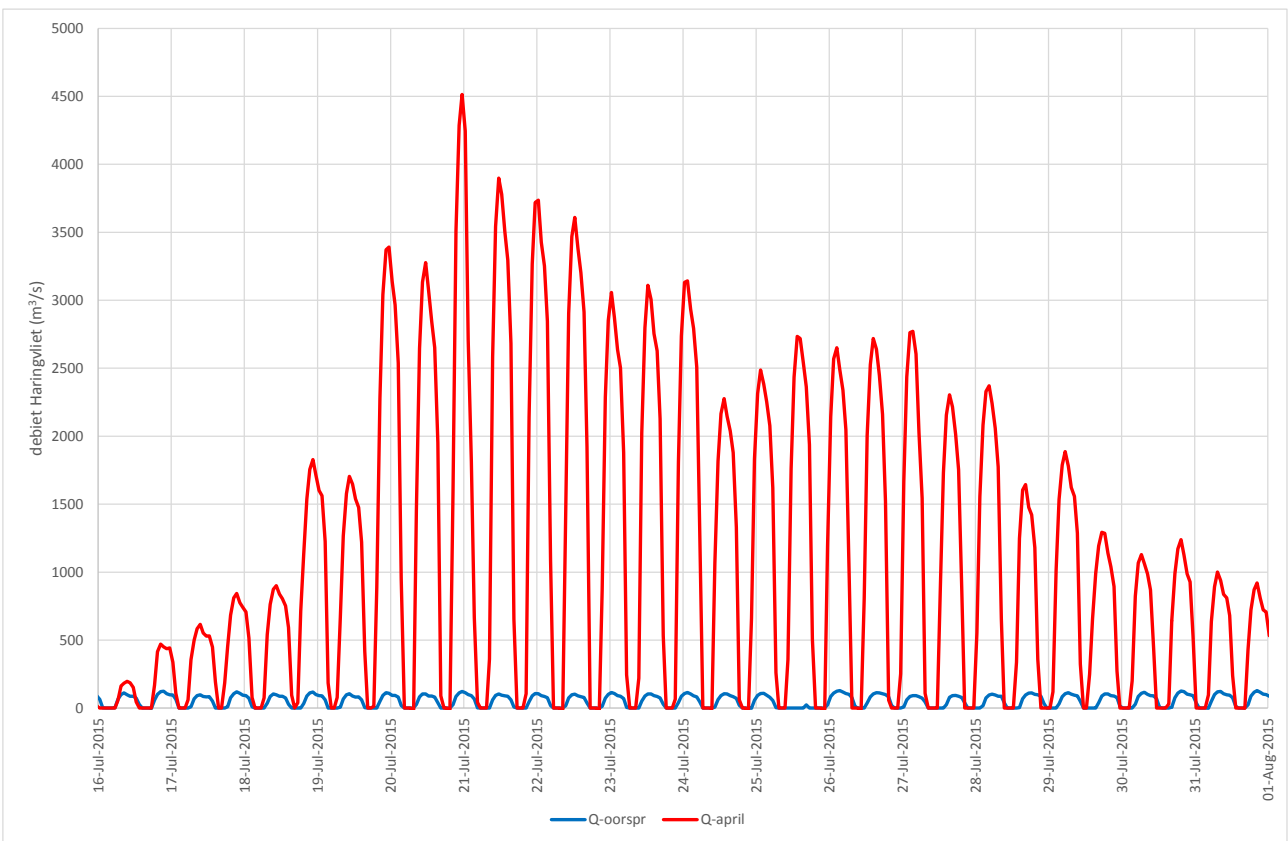
In figuur 4.12 zijn de tijdseries zoals die uiteindelijk in het model zijn gebruikt, weergegeven. Hierbij is ernaar gestreefd de tijdstippen van spuien zo goed mogelijk te laten overlappen, voor zover dat mogelijk was. Gedurende het laag water tijdens de storm op 25 juli kon er bijvoorbeeld door de opzet in werkelijkheid niet worden gespuid. Volgens het hoge-afvoer-scenario is er dat laag water wel gespuid. Aangezien de focus niet ligt op dit ene laagwater, maar op het beeld over de hele periode, is hier verder geen correctie voor uitgevoerd.

Voor de simulaties met astronomisch getij worden, anders dan voor de hindcast-berekeningen, de wind- en drukvelden van het KNMI en de windopzet op de open rand van het Kustzuid model niet meegenomen.

Op deze manier zijn de berekeningen onderling eerlijker te vergelijken dan door de resultaten uit de hindcast-simulaties van april en juli naast elkaar te leggen (vergelijkbare getij- en windcondities). In deze berekeningen is de temperatuur niet als variabele meegenomen, om invloed van het wel of niet meenemen van de wind via het temperatuurmodel op de dichtheid uit te sluiten.



Figuur 4.11 Afvoer Haringvliet in 2015 en geselecteerde droge (2e helft juli) en natte (1e helft april) perioden.

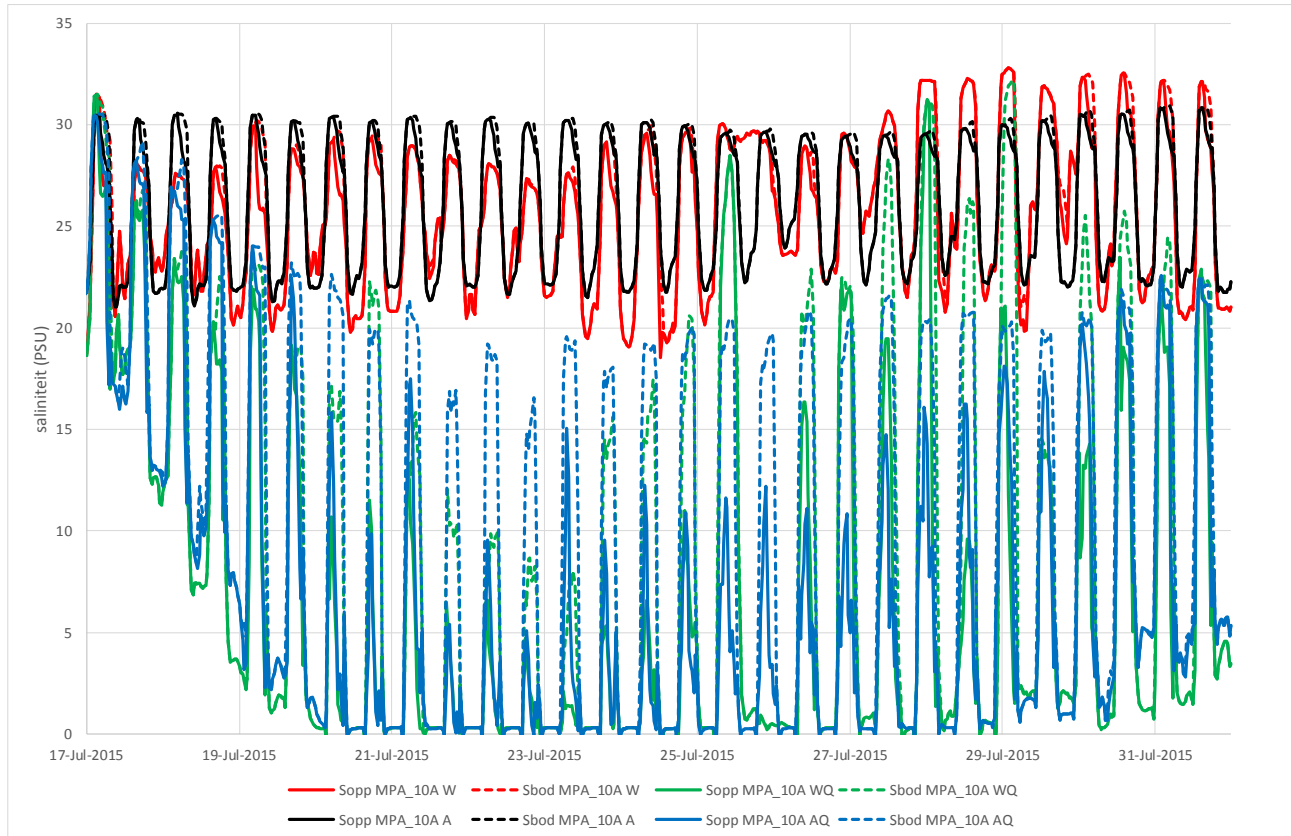


Figuur 4.12 Oorspronkelijke afvoer Haringvliet in 2e helft juli 2015 en de in de tijd verschoven afvoer 1e helft april.

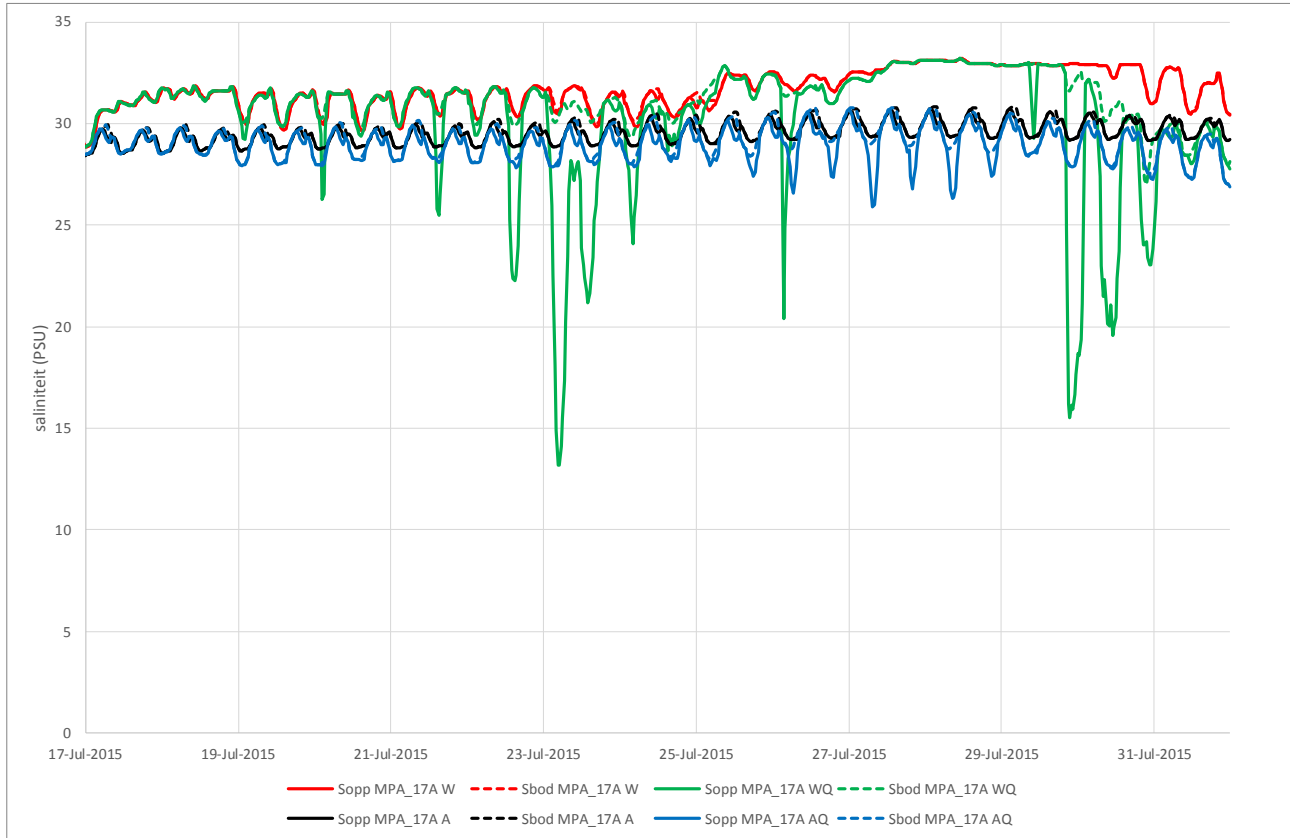
De volgende simulaties zijn uitgevoerd:

1. hindcast berekening, 1 juli – 1 augustus, doorstart op jaarsimulatie
2. hindcast berekening, hoge afvoer, 16 juli – 1 augustus, doorstart op berekening 1
3. astronomische berekening, 1 juli – 1 augustus, doorstart op jaarsimulatie
4. astronomische berekening, hoge afvoer, 16 juli – 1 augustus, doorstart op berekening 3

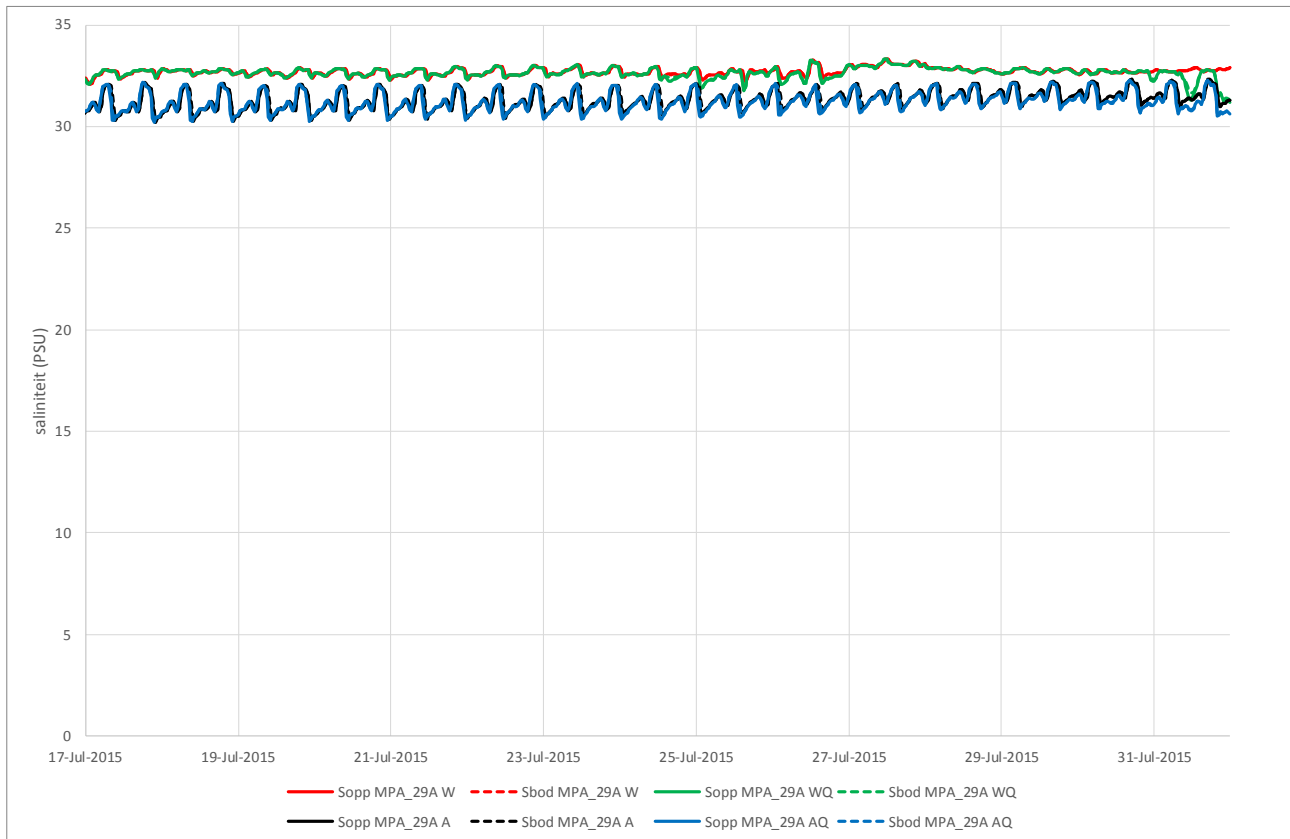
De analyses zijn uitgevoerd over de periode 17 juli – 1 augustus. In figuren 4.13 tot en met 4.15 zijn de oppervlakte- en bodemsaliniteiten voor de drie stations uit figuur 4.7 weergegeven.



Figuur 4.13 Tijdsree van oppervlakte- en bodemsaliniteit in Vissen-monitoringspunt MPA_10A, voor de verschillende simulaties: hindcast (W), hindcast met hoge afvoer (WQ), astronomisch (A) en astronomisch met hoge afvoer (AQ).



Figuur 4.14 Tijdseries van oppervlakte- en bodemsaliniteit in Vissen-monitoringspunt MPA_17A, voor de verschillende simulaties: hindcast (W), hindcast met hoge afvoer (WQ), astronomisch (A) en astronomisch met hoge afvoer (AQ).



Figuur 4.15 Tijdseries van oppervlakte- en bodemsaliniteit in Vissen-monitoringspunt MPA_29A, voor de verschillende simulaties: hindcast (W), hindcast met hoge afvoer (WQ), astronomisch (A) en astronomisch met hoge afvoer (AQ).

Een vergelijking tussen de simulaties zonder (astronomisch) en met wind (hindcast) met de normale (lage) afvoer laat zien dat:

- windgedreven stroming in de Haringvlietmond zorgt voor een meer dynamische horizontale verspreiding van de zoetwateruitstroom, waardoor het gemiddelde niveau en de dagelijkse variaties daar (MPA_10A) sterker verschillen. Een goed voorbeeld is de stormperiode van 25 juli:
 - onder astronomische condities blijft het zoete water in de Haringvlietmond hangen. Onder invloed van het getij stroomt dit heen en weer, zodat de saliniteit in de locatie MPA_10A eenzelfde variatie in de tijd blijft vertonen. Doordat er tijdens laag water niet geloosd wordt, loopt de saliniteit in locatie MPA_10A tijdens dat en het volgende laag water geleidelijk op.
 - in de berekening met wind zorgt de wind ervoor dat er zout water vanaf de Noordzee naar de kust wordt getransporteerd, dat het zoetere water vrijwel geheel verdringt.
- het gemiddelde niveau van de saliniteit ligt in de eerste helft van de berekening met wind in locatie MPA_10A lager dan in de astronomische berekening, terwijl dit in de tweede helft hoger is. Dit is waarschijnlijk onder invloed van de heersende wind in combinatie met de ligging van deze locatie. Dit zou in meer detail onderzocht moeten worden.
- zonder wind strekt de zoet water pluim zich verder uit, wat zich uit in lagere waarden in locaties MPA_17A en MPA_29A, in vergelijking met de simulaties met wind.

Een vergelijking tussen de resultaten met de normale (lage) afvoer en de hoge afvoer onder astronomisch condities geeft het volgende beeld:

- tijdens hoge lozingscondities wordt de Haringvlietmond helemaal zoet, terwijl dat bij lage spuidebieten duidelijk niet het geval is,
- ter hoogte van Goeree-Overflakkee (locatie MPA_17A) resulteert de combinatie van de geloosde hoeveelheid zoet water en het getij van tijd tot tijd in afnames van de oppervlakesaliniteit met 2 à 3 PSU. Bij de bodem is dit effect veel minder.
- ter hoogte van Schouwen-Duiveland (locatie MPA_29A) is het verschil tussen een hoog of laag spuidebiet in de saliniteit niet terug te zien.

Een vergelijking tussen de resultaten met de normale (lage) afvoer en de hoge afvoer met realistische windcondities bevestigt dit beeld. Opvallend is dat de momenten dat ter hoogte van Goeree-Overflakkee (locatie MPA_17A) een verlaging van de oppervlaktesaliniteit zichtbaar is, afwijken van wanneer dit het geval is onder astronomische condities. Op 23 juli is dit bijvoorbeeld duidelijk te zien; met wind daalt de saliniteit met meer dan 15 PSU, terwijl dit zonder wind niet het geval is. In dit geval zorgt een aanlandige wind ervoor dat het zoetere water dichter langs de kust stroomt, terwijl zonder wind het zoetere water zich meer de Noordzee op verplaatst. Op 27 juli is het beeld omgekeerd. Onder astronomische condities stroomt het zoetere water weer de Noordzee op en nu ook iets meer richting deze locatie. De zuidwestelijke wind zorgt er in de andere simulatie voor dat de uitstroom van het Haringvliet sneller mengt en meer richting noorden wordt getransporteerd en vanuit het zuiden zouter water richting deze locatie stroomt.

De resultaten geven duidelijk aan dat de verspreiding van het zoetere water van de spuidebieten en rivierafvoeren in de Voordelta een complexe wisselwerking is tussen getij, wind en debieten.

4.4 Overzicht van resultaten in de database

Uit het hydrodynamisch model worden voor elke roostercel binnen de Natura 2000 polygoon de volgende grootheden elk half uur weggeschreven:

- waterstand
- stroomsnelheid
- saliniteit
- temperatuur

De laatste drie grootheden zijn per rekenlaag (10 lagen van elk 10% van de waterdiepte, zogenaamde sigma-lagen) beschikbaar.

Daarnaast uit de golfberekeningen elk uur:

- golfparameters (golf hoogte, richting, periode)

Op basis van de modelresultaten zijn net als voor de eerdere jaren afgeleide grootheden, zoals maximale waarden over een maand, maandgemiddelde en seizoensgemiddelde waarden, standaarddeviatie per maand, percentielen en duren en overschrijdingswaarden van grenswaarden bepaald. Zie voor een beschrijving (ARCADIS, 2015).

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Conclusies

- De nauwkeurigheid van de modelberekeningen komt goed overeen met de eerdere jaren. De waarden voor de BIAS en $RMSE_0$ die de afwijkingen tussen modelresultaten en metingen beschrijven komen goed overeen met de resultaten uit de eerste fase van de monitoring. Vanwege de consistentie in de manier waarop de modelberekeningen zijn uitgevoerd ligt dit ook in de lijn van de verwachtingen.
- De aanpak van de alternatieve manier waarmee de bodemschuifspanningen ten gevolge van golven zijn bepaald lijkt beter, omdat nu golven onder alle condities worden bepaald, ook als de golven in Europlatform aflagig zijn. In de oorspronkelijke methode is aangenomen dat in deze gevallen de bodemschuifspanningen verwaarloosbaar zijn, en in de berekeningen nul gesteld. De nieuwe resultaten laten zien dat deze aanname niet correct is; ook onder die condities komen hoge bodemschuifspanningen voor. De alternatieve aanpak geeft bij hoge bodemschuifspanningen in het algemeen 20% hogere resultaten dan in de oorspronkelijke aanpak. Als de maandgemiddelden en 98-percentielwaarden worden bepaald, wijken de nieuwe resultaten voor maanden met frequent aflagig golven sterker af van de eerdere resultaten dan maanden waarin dit minder vaak voorkomt. Helaas zijn er geen metingen van bodemschuifspanningen bekend, zodat het niet mogelijk is een kwantitatieve beoordeling van beide aanpakken te kunnen maken.
- In de Voordelta laten de abiotische parameters een duidelijke ruimtelijke en temporele variatie zien. Deze hangen samen met het getij, het voorkomen van stormen, de seizoensvariaties en het dagnacht-ritme van de luchttemperatuur en de zonne-instraling, de rivierafvoeren en spuidebieten en de golven op de Noordzee. In dit rapport is meer ingezoomd op twee van deze aspecten. Een storm, in dit geval een uitzonderlijke zomerstorm in juli, genereert een stormopzet in de Voordelta en wekt golven op die vanaf de Noordzee de Voordelta bereiken en zorgen voor hoge bodemschuifspanningen. De zoutgehalten in de Voordelta worden sterk beïnvloed door de afvoer vanaf het Haringvliet. Een periode met hoge afvoer geeft veel meer dynamiek op de saliniteiten in de Voordelta en ook verder zuidelijk, dan een periode met een veel lagere afvoer. Ook het effect van de wind op de ruimtelijke spreiding van zoet water is niet te verwaarlozen.

5.2 Aanbevelingen

- De alternatieve aanpak om de golf-gerelateerde bodemschuifspanningen te bepalen heeft een duidelijke meerwaarde boven de oorspronkelijke aanpak. De verschillen zijn zodanig dat het aan te raden is deze aanpak ook voor de toekomstige jaren toe te passen.
- Een correlatievergelijking van de resultaten van beide methodes voor 2015 laat zien dat er niet een eenduidige relatie is tussen de resultaten van de ene methode en die van de andere methode; er is een relatief grote scatter. Om een consistente tijdserie van bodemschuifspanningen te verkrijgen, is het aan te bevelen om deze alternatieve aanpak ook toe te passen voor de periode juni 2004-december 2014.
- Het is niet op voorhand in te schatten hoe deze alternatieve aanpak voor de bodemschuifspanningen doorwerkt op het werk van de andere percelen. Nadere analyses zullen dit moeten uitwijzen.

REFERENTIES

Alkyon, 2010, Perceel 4, abiotiek, Beschrijving aanpak modelsimulaties, calibratie en validatie, Validatie rapport, C04021.002218R2r1, december 2010.

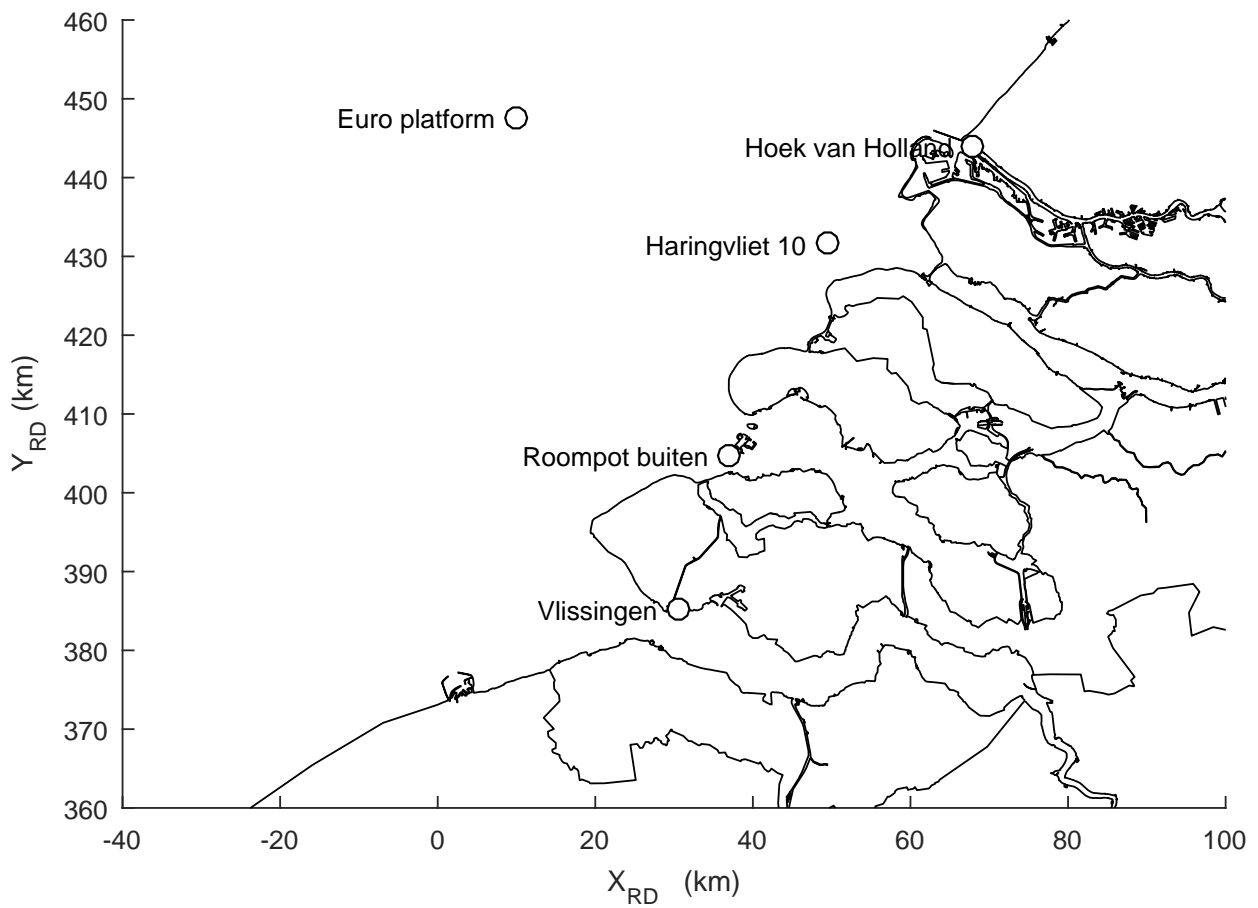
ARCADIS, 2014, PMR monitoring natuurcompensatie Voordelta, Perceel 4, abiotiek, Validatierapport voor de simulaties juni 2004 t/m december 2012, Validatie rapport, C04021.002218R3r3, maart 2014.

Arcadis, 2015, Datarapport PMR-NCV perceel Abiotiek; simulaties 2013, C03041.003153.0100, 078312838:0.2 – Definitief, 20 februari 2015.

Arcadis, 2016, Datarapport PMR-NCV perceel Abiotiek; simulaties 2014 en analyse lange termijn trends, C03041.003153, 078892386 0.2, 1 april 2016.

Deltares, 2014, PMR Monitoring natuurcompensatie Voordelta, Eindrapport 1e fase 2009-2013 Deel B, 1200672-000, 17 december 2014.

**BIJLAGE A TABELLEN EN FIGUREN VOOR SIMULATIES
JANUARI – DECEMBER 2015**

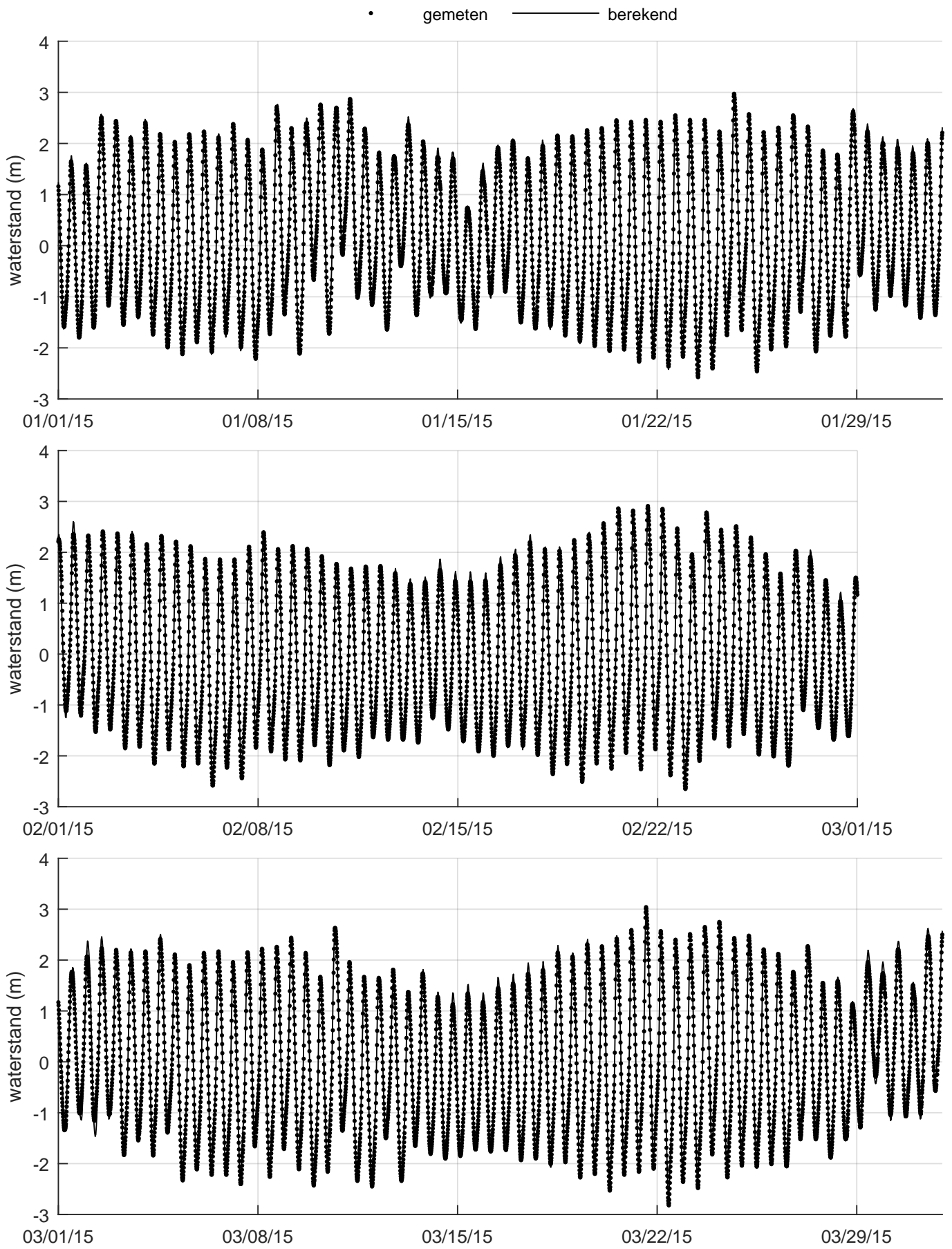


Ligging Waterbase-stations waterstand

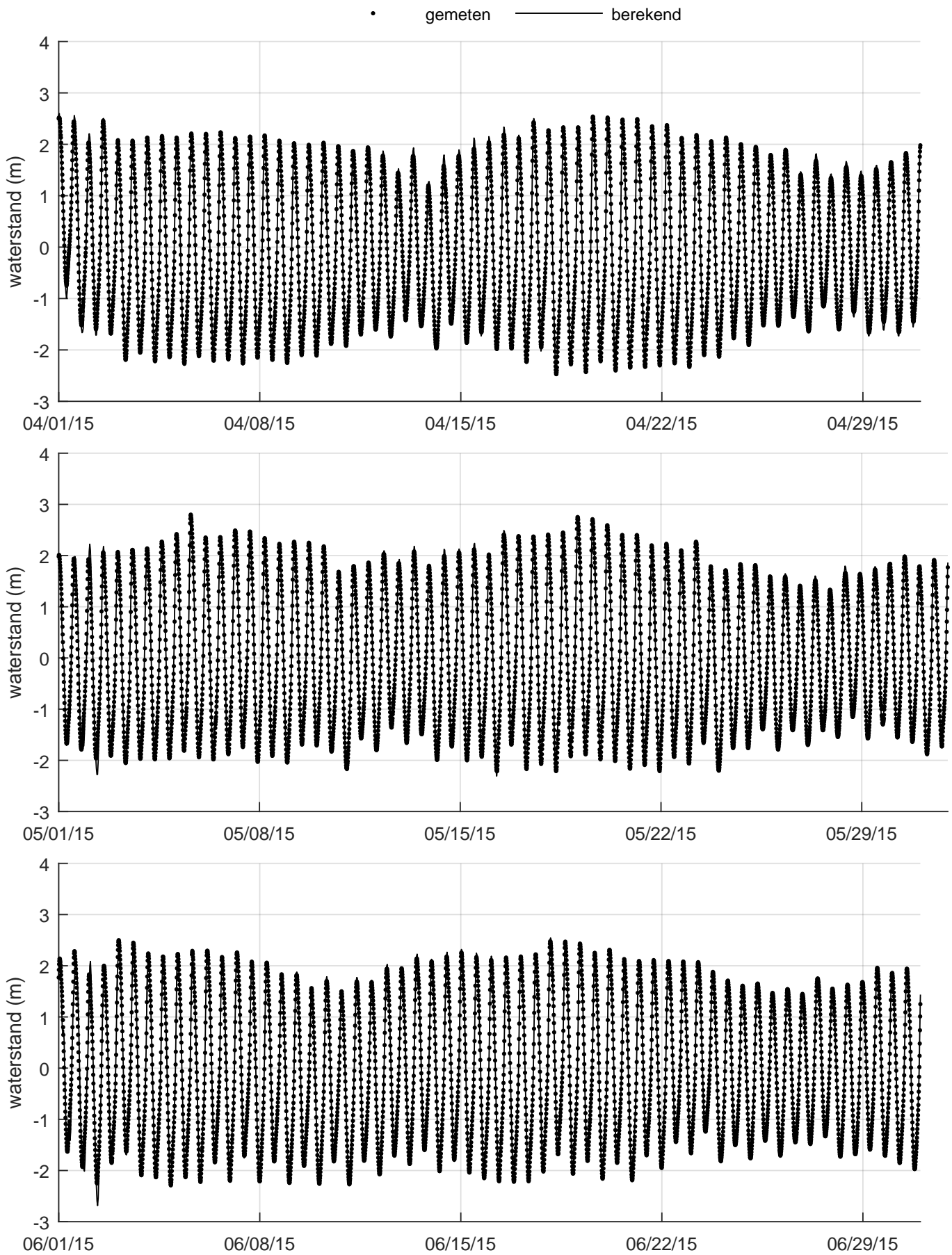
matlabfilename

C03041.002127

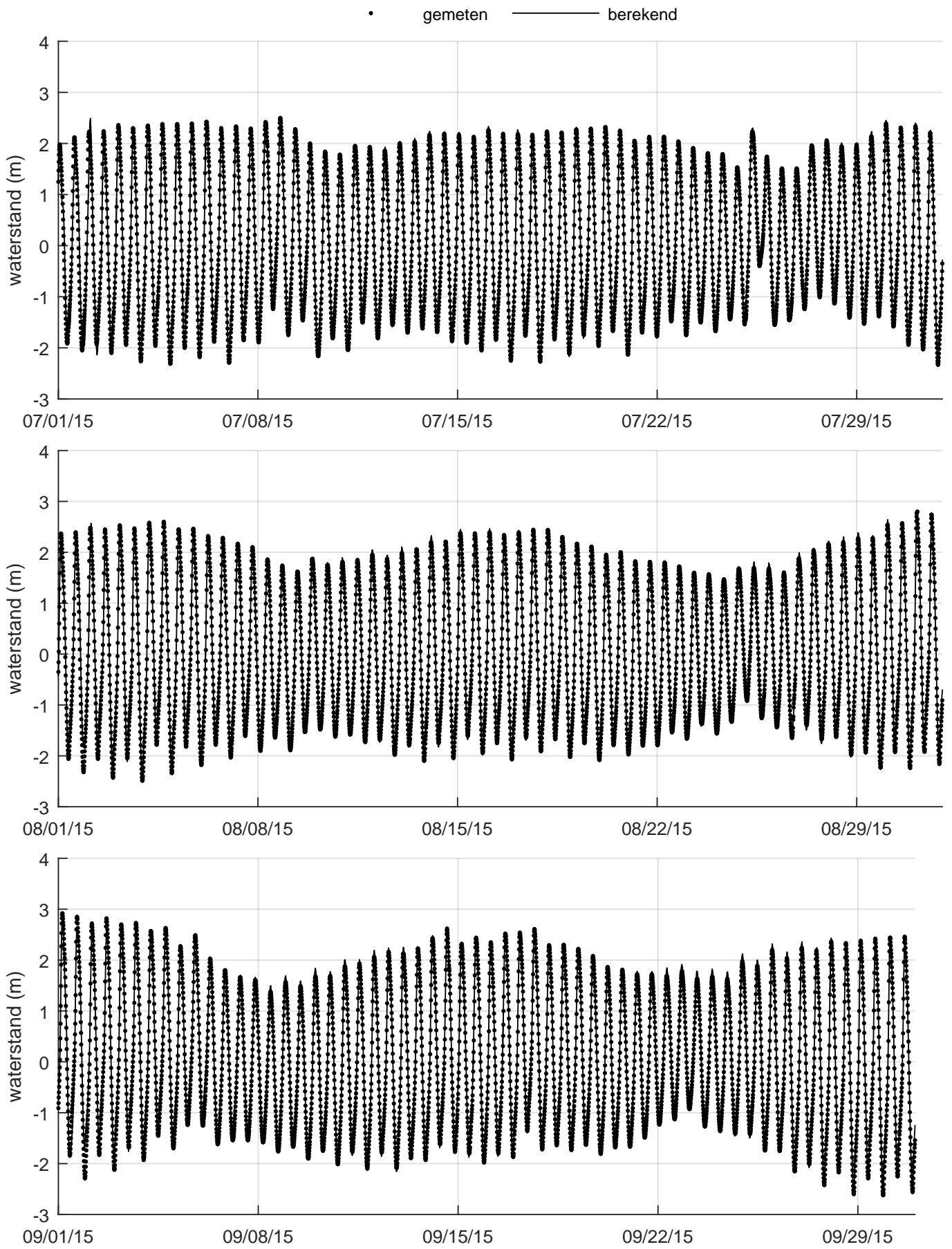
Fig. A.1



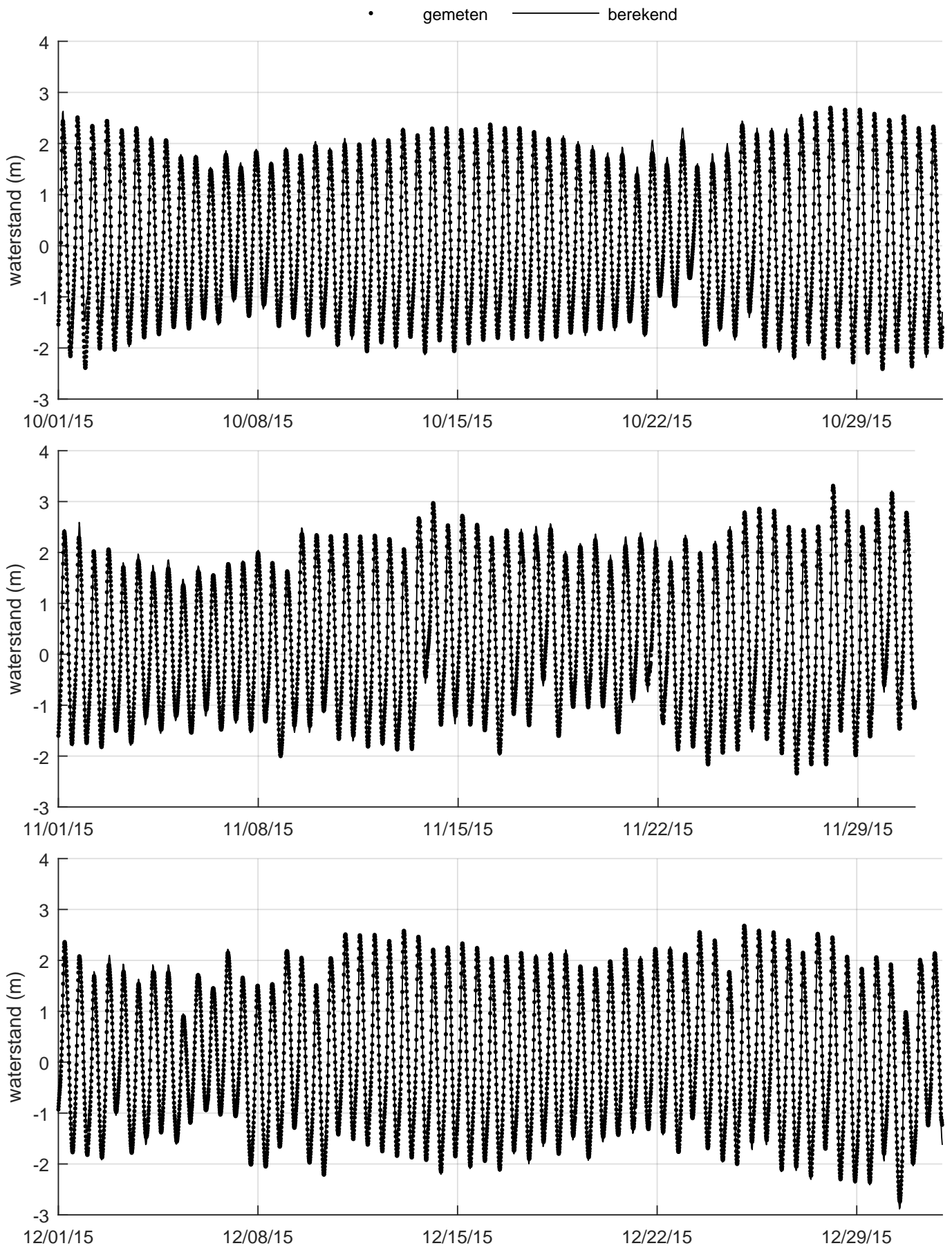
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
waterstand 1e kwartaal 2015, Waterbase-station Vlissingen



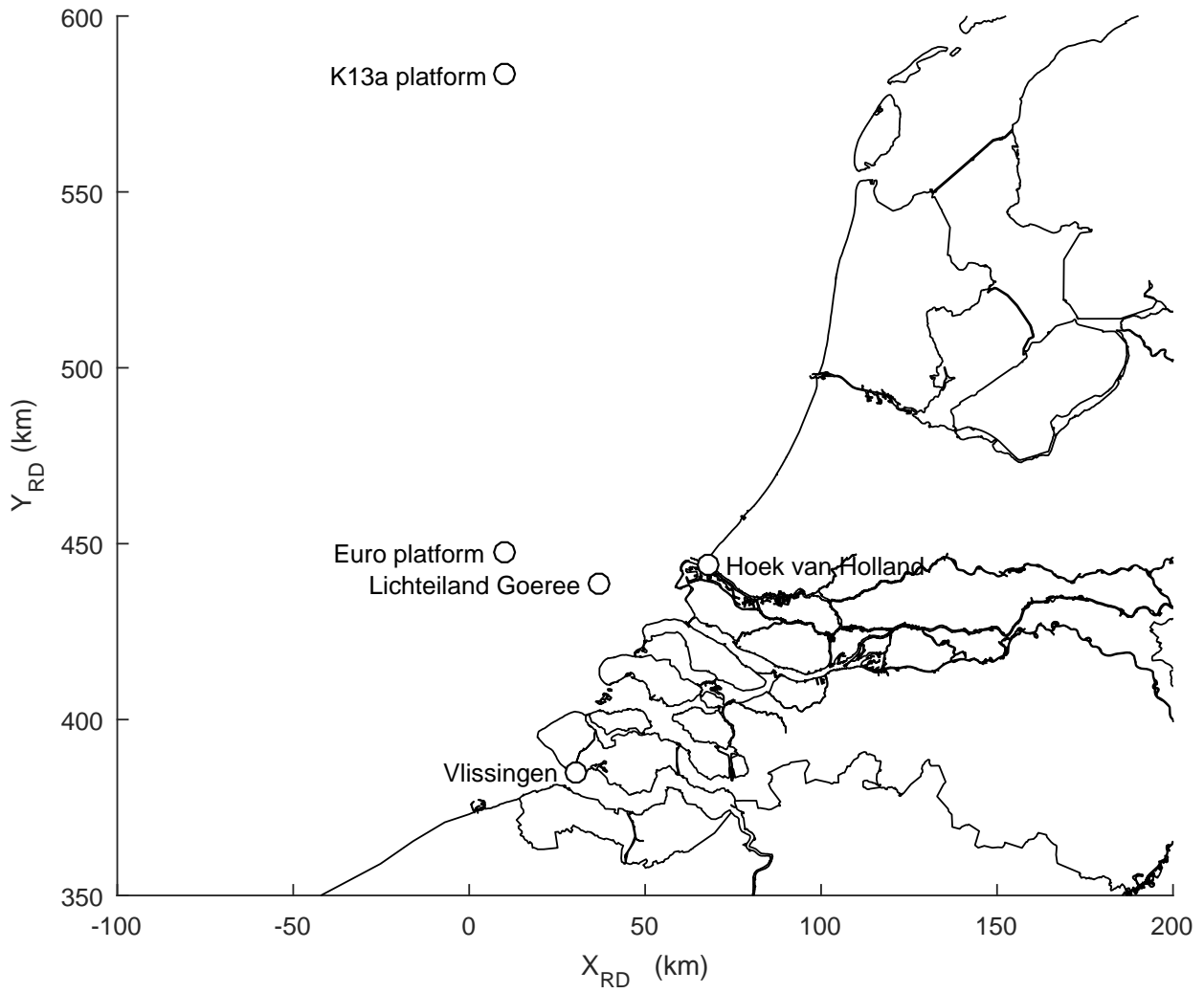
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
waterstand 2e kwartaal 2015, Waterbase-station Vlissingen



Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
waterstand 3e kwartaal 2015, Waterbase-station Vlissingen



Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
waterstand 4e kwartaal 2015, Waterbase-station Vlissingen

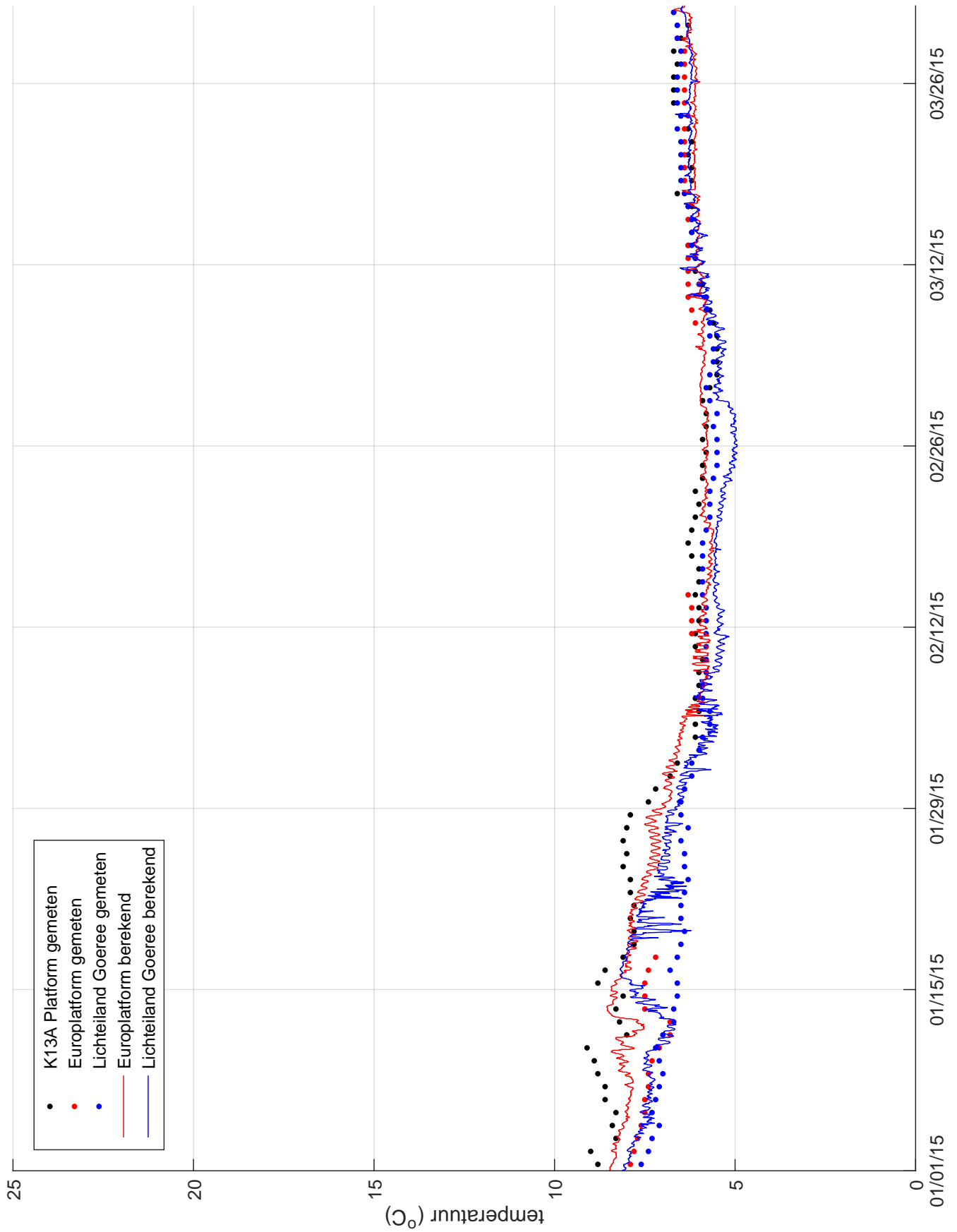


Ligging Waterbase-stations oppervlaktetemperatuur

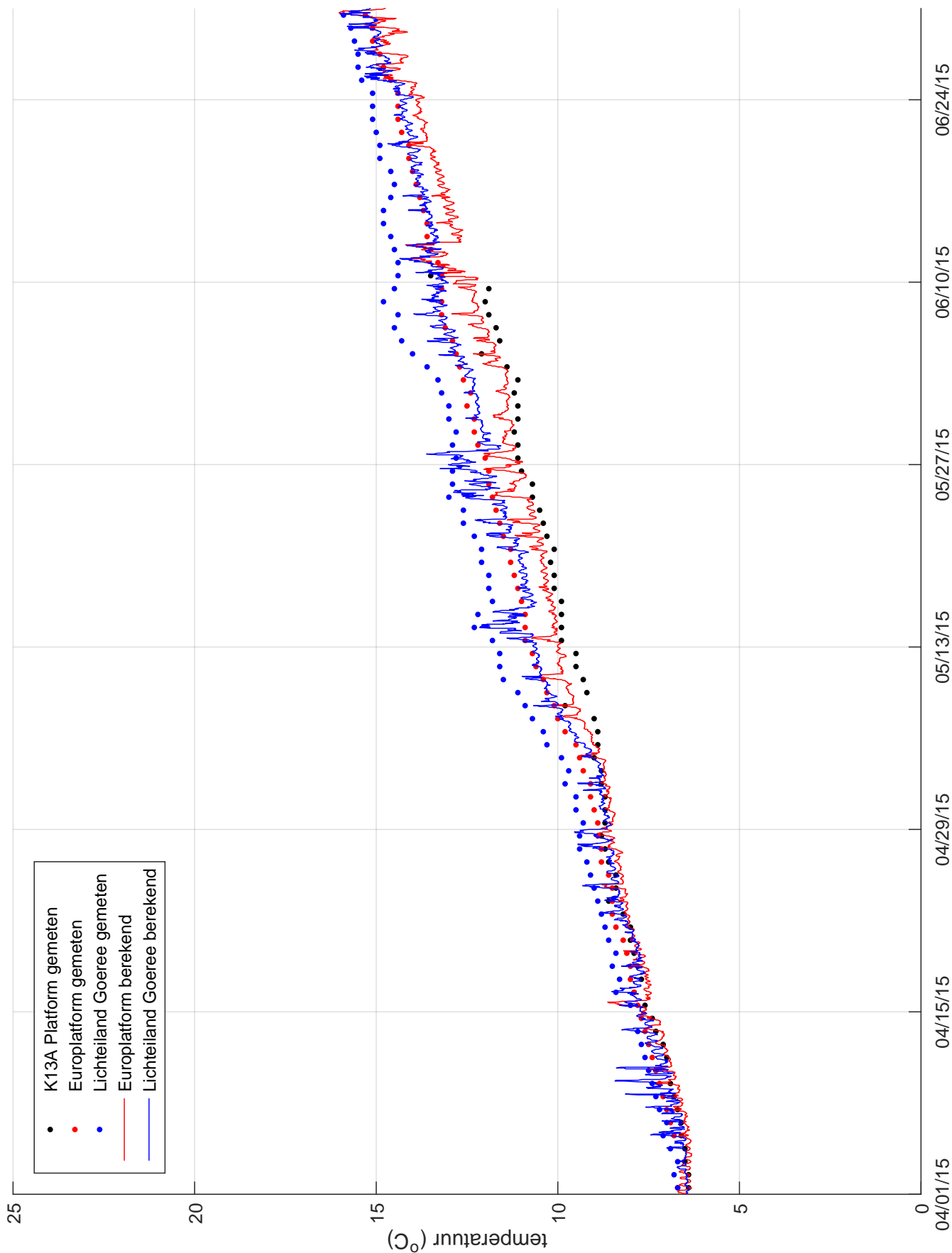
matlabfilename

C03041.002127

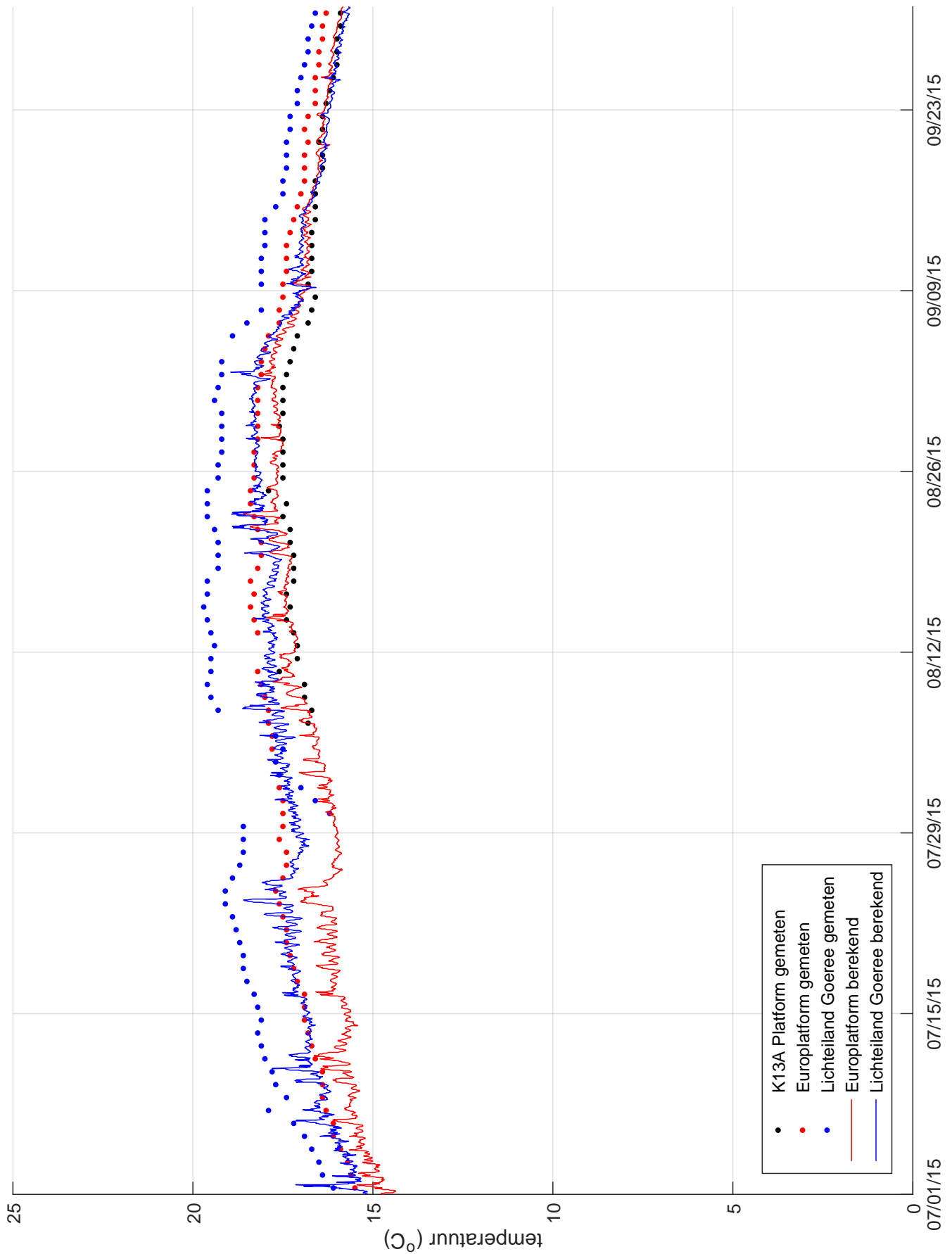
Fig. A.6



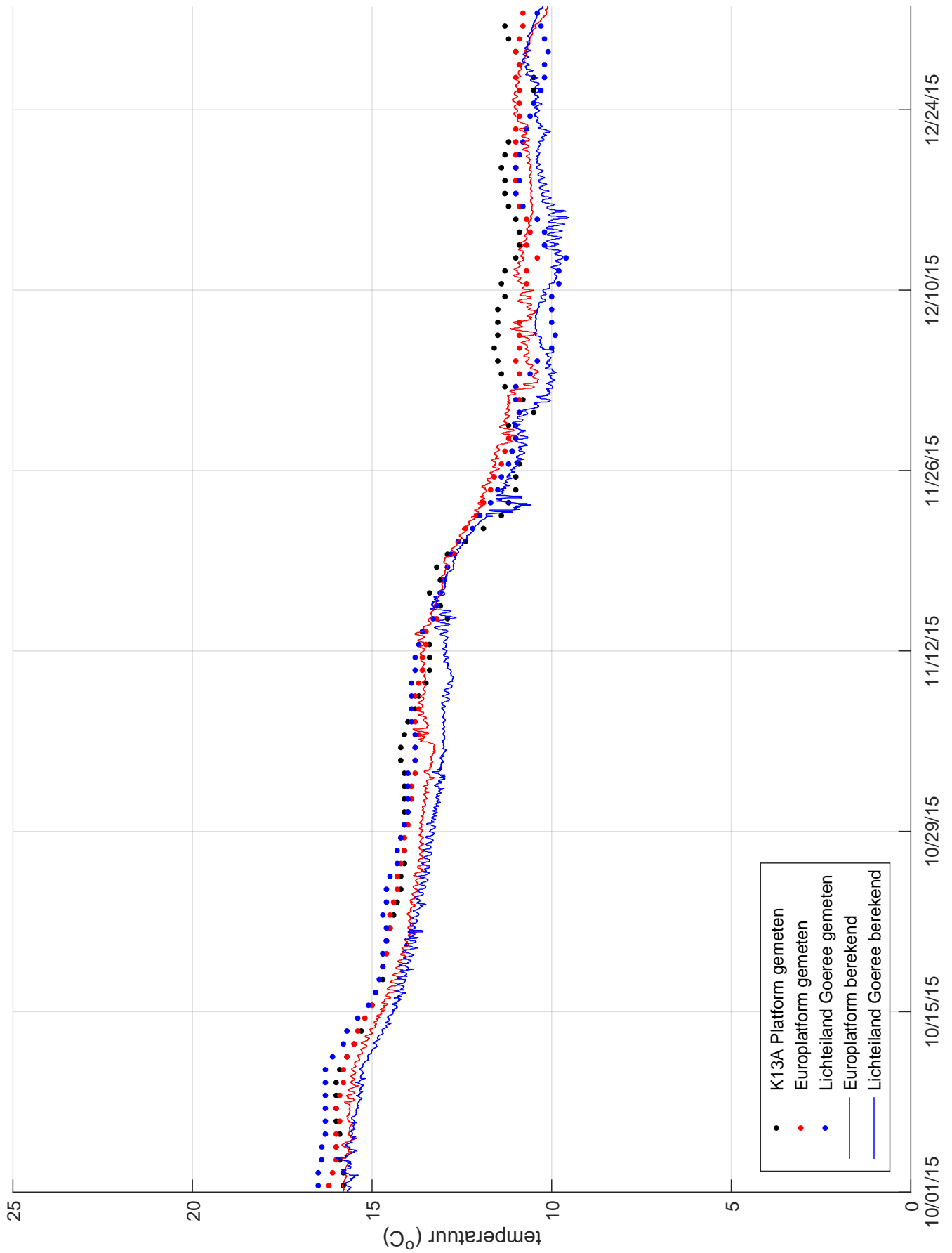
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
 oppervlaktetemperatuur 1e kwartaal 2015, Waterbase-
 stations Europlatf. en L.E.Goeree en de randvoorwaarde K13A Platf.



Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
 oppervlaktetemperatuur 2e kwartaal 2015, Waterbase-
 stations Europlatt. en L.E.Goeree en de randvoorwaarde K13A Platt.



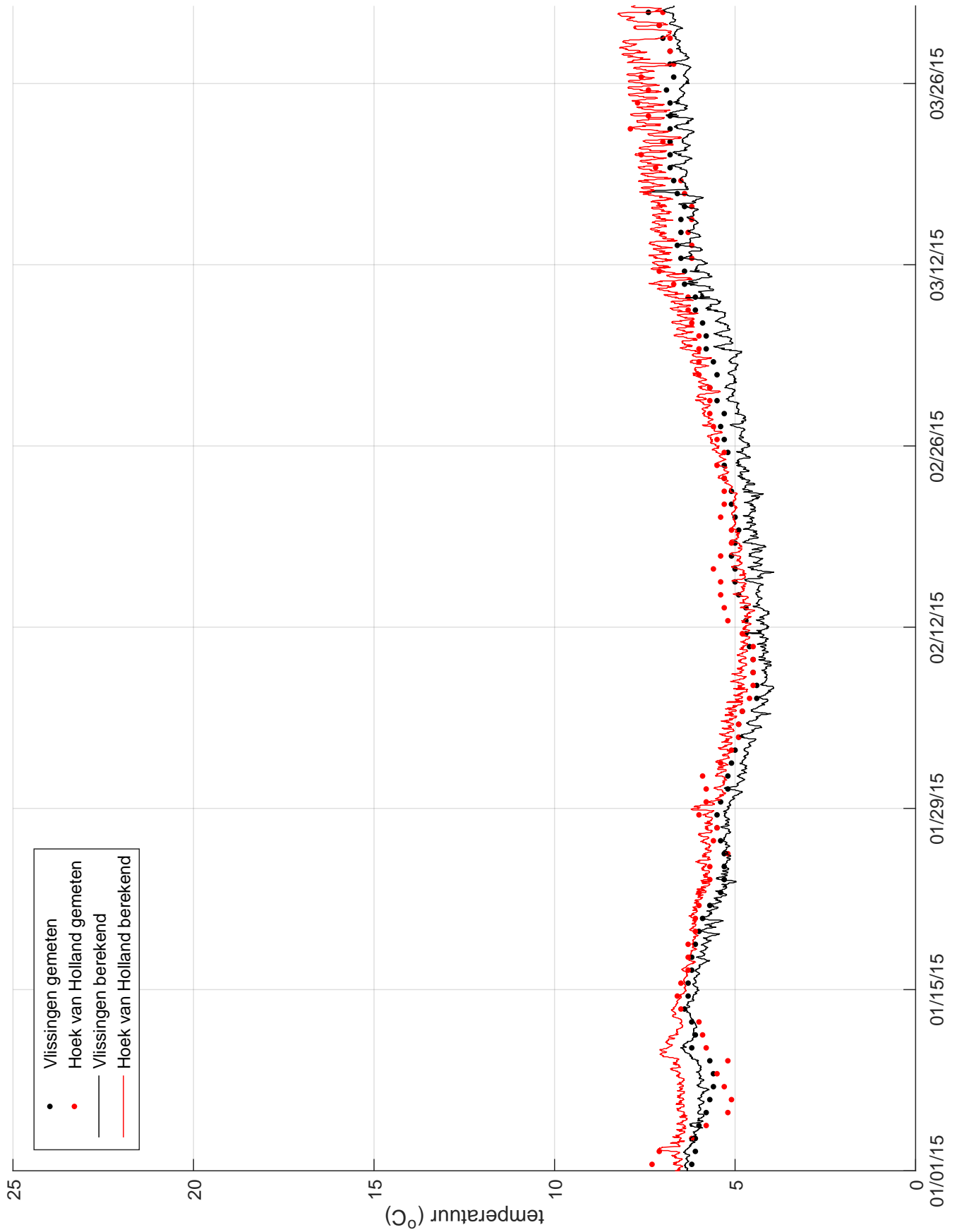
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlaktetemperatuur 3e kwartaal 2015, Waterbase-stations Europlattf. en L.E.Goeree en de randvoorwaarde K13A Plattf.



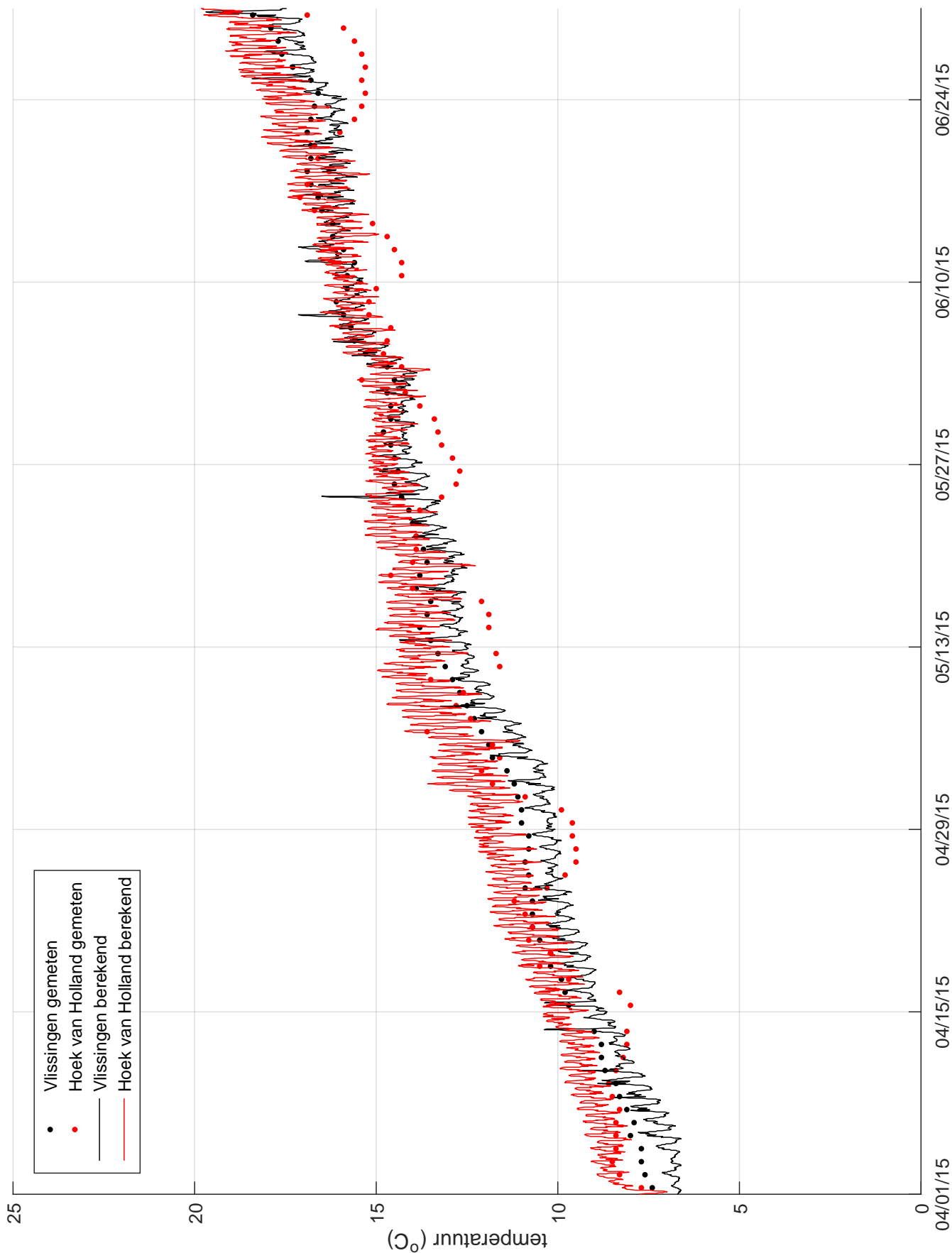
• K13A Plattorm gemeten
 • Europlattorm gemeten
 • Lichteiland Goeree gemeten
 — Europlattorm berekend
 — Lichteiland Goeree berekend

Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlaktetemperatuur 4e kwartaal 2015, Waterbase-stations Europlatt. en L.E.Goeree en de randvoorwaarde K13A Platt.

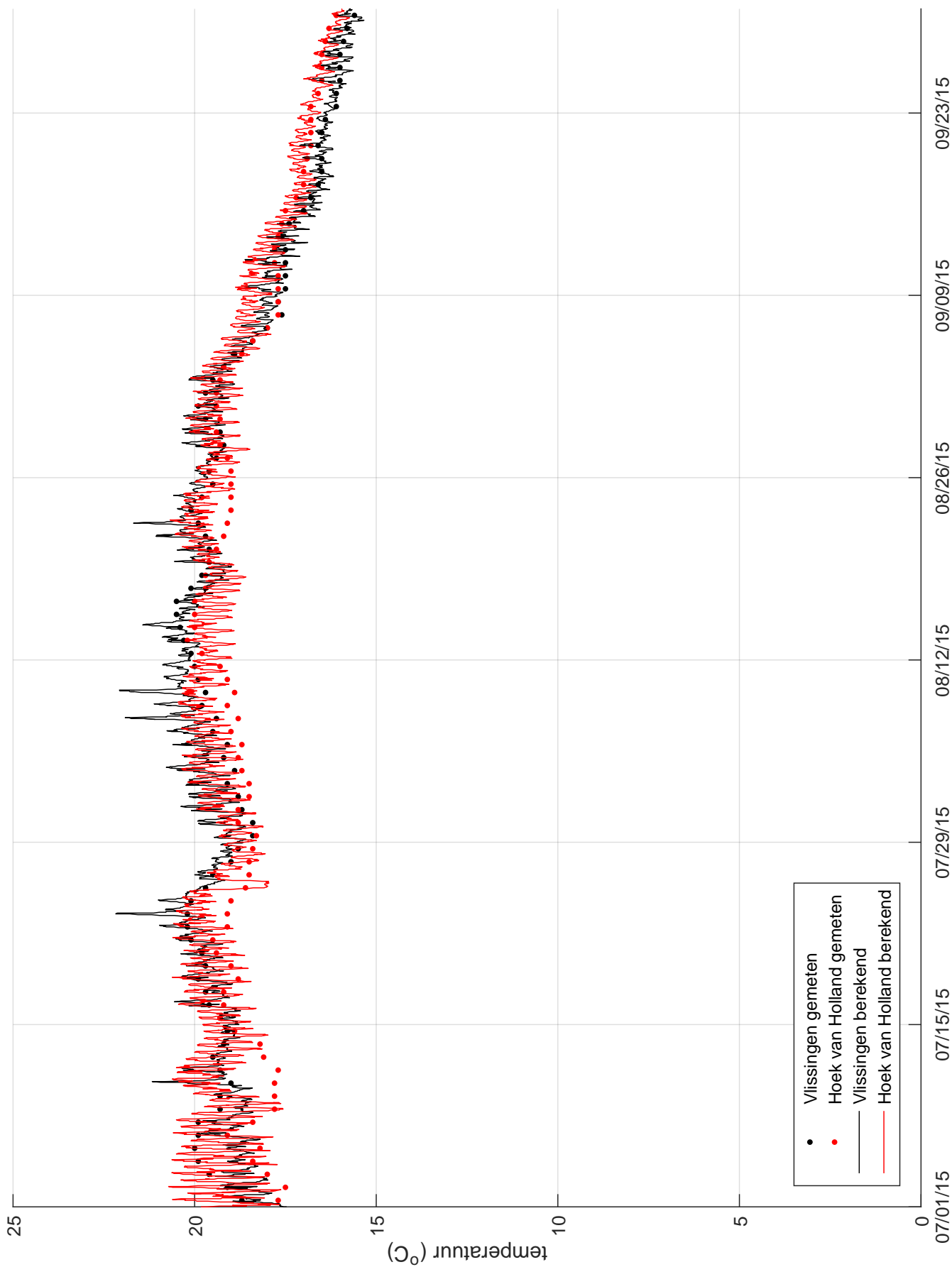
telegraf_fig_r1



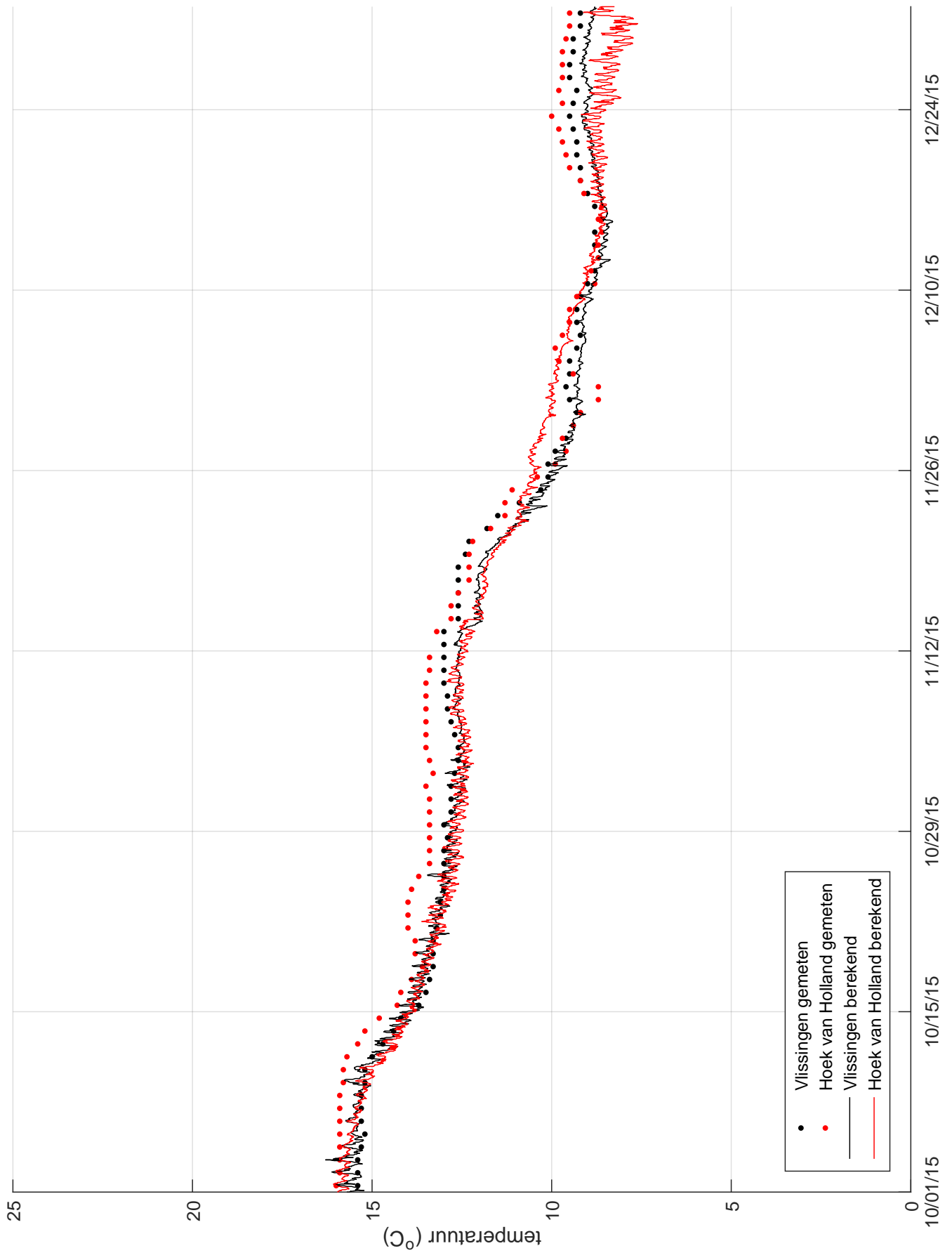
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlaktetemperatuur 1e kwartaal 2015, Waterbase-stations Vlissingen en Hoek van Holland



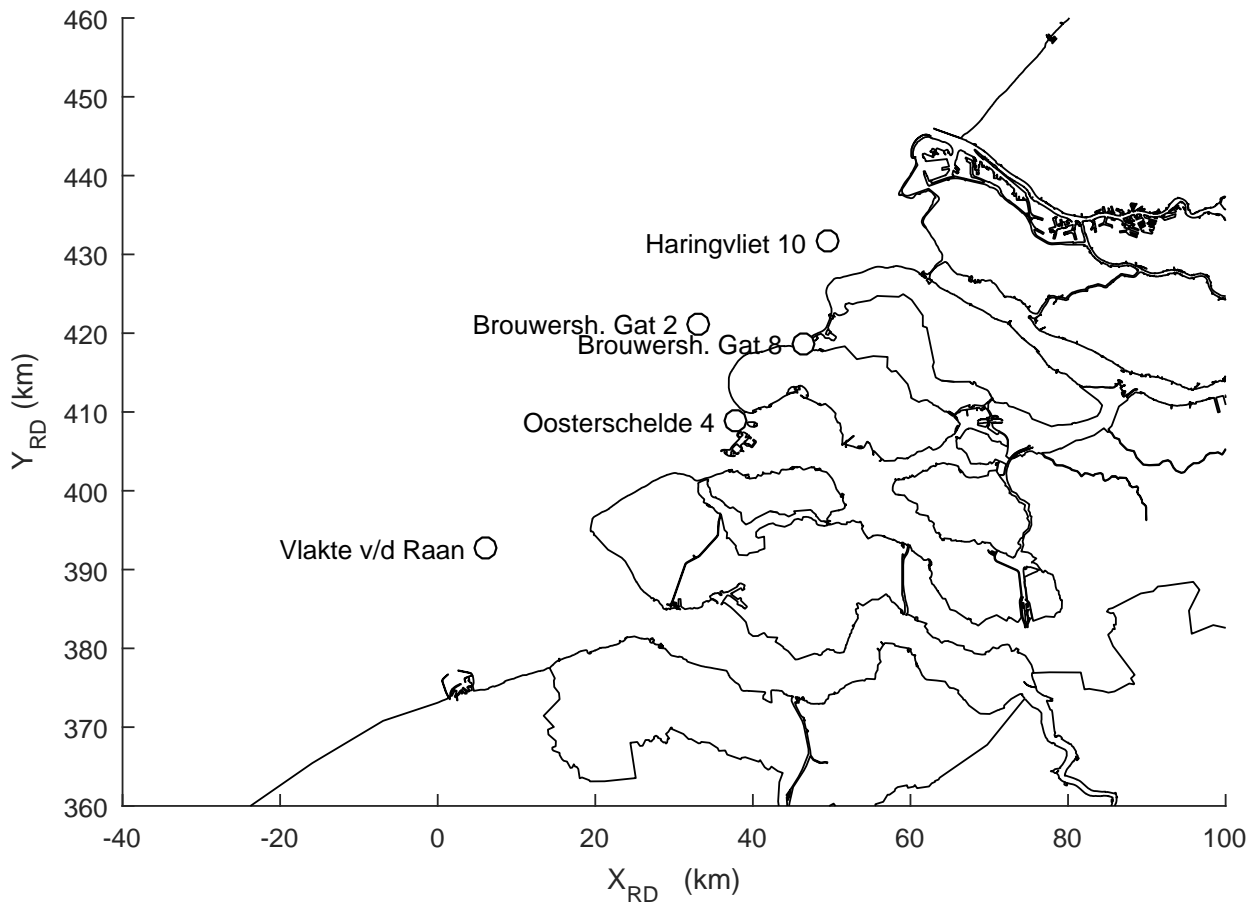
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlaktetemperatuur 2e kwartaal 2015, Waterbase-stations Vlissingen en Hoek van Holland



Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlaktetemperatuur 3e kwartaal 2015, Waterbase-stations Vlissingen en Hoek van Holland



Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlaktetemperatuur 4e kwartaal 2015, Waterbase-stations Vlissingen en Hoek van Holland

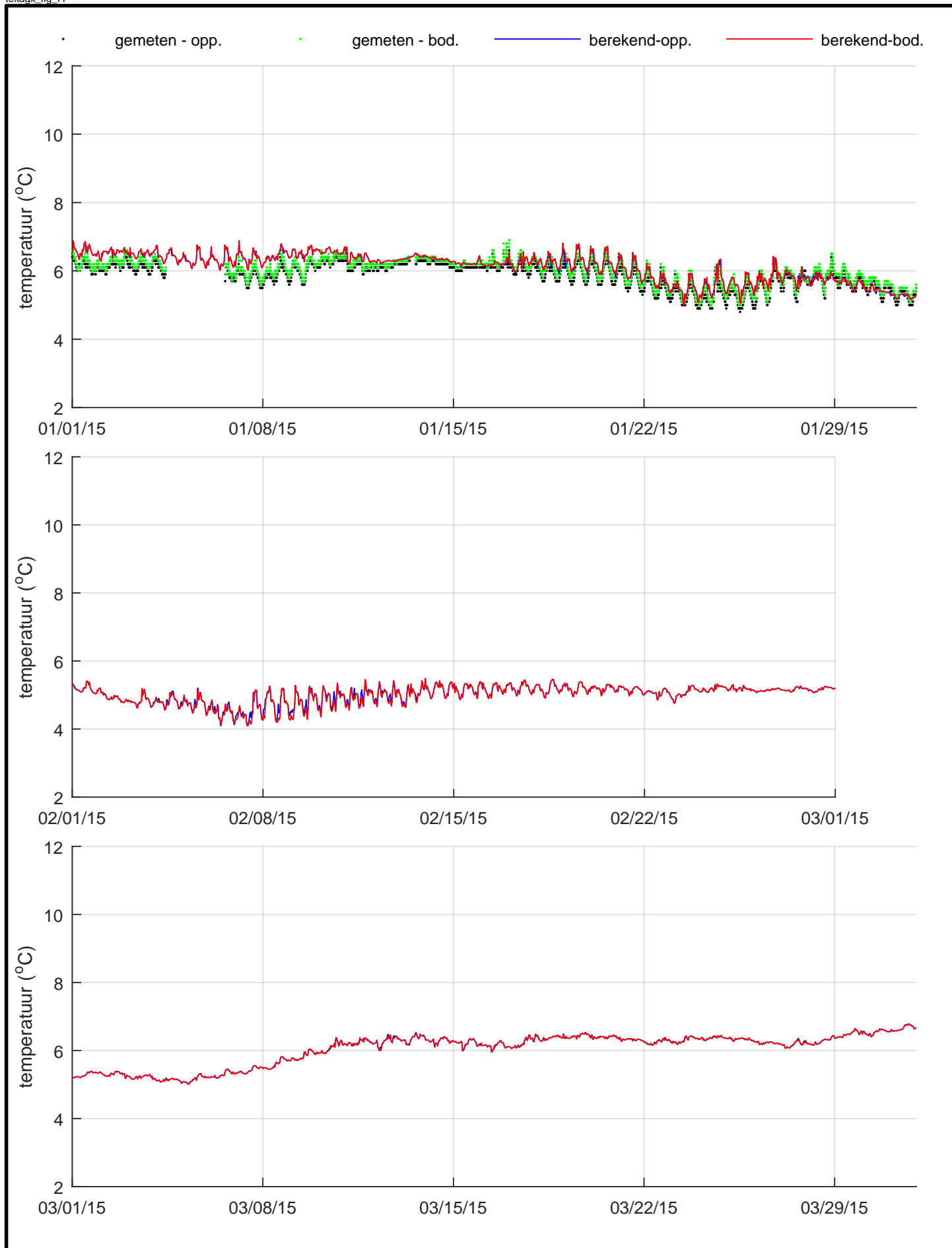


Ligging Zege-stations temperatuur en saliniteit

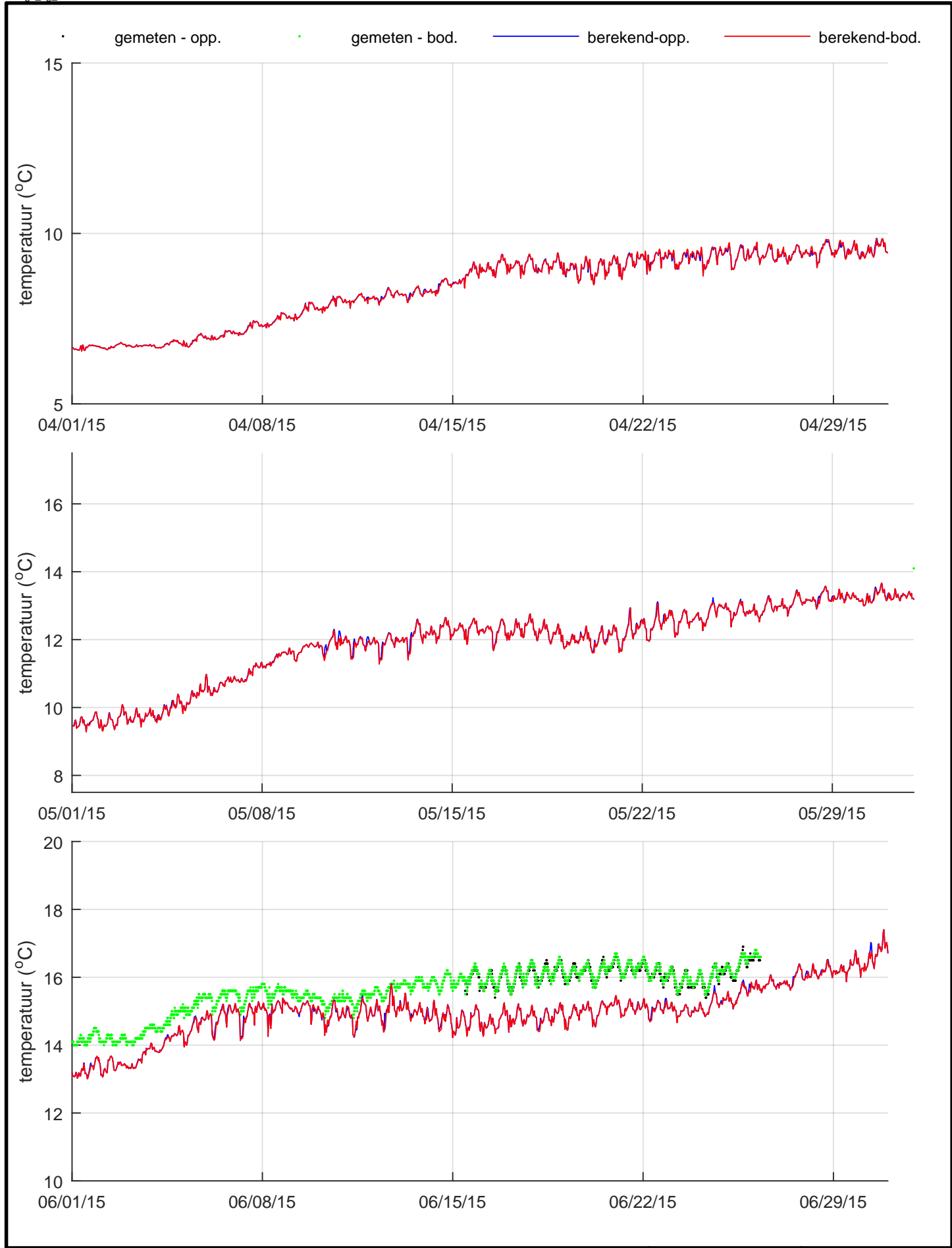
matlabfilename

C03041.002127

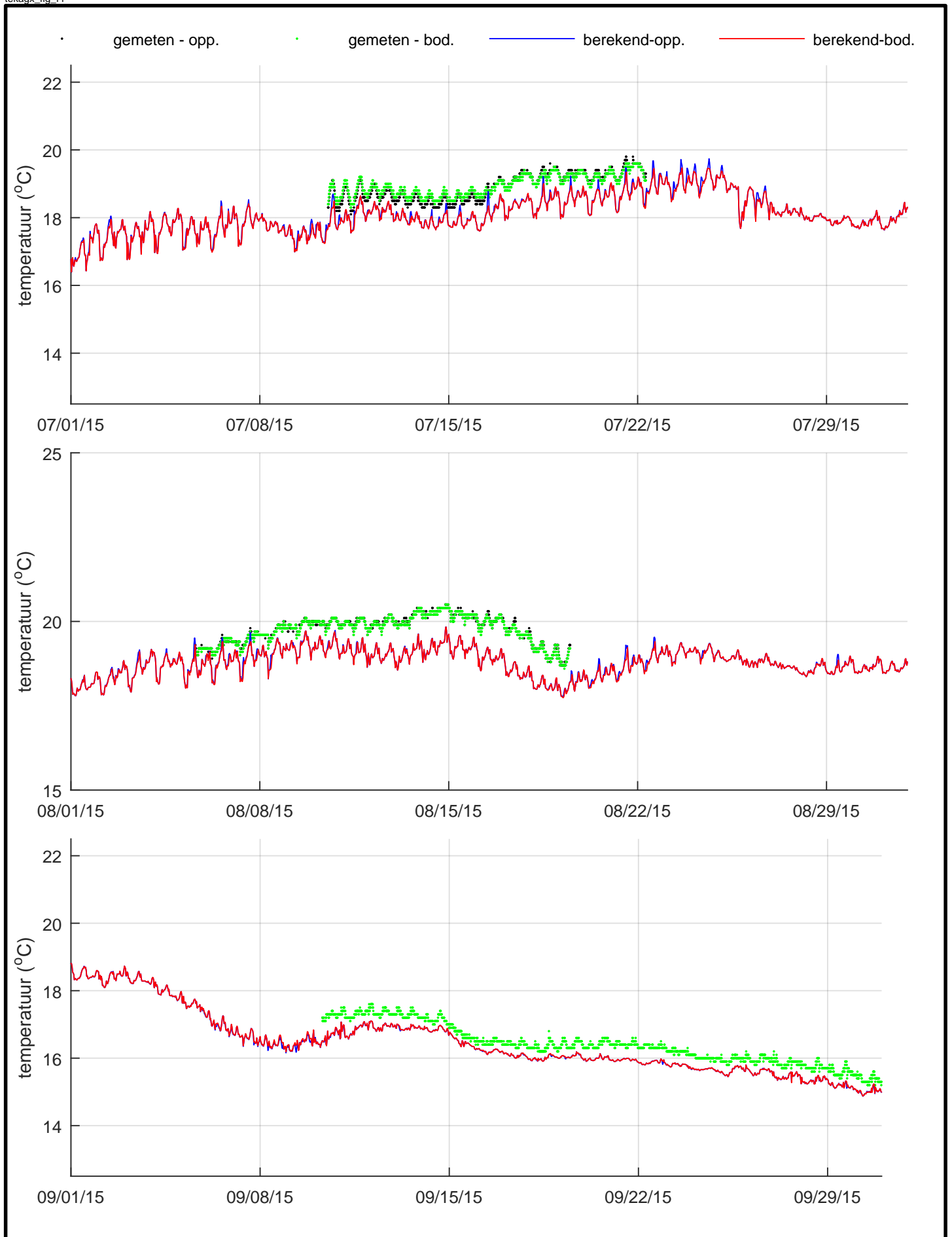
Fig. A.15



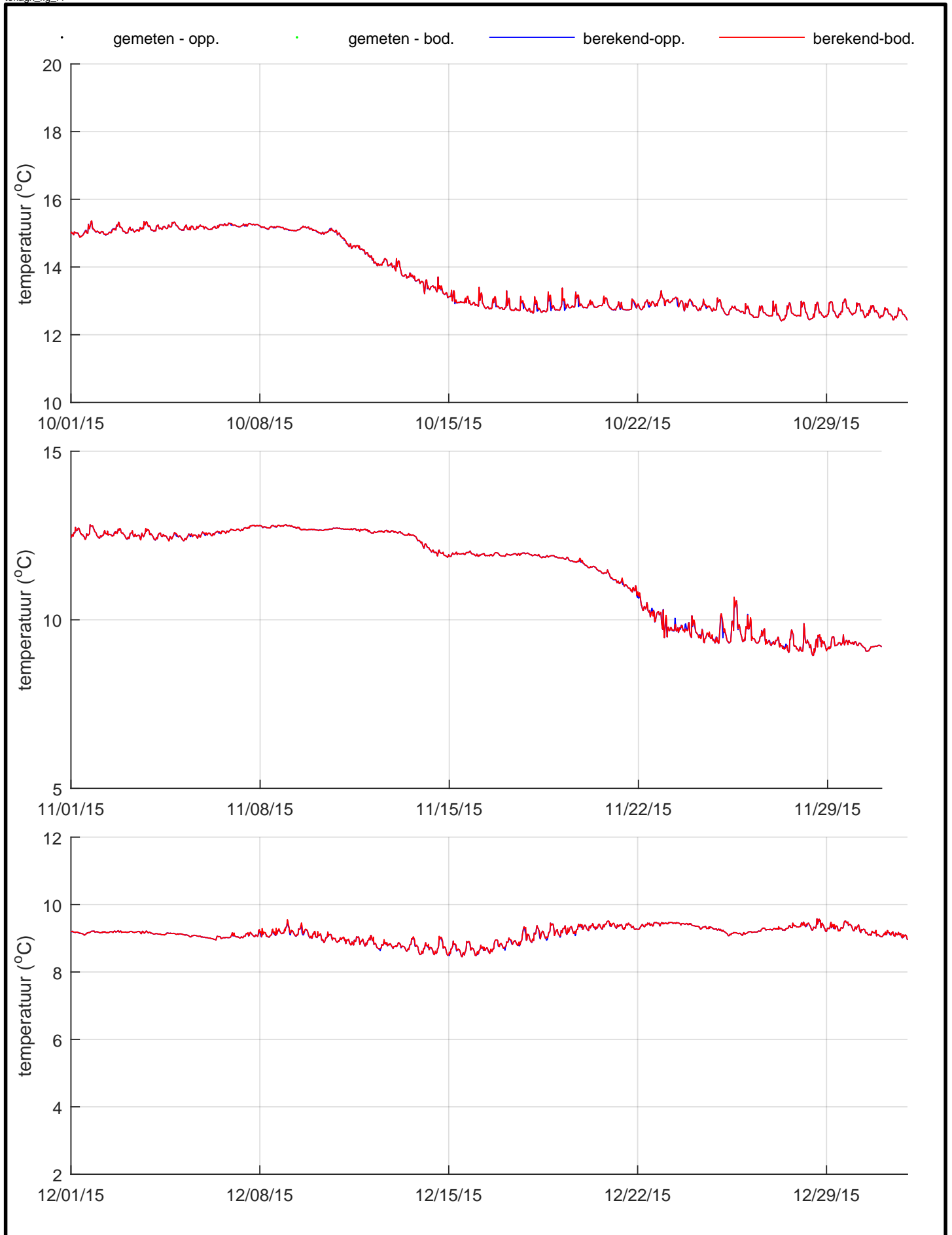
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemtemperatuur 1e kwartaal 2015, Zege-
station Oosterschelde 4



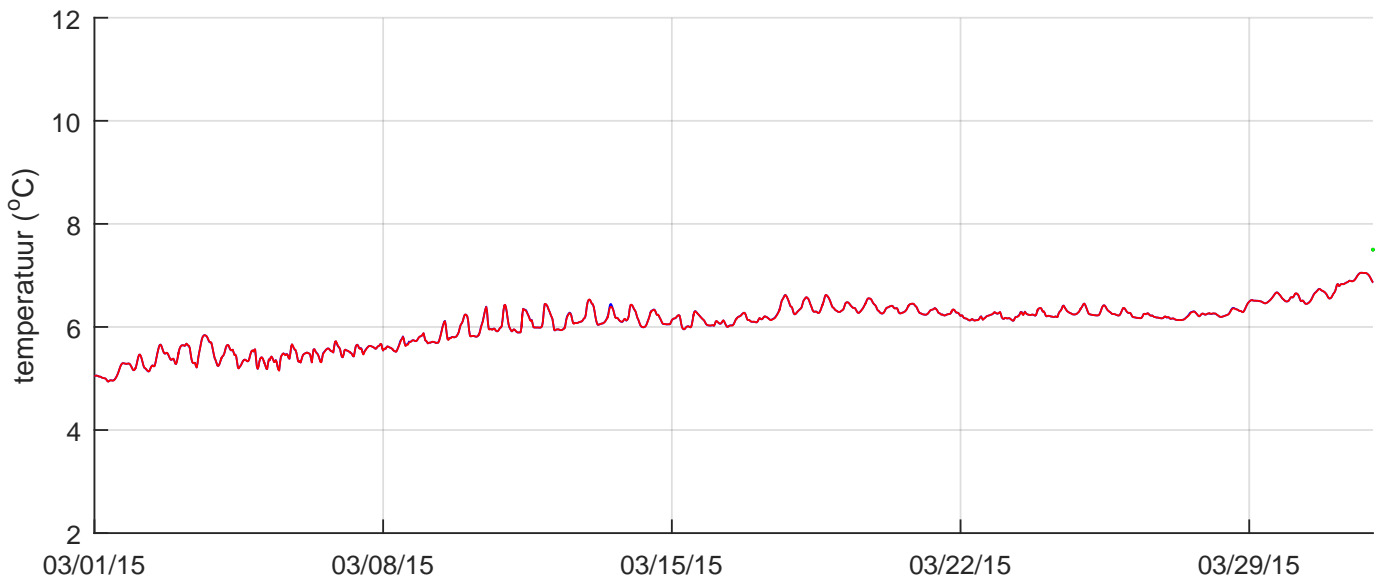
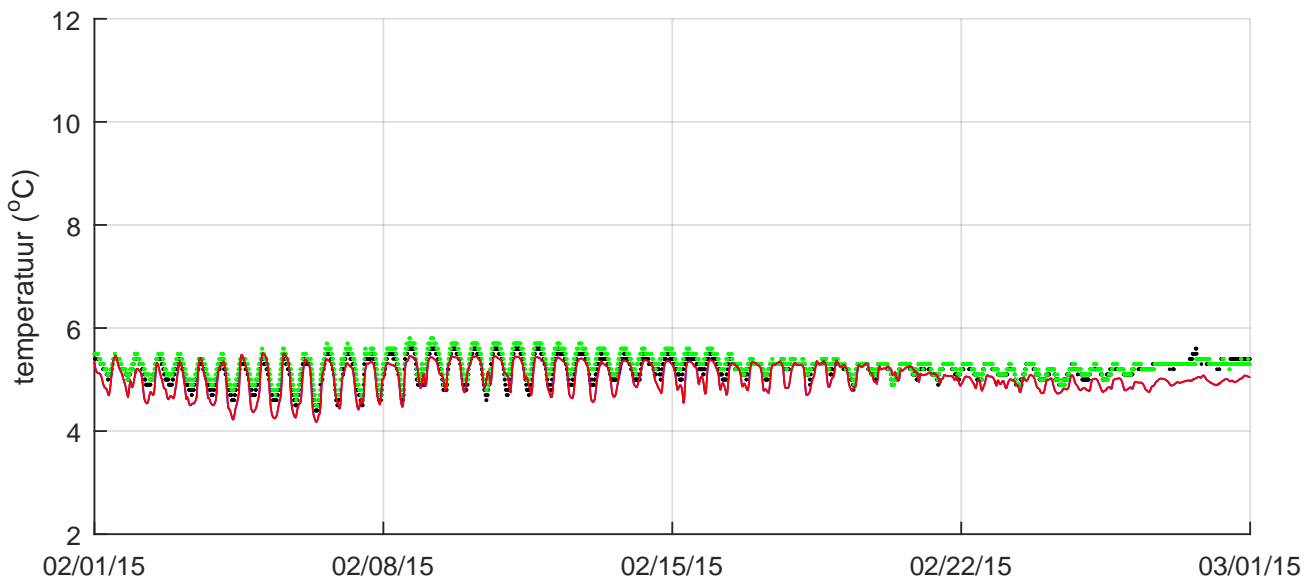
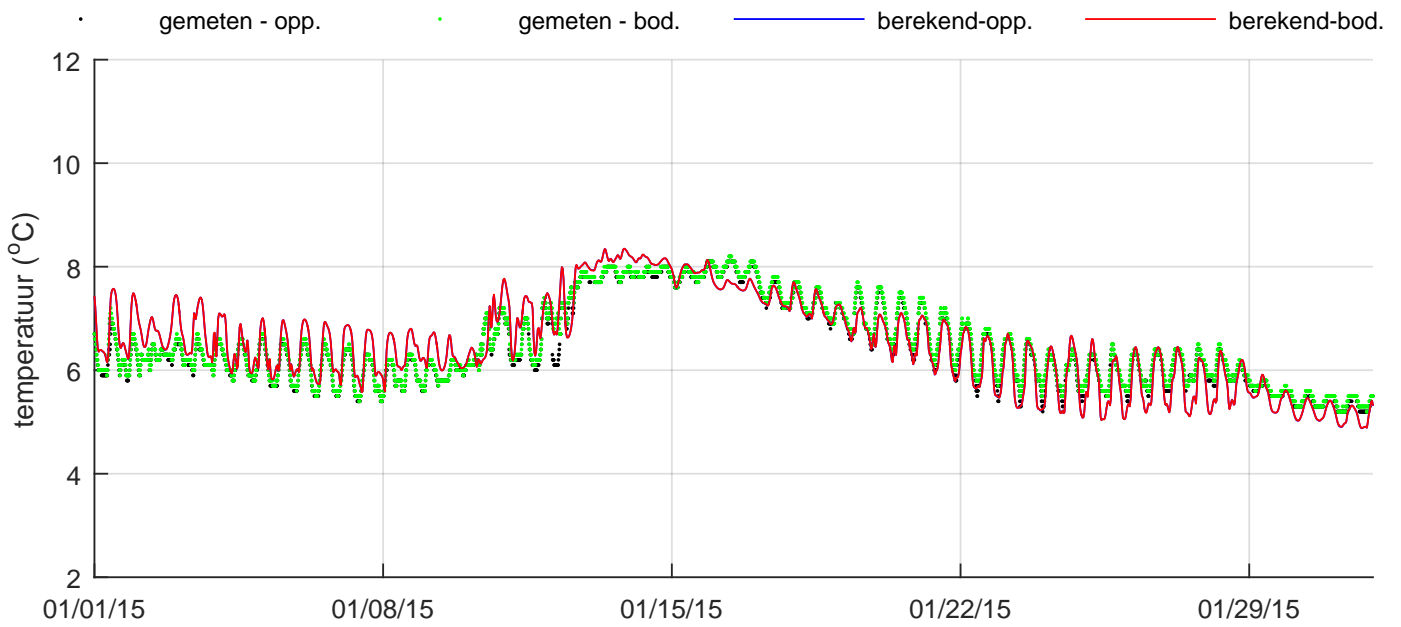
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemtemperatuur 2e kwartaal 2015, Zege-station Oosterschelde 4



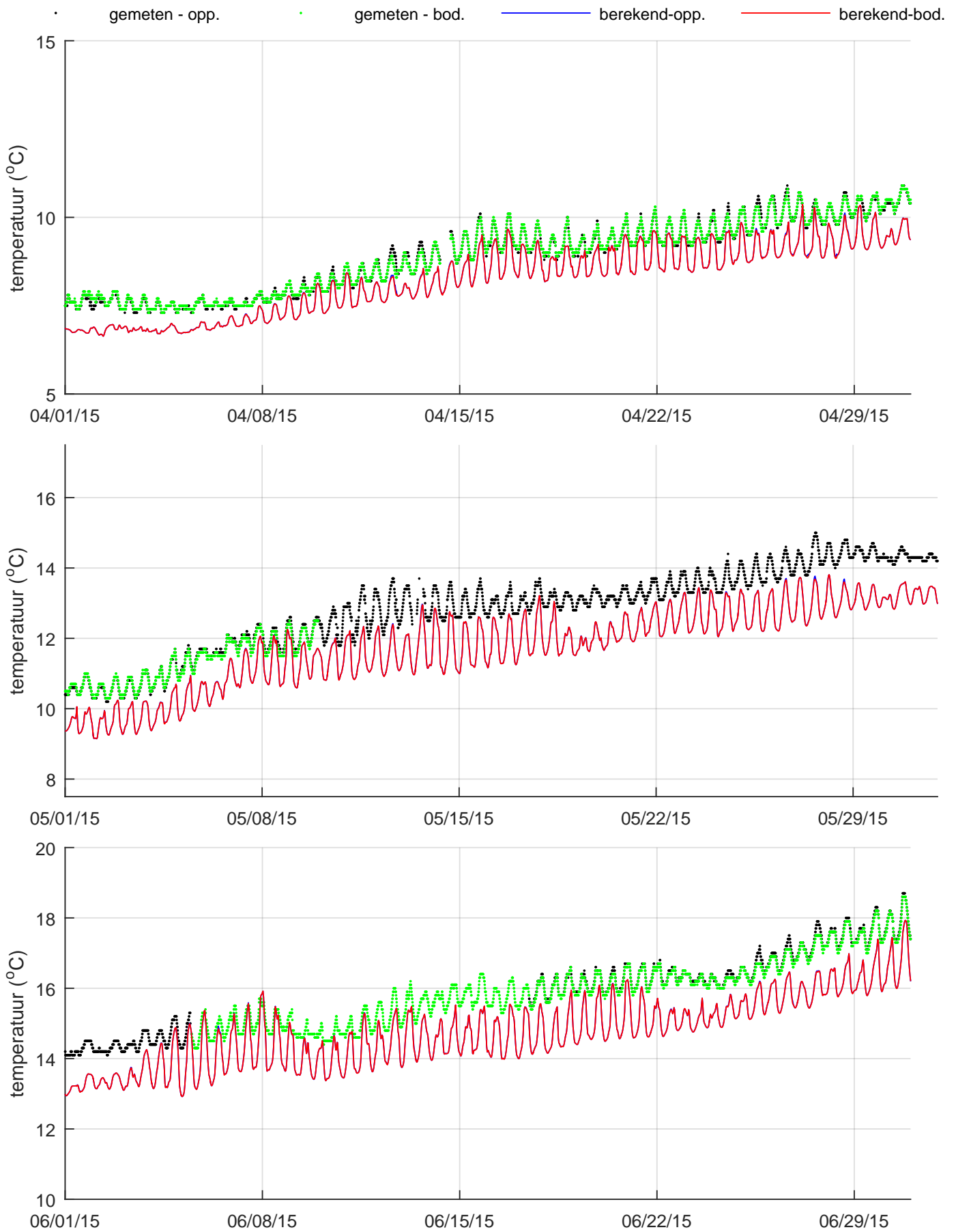
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemtemperatuur 3e kwartaal 2015, Zege-
station Oosterschelde 4



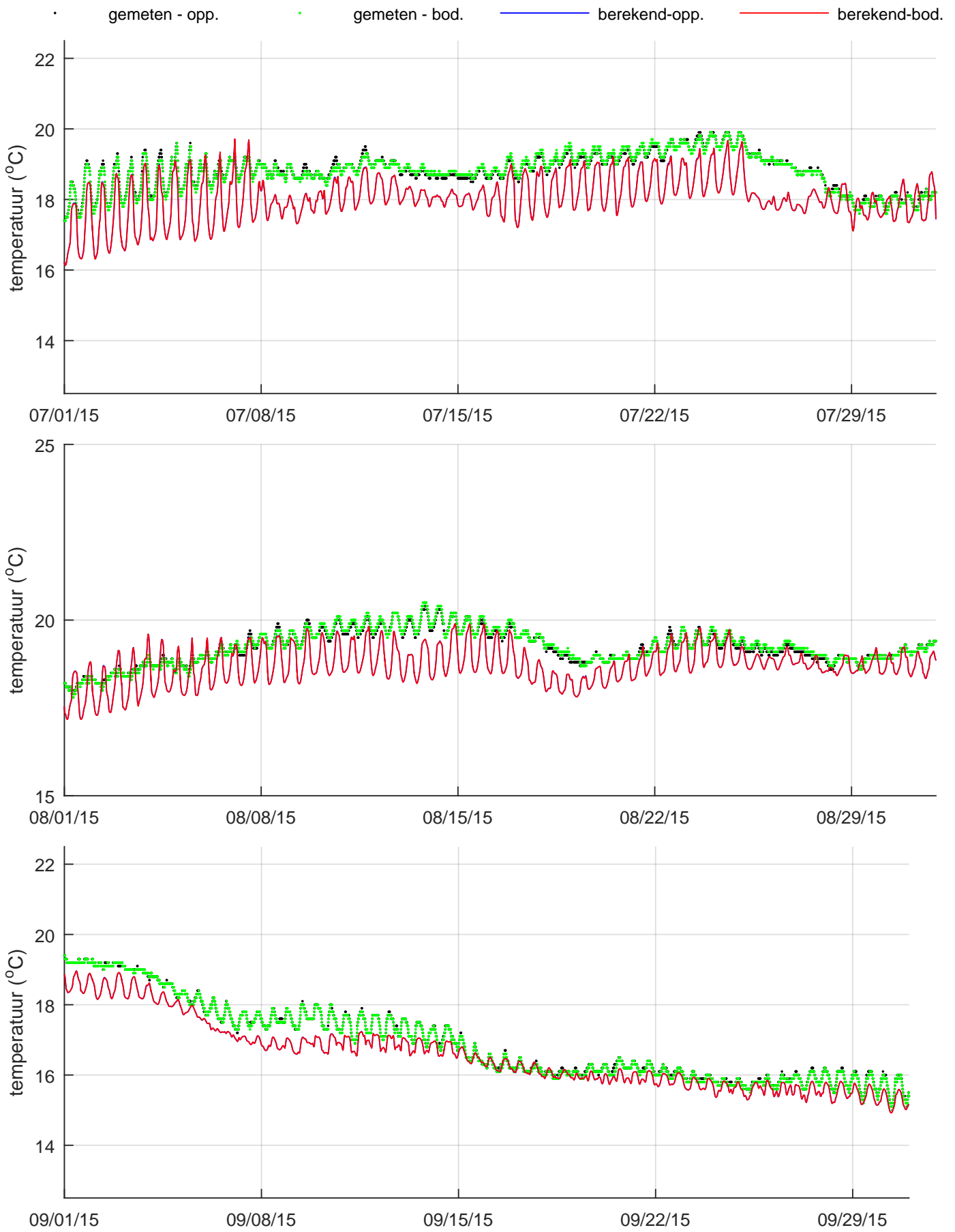
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemtemperatuur 4e kwartaal 2015, Zege-
station Oosterschelde 4



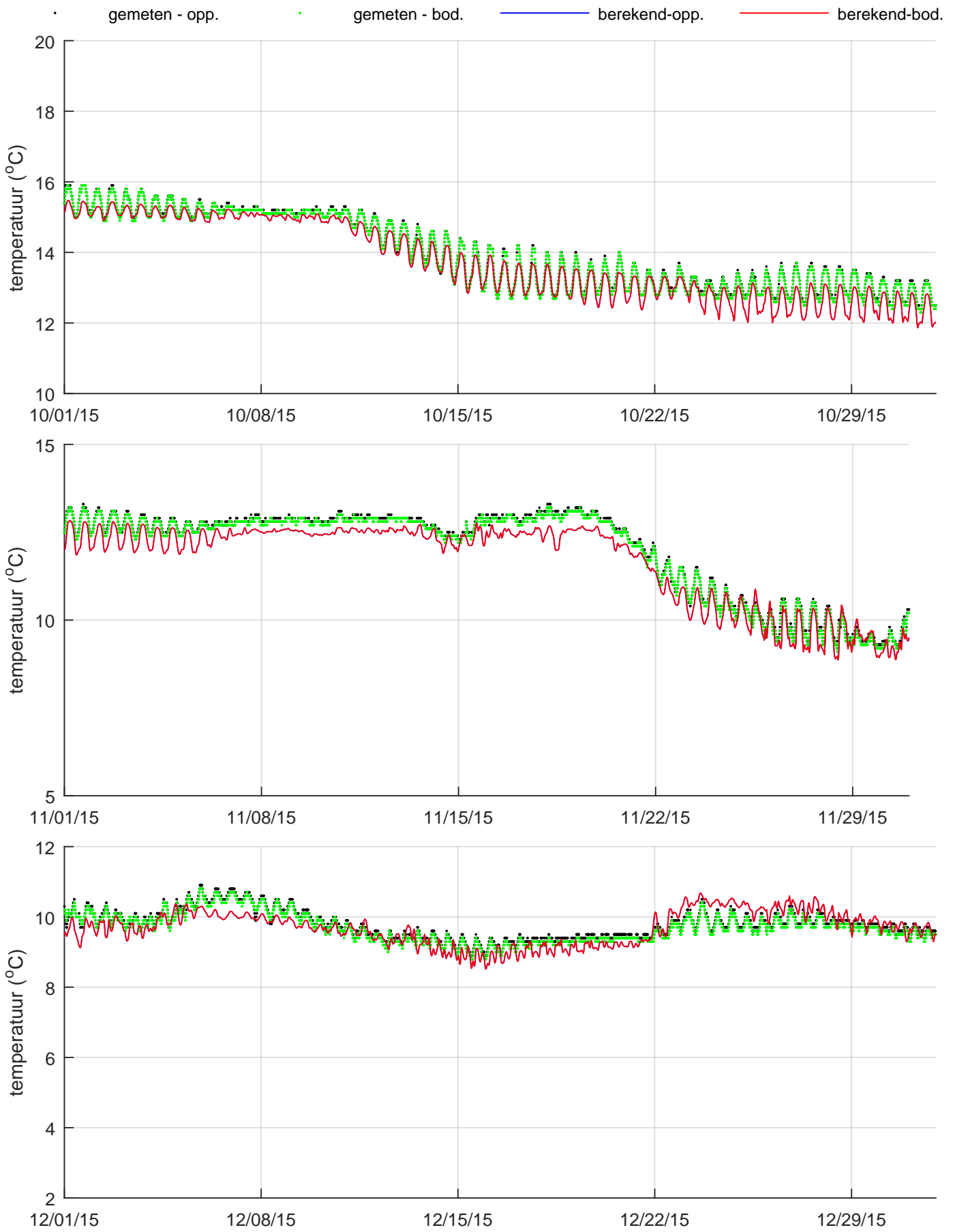
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemtemperatuur 1e kwartaal 2015, Zege-station Vlake van de Raan



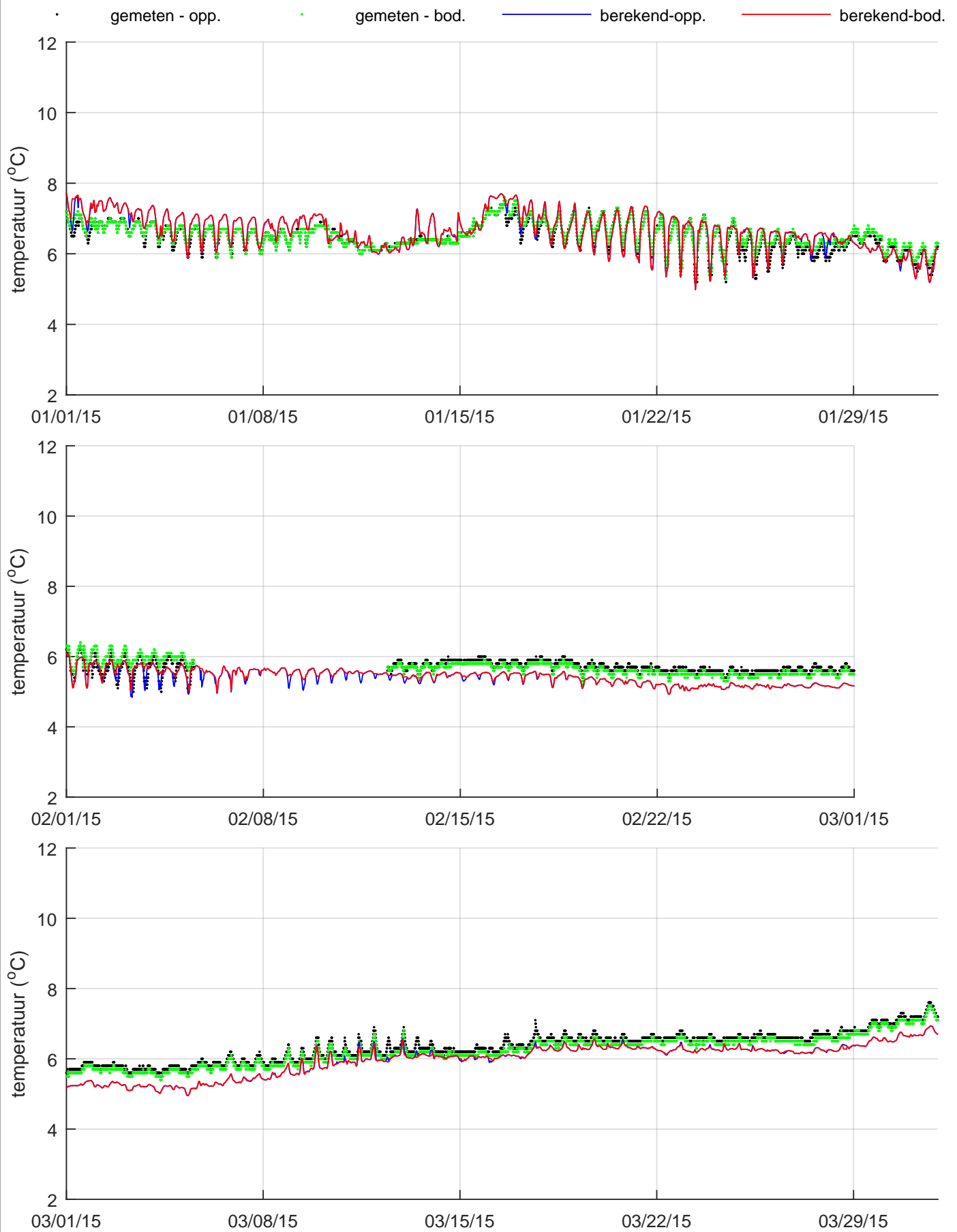
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemtemperatuur 2e kwartaal 2015, Zege-
station Vlakte van de Raan



Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemtemperatuur 3e kwartaal 2015, Zege-station Vlakte van de Raan



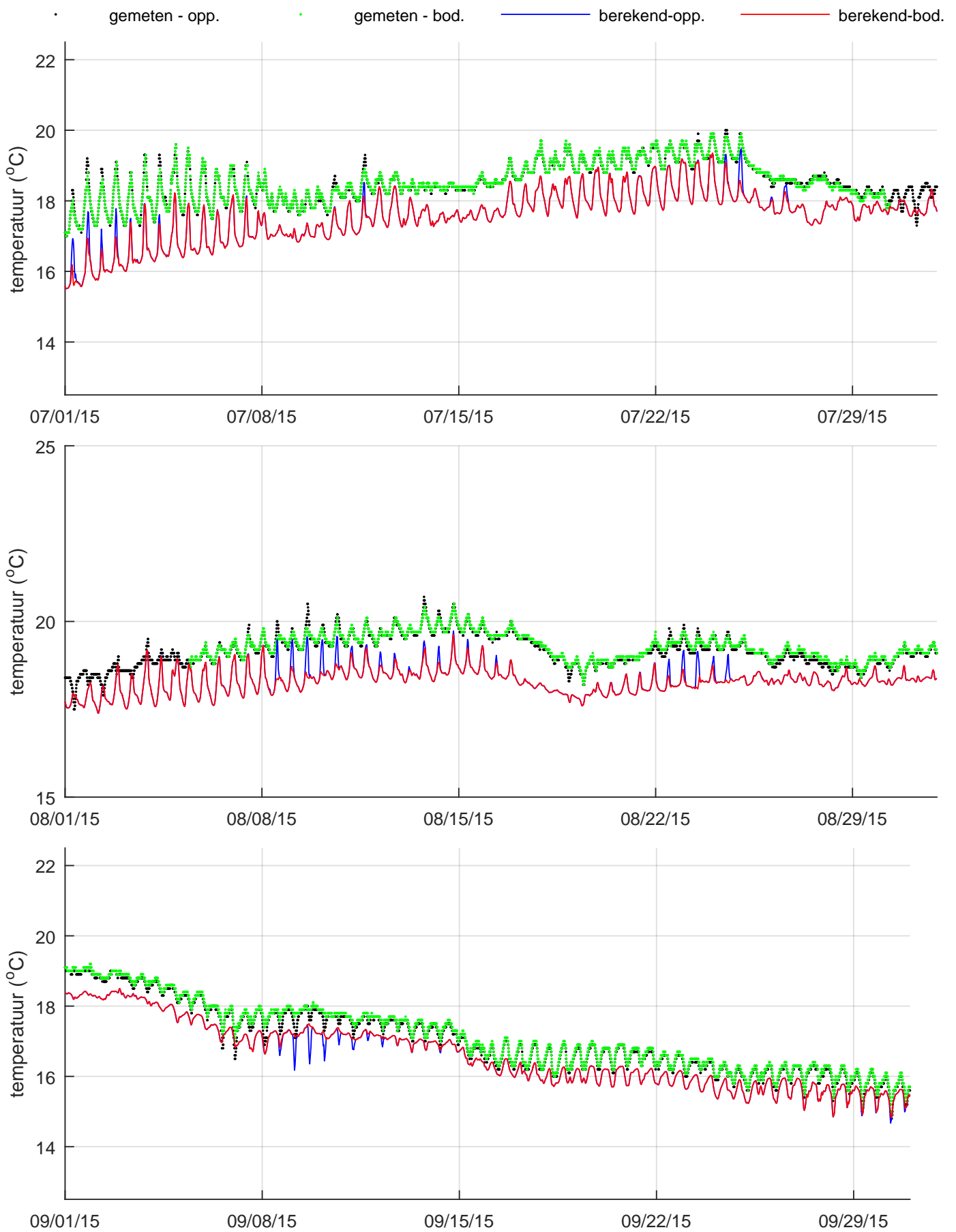
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
 oppervlakte- en bodtemperatuur 4e kwartaal 2015, Zege-
 station Vlake van de Raan



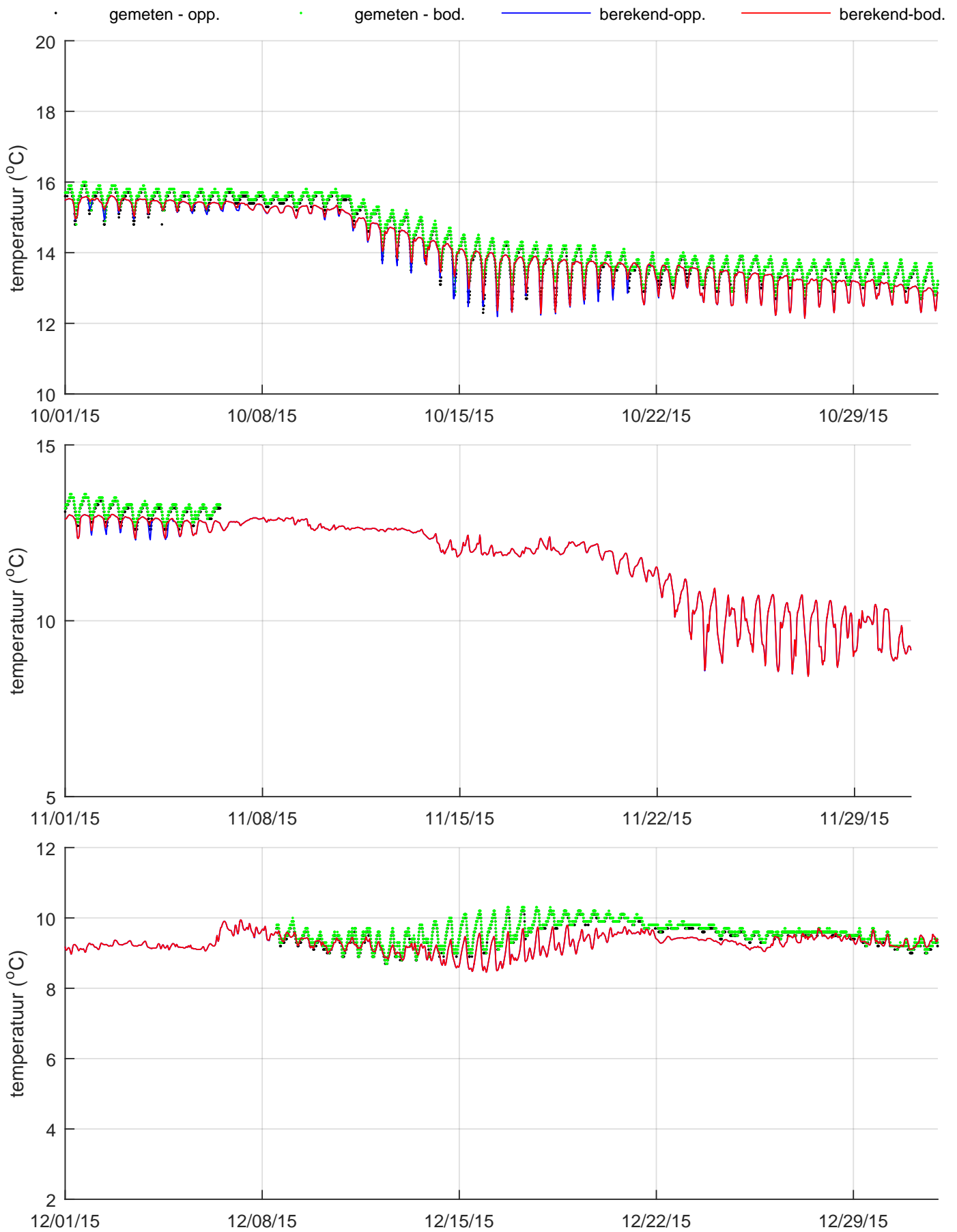
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemtemperatuur 1e kwartaal 2015, Zege-
station Brouwershavensche Gat 2



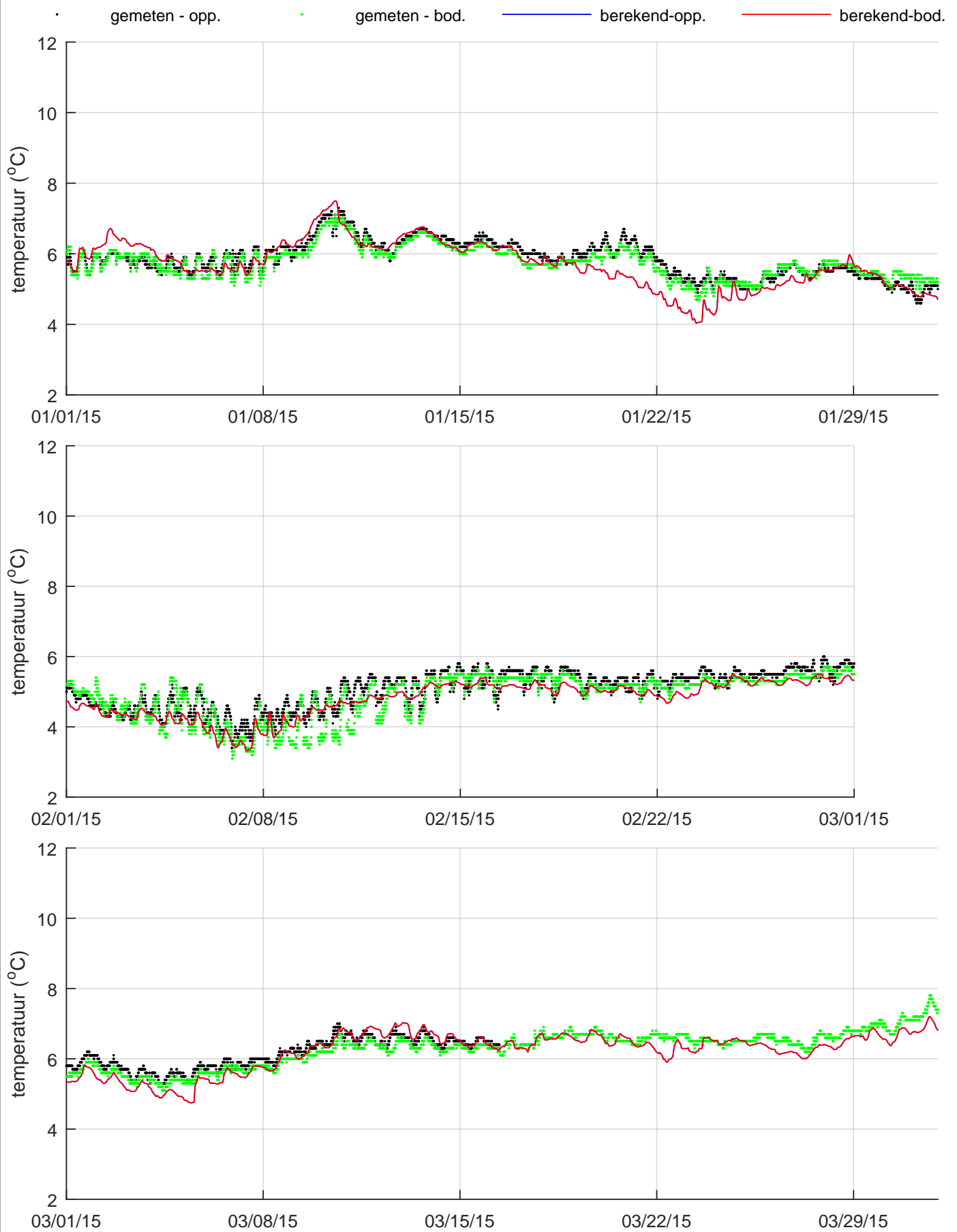
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemtemperatuur 2e kwartaal 2015, Zege-
station Brouwershavensche Gat 2



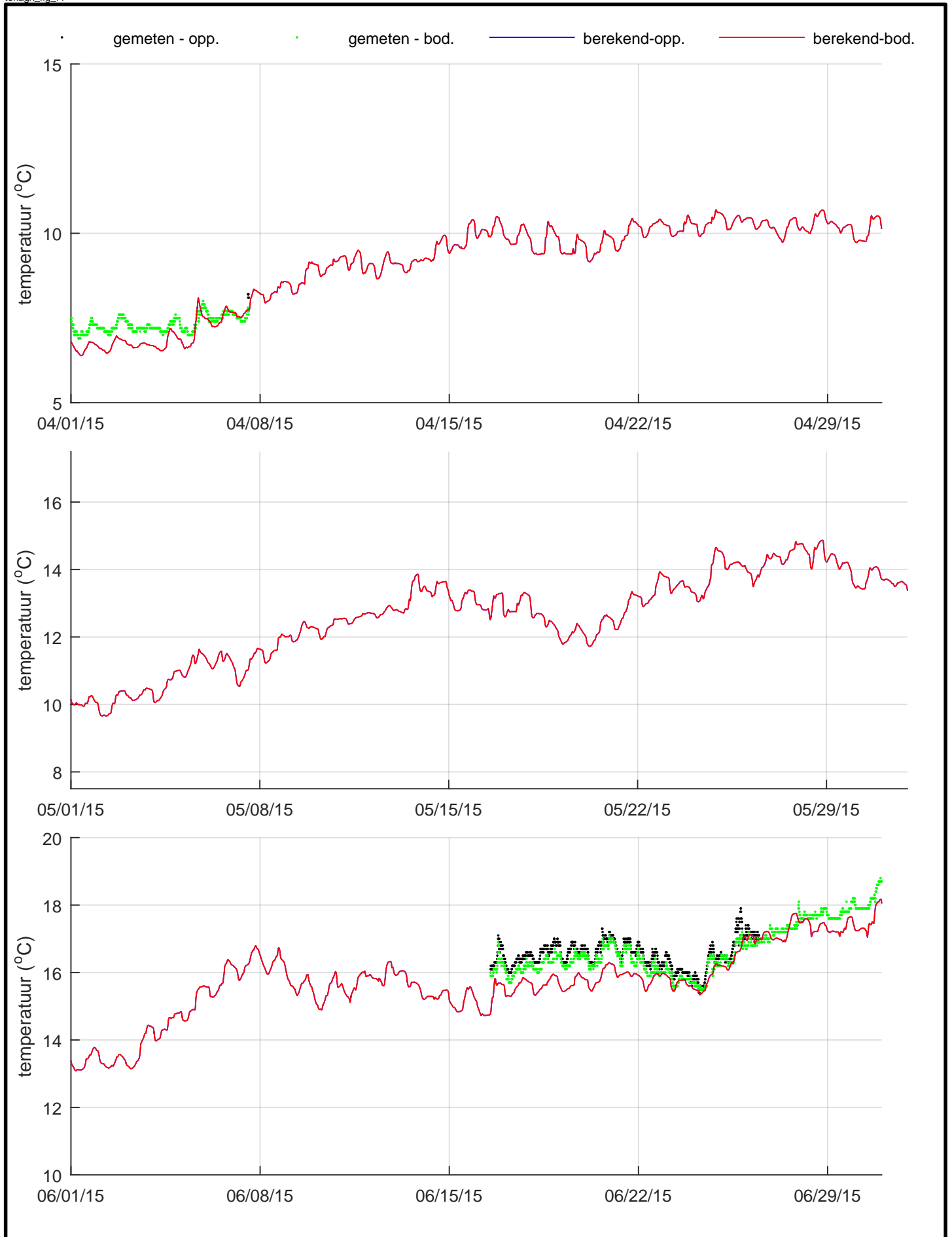
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemtemperatuur 3e kwartaal 2015, Zege-
station Brouwershavensche Gat 2



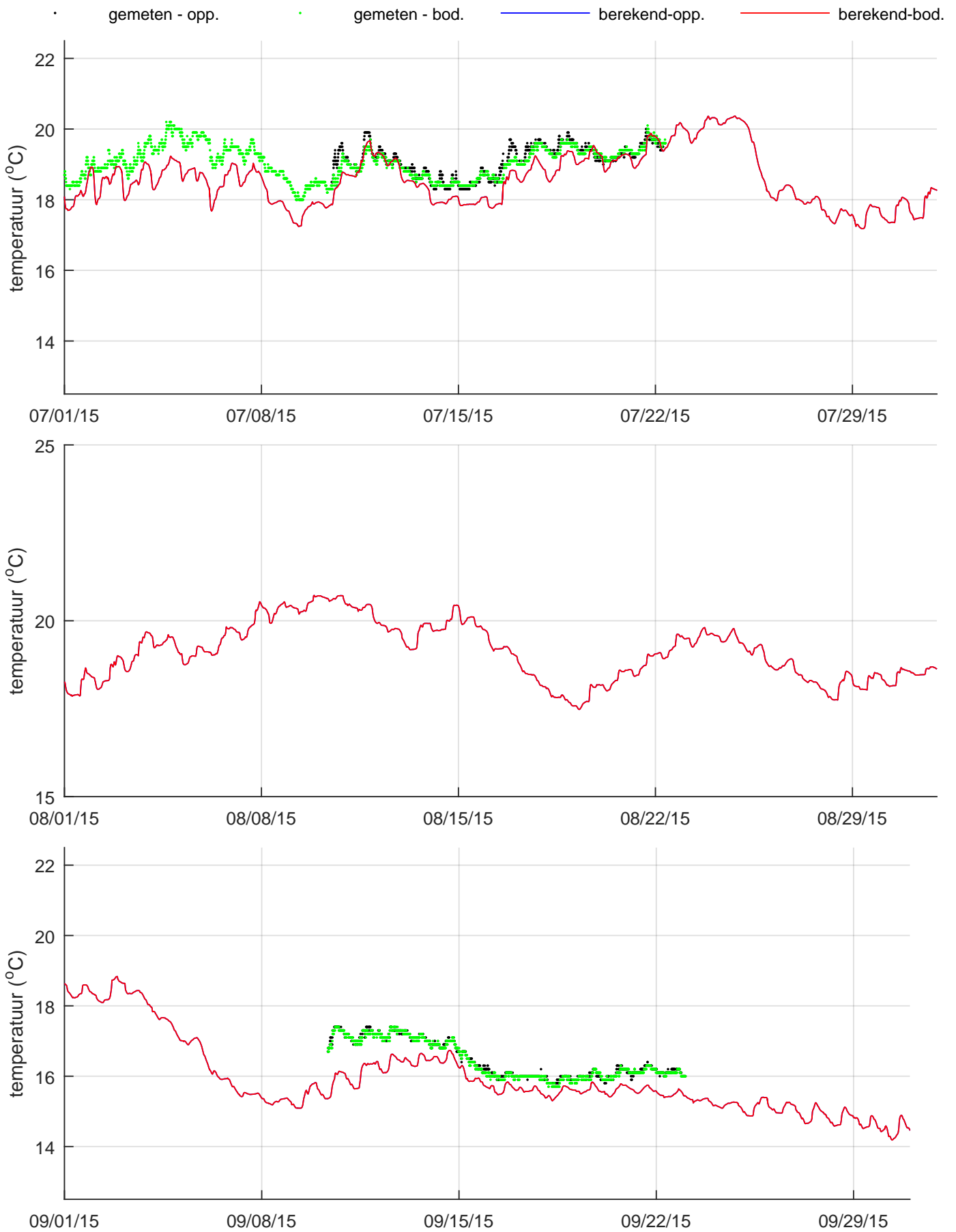
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemtemperatuur 4e kwartaal 2015, Zege-
station Brouwershavensche Gat 2



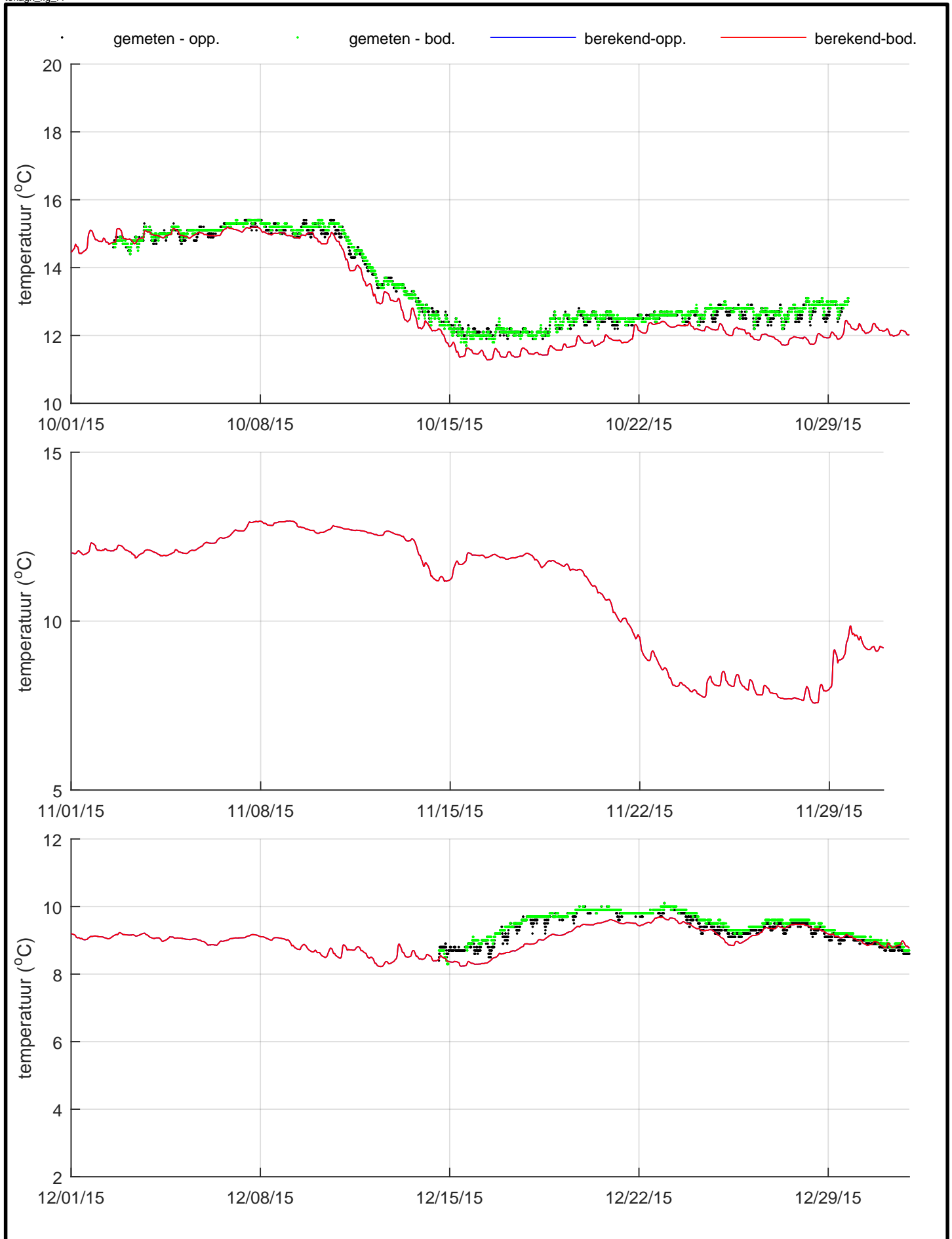
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemtemperatuur 1e kwartaal 2015, Zege-
station Brouwershavensche Gat 8



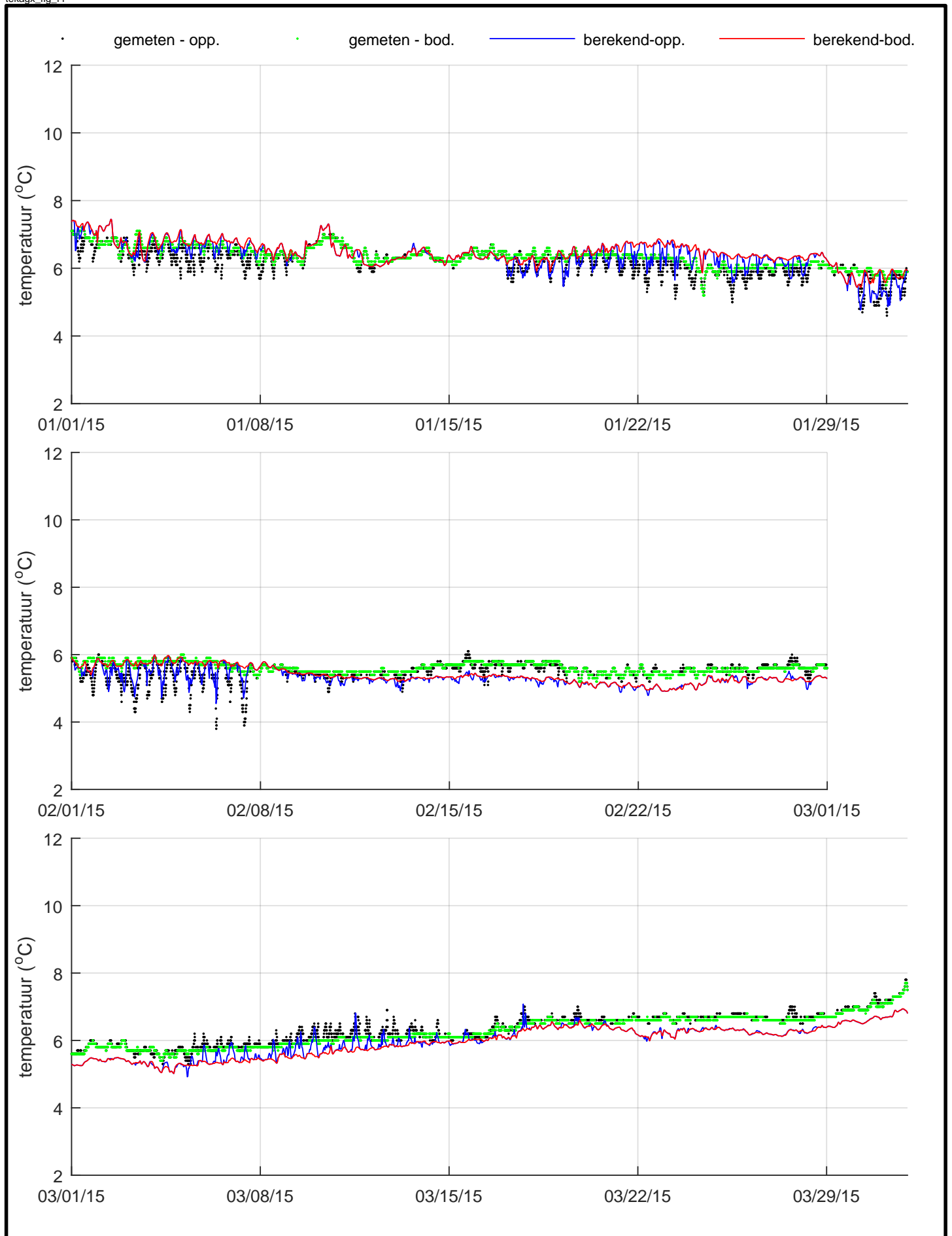
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemtemperatuur 2e kwartaal 2015, Zege-
station Brouwershavensche Gat 8



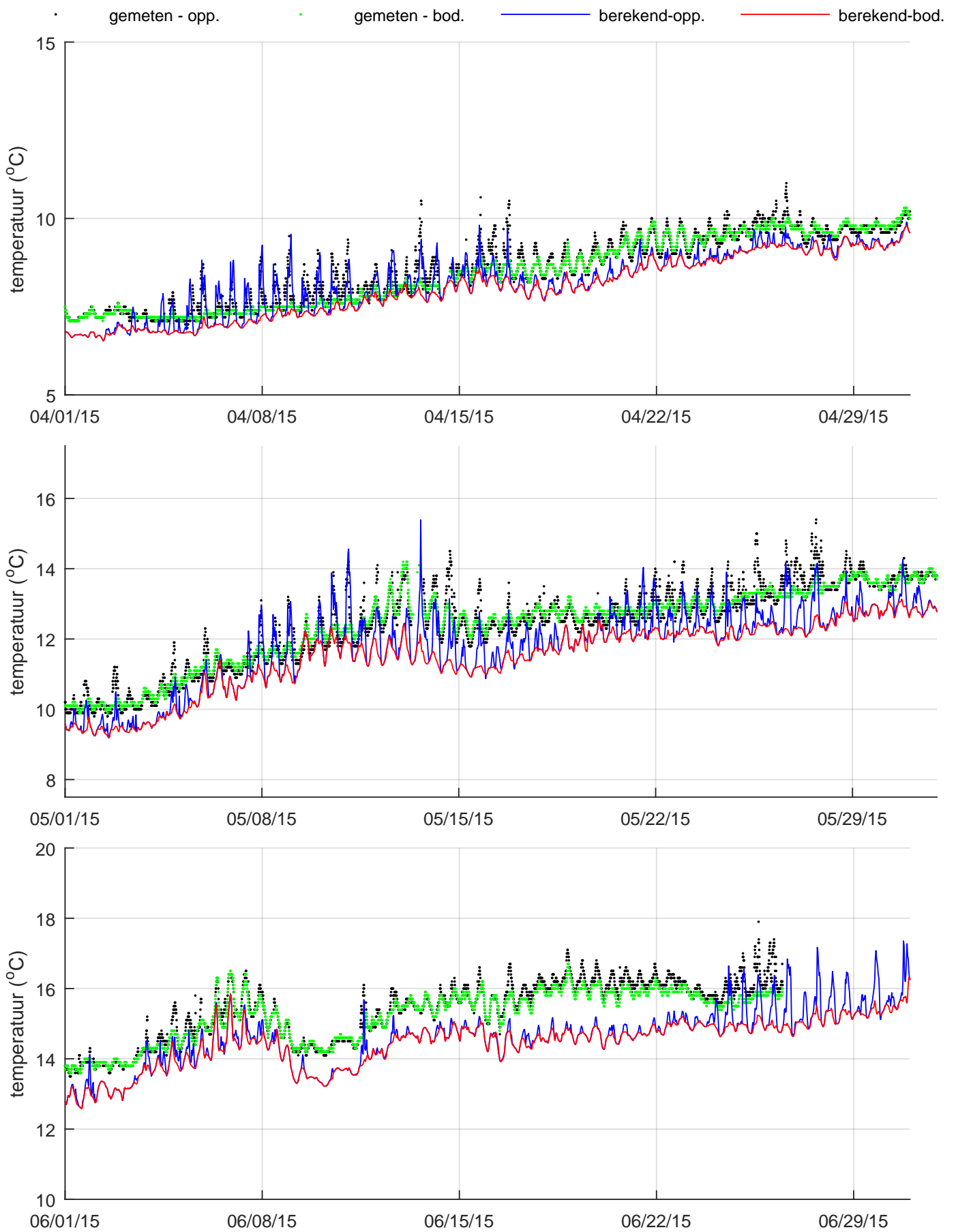
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
 oppervlakte- en bodemtemperatuur 3e kwartaal 2015, Zege-
 station Brouwershavensche Gat 8



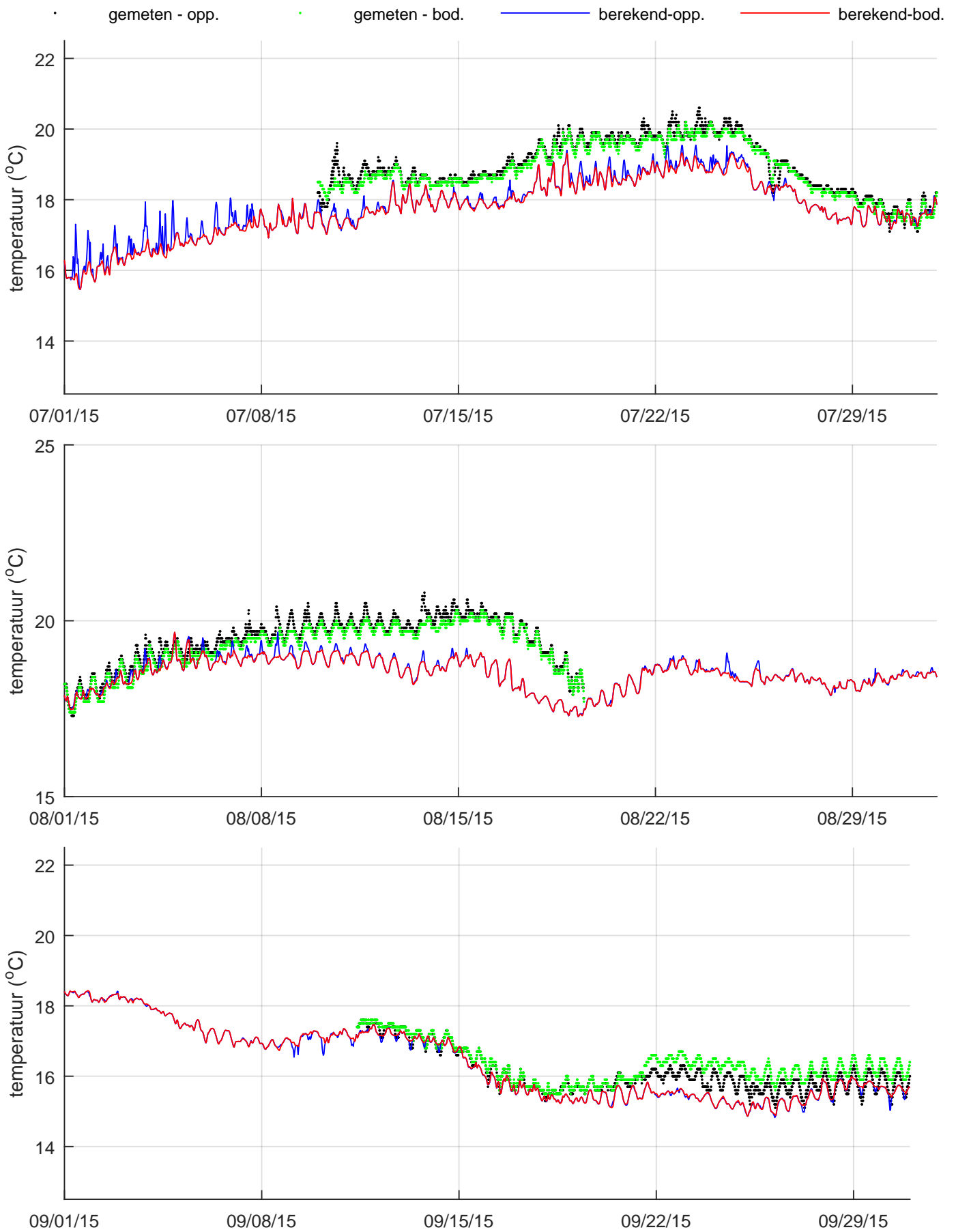
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemtemperatuur 4e kwartaal 2015, Zege-station Brouwershavensche Gat 8



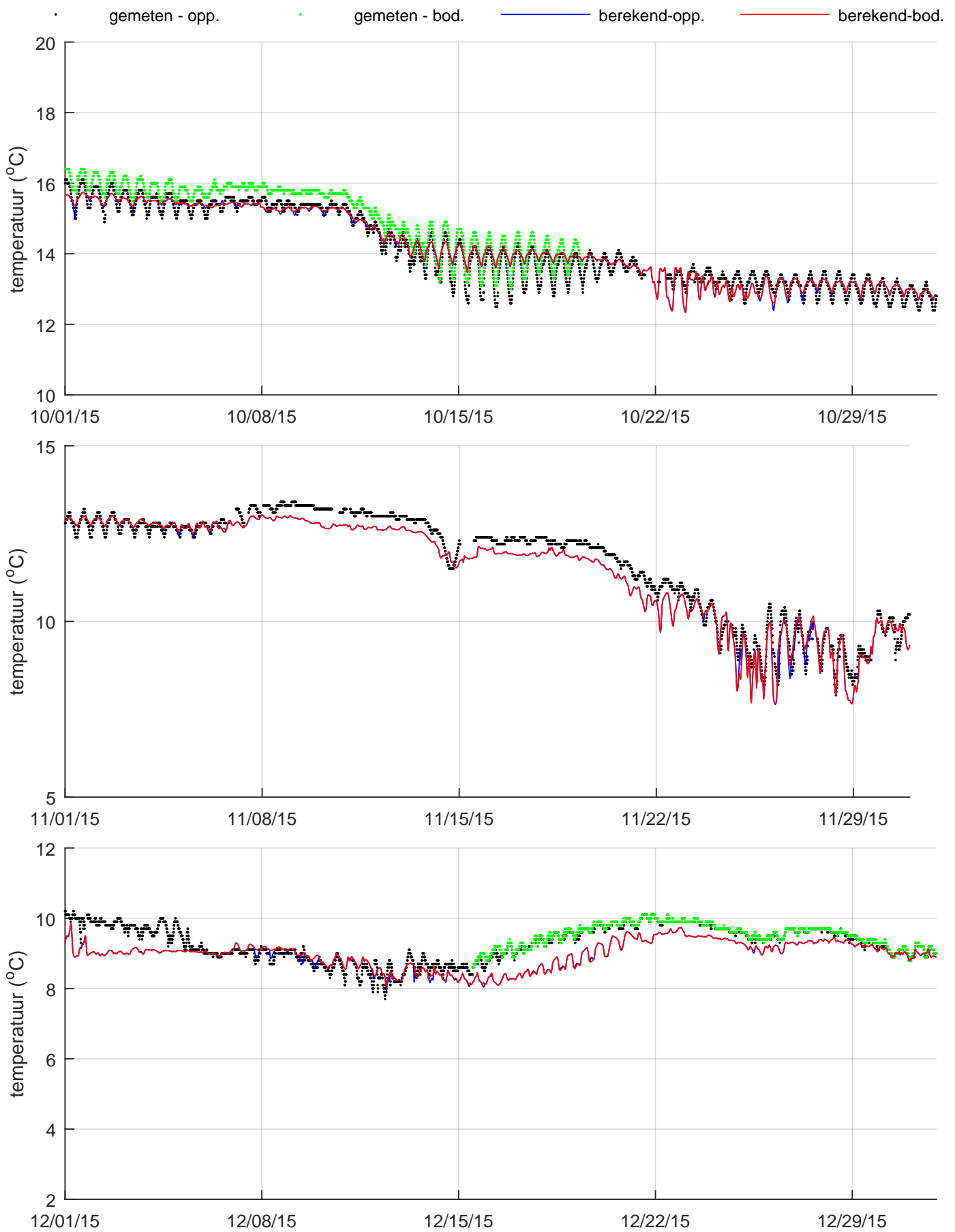
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemtemperatuur 1e kwartaal 2015, Zege-
station Haringvliet 10



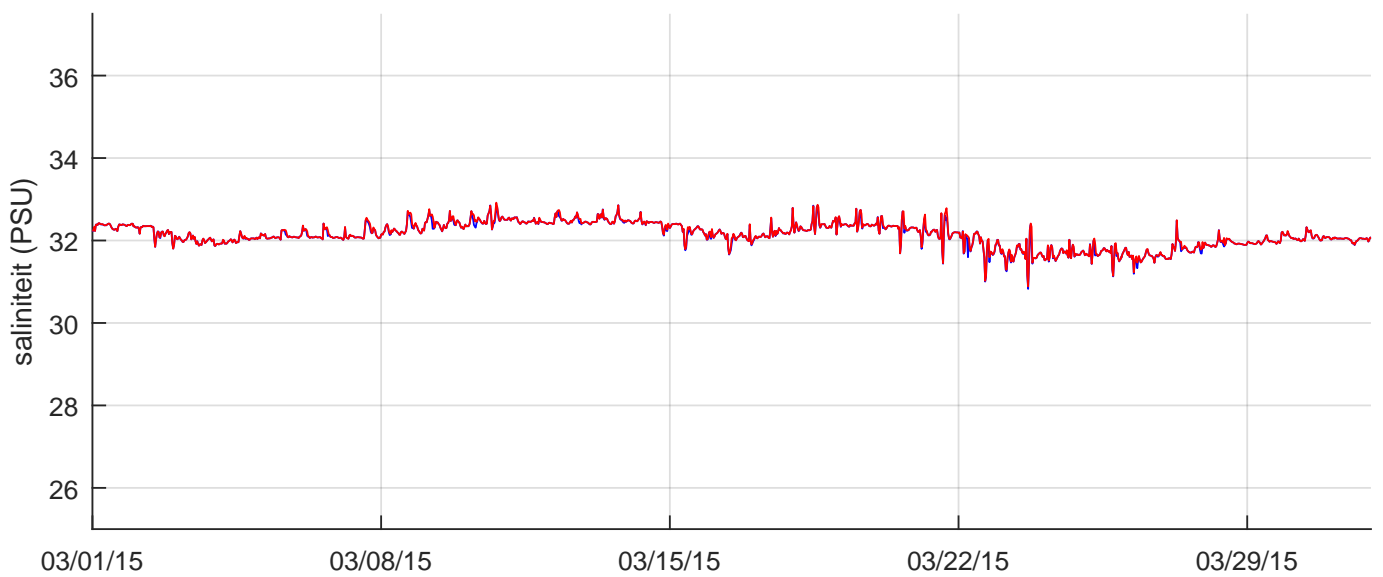
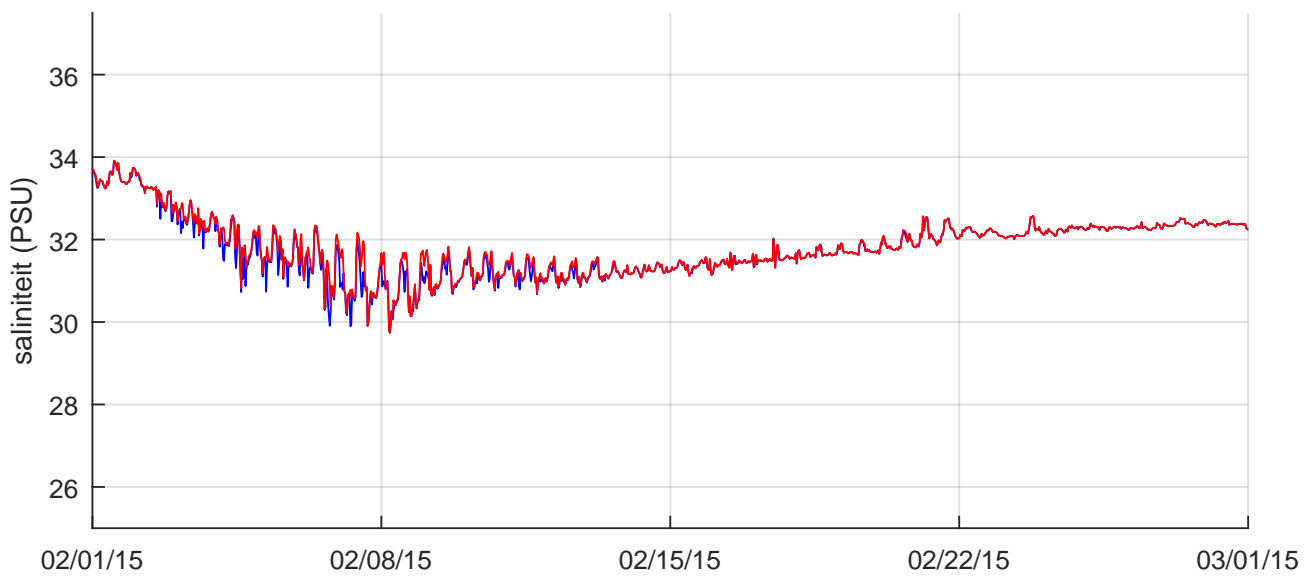
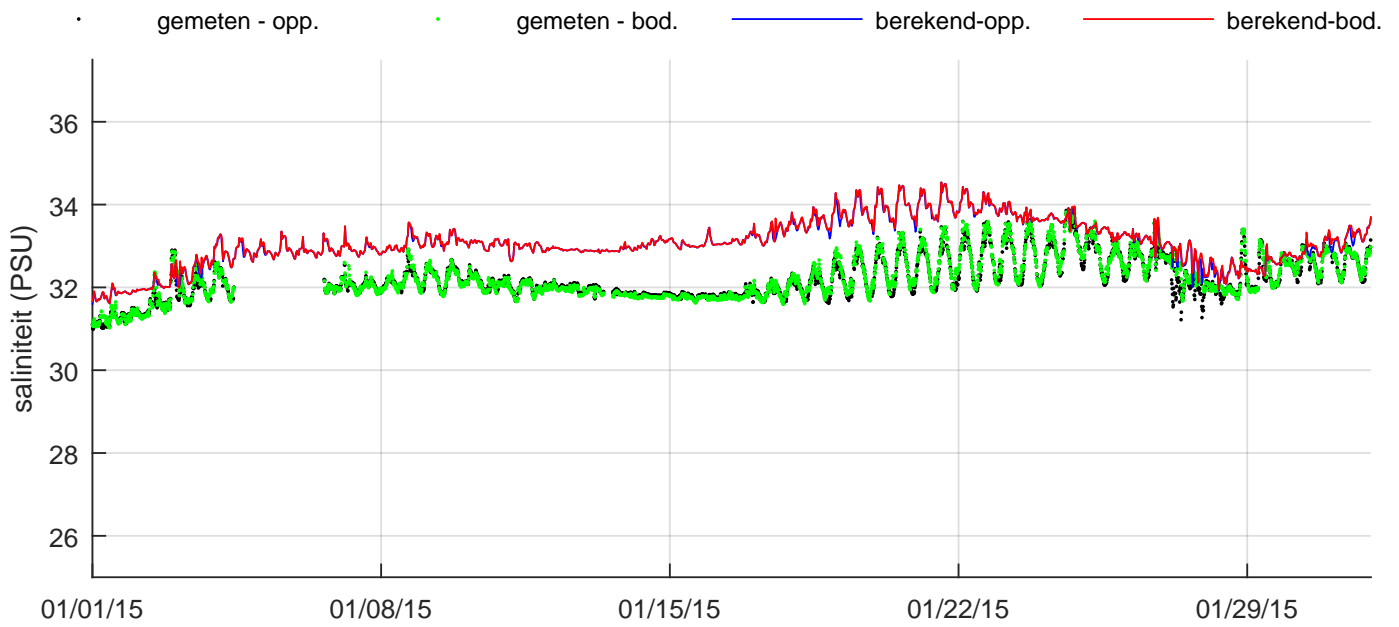
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemtemperatuur 2e kwartaal 2015, Zeegestation Haringvliet 10



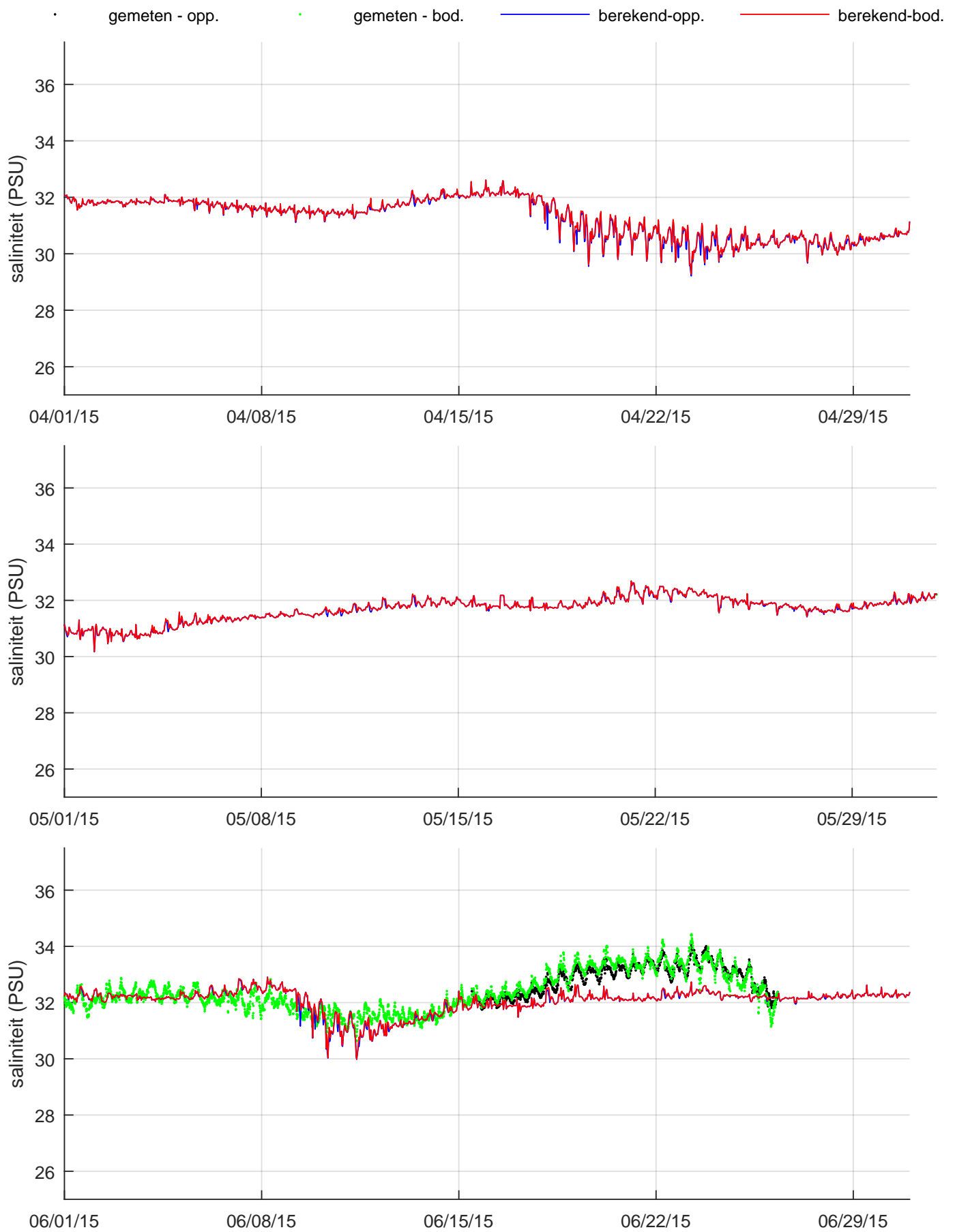
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemtemperatuur 3e kwartaal 2015, Zege-station Haringvliet 10



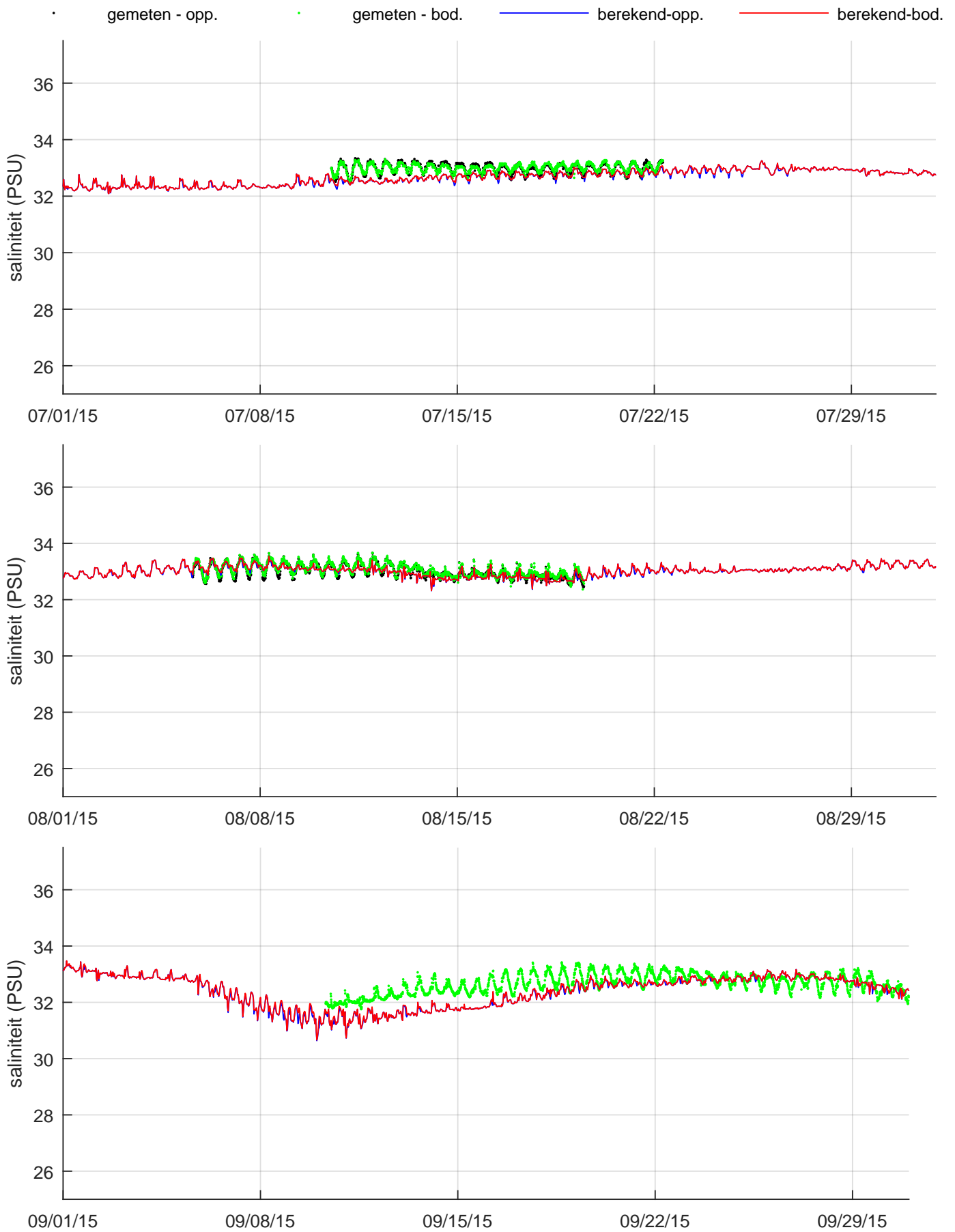
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemtemperatuur 4e kwartaal 2015, Zege-
station Haringvliet 10



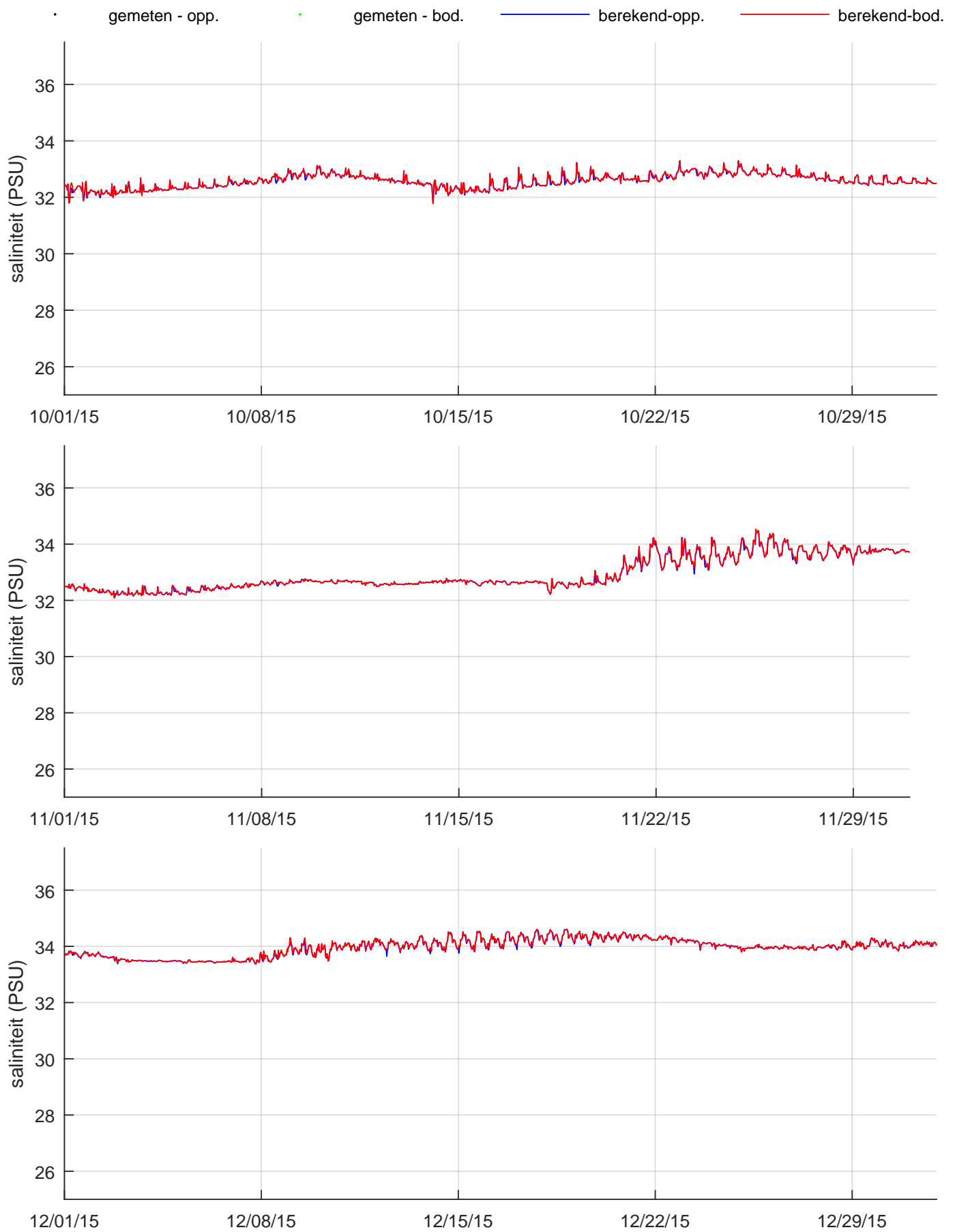
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 1e kwartaal 2015, Zege-station Oosterschelde 4



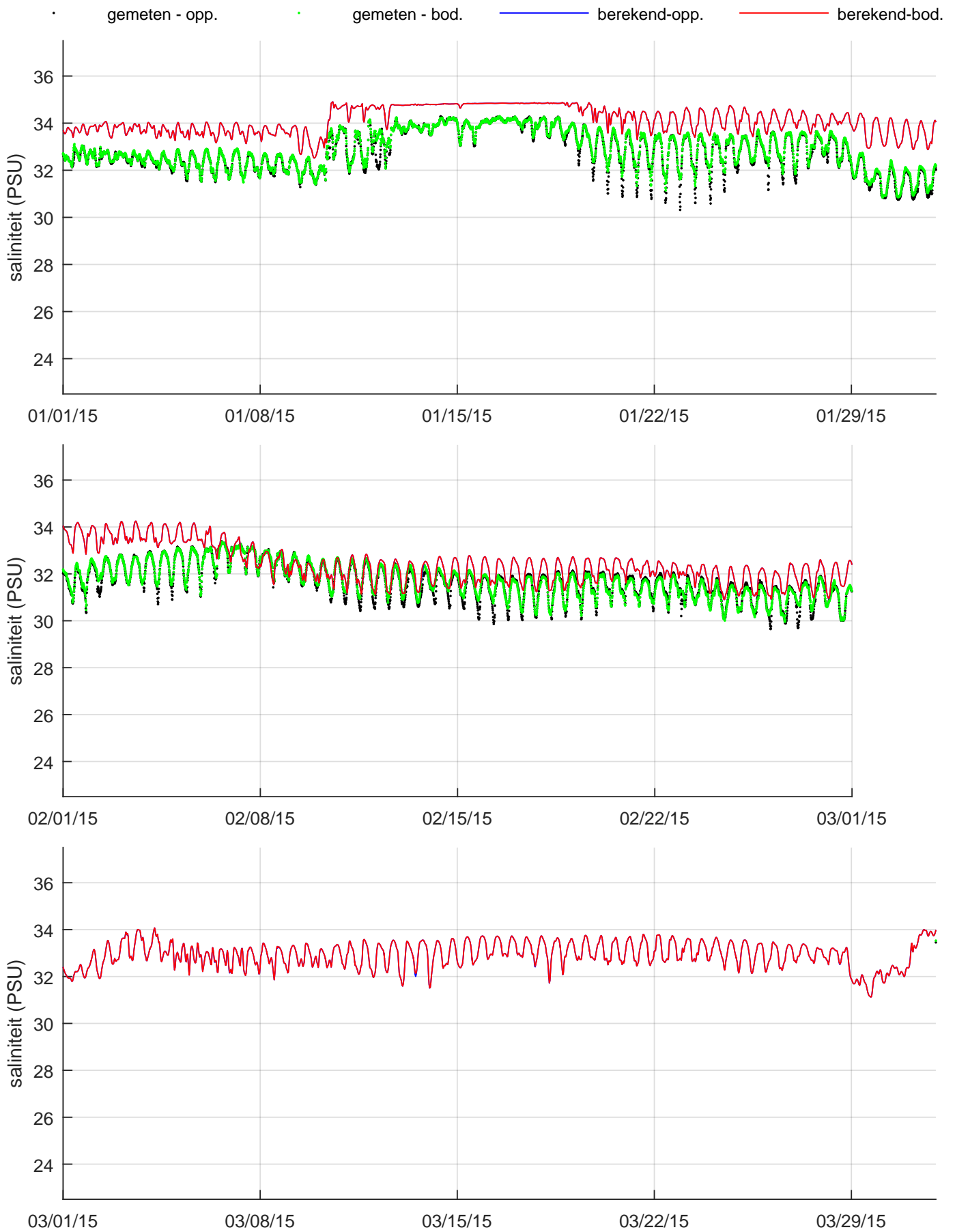
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemsaliniteit 2e kwartaal 2015, Zeegestation Oosterschelde 4



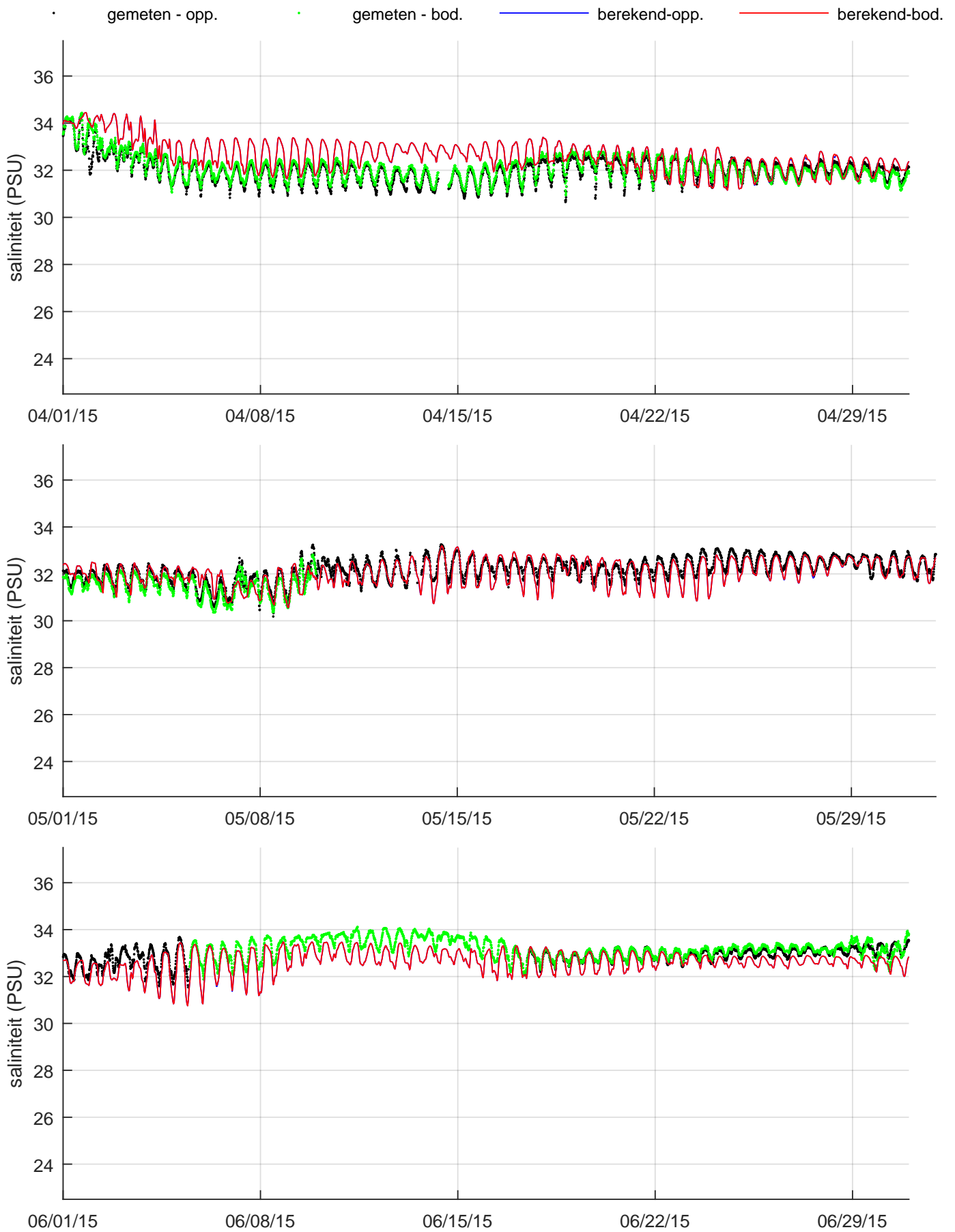
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemsaliniteit 3e kwartaal 2015, Zege-
station Oosterschelde 4



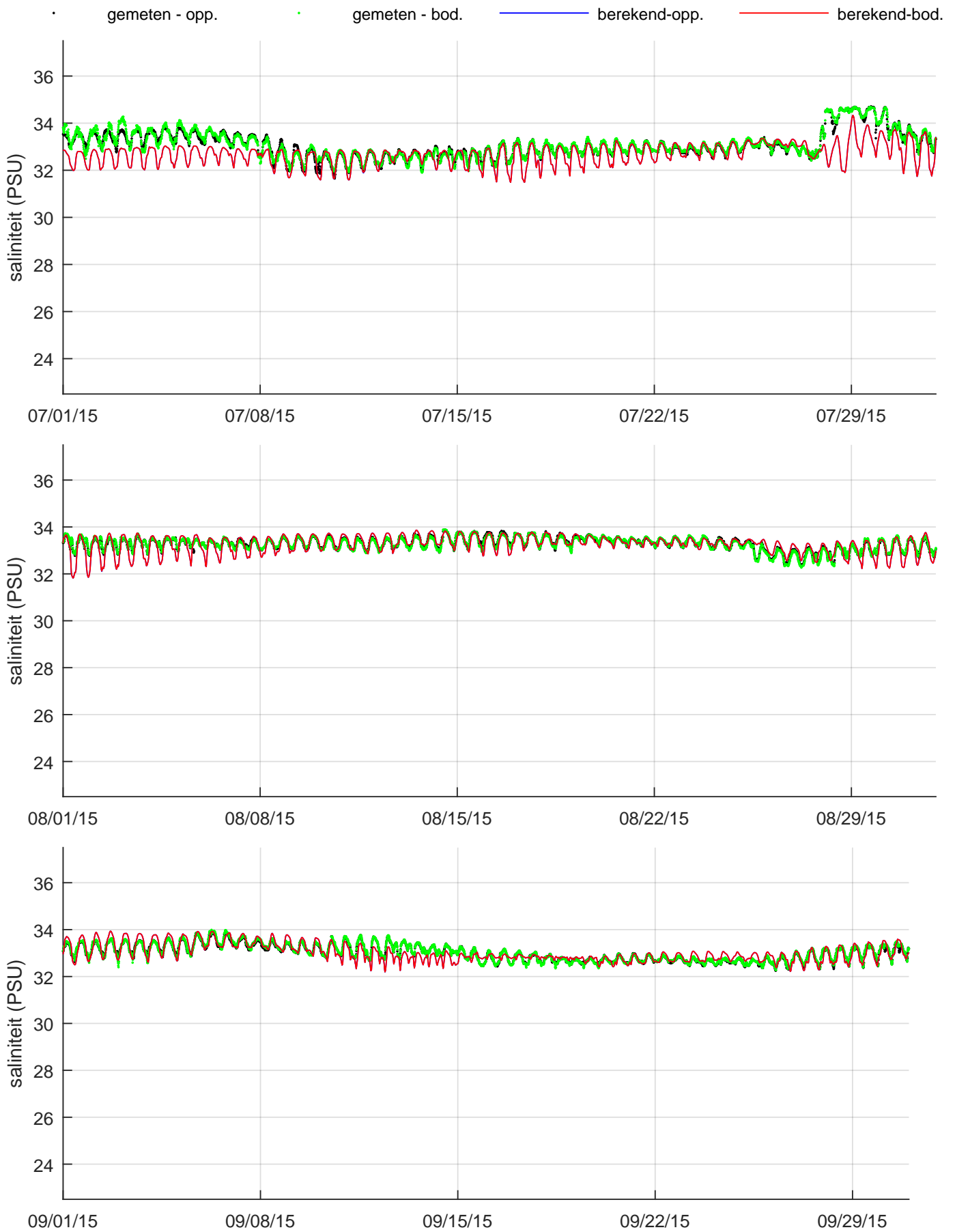
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemsaliniteit 4e kwartaal 2015, Zege-
station Oosterschelde 4



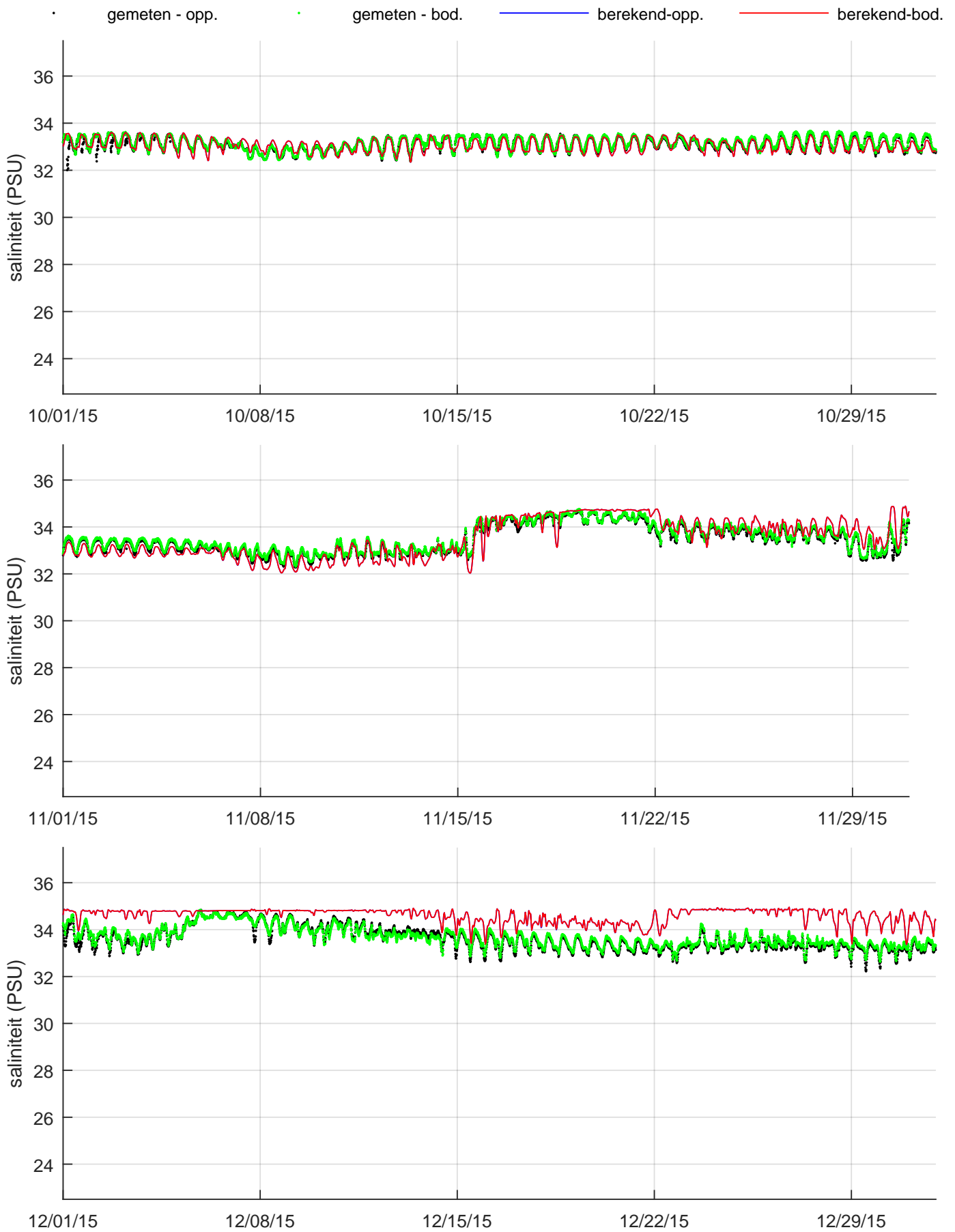
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 1e kwartaal 2015, Zege-station Vlakte van de Raan



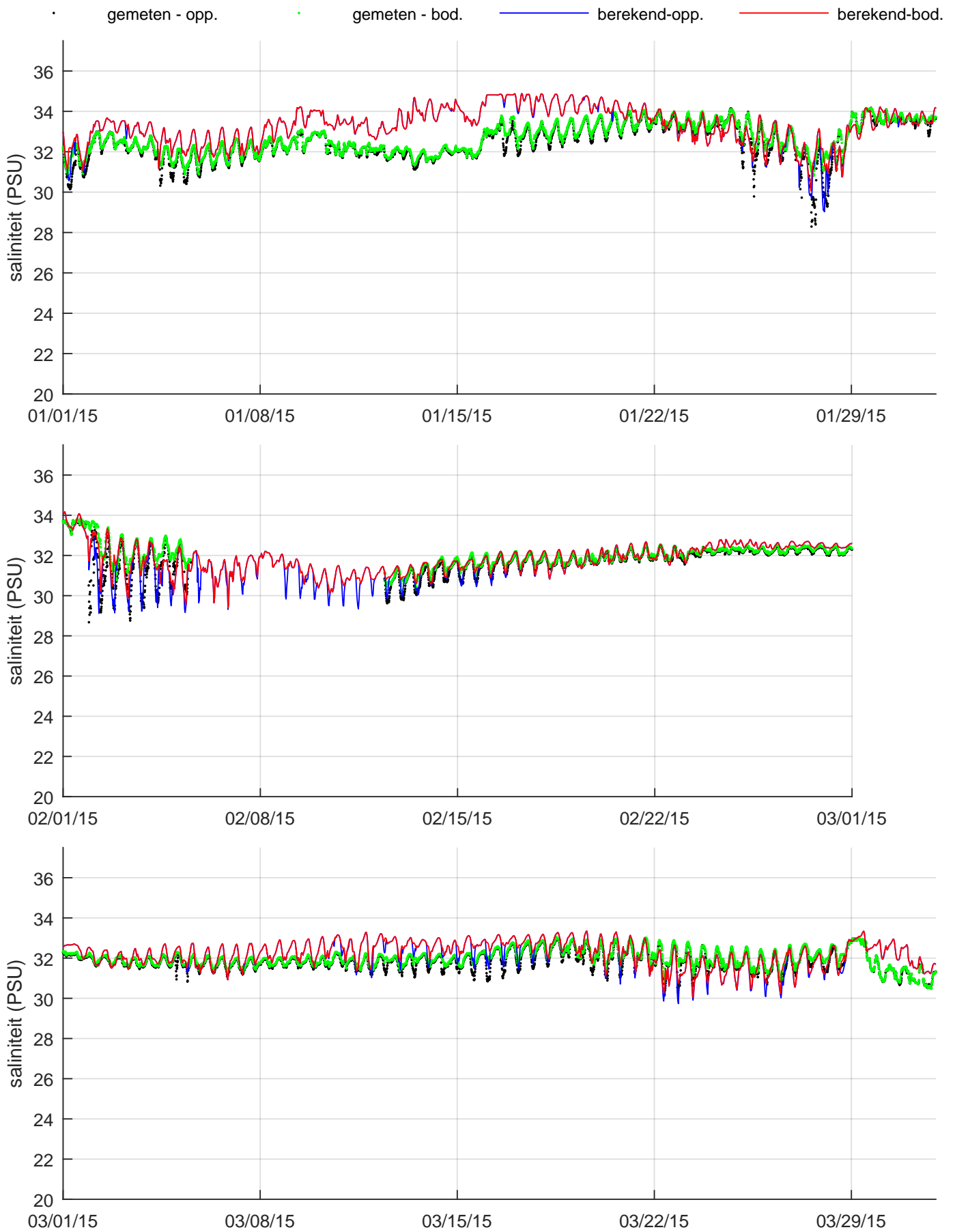
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 2e kwartaal 2015, Zege-station Vlake van de Raan



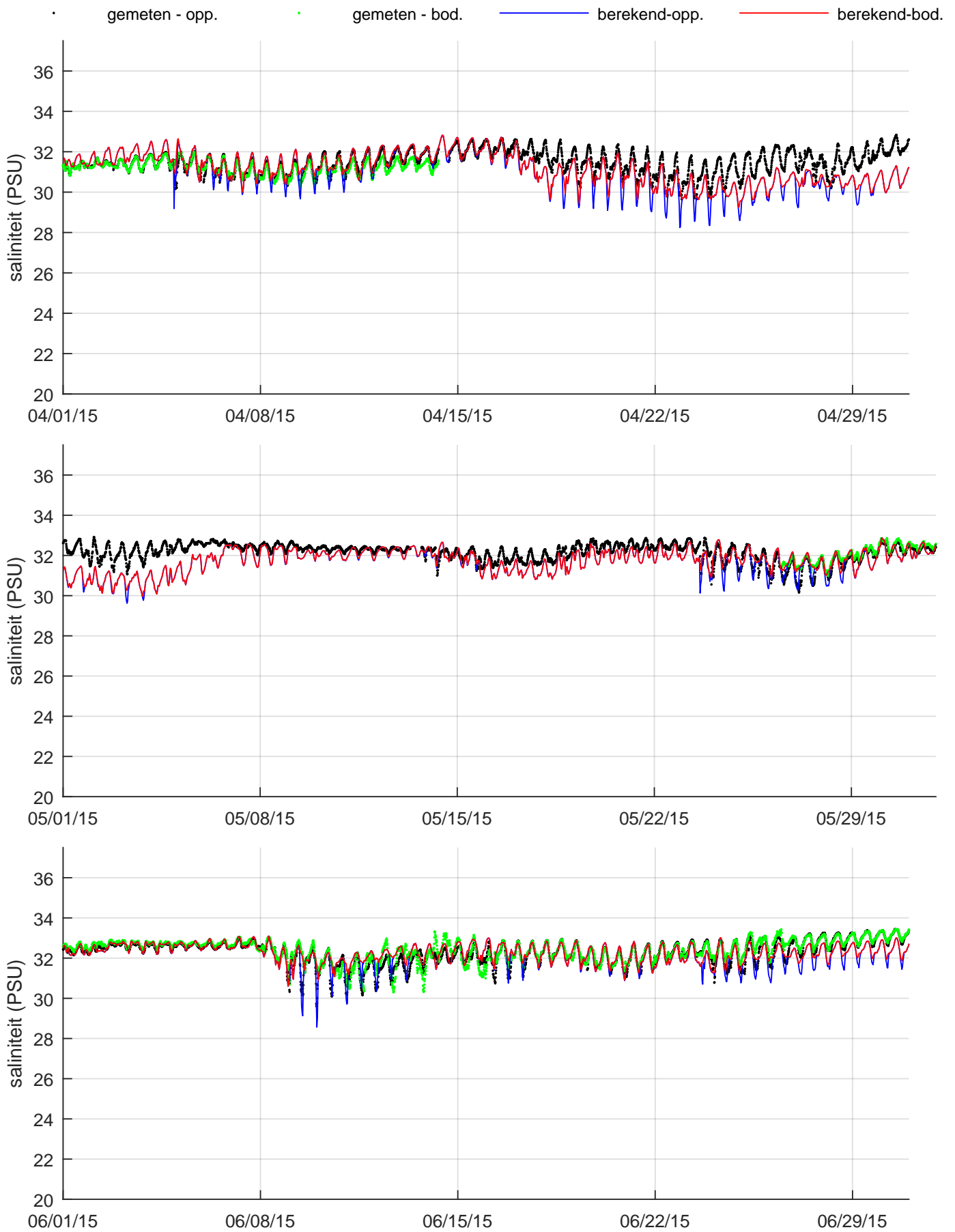
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemsaliniteit 3e kwartaal 2015, Zege-
station Vlake van de Raan



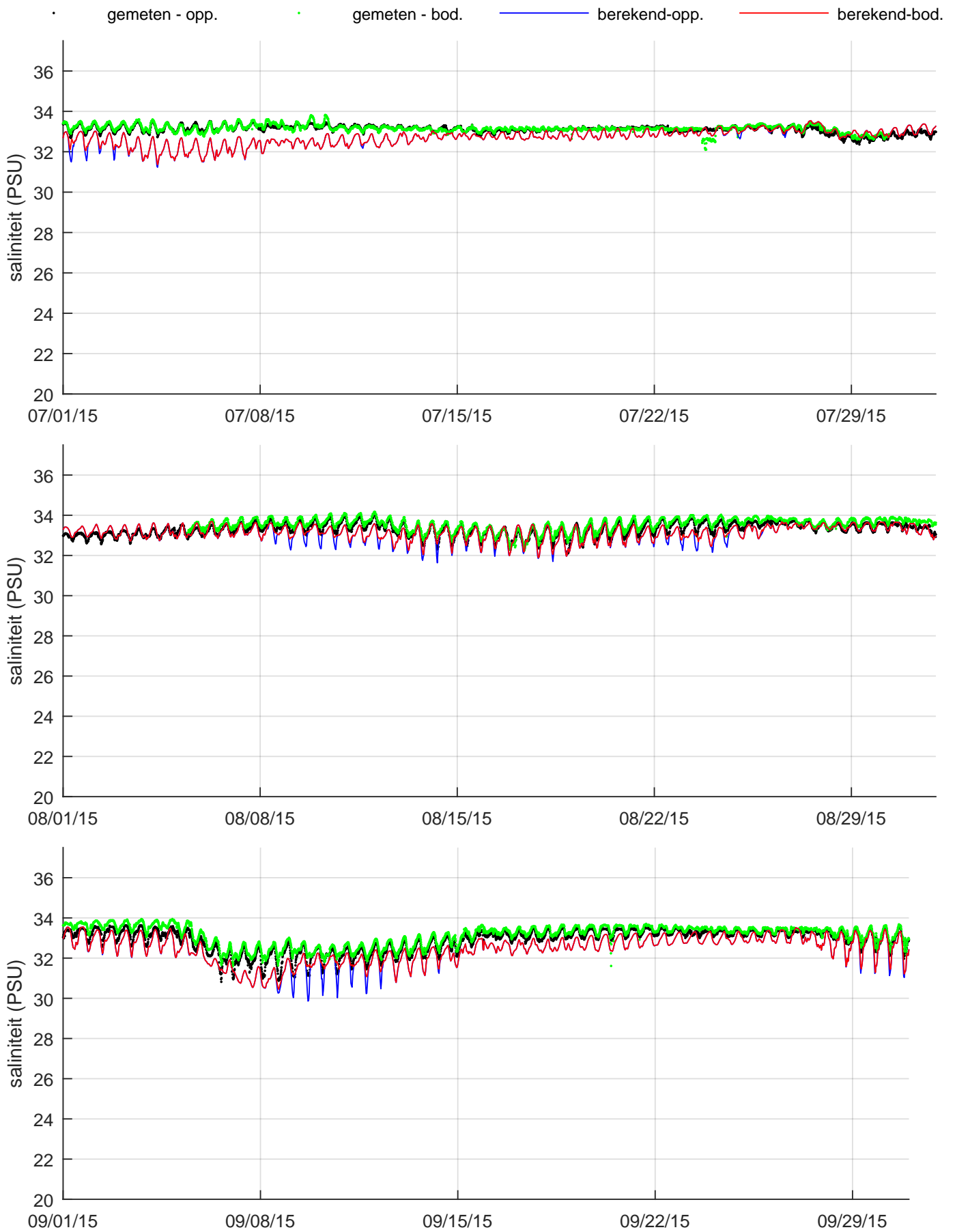
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemsaliniteit 4e kwartaal 2015, Zege-
station Vlake van de Raan



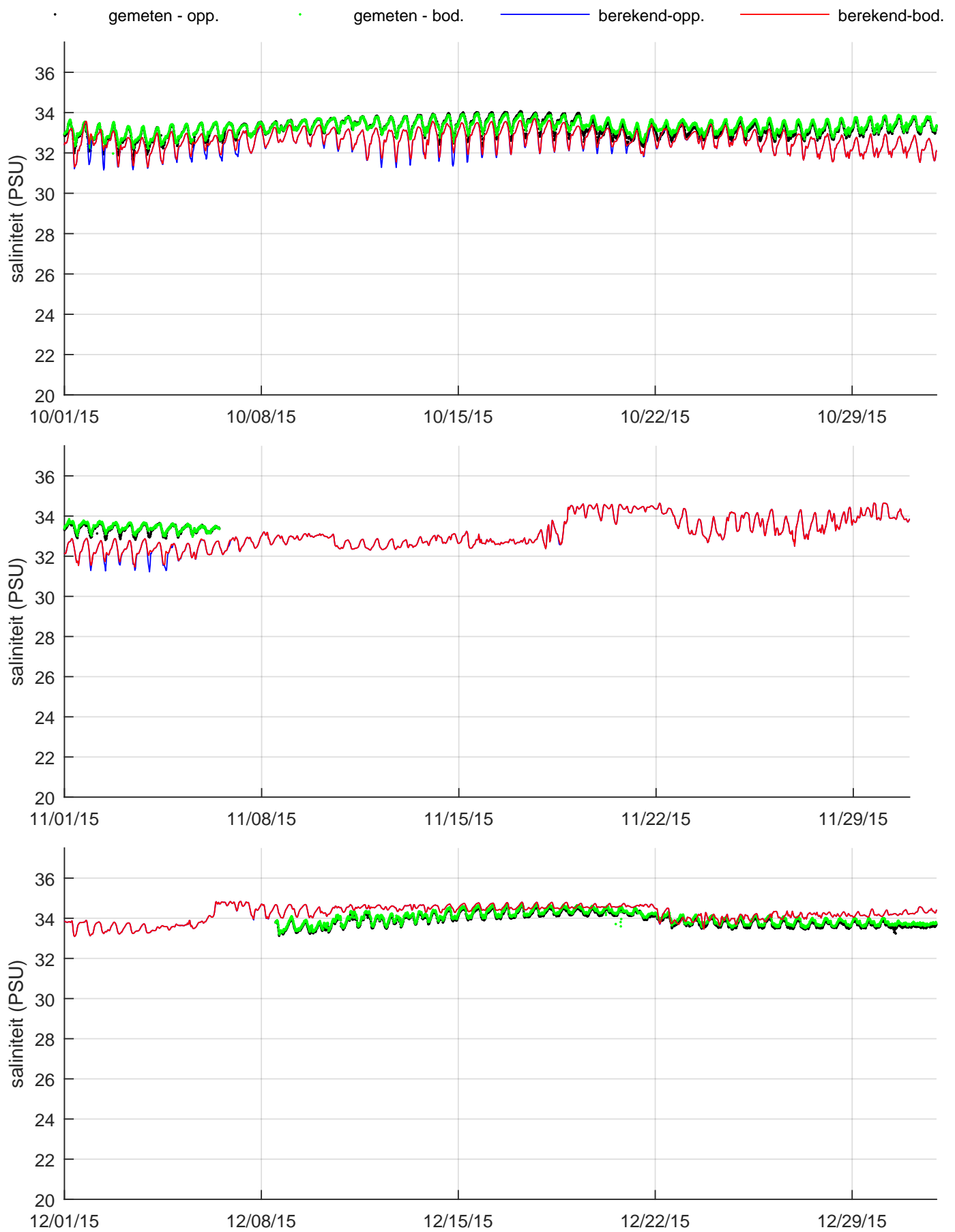
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 1e kwartaal 2015, Zege-station Brouwershavensche Gat 2



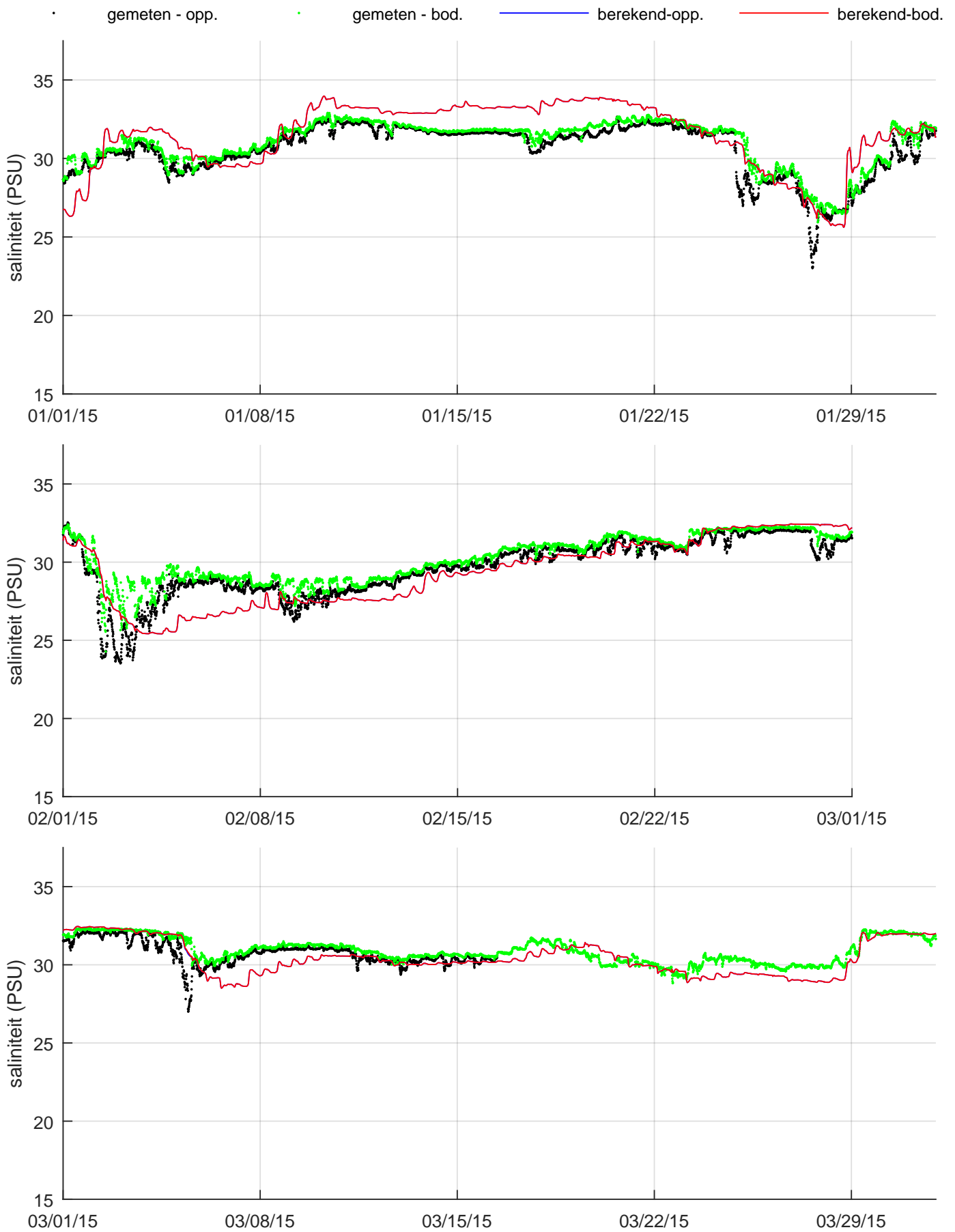
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 2e kwartaal 2015, Zege-station Brouwershavensche Gat 2



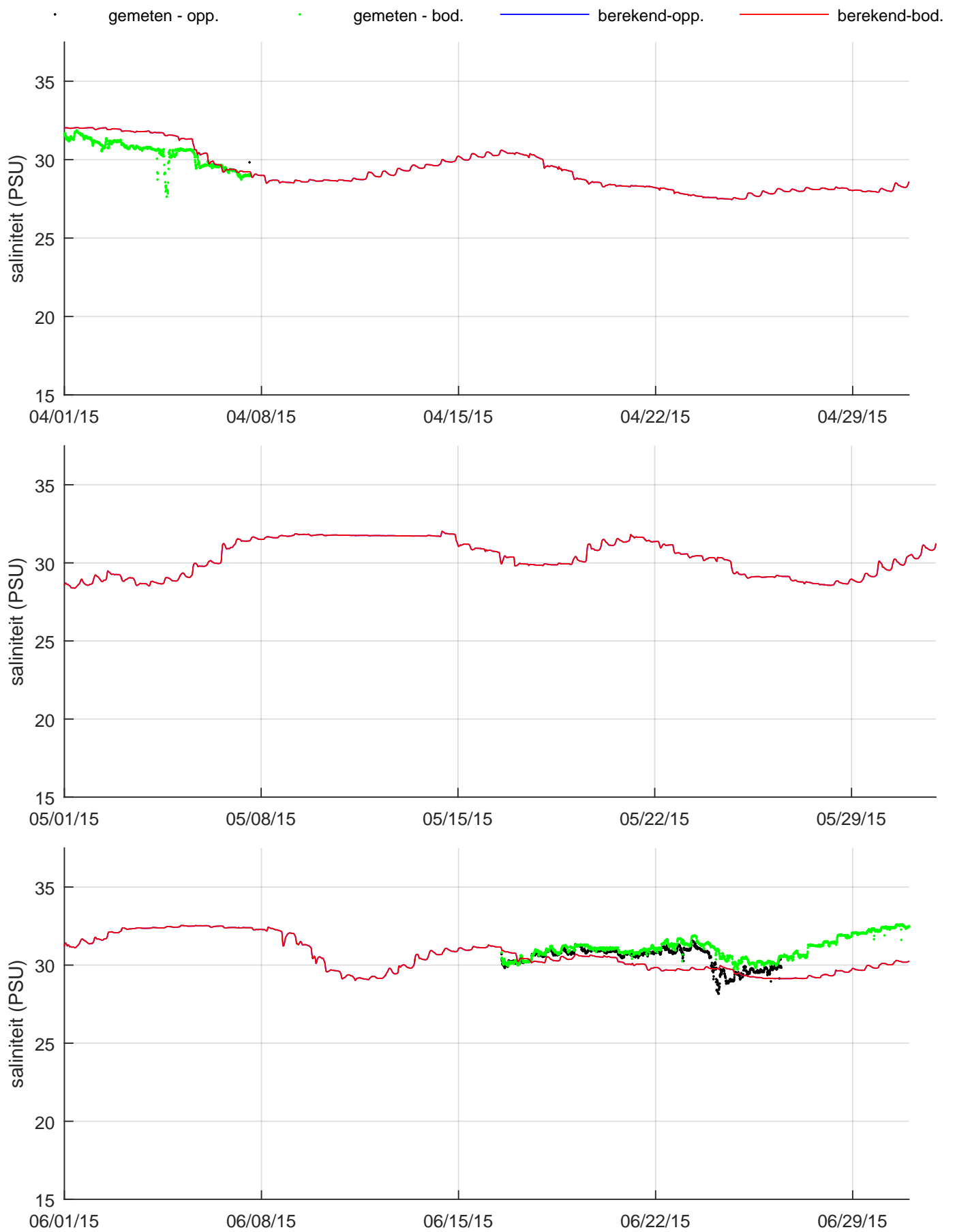
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemsaliniteit 3e kwartaal 2015, Zege-
station Brouwershavensche Gat 2



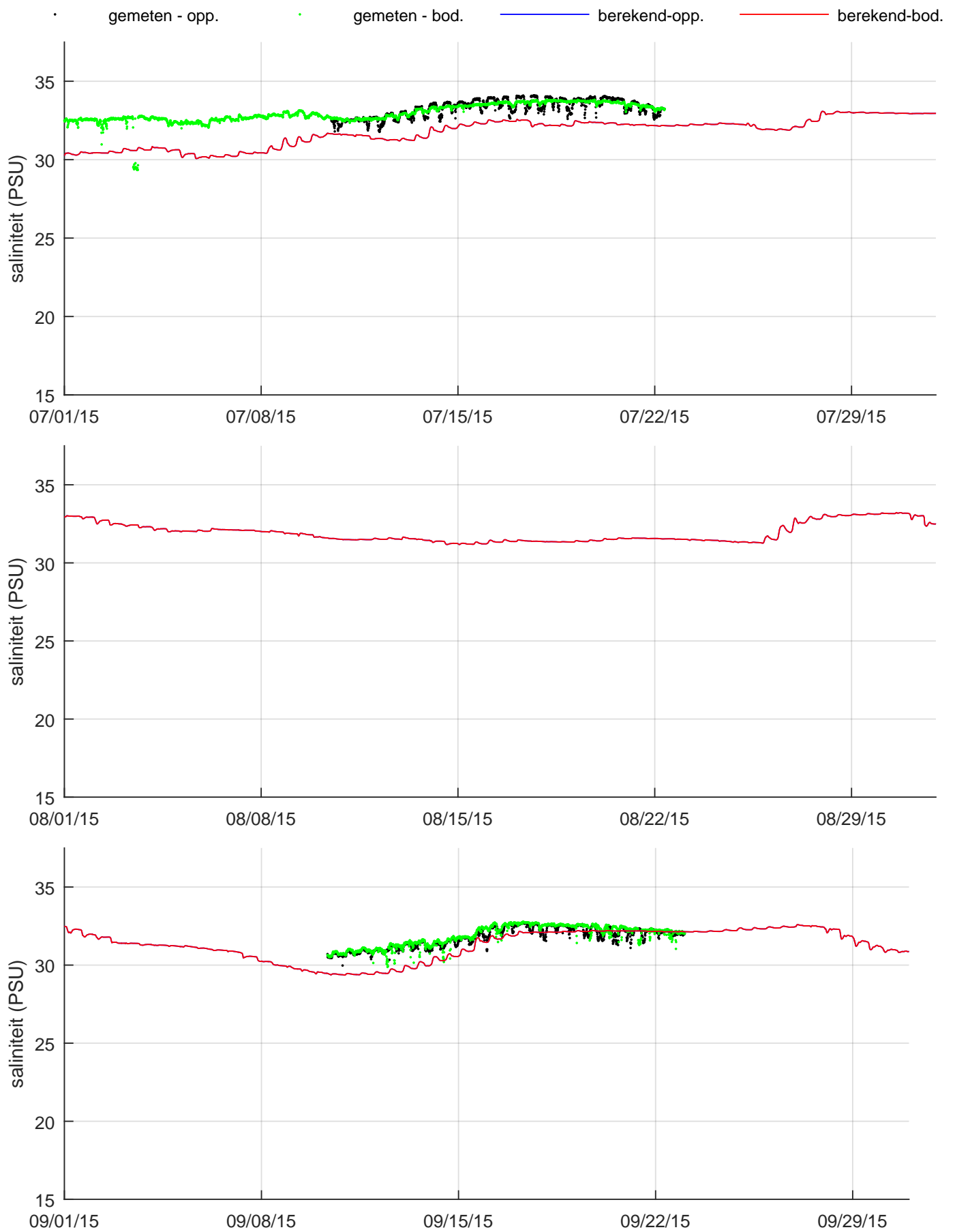
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemsaliniteit 4e kwartaal 2015, Zege-
station Brouwershavensche Gat 2



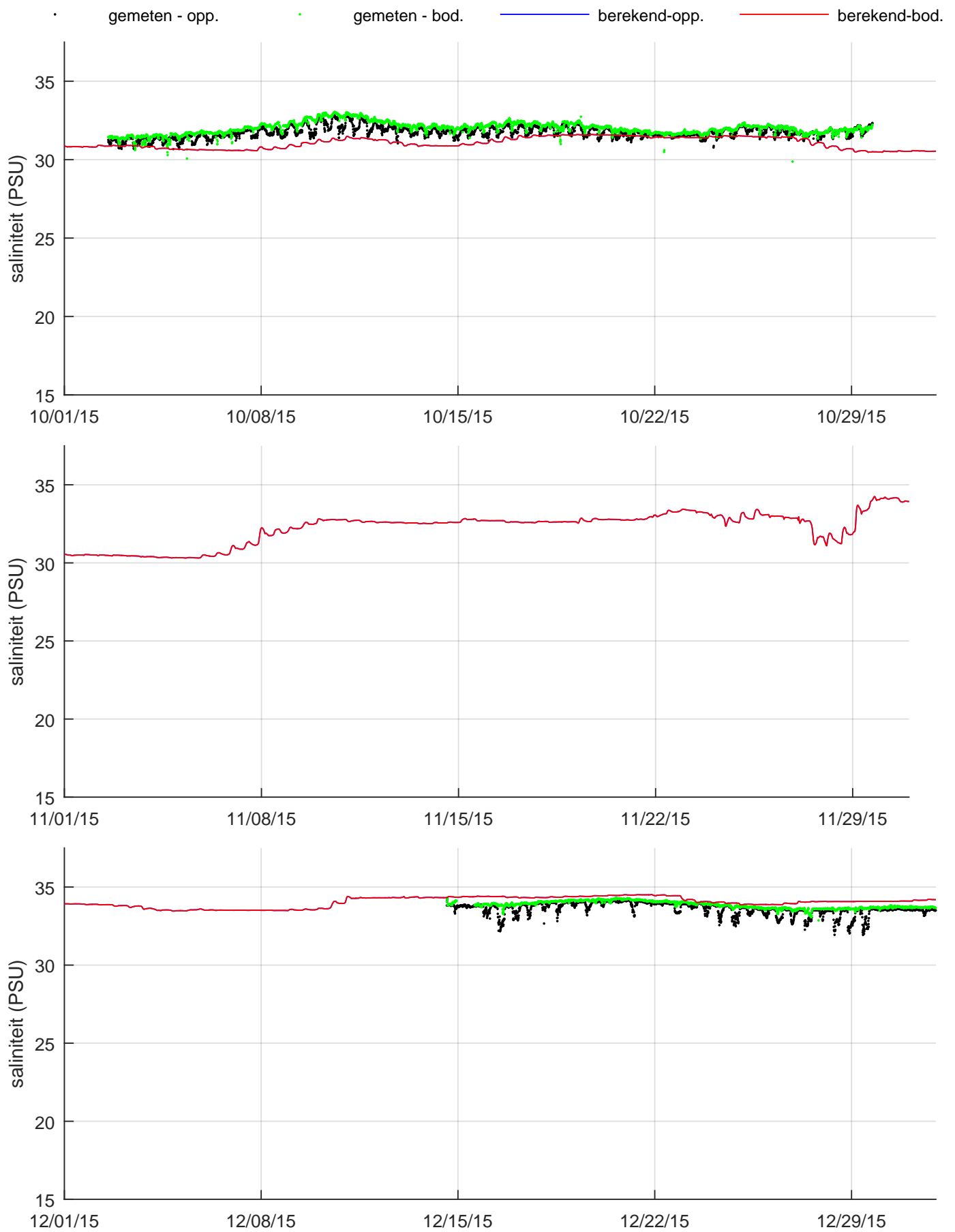
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 1e kwartaal 2015, Zege-station Brouwershavensche Gat 8



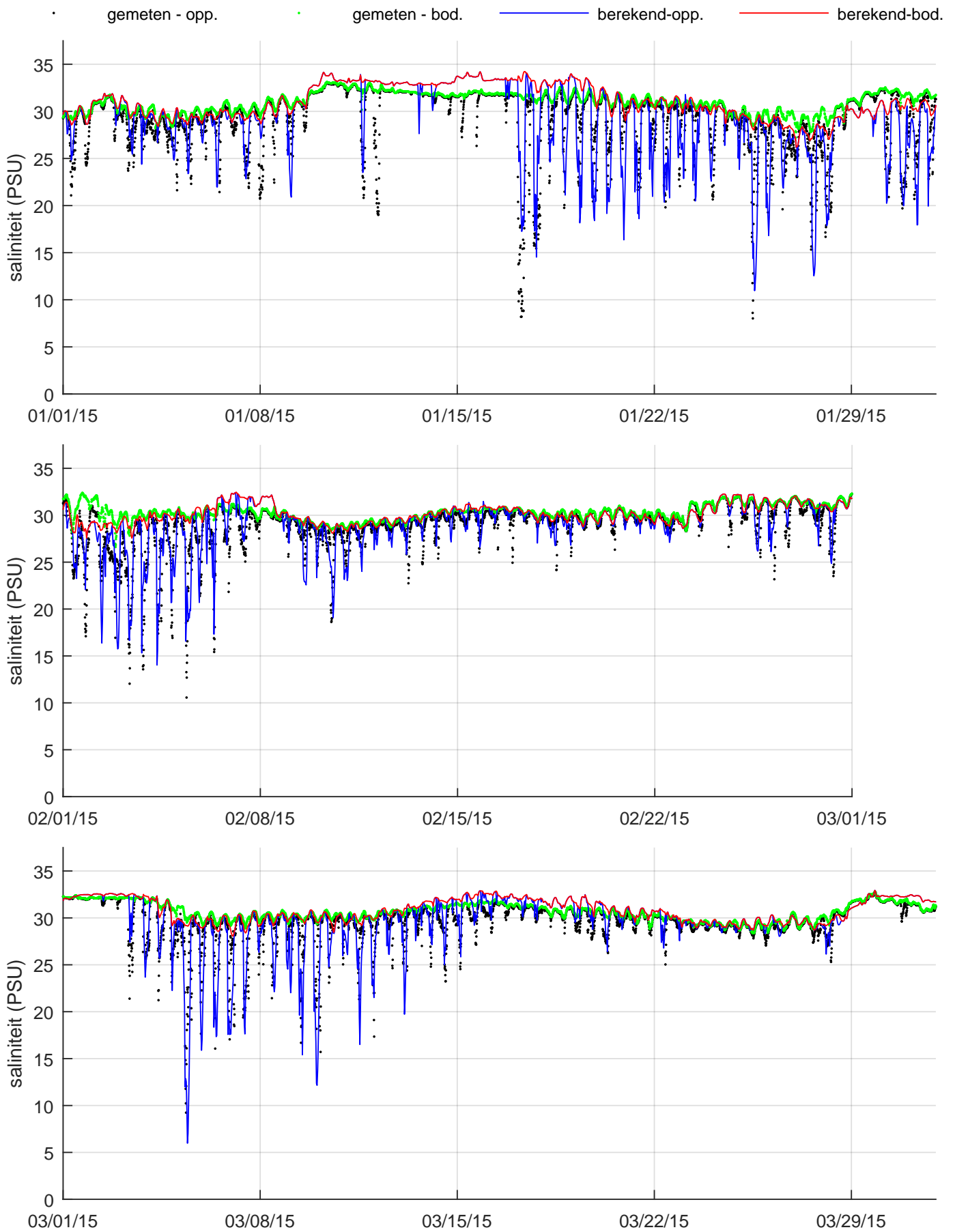
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemsaliniteit 2e kwartaal 2015, Zege-
station Brouwershavensche Gat 8



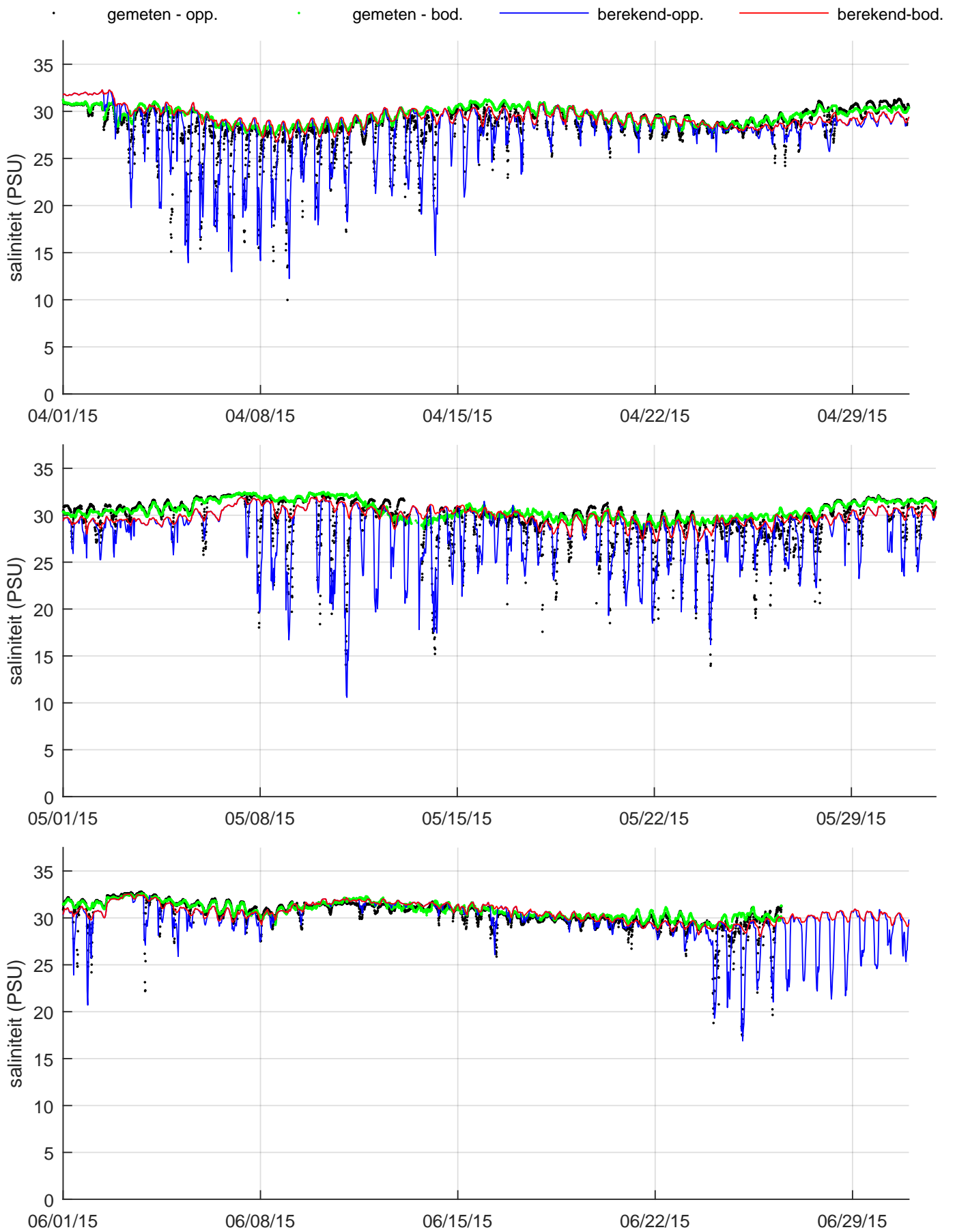
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemsaliniteit 3e kwartaal 2015, Zege-
station Brouwershavensche Gat 8



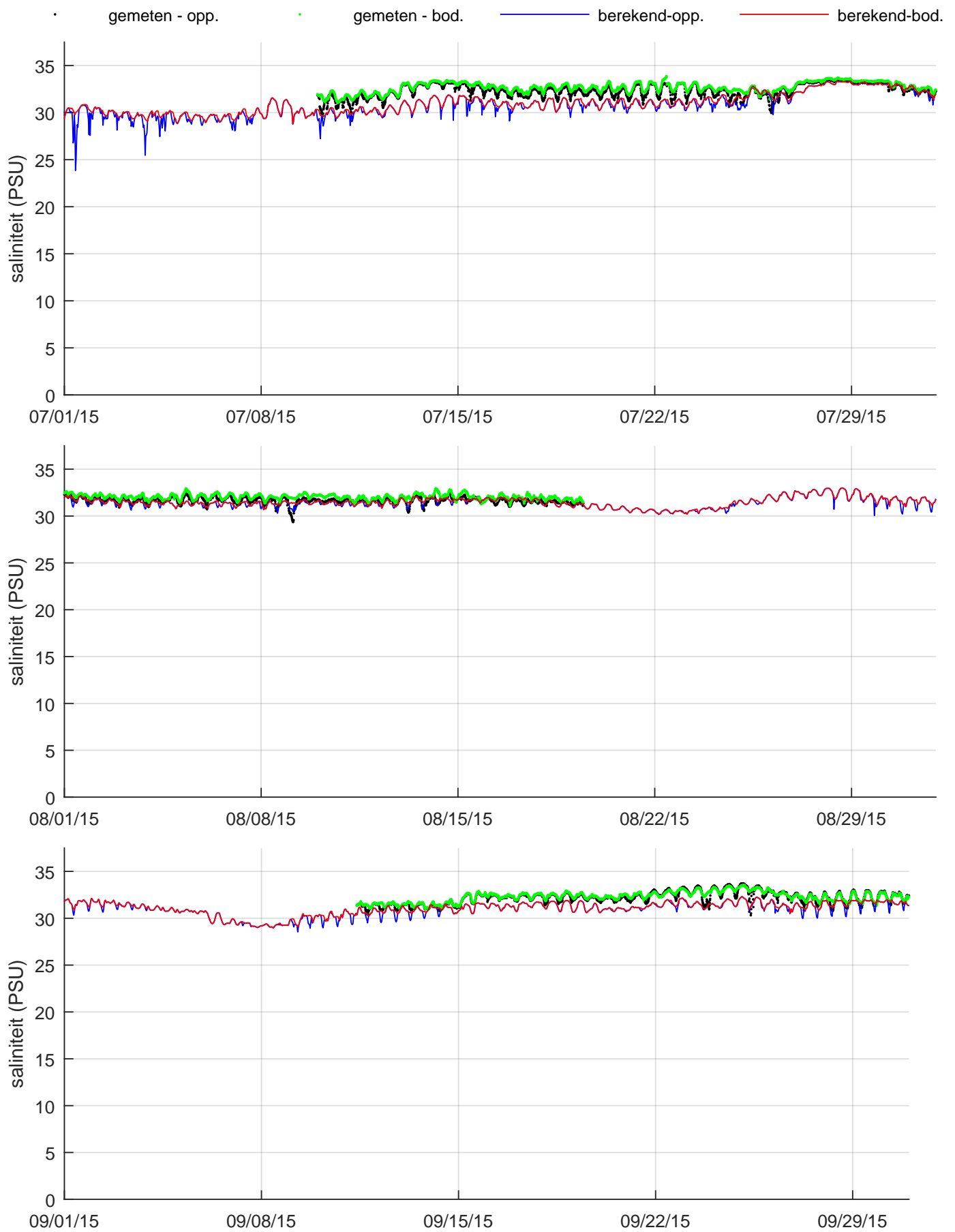
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemsaliniteit 4e kwartaal 2015, Zege-
station Brouwershavensche Gat 8



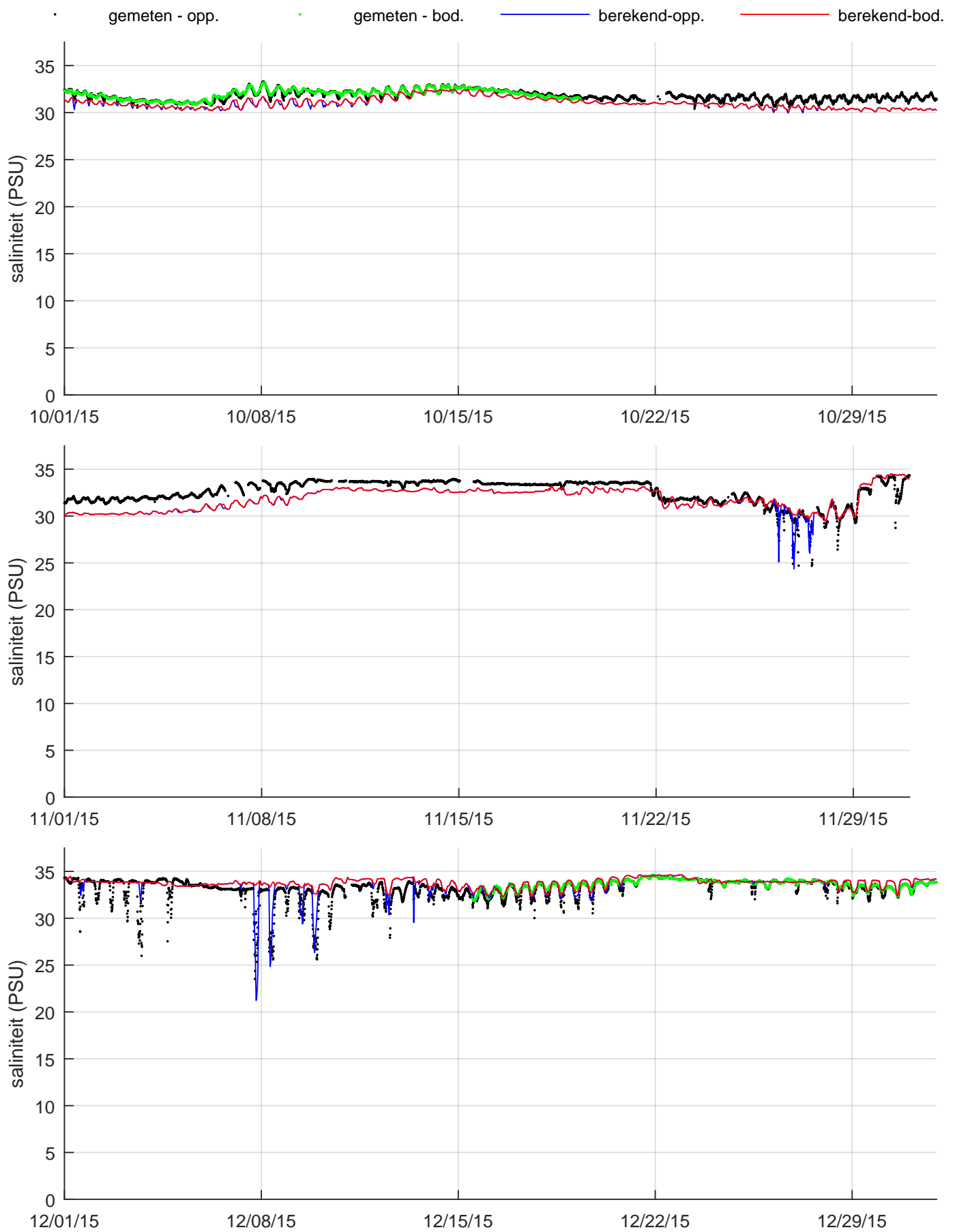
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 1e kwartaal 2015, Zege-station Haringvliet 10



Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 2e kwartaal 2015, Zeegestation Haringvliet 10

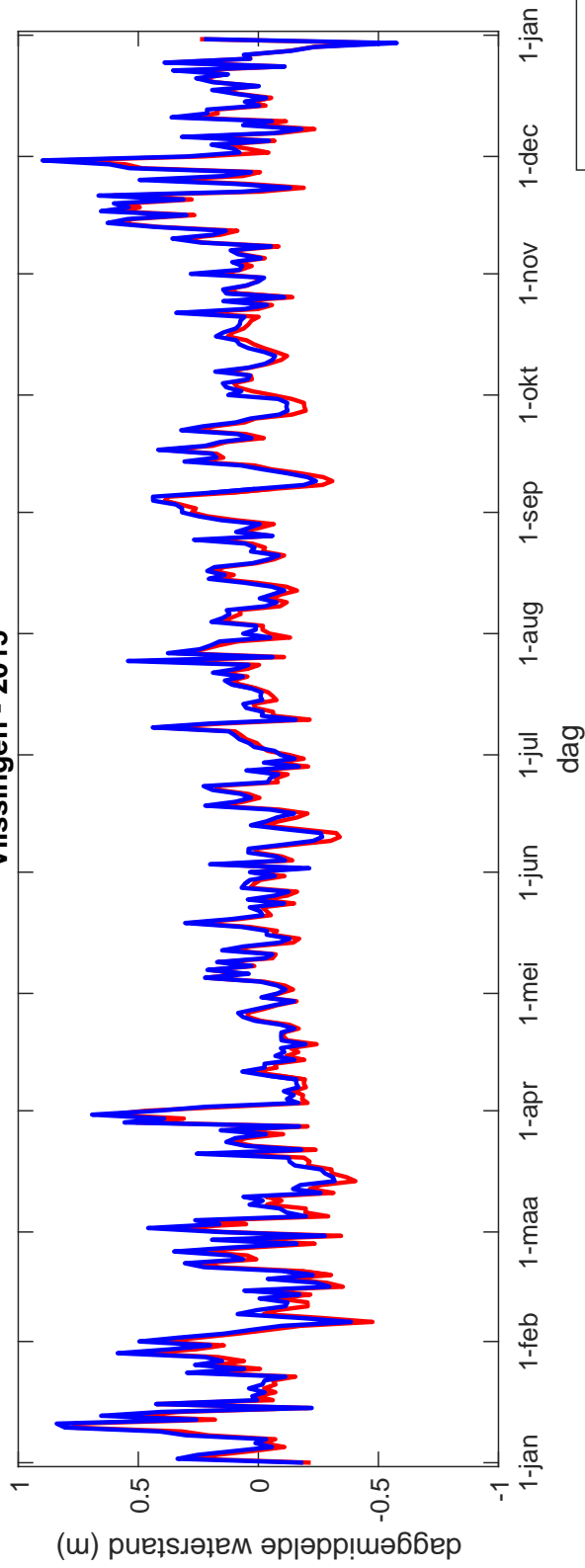


Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemsaliniteit 3e kwartaal 2015, Zege-
station Haringvliet 10



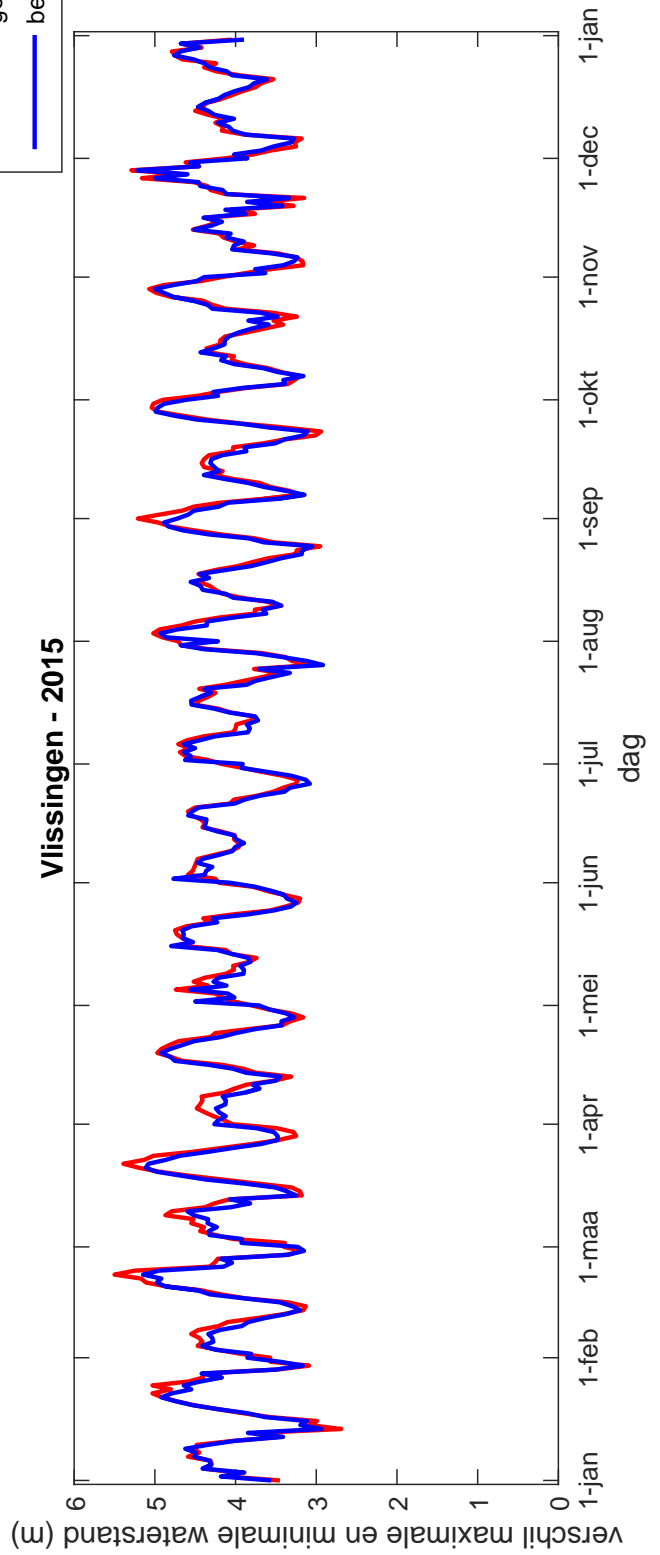
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
oppervlakte- en bodemsaliniteit 4e kwartaal 2015, Zege-
station Haringvliet 10

Viissingen - 2015



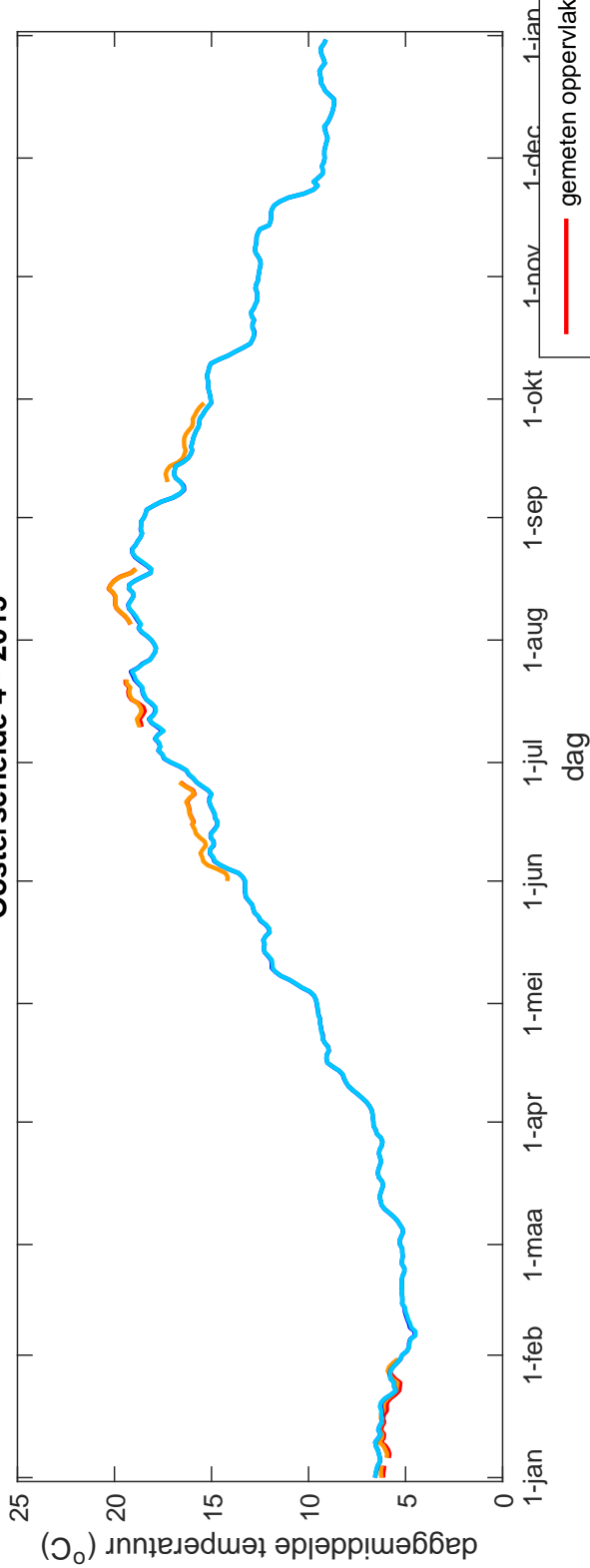
— gemeten
— berekend

Viissingen - 2015

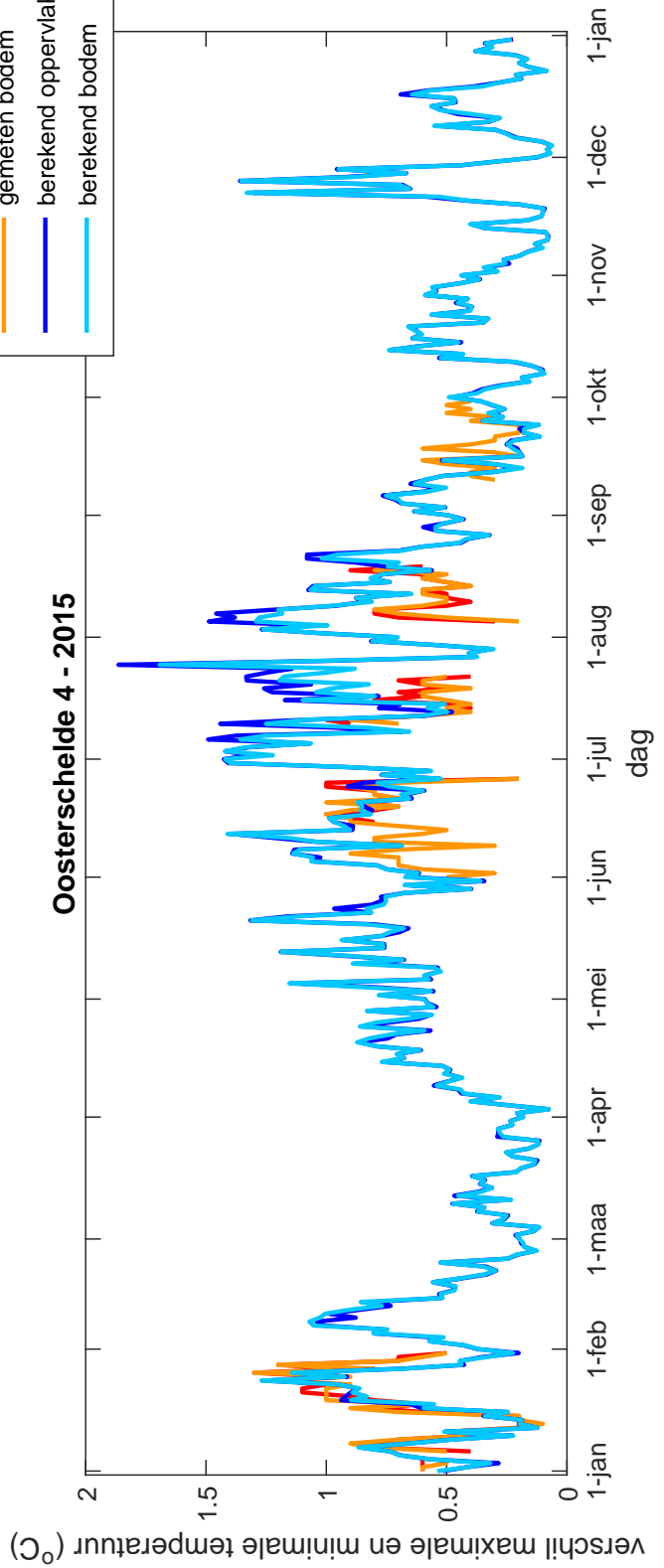


Dag-analyse van de waterstand, vergelijking van gemiddelde en variatie per dag tussen meting en berekening in station Viissingen

Oosterschelde 4 - 2015

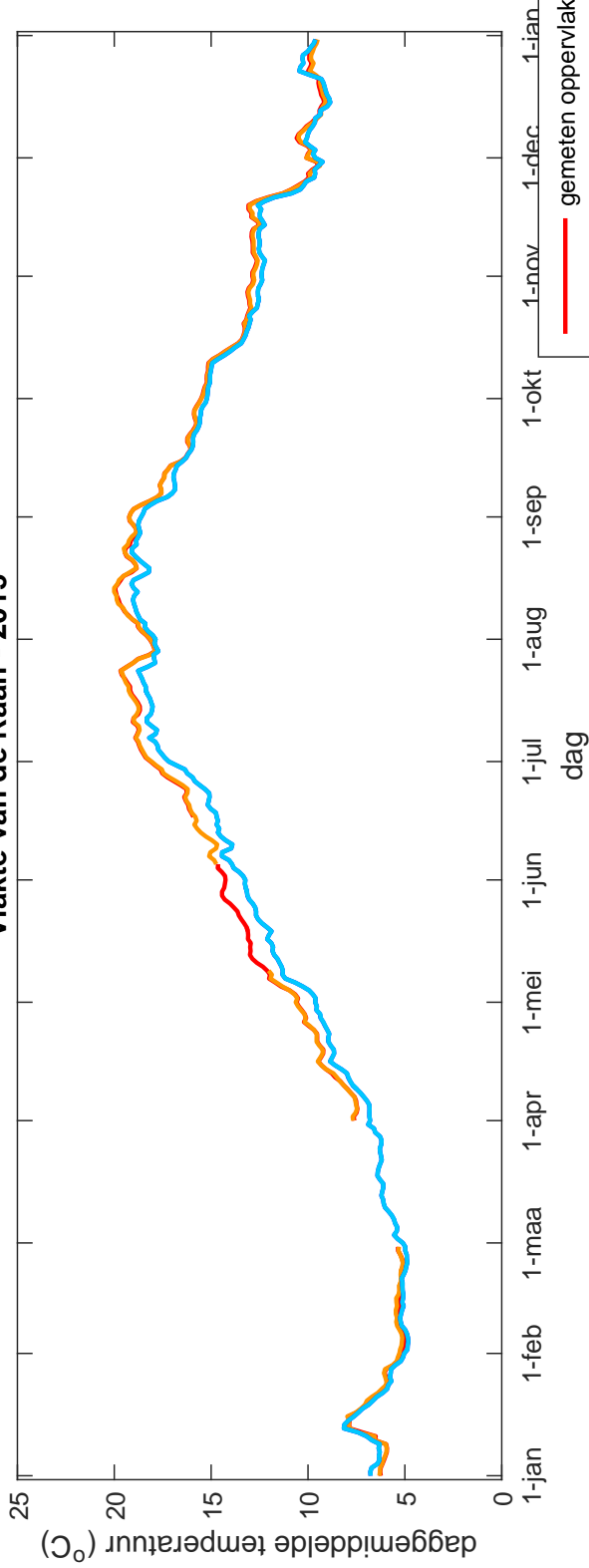


Oosterschelde 4 - 2015

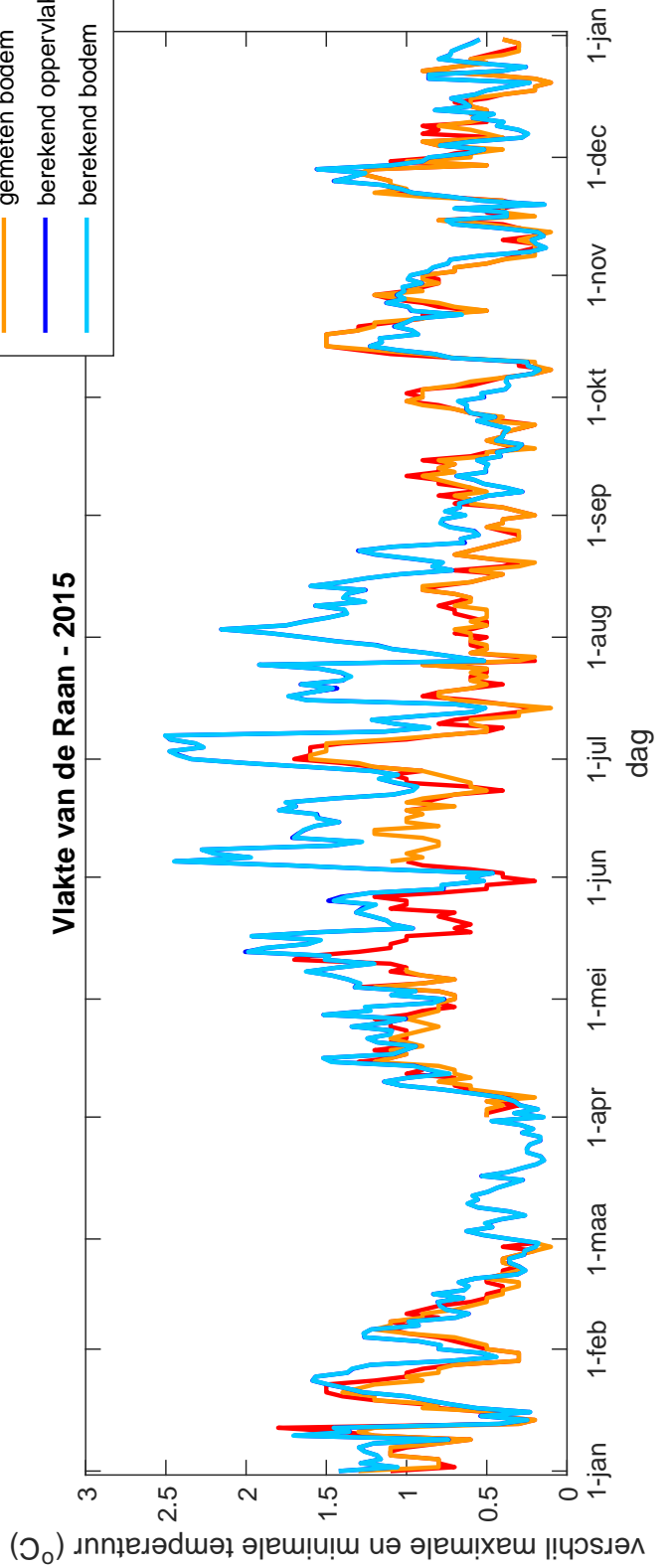


Dag-analyse van de temperatuur, vergelijking van gemiddelde en variatie per dag tussen meting en berekening in station Oosterschelde 4

Vlakte van de Raan - 2015

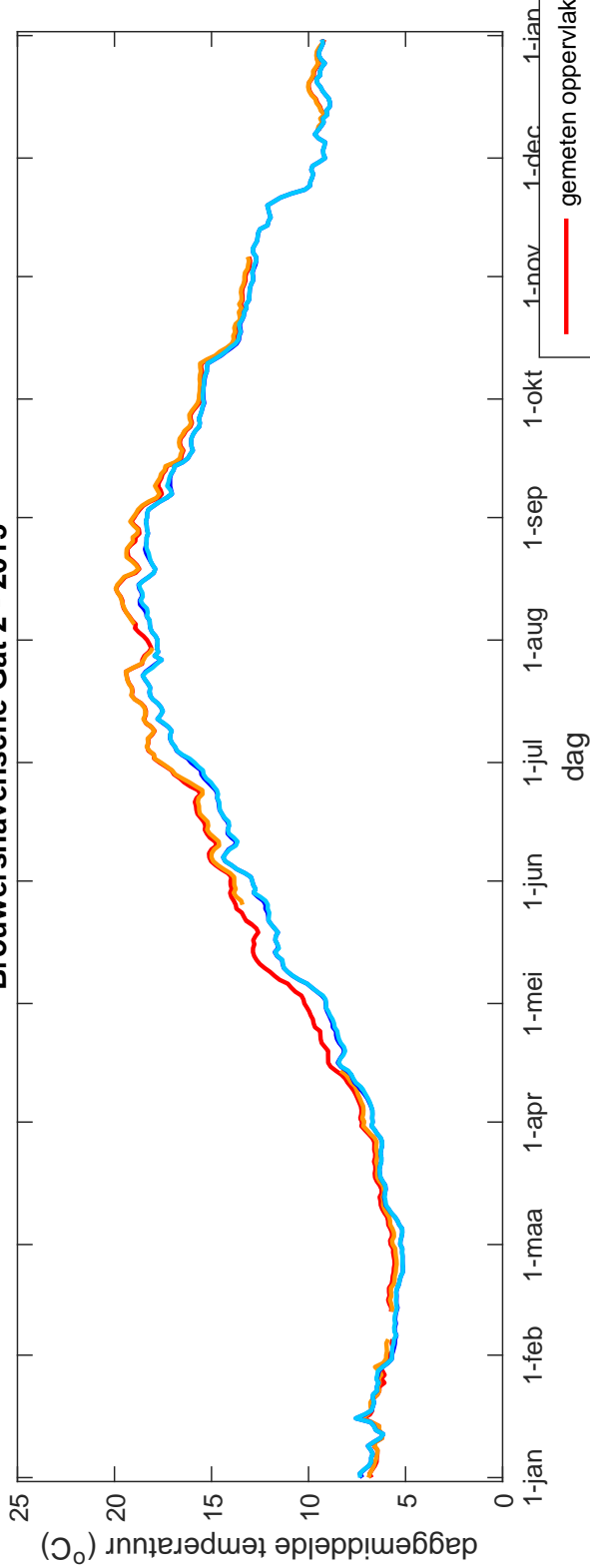


Vlakte van de Raan - 2015

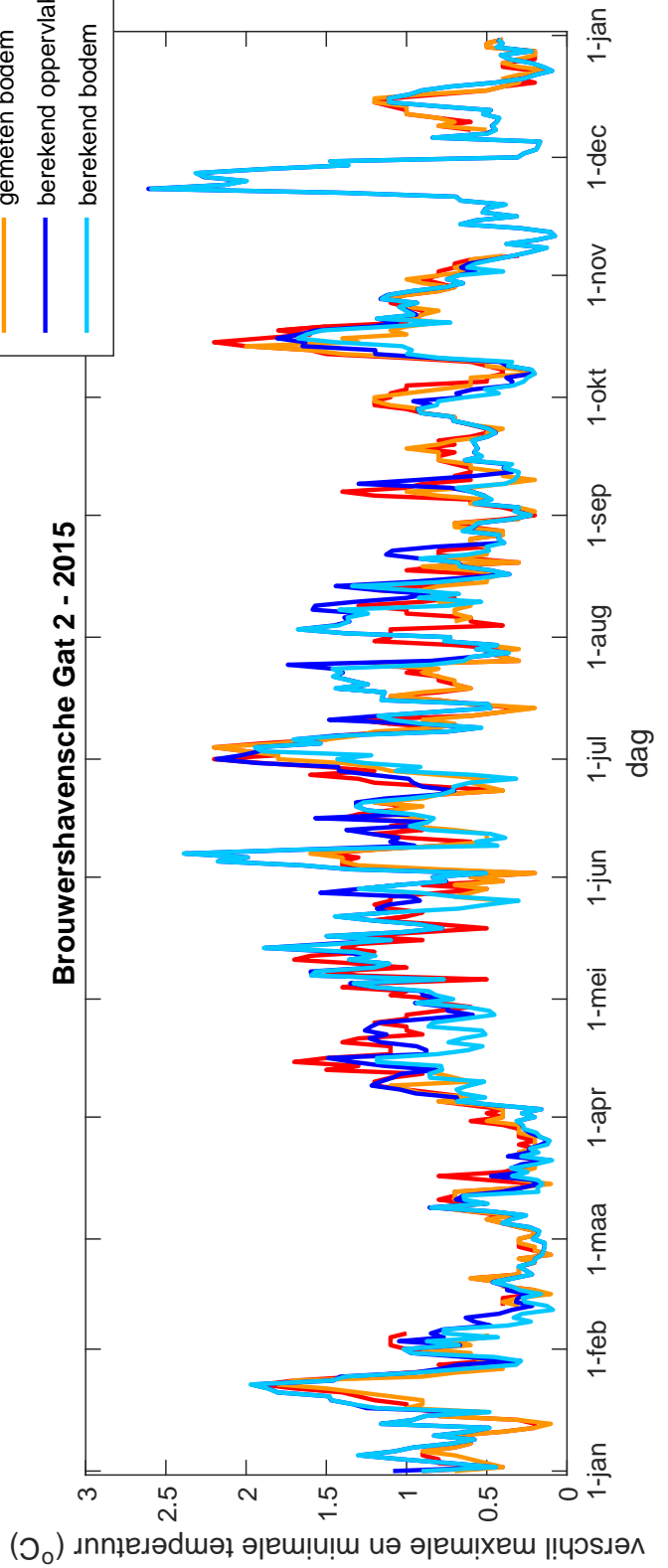


Dag-analyse van de temperatuur, vergelijking van gemiddelde en variatie per dag tussen meting en berekening in station Vlakte van de Raan

Brouwershavensche Gat 2 - 2015

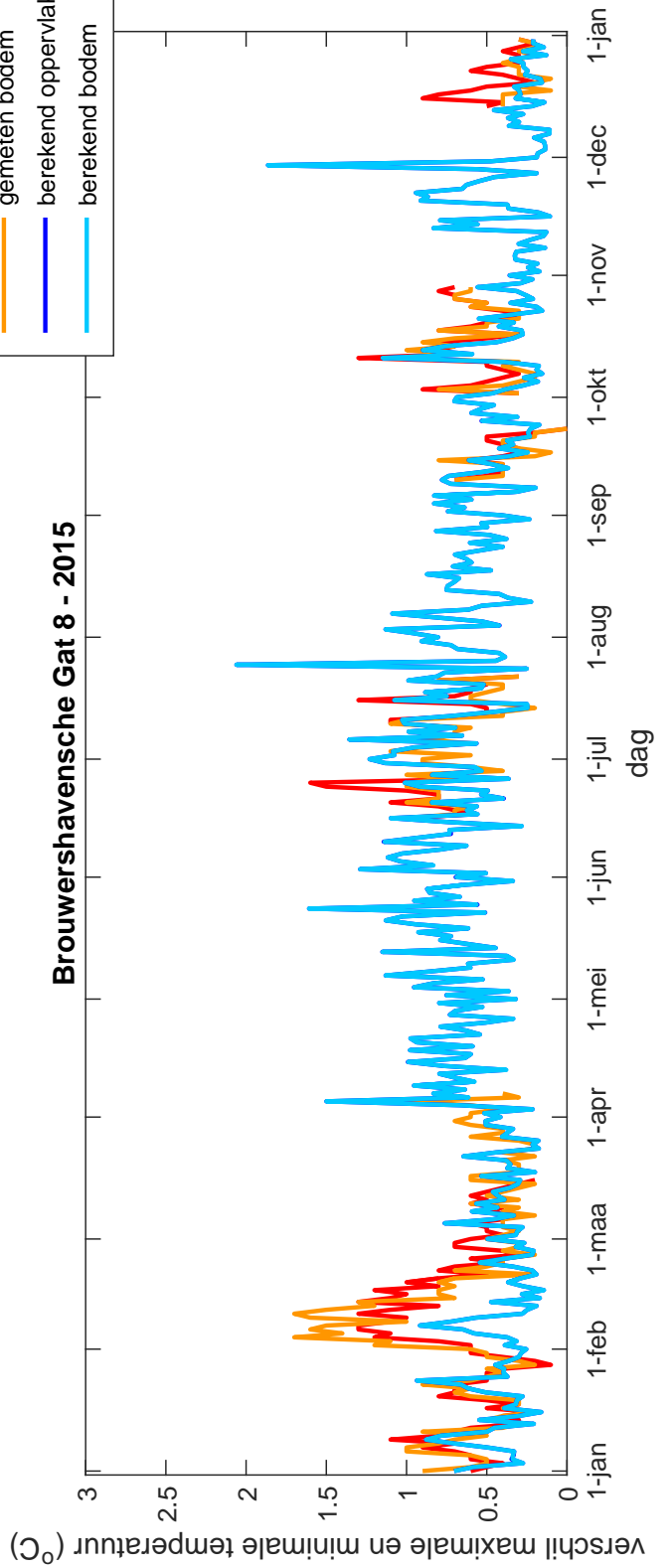
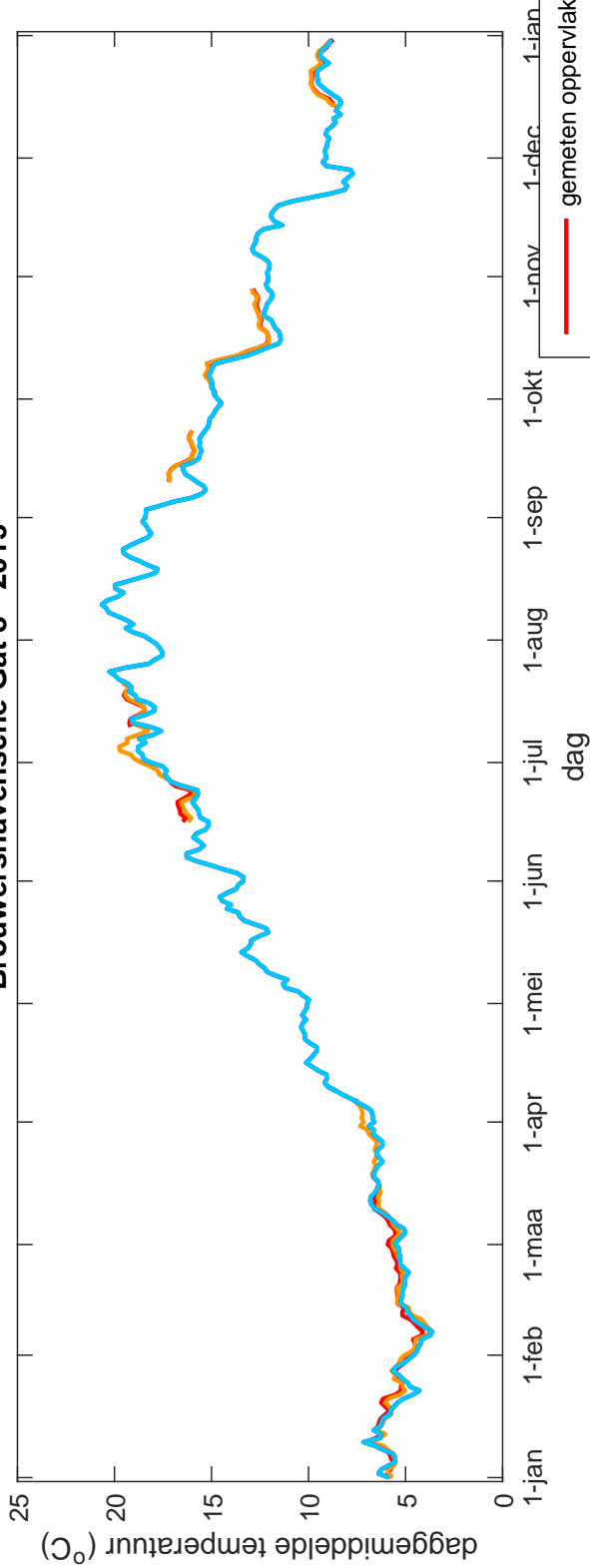


Brouwershavensche Gat 2 - 2015



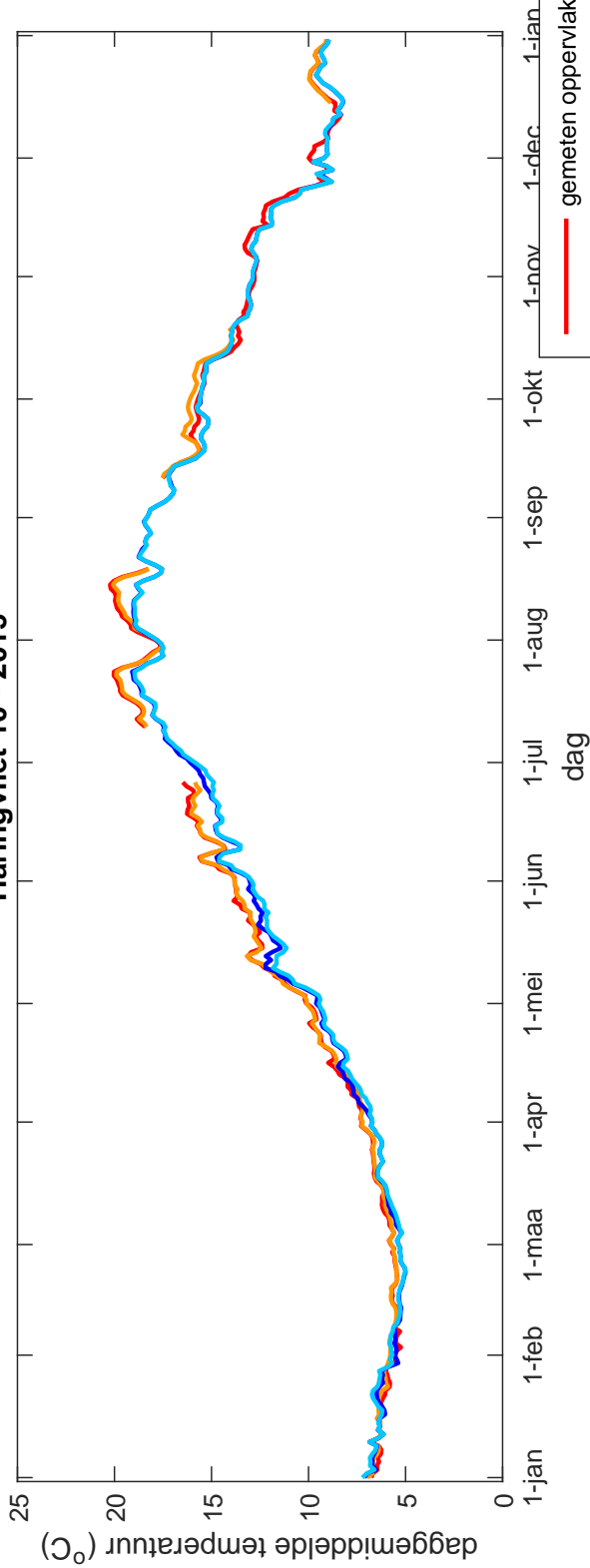
Dag-analyse van de temperatuur, vergelijking van gemiddelde en variatie per dag tussen meting en berekening in station Brouwershavensche Gat 2

Brouwershavensche Gat 8 - 2015

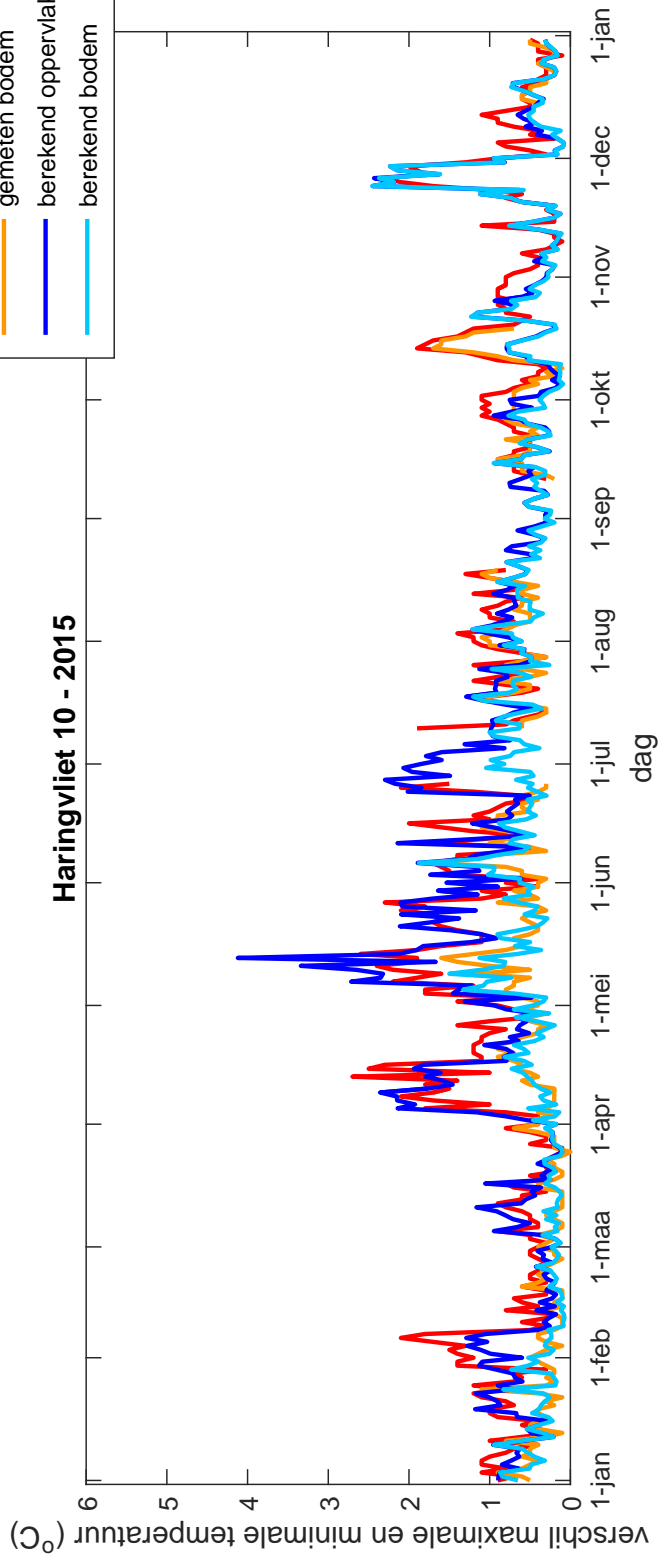


Dag-analyse van de temperatuur, vergelijking van gemiddelde en variatie per dag tussen meting en berekening in station Brouwershavensche Gat 8

Haringvliet 10 - 2015

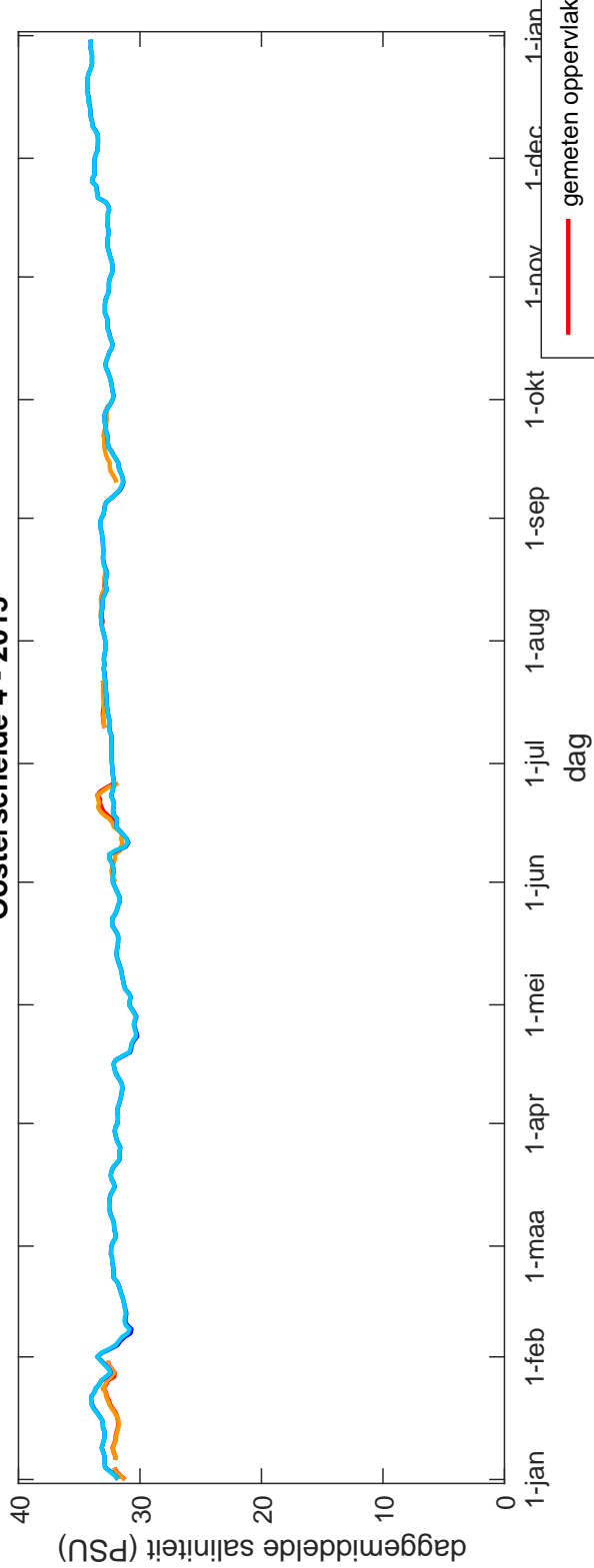


Haringvliet 10 - 2015

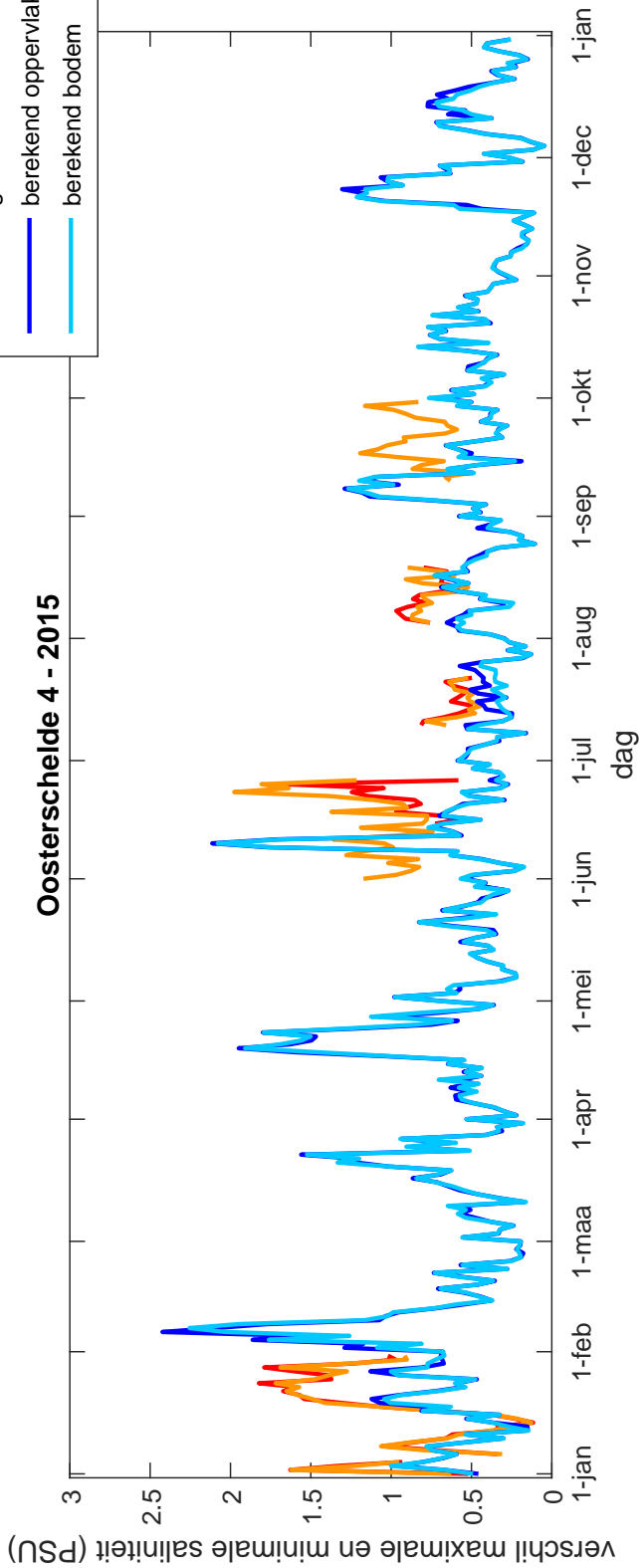


Dag-analyse van de temperatuur, vergelijking van gemiddelde en variatie per dag tussen meting en berekening in station Haringvliet 10

Oosterschelde 4 - 2015

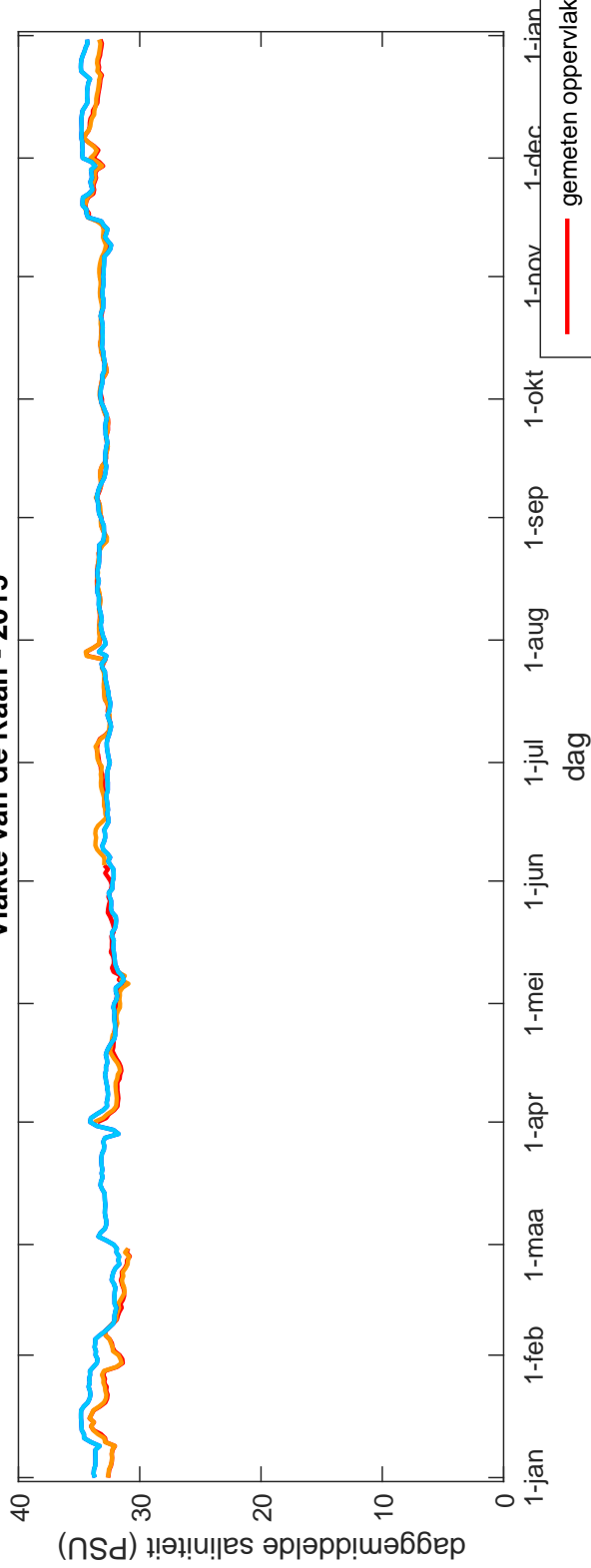


Oosterschelde 4 - 2015

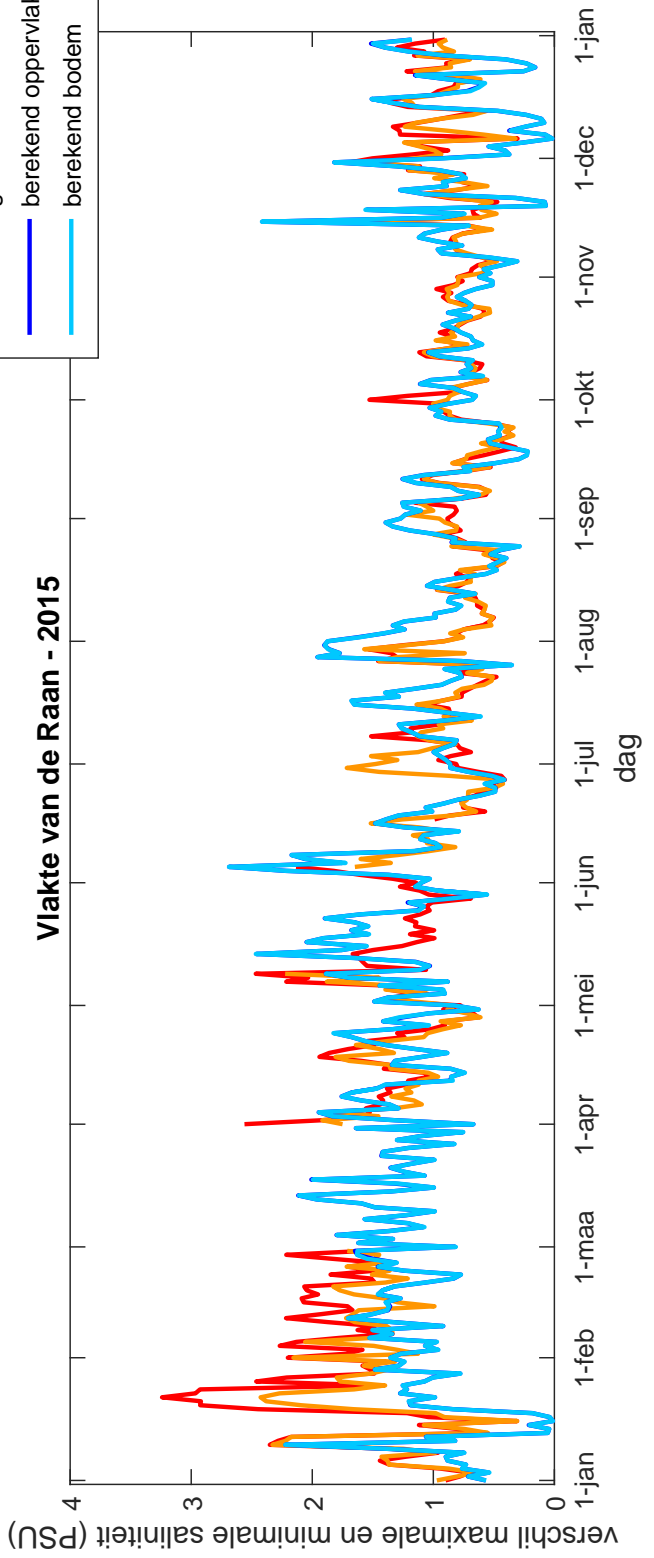


Dag-analyse van de saliniteit, vergelijking van gemiddelde en variatie per dag tussen meting en berekening in station Oosterschelde 4

Vlakte van de Raan - 2015

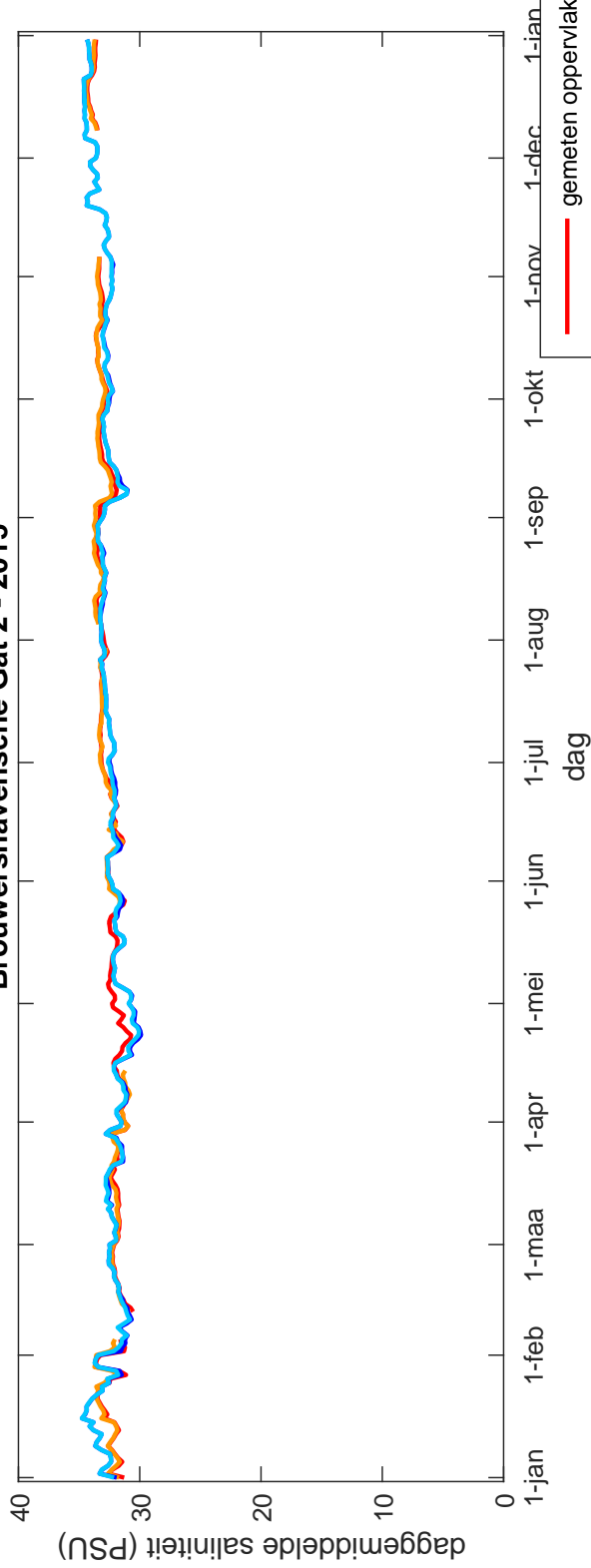


Vlakte van de Raan - 2015

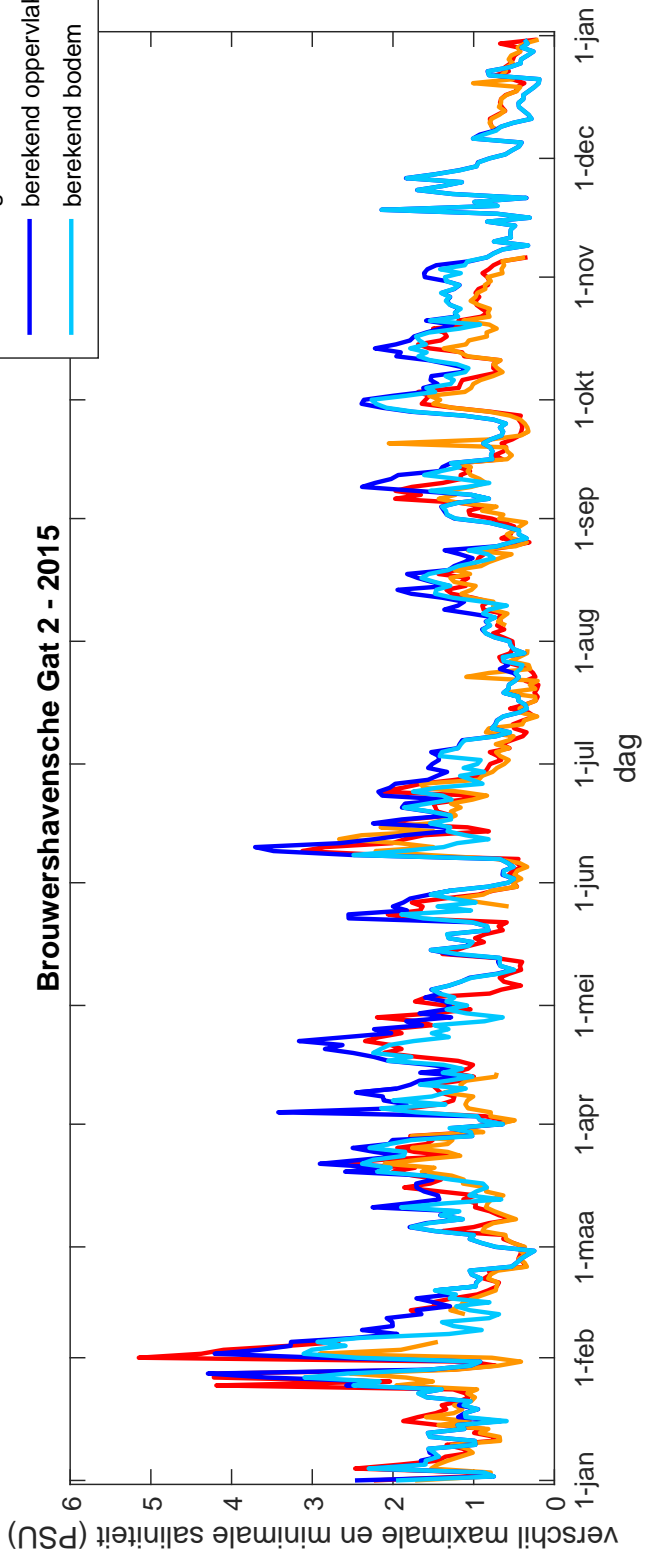


Dag-analyse van de saliniteit, vergelijking van gemiddelde en variatie per dag tussen meting en berekening in station Vlakte van de Raan

Brouwershavensche Gat 2 - 2015

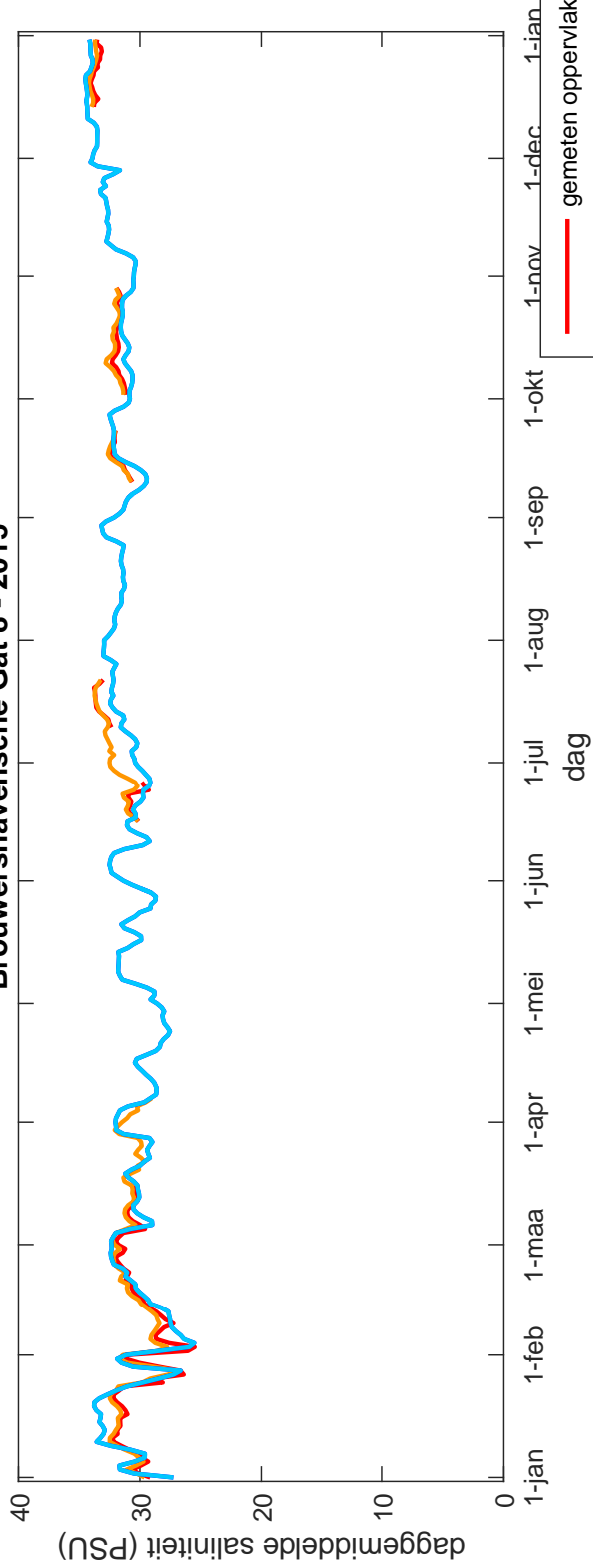


Brouwershavensche Gat 2 - 2015

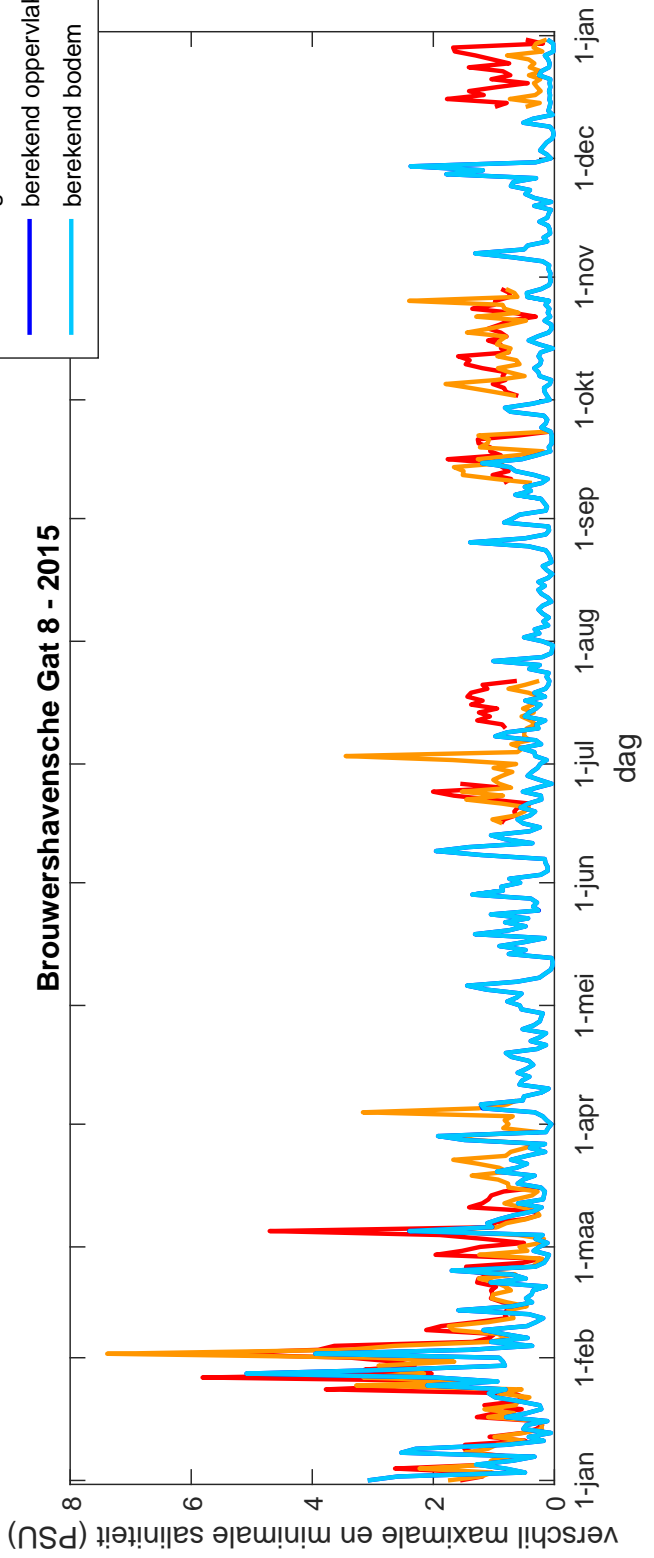


Dag-analyse van de saliniteit, vergelijking van gemiddelde en variatie per dag tussen meting en berekening in station Brouwershavensche Gat 2

Brouwershavensche Gat 8 - 2015

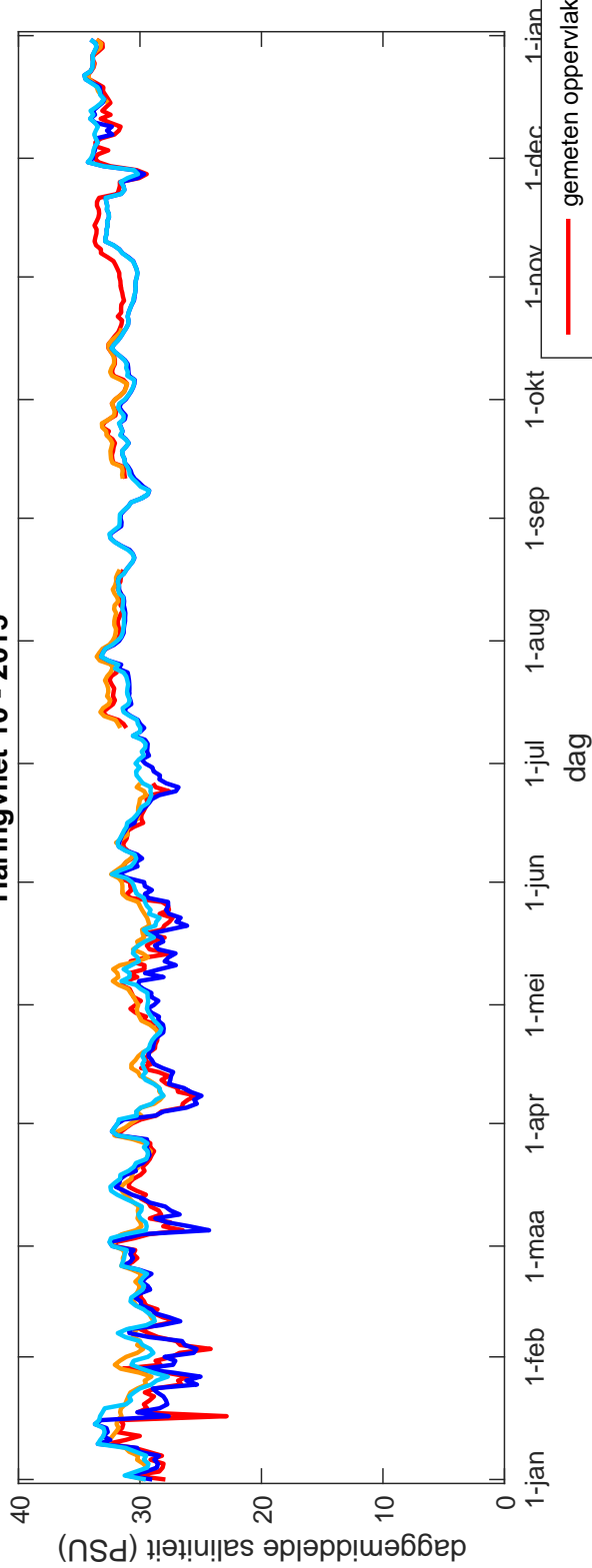


Brouwershavensche Gat 8 - 2015

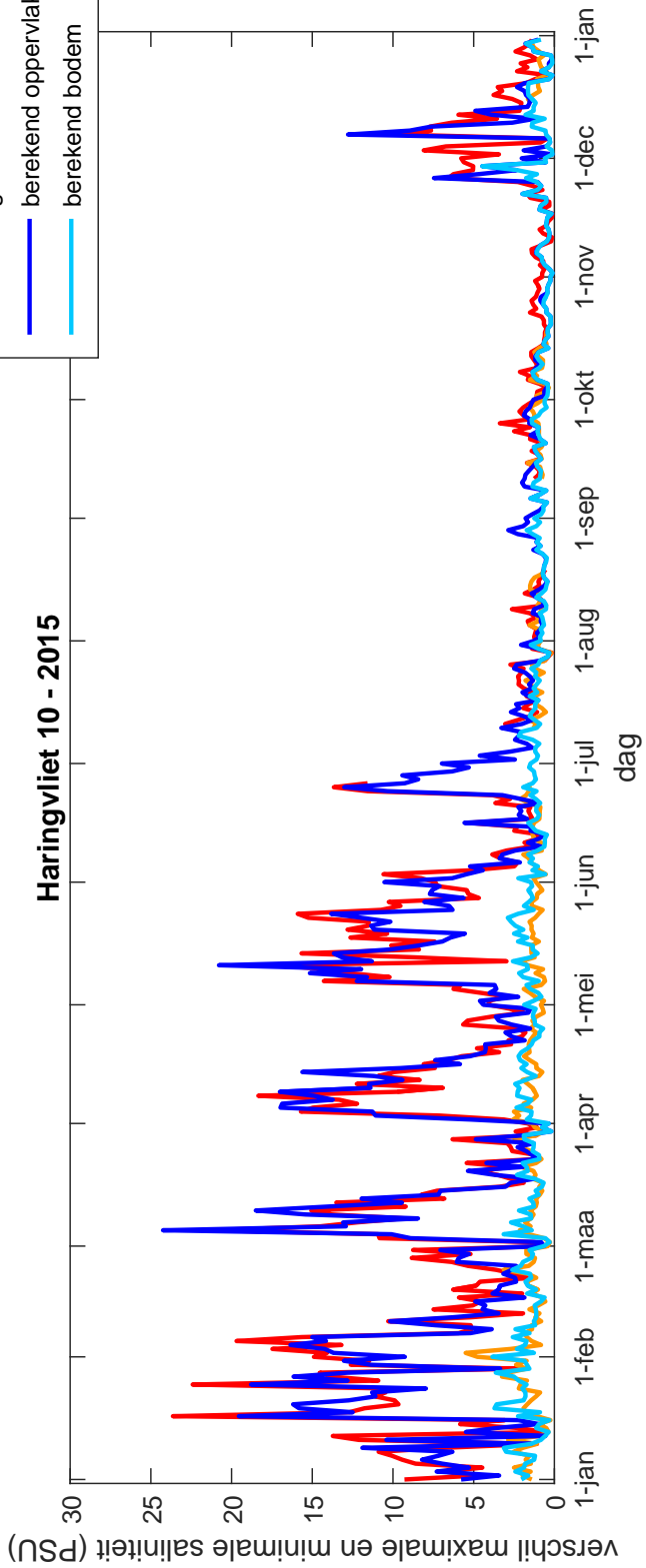


Dag-analyse van de saliniteit, vergelijking van gemiddelde en variatie per dag tussen meting en berekening in station Brouwershavensche Gat 8

Haringvliet 10 - 2015



Haringvliet 10 - 2015



Dag-analyse van de saliniteit, vergelijking van gemiddelde en variatie per dag tussen meting en berekening in station Haringvliet 10

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 137

8000 AC Zwolle

Nederland

+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com

Projectnummer: C03041.002127

Onze referentie: 079111458 0.2