

Concept

Opdrachtgever:

Deltares

PMR monitoring natuur- compensatie Voordelta

**Perceel 4, abiotiek
Beschrijving aanpak modelsimulaties,
calibratie en validatie**

Validatie rapport

C04021.002218

December 2010

Opdrachtgever **Deltares**

Titel **PMR monitoring natuurcompensatie Voordelta**

Perceel 4, Abiotiek; Beschrijving aanpak modelsimulaties, calibratie en validatie

Samenvatting Voor het project PMR monitoring natuurcompensatie Voordelta worden hindcast simulaties uitgevoerd om de abiotische parameters te bepalen voor, tijdens en na de bouw van de Maasvlakte 2. Voordat deze hindcast simulaties worden uitgevoerd, zijn de modellen eerst gecalibreerd en gevalideerd. Dit rapport geeft een overzicht van de uitgevoerde werkzaamheden en de resultaten van de validatie. De resultaten geven genoeg vertrouwen om de modellen toe te passen in het vervolg van het project.

Referenties IMARES WDDOV V2.0 overeenkomst dd. 9 oktober 2009

Rev.	Auteur	Datum	Bijzonderh.	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
0	J. Adema	23-jun-'10	Concept	G. Hartsuiker	G. van Banning
1	J. Adema	7-dec-'10		G. Hartsuiker	G. van Banning

Document Specificaties	Inhoud	Status
Rapport nummer: C04021.002218R2r1 Sleutelwoorden: Monitoring Maasvlakte, modellentrein, calibratie, validatie Project nummer: C04021.002218 Bestand: C04021.002218R2r1.doc	tekst pagina's : 33 tabellen : 13 figuren : 81 appendices : -	<input type="checkbox"/> voorlopig <input checked="" type="checkbox"/> concept <input type="checkbox"/> eindrapport



postadres
PO Box 248
8300 AE, Emmeloord

bezoekadres
Voorsterweg 28, Marknesse
tel : 0527 24 81 00
fax: 0527 24 81 11

e-mail
info@alkyon.nl
internet
http://www.alkyon.nl



Samenvatting

in het kader van het project 'PMR monitoring natuurcompensatie Voordelta' worden hindcast simulaties uitgevoerd voor de periode juni 2004 - mei 2013. Deze simulaties zijn bedoeld om abiotische parameters en afgeleide grootheden te bepalen in de Voordelta voor, tijdens en na de bouw van Maasvlakte 2. Het gaat dan met name om de grootheden waterstand, stroomsnelheid, saliniteit, watertemperatuur en bodemschuifspanning. Deze gegevens worden meegenomen bij het toetsen van hypothesen die relaties beschrijven tussen het instellen van het bodembeschermingsgebied en de veranderingen in biotische parameters. Veranderingen in de abiotische parameters kunnen mede een rol spelen bij veranderingen die waargenomen zijn in de andere percelen, te weten:

- bodemdieren,
- vissen,
- vogels, en
- gebruiksfuncties.

De simulaties worden uitgevoerd met behulp van de Modellentrein van Rijkswaterstaat en het rekeninstrument WAQUA-IN-SIMONA. Binnen deze studie zijn de volgende modelschematisaties uit de Modellentrein toegepast:

- CSM-model (Continental Shelf Model)
- Zuno-model (Zuidelijk Noordzee model)
- Kuststrook grof-model
- Kustfijn-model

Vanuit verschillende bronnen is informatie verzameld om de modellen aan te sturen. Het betreft waterstanden, rivier- en spuifvoeren, metingen voor saliniteit en watertemperatuur, meteorologische parameters (wind- en drukvelden, luchttemperatuur, bewolingsgraad en relatieve luchtvochtigheid) en andere informatie, bijvoorbeeld de sluitingen van de stormvloedkeringen. Voor de hindcast-simulaties wordt ook de voortgang van de aanleg van de Maasvlakte 2 meegenomen. Deze informatie wordt toegeleverd in de vorm van bodempeilingen.

Voordat de simulaties voor de gehele periode juni 2004 - mei 2013 worden uitgevoerd, zijn de modellen gecalibreerd en gevalideerd. Dit rapport geeft een beschrijving van deze beide processen, uitgevoerd voor de periode juni 2004 - mei 2005. Voor wat betreft de waterstanden is slechts in een validatie aangetoond dat de resultaten goed met de metingen overeen komen. De uitkomsten laten een goede overeenkomst zien tussen het model en de metingen. Afhankelijk van het model en het station varieert de gemiddelde afwijking in waterstand globaal tussen de -10 en +10 cm. Standaardafwijkingen in het fijnste model blijven onder alle omstandigheden beneden de 11 cm. Dit is voldoende geacht, omdat dit instrumentarium in de operationele sfeer dagelijks wordt toegepast en zijn betrouwbaarheid heeft bewezen. Meer aandacht is besteed aan de calibratie en validatie voor saliniteit en vooral watertemperatuur, omdat dit veel minder vaak wordt toegepast.

Voor de validatie van de saliniteit zijn slechts twee stations in de buitendelta beschikbaar, namelijk Vlakte van de Raan en Brouwershavensche Gat 08. De saliniteit wordt gemiddeld tot maximaal 2 PSU te laag berekend, nabij het oppervlak marginaal beter dan bij de bodem. De standaardafwijkingen blijven onder de 1,5 PSU, waarbij station Vlakte van de Raan iets betere resultaten geeft dan station BG08.



De watertemperatuur ligt gemiddeld over het jaar minder dan 1 °C van de metingen af. In de zomermaanden liggen de modeluitkomsten maximaal 2 °C hoger dan de metingen en 's winters maximaal 2 °C lager. De standaarddeviatie blijft onder de 1,4 °C.

Hierbij moet wel opgemerkt worden dat een deel van de afwijkingen wordt veroorzaakt doordat de metingen van tijd tot tijd beginnen te verlopen door aangroei op de meetinstrumenten. Door niet de ruwe, maar de bewerkte data te gebruiken is een deel van dit probleem opgelost, maar ook in de bewerkte data zijn metingen aanwezig die onjuist of inconsistent lijken te zijn. Het verder opschonen van de meetseries maakt geen onderdeel uit van deze studie, maar deze afwijkingen hebben wel meegewogen bij de conclusie dat het model na de uitgevoerde calibratie en validatie voldoende nauwkeurige resultaten geeft om gebruikt te worden binnen deze studie.

Inhoud

Lijst van tabellen

Lijst van figuren

1	Inleiding.....	1
1.1	Algemeen en achtergrond	1
1.2	Doel	1
1.3	Aanpak	2
1.4	Leeswijzer	2
2	Overzicht modelsimulaties	4
2.1	Inleiding	4
2.2	Oorspronkelijk voorziene aanpak	4
2.3	CSM8	6
2.4	Zuno	7
2.5	Kustgrof model	8
2.6	Kustzuid model	8
2.7	Overzicht datastromen	9
3	Overzicht gebruikte gegevens	10
3.1	Inleiding	10
3.2	Referenties en conventies	10
3.3	Waterstanden	11
3.4	Debieten	12
3.5	Saliniteiten	14
3.6	Watertemperaturen	15
3.7	Meteorologische grootheden	17
3.8	Aanvullende gegevens	19
4	Overzicht condities validatie periode.....	21
4.1	Rivierafvoeren	21
4.2	Watertemperatuur	22
4.3	Stormopzet	22
4.4	Meteo condities	23



5	Beschrijving calibratie en validatie.....	24
5.1	Inleiding	24
5.2	Validatie waterstanden	24
5.3	Calibratie zout	26
5.4	Validatie zout	26
5.5	Calibratie watertemperatuur	27
5.6	Validatie watertemperatuur	29
5.7	Resultaten	30
6	Conclusies en aanbevelingen.....	31

Referenties

Tabellen

Figuren

Lijst van tabellen

- 3.1 Overzicht van de bronnen van de waterstandsmeetgegevens en het doel binnen het project voor de verschillende stations
- 3.2 Overzicht van de bronnen van de rivierafvoeren en spuidebieten, de modellen waarbinnen ze toegepast zijn en de frequentie
- 3.3* Locaties stations Meetnet Zege
- 3.4* Niveaus van de meetsensoren oppervlakte en bodem
- 3.5* Beschikbare HIRLAM voorspellingsgegevens

- 4.1 Gemiddelde en gemiddelde dagelijkse variatie meteo-parameters over periode juni 2004 - mei 2005

- 5.1 Vergelijking tussen berekende en gemeten waterstand, CSM, 2004-2005
- 5.2 Vergelijking tussen berekende en gemeten waterstand, Zuno, 2004-2005
- 5.3 Vergelijking tussen berekende en gemeten waterstand, Kustgrof, 2004-2005
- 5.4 Vergelijking tussen berekende en gemeten waterstand, Kustzuid, 2004-2005
- 5.5 Vergelijking tussen berekende en gemeten saliniteit bij oppervlak en bodem, Kustzuid, 2004-2005
- 5.6 Vergelijking tussen berekende en gemeten watertemperatuur bij oppervlak, Kustzuid, 2004-2005
- 5.7 Vergelijking tussen berekende en gemeten watertemperatuur bij oppervlak en bodem, Kustzuid, 2004-2005

Tabellen met een * zijn in de tekst opgenomen



Lijst van figuren

- 2.1 Overzicht van de rekeroosters
- 2.2* Datastromen tussen de verschillende modelsimulaties

- 3.1 Ligging Kalman-stations DCSM
- 3.2 Ligging Kalman-stations Zuno
- 3.3 Ligging Kalman-stations Kustgrof
- 3.4 Ligging overige waterstandstations
- 3.5 Ligging debietlocaties Zuno
- 3.6 Ligging debietlocaties Kustgrof en Kuststrook
- 3.7 Ligging debietsecties SOBEK
- 3.8* Rekenrooster Kustzuid in de omgeving van de Haringvlietsluizen
- 3.9 Ligging stations temperatuur en saliniteit metingen
- 3.10 Verloop temperatuurrandvoorwaarde volgens Levitus 1994 voor CSM, variatie langs de rand voor vier maanden, variatie in het jaar voor vijf punten en ligging punten
- 3.11 Vergelijking van verschillende relaties $RH(T, T_d)$
- 3.12 Ligging polygoon t.b.v. middeling meteo-parameters HIRLAM

- 4.1 Tijdseries rivier- en spuidebieten 2004 - 2005, daggemiddelden op basis van gegevens uit Waterbase
- 4.2 Tijdseries rivier- en spuidebieten 2004 - 2005, daggemiddelden op basis van berekeningen met SOBEK
- 4.3 Verloop langjarig maandgemiddelde en jaargemiddelde debieten ten behoeve van de modellen
- 4.4 Tijdseries watertemperatuur 2004 - 2005, gegevens uit Waterbase
- 4.5 Berekenende daags maximale opzet in de Kalman stations voor CSM
- 4.6 Berekenende daags maximale opzet in de Kalman stations voor Zuno
- 4.7 Tijdseries HIRLAM meteo-parameters 2004 - 2005, luchttemperatuur ruimtelijk gemiddeld over de zuidelijke delta
- 4.8 Tijdseries HIRLAM meteo-parameters 2004 - 2005, bewolgingsgraad ruimtelijk gemiddeld over de zuidelijke delta en maandelijks gemiddelde
- 4.9 Tijdseries HIRLAM meteo-parameters 2004 - 2005, luchtvochtigheid ruimtelijk gemiddeld over de zuidelijke delta
- 4.10 HIRLAM wind en druk velden, 23-juni-2004
- 4.11 HIRLAM wind en druk velden, 24-juni-2004
- 4.12 HIRLAM wind en druk velden, 25-juni-2004
- 4.13 HIRLAM wind en druk velden, 17-november-2004
- 4.14 HIRLAM wind en druk velden, 18-november-2004
- 4.15 HIRLAM wind en druk velden, 19-november-2004
- 4.16 HIRLAM wind en druk velden, 17-januari-2005
- 4.17 HIRLAM wind en druk velden, 18-januari-2005
- 4.18 HIRLAM wind en druk velden, 19-januari-2005
- 4.19 HIRLAM wind en druk velden, 20-januari-2005
- 4.20 HIRLAM wind en druk velden, 21-januari-2005
- 4.21 HIRLAM wind en druk velden, 22-januari-2005
- 4.22 HIRLAM wind en druk velden, 23-januari-2005
- 4.23 HIRLAM wind en druk velden, 24-januari-2005

- 5.1 Vergelijking tussen gemeten en berekende amplitude en fase voor de component SA

- 5.2 Vergelijking tussen gemeten en berekende amplitude en fase voor de component M2
- 5.3 Vergelijking tussen gemeten en berekende amplitude en fase voor de component S2
- 5.4 Vergelijking tussen gemeten en berekende amplitude en fase voor de component K1
- 5.5 Vergelijking tussen gemeten en berekende amplitude en fase voor de component O1
- 5.6 Vergelijking tussen gemeten en berekende amplitude en fase voor de component M4
- 5.7 Vergelijking berekende en gemeten waterstanden, verloop BIAS en $RMSE_0$ over het jaar voor de verschillende modelsimulaties, station K13A Platform
- 5.8 Vergelijking berekende en gemeten waterstanden, verloop BIAS en $RMSE_0$ over het jaar voor de verschillende modelsimulaties, station Euro Platform
- 5.9 Vergelijking berekende en gemeten waterstanden, verloop BIAS en $RMSE_0$ over het jaar voor de verschillende modelsimulaties, station Vlissingen
- 5.10 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 1e kwartaal 2004-2005, diffusie coëfficiënt 30 en 500
- 5.11 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 2e kwartaal 2004-2005, diffusie coëfficiënt 30 en 500
- 5.12 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 3e kwartaal 2004-2005, diffusie coëfficiënt 30 en 500
- 5.13 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 4e kwartaal 2004-2005, diffusie coëfficiënt 30 en 500
- 5.14 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 1e kwartaal 2004-2005, Zege-station Vlake van de Raan
- 5.15 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 2e kwartaal 2004-2005, Zege-station Vlake van de Raan
- 5.16 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 3e kwartaal 2004-2005, Zege-station Vlake van de Raan
- 5.17 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 4e kwartaal 2004-2005, Zege-station Vlake van de Raan
- 5.18 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 1e kwartaal 2004-2005, Zege-station Brouwershavensche Gat 8
- 5.19 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 2e kwartaal 2004-2005, Zege-station Brouwershavensche Gat 8
- 5.20 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 3e kwartaal 2004-2005, Zege-station Brouwershavensche Gat 8
- 5.21 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemsaliniteit 4e kwartaal 2004-2005, Zege-station Brouwershavensche Gat 8
- 5.22 Vergelijking temperatuur K13A Platform en Euro Platform, effect keuze interpolatiepolygoon, referentieberekening en varianten 1 t/m 3
- 5.23 Vergelijking temperatuur K13A Platform en Euro Platform, effect constante meteo-grootheden, referentieberekening en varianten 4 t/m 7
- 5.24 Vergelijking temperatuur K13A Platform en Euro Platform, effect Stanton en Dalton parameters, referentieberekening en varianten 8 en 9
- 5.25 Vergelijking temperatuur K13A Platform en Euro Platform, effect correcte relatieve luchtvochtigheid, referentieberekening en variant 10
- 5.26 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlaktetemperatuur 1e kwartaal 2004-2005, Waterbase-stations Europlatf. en L.E.Goeree en de randvoorwaarde K13A Platf.



- 5.27 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlaktetemperatuur 2e kwartaal 2004-2005, Waterbase-stations Europlatf. en L.E.Goeree en de randvoorwaarde K13A Platf.
- 5.28 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlaktetemperatuur 3e kwartaal 2004-2005, Waterbase-stations Europlatf. en L.E.Goeree en de randvoorwaarde K13A Platf.
- 5.29 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlaktetemperatuur 4e kwartaal 2004-2005, Waterbase-stations Europlatf. en L.E.Goeree en de randvoorwaarde K13A Platf.
- 5.30 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlaktetemperatuur 1e kwartaal 2004-2005, Waterbase-stations Vlissingen, Hoek van Holland en Noordwijk Meetpost
- 5.31 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlaktetemperatuur 2e kwartaal 2004-2005, Waterbase-stations Vlissingen, Hoek van Holland en Noordwijk Meetpost
- 5.32 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlaktetemperatuur 3e kwartaal 2004-2005, Waterbase-stations Vlissingen, Hoek van Holland en Noordwijk Meetpost
- 5.33 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlaktetemperatuur 4e kwartaal 2004-2005, Waterbase-stations Vlissingen, Hoek van Holland en Noordwijk Meetpost
- 5.34 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemtemperatuur 1e kwartaal 2004-2005, Zege-station Vlake van de Raan
- 5.35 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemtemperatuur 2e kwartaal 2004-2005, Zege-station Vlake van de Raan
- 5.36 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemtemperatuur 3e kwartaal 2004-2005, Zege-station Vlake van de Raan
- 5.37 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemtemperatuur 4e kwartaal 2004-2005, Zege-station Vlake van de Raan
- 5.38 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemtemperatuur 1e kwartaal 2004-2005, Zege-station Brouwershavensche Gat 8
- 5.39 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemtemperatuur 2e kwartaal 2004-2005, Zege-station Brouwershavensche Gat 8
- 5.40 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemtemperatuur 3e kwartaal 2004-2005, Zege-station Brouwershavensche Gat 8
- 5.41 Vergelijking metingen en modelresultaten, oppervlakte- en bodemtemperatuur 4e kwartaal 2004-2005, Zege-station Brouwershavensche Gat 8

Figuren met een * zijn in de tekst opgenomen



1 Inleiding

1.1 Algemeen en achtergrond

Alkyon Hydraulic Consultancy & Research maakt deel uit van een consortium dat wordt geleid door Wageningen IMARES. Dit consortium bestaande uit IMARES, CSO, NIOO, Alkyon, Bureau Waardenburg en INBO, doet onderzoek naar de natuurcompensatie in de Voordelta, die gerelateerd is aan de ontwikkeling van Maasvlakte 2. De activiteiten zijn verdeeld over vijf percelen:

- bodemdieren,
- vissen,
- vogels,
- abiotiek, en
- gebruiksfuncties.

Tengevolge van de aanleg van MV2 gaat in totaal ongeveer 2455 ha van habitattypen 1110 (permanent overstroomde zandbanken) verloren. Ter compensatie is in juni 2008 het bodembeschermingsgebied Voordelta ingesteld, dat qua omvang ongeveer 10 maal zo groot als het gebied dat gecompenseerd moet worden. Binnen dit gebied is de boomkorvisserij (platvissen) niet langer toegestaan. Deze reductie in bodemberoerende activiteiten in het gebied zouden leiden tot een kwaliteitsverbetering van ongeveer 10% in termen van bodemdierenbiomassa. Daarnaast zijn nog vijf rustgebieden ingesteld (Hinderplaat, Bollen van de Ooster, Bollen van het Nieuwe Zand, Slikken van Voorne en Verklikkerplaat) ten behoeve van zeehonden en vogels.

Het project PMR monitoring natuurcompensatie Voordelta is opgezet met als doel de effecten van deze maatregelen te monitoren en te evalueren. De monitoring moet uitwijzen of de toename in vogels, vissen en bodemleven voldoende is om de aanleg van de Maasvlakte 2 te compenseren. De evaluatie gebeurt aan de hand van een aantal hypothesen en effectrelaties, die moeten uitwijzen of deze toename (of afname) het gevolg is van de toewijzing van het gebied als bodembeschermingsgebied of dat ook andere effecten daarin een rol spelen (veranderingen in gebruiksfuncties of abiotische parameters).

Voor het volgen of monitoren, zijn en worden uitgebreide meetcampagnes uitgevoerd in afgelopen jaar, dit jaar en de komende jaren. Die meetcampagnes betreffen de ontwikkelingen van de benthos, van de vissen, van de vogels en van het gebruik van dit gebied. Voor het bepalen van de abiotische omgevingscondities is gebruik gemaakt van een modelaanpak, waarbij de modellentrein van Rijkswaterstaat is ingezet om 9 jaar hindcasts te draaien om de waterstand, stroomsnelheid, saliniteit, watertemperatuur en bodemschuifspanning in de Voordelta te bepalen. Voordat de modellen zijn ingezet, zijn deze eerst gecalibreerd en gevalideerd aan de hand van een groot aantal beschikbare meetgegevens. Dit rapport behandelt deze calibratie en validatie. De resultaten van de hindcasts worden in een apart rapport gepresenteerd.

1.2 Doel

Het doel van dit rapport is een overzicht te geven van de inspanningen die zijn verricht om de gebruikte modellen te calibreren en valideren. De modelresultaten worden uiteindelijk gebruikt als input bij het helpen verklaren van de veranderingen in het



voorkomen van vogels, vissen en benthos in de Voordelta. In die zin is dit onderdeel van het totale project vooral ondersteunend.

1.3 Aanpak

Voor het genereren van de gewenste gegevens is een plan van aanpak geschreven (H.J.L. Heessen et al, 8 juli 2009, deel B, Hoofdstuk 4 Abiotiek). Als gevolg van beperkingen in de beschikbaarheid van gegevens en rekenkracht, is de aanpak in deze eerste fase van het project licht gewijzigd. In hoofdstuk 2 van dit rapport wordt nader ingegaan op deze wijzigingen, die in overleg met de opdrachtgever zijn doorgevoerd.

In grote lijnen, wordt er een aanpak gevolgd met 2 dimensionale en 3 dimensionale numerieke stromingsmodellen, waarin de effecten van de meteorologie en de afvoeren van de rivieren zoveel als mogelijk op basis van actuele meetwaarden worden meegenomen. Er wordt een sequentie van modellen gebruikt gaande van groot naar klein. De grote modellen genereren randvoorwaarden voor de kleinere modellen. Er wordt voor een deel gebruik gemaakt van de standaard modellen uit de modellentrein van Rijkswaterstaat. Daaraan worden ten behoeve van de fysica op enkele plaatsen proces aanpassingen uitgevoerd.

De volgende model-schematisaties zijn in deze studie toegepast:

- CSM8-model (Continental Shelf Model)
- Zuno-model (Zuidelijk Noordzee model)
- Kuststrook grof-model
- Kustfijn-model

Voor het CSM8 model worden drie verschillende simulaties uitgevoerd, voor Zuno eveneens drie en voor zowel Kustgrob als Kustfijn elk één.

Van het Kustfijn model is alleen het zuidelijke deel doorgerekend, om de rekentijd te verkorten. De rand is ter hoogte van Den Helder gelegd. Deze uitsnede zal hier als Kustzuid worden aangeduid, niet te verwarren met het Kustzuid model van Rijkswaterstaat, dat alleen de Zeeuwse en Vlaamse kust omvat.

Binnen het contract worden alle simulaties uitgevoerd voor een periode lopende van 1 juni 2004 tot en met 31 mei 2013. Alle simulaties worden in hindcast mode uitgevoerd. De calibratie en validatie zoals beschreven in dit rapport is uitgevoerd voor de periode juni 2004 tot en met mei 2005. Op basis van deze gevalideerde modellen worden uiteindelijk de productiesimulaties uitgevoerd voor de periode 1 juni 2004 tot en met 31 mei 2013. De validatieperiode maakt dus onderdeel uit van de totale simulatieperiode.

De Kalman filter techniek wordt specifiek ingezet om de waterstanden zo nauwkeurig mogelijk te modelleren, onder de aanname dat een zo nauwkeurig mogelijk waterstandsverloop de beste kansen geeft op een betrouwbare berekening van transport van zout en temperatuur en stroomsnelheden met het meest gedetailleerde model.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de gebruikte modellen en de verschillende simulaties op een rij gezet. Ook wordt de onderlinge informatie-uitwisseling schematisch weergegeven.

Hoofdstuk 3 beschrijft alle informatie die in deze studie is gebruikt, zoals alle metingen (waterstanden, debieten, saliniteiten, temperaturen) en alle andere relevante gegevens.

Hoofdstuk 4 geeft een synoptische beschrijving aan de hand van de omgevingscondities. Hierbij wordt aandacht besteed aan perioden met bijvoorbeeld hoge rivierafvoeren of stormperioden. Deze beschrijving helpt om de resultaten van de calibratie en validatie, zoals beschreven in hoofdstuk 5, te verklaren. De conclusies en aanbevelingen volgen ten slotte in hoofdstuk 6.



2 Overzicht modelsimulaties

2.1 Inleiding

Binnen dit project wordt gebruik gemaakt van de modellentrein van Rijkswaterstaat. Figuur 2.1 toont de rekenroosters van de gebruikte modellen:

- CSM8
- Zuno
- Kustgrof
- Kustzuid (uitsnede van zuidelijke deel van Kustfijn)

Naar aanleiding van verschillende verkennende simulaties in het begin van de studie is gebleken dat de in het oorspronkelijke plan van aanpak (H.J.L. Heessen et al, 8 juli 2009, deel B, Hoofdstuk 4 Abiotiek) beschreven werkwijze niet uitvoerbaar bleek. In overleg met de opdrachtgever is een alternatief plan van aanpak opgesteld. In paragraaf 2.2 worden kort de overwegingen nader toegelicht. In de rest van het hoofdstuk worden de verschillende simulaties verder toegelicht en de onderlinge samenhang gepresenteerd.

Voor de modellen wordt gebruik gemaakt van het Simona pakket, dat eigendom is van Rijkswaterstaat. Binnen de modellen wordt gebruik gemaakt van Kalman filter technieken (een optimale mix van modellen en metingen) om zo nauwkeurig mogelijk de werkelijkheid te volgen. Voor alle modellen wordt gebruik gemaakt van een speciale Simona release versie c94153-sv-wind-heat, revisie 2983 (repository) uit 2009. Dat is een versie, waarin het volledige temperatuurmodel van De Goede (Lane, 1989, Gill, 1982) is opgenomen, inclusief een mogelijkheid om een ruimtelijk variërend windveld op te leggen. In een eerdere versie van het temperatuurmodel werd alleen een ruimtelijk uniforme wind ondersteund. Deze laatste aanpassing is niet opgenomen in de nieuwe Simona Major release, die november 2009 is uitgekomen, maar intussen wel in de Major release 2010 van april 2010.

2.2 Oorspronkelijk voorziene aanpak

De uit te voeren modelsimulaties zijn aangeboden met een zekere mate van onzekerheid. In de eerste fase van dit project is veel aandacht besteed aan de mogelijkheden en onmogelijkheden van de voorgestelde aanpak. Daarbij zijn veel proefsimulaties uitgevoerd. In sommige gevallen bleek de voorgestelde aanpak niet praktisch, in andere gevallen bleek de aanpak niet mogelijk, door beperkingen in de software of rekentijd. In overleg met de opdrachtgever zijn vervolgens bepaalde praktisch haalbare keuzes gemaakt.

De beperkingen kunnen worden opgesplitst in beperkingen die gerelateerd zijn aan de te gebruiken Kalman filters, beperkingen die gerelateerd zijn aan het te gebruiken temperatuur model en beperkingen die gerelateerd zijn aan de rekentijd. In het kort de bevindingen:

Kalman filter

- De Kalman filters voor de verschillende modellen (CSM, Zuno en Kustgrof) zijn gegenereerd voor de bestaande Nautboom¹ modellen, dat wil zeggen zonder variabele saliniteit en watertemperatuur. Het blijkt niet mogelijk te zijn deze Kalman filters toe te passen in een model waarin deze processen wel worden meegenomen. Dat beperkt het toepassen van de Kalman filtering techniek voor CSM, Zuno en Kustgrof.

De Kalmanfilter technieken zijn redelijk essentieel voor het bereiken van een basisnauwkeurigheid voor de waterstanden van de toe te passen modellen. De oplossing is gevonden in het opsplitsen van de modelsimulaties voor CSM en Zuno in één simulatie met Kalman filter (zonder zout) voor het berekenen van de waterstandsrandvoorwaarden en één simulatie zonder Kalman filter maar met zout om zoutrandvoorwaarden te genereren. In de betreffende paragrafen van deze modellen wordt dit verder uitgewerkt.

Een andere optie betreft het aanmaken van nieuwe Kalman filters voor deze modellen, waarbij wel variabele saliniteit en eventueel watertemperatuur worden meegenomen. Echter, binnen deze studie was hiervoor geen tijd en geld gereserveerd.

Temperatuur model

- Het recent geïmplementeerde uitgebreide temperatuur model (volgens de Goede) bleek geen ruimtelijk variërende windvelden te ondersteunen. Dit was al wel bekend voor wat betreft de relatieve vochtigheid, bewolgingsgraad en luchttemperatuur. Uit het oogpunt van grootschalige waterbeweging op CSM-schaal is een ruimtelijk uniforme wind echter veel te beperkt. In overleg met de opdrachtgever is vervolgens door de beheerder van het model een crash actie uitgevoerd om de combinatie van scalaire grootheden met ruimtelijk variërende wind- en drukvelden wel mogelijk te maken. Het gebruik van ruimtelijk variërende luchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid en bewolgingsgraad is nog steeds niet mogelijk. Het verdient aanbeveling dit in SIMONA aan te passen.
- Een simulatie waarbij het temperatuurmodel is meegenomen in een CSM simulatie liet een veel te grote opwarming in de zomer zien, met gevolgen voor de waterstand. In de zomer werd de waterstand gemiddeld ongeveer 20 cm hoger langs de Nederlandse kust ten opzichte van de winter. Dit effect op de middenstand komt neer op een jaarcomponent (SA, Solar Annual), die ook in werkelijkheid wordt gevonden, maar door het model in combinatie met de opgelegde component op de rand onrealistisch werd versterkt. Later bleek echter de relatieve luchtvochtigheid onjuist te zijn opgelegd. Intussen was echter al besloten om alleen het Kustzuid model met variabele watertemperatuur te draaien, zodat niet verder is uitgezocht in hoe verre dit met de juiste luchtvochtigheid ook nog speelt en hoe realistisch dit is.

Rekentijd

- Uit het oogpunt van rekestijd bleek de oorspronkelijk voorziene aanpak van het Kustfijn model in combinatie met Randdelta 3 en tevens met temperatuur en

¹ De Nautboom is het operationele voorspellings modellen systeem van Rijkswaterstaat, dat gebruikt wordt door de stormvloedwaarschuwingsdienst en de hydro-meteo centra van de overheid.



zout, forcering door wind en drukvelden niet haalbaar. Ondanks de inzet van snelle reken pc's, bleek de rekentijd op te lopen tot 8 op 1 (1 dag doorrekenen kost 3 uur rekentijd, ofwel 1 jaar doorrekenen vergt anderhalve maand rekentijd). In overleg met de opdrachtgever is daarom besloten het Randdelta 3 model te laten vervallen. In de praktijk zal de ruimtelijke variatie van zout en temperatuur over het gebied niet zeer abrupt veranderen, behalve lokaal ter plaatse van de zoetwater pluim bij de Maasmond en het Haringvliet. Met deze gereduceerde aanpak is de rekentijd gedaald tot 25 dagen voor een heel jaar.

Dataopslag

- Daarnaast is vastgesteld dat het voor het fijnste model uit het oogpunt van opslagcapaciteit handiger is om time histories in ieder punt van het interessegebied met een tijdsinterval van 30 minuten weg te schrijven dan elk uur een map veld. Hierdoor kan selectiever alleen in het interessegebied informatie worden weggeschreven en worden niet onnodig andere grootheden als mapveld bewaard. Rond interessante perioden is het wel mogelijk om aanvullend een beperkt aantal mapvelden weg te schrijven. Ook kunnen op basis van de histories mapvelden worden afgeleid, aangezien de x- en y- coördinaten van elk punt bekend zijn.

2.3 CSM8

Met het CSM8 model worden per jaar de volgende drie modelsimulaties uitgevoerd:

1. astro: 2D-simulatie zonder wind en drukvelden en zonder zout (constant niveau voor het zout) en temperatuur (constant niveau voor de temperatuur). De zogenaamde astro simulatie, waarbij het model gedreven wordt door de standaard getijden componentenset voor CSM8. Deze simulatie levert randvoorwaarden voor de Zuno astro simulatie (simulatie 4 in paragraaf 2.4) en de astronomische tijdseries in de Kalman stations voor de CSM hindcast simulatie (simulatie 2).
2. hindcast: 2D-simulatie met in de tijd en ruimte variërende wind- en drukvelden, met Kalman filtering, zonder zout (constant niveau voor het zout) of temperatuur (constant niveau voor de temperatuur). Er vindt een drukcorrectie op de rand plaats. De gebruikte wind- en drukvelden zijn steeds de eerste tijdstippen uit de HIRLAM hindcasts van het KNMI (zie paragraaf 3.7). Het Kalman filter is het standaard wind Kalman filter dat ook in de Nautboom gebruikt wordt. Het Kalman filter gebruikt een combinatie van het door het model berekende astronomische signaal en de gemeten opzet in de Kalman stations. Deze simulatie levert de tijdsafhankelijke randvoorwaarden voor simulatie 5 in paragraaf 2.4.
3. hindcast zout: 2D-simulatie met in de tijd en ruimte variërende wind- en drukvelden zonder Kalman filter, met zout, maar zonder temperatuur (constant niveau voor de temperatuur). Tevens worden de grootschalige zoutrandvoorwaarden op zee en op de rivieren meegenomen. Doel van deze simulatie is tijdsafhankelijke zout randvoorwaarden af te leiden voor het Zuno-model (simulatie 6 onder 2.4).

In alle simulaties worden de afvoeren van de grootste rivieren en spuien meegenomen:

- Firth of Forth
- Humber
- Thames
- Schelde
- Nieuwe Waterweg

- IJmuiden
- Den Oever
- Kornwerderzand
- Haringvliet
- Eems
- Weser
- Elbe
- Seine

Deze afvoeren zijn overgenomen uit de schematisatie voor Zuno. In het rekendomein van CSM monden wel meer rivieren uit, maar deze worden niet-significant geacht voor de waterbeweging en saliniteit in de buitendelta.

Elk van de simulaties is opgedeeld in vier berekeningen van elk 3 maanden. Voorafgaand aan de eerste simulatie is voldoende lang (anderhalf jaar) ingespeeld om de noodzakelijke processen (waterbeweging, zout) te initialiseren.

De reden voor het uitvoeren van 3 verschillende simulaties is dat elke simulatie informatie genereert ten behoeve van de uiteindelijke Kustfijn simulatie. Doordat het Kalman-filter niet werkt in een simulatie waarin zout als proces wordt meegenomen, moesten de tweede en derde simulatie worden opgesplitst.

Het Kalman filter optimaliseert de opzet, door de manier waarop de tijdseries in de Kalman stations worden gemaakt. De aanpak voor het genereren van deze 'kunstmatige' tijdseries is als volgt:

- er wordt een getijanalyse (93 componenten) uitgevoerd op een meetserie van een jaar;
- de stormopzet (het residu) wordt bepaald;
- dit residu wordt opgeteld bij het resultaat van de astro-simulatie (simulatie 1).

Voor de Britse stations zijn de eerste twee stappen niet nodig, aangezien het residu direct al is gegeven bij de meetseries.

Op deze manier wordt het modelresultaat geoptimaliseerd in termen van opzet, doordat het signaal naar de opzet wordt getrokken, zonder ook te corrigeren voor modelfouten, zoals het geval zou zijn als de werkelijke metingen worden aangeboden aan het Kalman filter.

2.4 Zuno

Met Zuno worden een vergelijkbare serie modelsimulaties doorgerekend als met CSM.

4. astro: 2D-simulatie zonder zout (constant niveau voor het zout) en temperatuur (constant niveau voor de temperatuur) en zonder wind- en drukvelden, randvoorwaarden in de vorm van waterstandstijdreeksen uit de astro simulatie van CSM (simulatie 1 van paragraaf 2.3). Deze simulatie levert de astronomische tijdseries op de rand van het Kustgrof-model en de astronomische tijdseries in de Kalman stations voor de Zuno hindcast simulatie (simulatie 5)
5. hindcast: 2D-simulatie zonder zout (constant niveau voor het zout) en temperatuur (constant niveau voor de temperatuur) met in de tijd en ruimte variërende wind- en drukvelden, met Kalman filtering. Het Kalman filter is het standaard randvoorwaarden Kalman filter dat ook in de Nautboom gebruikt wordt voor Zuno. De tijdsaf-



hankelijke randvoorwaarden voor waterstanden komen uit het CSM model (simulatie 2 van paragraaf 2.3). In combinatie met simulatie 4 levert deze simulatie een zo nauwkeurig mogelijke tijdserie van de opzet langs de rand van Kustgrof.

6. hindcast zout: 2D-simulatie met in de tijd en ruimte variërende wind- en drukvelden en zout, maar zonder temperatuur (constant niveau voor de temperatuur) en zonder Kalman filter. Naast de waterstandsrandvoorwaarden worden tevens de zoutrandvoorwaarden uit CSM (simulatie 3) en zoetwater-afvoeren meegenomen. Doel van deze simulatie is tijdsafhankelijke zoutrandvoorwaarden af te leiden voor het Kustfijn model.

Ook in deze simulaties worden de afvoeren van de grootste rivieren en spuien meegenomen. Alle simulaties worden net als voor het CSM-model per kwartaal uitgevoerd.

2.5 Kustgrof model

Met het Kustgrof model wordt per jaar slechts één simulatie uitgevoerd:

7. hindcast: 2D-simulatie met in de tijd en ruimte variërende wind- en drukvelden, met Kalman filtering, maar zonder zout (constant niveau voor het zout) en temperatuur (constant niveau voor de temperatuur). Het Kalman filter is het standaard randvoorwaarden Kalman filter dat ook in de Nautboom gebruikt wordt voor Kustgrof. De tijdsafhankelijke randvoorwaarden komen uit een combinatie van de gecalibreerde astro-randvoorwaarde (afkomstig van een op getijconstanten afgeregeld model) in combinatie met in de tijd en langs de rand variërende met Zuno berekende opzet (het verschil tussen Zuno-simulaties 5 en 4). Met dit model worden de randvoorwaarden gegenereerd voor simulatie nummer 8 (paragraaf 2.6) met de uitsnede van het Kustfijn model.

De afvoeren van de rivieren en de sluizen worden ook in dit model meegenomen.

Binnen het domein vallen:

- Eems
- Kornwerderzand
- Den Oever
- IJmuiden
- Nieuwe Waterweg
- Haringvliet
- Schelde-Schelle

Ook deze simulatie is in vier deelsimulaties van 3 maanden opgedeeld.

Voor de sturing van het Kalman filter wordt in dit geval gebruik gemaakt van de werkelijk gemeten tijdseries in de Kalman stations en niet van een combinatie van astro en opzet, aangezien dit Kalman-filter de resultaten naar de werkelijke metingen moet corrigeren, om zo optimale randvoorwaarden te genereren voor de Kustfijn simulatie (simulatie 8 uit paragraaf 2.6).

2.6 Kustzuid model

Voor het Kustzuid model wordt eveneens per jaar slechts één simulatie uitgevoerd

8. hindcast zout temperatuur: 3D simulatie met in de tijd en ruimte variërende wind- en drukvelden en scalaire maar wel in de tijd variërende aandrijving voor relatieve luchtvochtigheid, bewolgingsgraad en luchttemperatuur. Ook worden zout en temperatuur meegenomen. Er wordt geen Kalman filter gebruikt. De waterstand-

randvoorwaarden komen uit het Kustgrof model (simulatie 7), de zout-
randvoorwaarden komen uit de Zuno simulatie met zout (simulatie nummer 6 uit
paragraaf 2.4) en de temperatuur-randvoorwaarden komen uit metingen op zee
(station K13A Platform). Op de rivieren en spuilocaties worden tijdseries opgelegd
voor afvoer, saliniteit en watertemperatuur. Deze simulatie wordt uitgevoerd in 3
dimensies met 10 equidistante lagen in de verticaal. Met het oog op rekentijd en
dataopslag is verder niet gekeken naar het effect van een verdubbeling van het
aantal lagen.

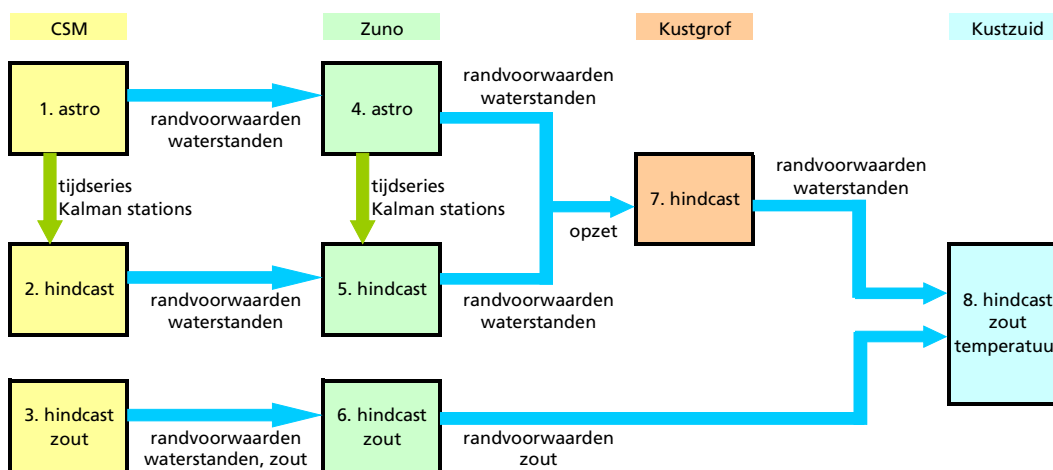
De debieten die in dit model worden meegenomen, zijn:

- IJmuiden
- Oude Maas
- Nieuwe Maas
- Spui
- Haringvliet
- Schelde-Schelle

Dit model levert uiteindelijk de gewenste uitvoer op met betrekking tot stroomsnelhe-
den, watertemperaturen, zoutgehalten, enzovoorts ten behoeve van de andere
percelen. Daarvoor zijn in het gehele interesse gebied resultaten uitgevoerd in de vorm
van tijdseries van waterstand, stroomsnelheid, saliniteit en temperatuur. Uit het oogpunt
van dataopslag is deze simulatie opgeknipt in 12 maandsimulaties. Voor de calibratie en
validatie worden vergelijkingen gemaakt tussen de resultaten van de simulaties en
beschikbare metingen voor deze grootheden.

2.7 Overzicht datastromen

De in de vorige paragrafen besproken modellen en simulaties zijn in figuur 2.2 schema-
tisch weergegeven. De uitvoer van de verschillende modellen die in andere modellen
nodig zijn, zijn in de figuur met pijlen weergegeven.



Figuur 2.2: Datastromen tussen de verschillende modelsimulaties.



3 Overzicht gebruikte gegevens

3.1 Inleiding

Voor dit project zijn zeer veel meetgegevens gebruikt, zowel voor de aansturing van de modellen, als ten behoeve van de calibratie en validatie. Het betreft de volgende grootheden:

- waterstanden,
- debieten,
- saliniteiten,
- watertemperaturen,
- meteorologische parameters en
- overige gegevens.

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van welke metingen beschikbaar zijn voor de verschillende grootheden en de analyses en nabewerkingen die zijn uitgevoerd op de metingen. Voor het beoordelen welke gegevens beschikbaar zijn, is gekeken naar de eerste periode die wordt doorgerekend, te weten juni 2004 tot en met mei 2009. Er is vanuit gegaan dat deze gegevens ook beschikbaar komen voor de volgende perioden tot en met mei 2013. Voor de validatie zijn alleen de gegevens uit de periode juni 2004 tot en met mei 2005 gebruikt.

Een groot aantal gegevens zijn beschikbaar in DONAR. DONAR staat voor Data Opslag Natte Rijkswaterstaat en is het centrale opslag-, verwerkings- en presentatiesysteem voor de meetgegevens van de 'natte' Rijkswaterstaat (RWS). Dit betreft de waterstanden, saliniteiten en watertemperaturen voor de Nederlandse stations en een groot aantal rivier en gemaal/spuisluis debieten.

Voor sommige gegevens is gebleken dat er enige tijd overheen gaat voordat ze in DONAR beschikbaar komen. Hierbij moet onderscheid worden gemaakt tussen metingen en afgeleide of berekende grootheden. Metingen worden pas toegevoegd na een kwaliteitscontrole. Afgeleide of berekende grootheden worden vaak voor een heel jaar tegelijk bepaald en zijn vaak ook afhankelijk van de beschikbaarheid van de onderliggende gegevens. In sommige gevallen is daarom gebruik gemaakt van ruwe of voorlopige gegevens. Waar dit het geval is, wordt dat aangegeven.

Voor andere meetgegevens is gebruik gemaakt van andere bronnen, zoals het KNMI (meteorologische gegevens), BODC (waterstanden voor de Britse stations) en HMCZ (sluisingen stormvloedkering Oosterschelde). Voor de simulaties vanaf februari 2009 zal ook de voortgang van de aanleg van Maasvlakte 2 in de simulaties worden meegenomen. De benodigde bemeten bodems zijn afkomstig van Havenbedrijf Rotterdam N.V.

Voor de toekomstige simulaties zullen ook meetgegevens beschikbaar komen vanuit de meetcampagnes van de andere percelen. Het betreft verticalen van saliniteit en temperatuur, doorzicht en sedimentsamenstelling van de bodem.

3.2 Referenties en conventies

Voor alle gegevens worden SI eenheden gebruikt.

Tijd referentie

Voor de tijd referentie van alle gegevens die in dit perceel worden gebruikt, wordt gebruikt gemaakt van MET (Mideleuropese Tijd). Dat is gelijk aan UTC (of GMT) +1 uur. Er wordt geen rekening gehouden met zomertijd. Alle gegevens worden voor zover nodig vertaald naar MET.

Voor de WAQUA-IN-SIMONA modelsimulaties geldt dat de tijd is gegeven in minuten ten opzichte van een vastgelegd nulpunt. De simulaties worden opgesplitst in perioden van een jaar, lopend van 1 juni tot en met 31 mei van het volgende jaar. Het begin van die periode is steeds gekozen als nulpunt, dus elke jaarsimulatie heeft zijn eigen tijd-as.

Plaats referentie

Voor de plaatsreferentie in het referentiegebied wordt onderscheid gemaakt naar verticale en naar horizontale referenties.

Voor de verticale referentie in het interesse gebied (voordelta gebied) wordt gebruik gemaakt van NAP, terwijl de Britse gegevens zijn gegeven ten opzichte van Admiralty Chart Datum. In de toelichtende bestanden zijn de niveauverschillen tussen CD en ODN gespecificeerd. ODN (Ordnance Datum Newlyn) is gedefinieerd als het gemiddelde zeeniveau in Newlyn voor de periode mei 1915 tot april 1921 (bron: website POL www.pol.ac.uk).

Voor de horizontale gegevens wordt in het Voordelta gebied gebruik gemaakt van het Rijksdriehoeks stelsel. Indien gebruik gemaakt wordt van geografische coördinaten (CSM model), wordt gebruik gemaakt van het WGS 84 referentiesysteem.

Richtingen

Voor wind- en golfrichtingen geldt dat deze de richting geven waar de wind of de golf vandaan komt. Daarbij wordt uitgegaan van een cirkel van 360 graden, waarbij 0 graden overeenkomt met Noord en de richting toeneemt met de klok mee. 90 graden komt dus overeen met wind of golven uit het oosten.

Voor de stroomrichting geldt dat deze de richting geeft waar de stroom heengaat. Daarbij wordt uitgegaan van een cirkel van 360 graden, waarbij 0 graden overeenkomt met Noord en de richting toeneemt met de klok mee. 90 graden komt dus overeen met een stroming in oostelijke richting.

3.3 Waterstanden

In deze studie zijn waterstandsmetingen gebruikt zowel om de modellen aan te sturen (Kalman filter) als voor de calibratie en validatie van de modellen. Voor de Kalman filtering zijn voor elk model de gegevens nodig in een aantal vastgestelde stations. Voor de calibratie zijn stations gekozen in de Voordelta en in de omgeving van de Maasvlakte.

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de stations waarvoor meetgegevens zijn verzameld, uit welke database gegevens zijn betrokken en waarvoor ze in deze studie zijn gebruikt. De ligging van de stations is weergegeven in figuren 3.1 tot en met 3.4.



Bronnen

De meetgegevens betreffende de waterstanden zijn van drie publiek toegankelijke databases gedownload:

- www.waterbase.nl
- www.hmcz.nl
- www.bodc.ac.uk

Meetgegevens voor de meeste Nederlandse stations zijn beschikbaar in DONAR en te downloaden via Waterbase. De tijdseries worden geleverd met een interval van 10 minuten.

Aanvullende waterstandsgegevens in de Zeeuwse wateren zijn van de website van het HMCZ gehaald. Station Brouwershavensche Gat 02 is zoals in figuur 3.2 weergegeven een Kalman station voor Zuno. Dit is één van de stations die niet via Waterbase is te downloaden.

Waterstandsgegevens voor de Britse stations zijn verkrijgbaar bij het BODC, onderdeel van het Proudman Oceanographic Laboratory (POL) in Liverpool. Dit instituut beheert het UK National Tide Gauge Network. De gegevens zijn beschikbaar voor 45 stations na 1980 met een interval van een uur of een kwartier.

Voor de randvoorwaarden van CSM (het grootste model), wordt gebruik gemaakt van de standaardset van getijcomponenten die ook gebruikt wordt voor de aansturing van het operationele modellenstelsel van Rijkswaterstaat.

Nabewerkingen

Voor de aansturing van de Kalman filters van DCSM en Zuno worden de resultaten van een astronomische som gecombineerd met de gemeten opzet, zoals in het vorige hoofdstuk beschreven. Voor de Nederlandse stations is de opzet berekend door per jaar een getijanalyse uit te voeren voor 94 componenten en het residu te bepalen. Voor het Kalman filter voor Kustgrof en voor de validatie worden de werkelijke waterstanden gebruikt. Voor de Britse stations zijn in de BODC-gegevens zowel de metingen als de opzet gegeven, zodat geen verdere nabewerking noodzakelijk is.

3.4 Debieten

In de Rijkswaterstaat-modellen Zuno, Kustgrof en Kustfijn worden afvoeren van rivieren en spuidebieten voorgeschreven. De afvoeren hebben invloed op de massabalans en dichtheidsgradiënten door hun lagere zoutgehalte en afwijkende watertemperatuur. Voor een realistische waterbeweging is het daarom noodzakelijk om goede gegevens te hebben, in het bijzonder voor de afvoeren in de nabijheid van de Maasvlakte. Voor de afvoeren op grotere afstand kan worden volstaan met meer algemene informatie als langjarig maandgemiddelde of zelfs jaargemiddelde waarden. Uit het oogpunt van consistentie en tevens om saliniteitsrandvoorwaarden voor Zuno te berekenen, zijn de afvoeren zoals aanwezig in Zuno ook in CSM opgelegd.

Tabel 3.2 geeft een overzicht van de rivierafvoeren en de afvoeren door de verschillende doorlaatmiddelen zoals die in de modellen worden opgelegd. Voor elke locatie is ook aangegeven waar de gegevens vandaan komen, in welk model ze worden toegepast en hoe de tijdreeks is samengesteld. De ligging van de locaties is weergegeven in figuren 3.5 en 3.6.

Bronnen

Voor de afvoergegevens is gebruik gemaakt van de volgende drie bronnen:

- www.waterbase.nl
- UNESCO database
- SOBEK – simulaties

Via waterbase zijn tijdseries beschikbaar voor de rivieren en spuidebieten in de nabijheid van Nederland. De gegevens zijn beschikbaar als een dagelijkse (daggemiddelde) waarde of 3 waarden per maand (10-daagse waarde in de tabel).

De afvoeren van de Rijn, Lek en Maas worden in CSM, Zuno en Kustgrof opgelegd als een debiet voor de Nieuwe Waterweg en een voor het Haringvliet. In Kustfijn liggen de open randen bij de stuwen Hagestijn, Tiel en Lith. Echter, om de rekeninspanning van het Kustfijn model te beperken, zijn de riviertakken geknipt ter hoogte van (zie figuur 3.7):

- Nieuwe Maas kilometer 996,55;
- Oude Maas kilometer 988,77;
- Spui kilometer 1001,57 en
- Haringvliet.

Voor elk van de drie riviersecties en voor elke individuele opening van de Haringvliet-sluizen zijn resultaten uit jaarsimulaties met SOBEK beschikbaar met een interval van 10 minuten. De SOBEK-tijdseries zijn toegeleverd door Deltares.

Voor de overige rivieren is gebruik gemaakt van de UNESCO database 'Global River Discharge Database' (RivDis v1.1) (<http://www.rivdis.sr.unh.edu/>).

Voor de Firth of Forth en de Humber zijn bij gebrek aan gegevens de oorspronkelijke waarden uit het Zuno model voor het gehele jaar aangehouden.

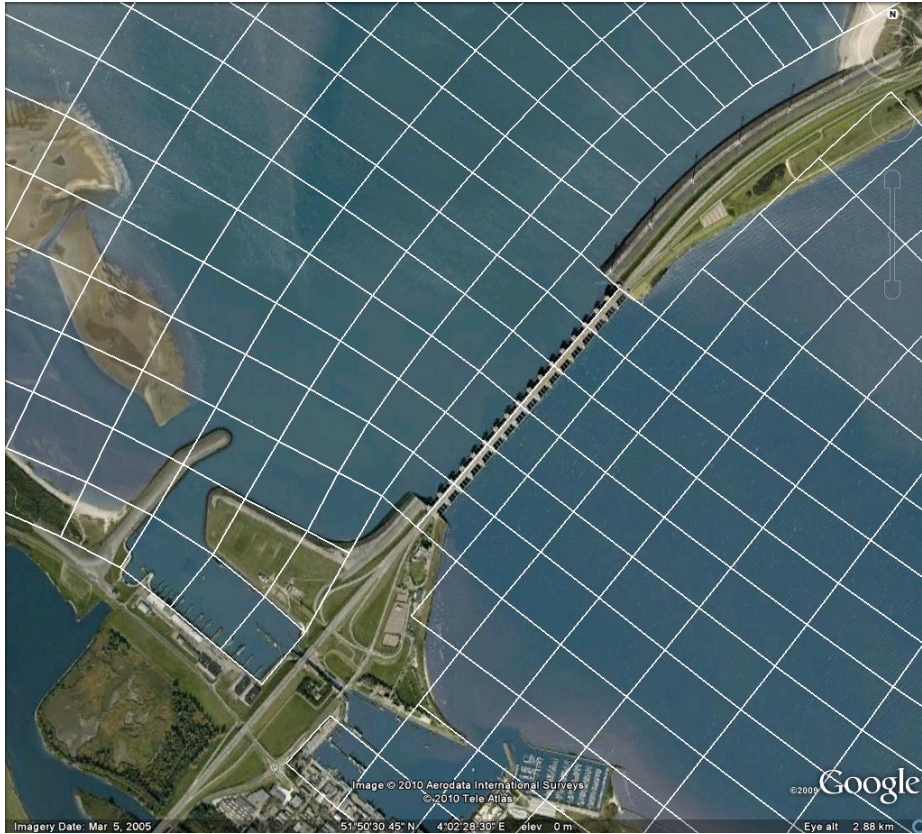
Nabewerkingen

De UNESCO database bevat maandgemiddelde afvoeren over de volgende perioden:

- Thames: 1965 – 1984
- Seine: 1928 – 1979
- Eems: 1980 – 1984
- Weser: 1921 – 1984
- Elbe: 1969 – 1984

Dit zijn weliswaar geen recente gegevens, maar op de condities in de buitendelta hebben deze afvoeren nauwelijks invloed. Langjarige maandgemiddelde afvoeren zijn bepaald door de maandgemiddelde afvoeren over de beschikbare jaren te middelen. Vervolgens zijn de tijdseries omgezet naar de juiste invoer voor de modellen.

De afvoertijdseries voor Nieuwe Waterweg en Haringvliet-sluizen zijn voor CSM, Zuno en Kustgrof bepaald door de tijdseries voor Nieuwe Maas, Oude Maas en Spui (Nieuwe Waterweg) en de individuele spuidebieten per schuif (Haringvliet) te combineren en naar uurwaarden te middelen. Voor Kustfijn zijn wel de 10-minuten tijdseries op de rivieren en bij het Haringvliet opgelegd, omdat voor dit model meer detail gewenst is. Voor de Haringvliet-sluizen zijn wel telkens drie schuifopeningen samengenomen, aangezien de resolutie van Kustzuid daar ongeveer 185 m is, wat neerkomt op die drie schuifopeningen per cel, zoals in figuur 3.8 is weergegeven.



Figuur 3.8: Rekenrooster Kustzuid in de omgeving van de Haringvlietsluizen

Er is geen inspanning gestoken om de dagelijkse spuidebieten bij de andere spuilocaties (Kornwerderzand, Den Oever, IJmuiden) om te zetten naar meer realistische tijdseries waarbij rekening wordt gehouden met het feit dat alleen gespuid wordt tijdens laag water. Dat is van ondergeschikt belang voor deze simulaties.

3.5 Saliniteiten

Metingen van saliniteit en watertemperatuur zijn in veel minder stations beschikbaar dan waterstanden. De saliniteiten zijn in dit project gebruikt voor de validatie van de modellen.

Bronnen

Saliniteitsmetingen voor het interesse gebied zijn beschikbaar via:

- www.hmcz.nl

De gegevens op de website van het HMCZ zijn echter niet gecontroleerd. Deze controle is wel uitgevoerd voordat ze DONAR ingaan. Vandaar dat is besloten om de gecontroleerde gegevens te gebruiken. Bij deze controle worden dubieuze metingen verwijderd. De oorzaak is meestal gelegen in aangroei op de sensoren. Afhankelijk van de watertemperatuur (en de weerscondities) worden de sensoren elke 10 tot 30 dagen schoongemaakt (informatie verkregen via het VCZ).

Voor deze studie zijn de meetgegevens gebruikt in vijf stations. De locaties zijn in tabel 3.3 gegeven en in figuur 3.9 gepresenteerd (voor wat betreft de periode juni 2004 – juni 2009).

Station	X-coördinaat (m RD)	Y-coördinaat (m RD)	waterdiepte (m NAP)
Brouwershavensche Gat 02 na 3 december 2004	32824 33140	421369 421239	-11.00
Brouwershavensche Gat 08	46197	419184	-7.00
Haringvliet 10	49862	431612	-10.00
Oosterschelde 04	37853	408772	-8.00
Vlakte van de Raan na 25 januari 2006	6083 6075	392714 392714	-10.30

Tabel 3.3: Locaties stations Meetnet Zege

Twee meetpalen zijn in deze periode verplaatst. De verschuiving is echter niet zo groot, dat voor de modeluitvoer de resultaten in een andere rooster cel hoeven te worden genomen.

Voor zover aanwezig zijn metingen elke 10 minuten beschikbaar en op twee niveaus, één bij het oppervlak en één bij de bodem. De hoogtes van de sensor zijn als volgt gegeven (weer voor de periode juni 2004 – mei 2009):

Station	oppervlakte (m NAP)	bodem (m NAP)
Brouwershavensche Gat 02	-4	-10
Brouwershavensche Gat 08	-4	-5,5
Haringvliet 10	-2,5	-9
Oosterschelde 04	-2,8	-8
na 12 februari 2008	-2,8	-7,56
Vlakte van de Raan	-3,25	-9,35

Tabel 3.4: Niveaus van de meetsensoren oppervlakte en bodem

Op 12 februari 2008 is geconstateerd dat de bodemdiepte ter plaatse van Oosterschelde 04 NAP slechts -8,06 m was, terwijl eerder (op 2 juli 2007) nog NAP -8,75 m was gemeten. Dit hield in dat de onderste sensor te dicht bij de bodem zat, waarna die op een andere hoogte is gehangen.

Nabewerkingen

Aangezien deze gegevens bedoeld zijn om de modellen te valideren, zijn ze omgezet naar voor dit doeleinde geschikt formaat.

3.6 Watertemperaturen

Watertemperatuurgegevens zijn gebruikt als randvoorwaarde op zee en voor de afvoerdebieten in de simulaties met Kustfijn en voor de validatie van dit model.

Bronnen

Watertemperatuurmetingen zijn beschikbaar via:

- www.hmcz.nl
- www.waterbase.nl

Voor de validatie zijn in de buitendelta dezelfde stations gekozen als voor de saliniteit, zoals beschreven in de vorige paragraaf. Ook deze zijn elke 10 minuten beschikbaar,



waarbij veel metingen ontbreken. Net als bij de saliniteitsmetingen zoals besproken in de vorige paragraaf, is ervoor gekozen om in plaats van de data van de HMCZ website de gecontroleerde gegevens uit DONAR te gebruiken.

Daarnaast zijn temperatuurgegevens op de Noordzee in een aantal stations beschikbaar via Waterbase. Deze zijn ook in figuur 3.9 weergegeven en zijn eveneens gebruikt om het Kustfijn model te calibreren en verifiëren. De metingen uit DONAR zijn slechts één keer per dag, om 12 uur 's middags, beschikbaar.

Voor de temperatuur van de rivier- en spuiafvoeren in Kustzuid zijn de volgende stations uit DONAR gebruikt:

- Brienoord Nieuwe Maas
- Brienoord Oude Maas
- Haringvlietsluizen Spui
- IJmuiden IJmuiden
- Lobith Schelde
- Haringvlietsluizen Spuisluzen Haringvliet

Voor de meeste locaties zijn metingen met een interval van ongeveer een maand beschikbaar. Alleen voor Lobith zijn tot en met 2006 dagelijkse waarden beschikbaar, elke dag om 12 uur. Daarna is het tijdsinterval ook ongeveer een maand. De keuze om de metingen voor Lobith op te leggen op de Schelde in plaats van bijvoorbeeld de metingen in Schaar van Ouden Doel is gemaakt naar aanleiding van de eerdere keuze om de Lobith-temperaturen op alle rivieren op te leggen. Vergelijking van de temperatuur in deze stations laat echter een vergelijkbaar verloop over het jaar zien.

Het Kustzuid model is op de rand geforceerd met de temperatuurgegevens van station K13A Platform. Deze zijn ook slechts dagelijks om 12 uur 's middags beschikbaar.

Nabewerkingen

De gegevens die zijn bedoeld om de modellen te valideren of te forceren, zijn omgezet naar voor plotdoeleinden of voor SIMONA-invoer geschikt formaat.

Voor de compleetheid wordt hier nog verwezen naar de Levitus database, die gebruikt zou worden om randvoorwaarden te genereren voor CSM, indien saliniteit en temperatuur zouden worden meegenomen. De NODC (Levitus) World Ocean Atlas 1994 van de NOAA, beschikbaar via de website <http://www.cdc.noaa.gov/>, bevat langjarige maand-gemiddelde saliniteit- en temperatuurgegevens op 33 niveaus in de verticaal.

Figuur 3.10 toont voor 4 maanden het verloop langs de rand en voor 5 locaties het verloop in de tijd van de gemiddelde temperatuur over de bovenste 100 m. Het verschil tussen de noord- en zuidrand ligt in de orde van 5 graden, terwijl op één locatie het verschil tussen voorjaar en najaar bijna 4 graden bedraagt. Indien de dieptegemiddelde temperatuur wordt beschouwd, reduceren de variaties in de tijd sterk, vooral in de locaties met grote waterdiepten. Saliniteitswaarden laten nauwelijks variatie zien, globaal tussen de 34,5 en 35,5 PSU.

3.7 Meteorologische grootheden

Bronnen

De meteorologische grootheden zijn in de vorm van GRIB files door het KNMI toegeleverd. Dit zijn de resultaten van de HIRLAM² voorspellingssimulaties die elke 6 uur worden gedraaid. Per simulaties zijn in principe de analyse (tijdstip t_0) en voorspellingen ($t_0+3, 6, 9, 12, 18, 24, 30, 36, 42$ en 48 uur) beschikbaar. Voor de stromingsberekeningen zijn de velden achter elkaar geplakt, waarbij telkens gebruik is gemaakt van de meest recente voorspelling die beschikbaar is, zoals weergegeven in tabel 3.5.

tijd voorspelling	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	00:00
00 uur	t_0	$t_0 + 3u$							
06 uur			t_0	$t_0 + 3u$					
12 uur					t_0	$t_0 + 3u$			
18 uur							t_0	$t_0 + 3u$	
00 uur									t_0

Tabel 3.5: Beschikbare HIRLAM voorspellingsgegevens

In sommige bestanden ontbreken echter één of meerdere velden, voor één of meerdere parameters. Op andere momenten ontbreekt een gehele forecast. In die gevallen is dan teruggevallen op de beschikbare velden uit de voorafgaande forecast-simulatie. Als de voorspelling van 12 uur niet beschikbaar zou zijn, zouden voor de velden van 12:00 en 15:00 uur respectievelijk de voorspellingen $t_0 + 6u$ en $t_0 + 9u$ uit de voorspelling van 6 uur worden genomen. Er is geconstateerd dat er geen gaten van langer dan 6 uur vallen voor de periode januari 2004 t/m mei 2009. In de periode tussen de beschikbare velden wordt een lineaire interpolatie in de tijd uitgevoerd.

De files bevatten de volgende grootheden (degene met een * zijn in deze studie gebruikt):

- Pressure at mean sea level *
- Surface pressure
- 10m U-component of wind *
- 10m V-component of wind *
- 2-m temperature *
- 2-m dewpoint temperature *
- Geopotential height of surface
- Cloud cover *
- Accumulated total precipitation
- Accumulated convective precipitation
- Surface roughness
- Surface Albedo
- Land fraction
- Snow depth
- Sea surface roughness
- Sea surface temperature
- Sea ice cover

² HIRLAM is het computermodel dat door o.a. het KNMI wordt gebruikt voor de operationele weersvoorspellingen.



De luchtdruk en snelheidscomponenten worden gebruikt voor de SVWP (Space Varying Wind and Pressure) forcering.

In het temperatuurmodel van De Goede (Lane, 1989, Gill, 1982) spelen de luchttemperatuur, de relatieve luchtvochtigheid, de bewolgingsgraad en de windsnelheid een rol. De relatieve luchtvochtigheid kan berekend worden uit de luchttemperatuur en de dauwpunt-temperatuur. Hiervoor zijn verschillende relaties op internet gevonden:

- NOAA (zie http://en.wikipedia.org/wiki/Dew_point):

$$e_s = 6.112 \cdot e^{\frac{17.67T}{T+243.5}} \quad (1)$$

$$e_w = 6.112 \cdot e^{\frac{17.67T_w}{T_w+243.5}} \quad (2)$$

$$e = e_w - p_{sta} \cdot (T - T_w) \cdot 0.00066(1+0.00115T_w) \quad (3)$$

$$RH = \frac{e}{e_s} \quad (4)$$

$$T_d = \frac{243.5 \cdot \ln\left(\frac{e}{6.112}\right)}{17.67 - \ln\left(\frac{e}{6.112}\right)} \quad (5)$$

- Met: T = drogebol temperatuur [°C]
 T_w = nattebol temperatuur [°C]
 T_d = dauwpuntstemperatuur [°C]
 e_s = verzadigde waterdampdruk bij de drogebol temperatuur [mbar]
 e_w = verzadigde waterdampdruk bij de nattebol temperatuur [mbar]
 e = werkelijke waterdampdruk [mbar]
 RH = relatieve luchtvochtigheid [%]
 p_{sta} = luchtdruk [mbar]

- August-Roche-Magnus (zie http://en.wikipedia.org/wiki/Dew_point):

$$T_d = \frac{b \cdot \gamma(T, RH)}{a - \gamma(T, RH)} \quad (6)$$

$$\gamma(T, RH) = \frac{a \cdot T}{b + T} + \ln\left(\frac{RH}{100}\right) \quad (7)$$

Dit omschrijven geeft:

$$RH = 100 \cdot \frac{e^{\frac{a \cdot T_d}{b + T_d}}}{e^{\frac{a \cdot T}{b + T}}} \quad (8)$$

- Met: a = 17.271
 b = 237.7 °C

- WMO (zie <http://www.weerschip.nl/formules.html>):
Deze gebruikt dezelfde formule (8), maar met coëfficiënten:
a = 17.62
b = 243.12 °C

Ondanks de verschillen in de formuleringen komen de berekende waarden bij een gegeven temperatuursverschil tussen de lucht- en de dauwpunt-temperatuur goed met elkaar overeen, zoals te zien in figuur 3.11. De verschillen blijven beperkt tot minder dan 0,15%-punt in de relatieve vochtigheid. De formulering van de WMO is uiteindelijk gebruikt. Gezien de geringe verschillen in de uitkomsten is geen verder gevoeligheids-onderzoek hiernaar uitgevoerd.

Nabewerkingen

Het omzetten van de (binaire) GRIB-bestanden is gedaan met een Matlab script, gebaseerd op een door Deltares beschikbaar gesteld script. De druk en de twee snelheidscomponenten zijn naar een rechthoekig rooster geïnterpoleerd (lengtegraad van 12.5 °WL tot 13.5 °OL, breedtegraad van 47.5 °NB tot 62.5 °NB, resolutie 0.2 graden in beide richtingen) en naar een voor Waqwind (programma om velden voor WAQUA in te lezen) geschikt ascii formaat weggeschreven. Voor de temperatuur, bewolgingsgraad en relatieve vochtigheid zijn de velden ruimtelijk gemiddeld en in de simulatie als tijdserie opgelegd. De grootte van het gebied waarbinnen gemiddeld is, varieert van de omvang van Zuno tot lokaal rond de Maasvlakte. In figuur 3.12 zijn de verschillende polygonen weergegeven. De definitieve keuze is onderdeel van de validatie.

3.8 Aanvullende gegevens

Sluitingen Oosterschelde kering

De schuifstanden van de Oosterschelde kering zijn op verzoek toegeleverd door het HMCZ. Hierbij zijn alleen de echte stormsluitingen meegenomen. Voor de eerste te simuleren periode juni 2004 tot en met mei 2009 betreft het slechts één sluiting:

- 8 november 2007

Tijdens de calibratie-periode zijn er dus geen sluitingen geweest.

Diepteligging rond de Maasvlakte

De modelbodems zijn afkomstig uit de bestaande modellen (CSM, Zuno en Kustgrof) en uit een recente update van het Kustfijn model, toegeleverd door Deltares. Op 1 september 2008 is begonnen met de aanleg van Maasvlakte 2. Voor de simulaties voor perioden na die datum worden ook de ontwikkelingen in de bodemschematisatie meegenomen.

De ontwikkelingen van de aanleg van Maasvlakte 2 zijn als bodempeilingen toegeleverd door de PMR organisatie.

De volgende gegevens zijn beschikbaar:

- de in-survey of T0 peiling die in mei 2008 voor het gehele gebied (aanleggebied & wingebied) is uitgevoerd met singlebeam echolood. Verder is ook de complete kuststrook in dezelfde periode met Laser Altimetrie ingemeten.



- de peilingen en GPS metingen zoals deze iedere 2 maanden door PUMA (opdrachtnemer) worden uitgevoerd van het aanleggebied met multibeam echolood (nat, diep), singlebeam echolood (nat, ondiep) en RTK GPS (droge deel). Onderscheid tussen 'kustcontour' en 'bodem' is niet aanwezig in de data. De kustcontour voor het aanleggebied, wordt met de 2 maandelijks peilingen compleet opnieuw ingemeten.
In de maand tussen de volledige metingen wordt een 'incrementele' update van het gebied gemaakt waarin PUMA alleen die gebieden meet waar veranderingen optreden. Deze zijn echter in deze studie niet gebruikt.
- de peilingen die halfjaarlijks door PUMA worden uitgevoerd van het wingebied in het kader van de monitoring voor de vergunning met multibeam echolood.

De gegevens zijn geleverd in het Rijksdriehoek coördinatenstelsel en ten opzichte van NAP. De oorspronkelijke resolutie van 2,5 x 2,5 m is gereduceerd naar 20 x 20 m, waarbij de diepte over de 8 x 8 onderliggende cellen is gemiddeld.

De kwaliteit van de geleverde gegevens is gecontroleerd op oneffenheden en dergelijke. Indien nodig zijn de gegevens glad gestreken.

Deze gegevens zijn vervolgens naar het rooster geïnterpoleerd. Er is gezorgd voor een gladde overgang tussen de bodemschematisatie rond Maasvlakte 2 en de bestaande modelbodem.

Voor de calibratie-periode is dit nog niet van belang, aangezien deze ruim voor de eerste beschikbare peiling vallen (28 februari 2009).

4 Overzicht condities validatie periode

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de condities tijdens de validatieperiode.

4.1 Rivierafvoeren

De rivierafvoeren kunnen worden onderverdeeld in rivieren met actuele tijdseries en rivieren waarvoor langjarig maandgemiddelde afvoergegevens zijn opgelegd. Actuele gegevens zijn beschikbaar voor de volgende rivieren / spuisluzen:

- Schelde
- IJmuiden
- Den Oever
- Kornwerderzand
- Haringvlietsluizen
- Nieuwe Waterweg

Tijdseries voor de afvoeren van de eerste 4 stations zijn gegeven in figuur 4.1. In februari 2005 heeft zich een periode voorgedaan waarin bijna alle afvoeren hoge waarden hebben laten zien. Over het algemeen vertoont de spuiafvoer bij IJmuiden de kleinste variatie door het jaar. De maximale daggemiddelde afvoeren van de Schelde, IJmuiden, Den Oever en Kornwerderzand in februari zijn respectievelijk 368, 255, 1071 en 732 m³/s. Voor de Schelde, Den Oever en Kornwerderzand komt dit neer op ongeveer 3,5 keer de jaargemiddelde afvoeren over juni 2004 tot juni 2005. Voor IJmuiden is dit slechts 2,7 keer de jaargemiddelde afvoer.

Figuur 4.2 toont de afvoerdebieten zoals berekend met SOBEM, voor de Haringvlietsluizen, Nieuwe Maas, Oude Maas, Spui en gesommeerd over de uitstroom van de Nieuwe Waterweg. Deze figuur toont alleen de daggemiddelde waarden, omdat het presenteren van de 10-minuten waarden de figuur onleesbaar maakt. Voor een beschrijving van de condities zijn de daggemiddelden voldoende.

Ook de afvoeren voor de Haringvlietsluizen en de Maasmond laten maximale afvoeren zien in februari 2005. De maxima zijn respectievelijk 3281 en 4213 m³/s. Voor het Haringvliet komt dit neer op bijna 8 keer de jaargemiddelde afvoer over de validatieperiode. Ook eind november 2004 en eind januari 2005 komen perioden voor met een aanzienlijke afvoer.

Langjarig maandgemiddelde waarden zijn opgelegd voor:

- Elbe
- Seine
- Weser
- Eems
- Thames
- Firth of Forth
- Humber

Tijdseries voor deze afvoeren zijn gegeven in figuur 4.3. Maximale afvoeren komen voor in de winter en in het voorjaar. Hoewel deze gegevens geen actuele data laten zien, is het algehele beeld wel consistent met de hiervoor genoemde afvoeren.



Voor de saliniteit van alle rivieren is een constante waarde van 0,3 PSU aangehouden, als maat voor zoet water. Voor de open randen op de Nieuwe Maas, Oude Maas en het Spui is dit niet helemaal correct, maar uit de weinige meetgegevens die voor Brienoord en bij de Haringvlietsluizen beschikbaar zijn in Waterbase, is dit toch nog een redelijke benadering. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat wanneer het sluitscenario 'De Kier' ingaat, volgens planning op 1 december 2010 (bron: RWS projectwebsite "Haringvliet: Haringvlietsluizen op een kier" http://www.rijkswaterstaat.nl/water/plannen_en_projecten/vaarwegen/haringvliet/haringvlietsluizen/) maar inmiddels uitgesteld, voor de Haringvlietsluizen rekening moet worden gehouden met een hogere saliniteit op het Haringvliet. Maar dat is niet het geval in de validatieperiode.

4.2 Watertemperatuur

Zoals in paragraaf 3.6 beschreven, zijn voor de watertemperatuur van de rivierafvoeren voor Kustzuid informatie uit de volgende meetstations gebruikt:

- Brienoord Nieuwe Maas
- Brienoord Oude Maas
- Haringvlietsluizen Spui
- IJmuiden IJmuiden
- Lobith Schelde
- Haringvlietsluizen spuisluizen Haringvliet

Daarnaast is voor de watertemperatuur op de open rand gebruik gemaakt van de metingen van K13A Platform. De tijdserie voor deze stations zijn gegeven in figuur 4.4.

In juli-augustus zijn de temperaturen het hoogst en in februari-maart het laagst. De temperatuur op zee laat enige demping en vertraging zien ten opzichte van de temperatuur op de rivieren. De metingen voor Brienoord, Haringvlietsluizen en IJmuiden missen de informatie over de variatie van dag tot dag, aangezien de metingen slechts maandelijks worden uitgevoerd. Brienoord en IJmuiden zijn bijvoorbeeld op 10 en 11 augustus 2004 beschikbaar, terwijl de meting bij de Haringvlietsluizen een week later is uitgevoerd. De temperatuur bij Lobith is in de tussentijd al twee graden gedaald. Dit laat zien dat hierdoor een zekere onnauwkeurigheid wordt geïntroduceerd.

4.3 Stormopzet

De stormopzet wordt, zoals behandeld in paragraaf 2.3 en 2.4, gebruikt binnen het Kalmanfilter om de waterbeweging te optimaliseren. Tijdens rustige perioden is de opzet verwaarloosbaar. Figuur 4.5 geeft tijdseries van de stormopzet voor de CSM-simulatie weer tijdens de validatieperiode. Hetzelfde is voor Zuno gedaan in figuur 4.6. Van beide tijdseries is alleen de maximale opzet per dag weergegeven, om de figuren overzichtelijk te houden. Voor Leith ontbreken voor de gehele periode meetgegevens.

Periodes met een grote opzet (meerdere stations meer dan 1 m opzet) zijn:

- 24 juni 2004
- 13 november 2004
- 18 november 2004
- 8 januari 2005
- 13 januari 2005
- 20 januari 2005
- 13 februari 2005
- 8 april 2005

4.4 Meteo condities

Figuren 4.7 tot en met 4.9 geven de meteo-condities weer tijdens de validatieperiode. Het betreft respectievelijk de luchttemperatuur, de bewolgingsgraad en de relatieve luchtvochtigheid ruimtelijk gemiddeld over de zuidelijke delta. De luchttemperatuur varieert tussen de -2 (maart) en 23,5 °C (augustus), de bewolgingsgraad tussen de 0 en 100% (de maandgemiddelde waarde laat zien dat in juli gemiddeld de laagste percentages voorkomen en in maart de hoogste) en de relatieve luchtvochtigheid tussen de 48 en 100%. Ook de luchtvochtigheid vertoont een grote variatie. Tabel 4.1 geeft voor deze parameters de jaargemiddelde en gemiddelde dagelijkse variatie gemiddeld over de verschillende interpolatie-polygonen. De gemiddelde temperatuur en de dagelijkse variatie daarin nemen van gehele Noordzee naar zuidelijke delta langzaam toe, terwijl rond De Bilt het gemiddelde iets lager ligt dan in de zuidelijke delta. De dagelijkse variatie is er bijna drie keer zo groot. Op zee wordt de variatie in luchttemperatuur gedempt door de aanwezigheid van de Noordzee. Op het vaste land is dat niet het geval.

De gemiddelde bewolgingsgraad toont weinig variatie, terwijl de dagelijkse variatie toeneemt indien het gebied waarover wordt gemiddeld kleiner wordt. Dit hangt samen met de typische afmetingen van wolkenpatronen in verhouding tot de omvang van de polygoon. Binnen een grote polygoon wordt het wolkenpatroon op een aantal tijdstippen in dezelfde mate gemiddeld, terwijl binnen een kleine polygoon het passeren van de wolken veel duidelijker wordt weergegeven.

Voor de relatieve luchtvochtigheid vertoont het gemiddelde ook weinig variatie en de dagelijkse variatie neemt langzaam toe richting kleinere polygonen. Op land neemt de dagelijkse variatie sterk toe, samenhangend met de grote verschillen in dag- en nachttemperatuur.

De polygoon voor de zuidelijke delta lijkt het best de werkelijke variatie in het te modelleren gebied weer te geven.

Op basis van de gemeten windsnelheden in Hoek van Holland zijn enkele perioden geselecteerd gedurende een storm. Voor de volgende perioden zijn in figuren 4.10 en volgende de wind- en drukvelden weergegeven:

- 23 - 25 juni 2004 (figuren 4.10 tot en met 4.12)
- 17 - 19 november 2004 (figuren 4.13 tot en met 4.15)
- 16 december 2004 - 24 januari 2005 (figuren 4.16 tot en met 4.23 voor de periode 17 - 24 januari)

De velden zijn elke 6 uur gegeven en de ruimtelijke uitdunning van de vectoren is een factor 5.



5 Beschrijving calibratie en validatie

5.1 Inleiding

Binnen de verschillende diensten van Rijkswaterstaat worden de hier gebruikte modellen op een dagelijkse basis toegepast in het operationeel voorspellingsstelsel 'de Nautboom'. Hierbij betreft het voornamelijk de voorspelling van de waterstanden. Hiervoor zijn de modellen in het verleden al uitgebreid gecalibreerd, zie bijvoorbeeld (Alkyon, 2001). Vandaar dat is volstaan met alleen een validatie van de waterstanden. Een juiste waterbeweging is een vereiste om de verspreiding van saliniteit en watertemperatuur op orde te krijgen.

Voor de calibratie van de saliniteit is gekeken naar de resultaten van Zuno, met als doel om een zo realistisch mogelijke randvoorwaarde te krijgen voor het Kustzuid model. Vervolgens zijn deze resultaten gebruikt bij een validatie van het Kustzuid model.

Voor de watertemperatuur is bij gebrek aan randvoorwaarden uit modelresultaten gekozen voor een forcering op basis van metingen. De keuze van welke metingen te gebruiken en ook hoe de meteorologische forcering moet worden toegepast is onderdeel van de calibratie op watertemperatuur van het Kustzuid model. Uiteindelijk is er nog een validatie uitgevoerd met de gekozen instellingskeuzen.

In dit hoofdstuk worden de verschillende stappen nader beschreven.

5.2 Validatie waterstanden

Voor de validatie van de waterstanden zijn twee vergelijkingen gemaakt, één op basis van getijcomponenten en één op basis van afwijkingen van meetseries.

Figuren 5.1 tot en met 5.6 geven voor 6 getijcomponenten (SA, M2, S2, K1, O1 en M4) een vergelijking tussen de uit de metingen afgeleide amplitudes en fases en die op basis van de verschillende simulaties met de verschillende modellen. De stations waarvoor deze analyse is uitgevoerd, zijn:

- K13A Platform
- Euro Platform
- Vlissingen
- Roompot buiten
- Haringvliet 10
- Hoek van Holland.

Als eerste valt op dat de SA-component (jaarlijkse variatie) in de CSM en Zuno simulaties met zout aanzienlijk afwijkt van de metingen en ook van de andere simulaties. De amplitude ligt tussen de 4 en 6 cm te hoog en de fase tussen de 20 en 45°. Ook ligt de amplitude voor station K13A Platform circa 3 cm te hoog. Kustgrof en Kustzuid laat wel een grote overeenstemming zien met de metingen. Dit effect lijkt een gevolg te zijn van de initialisatie voor de saliniteit, aangezien dit zelfde effect voor de periode 2005-2006 niet optreedt.

De resultaten voor M2 en S2 volgen goed de metingen, behalve voor de verschillende CSM-simulaties in K13A Platform. Voor K1 en O1 liggen de amplitudes bij CSM en Zuno 1 tot 3 cm te hoog. Fases liggen ongeveer 20° naast de metingen. Ook bij deze componen-

ten laten Kustgrof en Kustzuid de beste resultaten zien. De M4-component wordt door CSM onnauwkeurig berekend. Zuno doet het een stuk beter, behalve in Vlissingen. Ook voor deze component laat Kustzuid de kleinste afwijkingen zien.

In alle gevallen zijn de verschillen tussen Kustgrof- en Kustzuidresultaten en de metingen het kleinst. Gezien het feit dat Kustzuid uiteindelijk wordt gebruikt voor het berekenen van de abiotische parameters, zijn deze resultaten voldoende nauwkeurig voor deze studie.

Een aanvullende validatie is uitgevoerd door de statistische parameters te bepalen voor het verschil tussen berekende en gemeten waterstanden. In tabel 5.1 tot en met 5.3 zijn de BIAS en de $RMSE_0$ gegeven voor 3 stations voor de CSM, Zuno en Kustgrof simulaties. De resultaten zijn gegeven per kwartaal en voor het gehele jaar. Op deze manier wordt ook een jaarlijkse variatie in de nauwkeurigheid zichtbaar. De definities luiden:

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{model,i} - X_{meting,i}) = \overline{X_{model}} - \overline{X_{meting}} \quad (9)$$

$$RMSE_0 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left((X_{model,i} - \overline{X_{model}}) - (X_{meting,i} - \overline{X_{meting}}) \right)^2} \quad (10)$$

De BIAS geeft het verschil in het gemiddelde niveau en de $RMSE_0$ kijkt naar de variatie rond het gemiddelde.

Tabel 5.4 geeft dezelfde vergelijking voor Kustzuid voor 5 stations. In deze tabellen wordt onderscheid gemaakt tussen vergelijkingen per maand, per kwartaal en voor het gehele jaar.

De tabellen zijn in grafische vorm weergegeven in figuren 5.7 tot en met 5.9 voor de stations K13A Platform, Euro Platform en Vlissingen. De BIAS en $RMSE_0$ zijn gegeven per kwartaal en voor Kustzuid eveneens per maand.

De BIAS voor de CSM en Zuno simulaties met zout vallen in negatieve zin op. Deze laten een jaarlijks verloop in verschil in middenstand zien, in overeenstemming met het hierboven geconstateerde afwijkende gedrag van de SA-component. Bij de $RMSE_0$ laten de astronomische CSM en Zuno simulaties de grootste afwijkingen zien. Dit wordt veroorzaakt doordat de metingen, waarin ook effecten van wind aanwezig zijn, worden vergeleken met simulaties waarin deze effecten afwezig zijn. Dit verklaart ook de hogere waarden in het stormseizoen in de wintermaanden. Vandaar dat deze resultaten in de tabel grijs zijn gekleurd.

Voor de overige CSM, Zuno en Kustgrof simulaties blijft de BIAS tussen de -0,06 en +0,07, met enigszins hogere waarden in de winter. De variatie is echter minimaal. De $RMSE_0$ voor K13A Platform en Euro Platform blijft onder de 0,12, terwijl in Vlissingen de waarde onder de 0,18 blijft. Ook hierbij komen de enigszins hogere waarden voor in de winter.

Voor Euro Platform komen de resultaten (zowel BIAS als $RMSE_0$) voor Kustzuid goed overeen met de resultaten voor Kustgrof. In Vlissingen is de BIAS in dezelfde orde van grootte, maar tegengesteld van teken. De $RMSE_0$ ligt ongeveer 2 keer zo hoog, maar wel



onder de waarden voor CSM en Zuno. Mogelijk komt dit doordat de randvoorwaarden met het Kalmanfilter van Kustgrof geoptimaliseerd worden voor stations Cadzand en Westkapelle in combinatie met een grove schematisatie van de Westerschelde. Mogelijk dat in combinatie met het fijnere Kustzuid, waarin de interactie tussen de kustwateren en de Westerschelde beter wordt gemodelleerd, deze optimalisatie voor een deel teniet wordt gedaan. Dit zou echter verder uitgezocht dienen te worden, om dit met zekerheid te kunnen concluderen.

5.3 Calibratie zout

In het door de supportdesk gebiedschematisaties toegeleverde CSM-model wordt geen saliniteit als variabele meegenomen. In het Zuno model zoals door de supportdesk gebiedschematisaties toegeleverd, staat voor de diffusiecoëfficiënt een waarde van $30 \text{ m}^2/\text{s}$, hoewel de saliniteit als proces is uitgeschakeld.

Zowel met CSM als Zuno zijn simulaties gedraaid met deze instelling. Uit de CSM simulatie blijkt dat de resultaten langs de modelrand van Zuno heel weinig variatie vertonen. Voor dit model is niet verder in de kustzone gekeken.

De resultaten voor Zuno laten in de kustzone zien dat de variatie gedurende de dag wel goed met de metingen overeenkomt, maar dat het niveau van de saliniteit te laag ligt. Figuren 5.10 tot en met 5.13 laten de resultaten zien in stations Brouwershavensche Gat 08 en Vlake van de Raan. Voor de metingen zijn zowel een waarde bovenin de waterkolom als een waarde nabij de bodem gegeven. Het model is in 2D gedraaid, dus daarvoor is alleen een dieptegemiddelde waarde berekend. De figuren geven resultaten voor simulaties met een diffusiecoëfficiënt van $30 \text{ m}^2/\text{s}$ en $500 \text{ m}^2/\text{s}$.

De simulatie met een diffusiecoëfficiënt van $30 \text{ m}^2/\text{s}$ laat zien dat de variatie in saliniteit gedurende de dag wel goed met de metingen overeenkomt, maar dat het algehele niveau te laag ligt. Met een coëfficiënt van $500 \text{ m}^2/\text{s}$ neemt het gemiddelde niveau toe tot een realistische waarde, maar wordt de dagelijkse variatie sterk gereduceerd. Deze trend is consequent voor tussenliggende coëfficiënten. De simulaties laten echter ook zien dat de dagelijkse variatie langs de rand van het Kustfijn model veel kleinere dagelijkse variatie vertoont. Voor de simulaties met het laatste model is het niveau van de saliniteit langs de rand van groter belang dan de dagelijkse variatie. Vandaar dat de waarde van $500 \text{ m}^2/\text{s}$ is gebruikt in de definitieve simulaties.

5.4 Validatie zout

In tegenstelling tot CSM en Zuno wordt Kustzuid in 3D gedraaid. De volgende instellingen zijn voor de diffusie aangehouden:

- horizontale diffusie coëfficiënt = $0,50 \text{ m}^2/\text{s}$
- verticale diffusie coëfficiënt: parabolische profiel, met de default instellingen in de Munk-Anderson formule voor verticale viscositeit en diffusie en een Prandtl-Schmidt nummer van 0,6.

Figuren 5.14 tot en met 5.17 laten de resultaten zien uit Kustzuid voor station Vlake van de Raan. Voor dit station komt de amplitude van de dagelijkse variatie goed met de metingen overeen. De gemeten verschillen tussen oppervlakte- en bodemsaliniteit variëren tussen de -2 en +2 PSU, met een gemiddelde van -0,11 PSU. Negatieve waarden staan voor condities waarbij de saliniteit bij de bodem lager is dan die aan het oppervlak. De tijdstippen waarop dit voorkomt liggen verspreid over het jaar, met soms

aaneengesloten perioden van twee weken. Of dit het gevolg is van meetfouten of dat andere effecten een rol spelen, is niet te achterhalen. De modelresultaten laten minimale verschillen zien tussen oppervlakte- en bodemsaliniteit. Het niveau van de modelresultaten ligt voor de periode juni tot en met april ongeveer 1 tot 1,5 PSU onder de metingen. In mei zakt het niveau van de oppervlakte-metingen (bodem-metingen zijn dan niet beschikbaar) echter naar een niveau dat heel mooi met de modelresultaten overeenkomt. Ook hiervan is niet te achterhalen of dit duidt op een meetfout of dat het niveau van de saliniteit werkelijk is veranderd gedurende deze maand.

De resultaten voor Brouwershavensche Gat 08, zoals weergegeven in figuren 5.18 tot en met 5.21, laten een vergelijkbaar beeld zien. Wel is het verschil in niveau gemiddeld wat groter dan bij de Vlake van de Raan. Ook zijn er een aantal perioden, zoals eind januari en in februari waarbij de saliniteit plotseling daalt en de gelaagdheid toeneemt, samenhangend met de pieken in rivierafvoer uit het Haringvliet, zoals te zien in figuur 4.2. Het model overschat de daling van de saliniteit met ongeveer een factor 2. Het verschil in saliniteit tussen oppervlakte en bodem komt redelijk goed met de metingen overeen, behalve tijdens de gebeurtenis van begin februari. Dan onderschat het model de gelaagdheid. Voor een betere calibratie van het model is het nodig meer metingen beschikbaar te hebben in de Voordelta.

De resultaten in termen van de statistische grootheden BIAS en $RMSE_0$ zijn in tabel 5.5 en figuur 5.22 gepresenteerd. Deze resultaten bevestigen bovenstaande analyse. De resultaten voor oppervlakte en bodem laten een vergelijkbaar gedrag zien. Net als voor de waterstanden zijn de resultaten in de winter slechter dan in de zomer. Voor het doel, namelijk de effecten op de abiotiek, zijn juist de trends en de extremen van belang. Voor de extremen zou het model nog iets verder kunnen worden afgeregeld. Maar de minimale beschikbaarheid van metingen en de fouten die in de metingen lijken te zitten, maakt een verdere calibratie lastig.

5.5 Calibratie watertemperatuur

Zoals in paragraaf 2.2 beschreven was in eerste instantie voorzien in een aanpak waarbij ook CSM en Zuno met variabele temperatuur zouden worden doorgerekend. Voordat de fout was gevonden in de berekening van de relatieve luchtvochtigheid (temperatuur in Kelvin in plaats van °C) was al besloten om alleen Kustzuid met variabele watertemperatuur door te rekenen. Daarvoor waren echter al een flink aantal verschillende simulaties met CSM met variabele temperatuur uitgevoerd, waarmee enkele gevoeligheden zijn bekeken. Deze analyse heeft bijgedragen aan de keuze voor de aanpak met het Kustzuid model.

De volgende gevoeligheden zijn bekeken:

- referentieberekening:
CSM-simulatie met variabele saliniteit en watertemperatuur, forcering met de HIRLAM wind- en drukvelden, luchttemperatuur, bewolingsgraad en (de foutieve) relatieve luchtvochtigheid gemiddeld binnen polygoon 'Noordzee' (volgens figuur 3.11)
- variant 1: idem met meteorologische grootheden gemiddeld binnen polygoon 'zuidelijke Noordzee'
- variant 2: idem met meteorologische grootheden gemiddeld binnen polygoon 'Nederlandse kustzone'
- variant 3: idem met meteorologische grootheden gemiddeld binnen polygoon 'zuidelijke delta'



- variant 4: luchttemperatuur constant in de tijd (10 °C)
- variant 5: relatieve luchtvochtigheid constant in de tijd (80%)
- variant 6: bewolgingsgraad constant in de tijd (65%)
- variant 7: zonder wind- en drukvelden
- variant 8: Stanton parameter verdubbeld
- variant 9: Dalton parameter verdubbeld
- variant 10: referentieberekening met de correcte relatieve luchtvochtigheid

Vooraf door de simulaties met constante meteorologische grootheden (4 tot en met 7) kon worden herleidt dat het probleem in de relatieve luchtvochtigheid zat. Vooral het ontbreken van zulke meetgegevens op zee maakte het controleren van vermoedens niet eenvoudig.

Figuur 5.23 laat de vergelijking zien tussen de referentieberekening en de eerste 3 varianten. De figuur toont de resultaten en de metingen in de stations K13A Platform en Euro Platform. Het effect is vooral zichtbaar in de sterkere opwarming in het voorjaar en de sterkere afkoeling in het najaar. Hoe kleiner het gebied waarover wordt gemiddeld, hoe sterker de maximale temperatuur in het jaar stijgt, terwijl de minimale temperatuur veel minder variatie vertoont. De simulatie met de middeling binnen polygoon 'zuidelijke Noordzee' geeft de beste overeenkomst in verschil tussen minimale en maximale temperatuur, vergeleken met de metingen.

Figuur 5.24 geeft vervolgens de resultaten van varianten 4 tot en met 7 en de referentieberekening. Opvallend is enerzijds de simulatie met constante luchttemperatuur, waarbij de variatie over het jaar sterk gereduceerd is en de simulatie zonder wind, waarbij de watertemperatuur geleidelijk oploopt. De constante relatieve luchtvochtigheid geeft een verloop die ongeveer het hele jaar 1 °C onder de referentieberekening ligt. De constante bewolgingsgraad zorgt alleen in de maanden juli tot en met oktober voor kleine verschillen. In die maanden is de zonne-instraling het grootst en ligt de maandgemiddelde bewolgingsgraad onder de hier gebruikte waarde van 65% (zie figuur 4.8). Meer bewolking zorgt voor minder zonne-instraling.

Figuur 5.25 toont het effect van de Stanton en Dalton parameters. De temperatuur ligt nu gedurende de hele simulatie ongeveer 0,5 °C onder de referentieberekening.

In figuur 5.26 is ten slotte het uiteindelijke resultaat gepresenteerd voor de correcte afleiding van de relatieve luchtvochtigheid (variant 10), in vergelijking met de referentieberekening. Ook deze variant geeft een temperatuur die gedurende de hele simulatie ongeveer 1 °C lager ligt.

De watertemperatuur wordt met andere woorden redelijk nauwkeurig gemodelleerd. Naar aanleiding van de resultaten kan een optimalere combinatie van instellingen worden gevonden. Echter, ten opzichte van een simulatie zonder variabele temperatuur, maar wel met variabele saliniteit, laat de waterstand nu ook een toegevoegde jaarlijkse variatie zien, met gemiddeld 10 cm hogere waterstanden rond 1 september en 10 cm lagere waterstanden rond 1 maart. Waarschijnlijk hangt dit samen met de temperatuurafhankelijke drukgradiënt tussen de rand van het model en de Noordzee. Dit komt bovenop de SA-component met een vergelijkbare amplitude die op de rand wordt opgelegd. Het is de vraag of in een simulatie met variabele temperatuur de SA-component op de rand niet moet worden gecorrigeerd voor dit effect. Verder onderzoek hiernaar is aan te raden. Er zal verder gekeken moeten worden naar de ruimtelijke verdeling van de SA-component, zowel op de rand als intern. Dit zou kunnen worden

gedaan aan de hand van getijanalyses van waterstandstijdseries over de hele Noordzee en databases van getijcomponenten. Ook zal de ruimtelijke verdeling van de watertemperatuur moeten worden gecontroleerd, bijvoorbeeld aan de hand van oppervlaktetemperaturen (SST) uit satellietgegevens en mogelijk aanvullende meetstations op de Noordzee.

5.6 Validatie watertemperatuur

Op basis van de bevindingen uit de vorige paragraaf is de volgende aanpak voor de Kustzuid simulaties gekozen:

- de middelingspolygoon voor de meteorologische grootheden aansluitend aan het te modelleren gebied, in dit geval polygoon 'zuidelijke delta';
- Stanton en Dalton parameters volgens standaard instellingen;
- temperatuurrandvoorwaarde op zee op basis van metingen K13A Platform;
- temperatuurrandvoorwaarden op de rivieren op basis van de meest dichtbijgelegen meetstations, met uitzondering van de Schelde;
- horizontale en verticale diffusie en turbulentie als in paragraaf 5.4 gekozen.

De keuze van de temperatuurrandvoorwaarde op zee is gemaakt aan de hand van een vergelijking tussen twee korte simulaties van een maand, één met randvoorwaarden van Euro Platform en één met randvoorwaarden K13A Platform. De resultaten leken echter geen duidelijke voorkeur te rechtvaardigen, zonder uitgebreid verder onderzoek. De K13A-randvoorwaarden zijn uiteindelijk gekozen.

Vergelijkingen van meetseries en modelresultaten zijn voor de Waterbase stations gepresenteerd in figuren 5.27 tot en met 5.34. De randvoorwaarde van K13A Platform is ook in de figuren weergegeven. Voor Lichteiland Goeree ontbreken een lange serie en voor Vlissingen een korte serie metingen. De modelresultaten volgen redelijk nauwkeurig de metingen. De statistische grootheden zijn in tabel 5.6 en figuur 5.35 (alleen maandwaarden) gepresenteerd. De BIAS laat een duidelijk afnemende trend zien, van positief in de eerste helft (circa 2 °C) naar negatief (circa -1 °C) in de tweede helft van de periode. De $RMSE_0$ laat een vrij constant beeld zien tussen de 0,2 en 0,6 °C over het jaar, met de laagste waarden in de wintermaanden. Alleen in Hoek van Holland wordt 's zomers een $RMSE_0$ van meer dan 1 °C gevonden.

De tijdseries voor Zege-stations Vlake Van de Raan en Brouwershavensche Gat 8 zijn vergeleken in figuren 5.36 tot en met 5.43. Tabel 5.7 en figuur 5.44 geeft de statistische grootheden. Vergelijkbare trends in BIAS en $RMSE_0$ als in de Waterbasestations zijn ook in deze stations zichtbaar. De BIAS neemt globaal van +1,2 naar -1,2 °C af, de $RMSE_0$ is vrij constant 0,4 °C gedurende het jaar, ook weer enigszins lagere waarden in de winter. Net als voor de saliniteit is er niet een duidelijk verschil in resultaat tussen bodem en oppervlak te zien. Als wordt gekeken naar de dagelijkse variatie dan valt op dat in de eerste drie maanden, juni tot en met augustus 2004, het model deze variatie bij de Vlake van de Raan overschat. In de winter komt deze wel goed overeen met de metingen, en in het voorjaar is overschat het model de dagelijkse variatie ook, maar veel minder dan in de eerste drie maanden. In station Brouwershavensche Gat 08 is het verschil in dagelijkse variatie tussen metingen en berekeningen veel kleiner. Het toevoegen van de dagelijkse variatie in de randvoorwaarde zal de berekende dagelijkse variatie alleen maar doen toenemen. (Aangezien uurlijkse metingen beschikbaar zijn vanaf januari 2007, zou dit verder uitgezocht moeten worden met de latere simulaties.)



5.7 Resultaten

De resultaten laten een goede overeenkomst zien met de metingen. Voor CSM worden de grootste afwijkingen voor de waterstanden gevonden in Vlissingen. Door het toepassen van het Kalman filter nemen de verschillen af. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de Westerschelde in CSM vrijwel ontbreekt, waardoor ook een effect van dit estuarium op de waterbeweging afwezig is. In Zuno is te zien dat de resultaten licht verbeteren. Aangezien dit model met randvoorwaarden uit CSM wordt aangestuurd, is ook geen duidelijk verschil te verwachten. Ook bij dit model zorgt het Kalman filter voor een verbetering. Het belangrijkste doel van deze modellen is ook om de opzet zo nauwkeurig mogelijk te modelleren.

De resultaten van Kustgrof liggen duidelijk dichterbij de metingen. In Kustzuid worden de verschillen echter weer groter. In dit model wordt ook geen Kalman filter toegepast.

Voor de validatie van de saliniteit zijn tijdens de validatieperiode slechts twee stations in de buitendelta beschikbaar, namelijk Vlake van de Raan en Brouwershavensche Gat 08. Beide liggen redelijk ver van de zoetwaterlozingen af, waardoor de metingen gedurende lange perioden zout zijn. De saliniteit wordt gemiddeld tot 2 PSU te laag berekend, nabij het oppervlak marginaal beter dan bij de bodem. De standaardafwijkingen blijven onder de 1,5 PSU, waarbij Vlake van de Raan iets betere resultaten geeft dan BG08. Dit hangt waarschijnlijk ook voor een deel samen met de geringe variatie in saliniteit op de Vlake van de Raan.

Naast de Waterbase stations op zee zijn ook voor de temperatuur alleen metingen beschikbaar in dezelfde stations als de saliniteit. De watertemperatuur ligt gemiddeld over het jaar minder dan 1 °C van de metingen af. In de zomermaanden liggen de modeluitkomsten minder dan 2 °C te hoog en 's winters tot 2 °C te laag. De standaarddeviatie blijft onder de 1,4 °C.

6 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

In dit rapport is een beschrijving gegeven van de gevolgde aanpak voor de calibratie en validatie van de gebruikte modellen. Ook is de aanpak voor de modelsimulaties beschreven.

In het algemeen bestaat er een goede overeenkomst tussen de metingen en de modelresultaten. Als echter in detail (ruimtelijk of in de tijd) ingezoomd wordt op de resultaten, dan kunnen er nog wel flinke verschillen optreden. Voor een deel zal in een verdere calibratie nog enige winst haalbaar kunnen zijn, maar verschillende gevoeligheids-simulaties hebben aangetoond dat de modelresultaten voor een groot gedeelte worden bepaald door de forceringen. Onnauwkeurigheden in de forceringen (rivier- en spui-afvoeren, meteorologische condities) leiden daarom inherent tot onnauwkeurigheden in de modelresultaten. Daarnaast spelen in de bepaling van verschillen tussen modelresultaten en metingen de onnauwkeurigheden van de metingen ook nog een rol. Zo laten de saliniteit- en watertemperatuurmetingen van het Zege meetnet van tijd tot tijd verlopende waarden zien, samenhangend met aangroei op de sensoren.

Het doel van de modellen binnen deze studie is om te kijken naar de abiotische parameters in de Voordelta. In het bijzonder naar de variatie daarin van jaar tot jaar, en om een relatie te leggen tussen de biotiek en de abiotiek. Vanwege de niet eenduidige relatie die verwacht wordt, zijn de veranderingen daarom vooral indicatief.

Dit alles in overweging nemend luidt de conclusie dat de modellen in voldoende mate zijn gecalibreerd voor het doel van deze studie.

Aanbevelingen

Vanwege technische en praktische problemen is de aanpak van de studie in een vroeg stadium aangepast. Hierbij zijn onder andere de simulaties waarbij de watertemperatuur wordt meegenomen als variabele met CSM8 en Zuno vervallen. In plaats daarvan is het meest gedetailleerde model (Kustzuid) aangestuurd met watertemperatuurmetingen op zee. Enerzijds geeft dit een nauwkeuriger verloop van de zeewatertemperatuur in de tijd, maar anderzijds wordt op deze manier de relatief geringe ruimtelijke variatie in watertemperatuur langs de zeerand verwaarloosd.

Voordat watertemperatuur (in combinatie met saliniteit) op CSM8 en Zuno schaal wordt meegenomen, dienen de volgende aspecten nader bestudeerd te worden:

- Het toepassen van variabele watertemperatuur binnen CSM leidt tot een variatie in de middenstand, die waarschijnlijk gecompenseerd moet worden met een correctie op de langjarige SA component in de randvoorwaarde. Het lijkt erop dat op de rand van het CSM model uit de modellentrein, bewust een hoge SA component is opgelegd om het temperatuureffect op de waterstanden toch mee te nemen, omdat CSM zonder temperatuur rekent.
- Daarbij kan tegelijkertijd gekeken worden naar de mogelijkheid om meer en in meer detailgetijcomponenten op de rand mee te nemen door die te baseren op de getijcomponenten op basis van databases die gebruik maken van TOPEX/Poseidon data (bijvoorbeeld de TPXO database).



- Voor de modelering van de watertemperatuur op Noordzee-schaal dient de mogelijkheid van aansturing met ruimtelijk variërende luchttemperatuur, bewolgingsgraad en relatieve luchtvochtigheid in SIMONA ingebouwd te worden en verder te worden getest. Op een dergelijke schaal gaan de ruimtelijke variaties in deze grootheden waarschijnlijk wel een significante rol spelen, waar die in de Voordelta redelijkerwijs verwaarloosd kunnen worden. Gevoeligheidssimulaties tonen aan dat de luchttemperatuur en de windsnelheid de meest kritische parameters zijn binnen de watertemperatuurmodellering.
- De Kalman filters voor CSM8 en Zuno zouden daarbij aangemaakt moeten worden voor berekeningen met watertemperatuur en saliniteit. Hierdoor vervalt de behoefte om aparte simulaties te draaien voor de optimalisatie voor de waterbeweging en voor de saliniteit (in combinatie met watertemperatuur). Gezien de drie hiervoor genoemde punten zal dit een grote inspanning vergen.

Er kan worden geconcludeerd dat de modelresultaten redelijk goed met de metingen overeenkomen. Echter, ook de metingen vertonen van tijd tot tijd dubieuze waarden. Deze kunnen worden veroorzaakt door aangroei op de apparatuur.

- Voor een goede vergelijking tussen model en metingen zou gekeken moeten worden naar een goed criterium waarmee deze waarden kunnen worden geverifieerd, zodat verlopende waarden van de metingen kunnen worden uitgesloten van de vergelijking.

De zoetwaterpluim in de Voordelta vanuit de Haringvlietmond is lastig te calibreren (saliniteit en watertemperatuur) op basis van metingen in slechts twee meetstations (Vlakte van de Raan en Brouwershavensche Gat 08), die ook nog relatief ver van de Haringvliet en de Maasmond liggen.

- Voor de calibratie dient gezocht te worden naar een periode waarbij behalve deze twee locaties ook de andere drie meetlocaties uit het Zegemeetnet (Oosterschelde 4, Brouwershavensche Gat 2, Haringvliet 10) actief zijn.
- Het toevoegen van enkele permanente CTD meetstations in het Voordelta gebied zal een betere calibratie op saliniteit en watertemperatuur in de voordelta mogelijk maken.

Referenties

Alkyon 2001, G. Hartsuiker, Herstel 1 : 3 koppeling binnen modellentrein, Fase 2 modelbouw en afregeling, A705, Oktober 2001

Gill, A. E., 1982. Atmosphere-Ocean dynamics, vol. 30 of International Geophysics Series. Academic Press. 257, 260, 261, 267, 269

Heessen, H.J.L. et al, Plan van Aanpak PMR monitoring natuurcompensatie Voordelta, Deel B: Uitvoeringsplannen per perceel, Internrapport nr. 09.015, juli 2009

Lane, A., 1989. The heat balance of the North Sea. Tech. Rep. 8, Proudman Oceanographic Laboratory. 257, 269

station	bron			doel			calibratie
	www.waterbase.nl	www.hmcz.nl	www.BODC.ac.uk	CSM8	Kalman sturing Zuno	Kustgrof	
Wick			*	*			*
North Shields			*	*			*
Lowestoft			*	*			*
Sheerness			*	*			*
Dover			*	*			*
Vlissingen	*			*			*
Hoek van Holland	*			*			*
Den Helder	*			*			*
Leith			*		*		*
Dover			*		*		*
Portsmouth			*		*		*
Brouwershavensche Gat 02		*			*		*
Euro Platform	*				*		*
K13A Platform	*				*		*
Texel Noordzee	*				*		*
Huibertgat	*				*		*
Cadzand	*					*	*
Westkapelle	*					*	*
Brouwershavensche Gat 08	*					*	*
Scheveningen	*					*	*
IJmuiden-buiten	*					*	*
Petten-zuid	*					*	*
Wierumergronden	*					*	*
Huibertgat	*					*	*
Roomput-buiten		*					*
Haringvliet 10		*					*

Tabel 3.1 Overzicht van de bronnen van de waterstandsmeeetgegevens en het doel binnen het project voor de verschillende stations

station	www.waterbase.nl	bron SOBEK	overige databases	CSM en Zuno	model Kustgrof	Kustzuid	frequentie tijdreeks
Firth of Forth			(default)	*			jaargemiddeld
Humber			(default)	*			jaargemiddeld
Thames			*	*			maandgemiddeld
Schelde	*			*	*		10-daagse waarden
Haringvliet		* 1)		*	*		uurgemiddeld
Nieuwe Waterweg		* 2)		*	*		uurgemiddeld
IJmuiden ³⁾	*			*	*		dagwaarden
Den Oever	*			*	*		dagwaarden
Kornwerderzand	*			*	*		dagwaarden
Eems			*	*	*		maandgemiddeld
Weser			*	*			maandgemiddeld
Elbe			*				maandgemiddeld
Seine			*	*			maandgemiddeld
IJmuiden ³⁾	*					*	dagwaarden
Haringvliet		*				*	10 minuten waarden
Westerschelde (Schelle)	*					*	10-daagse waarden
Nieuwe Maas		*				*	10 minuten waarden
Oude Maas		*				*	10 minuten waarden
Spui		*				*	10 minuten waarden

Tabel 3.2 Overzicht van de bronnen van de rivierafvoeren en spuidebieten, de modellen waarbinnen ze toegepast zijn en de frequentie

¹⁾ De afvoeren van de Haringvlietsluizen zijn gesommeerd en per uur gemiddeld op basis van de SOBEK 10-minuten waarden

²⁾ De afvoeren van de Oude Maas, Nieuwe Maas en Spui zijn gecombineerd en per uur gemiddeld op basis van de SOBEK 10-minuten waarden

³⁾ De afvoer van IJmuiden is de gecombineerde waarde van het spuumiddel en het gemaal

polygoon	luchttemperatuur (gr C) gemiddelde		bewolgingsgraad (%) gemiddelde		relatieve luchtvochtigheid (%) gemiddelde	
	jaar- gemiddelde	dagelijkse variatie	jaar- gemiddelde	dagelijkse variatie	jaar- gemiddelde	dagelijkse variatie
Noordzee	9.9	1.0	64.8	33.5	79.8	6.4
zuidelijke Noordzee	10.4	1.2	61.2	41.0	80.2	7.8
Nederlandse kustzone	10.8	1.6	60.5	51.9	80.5	10.3
zuidelijke delta	11.2	2.0	59.9	64.5	80.3	12.9
omgeving De Bilt	10.8	5.9	58.5	69.7	78.4	29.8

Tabel 4.1 Gemiddelde en gemiddelde dagelijkse variatie meteo-parameters over periode juni 2004 - mei 2005

periode	K13A Platform waterstand (m)		Euro Platform waterstand (m)		Vlissingen waterstand (m)	
	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo
CSM astronomisch						
kwartaal 1	-0.06	0.14	0.00	0.13	-0.04	0.21
kwartaal 2	-0.04	0.23	0.04	0.23	0.02	0.29
kwartaal 3	-0.10	0.31	0.03	0.32	0.00	0.37
kwartaal 4	-0.05	0.17	0.04	0.17	0.00	0.22
hele jaar	-0.06	0.22	0.03	0.22	-0.01	0.28
CSM hindcast						
kwartaal 1	-0.02	0.08	0.04	0.07	-0.01	0.15
kwartaal 2	-0.03	0.09	0.03	0.08	0.01	0.15
kwartaal 3	-0.05	0.09	0.06	0.08	0.02	0.16
kwartaal 4	-0.04	0.09	0.04	0.08	0.00	0.15
hele jaar	-0.04	0.09	0.04	0.08	0.01	0.15
CSM hindcast zout						
kwartaal 1	-0.06	0.10	0.05	0.08	0.07	0.16
kwartaal 2	0.01	0.10	0.09	0.10	0.12	0.17
kwartaal 3	0.06	0.12	0.19	0.11	0.23	0.18
kwartaal 4	-0.04	0.11	0.08	0.10	0.13	0.16
hele jaar	-0.01	0.12	0.10	0.11	0.14	0.18

Tabel 5.1 Vergelijking tussen berekende en gemeten waterstand, CSM, 2004-2005

periode	K13A Platform waterstand (m)		Euro Platform waterstand (m)		Vlissingen waterstand (m)	
	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo
Zuno astronomisch						
kwartaal 1	-0.06	0.13	0.00	0.14	-0.03	0.20
kwartaal 2	-0.03	0.22	0.04	0.23	0.03	0.27
kwartaal 3	-0.09	0.30	0.03	0.32	0.00	0.36
kwartaal 4	-0.05	0.16	0.04	0.17	0.01	0.21
hele jaar	-0.06	0.21	0.03	0.23	0.00	0.27
Zuno hindcast						
kwartaal 1	0.01	0.08	0.05	0.09	0.02	0.14
kwartaal 2	0.04	0.07	0.06	0.09	0.04	0.11
kwartaal 3	0.01	0.09	0.07	0.09	0.05	0.12
kwartaal 4	-0.02	0.07	0.05	0.08	0.03	0.13
hele jaar	0.01	0.08	0.06	0.09	0.04	0.13
Zuno hindcast zout						
kwartaal 1	-0.04	0.08	0.04	0.10	0.01	0.15
kwartaal 2	0.01	0.08	0.08	0.11	0.07	0.13
kwartaal 3	0.05	0.10	0.16	0.12	0.15	0.14
kwartaal 4	-0.03	0.08	0.07	0.10	0.06	0.15
hele jaar	0.00	0.10	0.09	0.12	0.07	0.15

Tabel 5.2 Vergelijking tussen berekende en gemeten waterstand, Zuno, 2004-2005

periode	K13A Platform waterstand (m)		Euro Platform waterstand (m)		Vlissingen waterstand (m)	
	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo
Kustgrof hindcast						
kwartaal 1	-	-	0.02	0.05	-0.03	0.06
kwartaal 2	-	-	0.02	0.06	-0.03	0.05
kwartaal 3	-	-	0.03	0.05	-0.03	0.05
kwartaal 4	-	-	0.01	0.04	-0.04	0.05
hele jaar	-	-	0.02	0.05	-0.03	0.05

Tabel 5.3 Vergelijking tussen berekende en gemeten waterstand, Kustgrof, 2004-2005

periode	Euro Platform waterstand (m)		Hoek van Holland waterstand (m)		Haringvliet 10 waterstand (m)		Roompot Buiten waterstand (m)		Vlissingen waterstand (m)	
	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo
	juni	0.03	0.07	0.03	0.09	0.06	0.09	0.07	0.11	0.04
juli	0.02	0.04	0.04	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.04	0.10
augustus	0.02	0.05	0.04	0.08	0.09	0.08	0.07	0.07	0.04	0.10
kwartaal 1	0.02	0.06	0.04	0.08	0.07	0.08	0.07	0.09	0.04	0.12
september	0.02	0.06	0.04	0.08	0.10	0.08	0.07	0.08	0.04	0.10
oktober	-0.01	0.05	0.04	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.03	0.11
november	0.04	0.06	0.02	0.08	0.08	0.08	0.06	0.08	0.03	0.11
kwartaal 2	0.02	0.06	0.03	0.08	0.09	0.08	0.07	0.08	0.04	0.10
december	0.04	0.06	0.04	0.08	0.09	0.08	0.07	0.09	0.04	0.11
januari	0.02	0.06	0.04	0.09	0.11	0.09	0.08	0.09	0.05	0.11
februari	0.03	0.05	0.03	0.08	0.11	0.09	0.07	0.08	0.04	0.11
kwartaal 3	0.03	0.06	0.04	0.09	0.10	0.09	0.07	0.09	0.04	0.11
maart	0.02	0.05	0.05	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.04	0.10
april	0.02	0.05	0.04	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.04	0.10
mei	0.01	0.04	0.03	0.07	0.07	0.06	0.08	0.07	0.03	0.09
kwartaal 4	0.02	0.05	0.04	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07	0.04	0.10
hele jaar	0.02	0.05	0.04	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.04	0.11

Tabel 5.4 Vergelijking tussen berekende en gemeten waterstand, Kustzuid, 2004-2005

periode	Vlakte van de Raan				Brouwershavensche Gat 8			
	S _{opp} (PSU)		S _{bod} (PSU)		S _{opp} (PSU)		S _{bod} (PSU)	
	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo
juni	-	-	-	-	-0.93	0.79	-1.14	0.74
juli	-1.43	0.30	-1.64	0.26	-1.59	0.53	-1.85	0.56
augustus	-1.00	0.28	-0.81	0.54	-1.47	0.93	-2.03	0.66
kwartaal 1	-1.22	0.36	-1.18	0.61	-1.31	0.82	-1.67	0.76
september	-1.09	0.29	-0.75	0.54	-1.21	0.48	-1.29	0.74
oktober	-1.53	0.56	-1.61	0.59	-1.81	0.21	-1.88	0.31
november	-1.45	0.26	-1.28	0.35	-2.03	1.54	-1.98	0.50
kwartaal 2	-1.36	0.44	-1.22	0.62	-1.84	1.36	-1.73	0.62
december	-1.54	0.27	-1.42	0.28	-2.92	0.66	-3.06	0.77
januari	-1.68	0.33	-2.18	0.85	-2.15	1.32	-2.06	1.50
februari	-2.22	0.32	-3.18	0.92	-2.36	2.10	-3.14	2.35
kwartaal 3	-1.80	0.42	-2.12	0.99	-2.48	1.50	-2.74	1.72
maart	-1.95	0.32	-	-	-1.34	0.52	-1.56	0.47
april	-1.24	0.26	-	-	-1.17	0.87	-1.49	0.71
mei	-0.21	0.39	-	-	-0.32	1.11	-0.73	1.16
kwartaal 4	-0.74	0.73	-	-	-0.95	0.97	-1.26	0.91
hele jaar	-1.36	0.62	-1.51	0.87	-1.62	1.33	-1.85	1.22

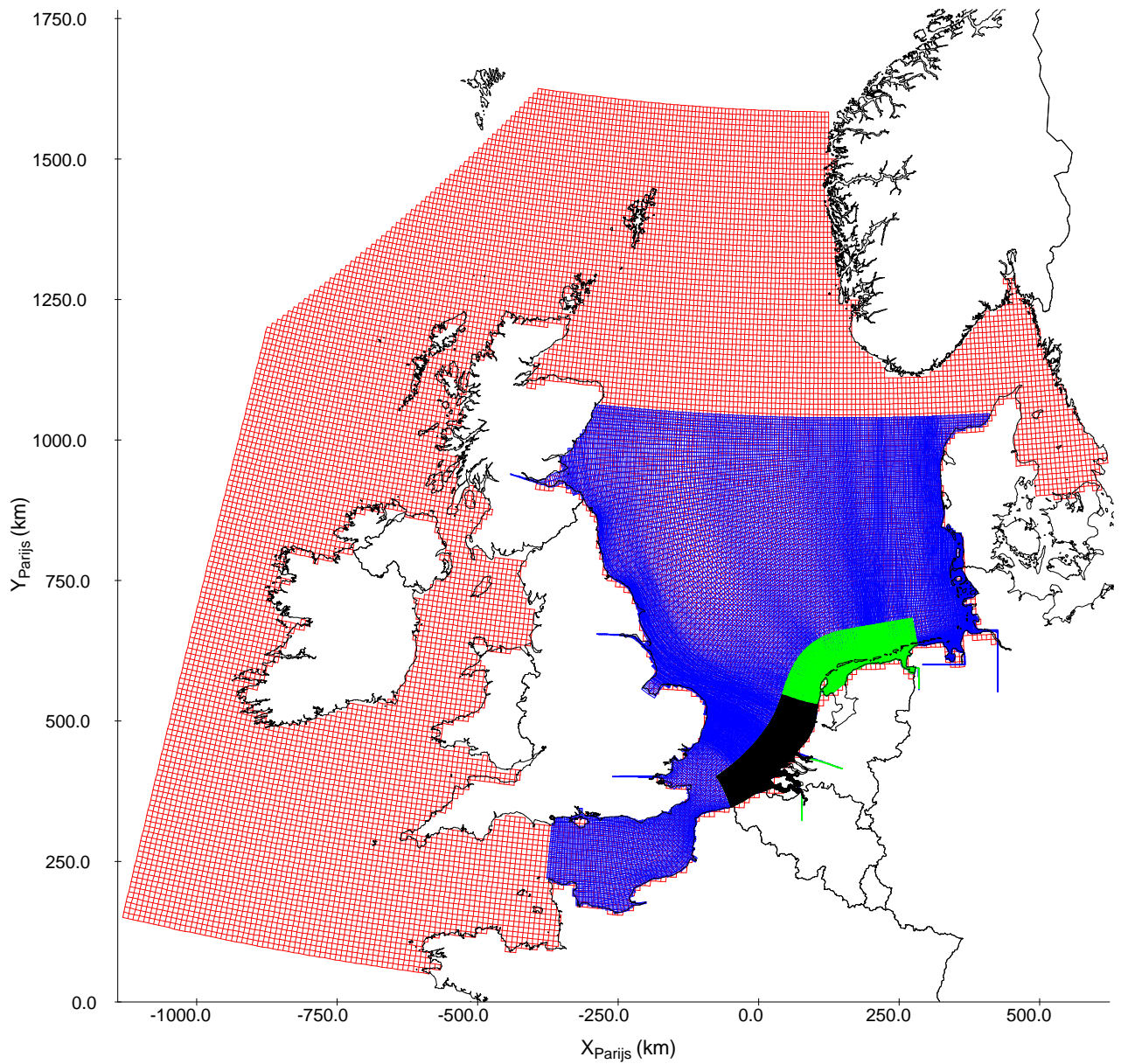
Tabel 5.5 Vergelijking tussen berekende en gemeten saliniteit bij oppervlak en bodem, Kustzuid, 2004-2005

periode	Euro Platform		Lichteiland Goeree		Vlissingen		Hoek van Holland		Noordwijk Meetpost	
	T _{opp} (°C)		T _{opp} (°C)		T _{opp} (°C)		T _{opp} (°C)		T _{opp} (°C)	
	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo
juni	-0.59	0.34	-0.51	0.39	1.19	0.64	1.00	1.12	0.46	0.68
juli	0.39	0.40	0.43	0.39	2.37	0.39	1.87	0.82	0.99	0.41
augustus	0.33	0.45	0.37	0.16	1.87	0.30	1.04	0.77	1.06	0.34
kwartaal 1	0.05	0.60	-0.02	0.60	1.82	0.67	1.31	1.00	0.84	0.56
september	-0.12	0.22	-	-	1.71	0.39	1.38	0.57	1.55	0.25
oktober	-0.02	0.26	-	-	0.99	0.20	0.67	0.26	0.77	0.36
november	0.15	0.11	-	-	0.54	0.13	0.41	0.31	0.46	0.18
kwartaal 2	0.00	0.24	-	-	1.23	0.52	0.82	0.57	0.93	0.54
december	-0.35	0.10	-	-	-	-	-0.02	0.41	0.38	0.23
januari	-0.18	0.23	-	-	-	-	-0.65	0.63	0.17	0.25
februari	-0.43	0.25	-	-	-0.38	0.13	-0.36	0.31	0.25	0.19
kwartaal 3	-0.32	0.23	-	-	-0.38	0.13	-0.34	0.54	0.27	0.24
maart	-0.21	0.24	-0.29	0.00	-0.59	0.58	0.62	1.05	0.11	0.41
april	-0.19	0.30	-0.41	0.16	-0.79	0.32	-0.42	1.04	0.07	0.30
mei	-0.66	0.27	-0.71	0.25	-0.83	0.45	-1.01	0.89	-0.36	0.41
kwartaal 4	-0.36	0.35	-0.56	0.26	-0.74	0.48	-0.27	1.20	-0.06	0.43
hele jaar	-0.16	0.43	-0.28	0.54	0.63	1.24	0.38	1.13	0.49	0.62

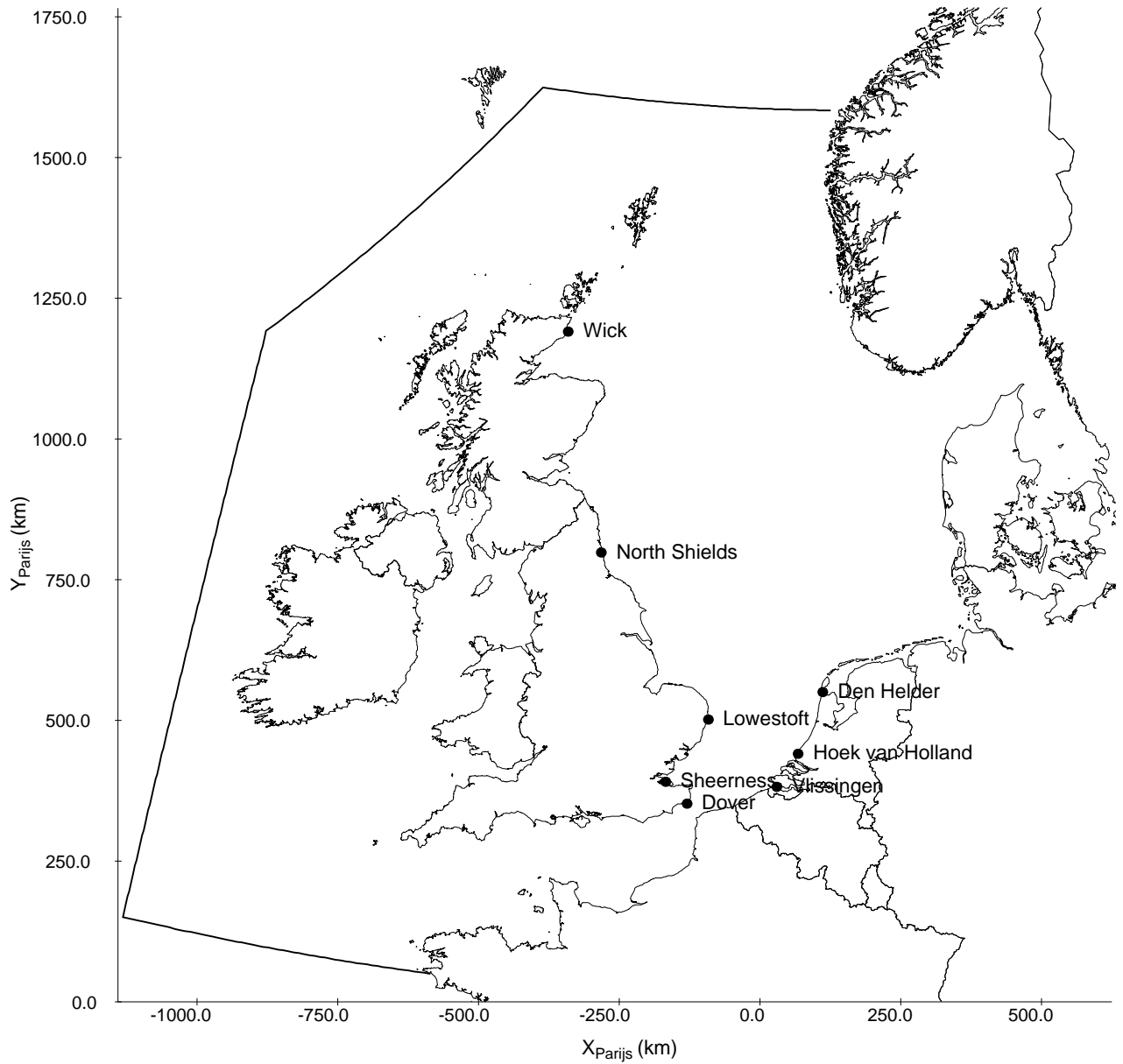
Tabel 5.6 Vergelijking tussen berekende en gemeten watertemperatuur bij oppervlak, Kustzuid, 2004-2005

periode	Vlakte van de Raan				Brouwershavensche Gat 8			
	T _{opp} (°C)		T _{bod} (°C)		T _{opp} (°C)		T _{bod} (°C)	
	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo	BIAS	RMSEo
juni	-	-	-	-	0.44	0.55	0.61	0.53
juli	0.83	0.39	1.01	0.40	1.13	0.31	1.25	0.31
augustus	0.79	0.45	0.77	0.46	0.77	0.30	0.90	0.32
kwartaal 1	0.81	0.42	0.88	0.45	0.78	0.49	0.92	0.48
september	0.71	0.33	0.84	0.41	0.75	0.43	0.81	0.46
oktober	0.30	0.27	0.22	0.33	0.05	0.22	-0.07	0.21
november	0.14	0.30	-0.16	0.36	-0.51	0.33	-0.54	0.34
kwartaal 2	0.38	0.38	0.29	0.55	0.10	0.61	0.07	0.66
december	0.29	0.37	0.24	0.35	0.15	0.39	0.03	0.37
januari	-0.06	0.26	0.08	0.22	-0.16	0.42	-0.20	0.36
februari	-0.18	0.15	0.12	0.25	-0.32	0.25	-0.28	0.25
kwartaal 3	0.02	0.34	0.15	0.29	-0.10	0.41	-0.14	0.36
maart	0.11	0.17	0.50	0.19	-0.58	0.50	-0.54	0.41
april	-0.45	0.30	-0.53	0.33	-0.66	0.37	-0.49	0.37
mei	-1.17	0.30	-1.37	0.34	-0.97	0.51	-0.92	0.51
kwartaal 4	-0.79	0.54	-0.89	0.71	-0.74	0.50	-0.65	0.48
hele jaar	0.13	0.67	0.14	0.75	0.01	0.74	0.05	0.76

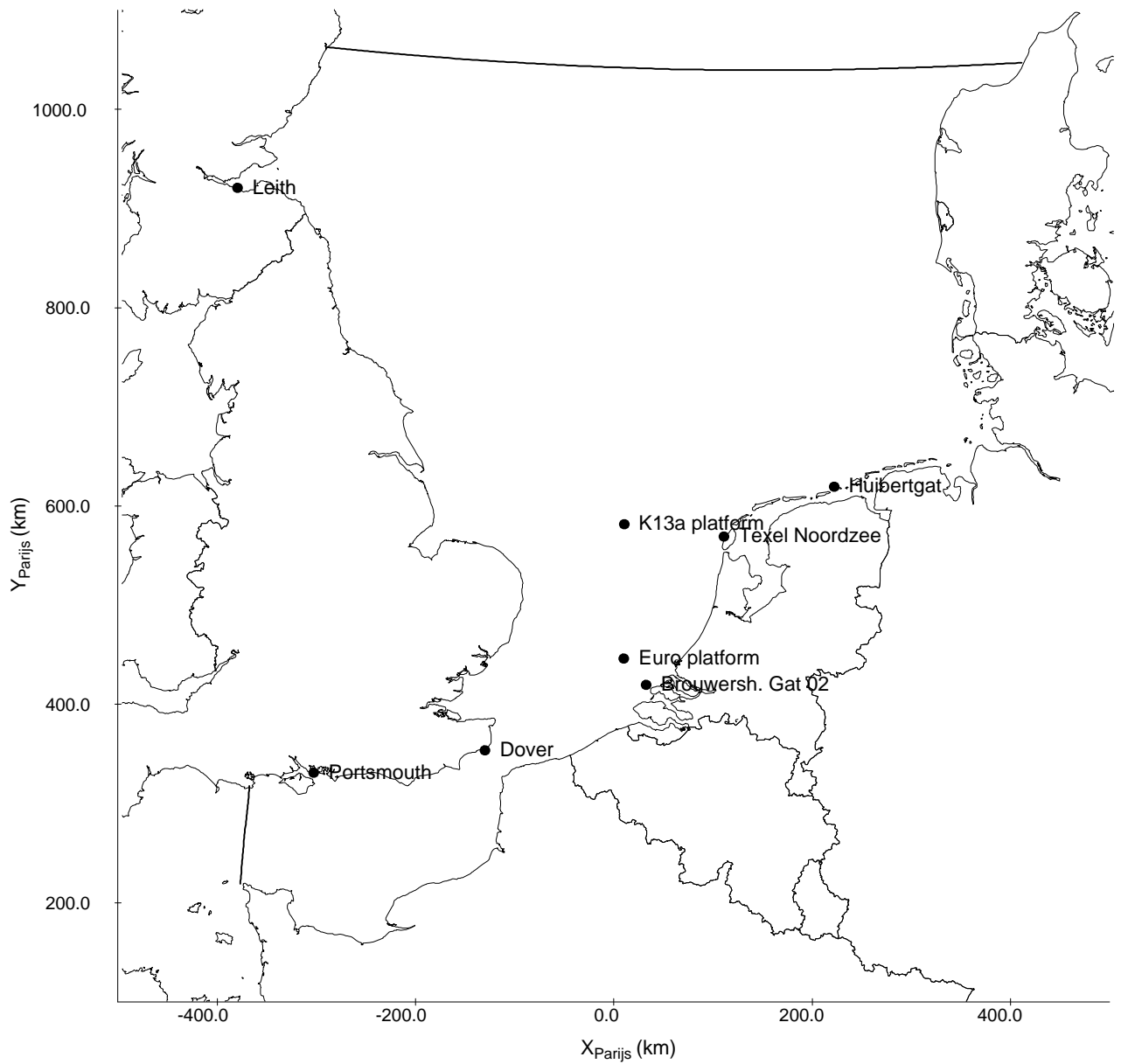
Tabel 5.7 Vergelijking tussen berekende en gemeten watertemperatuur bij oppervlak en bodem, Kustzuid, 2004-2005



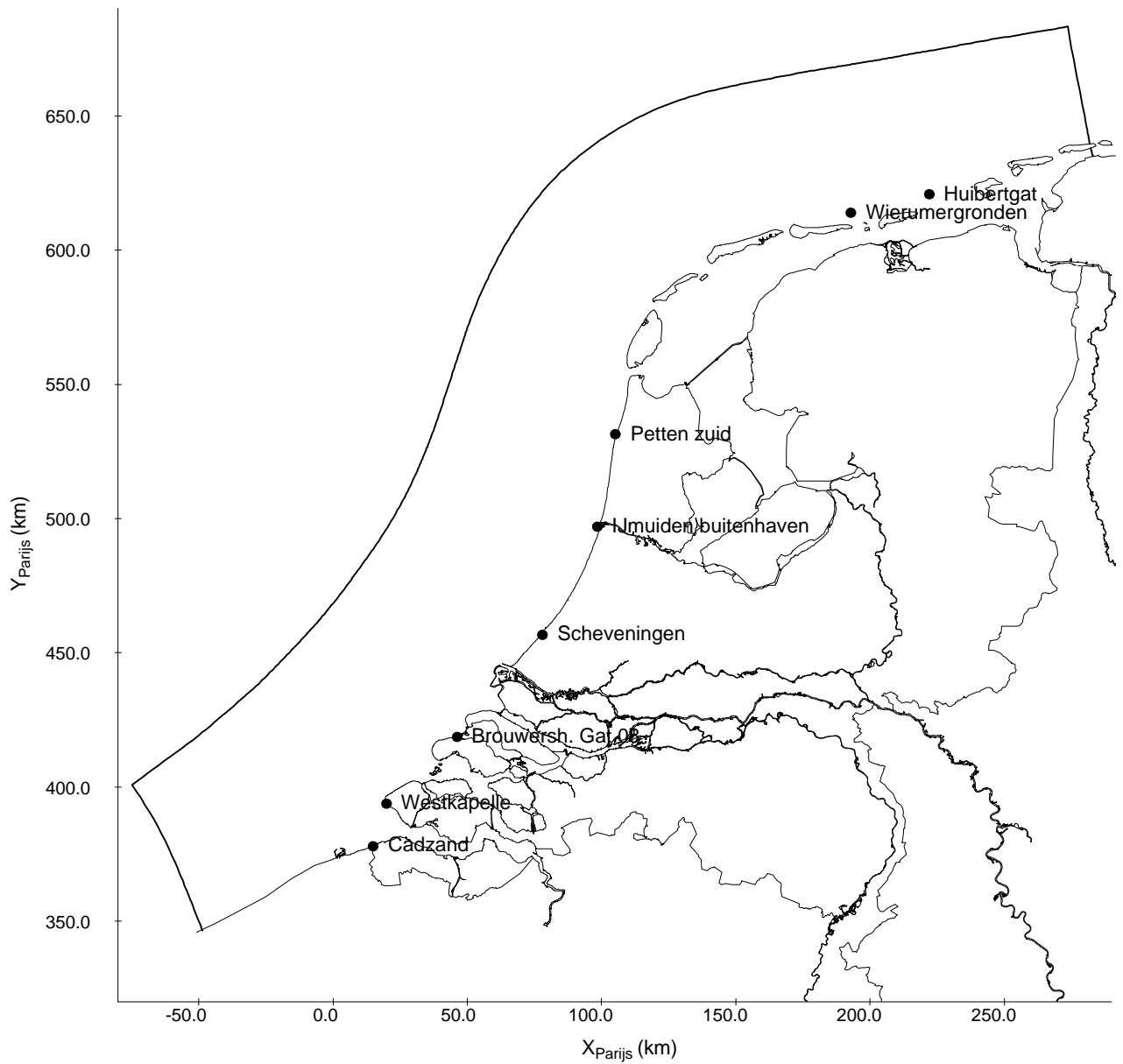
Overzicht van de rekerroosters



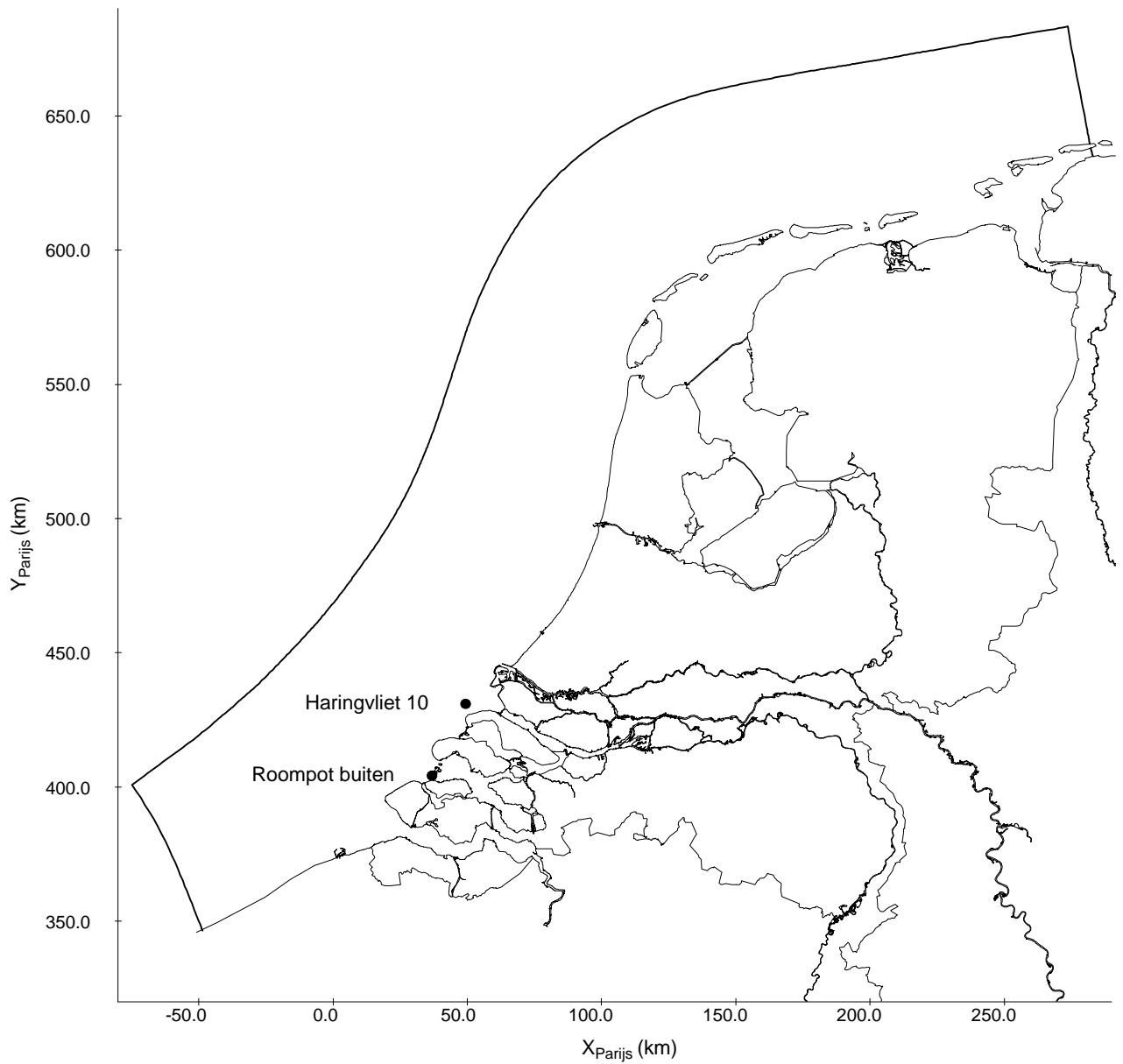
Ligging Kalman-stations DCSM



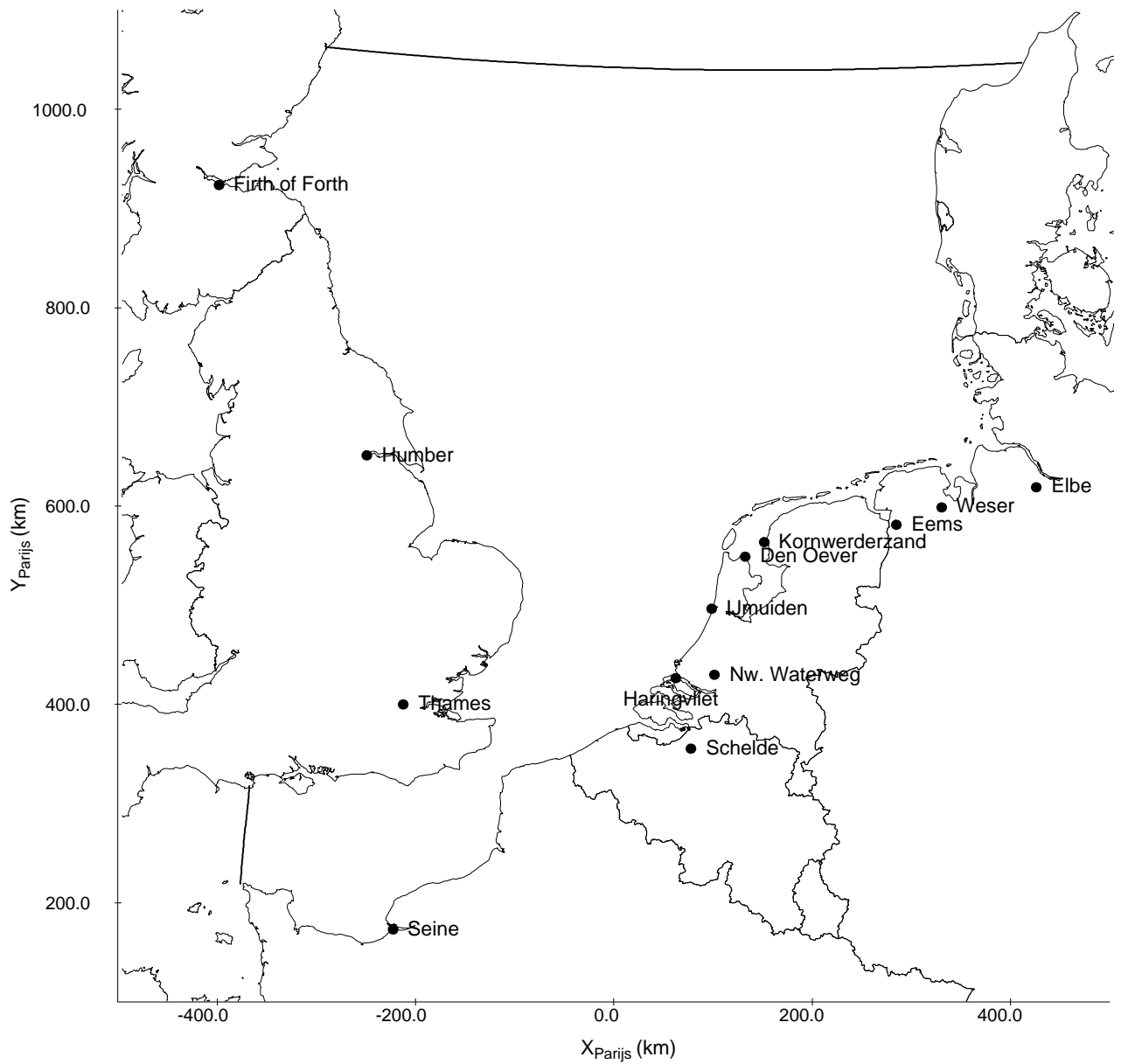
Ligging Kalman-stations Zuno



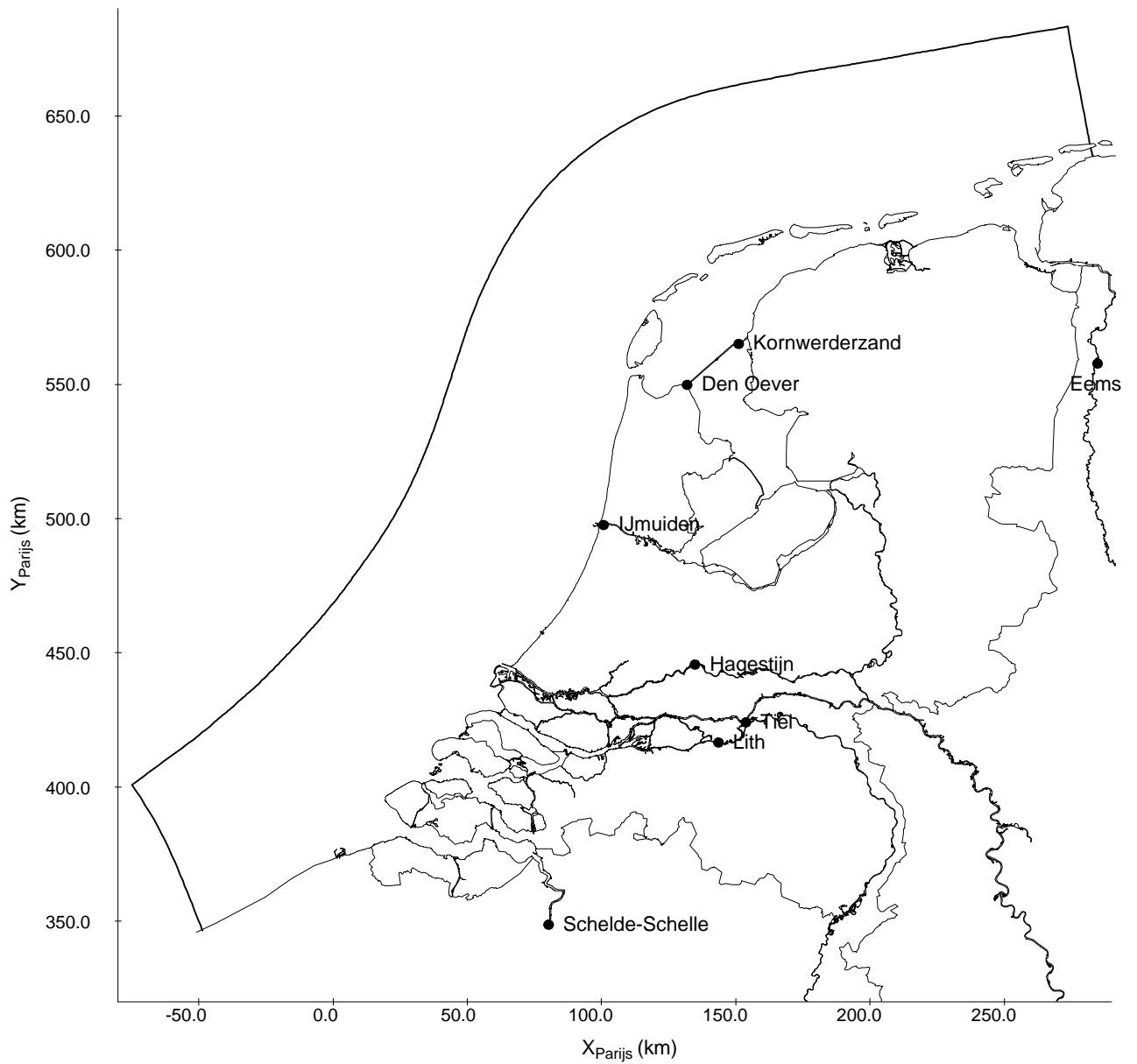
Ligging Kalman-stations Kustgrof



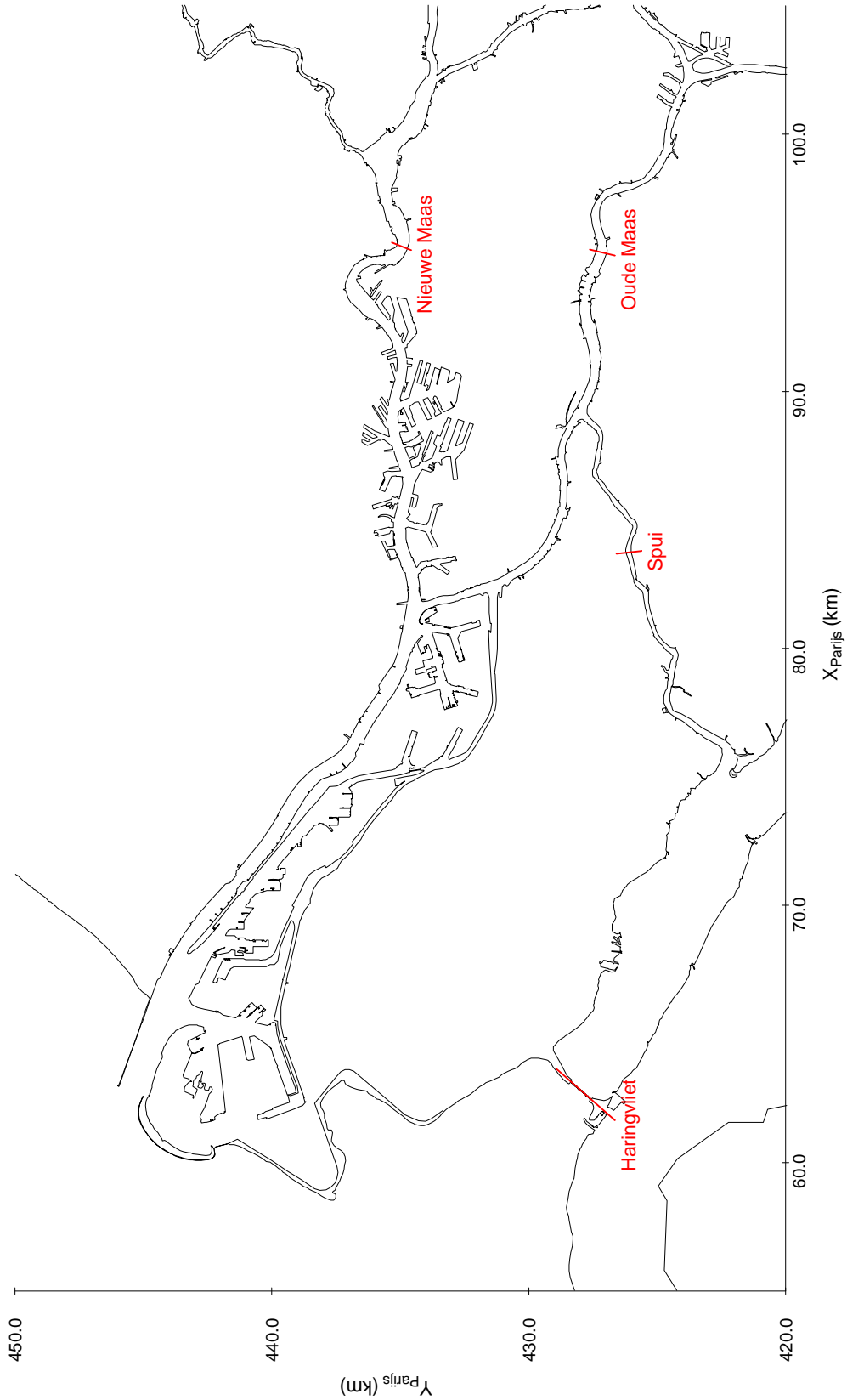
Ligging overige waterstandstations



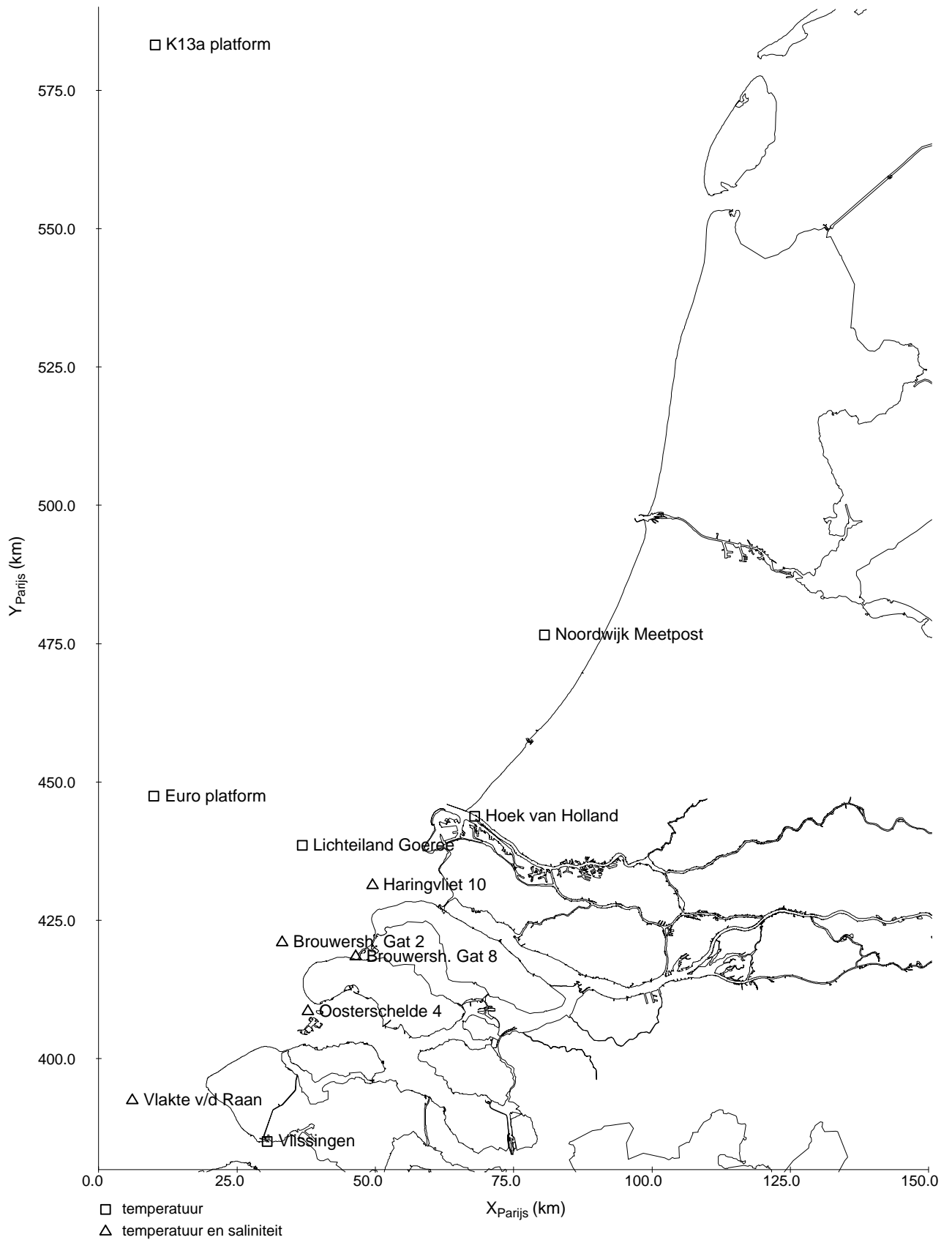
Ligging debietlocaties Zuno



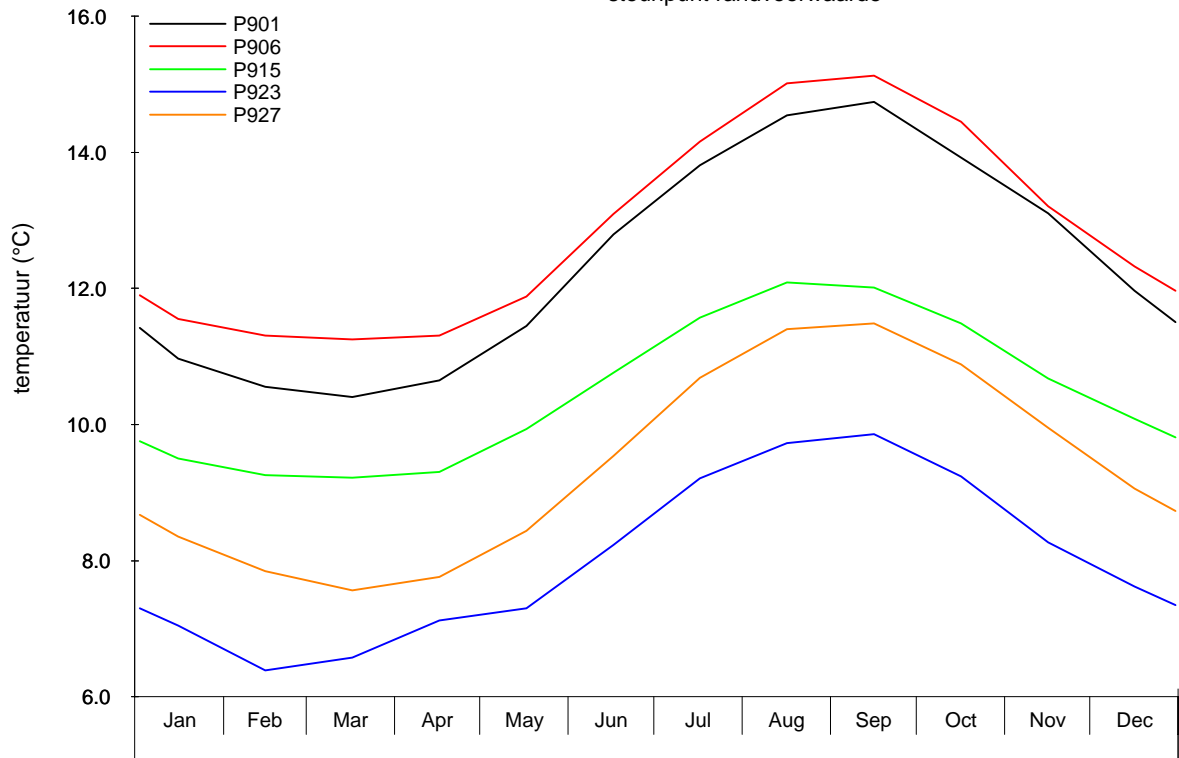
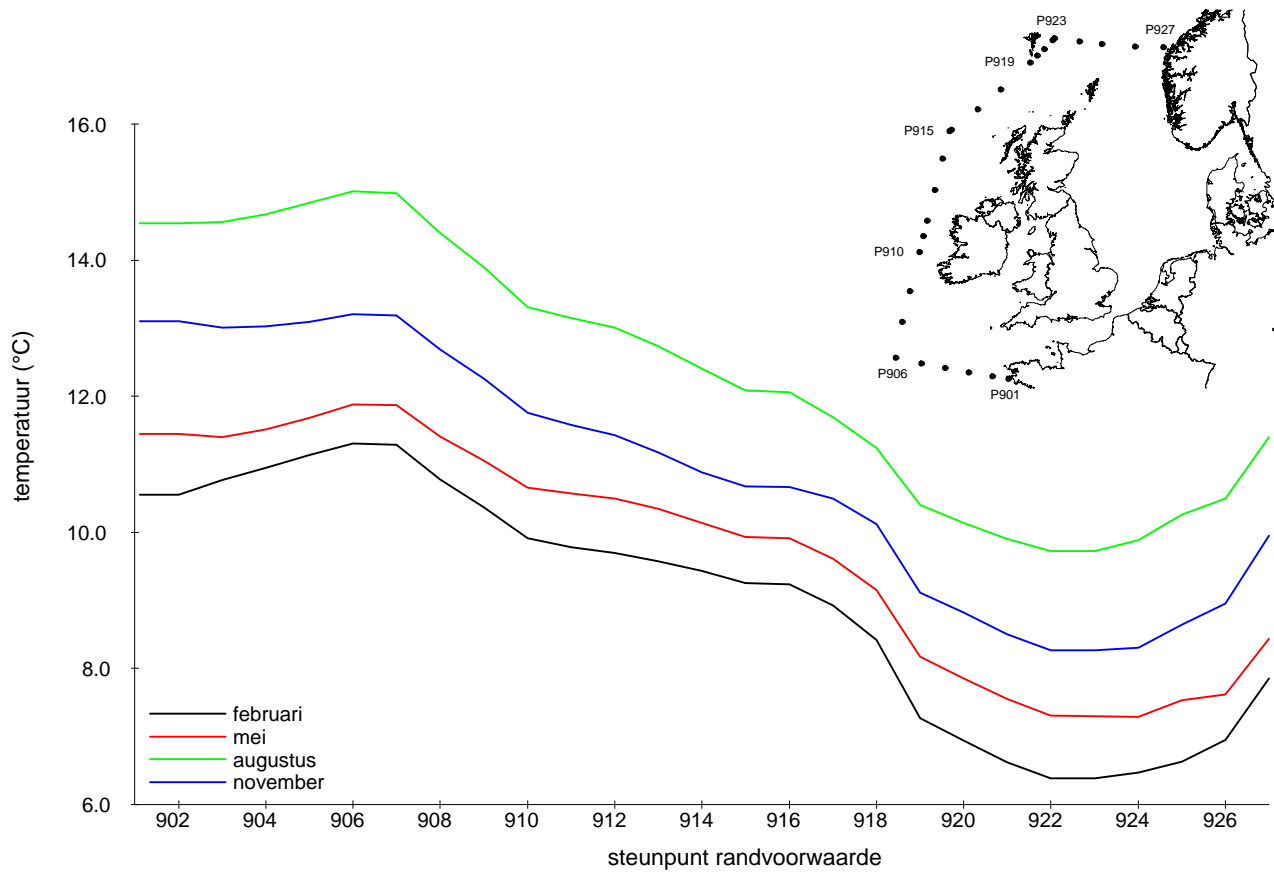
Ligging debietlocaties Kustgrof en Kuststrook



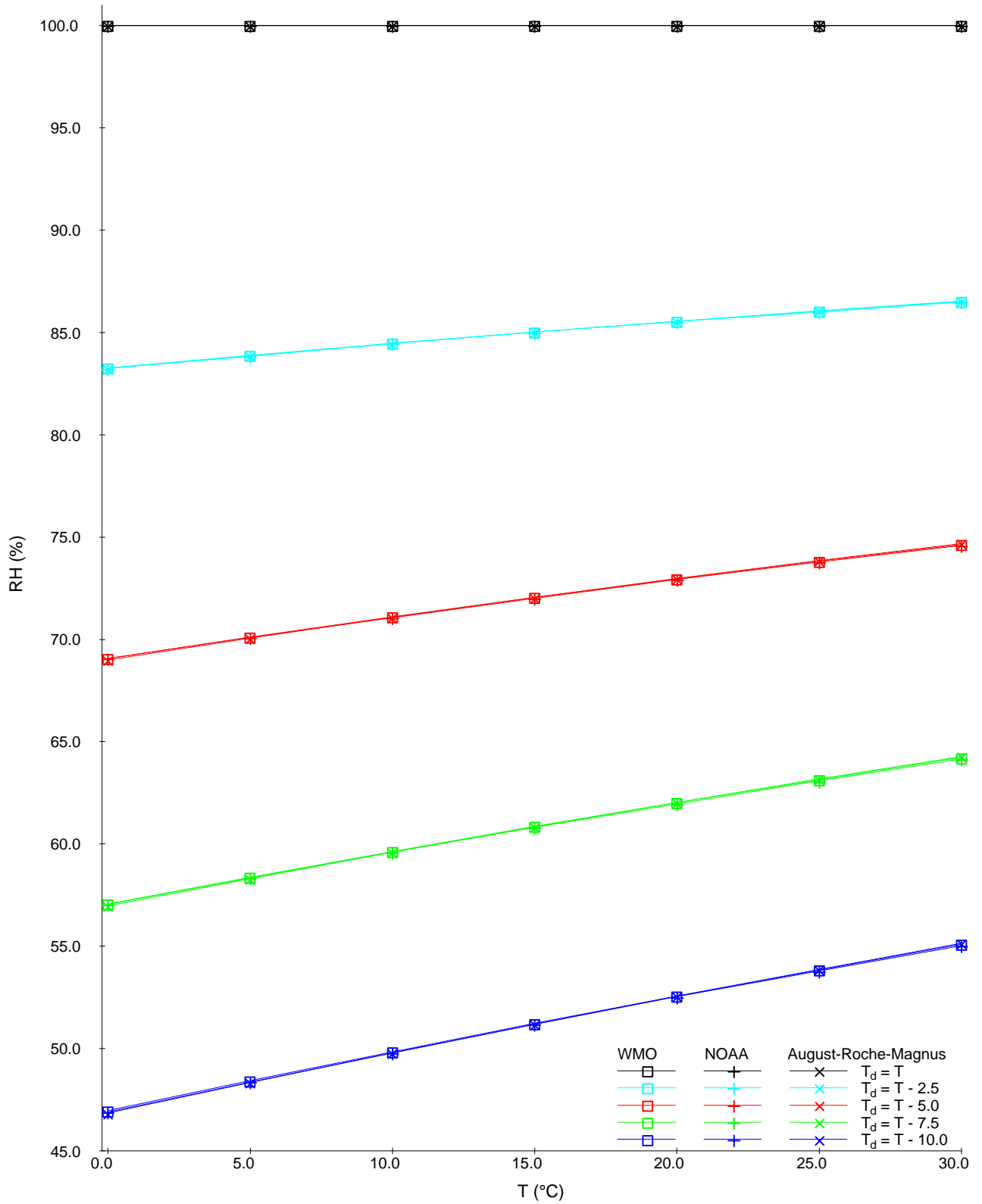
Ligging debietsecties SOBEK



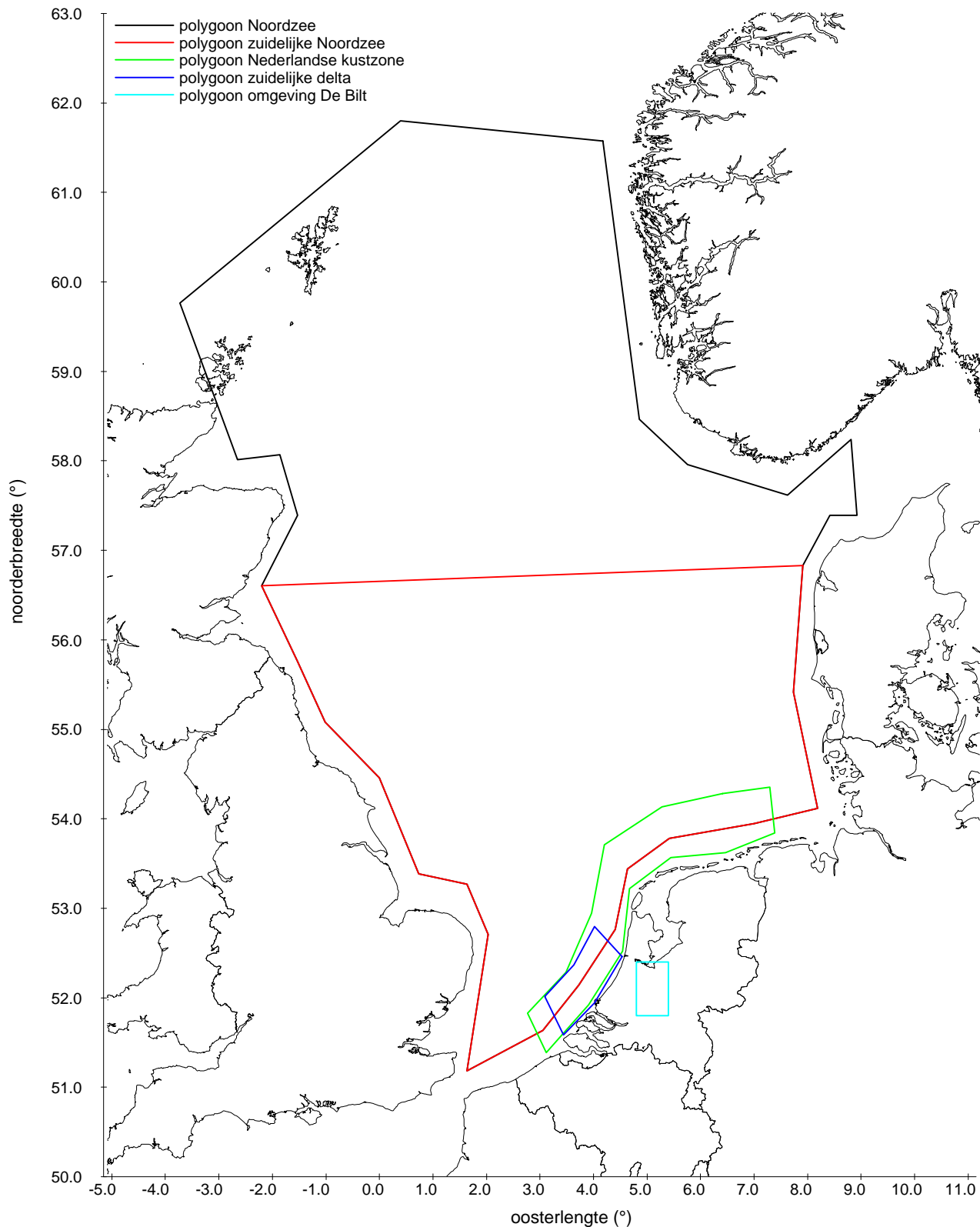
Ligging stations temperatuur en saliniteit metingen



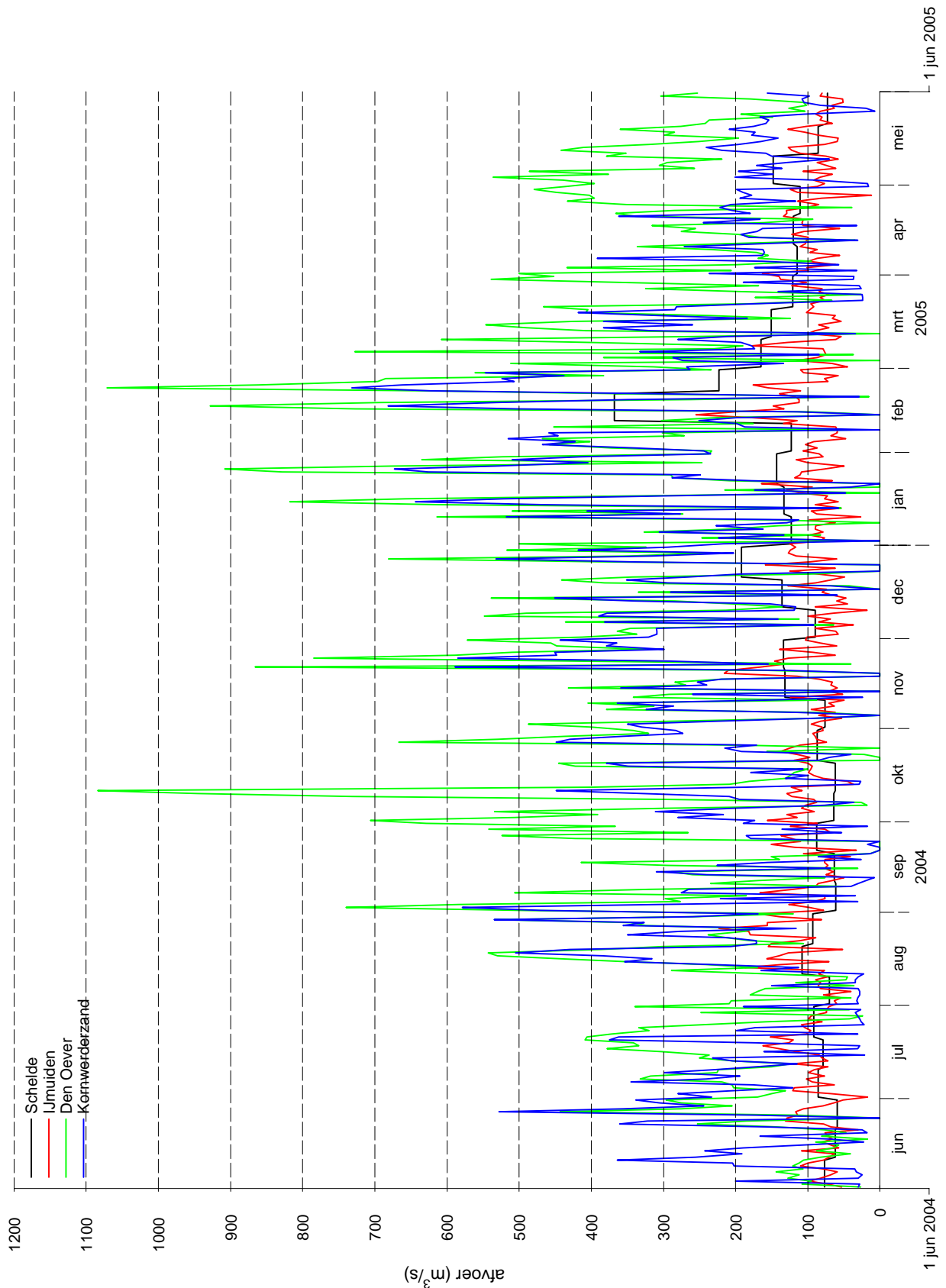
Verloop temperatuurrandvoorwaarde volgens Levitus 1994 voor CSM
 variatie langs de rand voor vier maanden (boven), variatie
 in het jaar voor vijf punten (onder) en ligging punten (inzet)



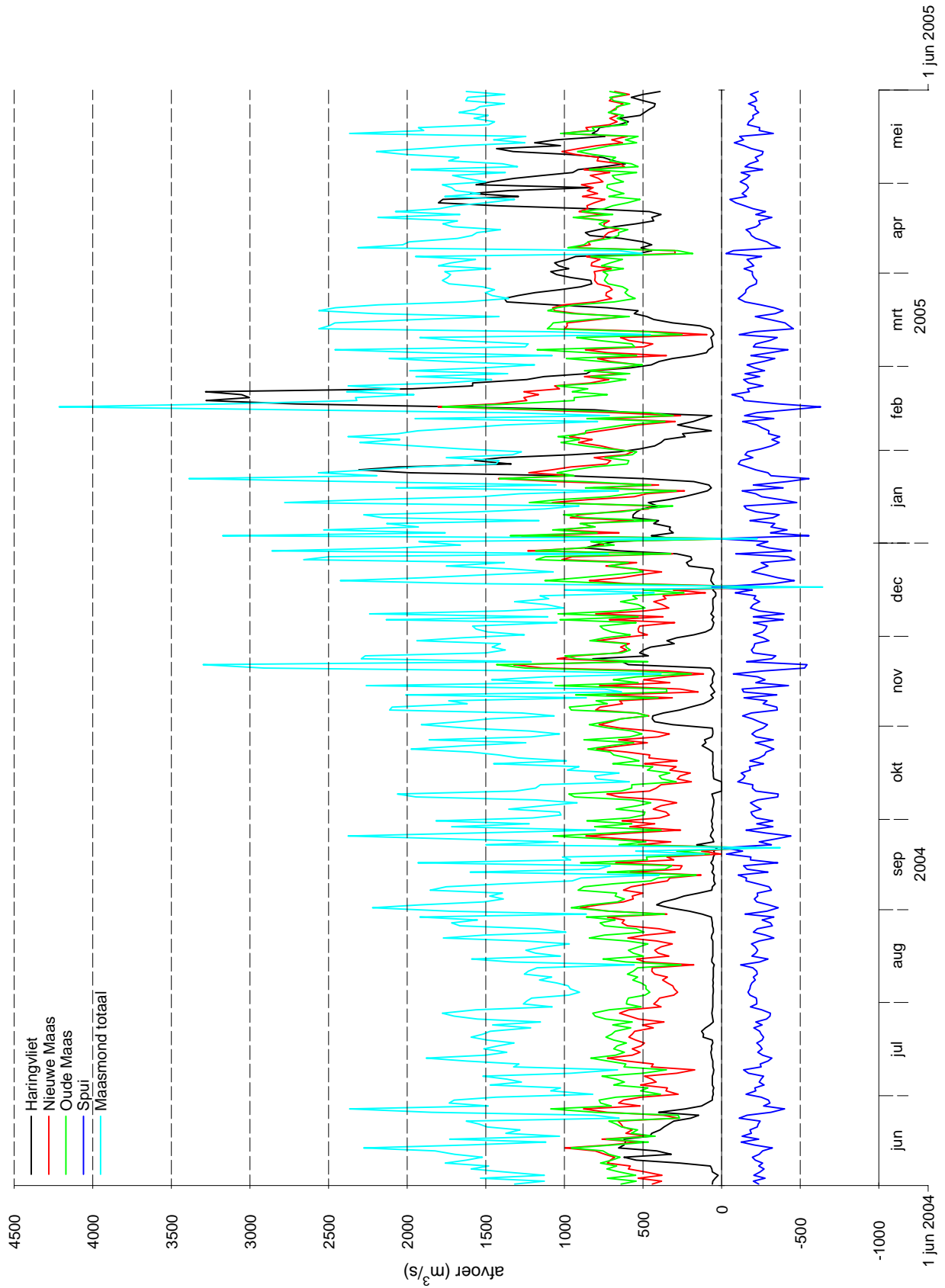
Vergelijking van verschillende relaties RH(T,T_d)



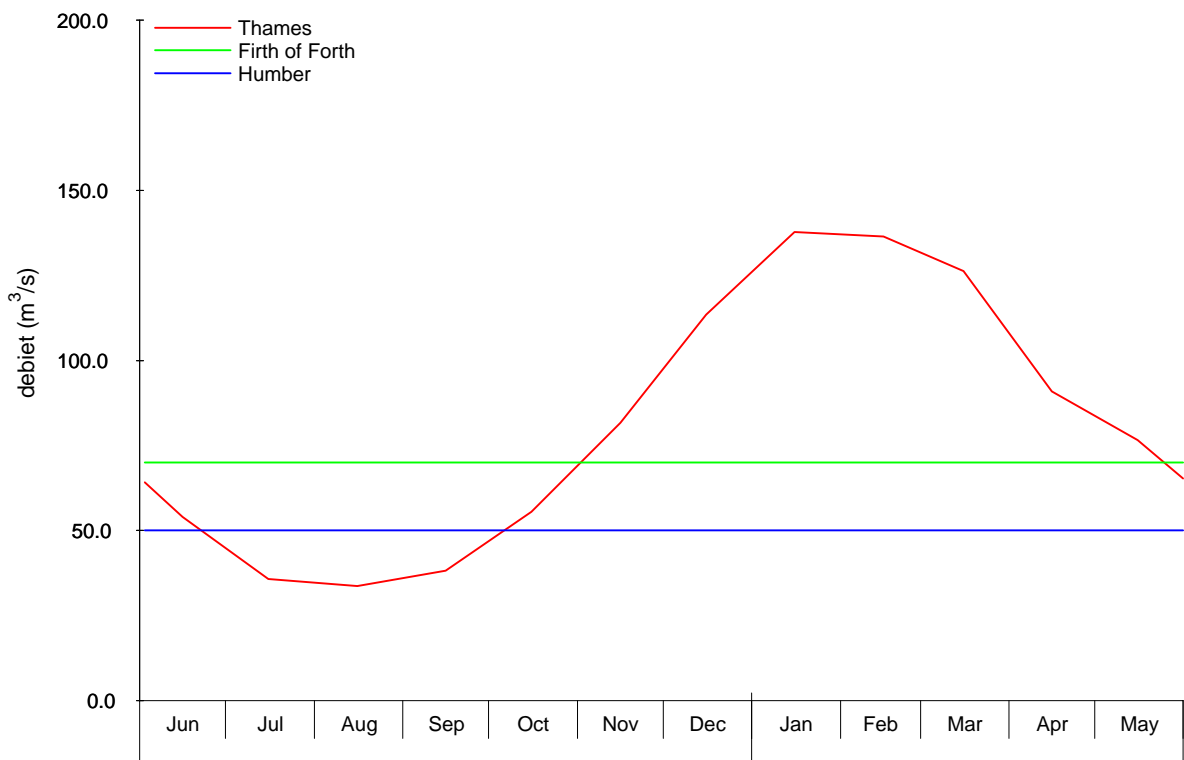
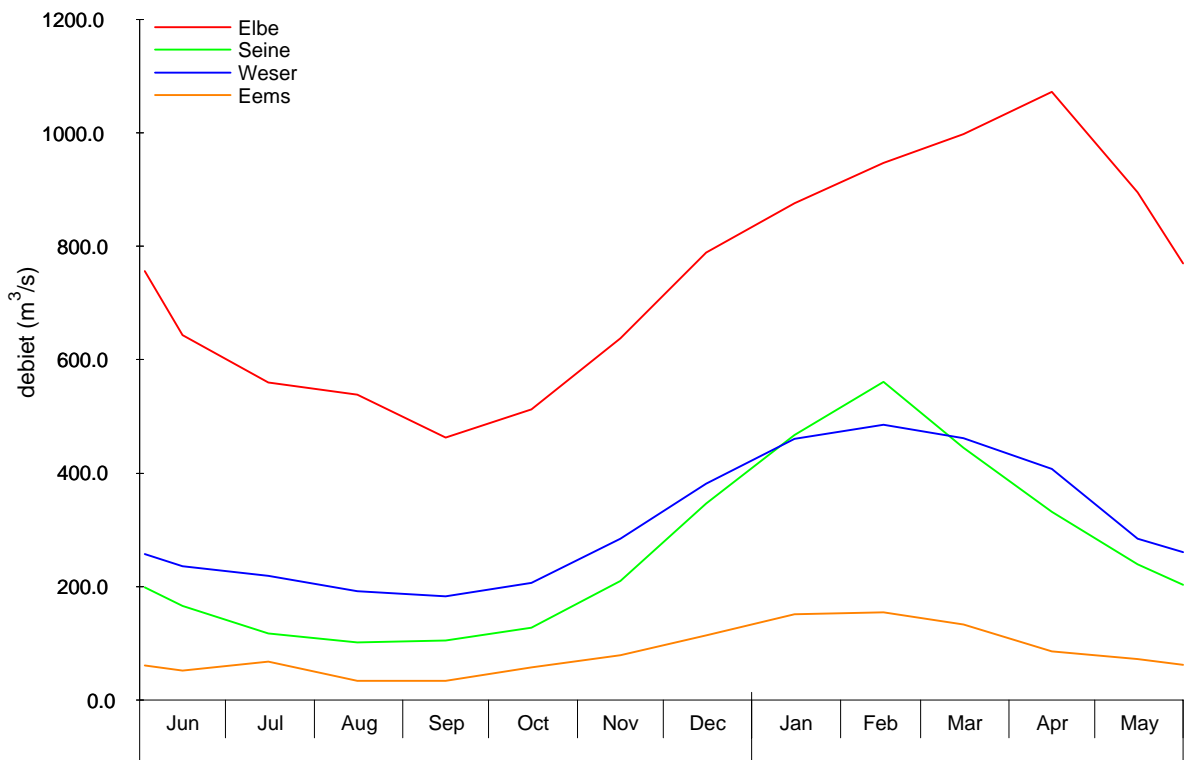
Ligging polygonen t.b.v. middeling meteo-parameters HIRLAM



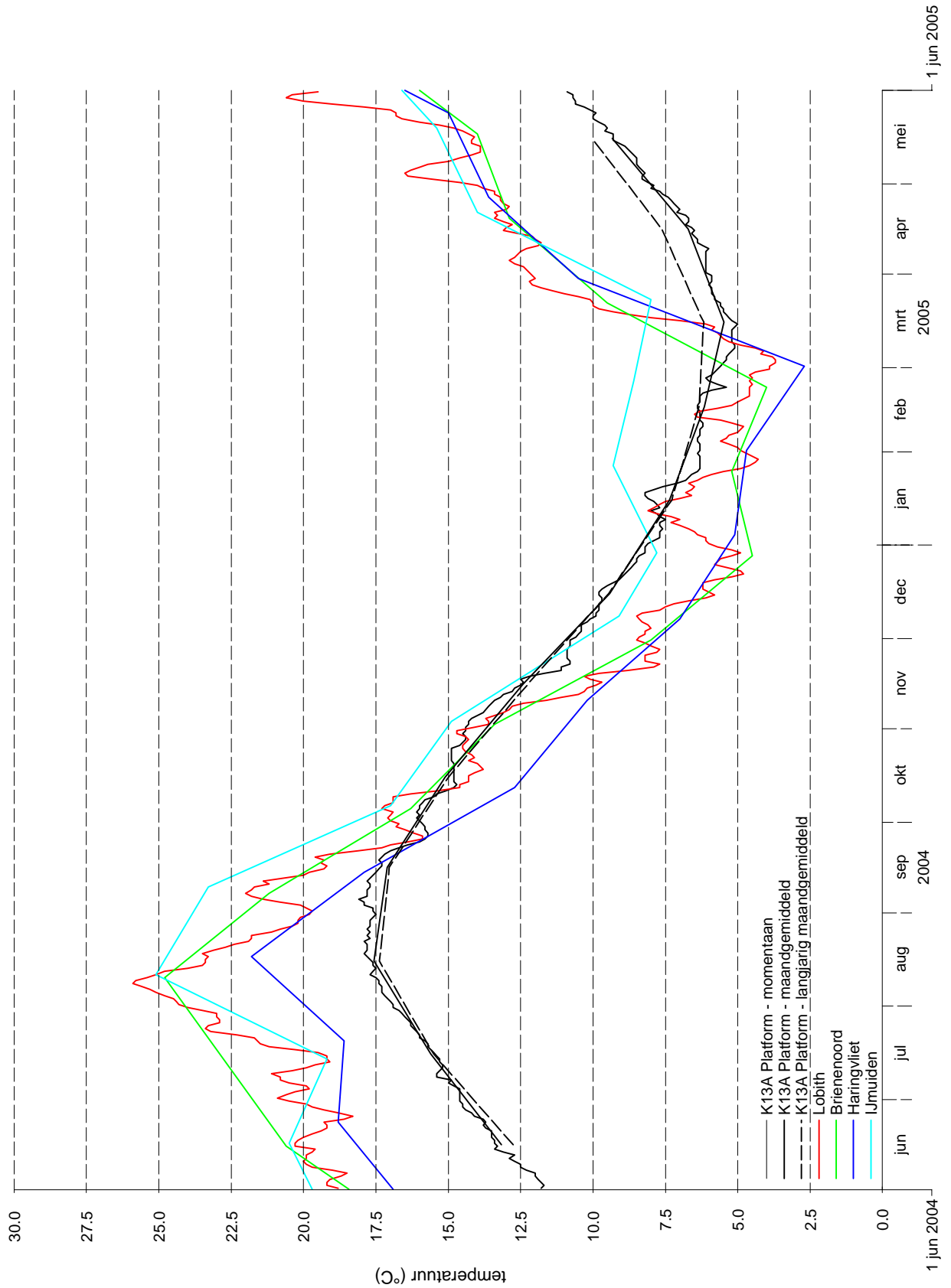
Tijdsreeën rivier- en spuidebieten 2004 - 2005
 daggemiddelden op basis van gegevens uit Waterbase



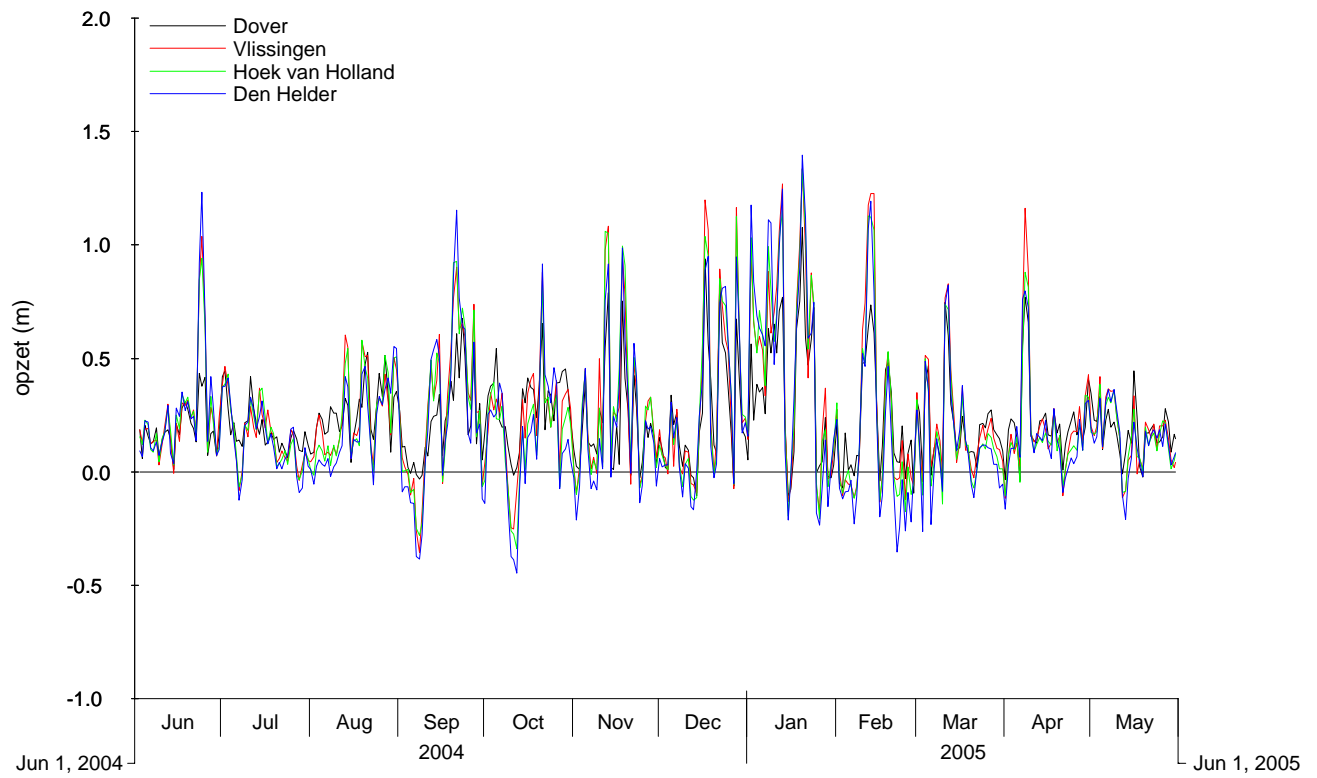
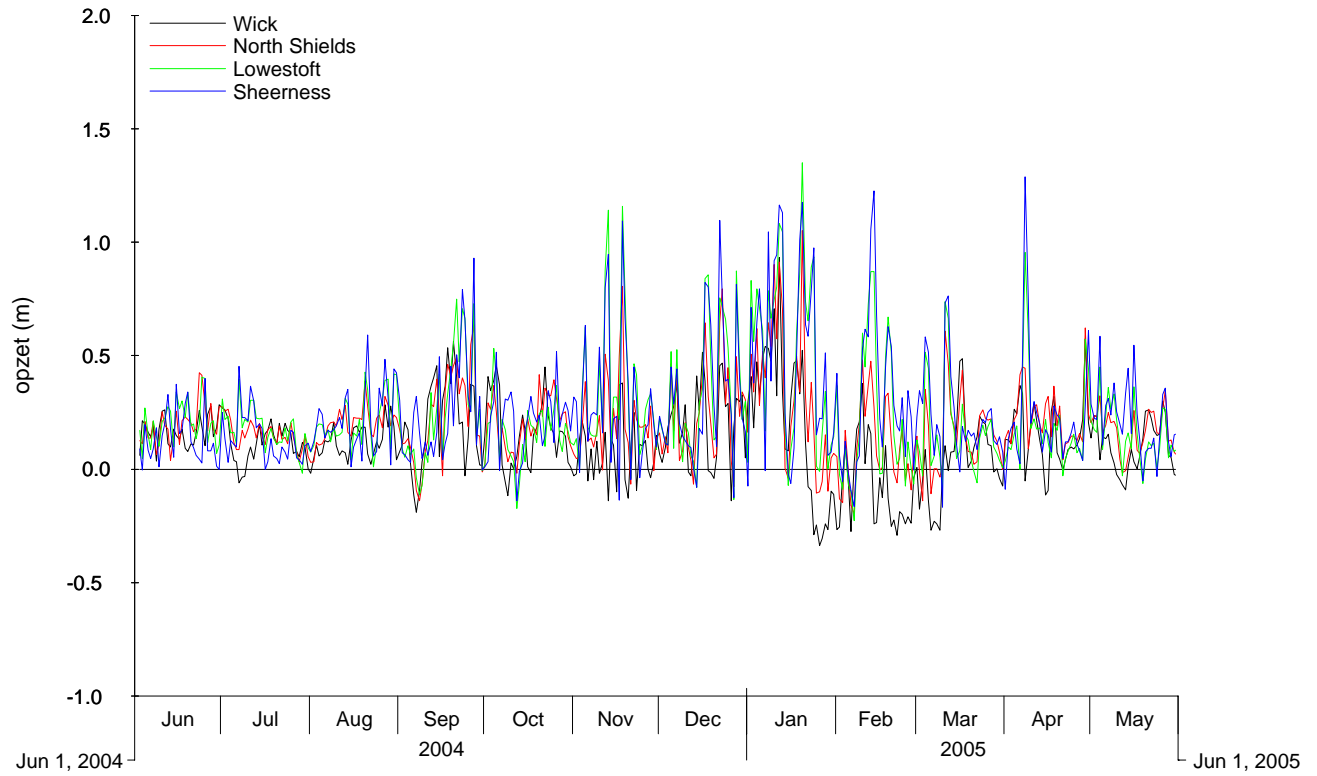
Tijdsreeën rivier- en spuidebieten 2004 - 2005
daggemiddelden op basis van berekeningen met SOBEK



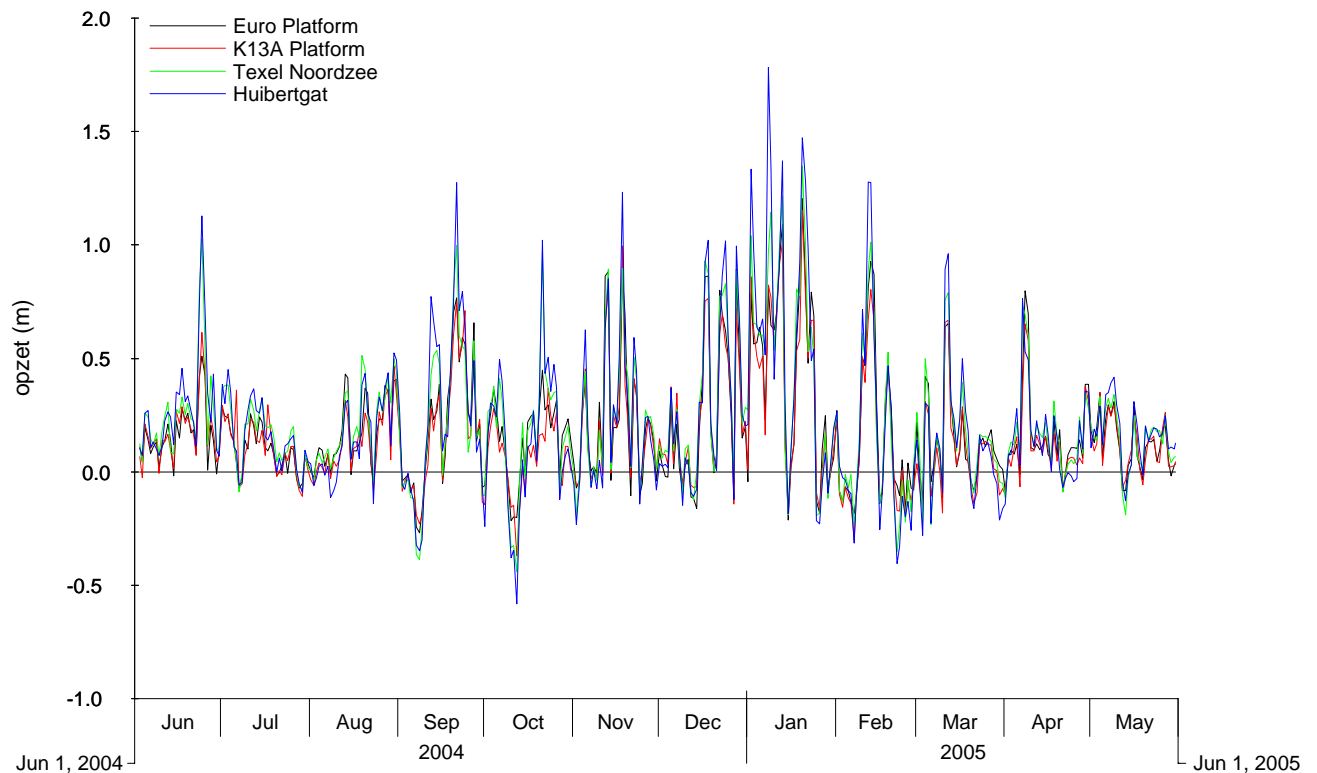
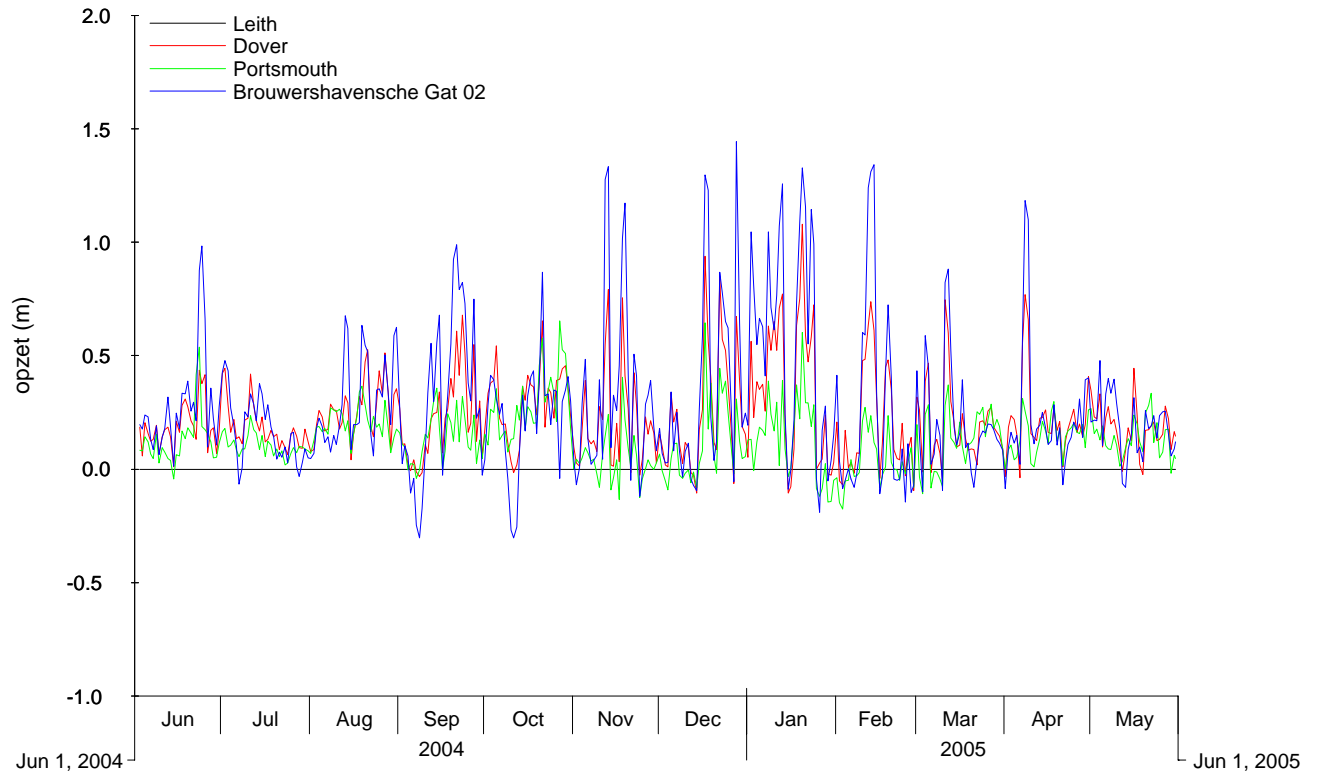
Verloop langjarig maandgemiddelde en jaargemiddelde debieten ten behoeve van de modellen



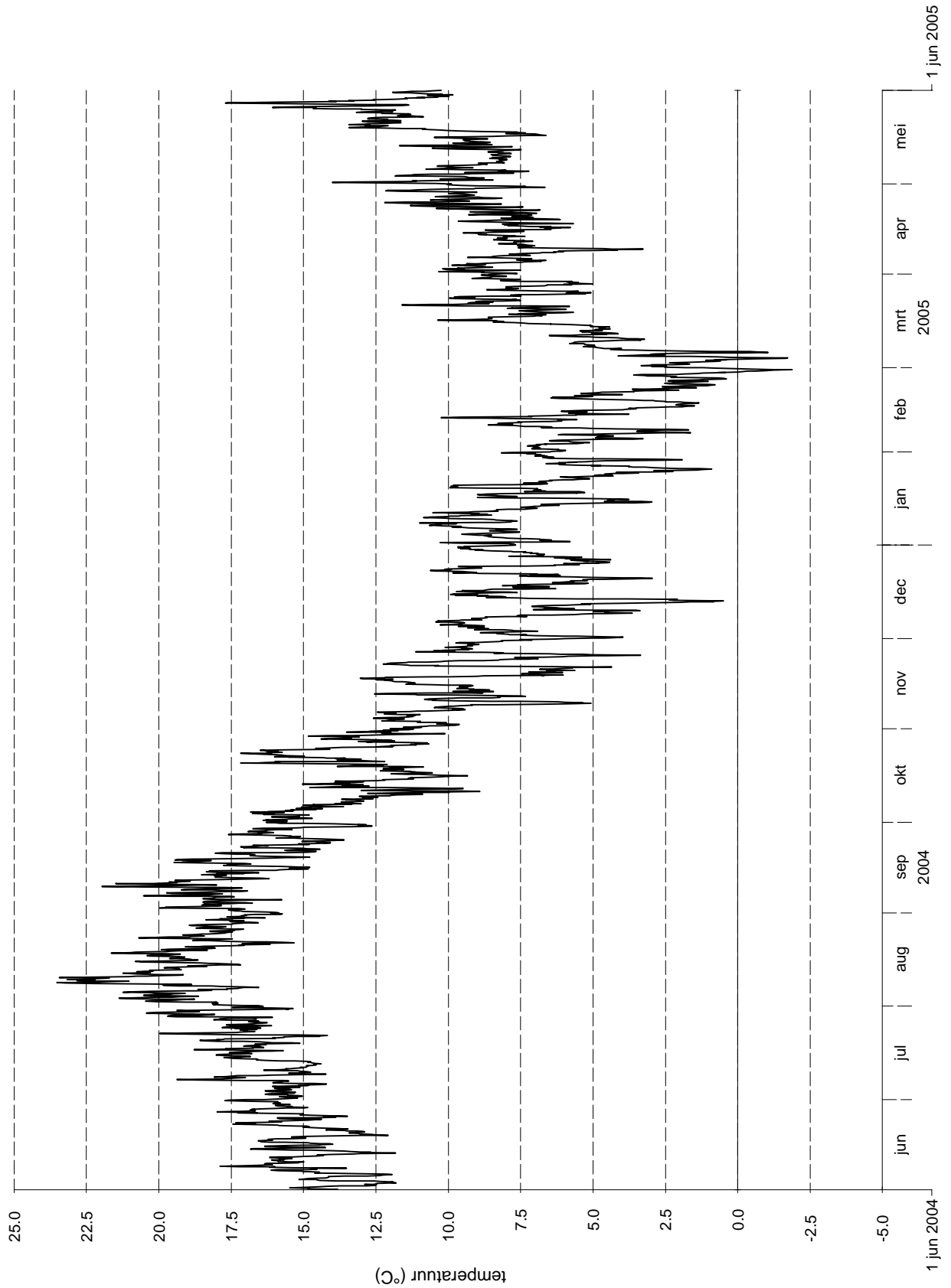
Tijdseries watertemperatuur 2004 - 2005
 gegevens uit Waterbase en voor K13A Platform berekende
 maandgemiddelde en langjarig maandgemiddelden



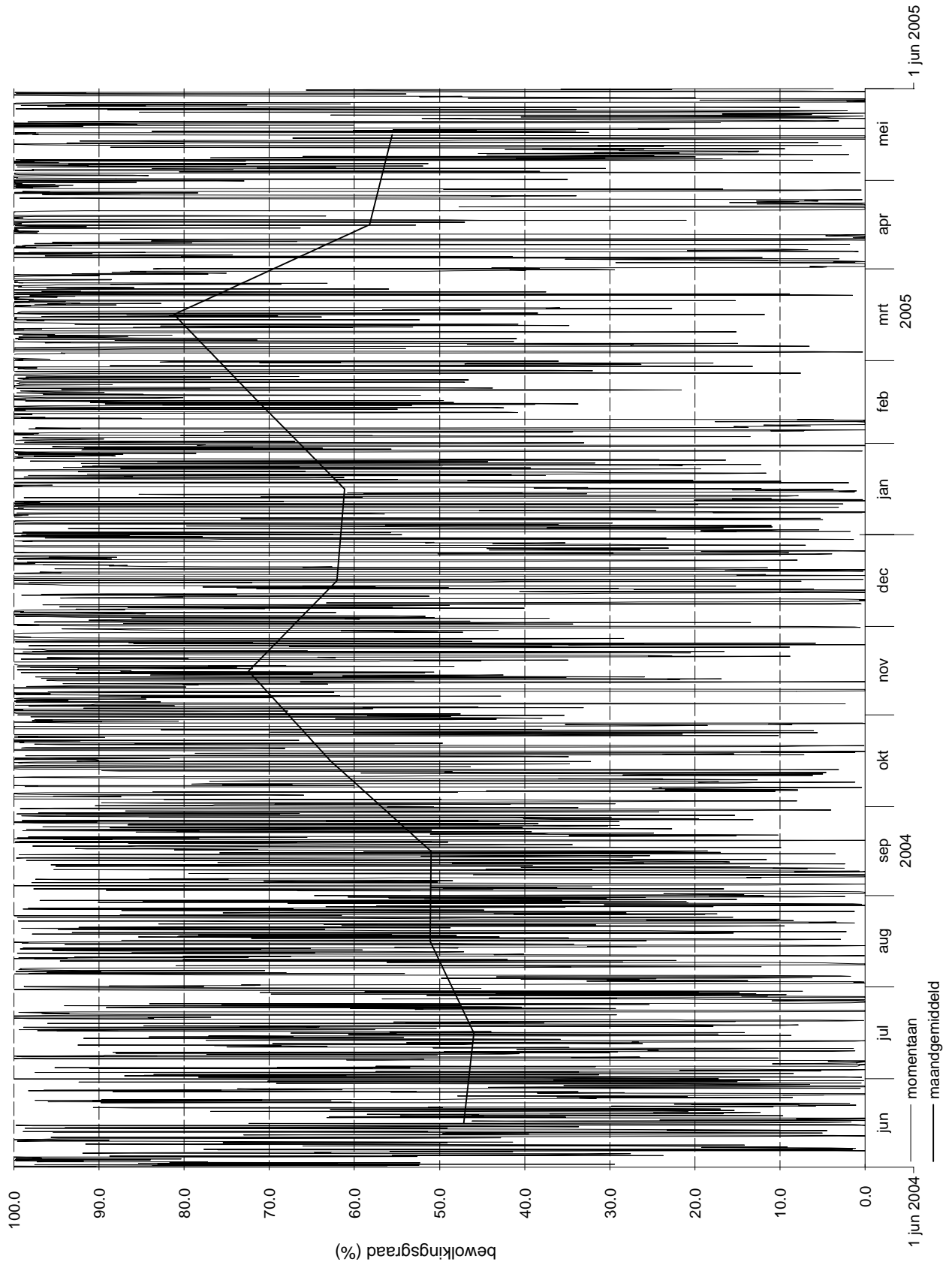
Berekende dagelijks maximale opzet in de Kalman stations voor CSM



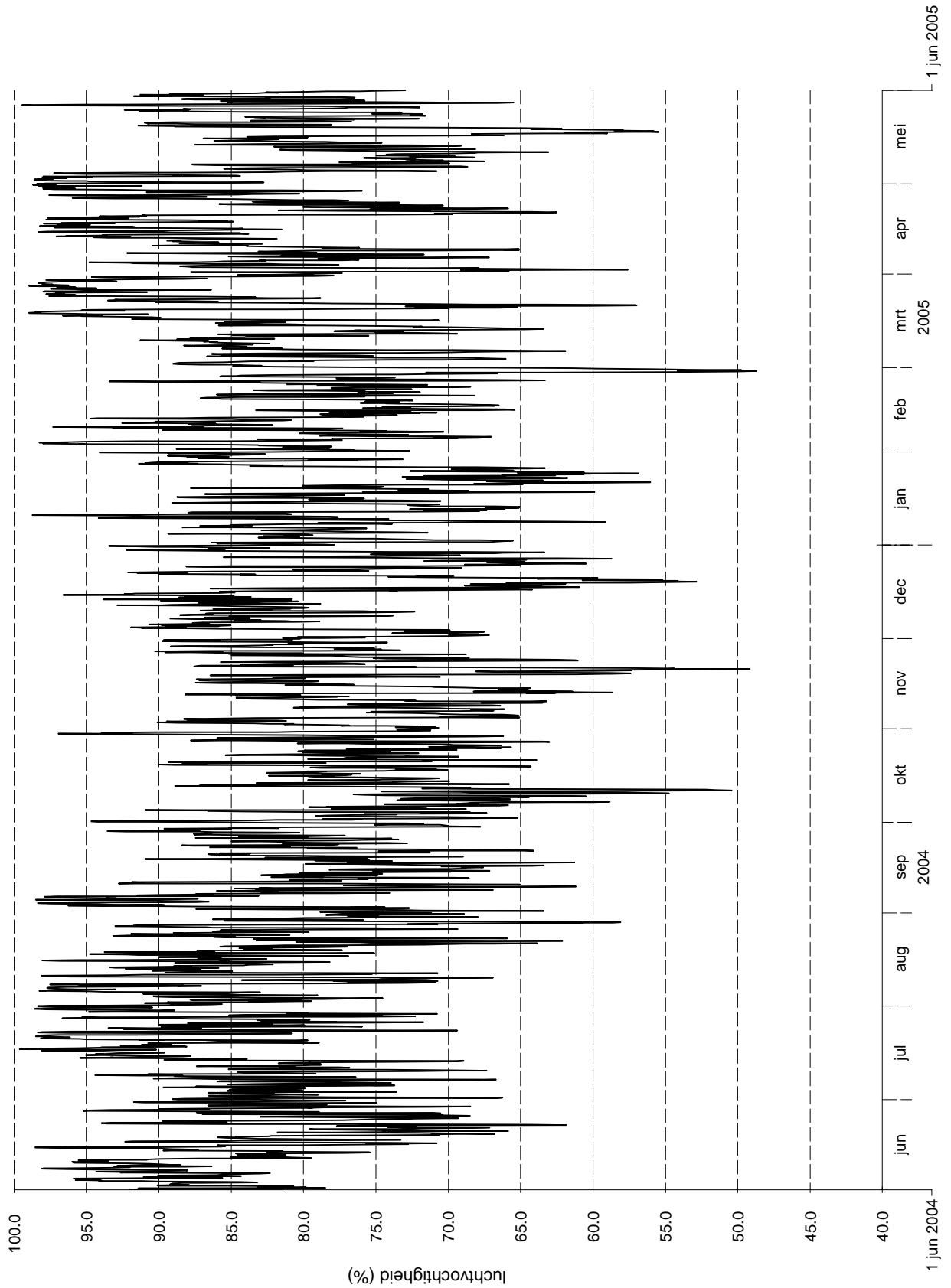
Berekende dagelijks maximale opzet in de Kalman stations voor Zuno



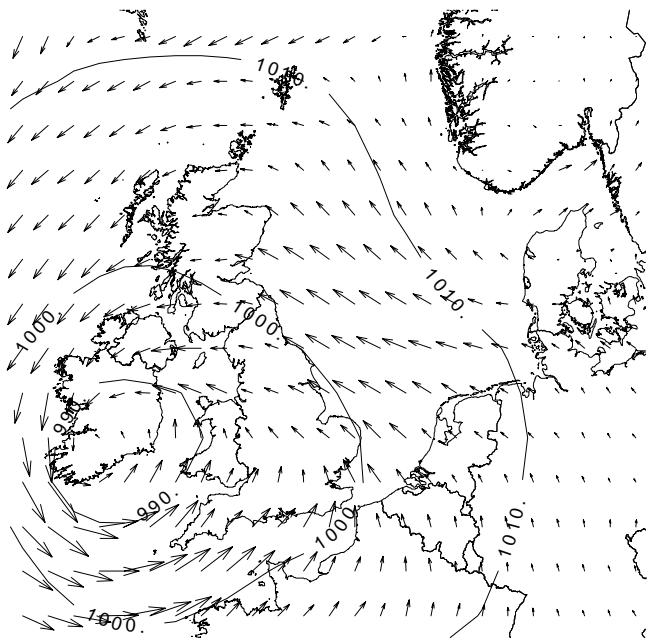
Tijdsree HIRLAM meteo-parameters 2004 - 2005
luchttemperatuur ruimtelijk gemiddeld over de zuidelijke delta



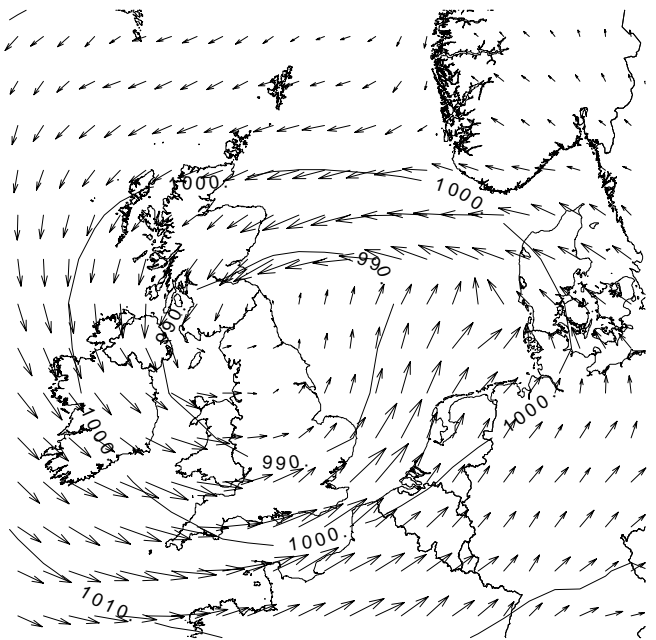
Tijdsree HIRLAM meteo-parameters 2004 - 2005
bewolgingsgraad ruimtelijk gemiddeld over de zuidelijke delta
en maandelijks gemiddelde



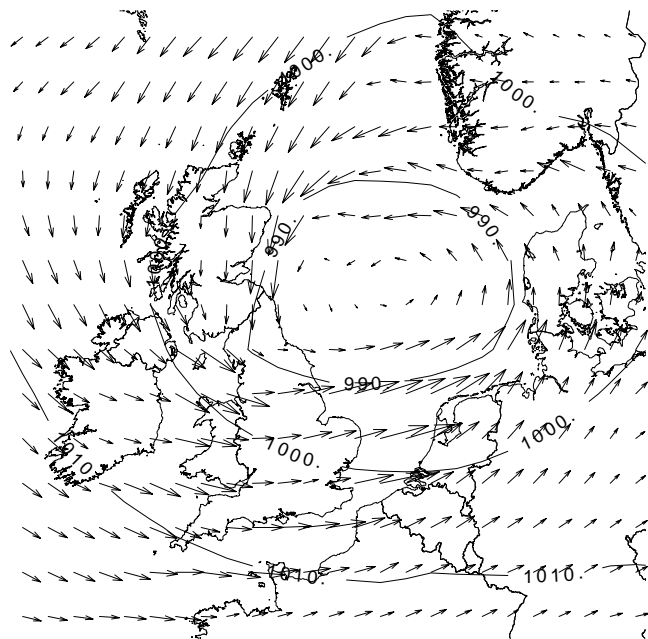
Tijdsree HIRLAM meteo-parameters 2004 - 2005
 luchtvochtigheid ruimtelijk gemiddeld over de zuidelijke delta



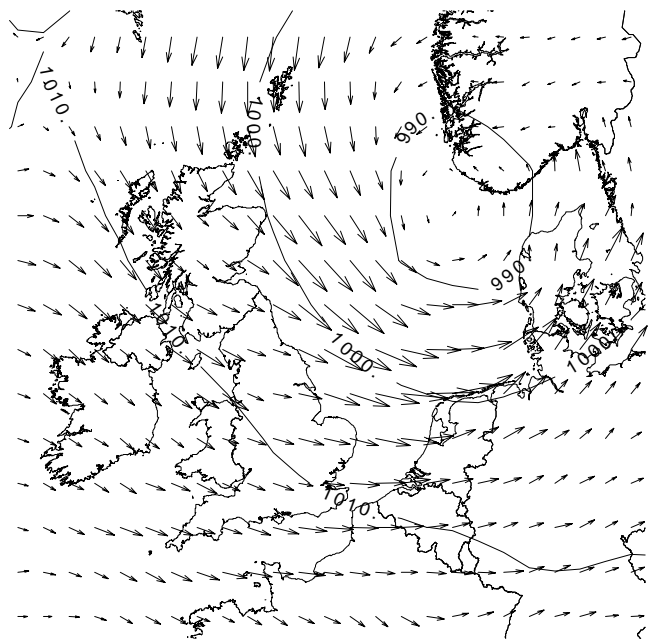
23-juni-2004 00.00 uur UTC



23-juni-2004 06.00 uur UTC



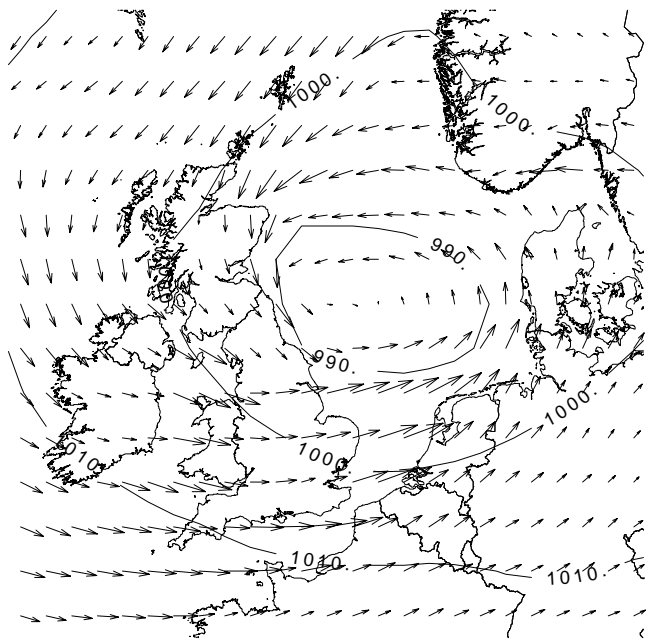
23-juni-2004 12.00 uur UTC



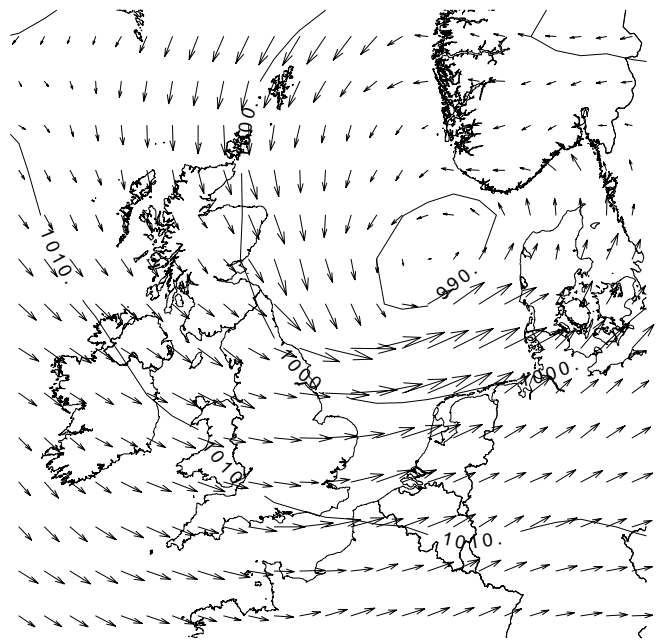
23-juni-2004 18.00 uur UTC

snelheidsschaal: 1 cm = 30 m/s

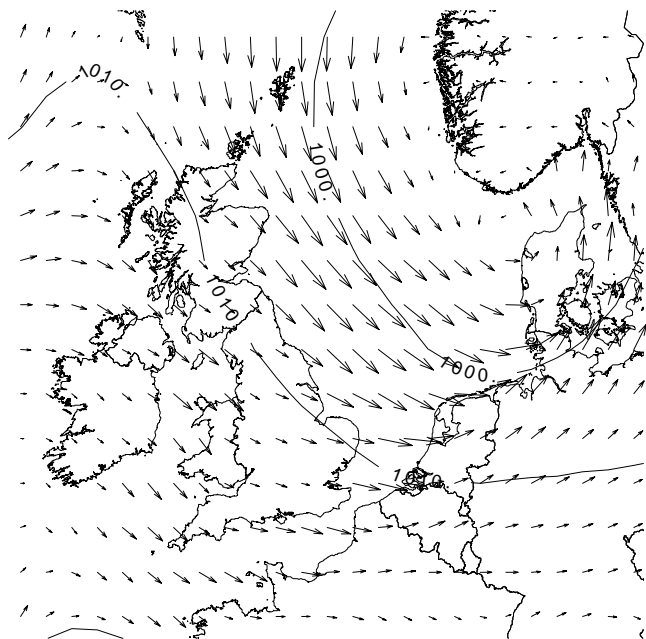
HIRLAM wind en druk velden
23-juni-2004



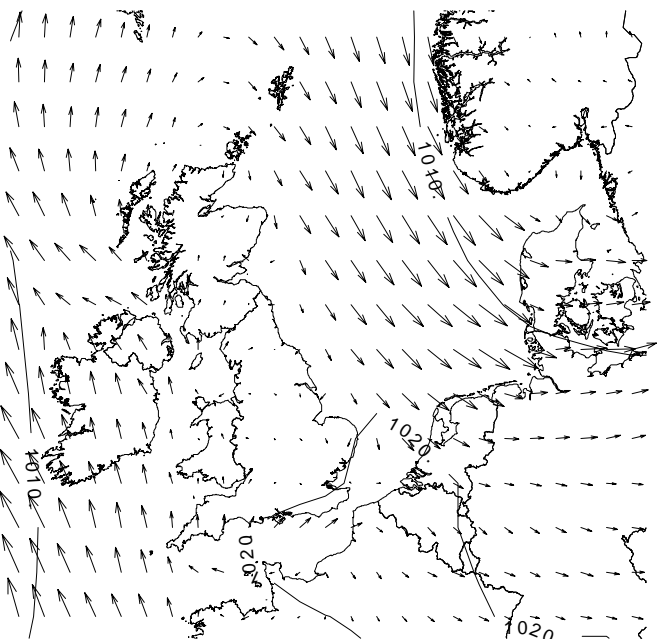
24-juni-2004 00.00 uur UTC



24-juni-2004 06.00 uur UTC



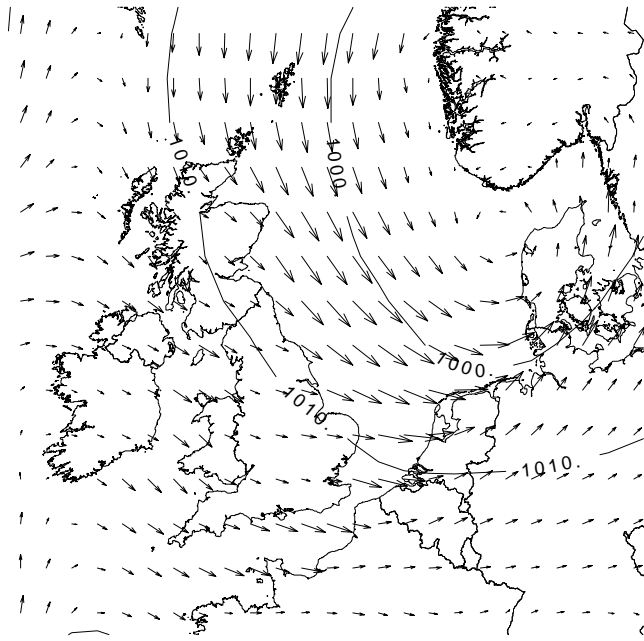
24-juni-2004 12.00 uur UTC



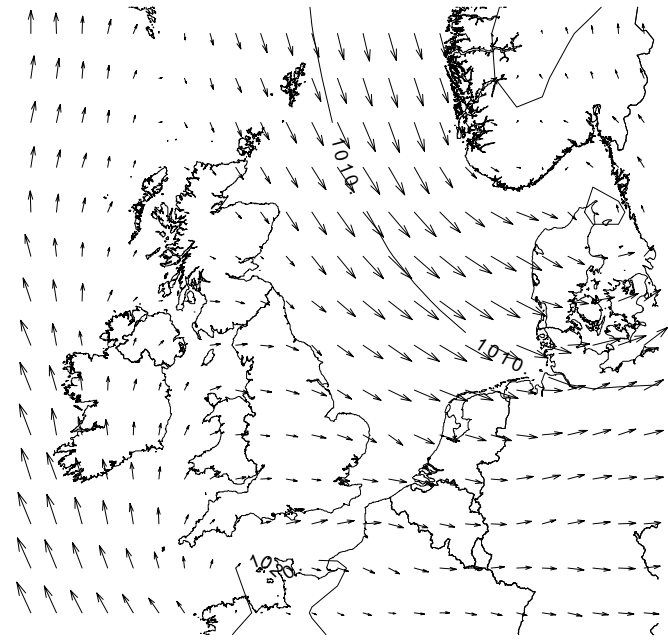
24-juni-2004 18.00 uur UTC

snelheidsschaal: 1 cm = 30 m/s

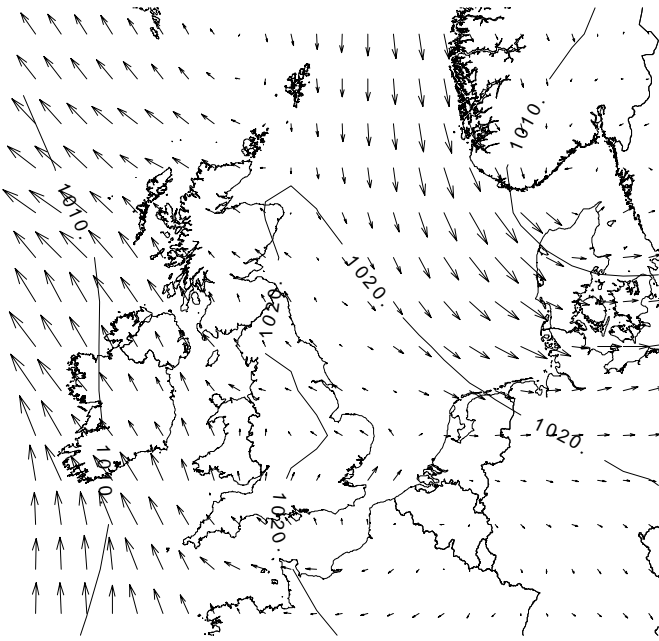
HIRLAM wind en druk velden
24-juni-2004



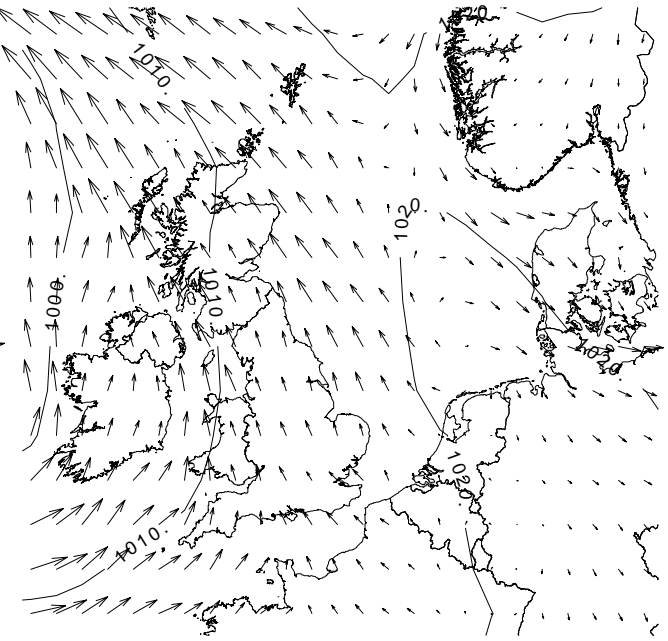
25-juni-2004 00.00 uur UTC



25-juni-2004 06.00 uur UTC



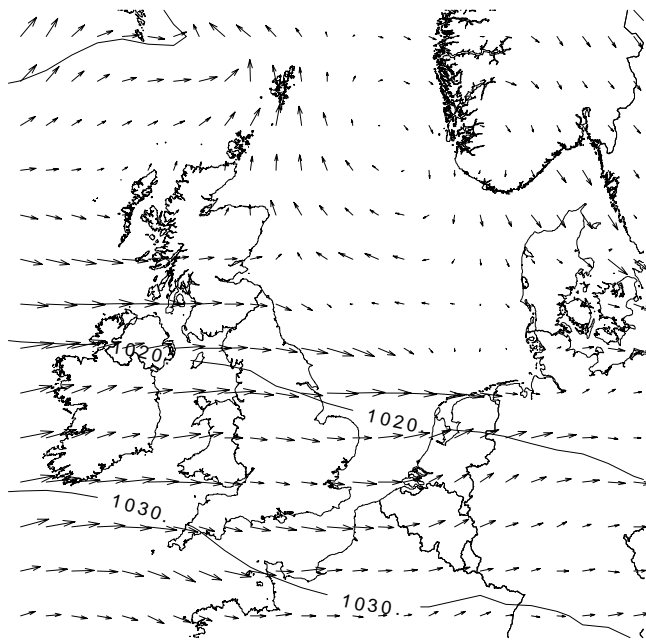
25-juni-2004 12.00 uur UTC



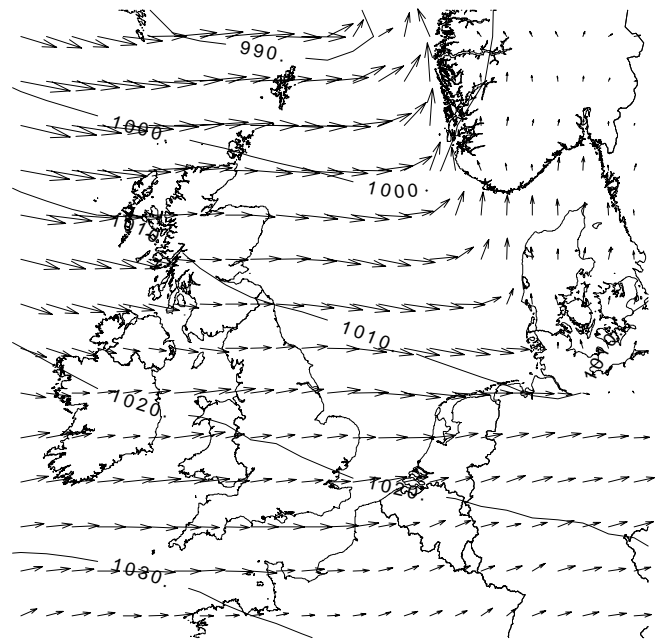
25-juni-2004 18.00 uur UTC

snelheidsschaal: 1 cm = 30 m/s

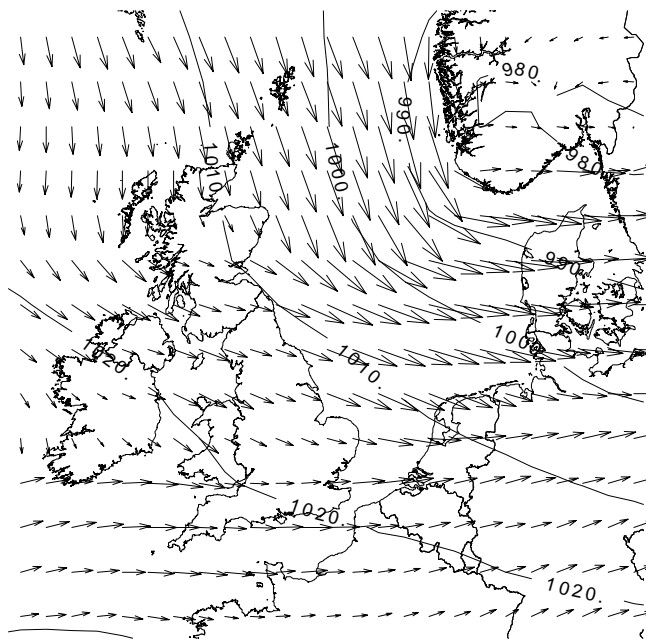
HIRLAM wind en druk velden
25-juni-2004



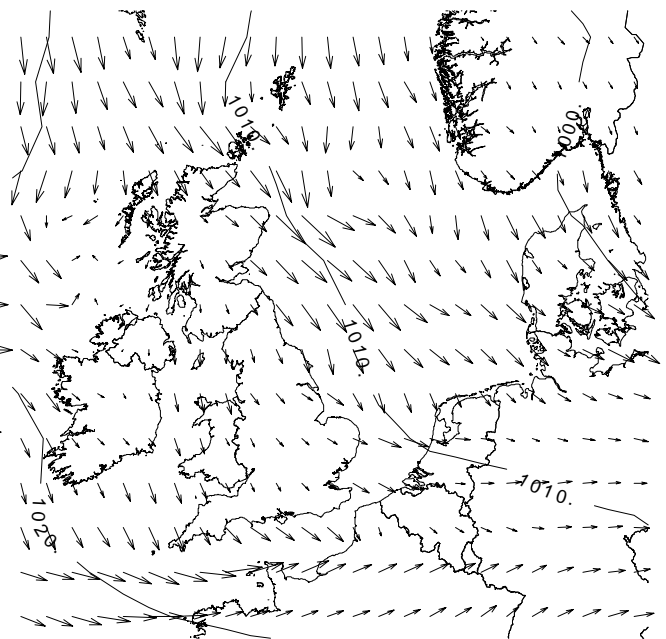
17-november-2004 00.00 uur UTC



17-november-2004 06.00 uur UTC



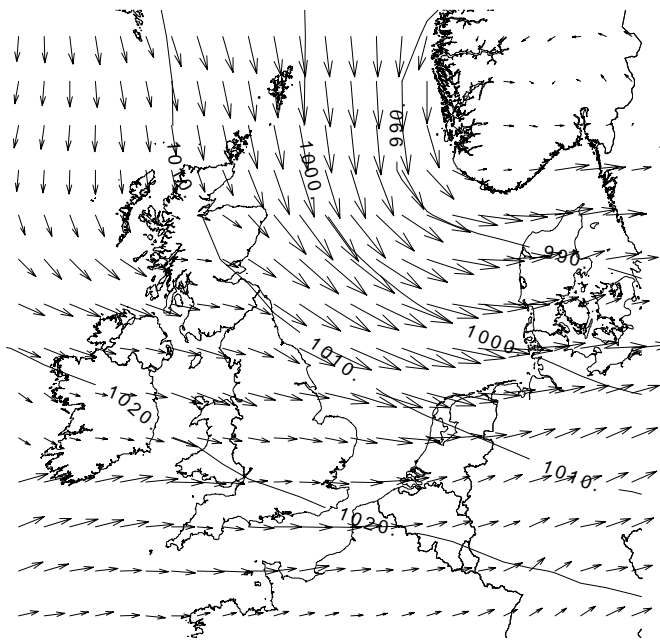
17-november-2004 12.00 uur UTC



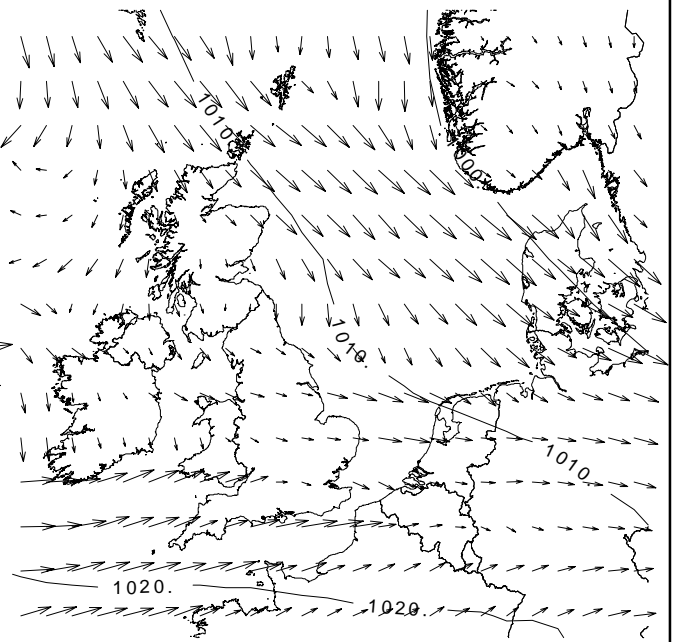
17-november-2004 18.00 uur UTC

snelheidsschaal: 1 cm = 30 m/s

HIRLAM wind en druk velden
17-november-2004



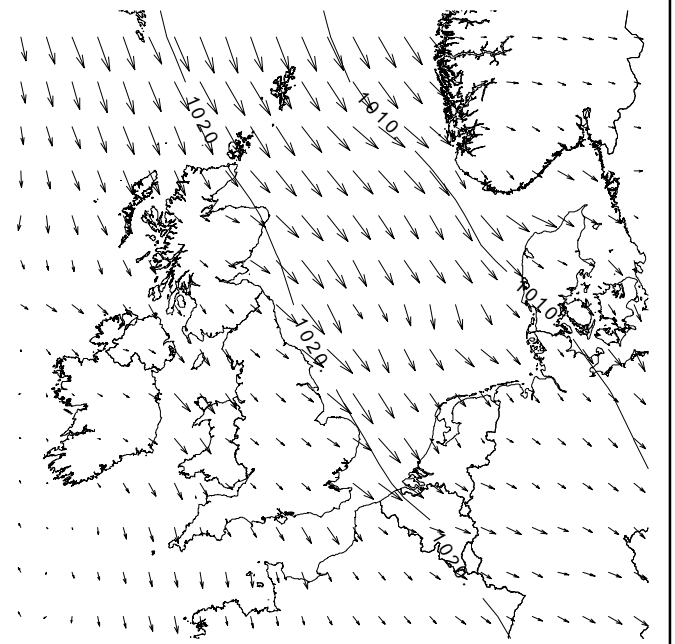
18-november-2004 00.00 uur UTC



18-november-2004 06.00 uur UTC



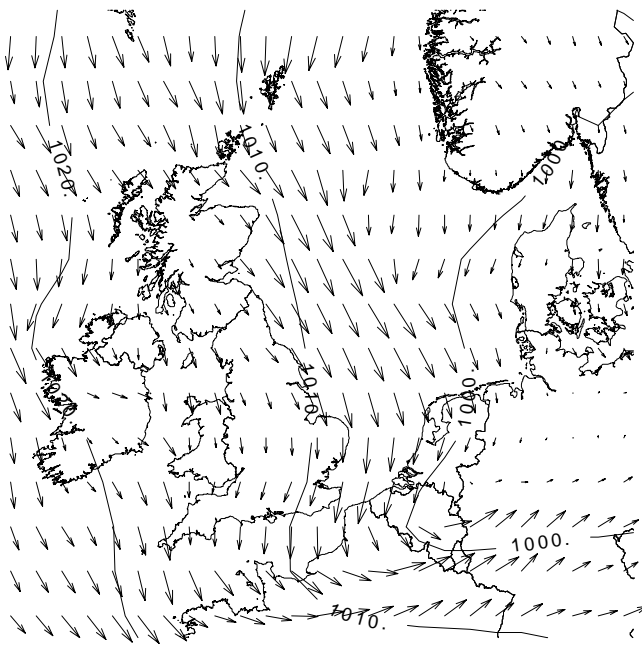
18-november-2004 12.00 uur UTC



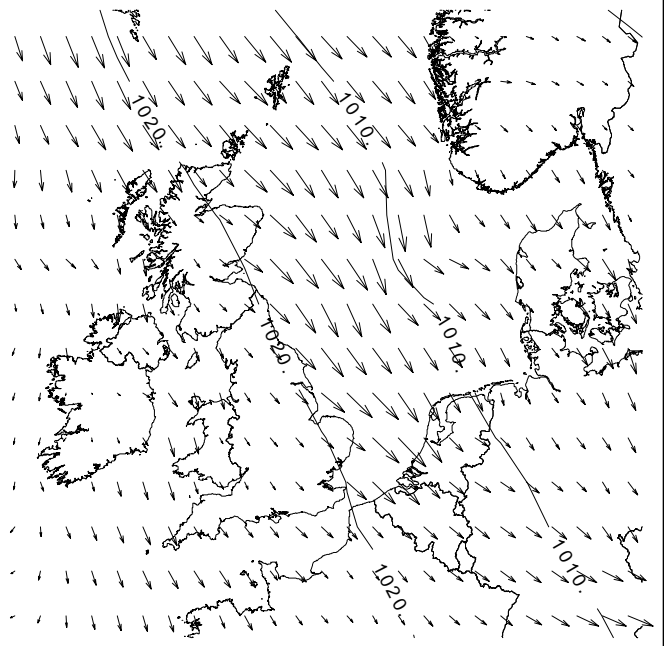
18-november-2004 18.00 uur UTC

snelheidsschaal: 1 cm = 30 m/s

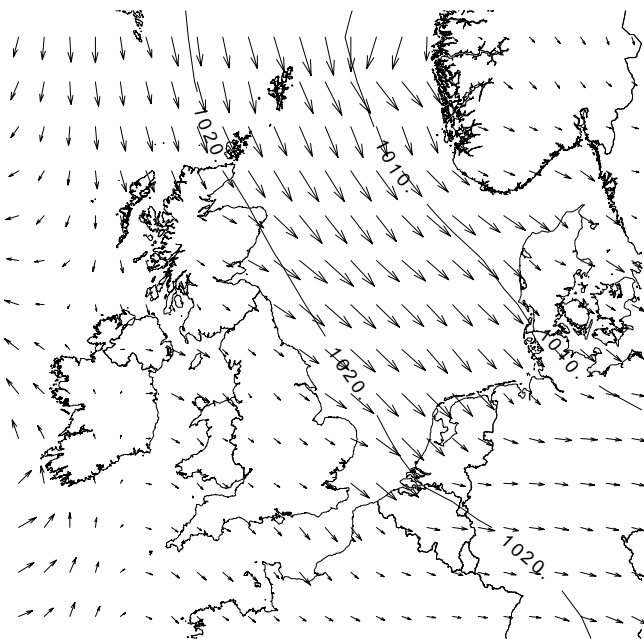
HIRLAM wind en druk velden
18-november-2004



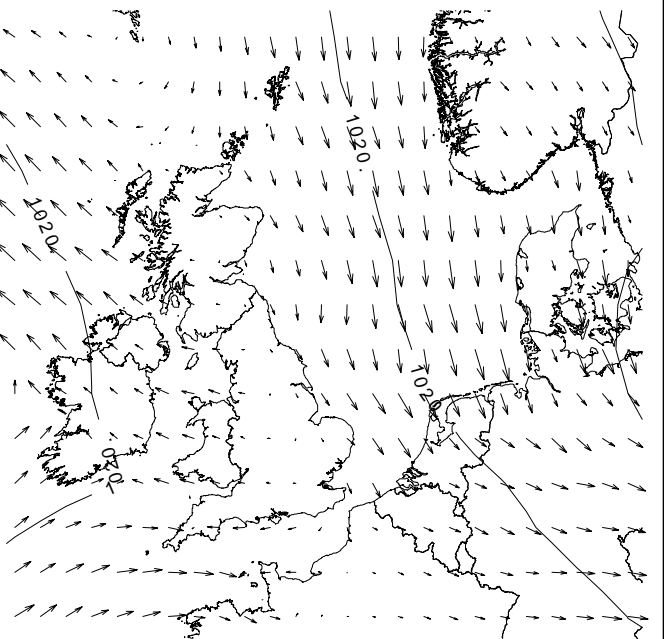
19-november-2004 00.00 uur UTC



19-november-2004 06.00 uur UTC



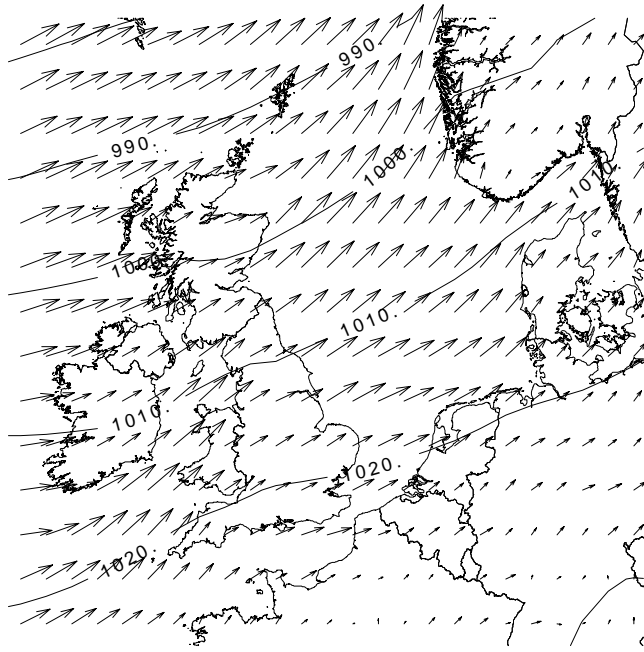
19-november-2004 12.00 uur UTC



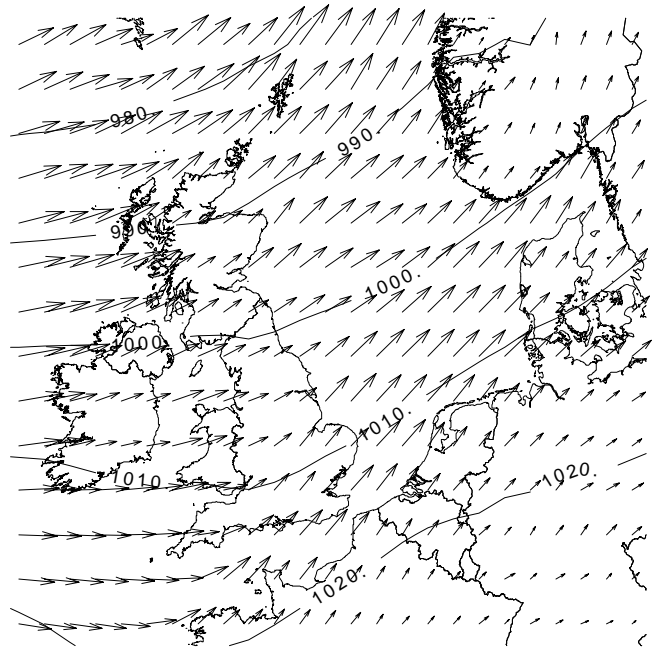
19-november-2004 18.00 uur UTC

snelheidsschaal: 1 cm = 30 m/s

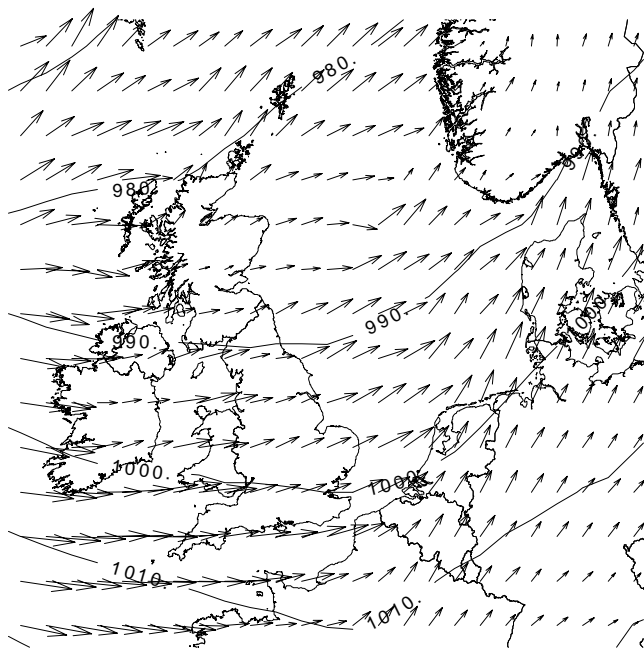
HIRLAM wind en druk velden
19-november-2004



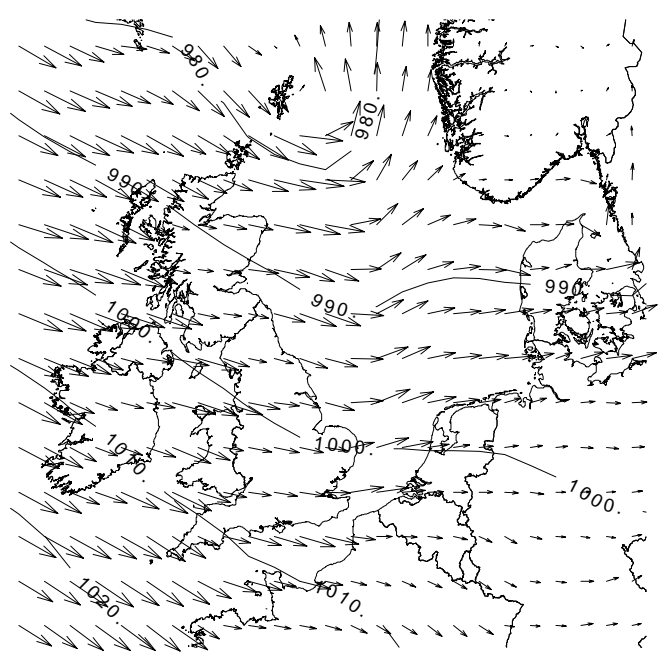
17-januari-2005 00.00 uur UTC



17-januari-2005 06.00 uur UTC



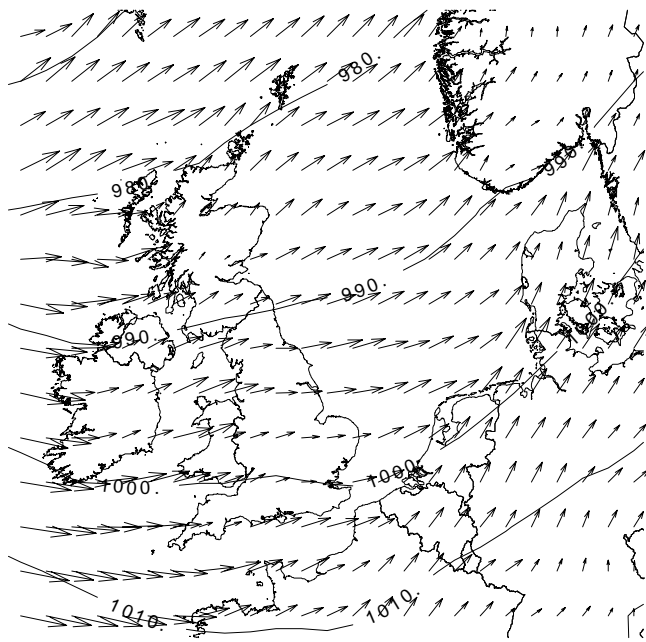
17-januari-2005 12.00 uur UTC



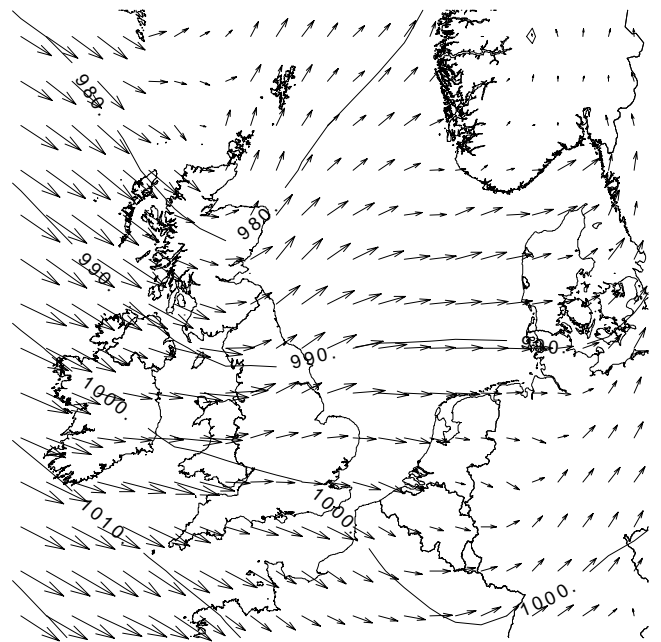
17-januari-2005 18.00 uur UTC

snelheidsschaal: 1 cm = 30 m/s

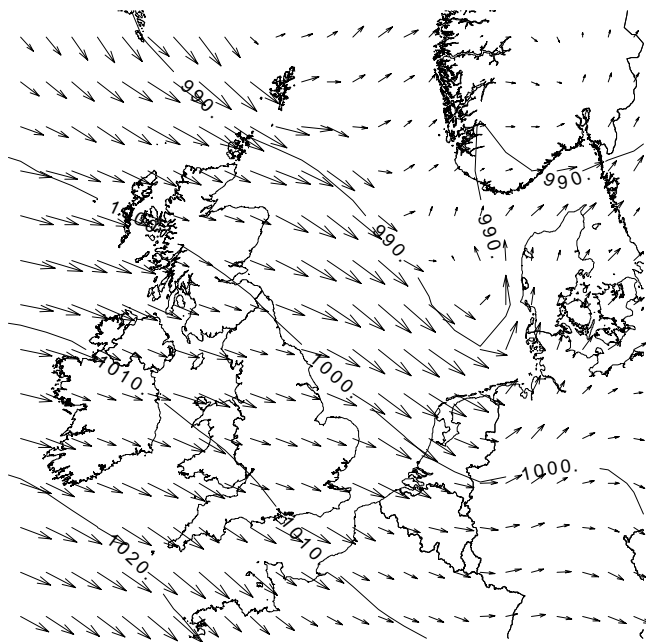
HIRLAM wind en druk velden
17-januari-2005



18-januari-2005 00.00 uur UTC

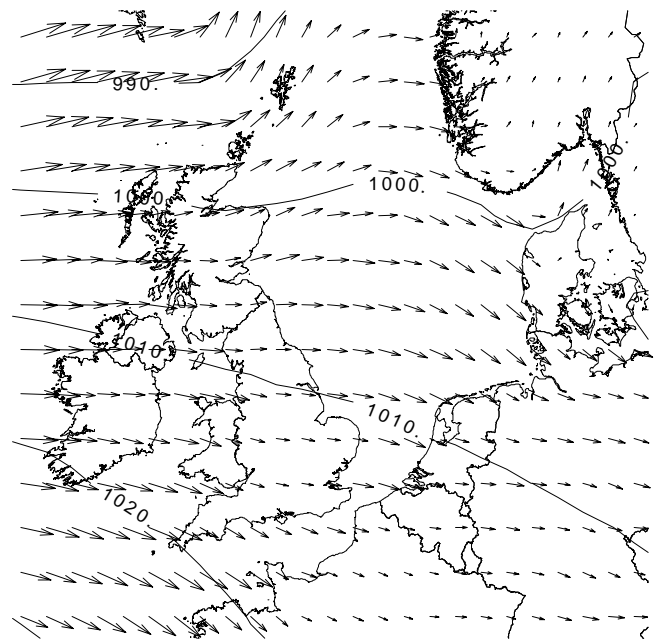


18-januari-2005 06.00 uur UTC



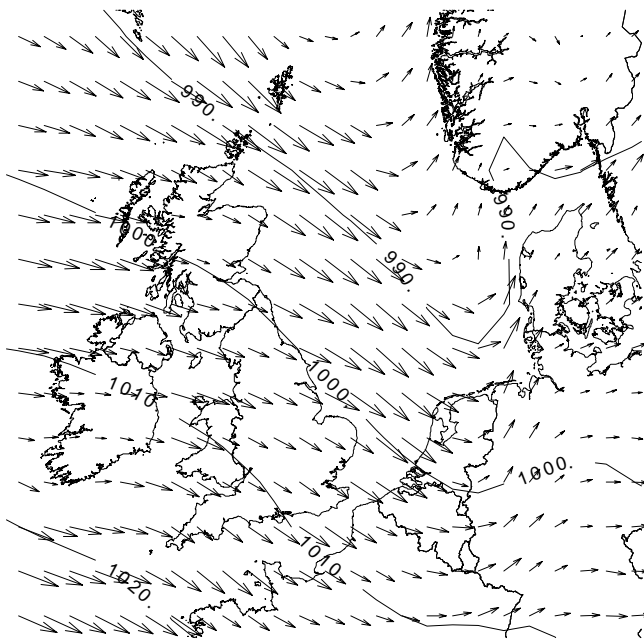
18-januari-2005 12.00 uur UTC

snelheidsschaal: 1 cm = 30 m/s

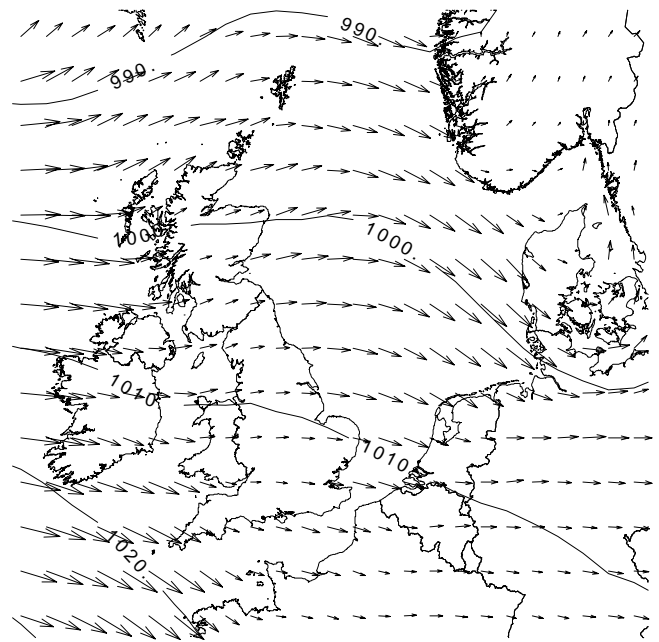


18-januari-2005 18.00 uur UTC

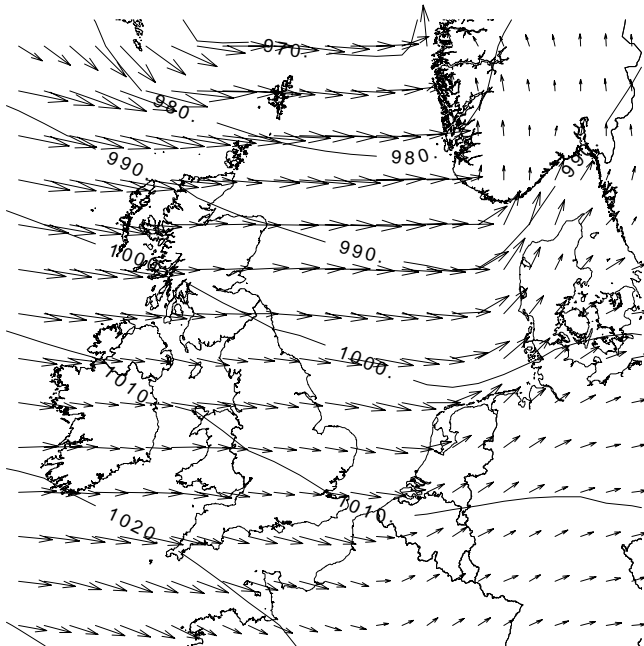
HIRLAM wind en druk velden
18-januari-2005



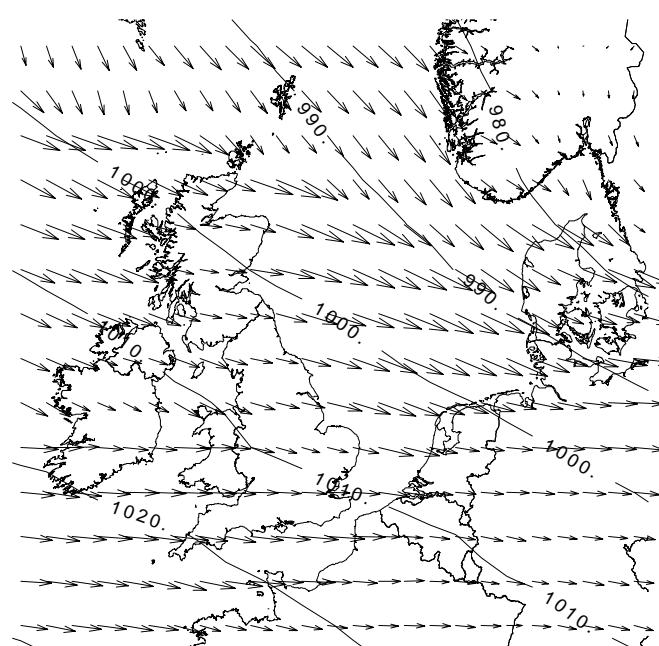
19-januari-2005 00.00 uur UTC



19-januari-2005 06.00 uur UTC



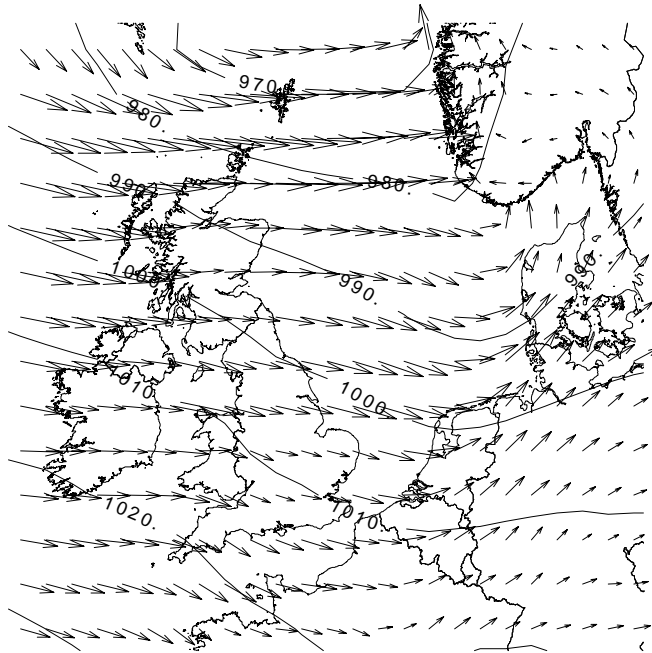
19-januari-2005 12.00 uur UTC



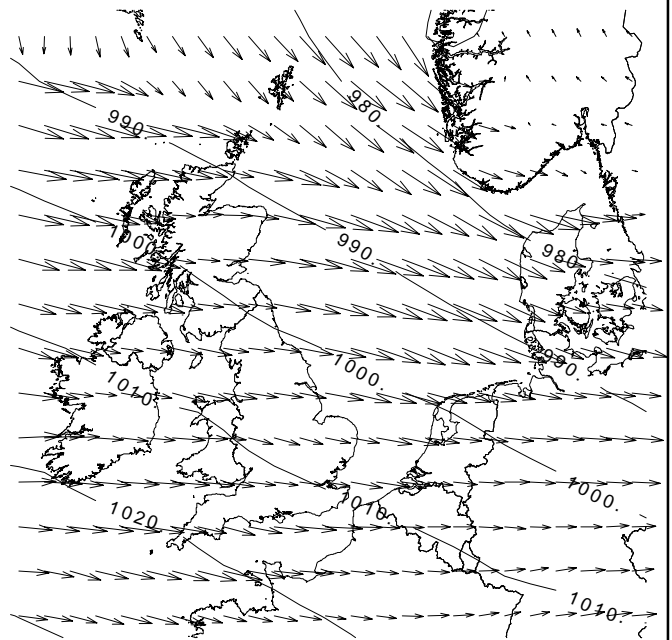
19-januari-2005 18.00 uur UTC

snelheidsschaal: 1 cm = 30 m/s

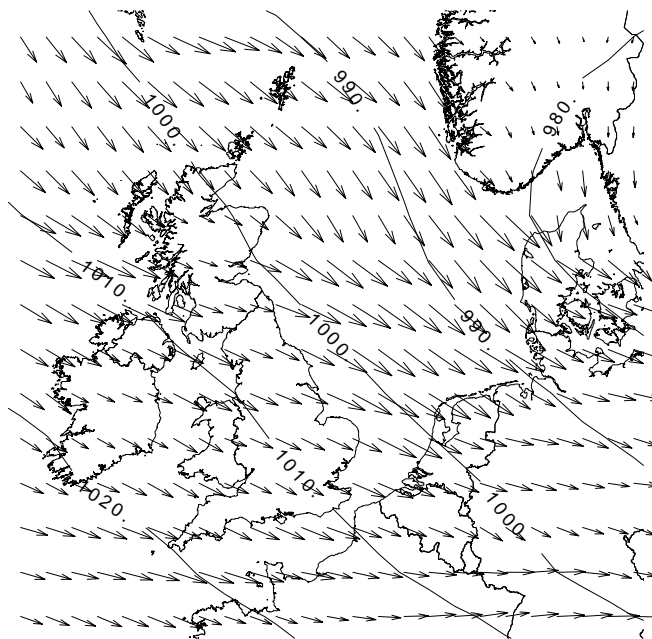
HIRLAM wind en druk velden
19-januari-2005



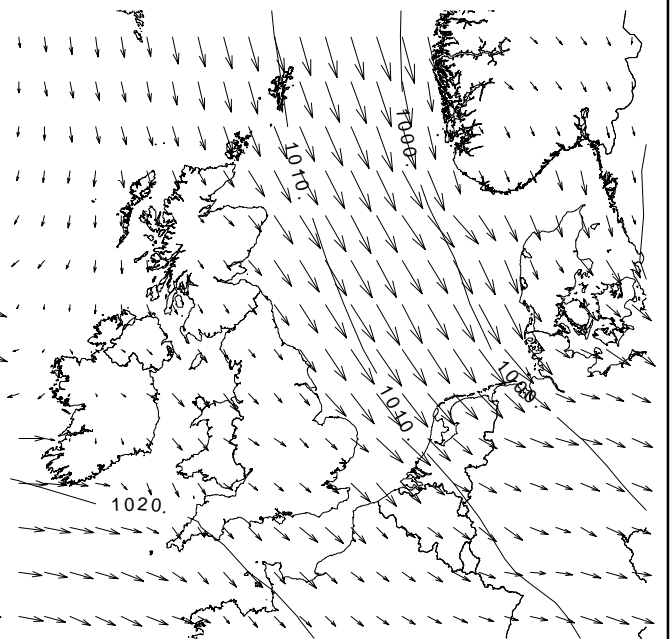
20-januari-2005 00.00 uur UTC



20-januari-2005 06.00 uur UTC



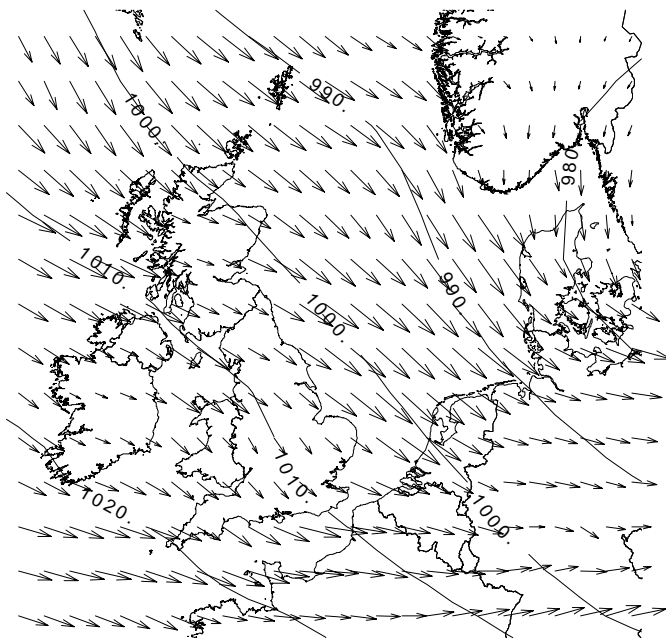
20-januari-2005 12.00 uur UTC



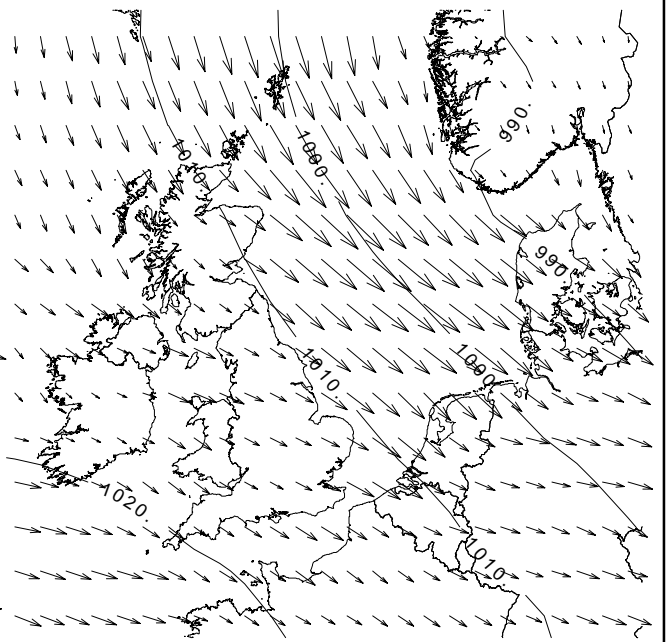
20-januari-2005 18.00 uur UTC

snelheidsschaal: 1 cm = 30 m/s

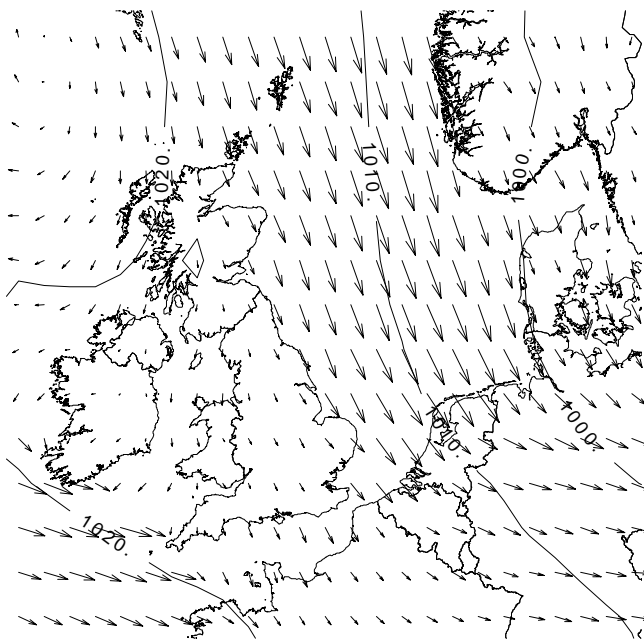
HIRLAM wind en druk velden
20-januari-2005



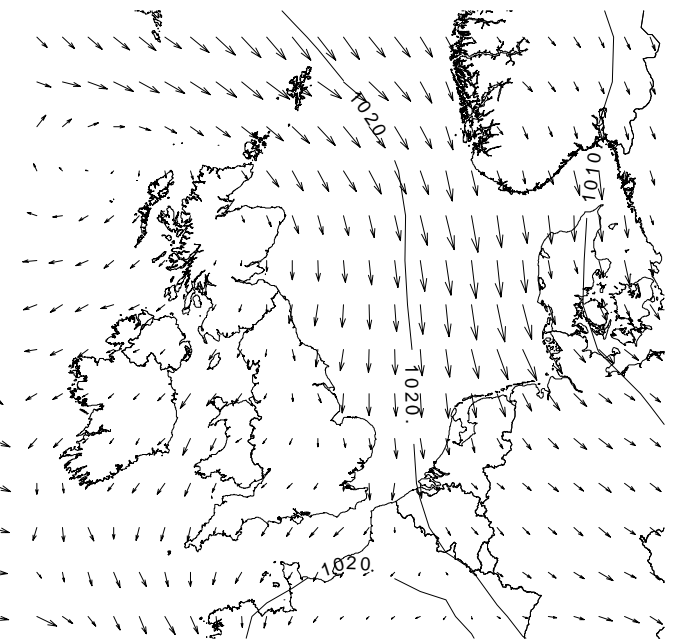
21-januari-2005 00.00 uur UTC



21-januari-2005 06.00 uur UTC



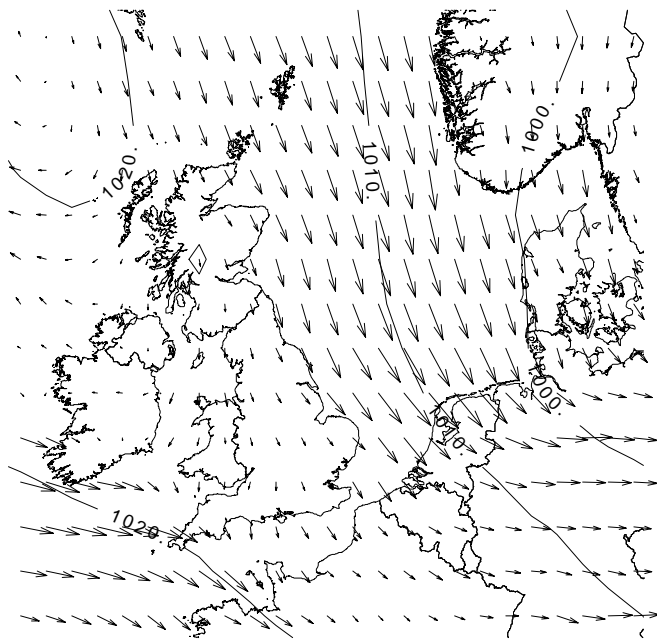
21-januari-2005 12.00 uur UTC



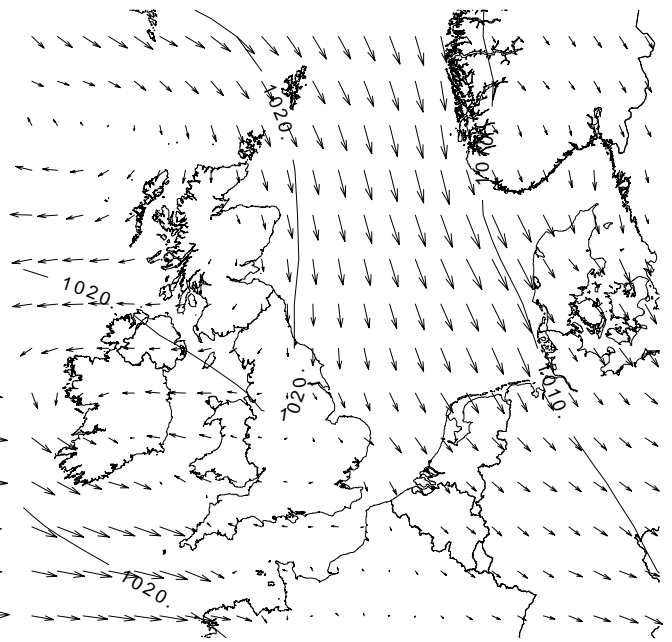
21-januari-2005 18.00 uur UTC

snelheidsschaal: 1 cm = 30 m/s

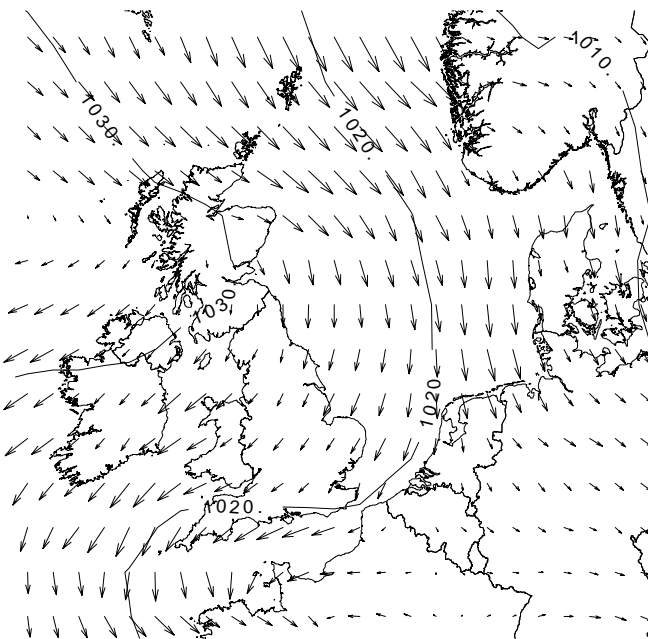
HIRLAM wind en druk velden
21-januari-2005



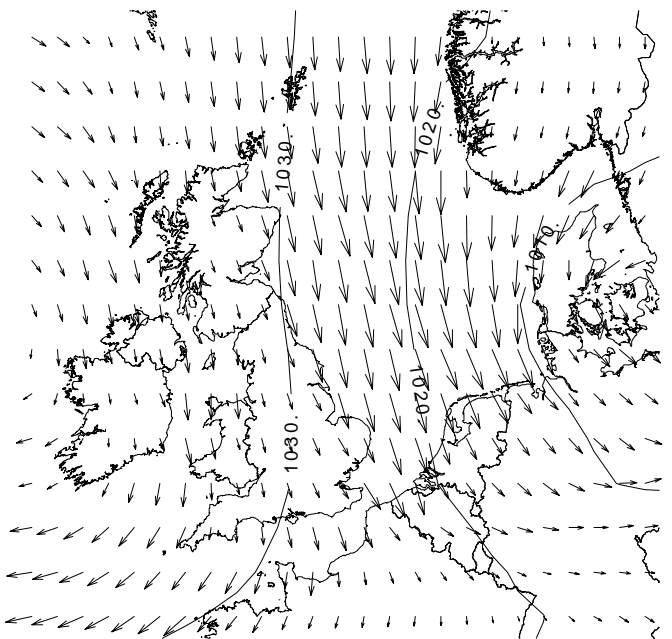
22-januari-2005 00.00 uur UTC



22-januari-2005 06.00 uur UTC



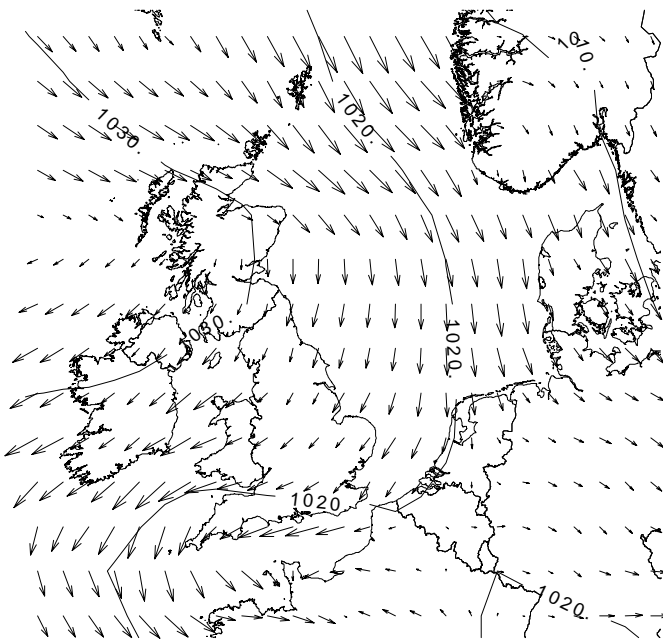
22-januari-2005 12.00 uur UTC



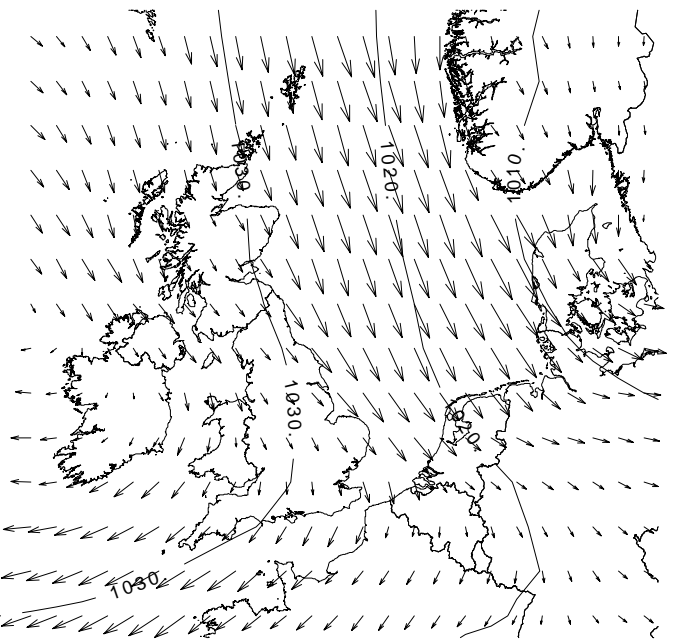
22-januari-2005 18.00 uur UTC

snelheidsschaal: 1 cm = 30 m/s

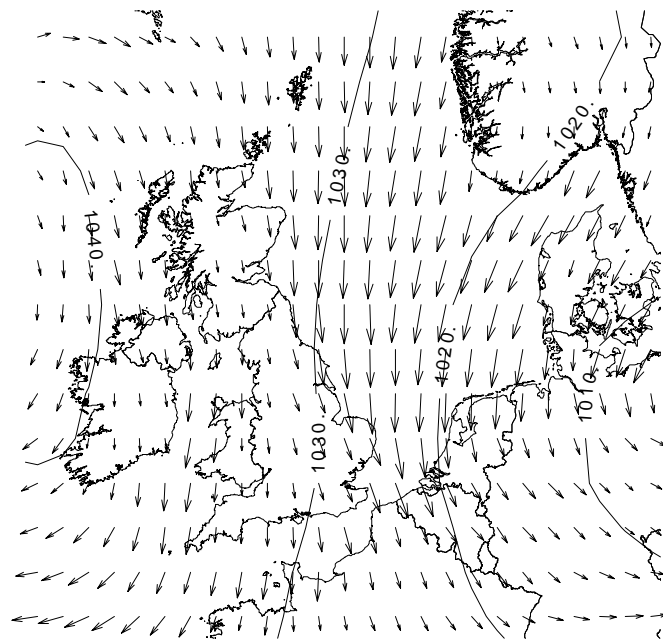
HIRLAM wind en druk velden
22-januari-2005



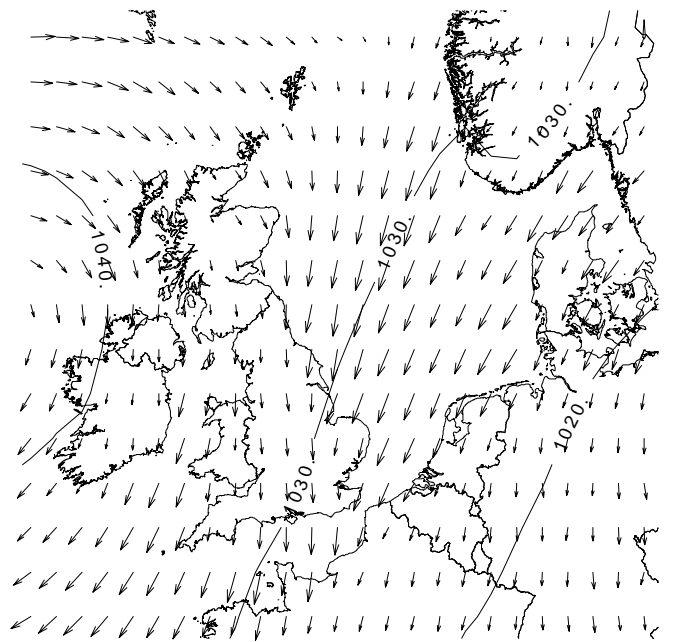
23-januari-2005 00.00 uur UTC



23-januari-2005 06.00 uur UTC



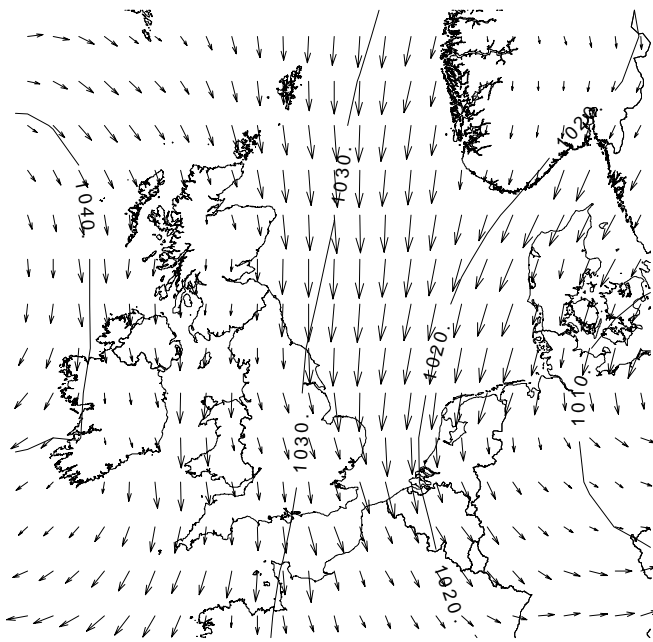
23-januari-2005 12.00 uur UTC



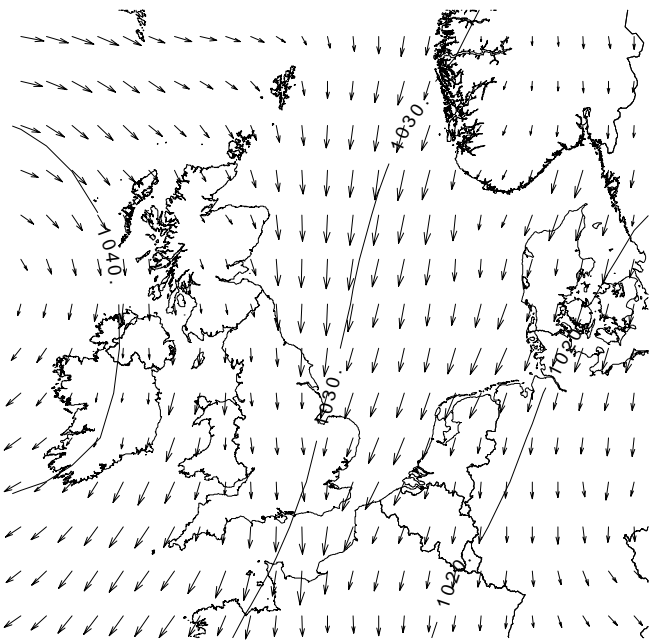
23-januari-2005 18.00 uur UTC

snelheidsschaal: 1 cm = 30 m/s

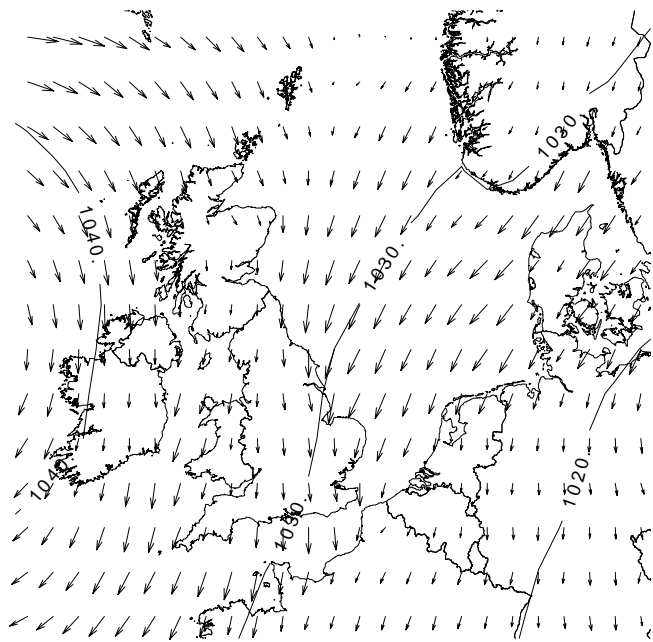
HIRLAM wind en druk velden
23-januari-2005



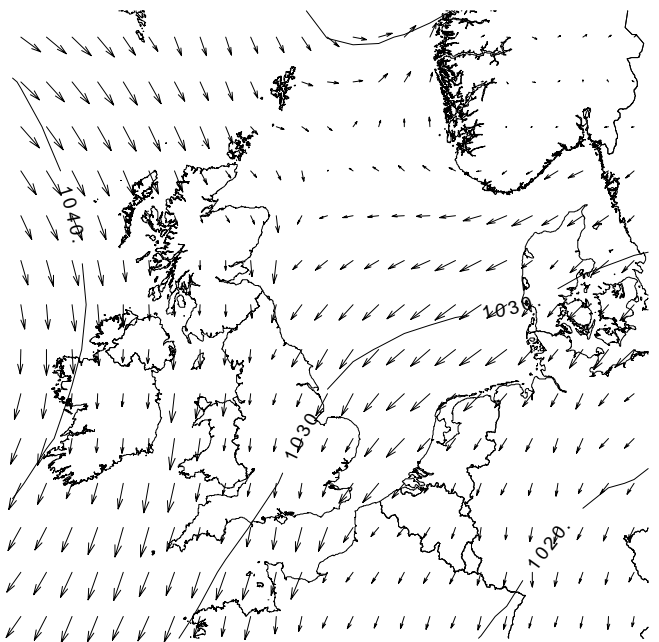
24-januari-2005 00.00 uur UTC



24-januari-2005 06.00 uur UTC



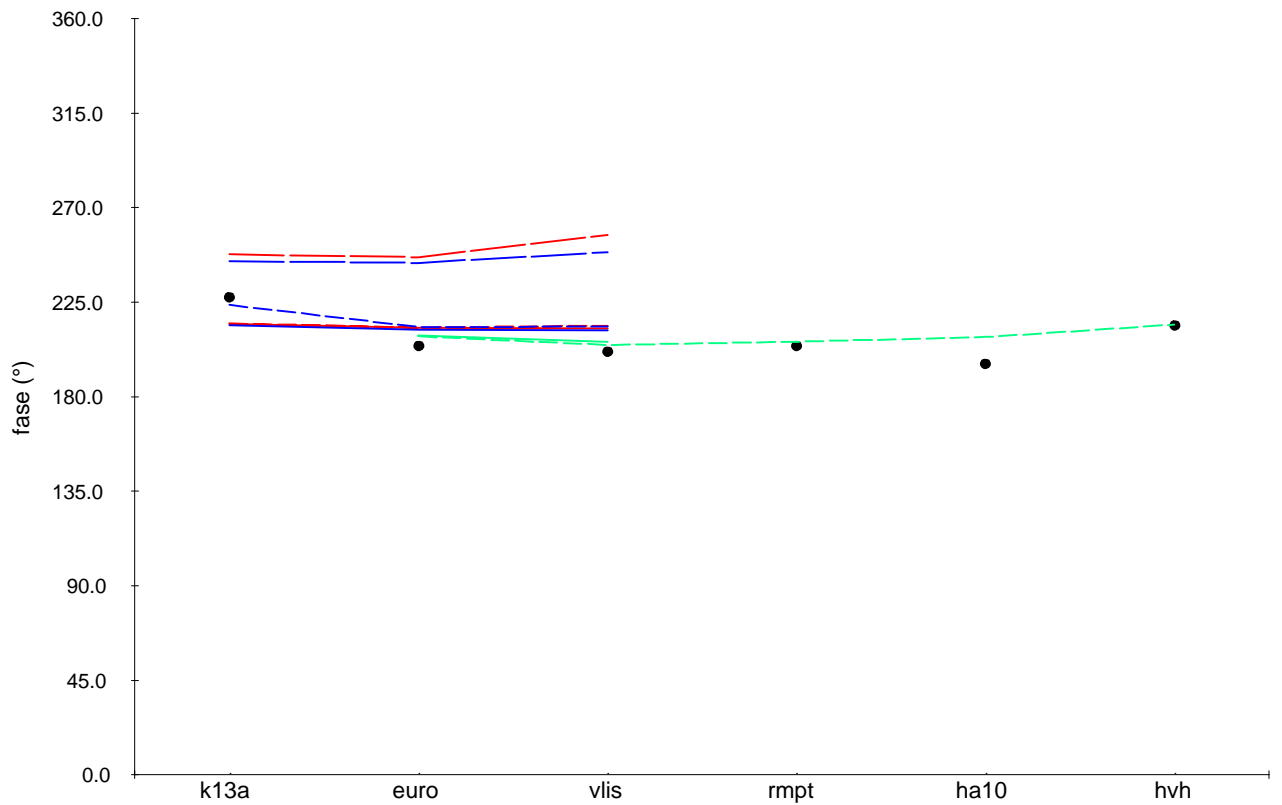
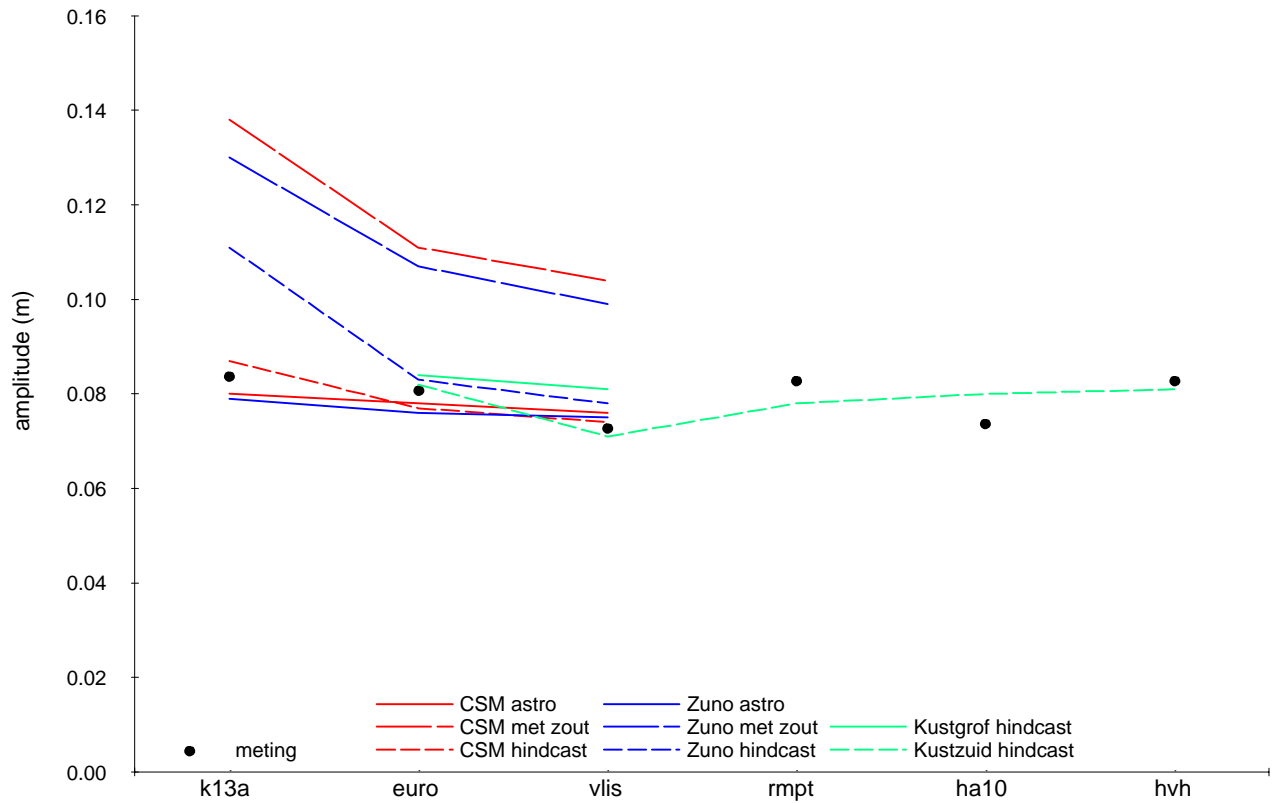
24-januari-2005 12.00 uur UTC



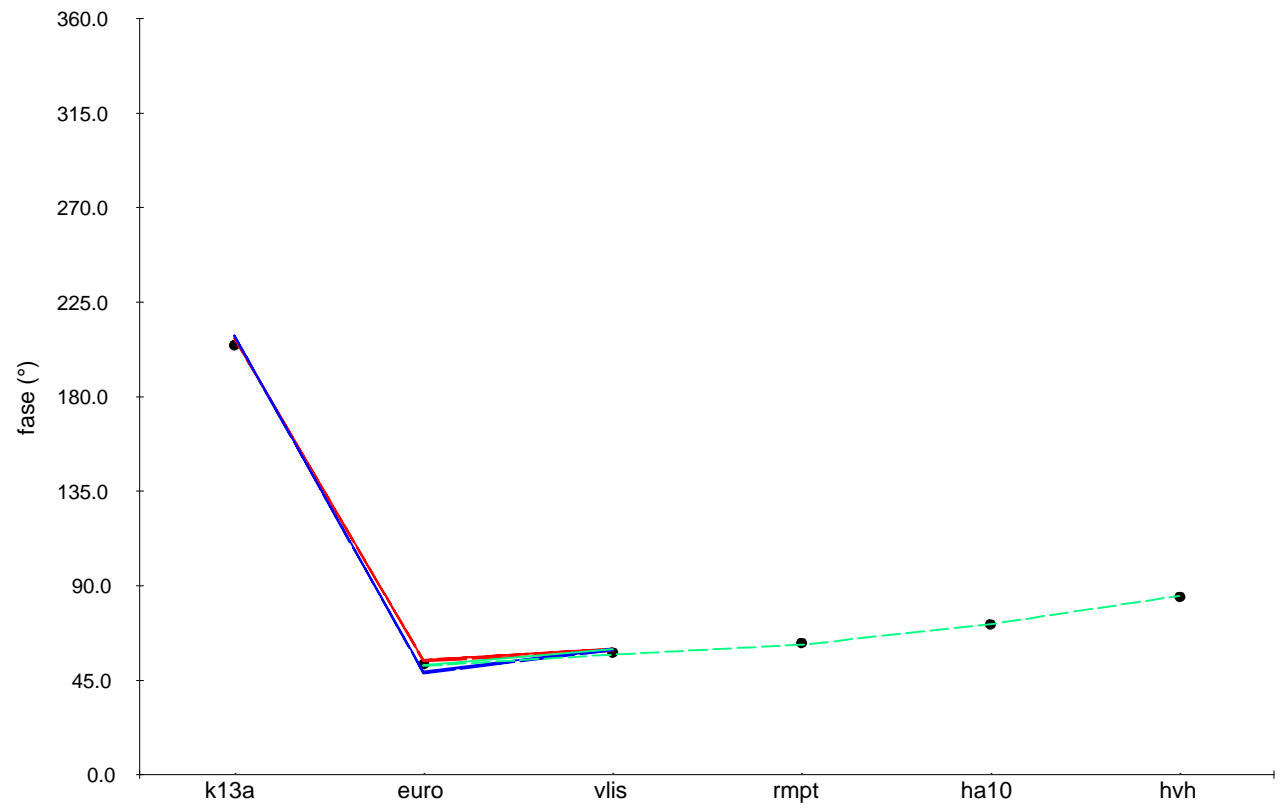
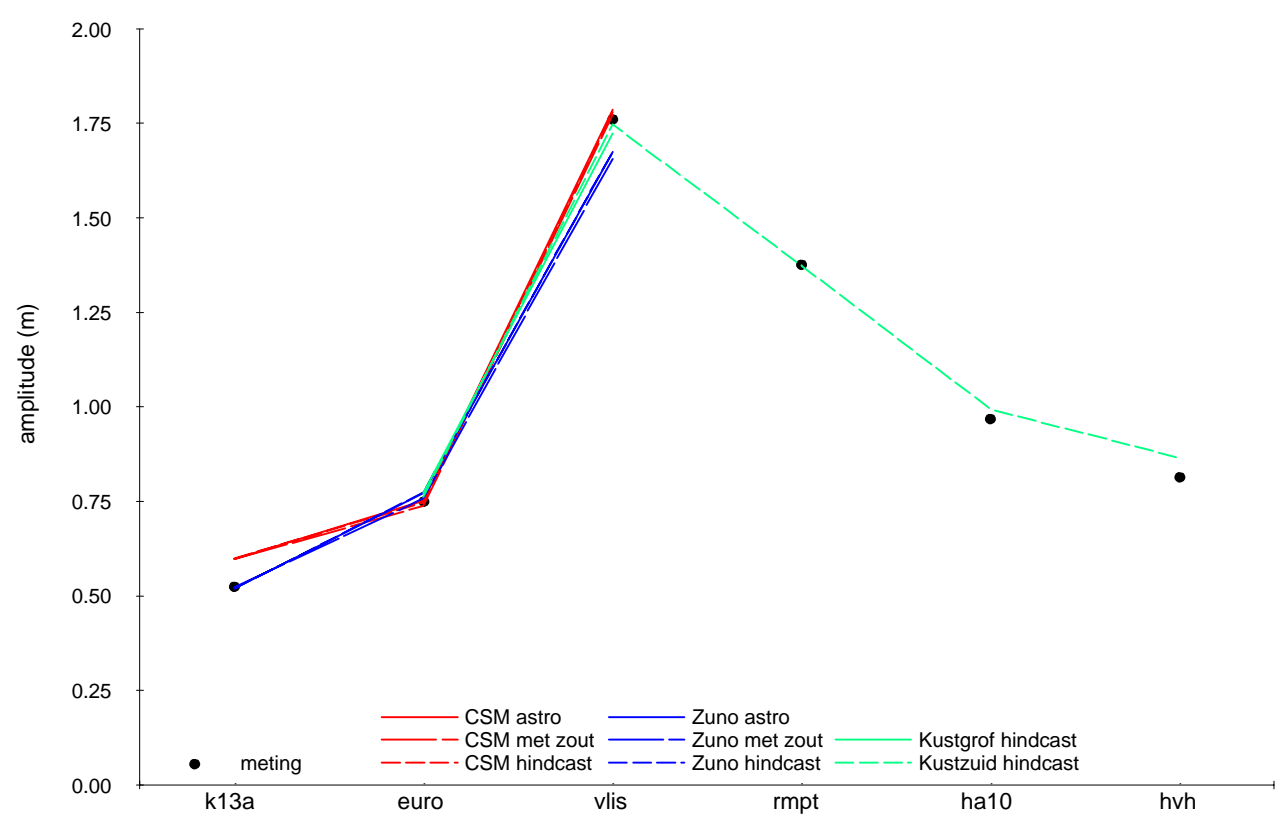
24-januari-2005 18.00 uur UTC

snelheidsschaal: 1 cm = 30 m/s

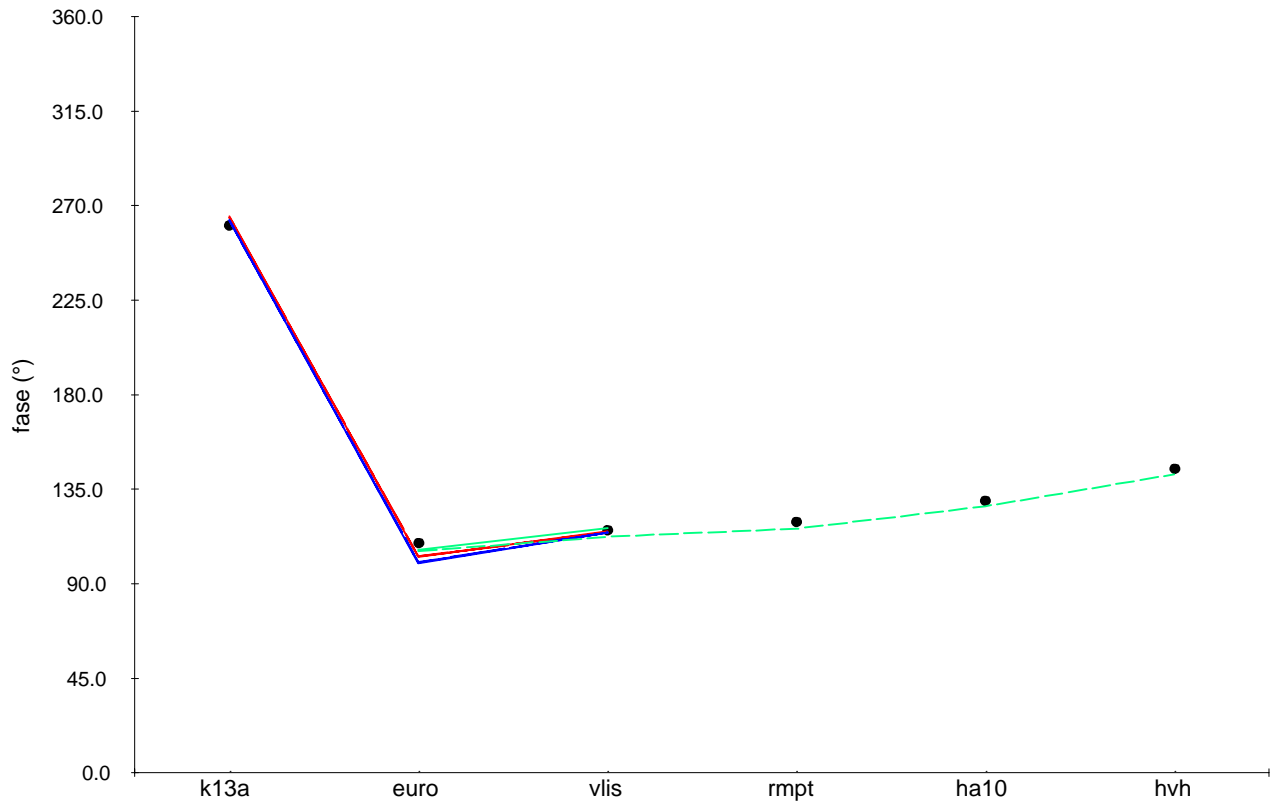
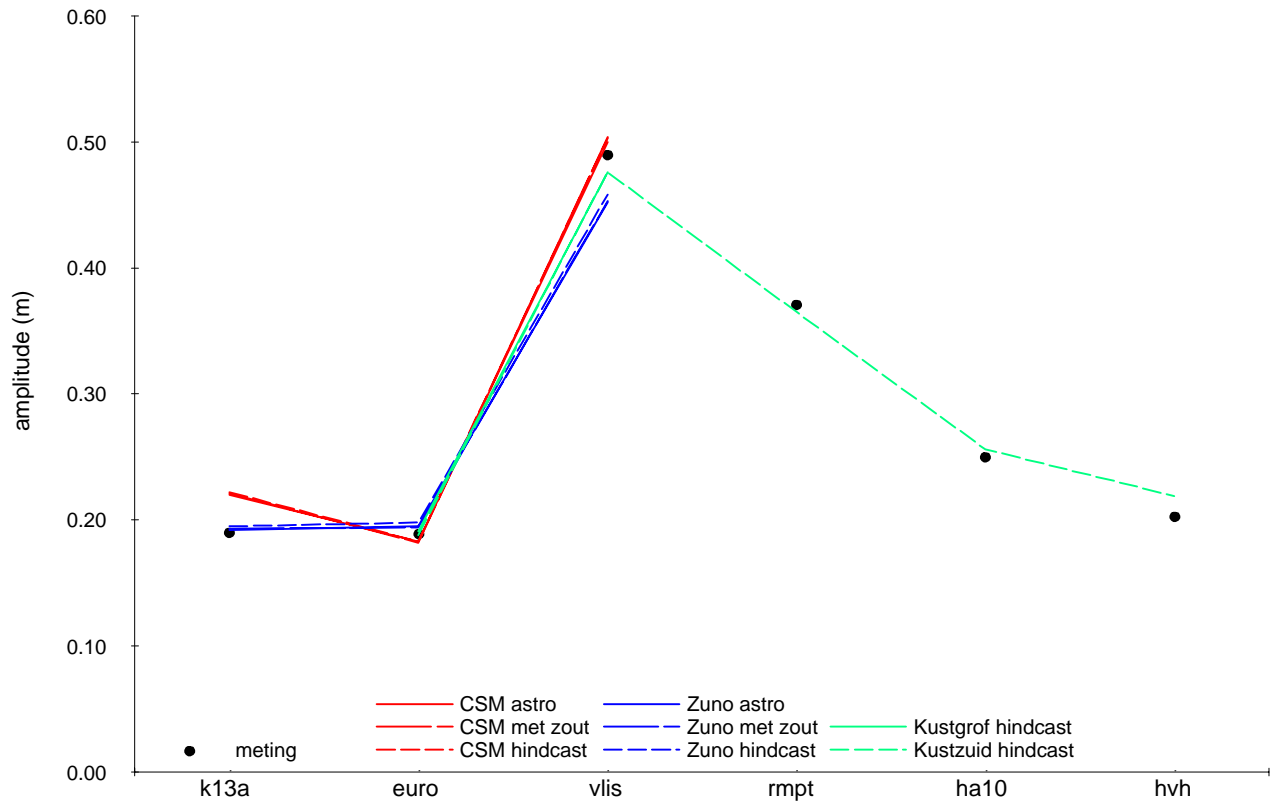
HIRLAM wind en druk velden
24-januari-2005



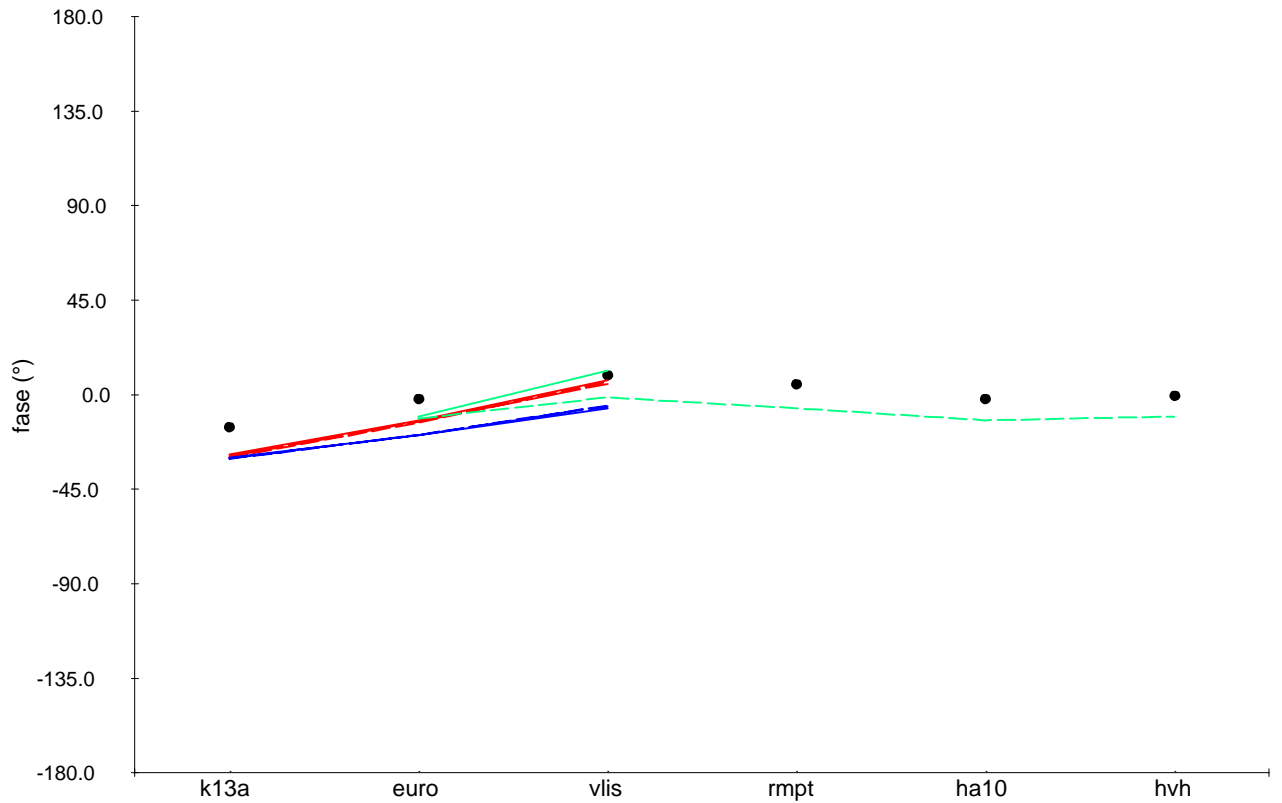
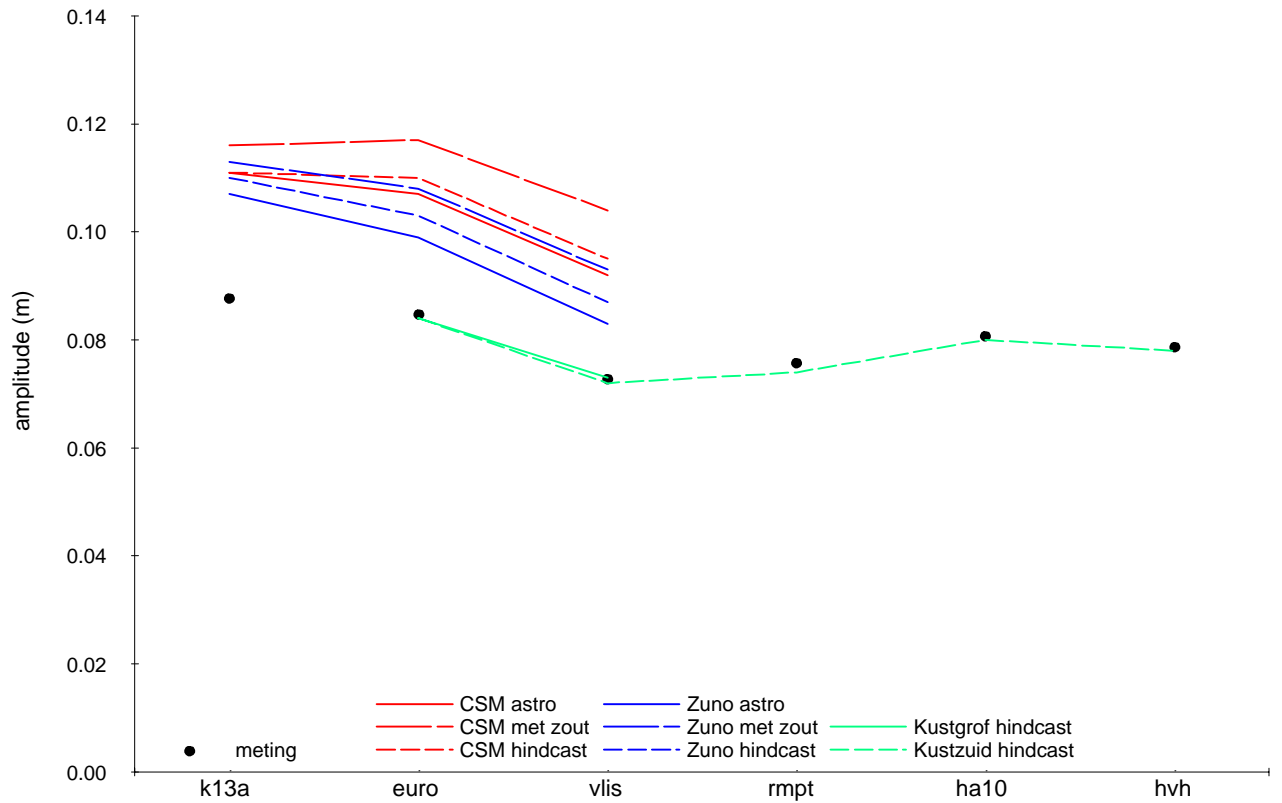
Vergelijking tussen gemeten en berekende amplitude (boven) en fase (onder) voor de component SA



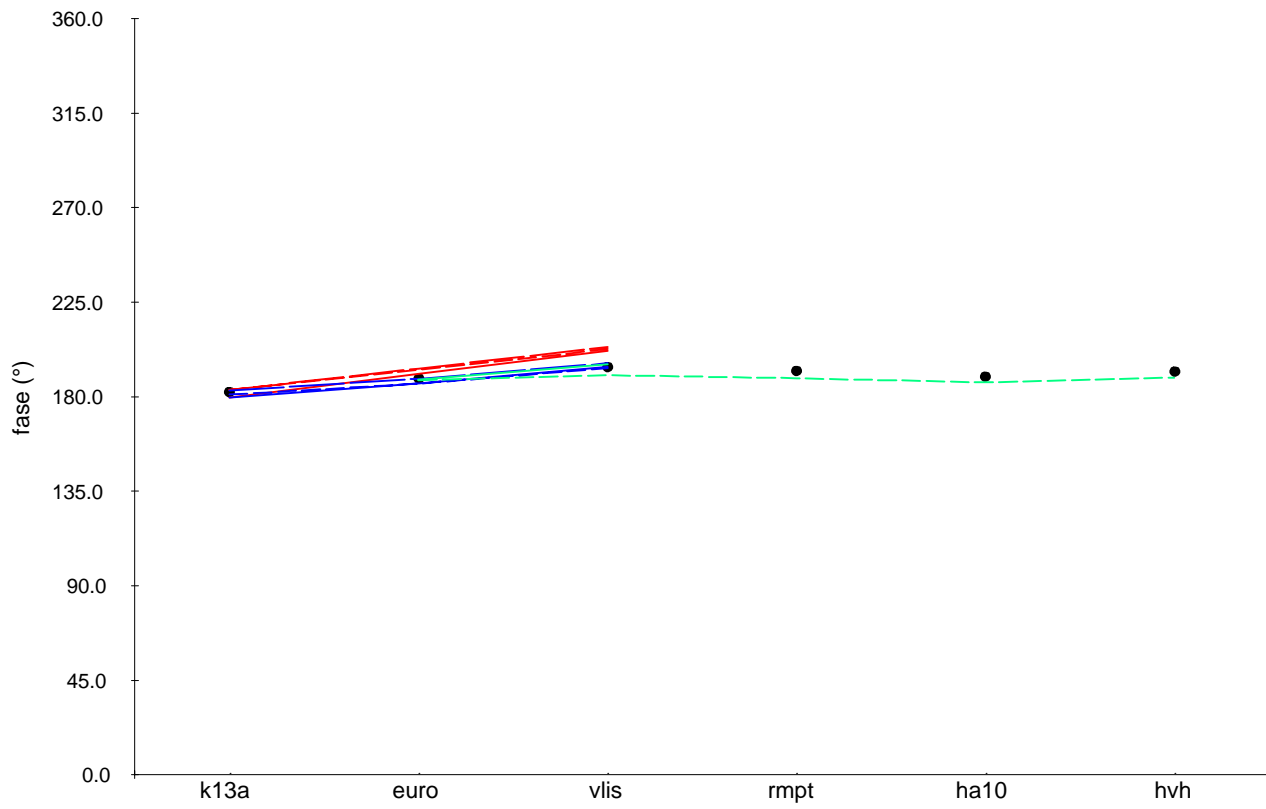
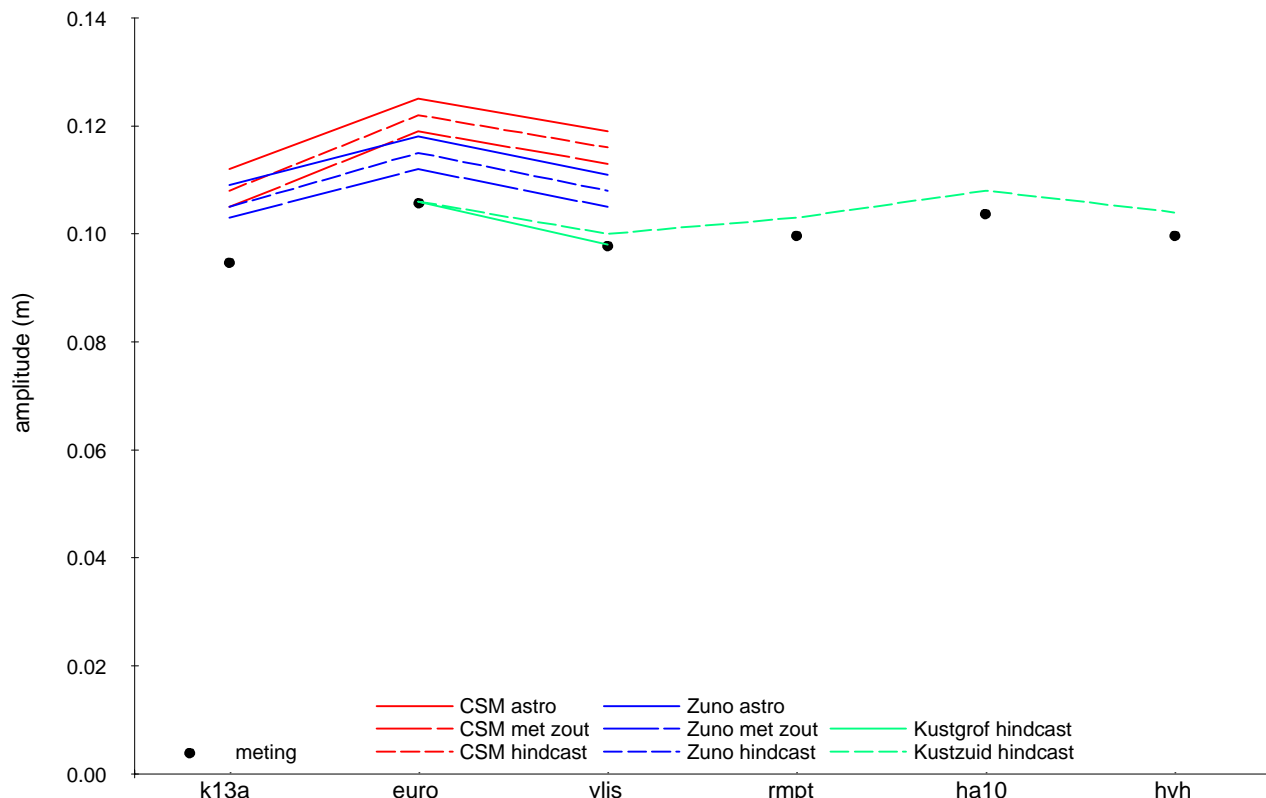
Vergelijking tussen gemeten en berekende amplitude (boven) en fase (onder) voor de component M2



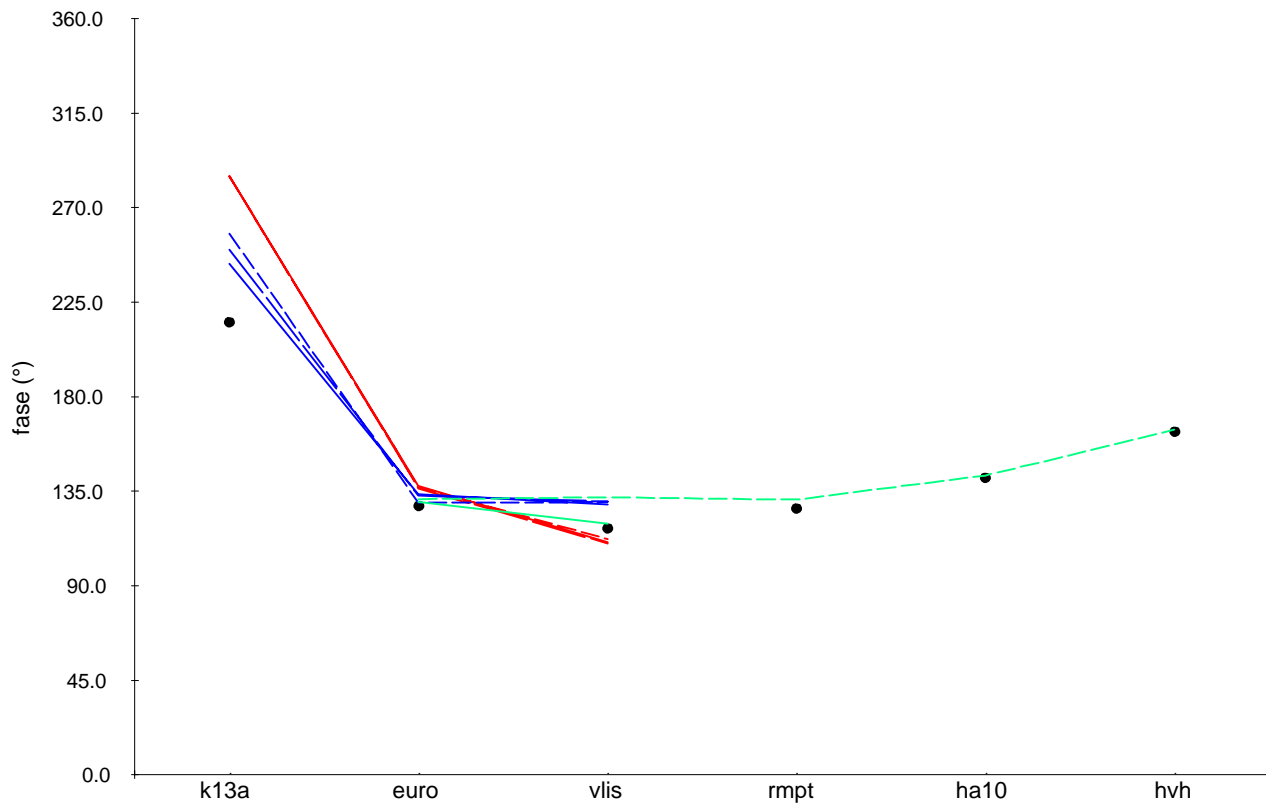
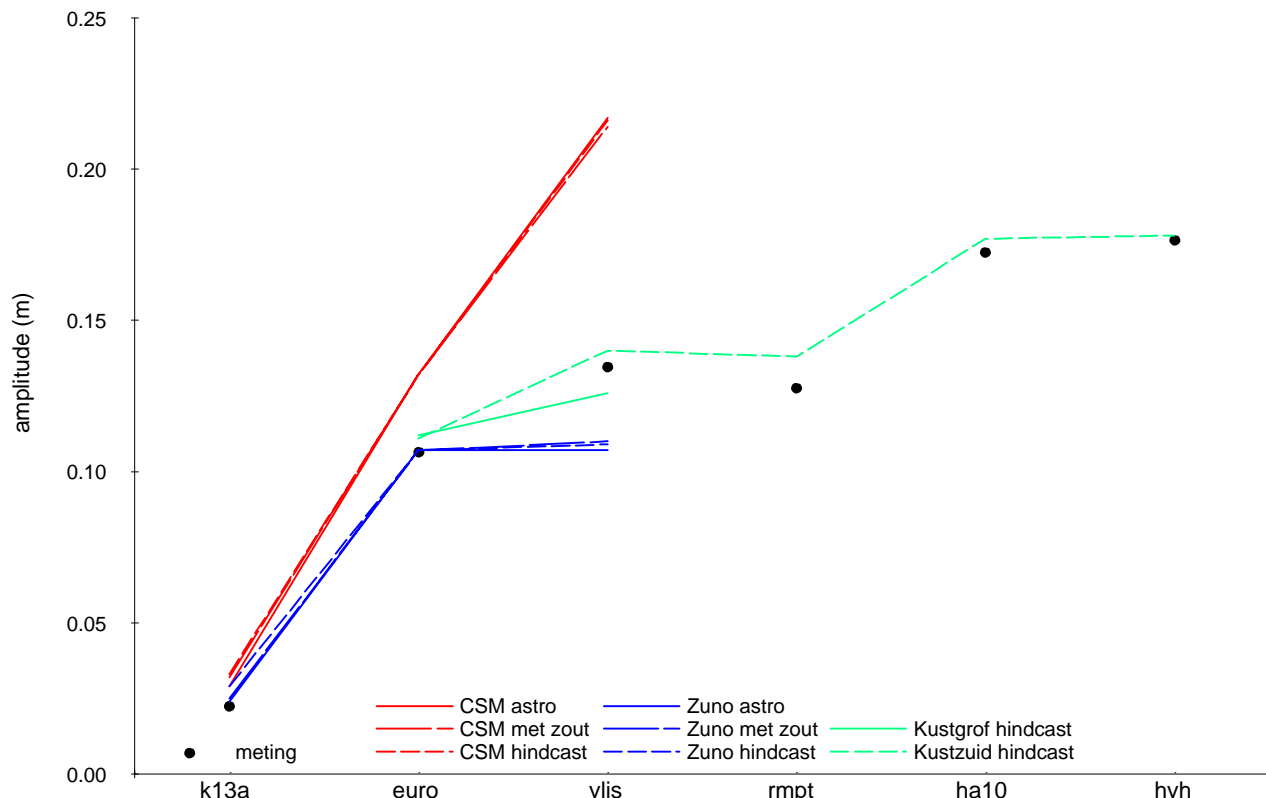
Vergelijking tussen gemeten en berekende amplitude (boven) en fase (onder) voor de component S2



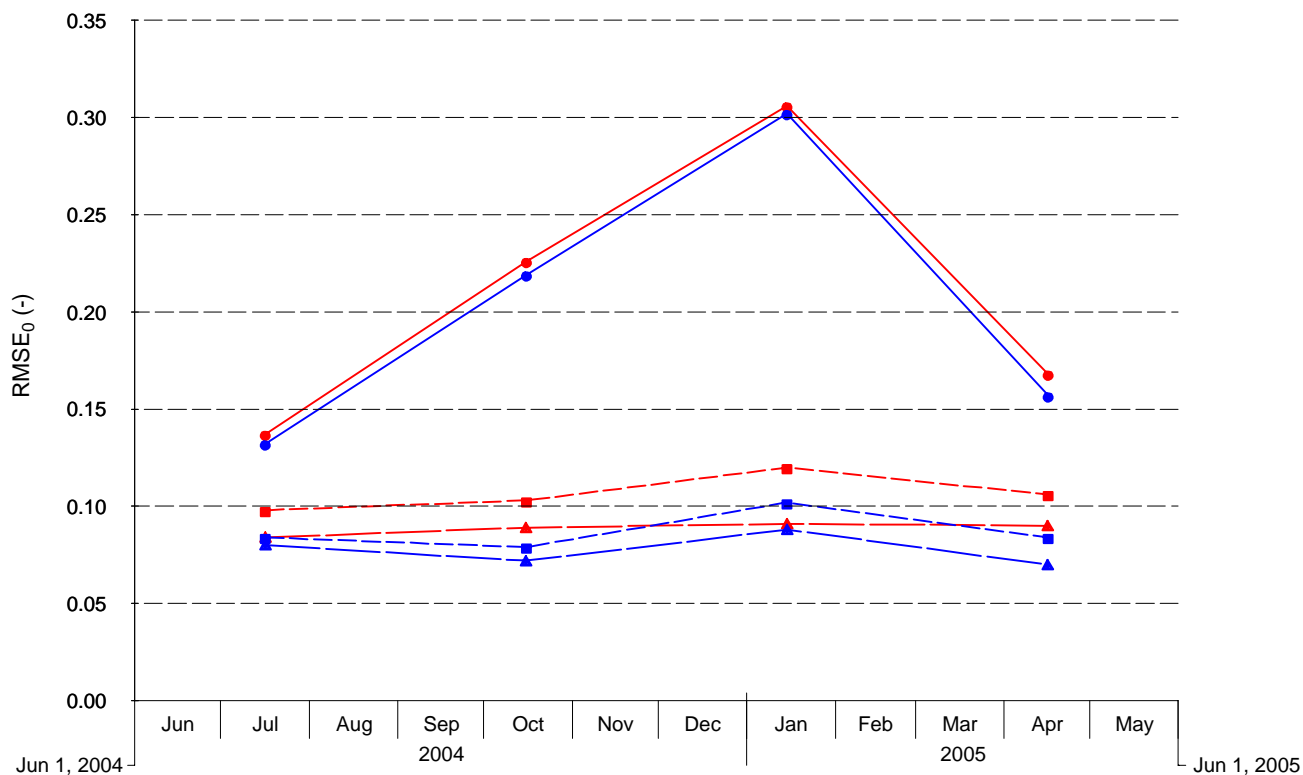
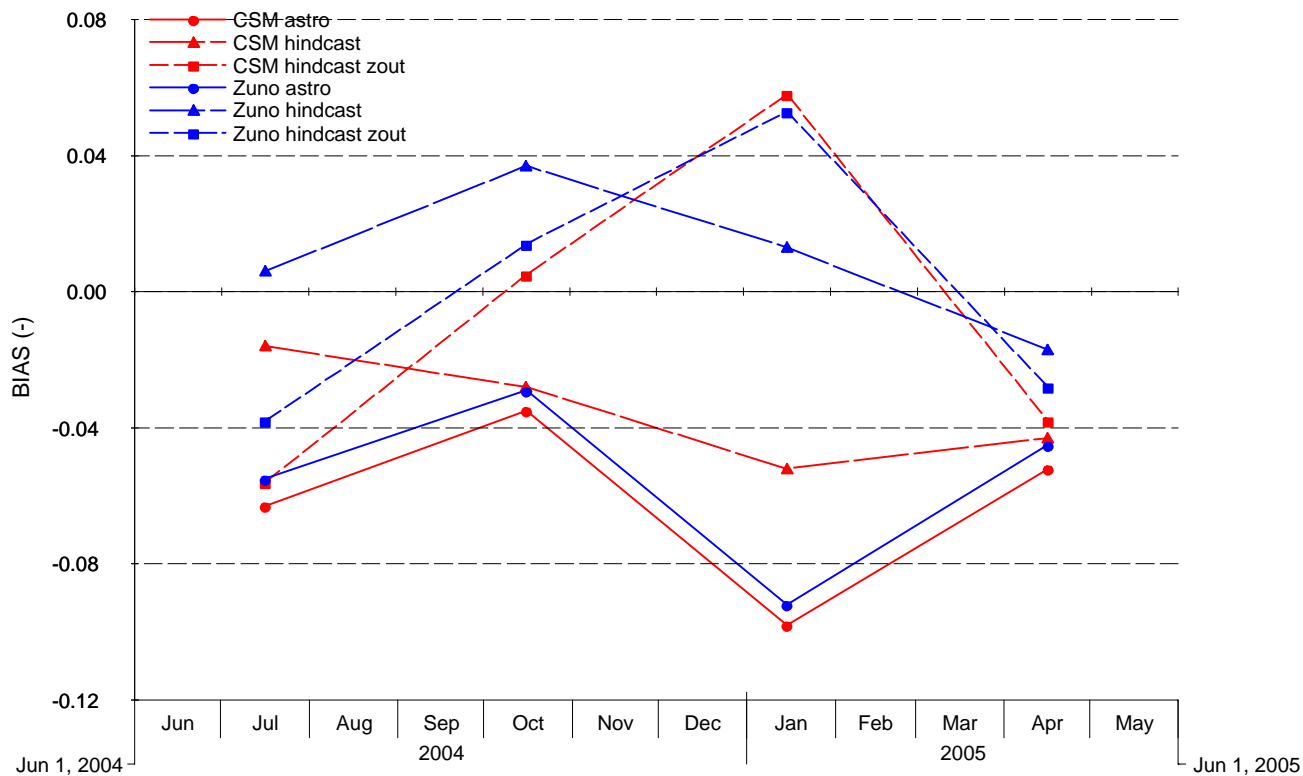
Vergelijking tussen gemeten en berekende amplitude (boven) en fase (onder) voor de component K1



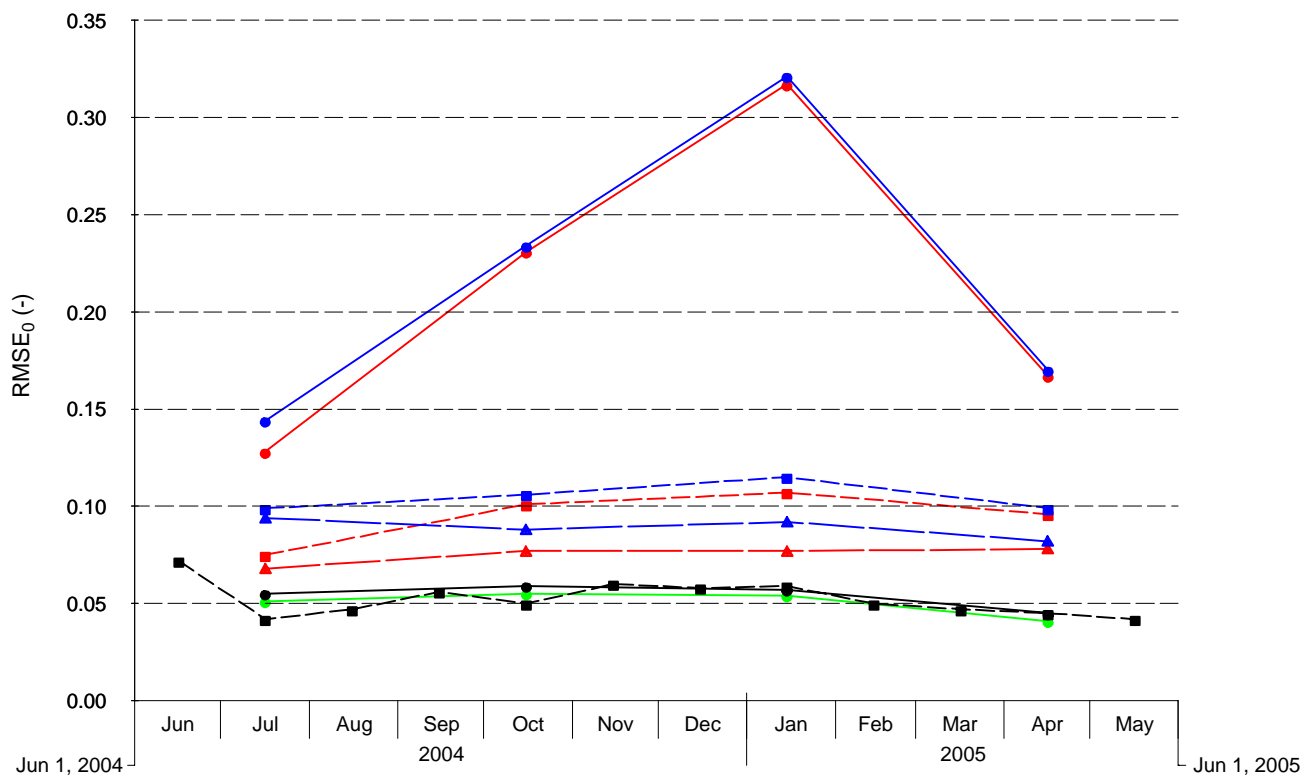
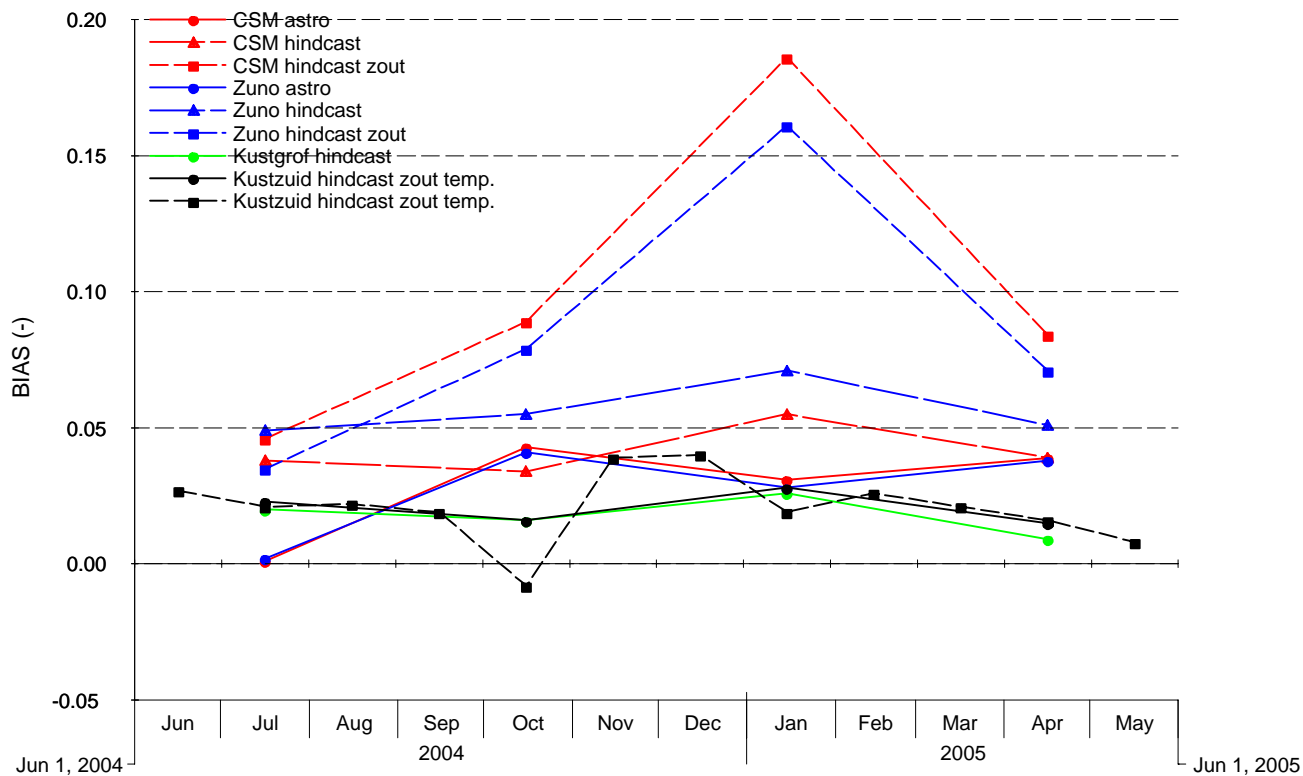
Vergelijking tussen gemeten en berekende amplitude (boven) en fase (onder) voor de component O1



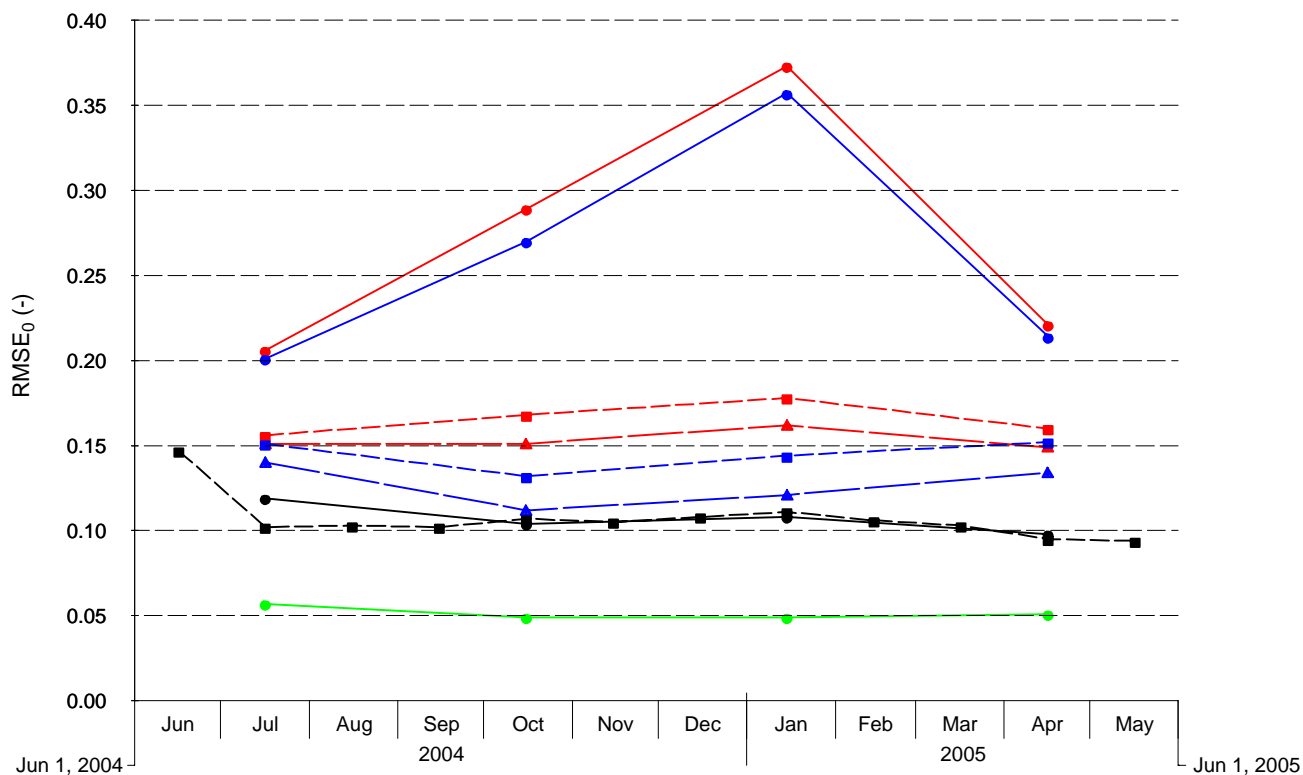
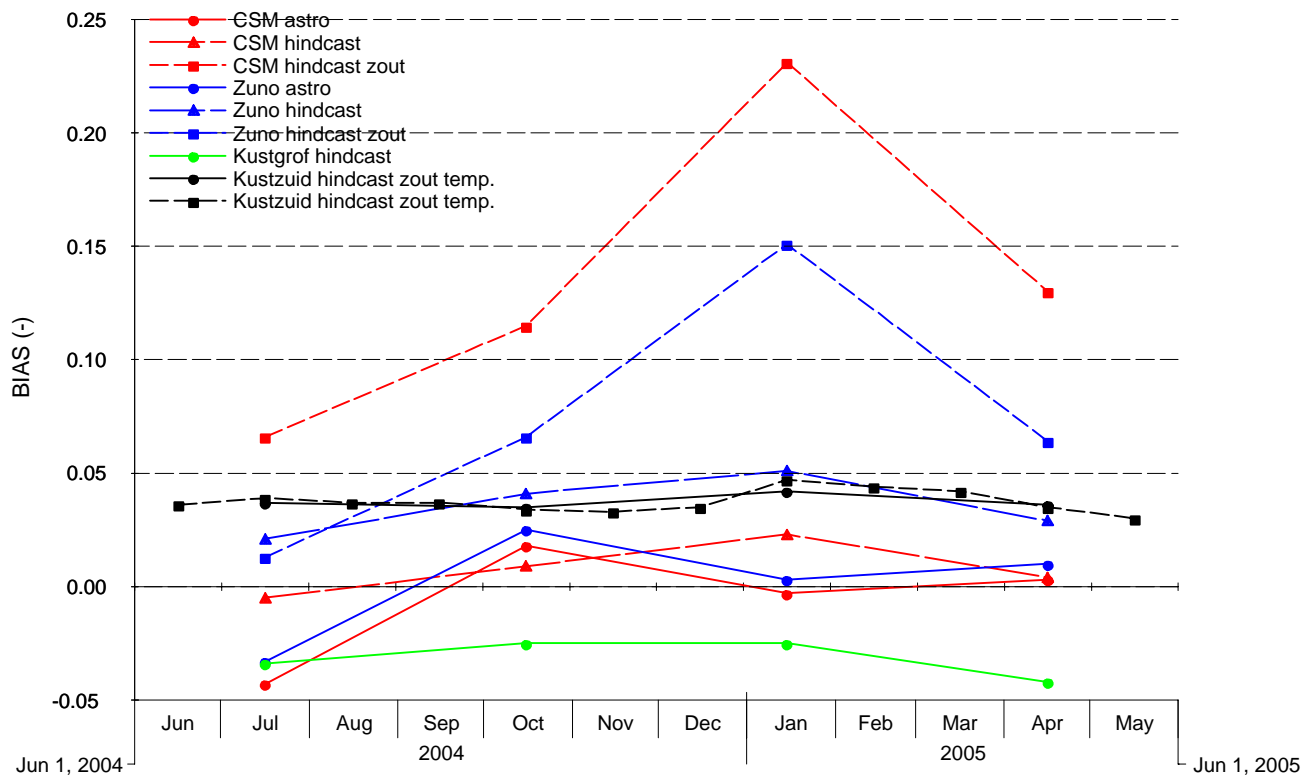
Vergelijking tussen gemeten en berekende amplitude (boven) en fase (onder) voor de component M4



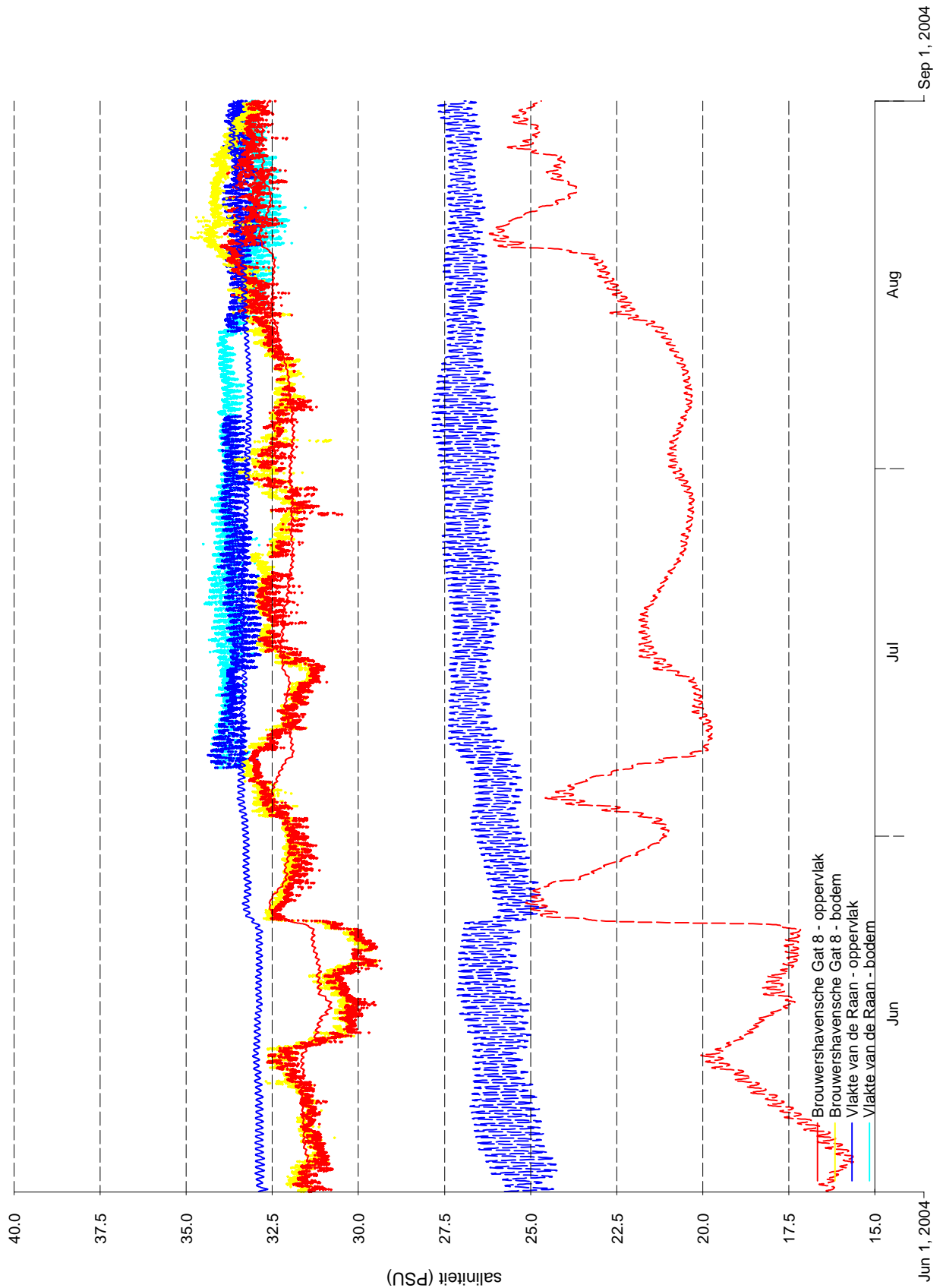
Vergelijking berekende en gemeten waterstanden, verloop BIAS (boven) en $RMSE_0$ (onder) over het jaar voor de verschillende modelsimulaties, station K13A Platform



Vergelijking berekende en gemeten waterstanden, verloop BIAS (boven) en $RMSE_0$ (onder) over het jaar voor de verschillende modelsimulaties, station Euro Platform

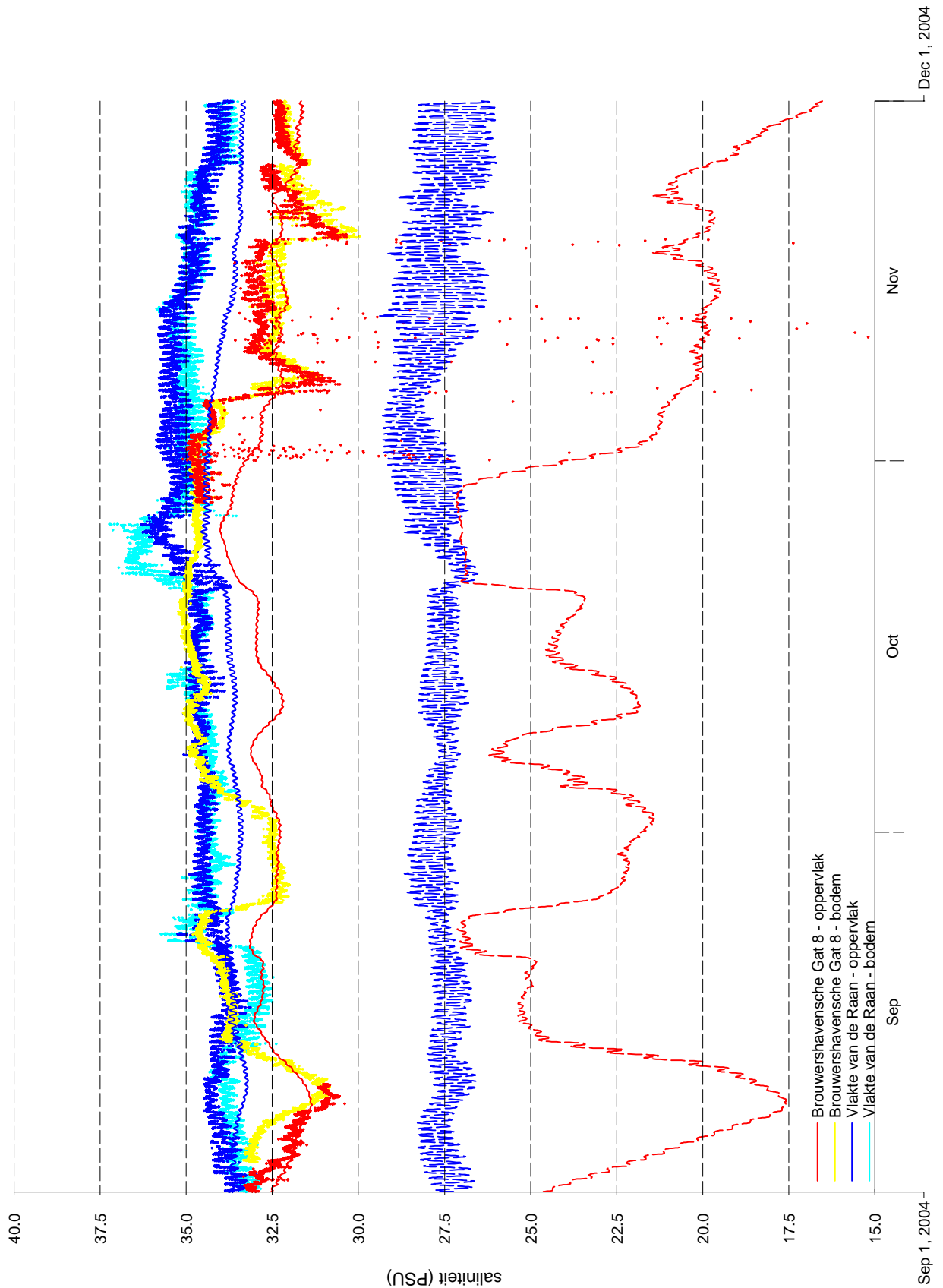


Vergelijking berekende en gemeten waterstanden, verloop BIAS (boven) en RMSE₀ (onder) over het jaar voor de verschillende modelsimulaties, station Vlissingen



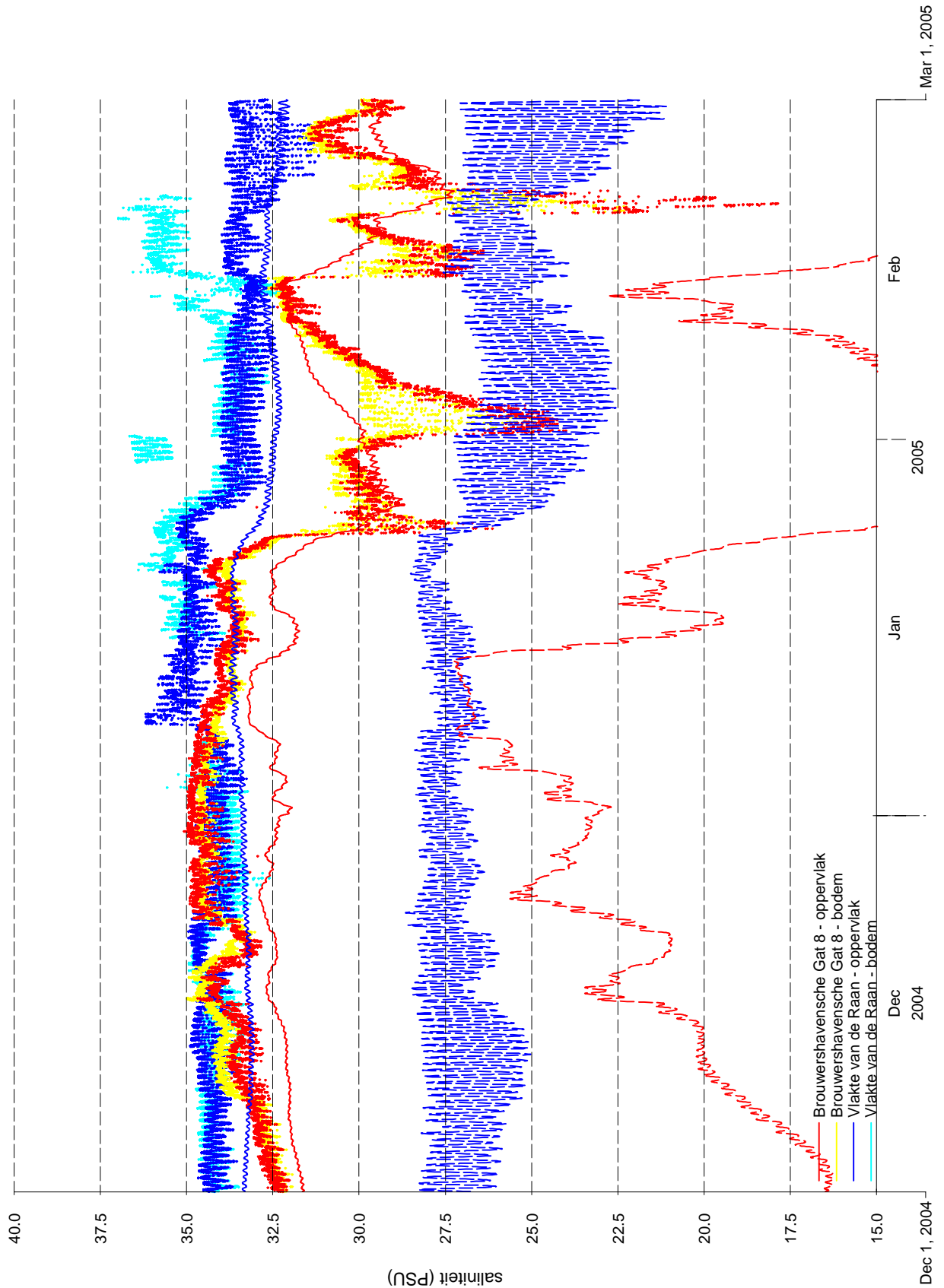
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 1e kwartaal 2004-2005, diffusie coëfficiënt 30 (onderbroken) en 500 (getrokken lijn)

Zuno model



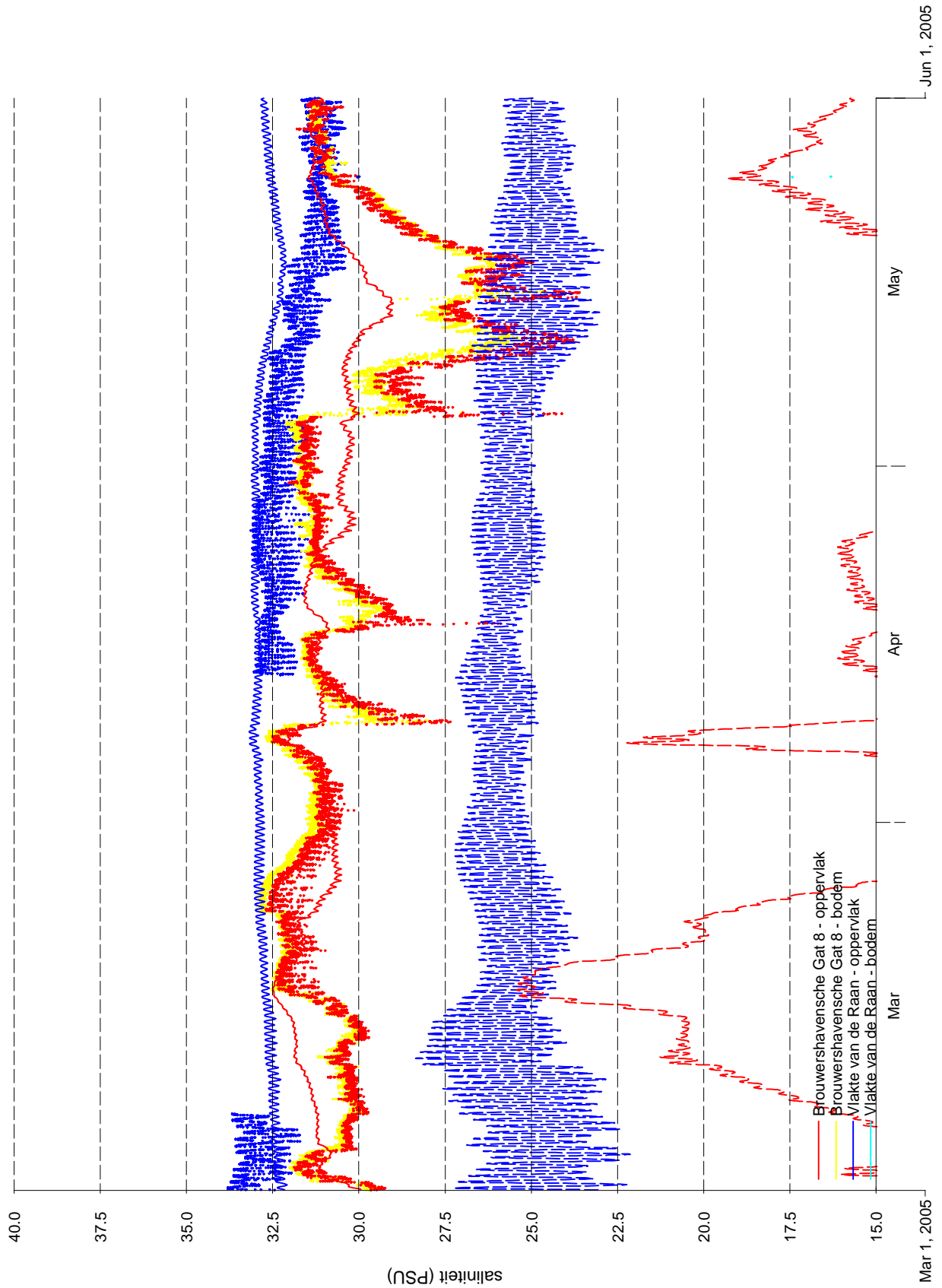
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 2e kwartaal 2004-2005, diffusie coëfficiënt 30 (onderbroken) en 500 (getrokken lijn)

Zuno model



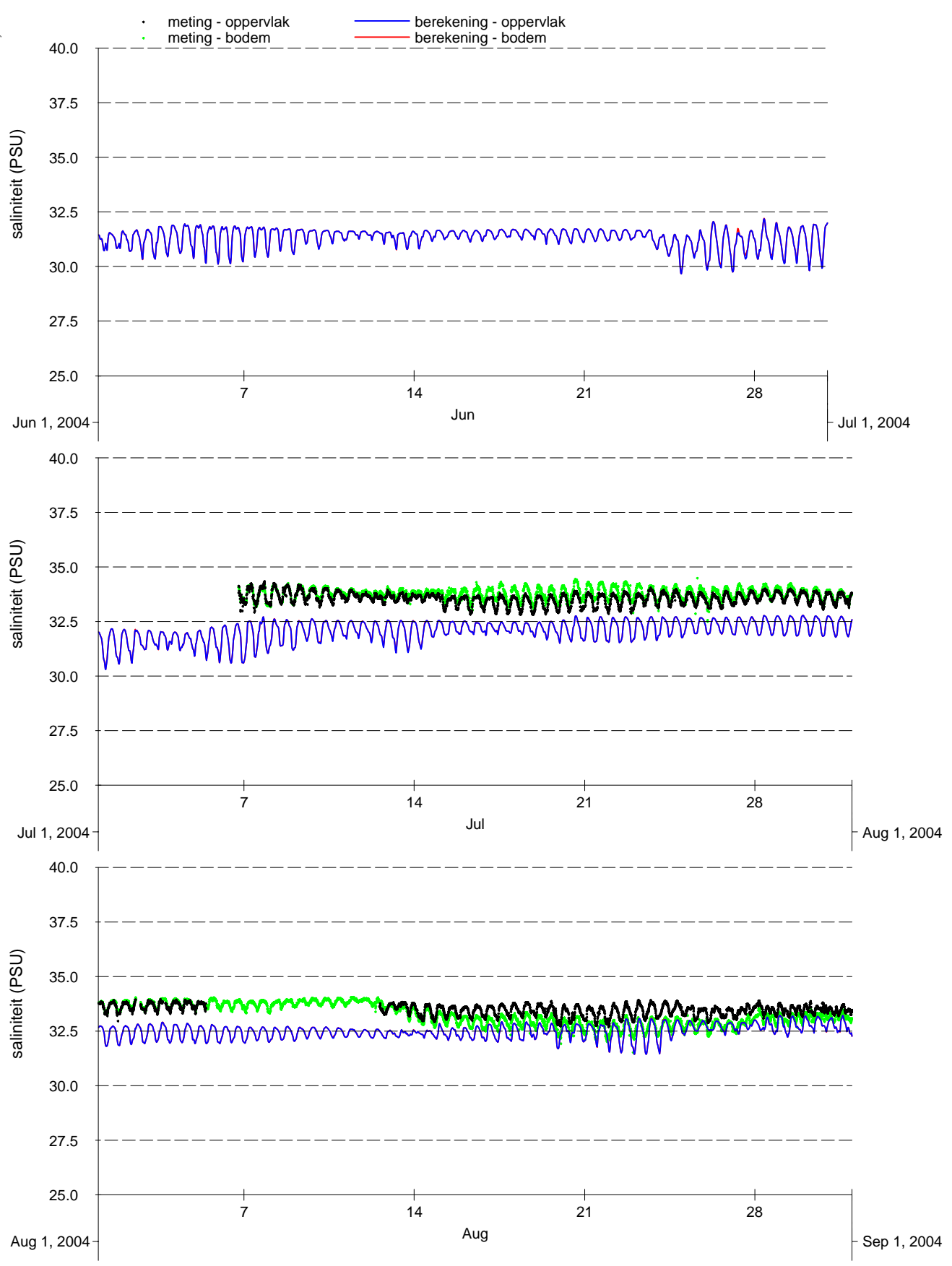
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 3e kwartaal 2004-2005, diffusie coëfficiënt 30 (onderbroken) en 500 (getrokken lijn)

Zuno model



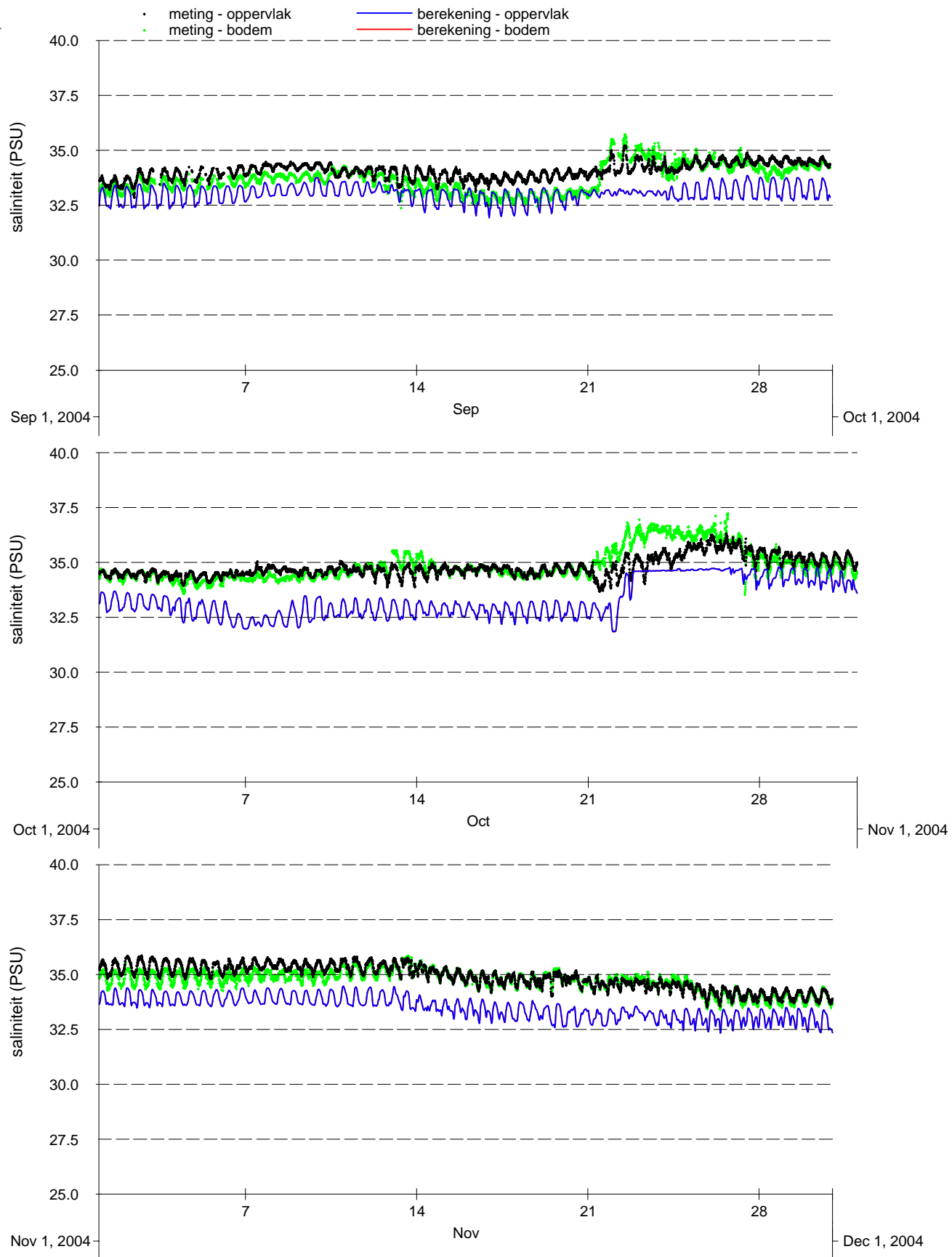
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 4e kwartaal 2004-2005, diffusie coëfficiënt 30 (onderbroken) en 500 (getrokken lijn)

Zuno model



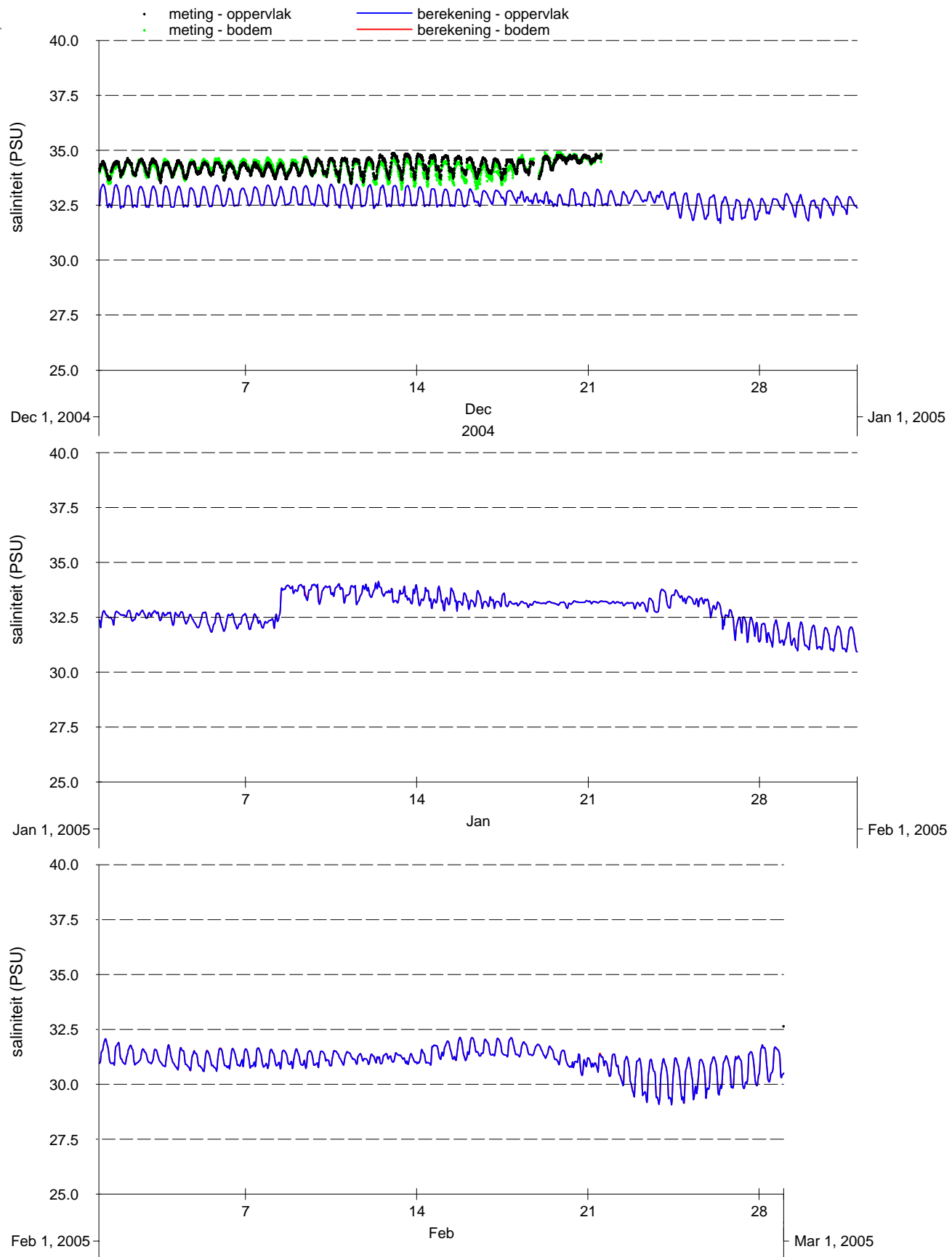
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 1e kwartaal 2004-2005, Zeegestation Vlakte van de Raan

Kustzuid model	

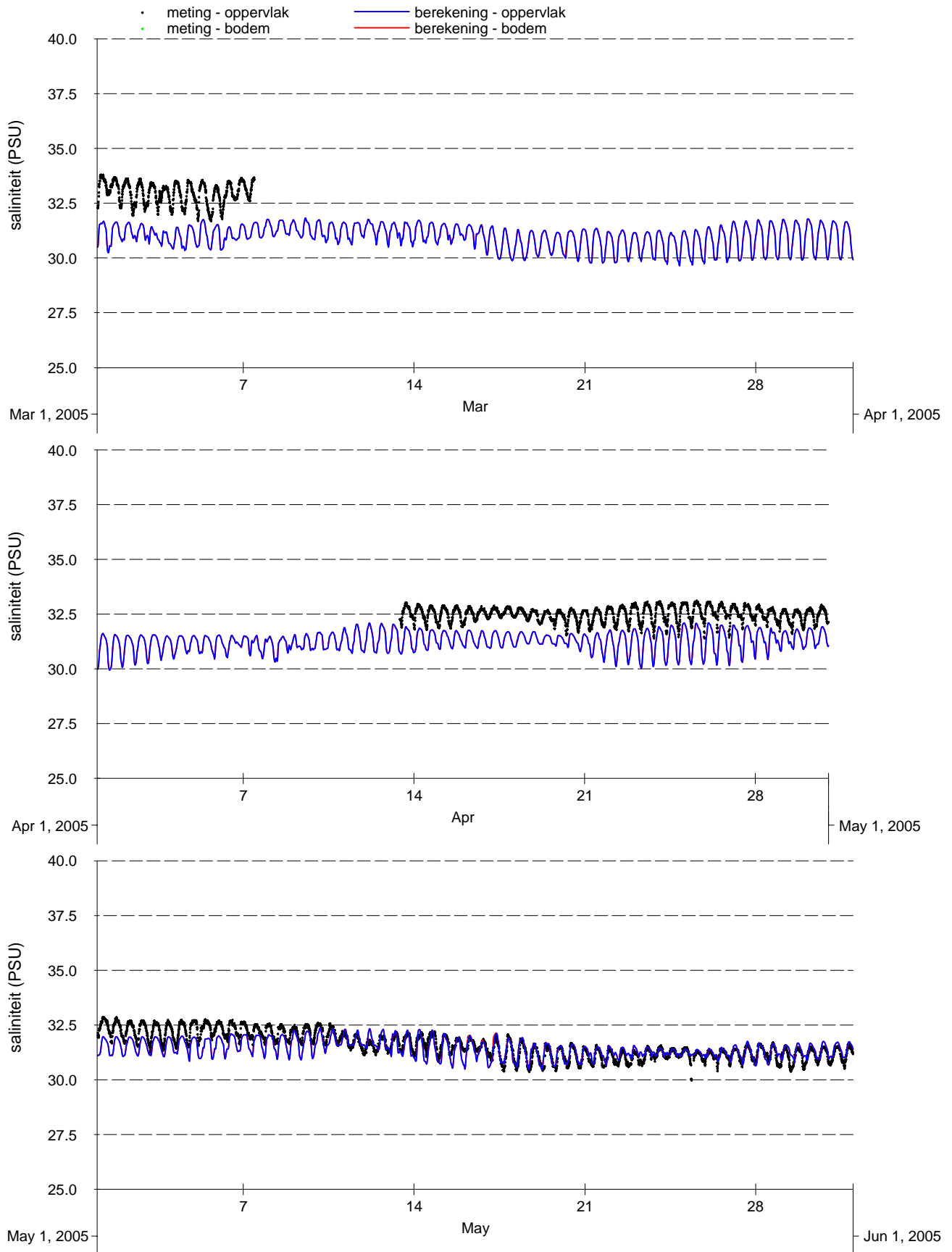


Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 2e kwartaal 2004-2005, Zege-station Vlakte van de Raan

Kustzuid model	

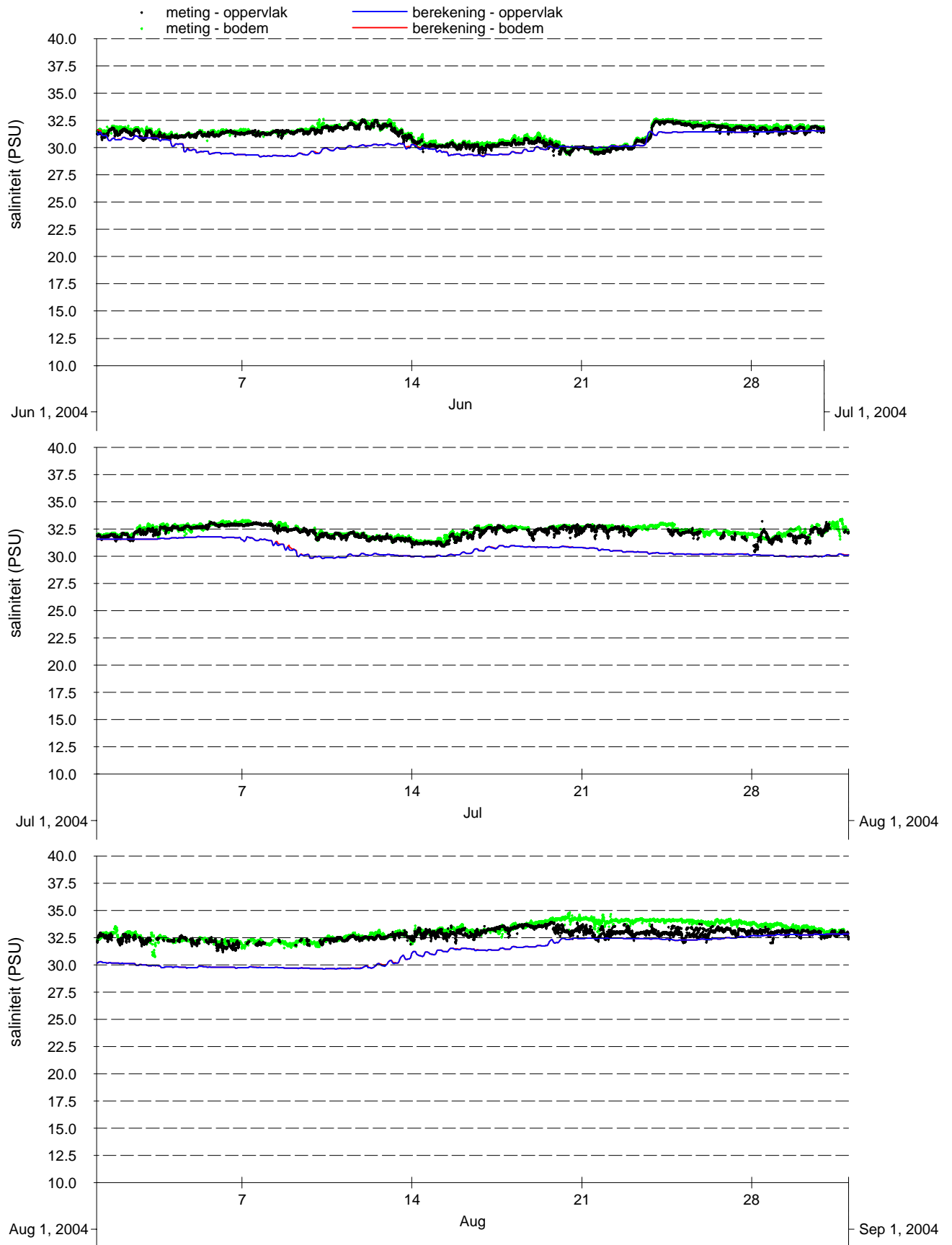


Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 3e kwartaal 2004-2005, Zege- station Vlakte van de Raan	Kustzuid model	
PMR monitoring natuurcompensatie Voordelta	A2218	Alkyon Fig. 5.16



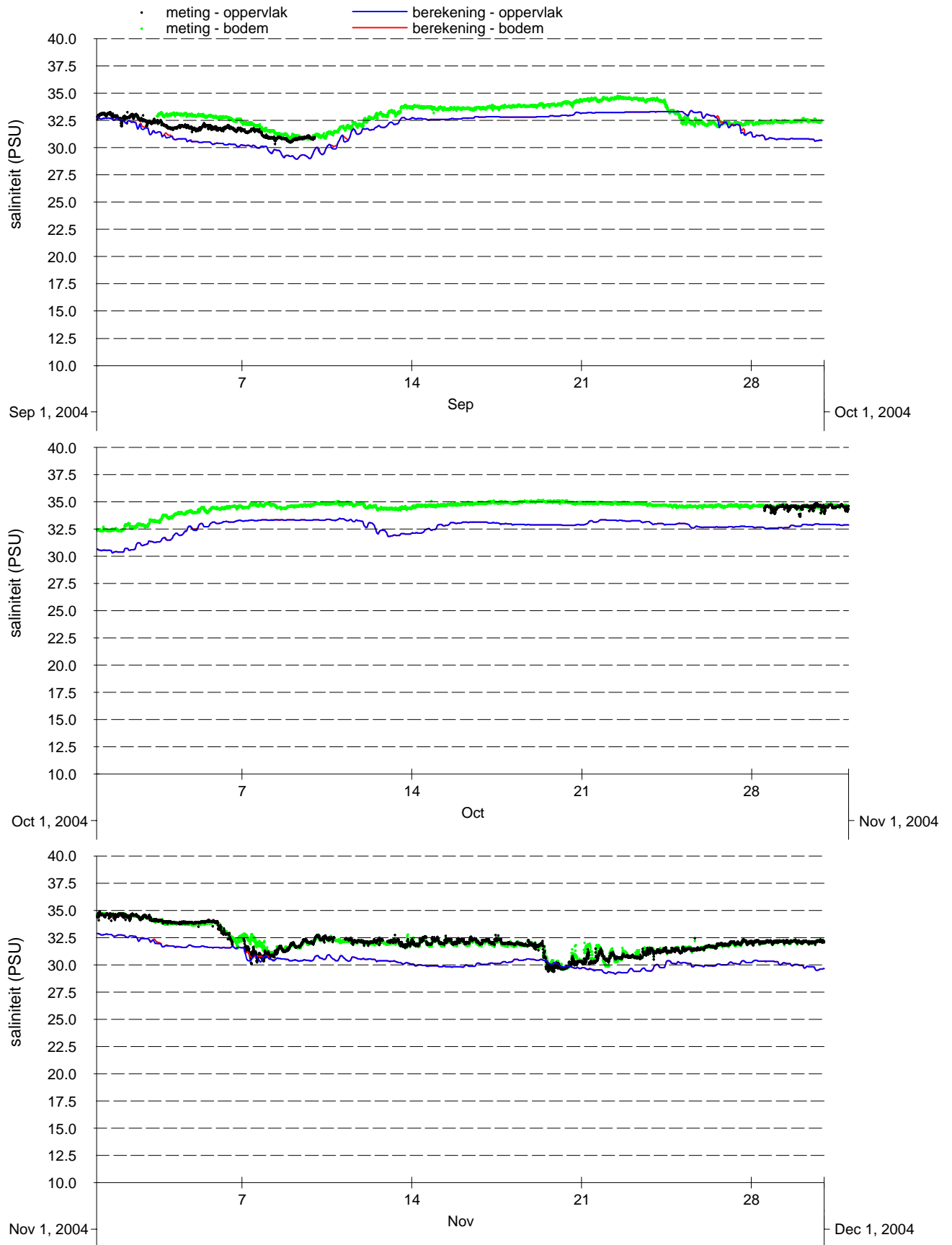
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 4e kwartaal 2004-2005, Zege-station Vlakte van de Raan

Kustzuid model



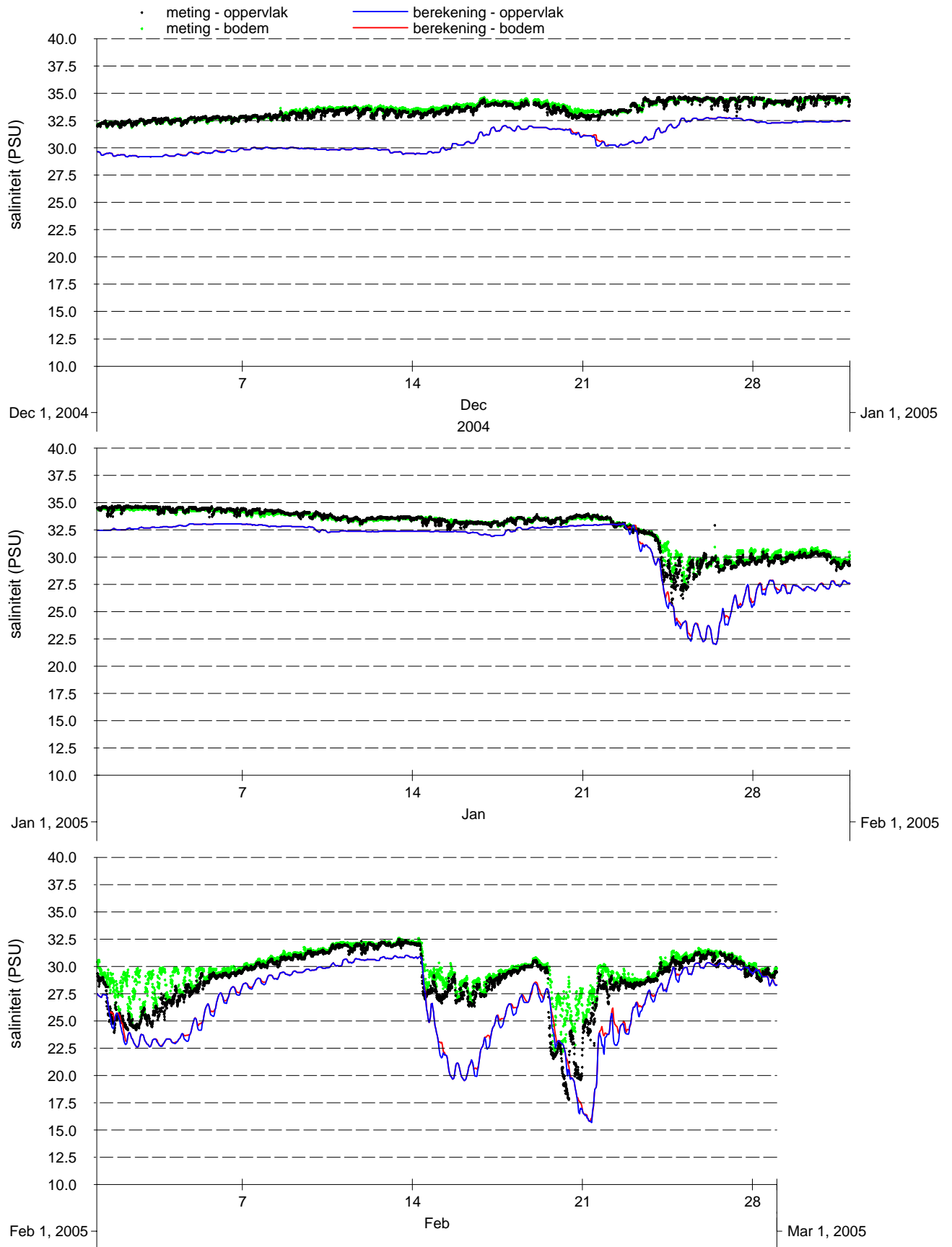
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 1e kwartaal 2004-2005, Zege-station Brouwershavensche Gat 8

Kustzuid model



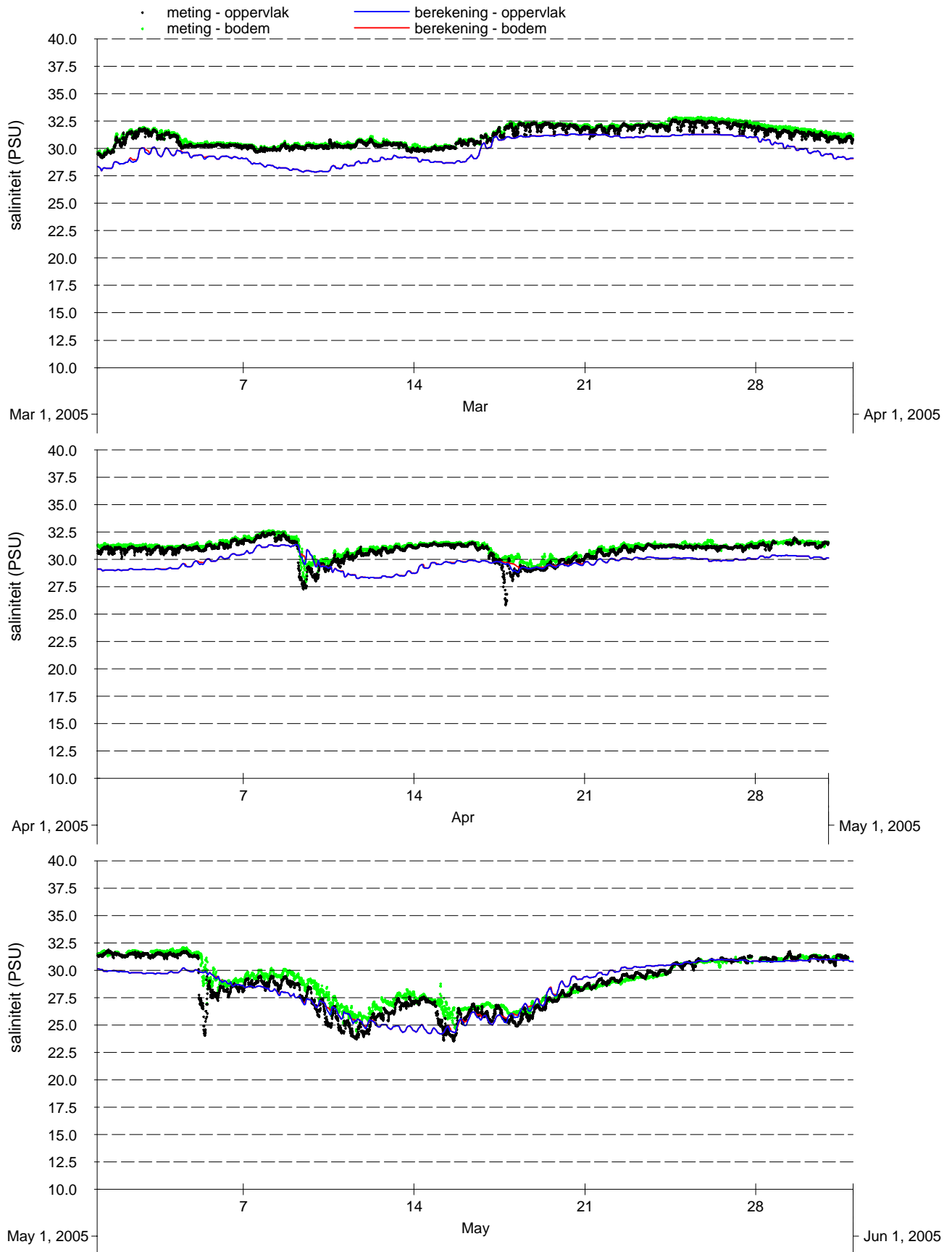
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 2e kwartaal 2004-2005, Zege-station Brouwershavensche Gat 8

Kustzuid model



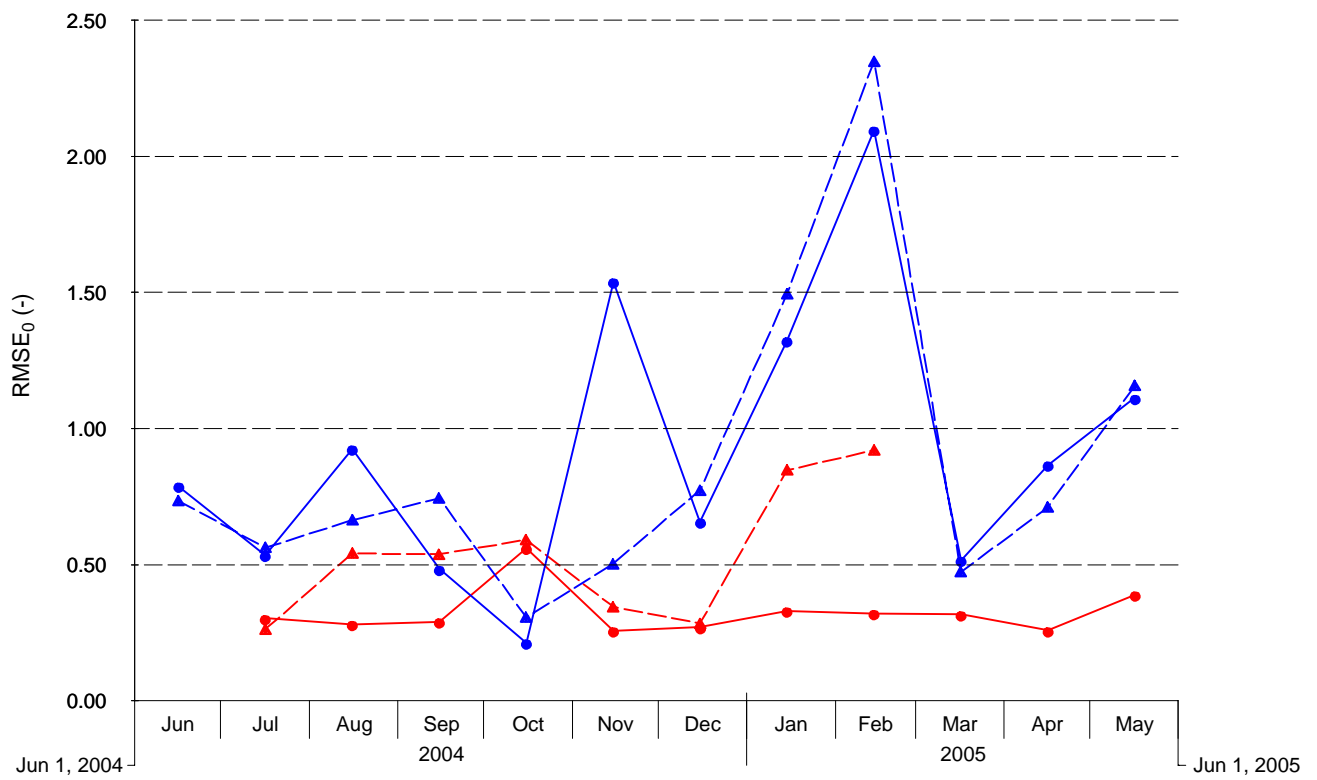
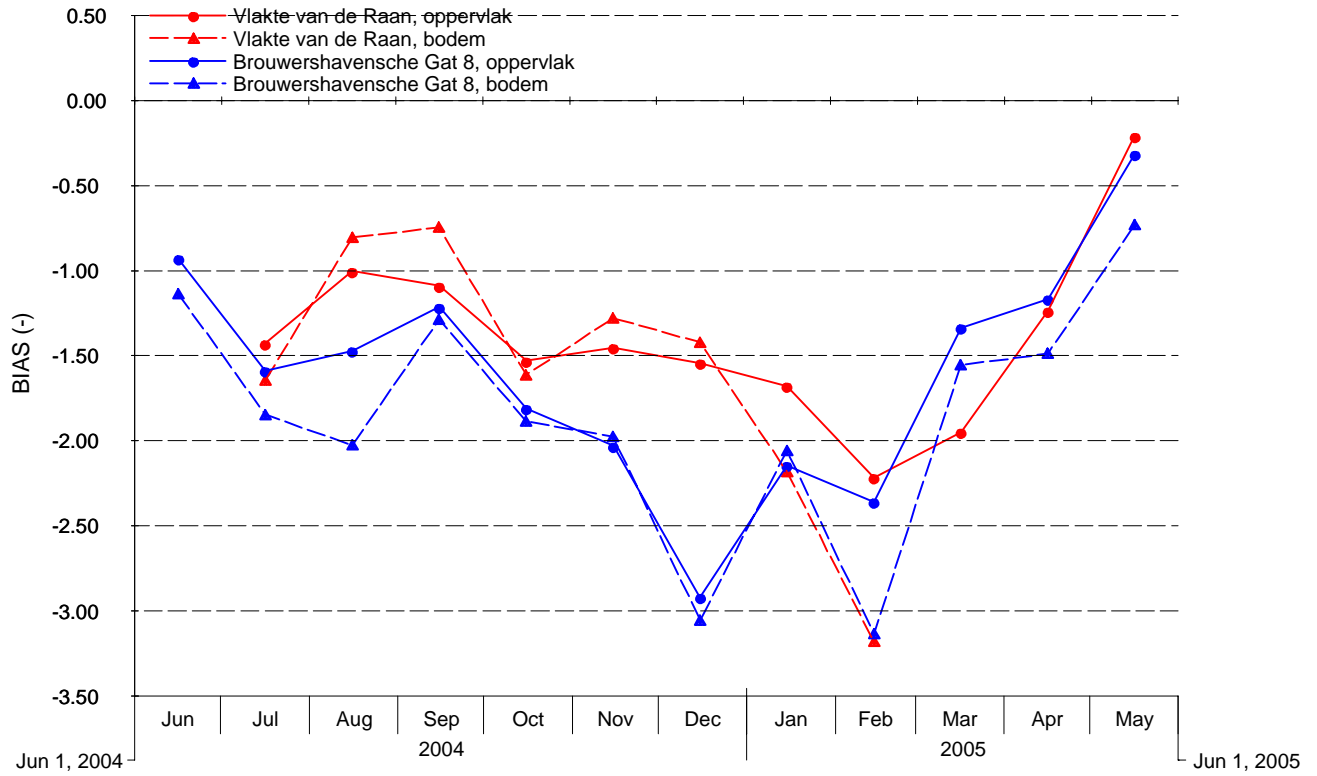
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 3e kwartaal 2004-2005, Zege-station Brouwershavensche Gat 8

Kustzuid model



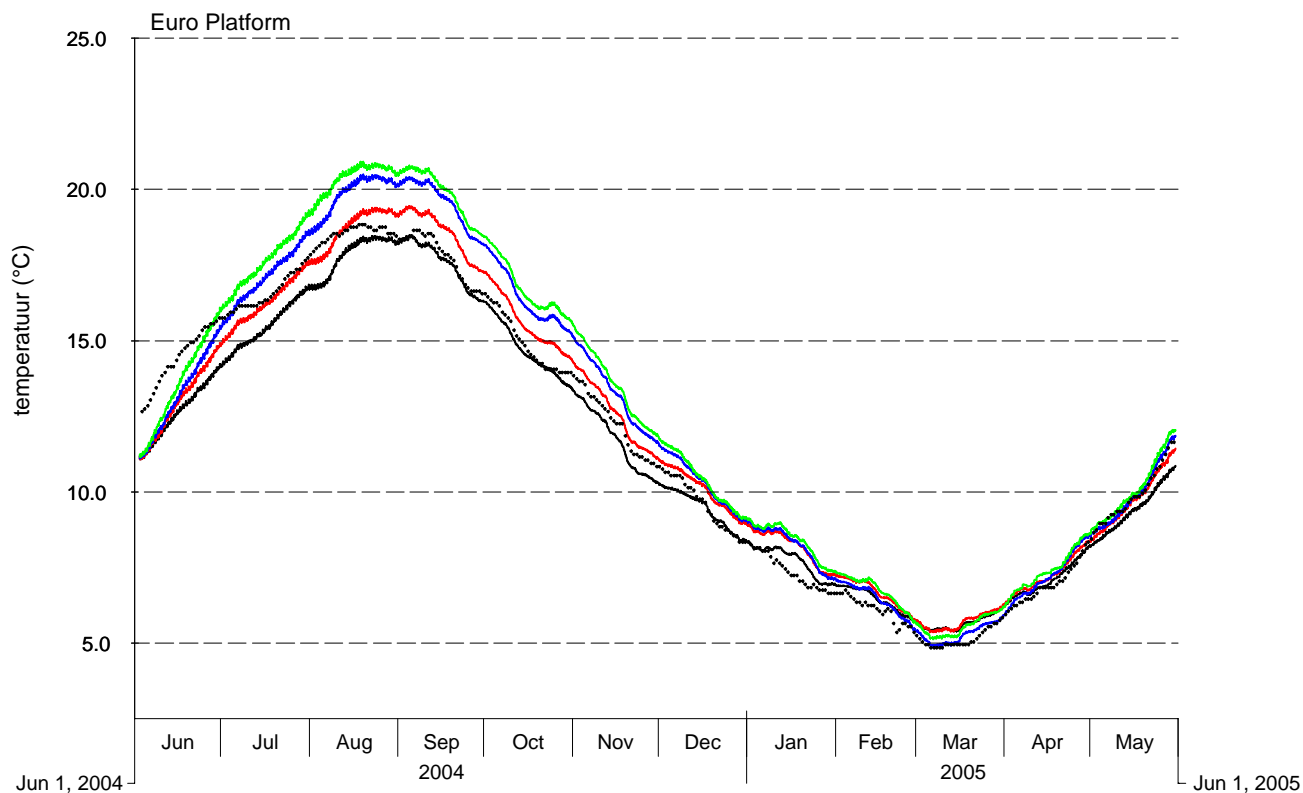
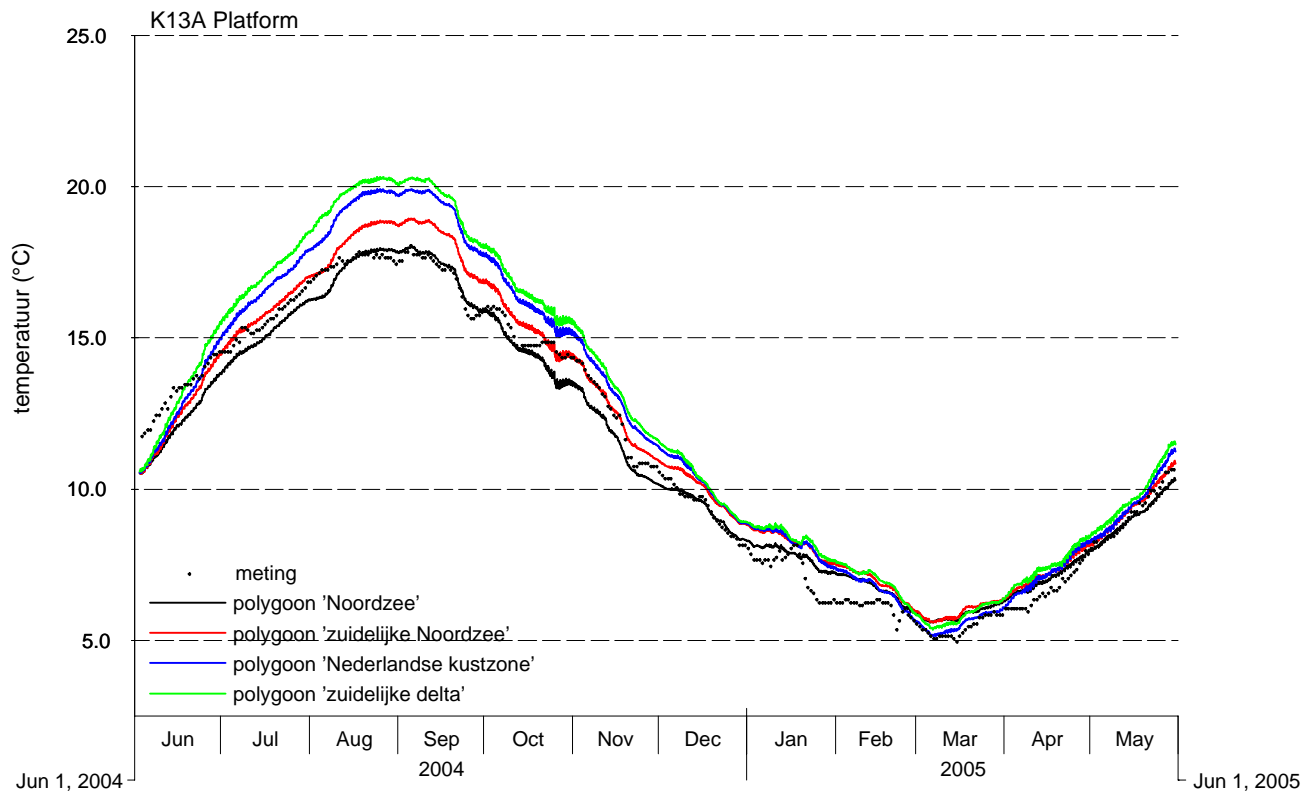
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemsaliniteit 4e kwartaal 2004-2005, Zege-station Brouwershavensche Gat 8

Kustzuid model



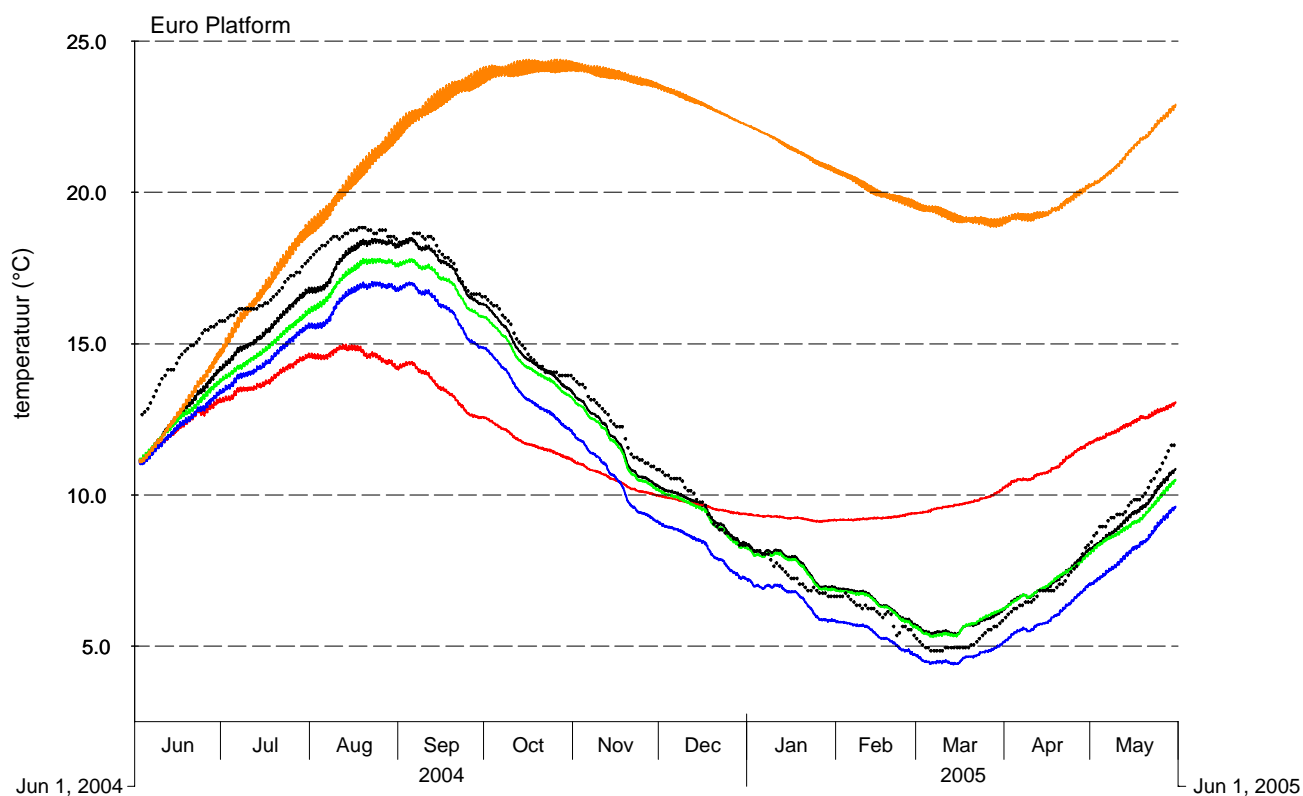
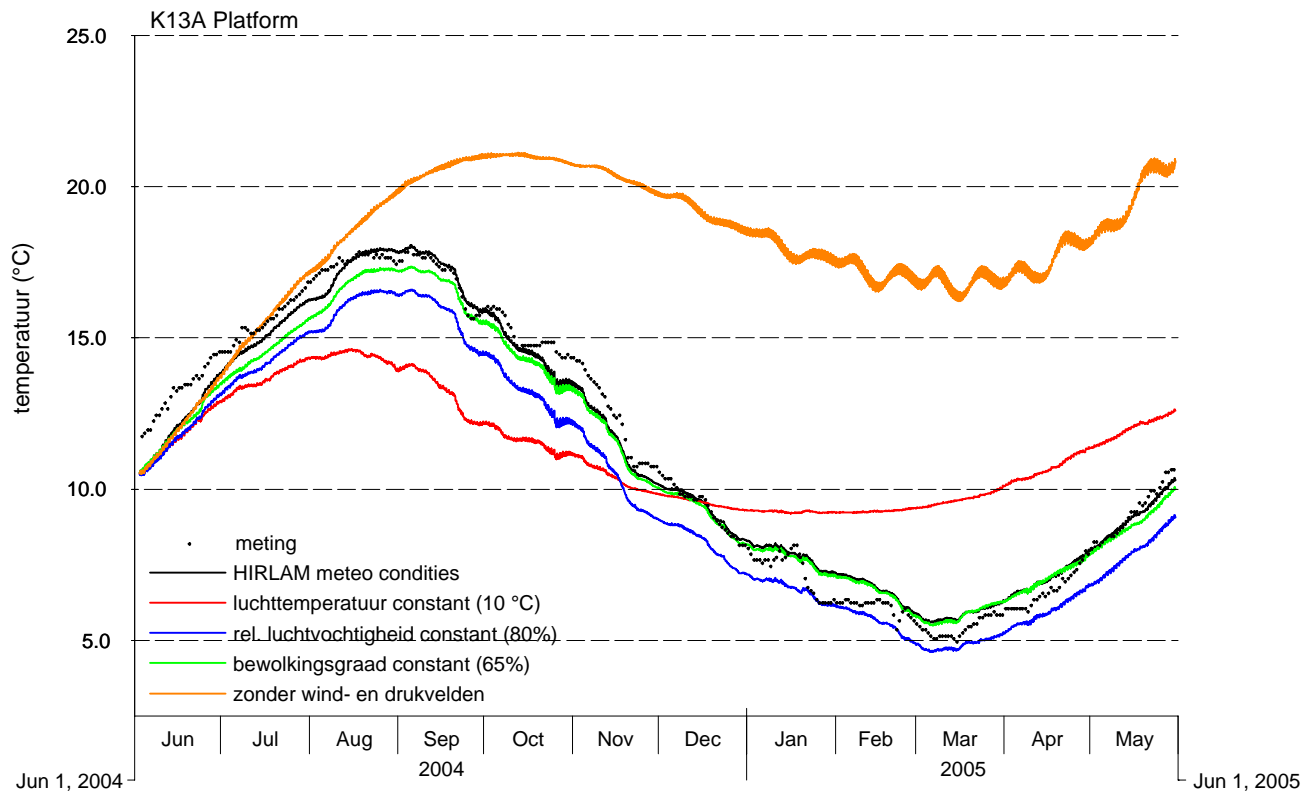
Vergelijking berekende en gemeten saliniteit, verloop BIAS (boven) en RMSE₀ (onder) over het jaar voor de verschillende modelsimulaties, stations Zege

Kustzuid model



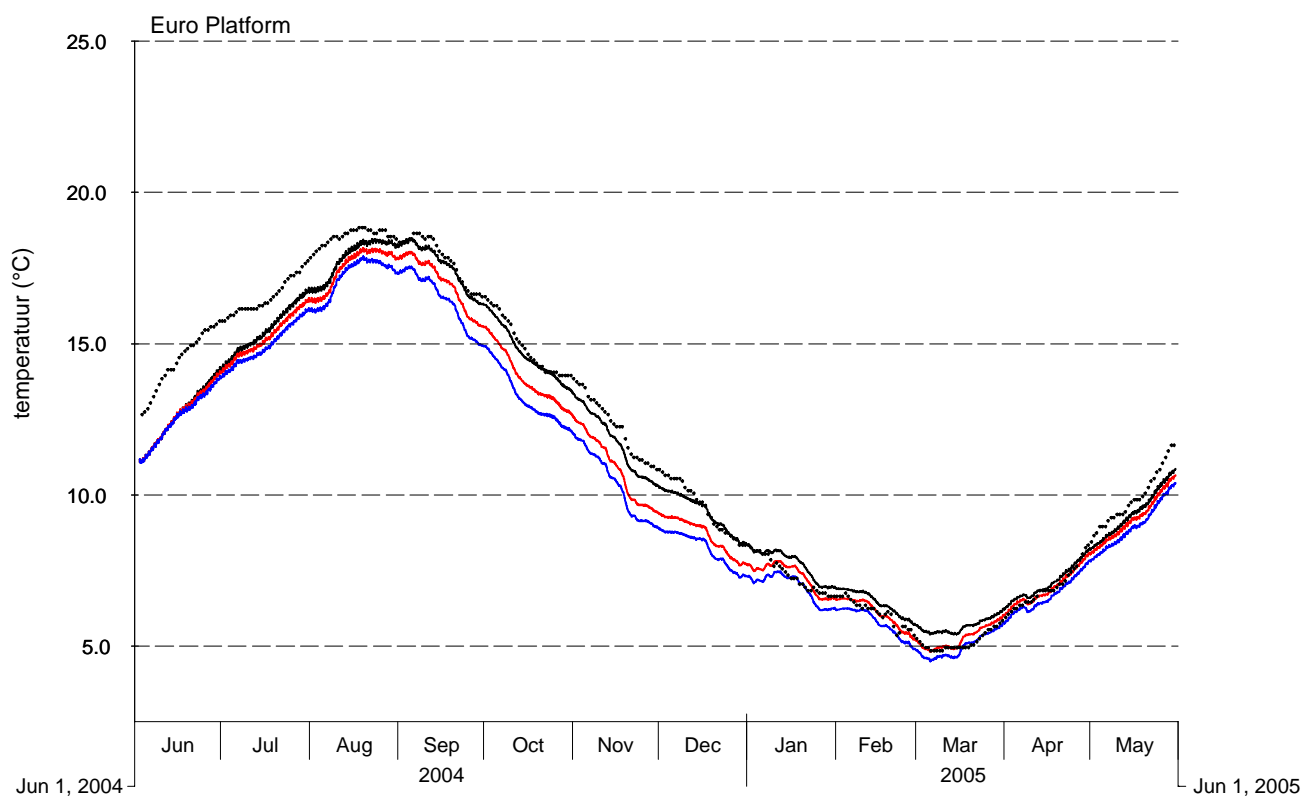
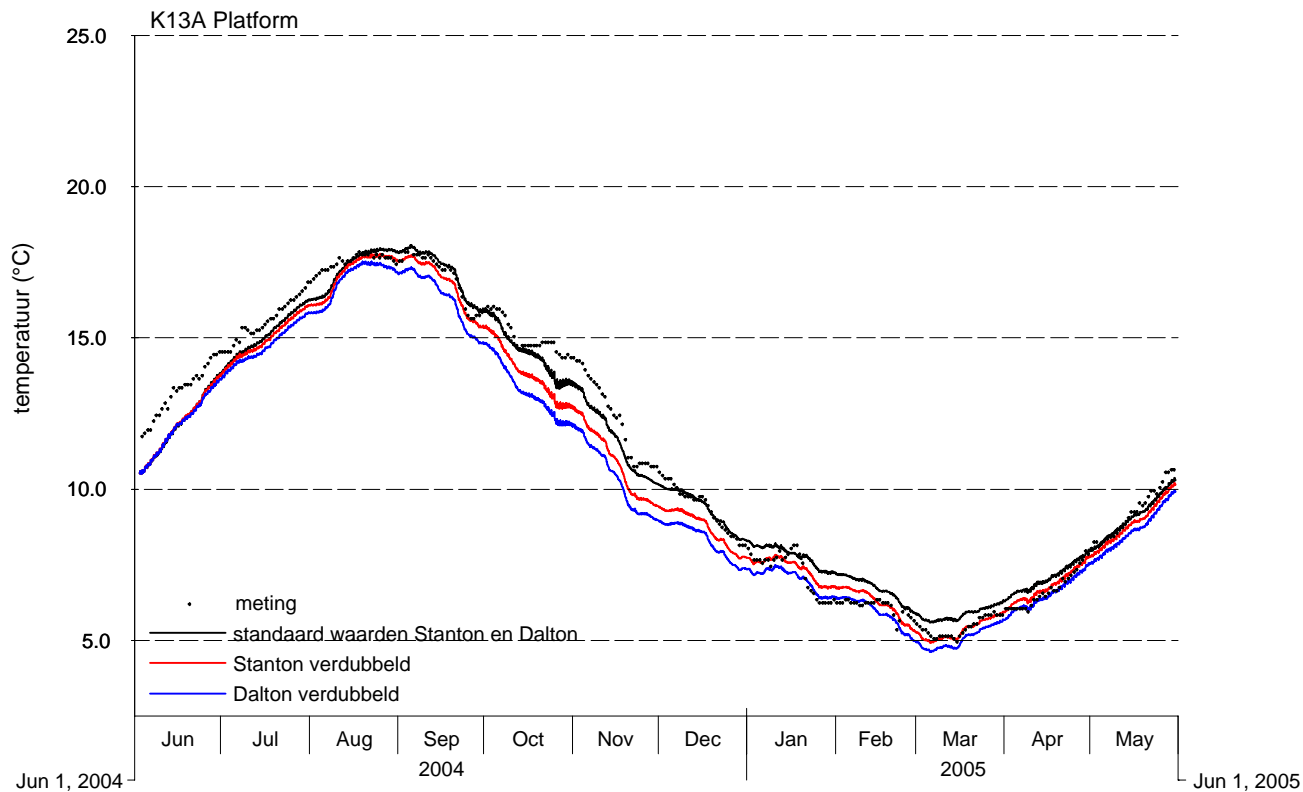
Vergelijking temperatuur K13A Platform (boven) en Euro Platform (onder), effect keuze interpolatiepolygoon referentieberekening en varianten 1 t/m 3

CSM8 model



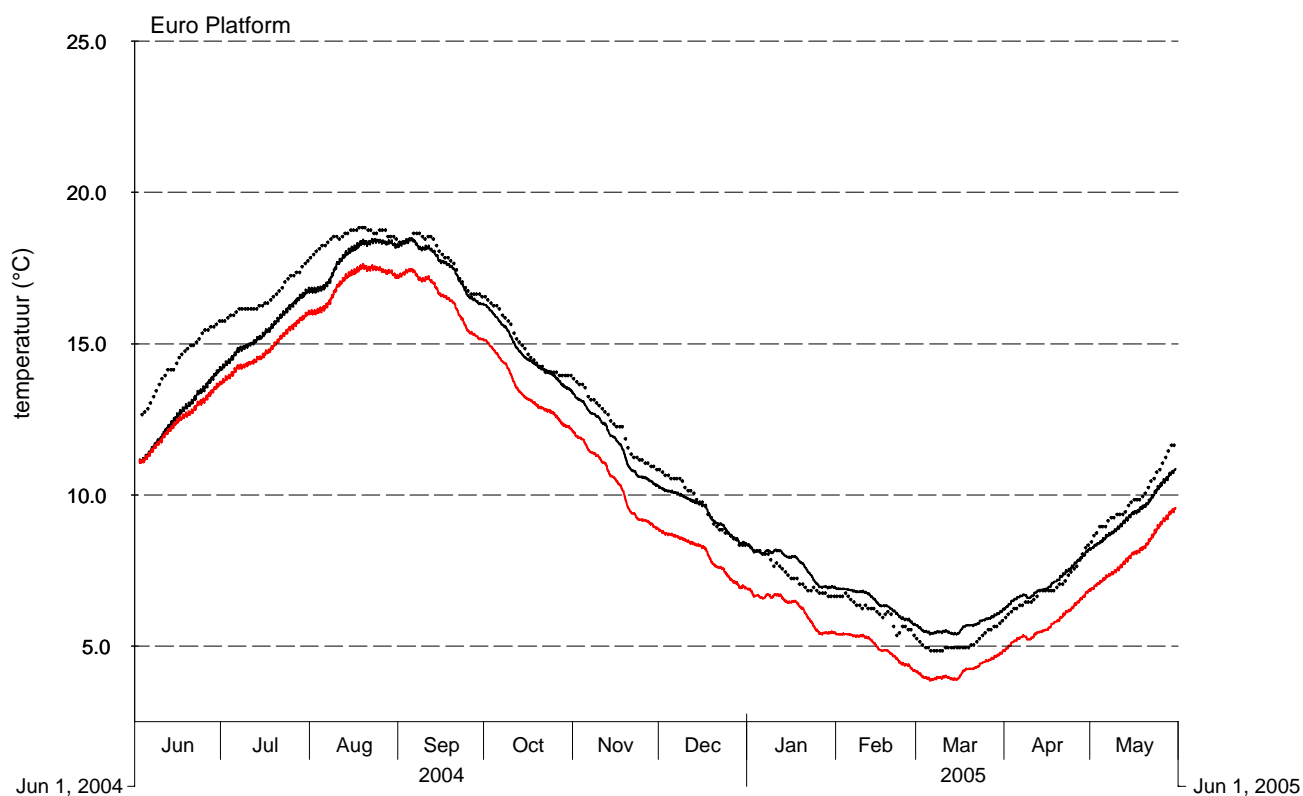
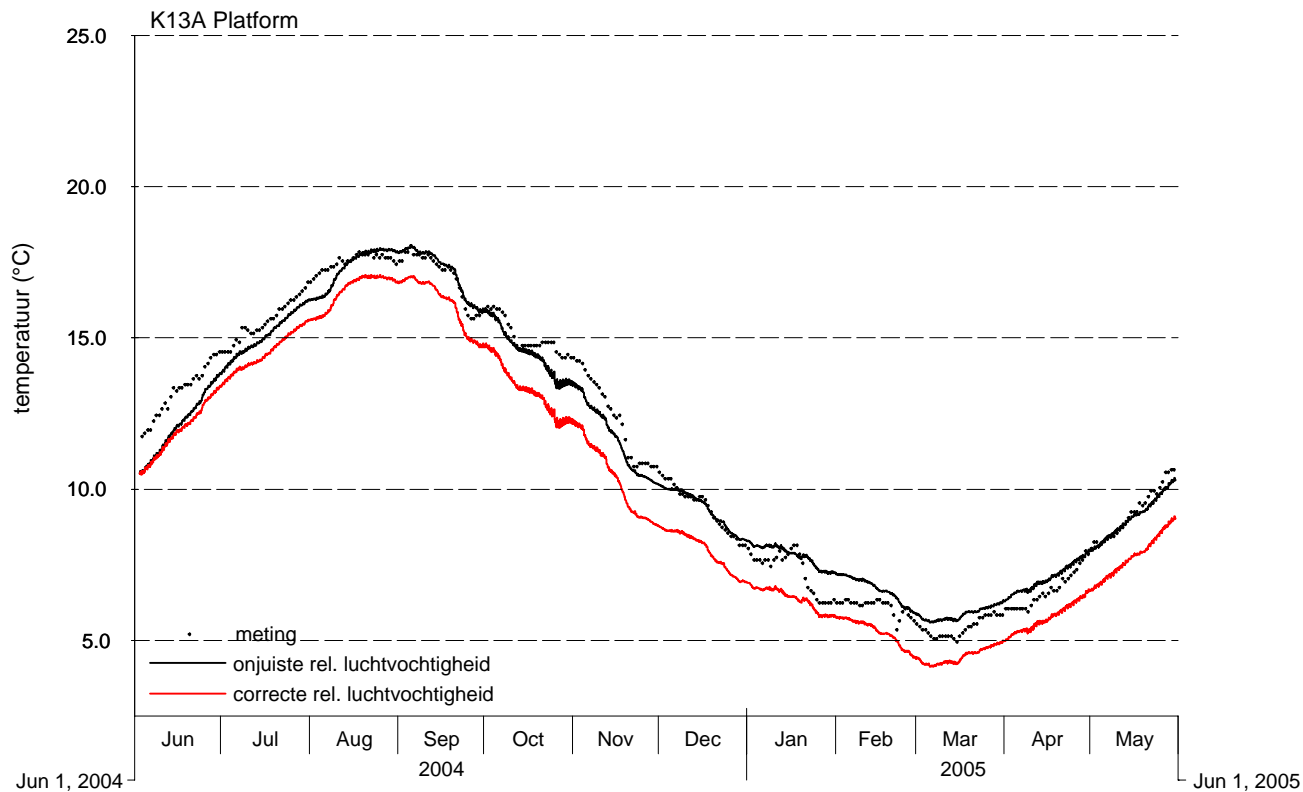
Vergelijking temperatuur K13A Platform (boven) en Euro Platform (onder), effect constante meteo-grootheden referentieberekening en varianten 4 t/m 7

CSM8 model



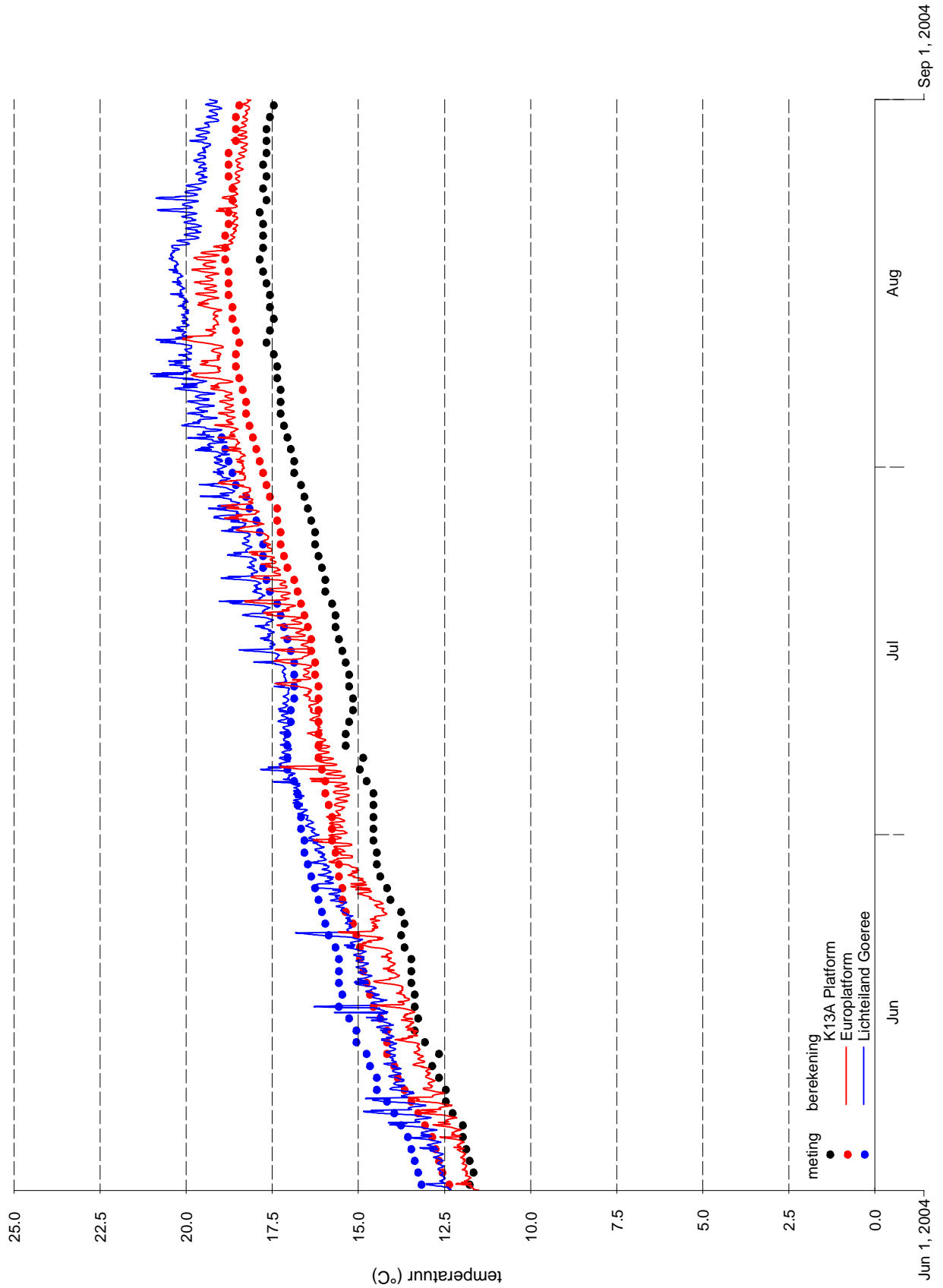
Vergelijking temperatuur K13A Platform (boven) en Euro Platform (onder), effect Stanton en Dalton parameters referentieberekening en varianten 8 en 9

CSM8 model



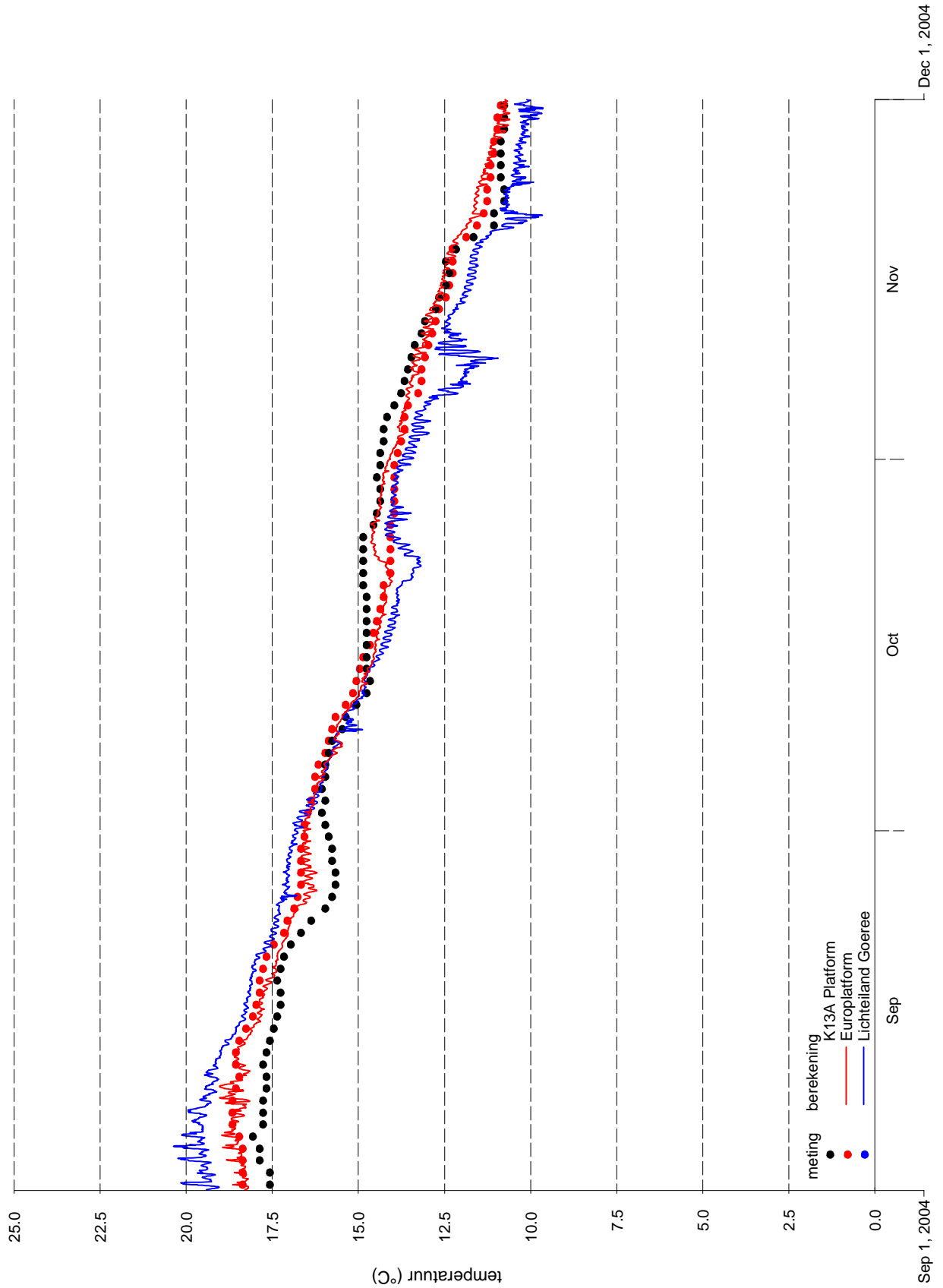
Vergelijking temperatuur K13A Platform (boven) en Euro Platform (onder), effect correcte relatieve luchtvochtigheid referentieberekening en variant 10

CSM8 model	



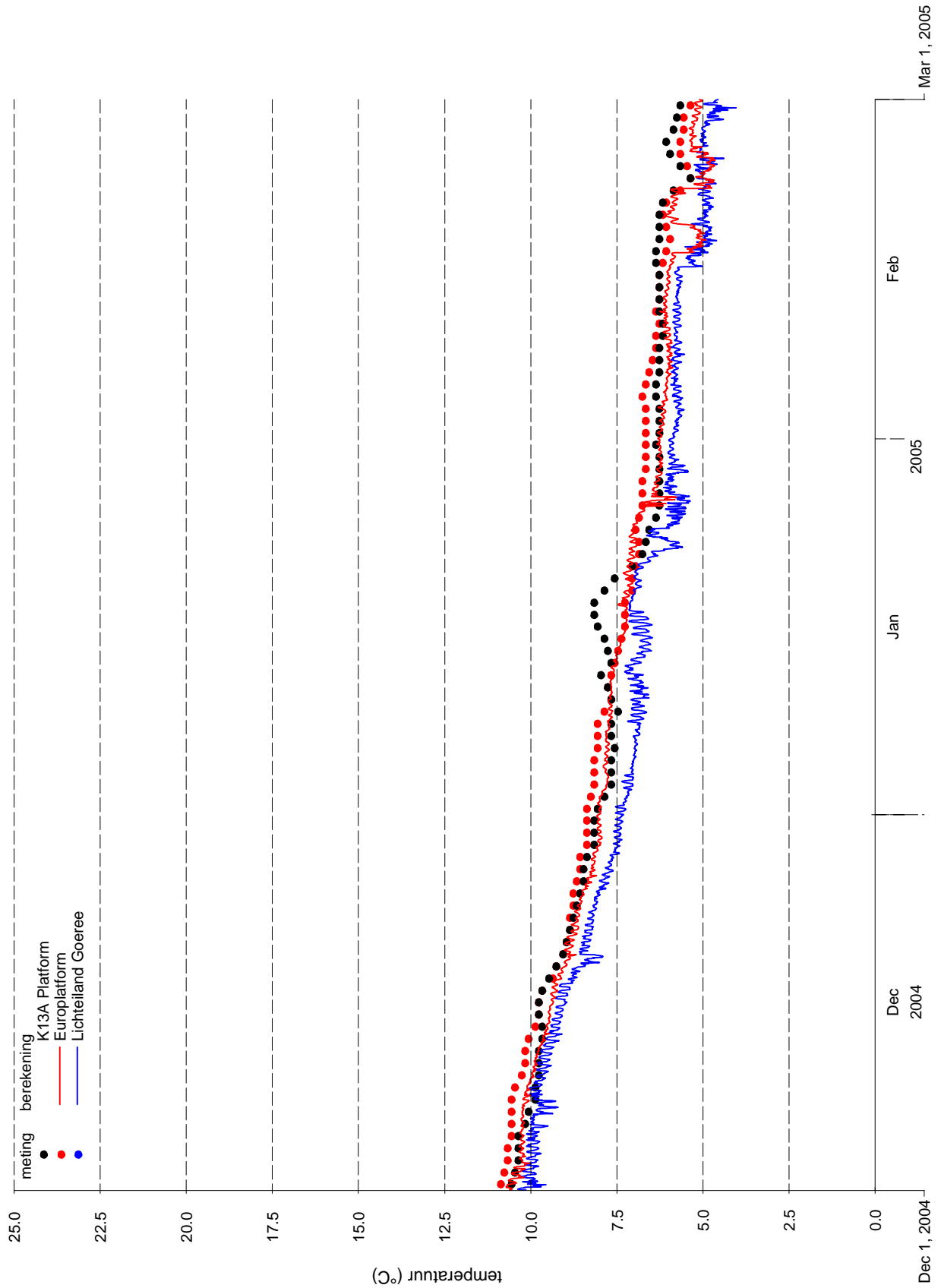
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlaktetemperatuur 1e kwartaal 2004-2005, Waterbase-stations Europlatf. en L.E.Goeree en de randvoorwaarde K13A Platf.

Kustzuid model



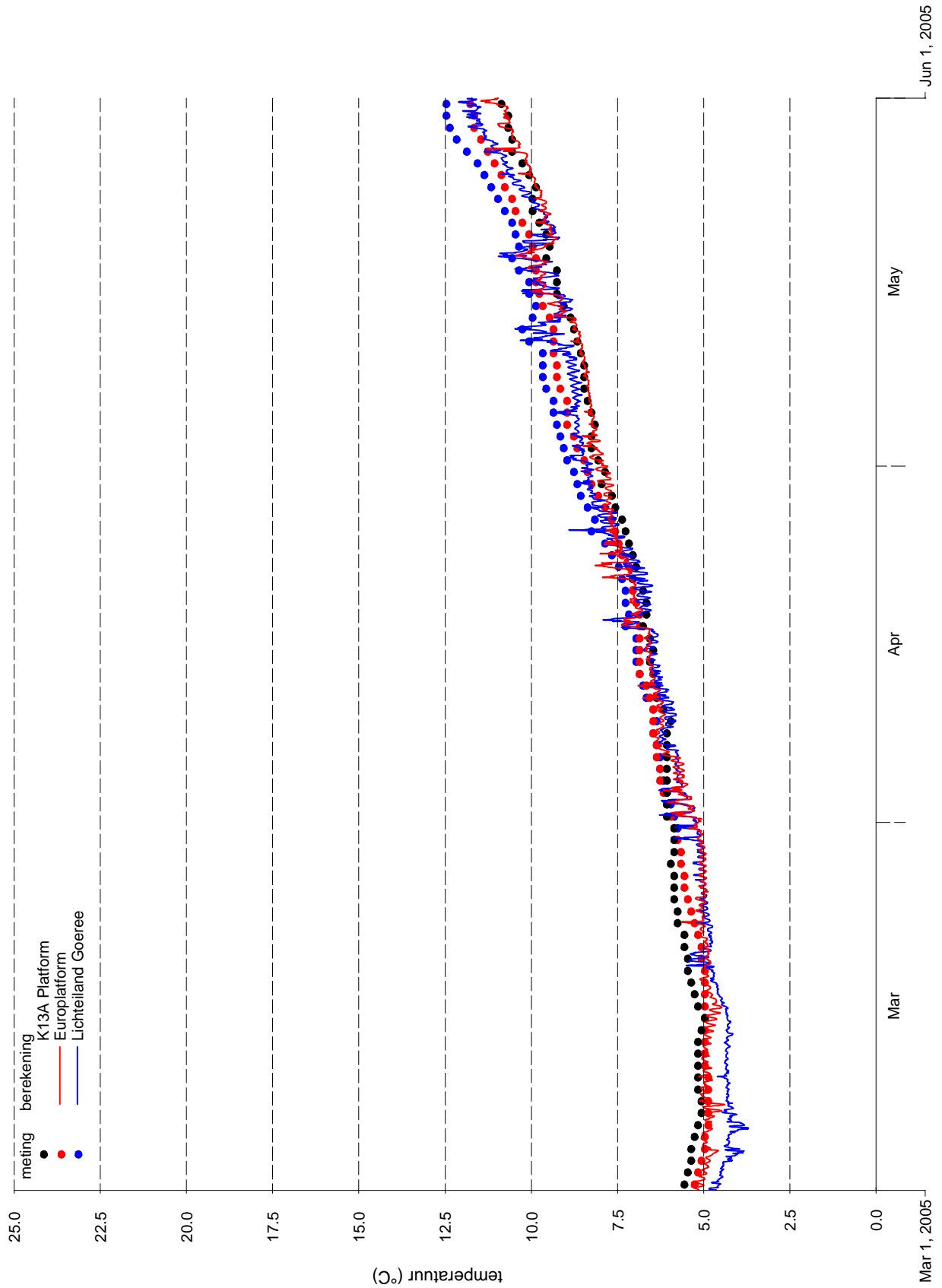
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlaktetemperatuur 2e kwartaal 2004-2005, Waterbase-stations Europlatf. en L.E.Goeree en de randvoorwaarde K13A Platf.

Kustzuid model



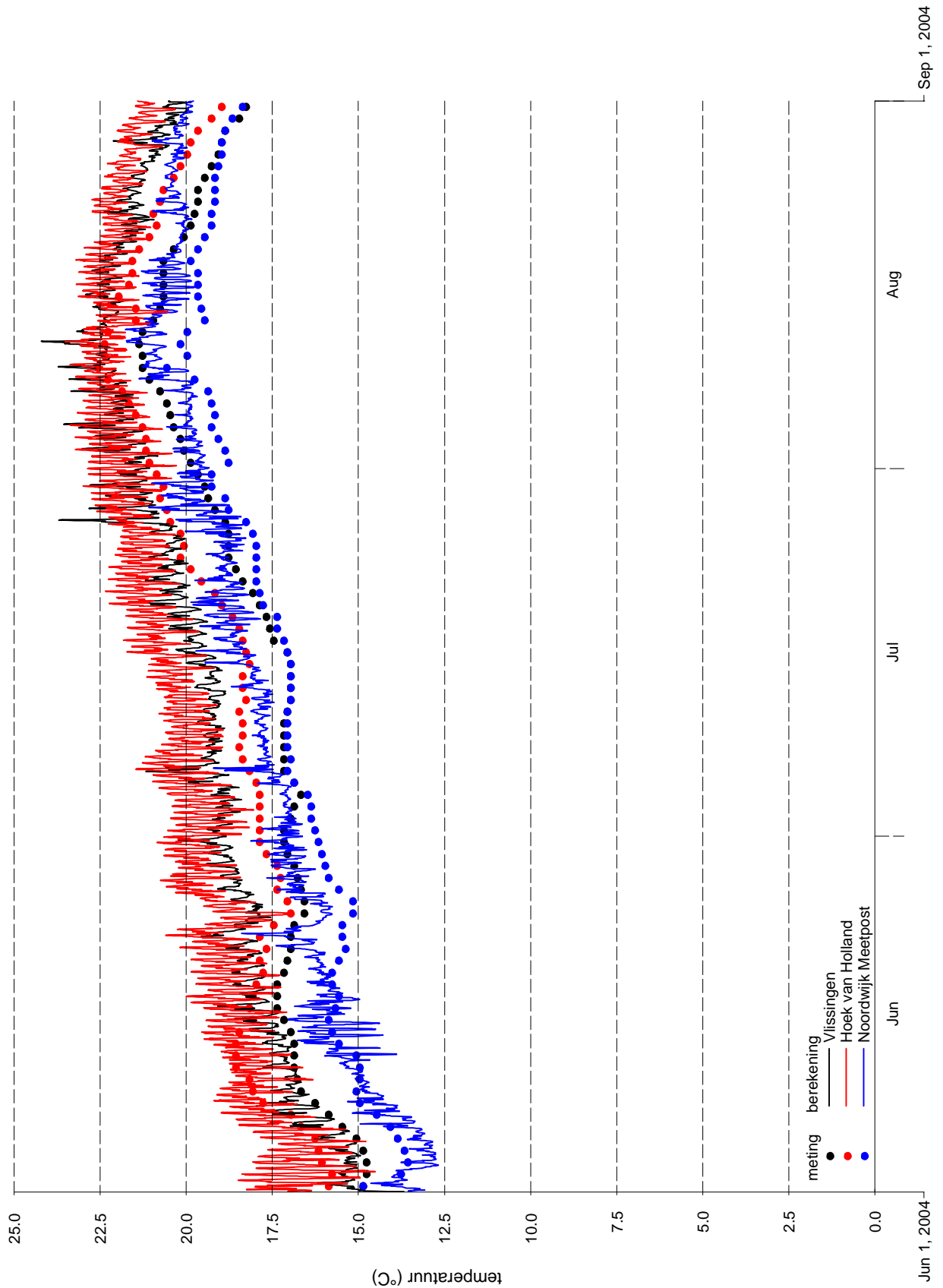
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlaktetemperatuur 3e kwartaal 2004-2005, Waterbase-stations Europlatf. en L.E.Goeree en de randvoorwaarde K13A Platf.

Kustzuid model



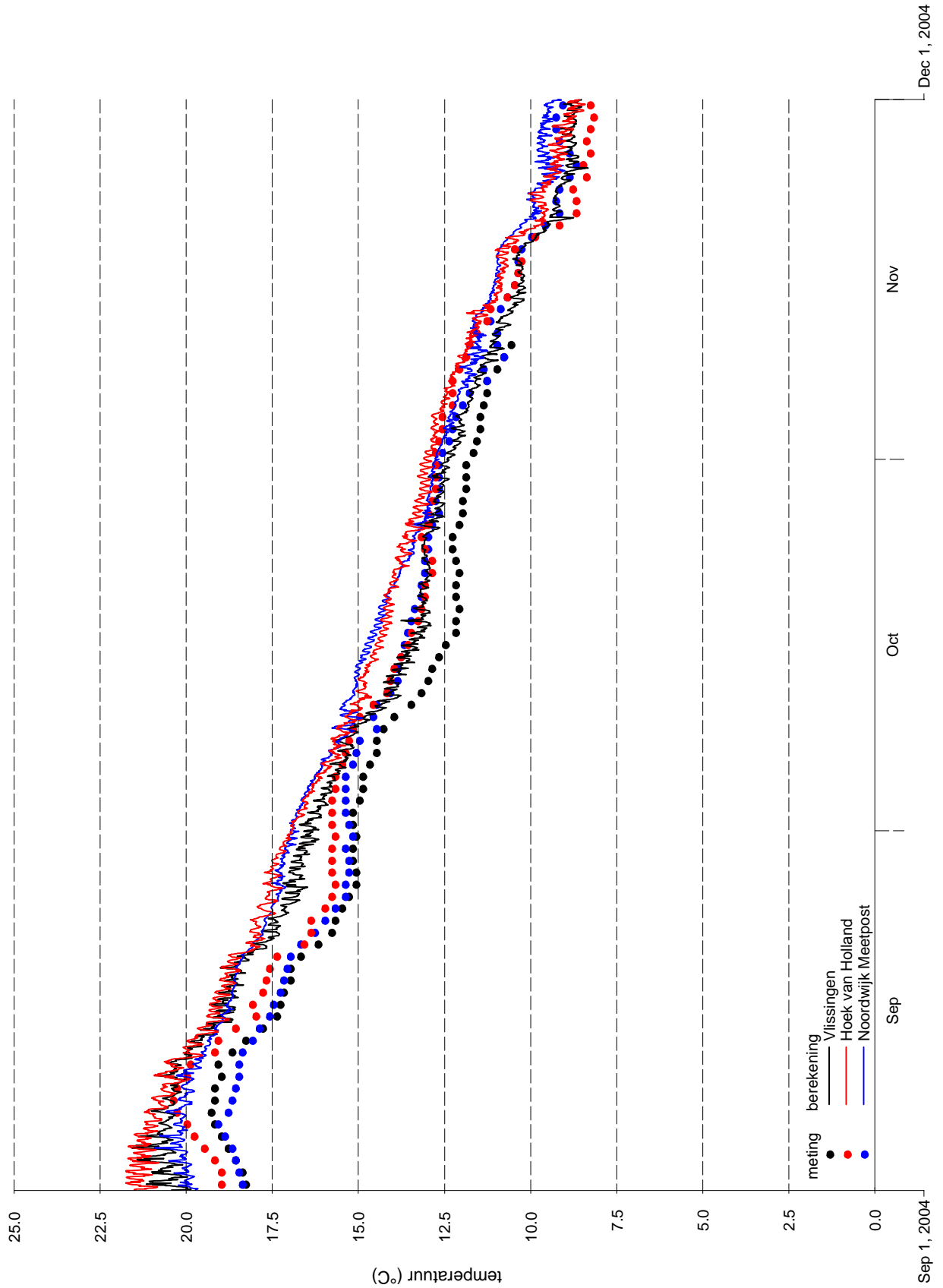
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlaktetemperatuur 4e kwartaal 2004-2005, Waterbase-stations Europlatf. en L.E.Goeree en de randvoorwaarde K13A Platf.

Kustzuid model



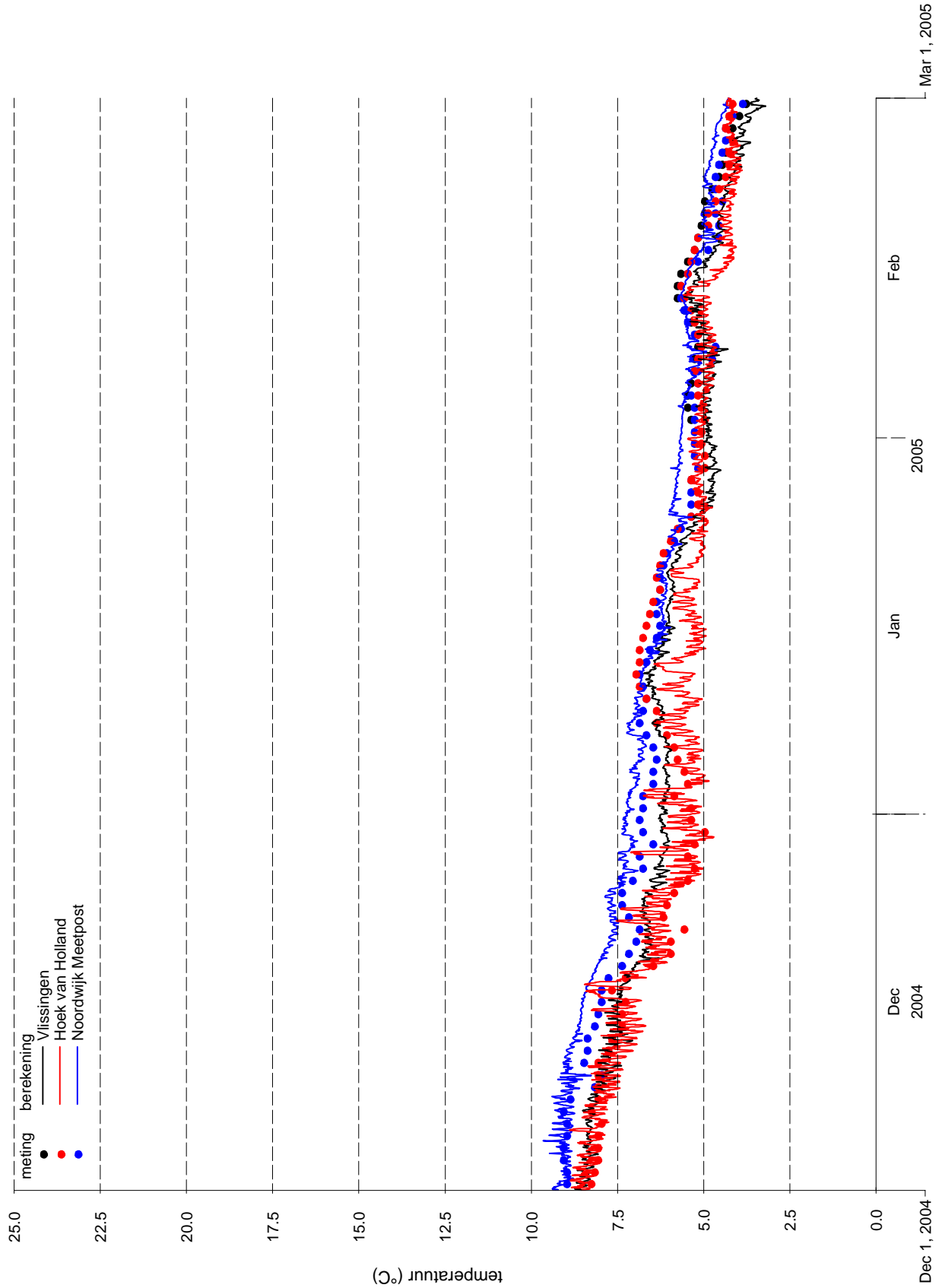
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlaktetemperatuur 1e kwartaal 2004-2005, Waterbase-stations Vlissingen, Hoek van Holland en Noordwijk Meetpost

Kustzuid model



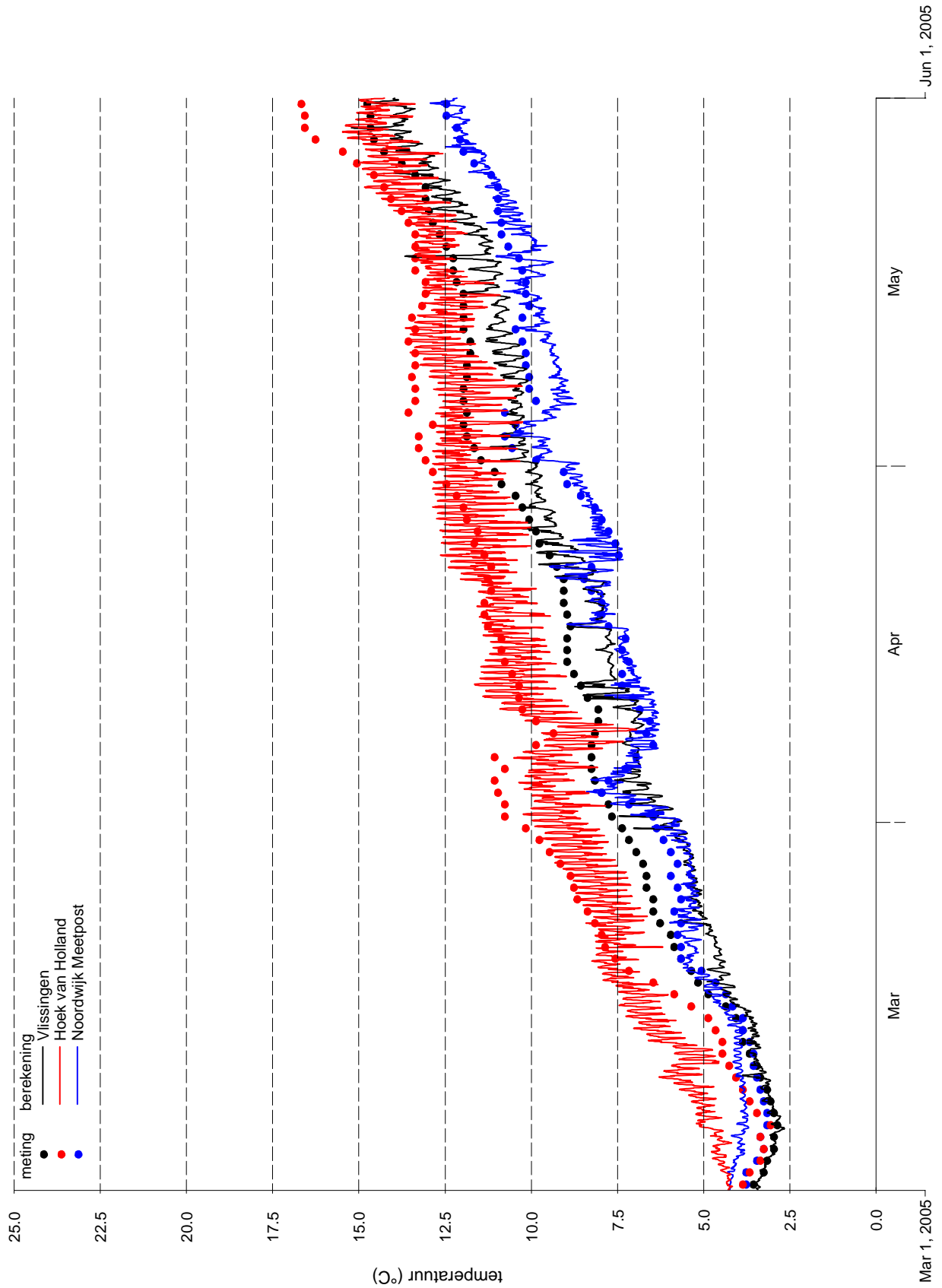
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlaktetemperatuur 2e kwartaal 2004-2005, Waterbase-stations Vlissingen, Hoek van Holland en Noordwijk Meetpost

Kustzuid model



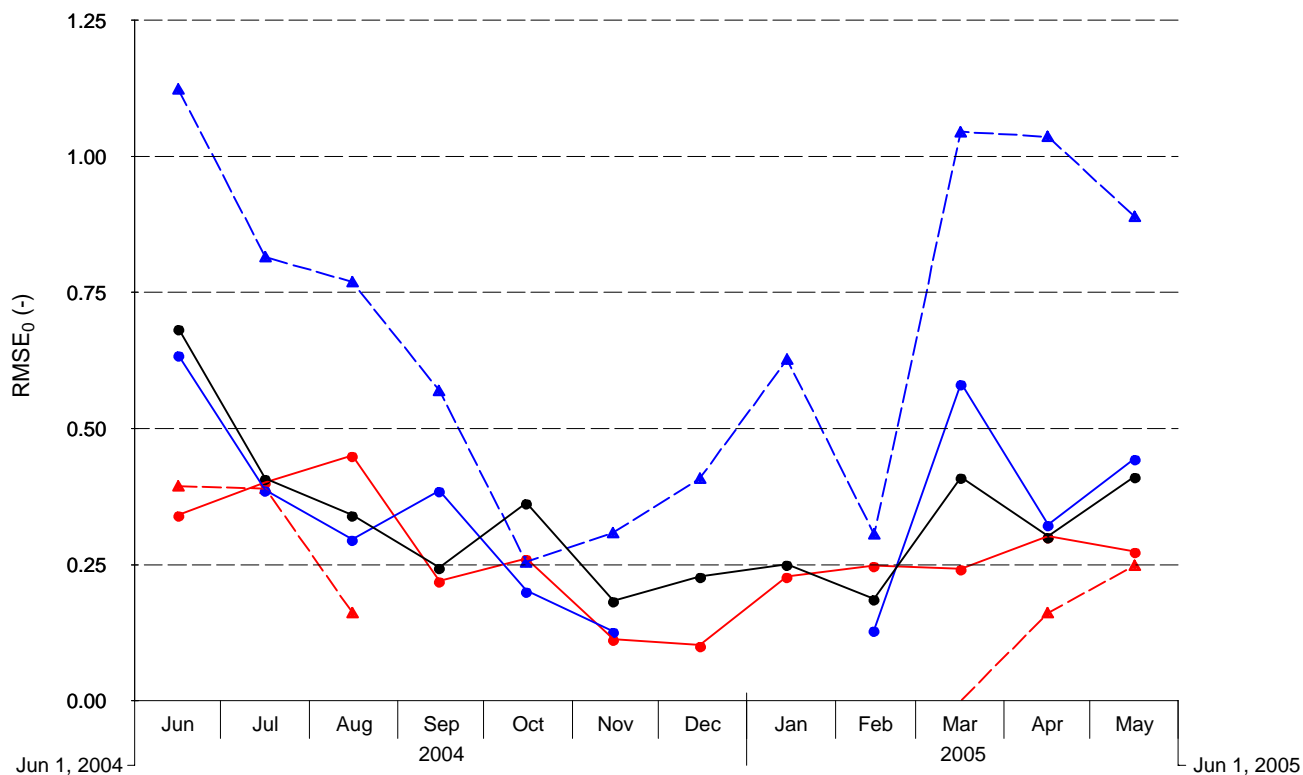
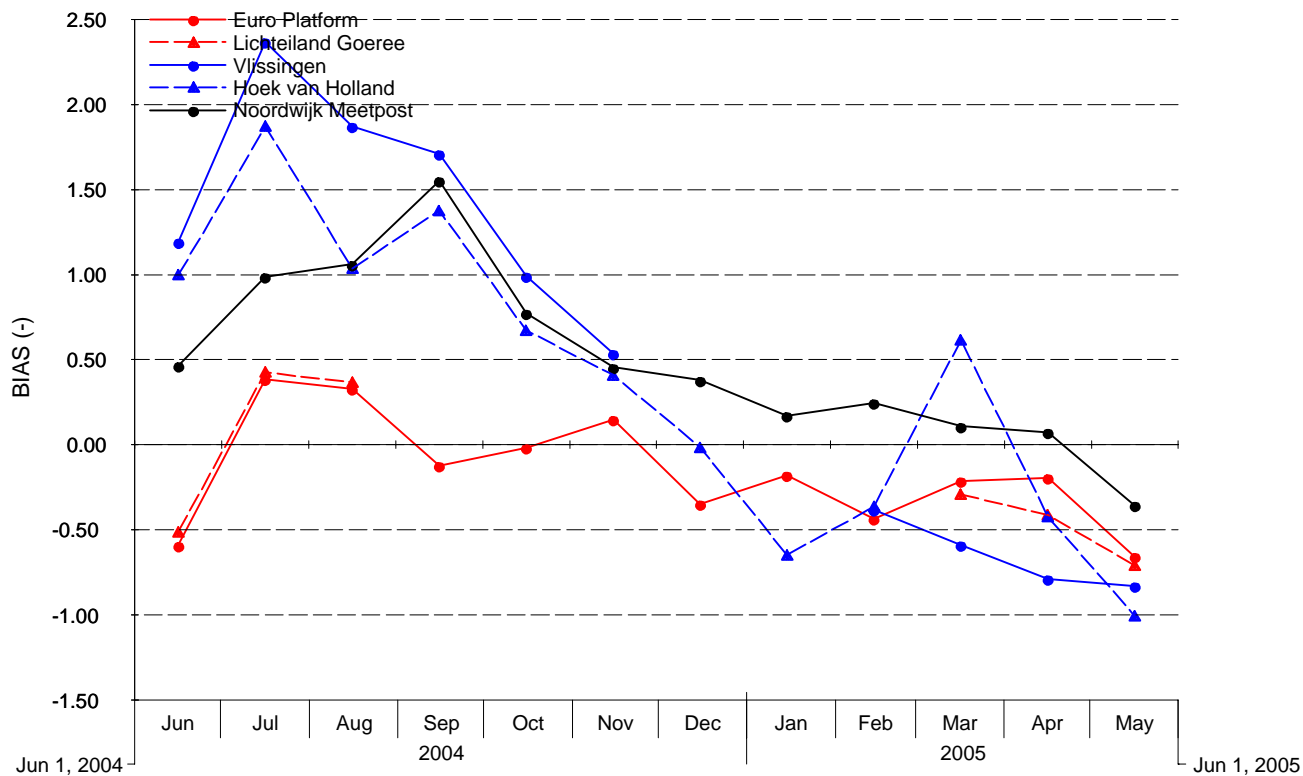
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlaktetemperatuur 3e kwartaal 2004-2005, Waterbase-stations Vlissingen, Hoek van Holland en Noordwijk Meetpost

Kustzuid model



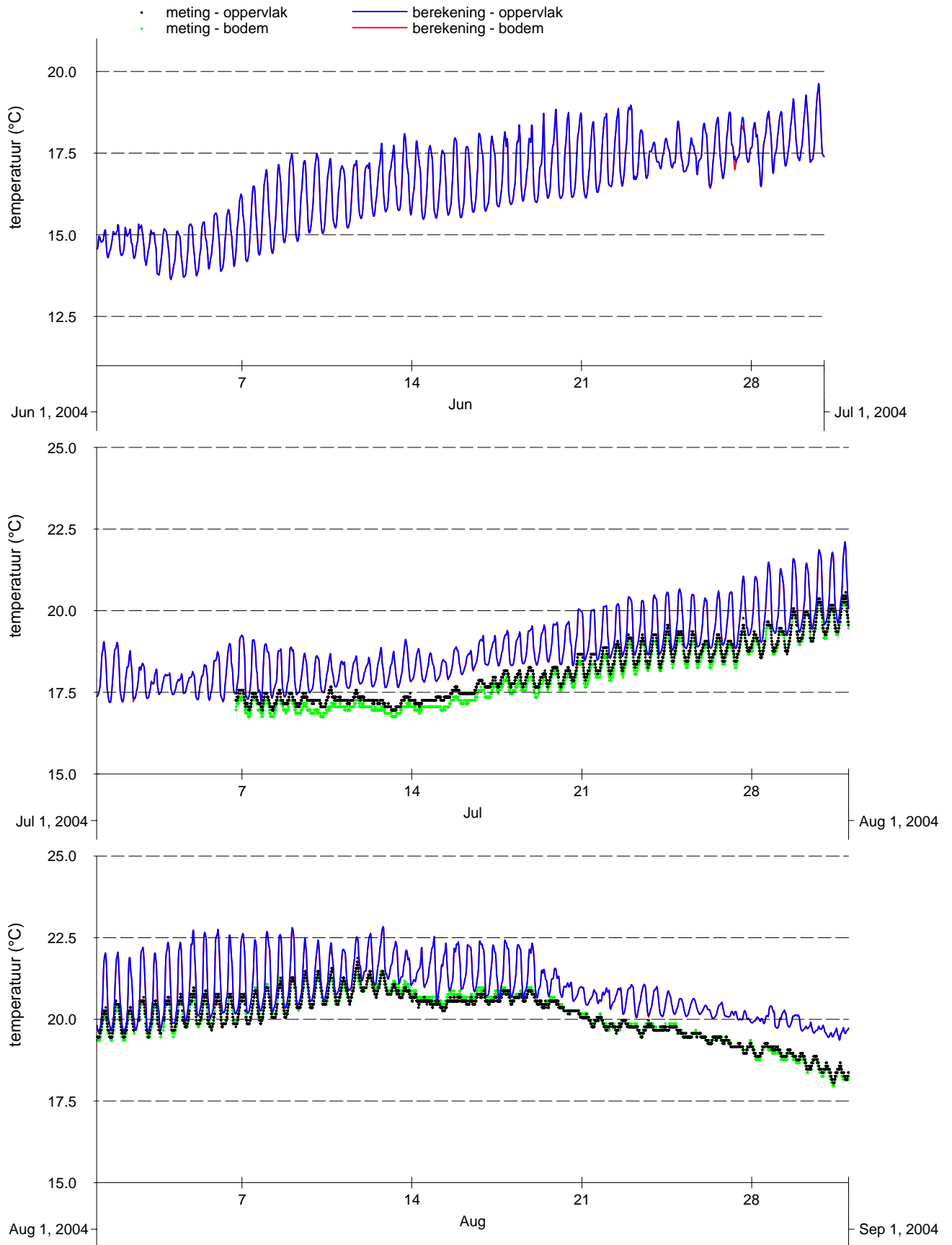
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlaktetemperatuur 4e kwartaal 2004-2005, Waterbase-stations Vlissingen, Hoek van Holland en Noordwijk Meetpost

Kustzuid model



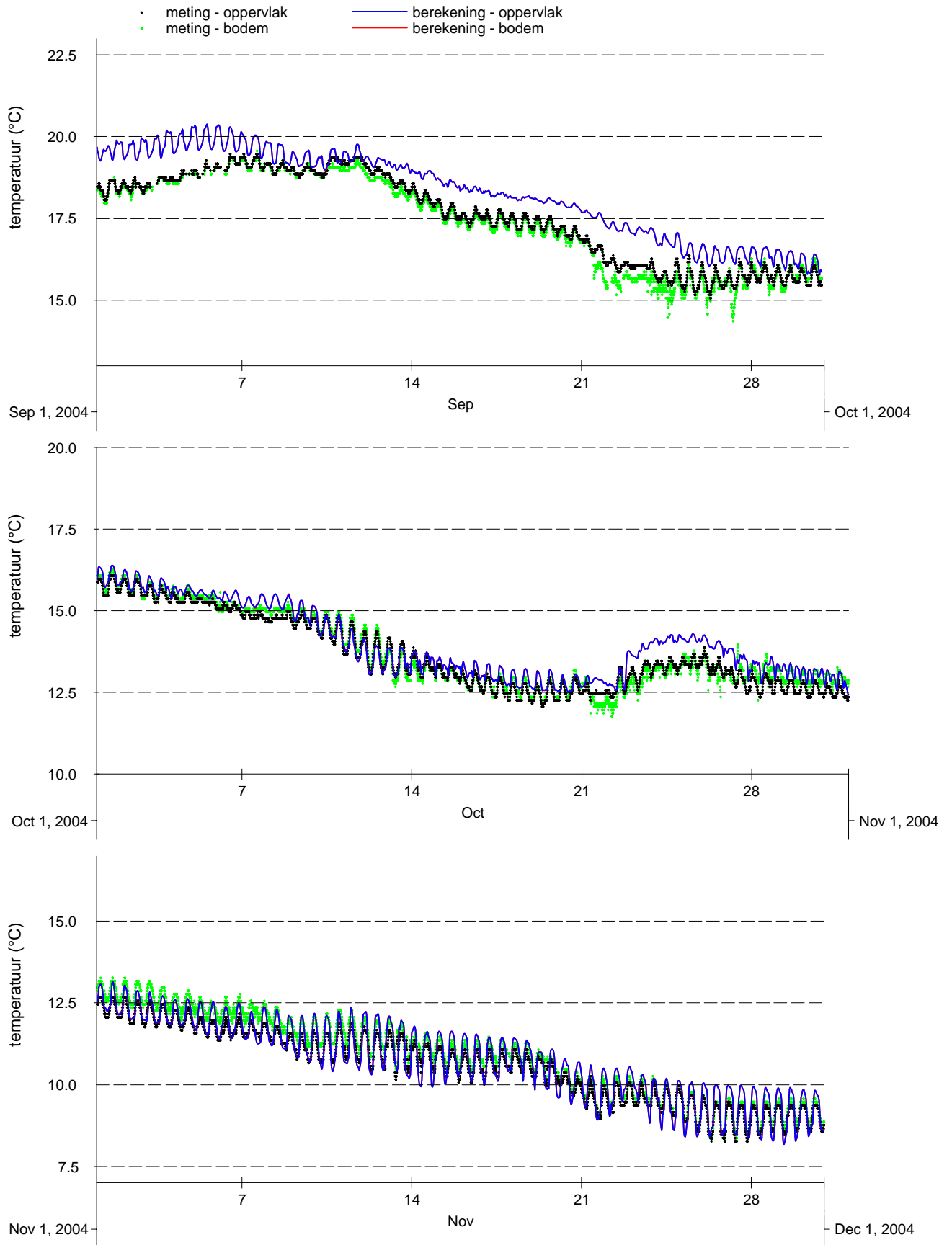
Vergelijking berekende en gemeten temperatuur, verloop BIAS (boven) en RMSE₀ (onder) over het jaar voor de verschillende modelsimulaties, stations Waterbase

Kustzuid model



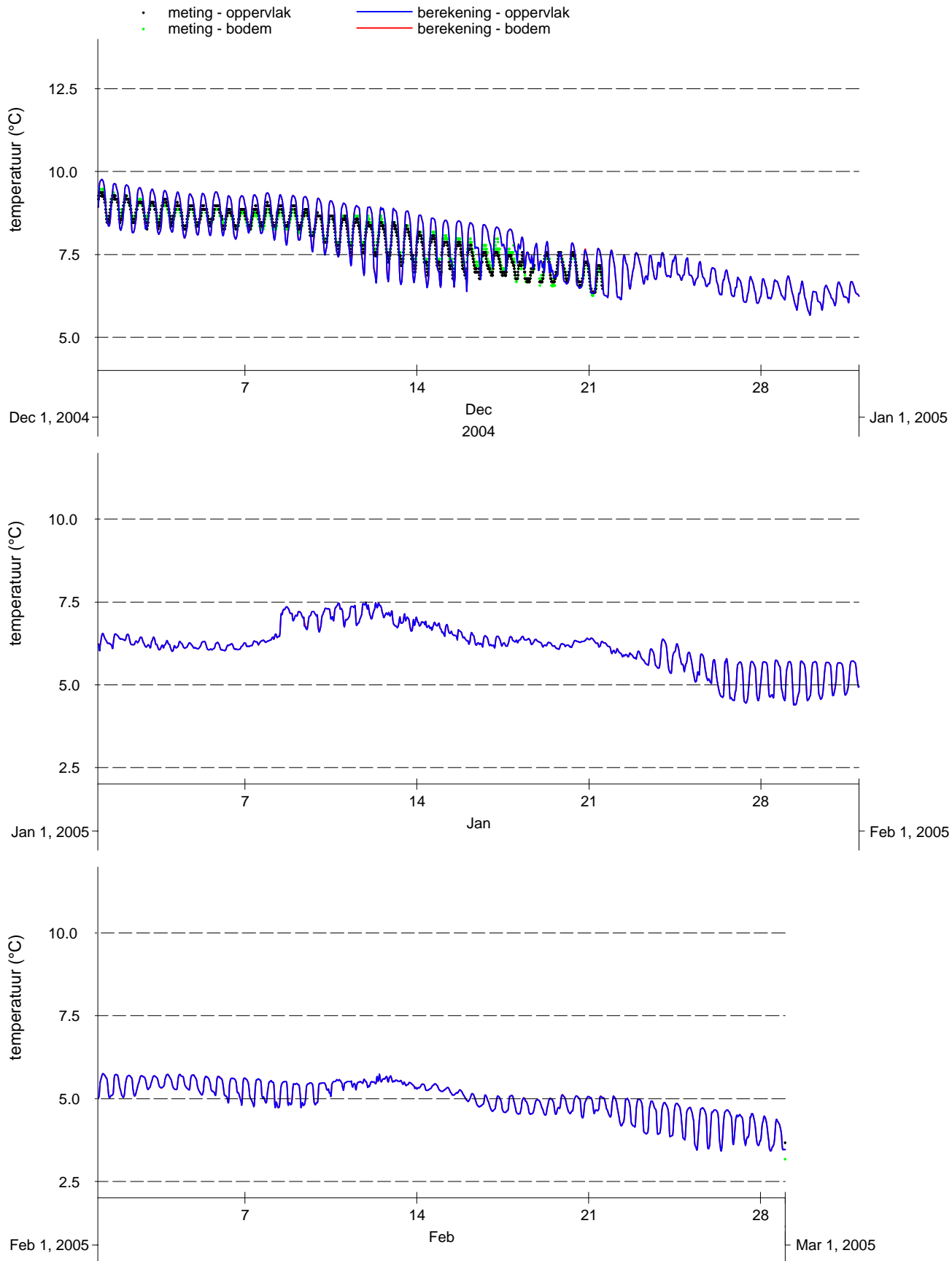
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemtemperatuur 1e kwartaal 2004-2005, Zege-station Vlakte van de Raan

Kustzuid model



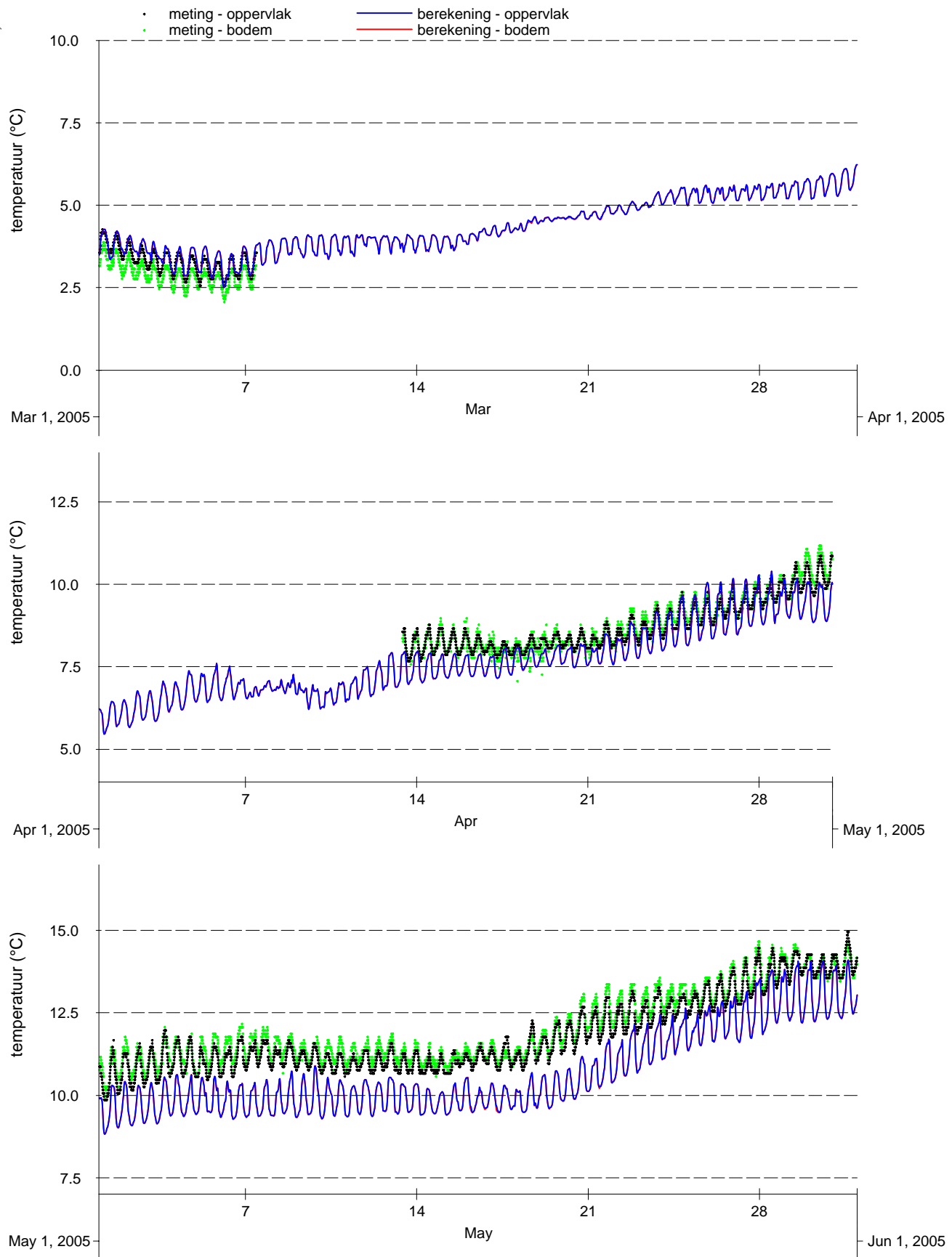
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemtemperatuur 2e kwartaal 2004-2005, Zege-station Vlakte van de Raan

Kustzuid model



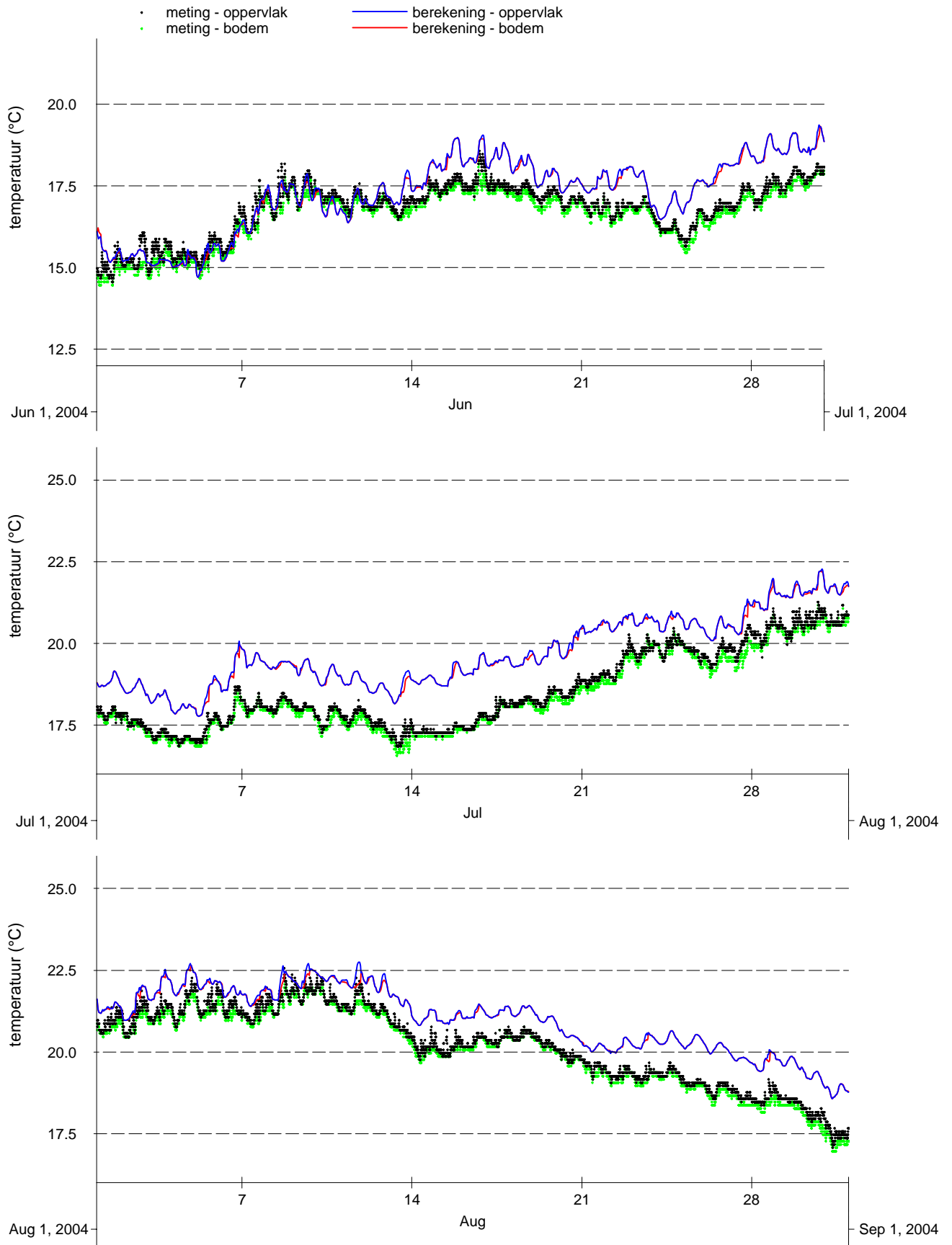
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemtemperatuur 3e kwartaal 2004-2005, Zege-station Vlakte van de Raan

Kustzuid model



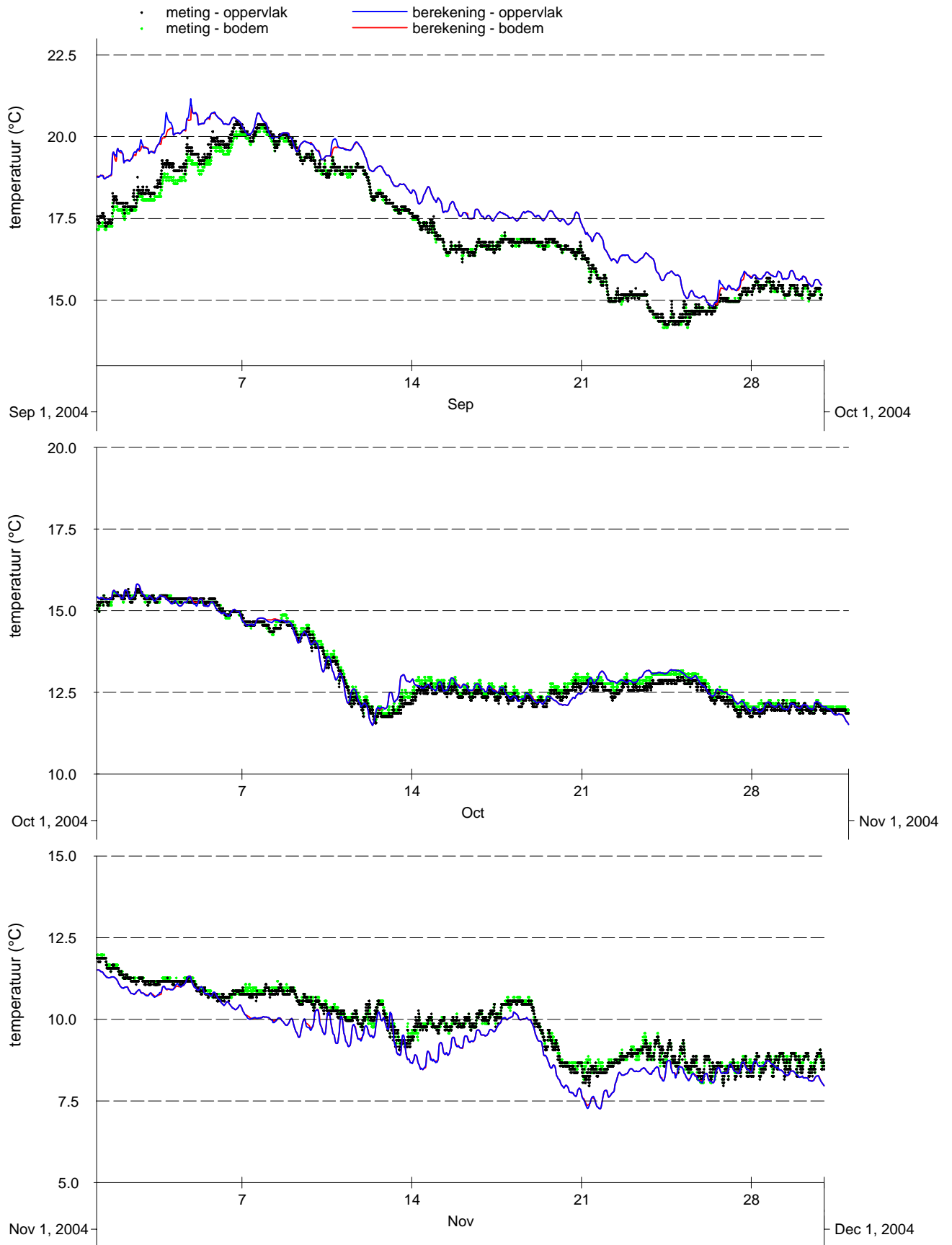
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemtemperatuur 4e kwartaal 2004-2005, Zege-station Vlakte van de Raan

Kustzuid model



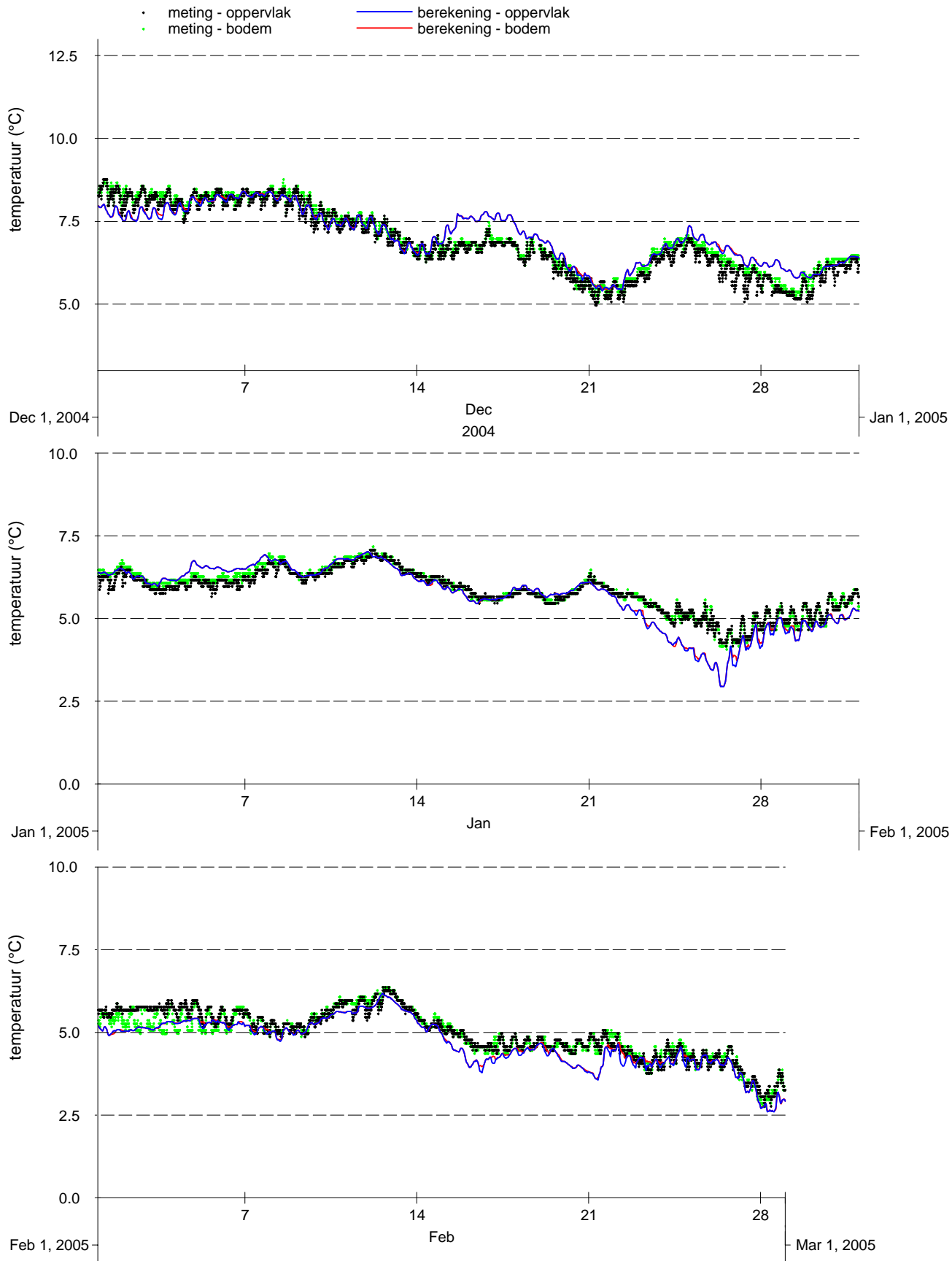
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemtemperatuur 1e kwartaal 2004-2005, Zege-station Brouwershavensche Gat 8

Kustzuid model



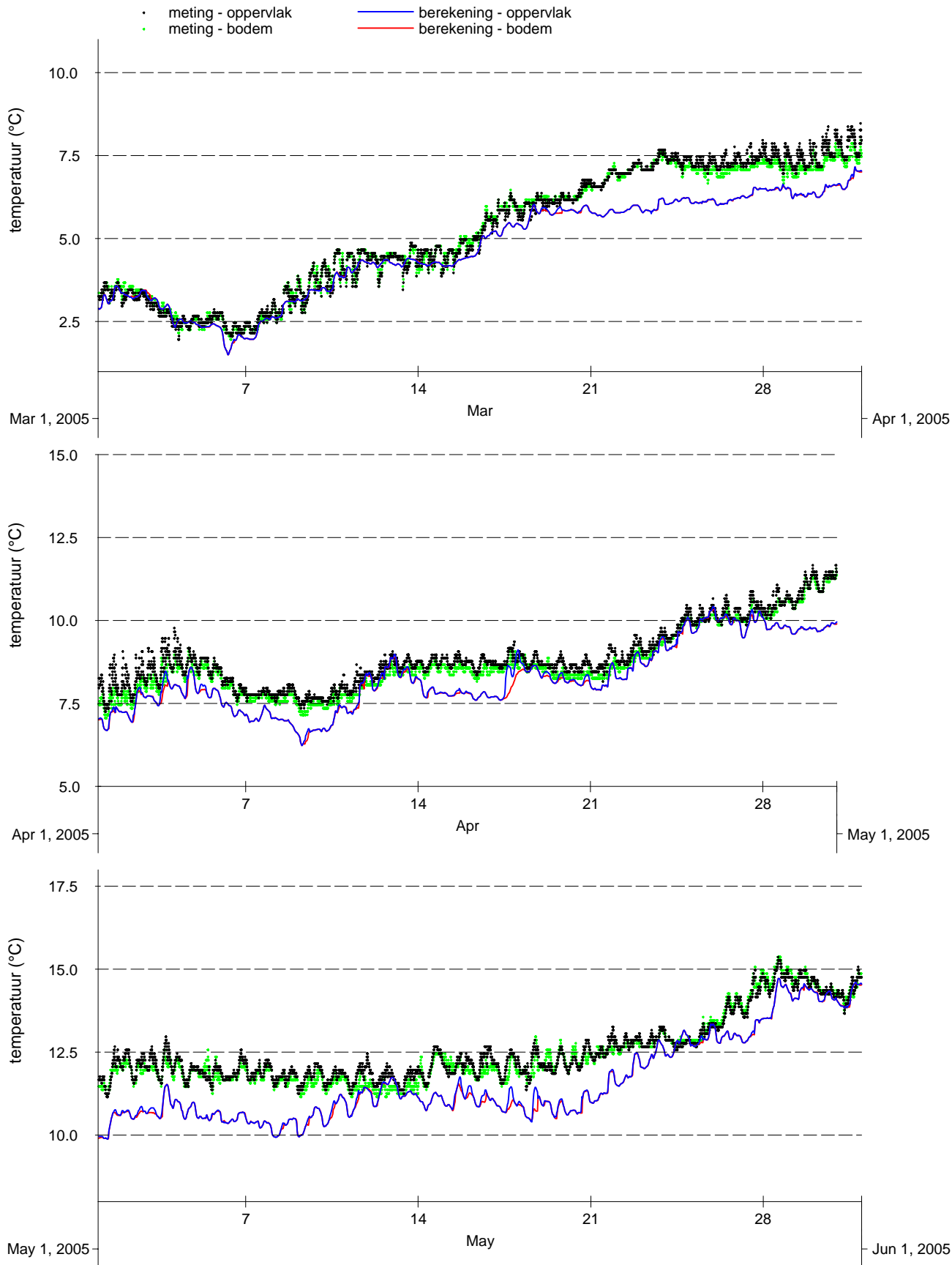
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemtemperatuur 2e kwartaal 2004-2005, Zege-station Brouwershavensche Gat 8

Kustzuid model



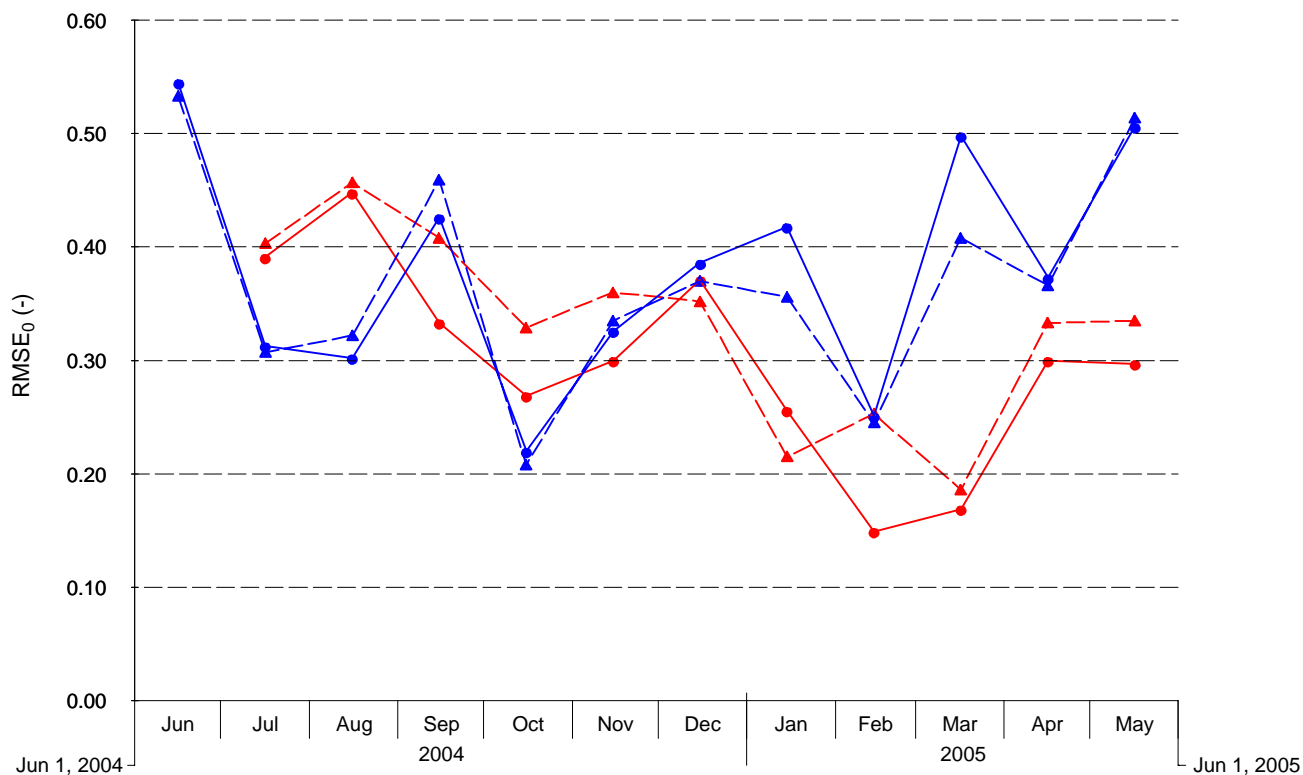
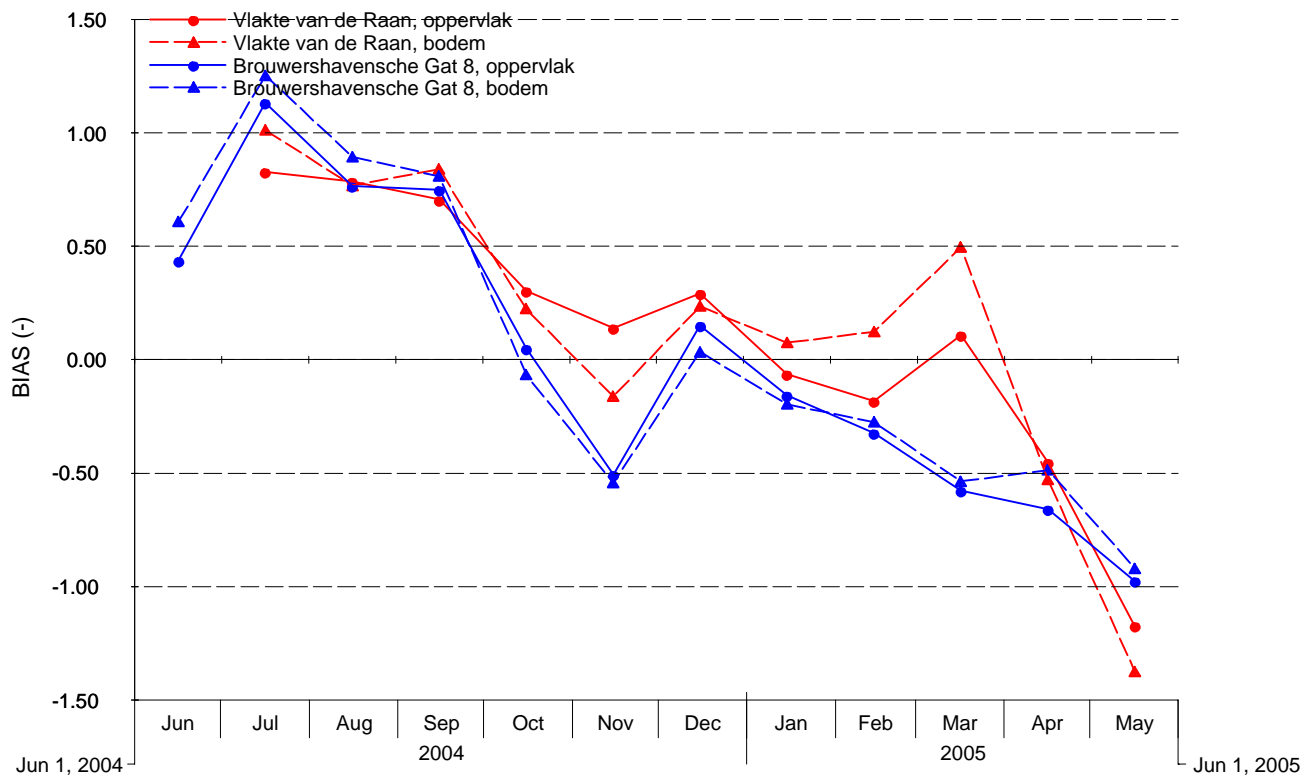
Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen),
 oppervlakte- en bodemtemperatuur 3e kwartaal 2004-2005, Zege-
 station Brouwershavensche Gat 8

Kustzuid model



Vergelijking metingen (punten) en modelresultaten (lijnen), oppervlakte- en bodemtemperatuur 4e kwartaal 2004-2005, Zege-station Brouwershavensche Gat 8

Kustzuid model



Vergelijking berekende en gemeten temperatuur, verloop BIAS (boven) en RMSE₀ (onder) over het jaar voor de verschillende modelsimulaties, stations Zege

Kustzuid model