

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, RIZA

## Implementeren verbeteringen in het landelijk temperatuurmodel

Rapport

november 2007

Opdrachtgever:

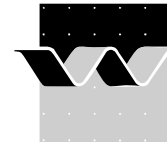
Rijkswaterstaat, RIZA

## Implementeren verbeteringen in het landelijk temperatuurmodel

Pascal Boderie, Ton Visser

Rapport

november 2007



Opdrachtgever:	Rijkswaterstaat, RIZA						
Titel:	Implementeren verbeteringen in het landelijk temperatuurmodel						
Samenvatting:							
<p>Het Landelijk Temperatuurmodel is geschikt om de watertemperatuur in Nederlandse rijkswateren te berekenen. Het model simuleert de watertemperatuur als gevolg van de stralingsbalans en voegt daaraan de temperatuurverhoging als gevolg van warmtelozingen toe. In het model is een groot aantal veldmetingen van watertemperatuur voor de periode 2001-2004 beschikbaar.</p> <p>In 2004 is de eerste versie van dit model ontstaan. In 2005 is dit model zonder kalibratie toegepast. In 2006 is het model geverifieerd, en daaruit volgden aanbevelingen voor verbetering van de performance van het model. Een aantal verbeteringen en uitbreidingen is met succes uitgevoerd in deze studie. Het model is op de volgende punten verbeterd: waterbeweging, schematisatie, randvoorwaarden (in de Roer worden nu meetwaarden van de watertemperatuur gebruikt en uit de randvoorwaarden bij Eijsden is een storende fout gehaald) en de watertemperatuur van laterale debieten is verbeterd door deze af te leiden van de luchttemperatuur van het dichtstbijzijnde weerstation. Daarnaast is het model uitgebreid. Het zelfkoelingsgetal van warmtelozingen wordt door het model zelf berekend en warmteuitwisseling met de bodem is toegevoegd. Toepassing van een ander warmte-flux model veranderde de resultaten van de simulaties niet wezenlijk wat de correctheid van de gebruikte formuleringen bevestigt.</p> <p>Het huidige model vertoont geen grote afwijkingen ten opzichte van de metingen. De beste prestatie van het model wordt bereikt op de centraal in het IJsselmeer en Markermeer gelegen meetpunten. De gewenste nauwkeurigheid van 0.5 °C wordt hier gehaald. Op locaties anders dan in het Zuidelijk deltabekken wordt dit resultaat niet gehaald. Als de grens voor de beoordeling "acceptabel" wordt verruimd naar 1.0 °C dan voldoet vrijwel het gehele model hieraan.</p> <p>De grootste onzekerheden in het model zitten in een aantal aspecten in de waterbeweging, inclusief laterale debieten.</p>							
Referentie	Verbetering landelijk temperatuurmodel / WRE ATB-nummer: 10081010						
Ver	Auteur		Datum	Opmerk.	Review		Goedkeuring
1.0	P.M.A. Boderie		22 November 2007		S. Groot		C.A. Bons
Projectnummer:	Q4421						
Trefwoorden:							
Aantal bladzijden:	42						
Classificatie:	Geen						
Status:	Definitief						

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>1-1</b>
1.1	Aanleiding .....	1-1
1.2	Doelstelling .....	1-1
1.3	Werkwijze .....	1-1
<b>2</b>	<b>Inrichting van het model .....</b>	<b>2-1</b>
2.1	Inleiding .....	2-1
2.2	Modelschematisatie .....	2-1
2.3	Modelranden .....	2-2
2.4	Meteorologie.....	2-3
2.4.1	Wolkbedekkingsgraad.....	2-3
2.4.2	Percentage zonneschijn.....	2-3
2.4.3	Windsnelheid .....	2-3
2.5	Warmtelozingen .....	2-3
2.6	Modelinstellingen .....	2-4
2.7	Waterbeweging .....	2-4
2.7.1	Deelmodel Maas .....	2-5
2.7.2	Deelmodel Rijntakken .....	2-5
2.7.3	Deelmodel ARK - NZK .....	2-5
2.8	Warmtemodel.....	2-6
2.8.1	Uitwisseling met de atmosfeer.....	2-6
2.8.2	Afkoeling van warmtelozingen.....	2-7
2.8.3	Uitwisseling met de bodem .....	2-9
<b>3</b>	<b>Gebruik Open Processenbibliotheek.....</b>	<b>3-1</b>
3.1	Aanpassingen proces meteo.....	3-1
3.2	Aanpassingen temperatuursprocessen .....	3-2
<b>4</b>	<b>Resultaten .....</b>	<b>4-1</b>
4.1	Beoordelingsmethode .....	4-1
4.2	Waterbeweging en schematisatie .....	4-4
4.3	Afvoer van de IJssel.....	4-7
4.4	Wind.....	4-7
4.5	Warmtemodel.....	4-7
4.6	Berekeningsmethode lozingen.....	4-9
4.7	Metingen Roer .....	4-10
4.8	Lateralen .....	4-13

4.8.1	Inleiding .....	4-13
4.8.2	Methodiek .....	4-13
4.9	Het verbeterde model.....	4-16
<b>5</b>	<b>Conclusies .....</b>	<b>5-1</b>
<b>6</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>6-1</b>

# I Inleiding

## I.1 Aanleiding

Ten behoeve van de ondersteuning van beleidsvragen, operationele vragen over waterbeheer en de vergunningverlening bij koelwaterlozingen is de laatste jaren gebouwd aan een landelijk temperatuurmodel. De invloed van koelwaterlozingen op de watertemperatuur van het oppervlaktewater in de Rijkswateren is één van de aspecten die met het model bestudeerd kunnen worden.

In 2004 is de eerste versie van dit model ontstaan. In 2005 is dit model zonder kalibratie toegepast. In 2006 is het model geverifieerd. De verificatieberekeningen besloegen de periode 2001 t/m 2004. Voor 55 locaties zijn gemeten en berekende temperaturen vergeleken. De conclusie van de verificatie was dat de prestatie van het model niet overal in het model gelijk is. De simulatie in het Noordelijk en Zuidelijk Deltabekken was destijds redelijk goed, Amsterdam-Rijnkanaal / Noordzeekanaal en Maas zijn redelijk, maar IJsselmeer en Markermeer vertoonden een systematische afwijking. Naar aanleiding van deze conclusies zijn aanbevelingen gedaan die hebben geleid tot de punten die in de offerteaanvraag voor onderhavige studie zijn opgenomen. Daarnaast is een aantal aanvullende wensen gedefinieerd.

## I.2 Doelstelling

In de Stuurgroep is de wens uitgesproken om de nauwkeurigheid van het model binnen een halve graad Celsius te krijgen. Tot dusver ware de afwijkingen tussen de berekende en gemeten watertemperaturen te groot en waren er systematische verschillen voor het IJsselmeer.

Hoofddoelstelling is om de modelresultaten ten opzichte van de metingen te verbeteren.

Een neven doel was om het vertrouwen in het model te vergroten. Het vertrouwen in het model is vergroot door bijvoorbeeld de onderliggende hydrodynamica (waterbeweging) te verbeteren en door het warmte uitwisselingsmodel met de atmosfeer te verifiëren.

Een ander neven doel was het berekenen van de gevoeligheid voor wind en (IJssel)afvoer.

## I.3 Werkwijze

Eerst zijn de benodigde softwarematige aanpassingen in het model doorgevoerd, te weten:

- Verbeterende waterbeweging.
- Verbetering schematisatie DELFT3D (waterkwaliteitsmodel voor de watertemperatuur).
- Aansluiten alternatief temperatuur model (DELFT3D).

- Verbeterde afkoeling lozingen (zelfkoelingsgetal).
- Verbeterende schatter watertemperatuur laterale toestroming.
- Toevoegen warmteuitwisseling met de (water)bodem.

Allereerst is de gevoeligheid van het model voor veranderende windsnelheid en afvoer van de IJssel onderzocht.

Daarna zijn de diverse berekeningen uitgevoerd en de resultaten vergeleken met de metingen.

In deze studie zijn nieuwe meetgegevens verzameld voor het verbeteren van de laterale toestroming in het model. De toetsing van het model is uitgevoerd met de metingen die in de vorige studie verzameld zijn.

## 2 Inrichting van het model

### 2.1 Inleiding

Het Landelijk Temperatuurmodel is geschikt om de watertemperatuur in Nederlandse rijkswateren te berekenen. Het model simuleert de watertemperatuur als gevolg van de stralingsbalans en voegt daaraan de temperatuurverhoging als gevolg van warmtelozingen toe.

Het instrument is daarmee in staat om onderscheid te maken tussen de bijdrage van de meteorologie en de warmtelozingen aan de oppervlaktewatertemperatuur. Zo kan het model gebruikt worden voor beleidsstudies om scenario's van klimaatveranderingen in combinatie met veranderende lozingsvergunning te bestuderen.

Rijkswaterstaat RIZA beheert het landelijke SOBEK-model en is voornemens om met dit model de effecten van warmtelozingen op de watertemperatuur in de grotere stromende oppervlaktewateren in Nederland in kaart te brengen, met als einddoel een warmtekaart van Nederland onder verschillende hydrologische en meteorologische omstandigheden.

Het landelijke temperatuurmodel gebruikt ruimtelijke gedifferentieerde, meteorologische gegevens en is daarmee geschikt voor regionale toepassing.

Gegevens van warmtelozingen in het model zijn gebaseerd op een recente inventarisatie van warmtelozingen uit 2005. Bij die inventarisatie is speciaal aandacht besteed aan de betrouwbaarheid van de lozingen, zowel qua omvang als locatie van de lozing. Het model is dus in principe geschikt om operationeel ingezet te worden, bijvoorbeeld bij het bepalen van de achtergrondtemperatuur die nodig is bij de vergunningverlening van warmtelozingen volgens de nieuwe beoordelingssystematiek.

In het model is een groot aantal veldmetingen van watertemperatuur (55 locaties voor de periode 2001-2004) beschikbaar. Deze dataset is een goed toegankelijke bron voor analyses van de watertemperatuur in Nederlandse rijkswateren.

De inrichting van het model is beschreven in de studie 'Verificatie SOBEK-Landelijk temperatuurmodel', Q4161. De afwijkingen hiervan die in deze studie zijn aangebracht om het model te verbeteren worden in de rest van dit hoofdstuk beschreven. De resultaten van de verbeteringen worden beschreven in hoofdstuk 4.

### 2.2 Modelschematisatie

In de modelschematisatie van het kwantiteitsmodel zijn de volgende zaken gewijzigd:

- Recent door Rijkswaterstaat verbeterd Nationaal Sobek model (Gao, 2007) geconverteerd.



- Een rekengrid aangelegd waarin de afstand tussen de rekenpunten verkleind is tot 500m ( $dx = 500m$ , was 1000 m). Het aantal rekenpunten neemt toe van 2554 naar 5648.
- Handmatig 20 rivier kunstwerken “verplaatst”, zodat boven en benedenstrooms een rekenpunt komt.

Ook de schematisatie van DELFT3D (waterkwaliteitmodel voor de watertemperatuur) is verfijnd. De afstand van de gridpunten in het model is verkleind van 1000m naar 500m. Het aantal rekensegmenten neemt daardoor toe van 437 naar 5124.

Om het effect van gewijzigde afvoer van de IJssel met het model te kunnen berekenen is voor dat scenario een pomp (knooptype ‘pump station’) toegevoegd. De pomp vergroot het debiet met 10% ten opzichte van het debiet dat in de referentiesituatie in de IJssel gemodelleerd wordt. Het extra debiet is als een tijdserie voor de hele simulatieperiode aan het model opgelegd en wordt door een pomp aan het begin van de IJssel toegevoegd. Het extra debiet wordt door de pomp uit de Rijn onttrokken. De pomp zorgt dus voor een andere waterverdeling in de bovenstrooms en benedenstrooms gelegen rivieren van het splitsingspunt Pannerdens kanaal - IJssel – Nederrijn.

Het is niet goed mogelijk om op een andere manier het debiet van de IJssel met het gewenste percentage te vergroten. Eenvoudig een laterale toestroming van 11% extra debiet op de IJssel leggen werkt slechts gedeeltelijk door: de extra afvoer zorgt voor verminderde aanvoer vanuit het splitsingspunt Pannerdens kanaal - IJssel – Nederrijn waardoor minder dan 11% extra water de IJssel opstroomt.

## 2.3 Modelranden

Laterale debieten zijn overgenomen uit de vorige studie. De watertemperatuur van deze debieten bestond in de vorige studie uit het voortschrijdende gemiddelde van de gemeten luchttemperatuur in de Bilt. Er is een nieuwe reeks watertemperaturen voor de lateralen toegevoegd. De manier waarop deze reeks is samengesteld is beschreven in paragraaf 4.8.

Overige modelranden zijn gelijk gebleven, dat wil zeggen dat de gemeten waterstanden voor de periode 2001-2004 voor alle zeeranden (Haringvliet, Hoek van Holland en IJmuiden) en de twee Waddenzeeranden (Den Oever en Kornwerderzand) niet zijn gewijzigd. Voor de rivieren wordt net als in de vorige studie gebruik gemaakt van gemeten debieten bij Lobith (Rijn), Eijsden (Maas) en Emmerlichheim (Vecht).

Er is gewerkt met daggemiddelde waarden. In Gao (2007) wordt met 10-minuten waarden voor waterstanden gerekend.

Op de modelranden wordt de temperatuur mét (TotTemp) en zónder bijdrage van warmtelozingen (NatTemp) opgegeven. In de vorige studies werd naast NatTemp de bijdrage van de warmtelozingen expliciet opgegeven (ModTemp). Deze wijziging is veroorzaakt door de verbeterde manier waarop warmtelozingen in het model afkoelen, zie paragraaf 2.8.2.

## 2.4 Meteorologie

De manier waarop de meteorologie in het model is opgenomen is adequaat beschreven in Q4161. De volgende details zijn gewijzigd:

### 2.4.1 Wolkbedekkingsgraad

In de vorige studie werd de wolkbedekking berekend uit het percentage zonneshijn. Het nieuw ingebouwde temperatuurmodel maakt in plaats daarvan gebruik van wolkbedekkingsgraad. De metingen van wolkbedekking zijn toegevoegd (variabele 'cloud', gemeten in achtsten).

### 2.4.2 Percentage zonneshijn

Het percentage zonneshijn (variabele SP) werd in het vorige model abusievelijk in uren zonneshijn in plaats van percentage van maximaal mogelijke zonneshijn (variabele SQ) ingevoerd. Zonder enige omrekening werd het vervolgens als percentage zonneshijn (variabele 'sunfac') uitgevoerd, om te worden gebruikt bij de bepaling van de wolkbedekkingsgraad. Deze fout is hersteld.

In deze studie is een scenario verkend waarin de windsnelheid met 10% is vergroot ten opzichte van de gemeten wind. De meetreeksen voor alle 10 de gebruikte meteorologische stations zijn daarvoor bewerkt door de gemeten waarde met 10% te verhogen.

### 2.4.3 Windsnelheid

In één scenario in deze studie is de windsnelheid voor de tien meteorologische stations verhoogd met 10%. Dit is gebeurd om te bepalen hoe gevoelig het model is voor de windsnelheid. Verwacht wordt dat een hogere windsnelheid zal leiden tot meer verdamping en snellere afkoeling van warmtelozingen en een lagere watertemperatuur.

## 2.5 Warmtelozingen

In principe zijn er geen wijzigingen van de warmtelozingen, de inventarisatie van actuele lozingen zoals gerapporteerd in Q4161 wordt gebruikt.

Wel is een tweetal fouten in de invoer van de warmtelozingen uit de vorige studie verbeterd.

Het betreft warmtelozingen voor:

- N.V. Afvalverwerking Rijnmond (in Laurenshaven).
- Nuon Velsen (in Noorzeekanaal).

Door een administratieve fout in de naamgeving van de lozingen werden de aangeleverde tijdreeksen van de warmtevracht niet door het model gebruikt. In de huidige versie van het model is dat gecorrigeerd.

Door de verbeterde manier waarop warmtelozingen in het model afkoelen, zie paragraaf 2.8.2, is ook de manier waarop warmte geloosd wordt gewijzigd. Lozingen worden nu aan de variabele TotTemp toegevoegd, in de vorige studie werden lozingen aan de variabele ModTemp toegevoegd.

## 2.6 Modelinstellingen

In principe zijn er geen wijzigingen in de modelinstellingen.

Uitzondering vormen de numerieke instellingen van DELFT3D (waterkwaliteitsmodel voor de watertemperatuur) waar het rekenschema van volledig impliciet (optie 12) is gewijzigd naar een iteratief impliciet schema (optie 15). Beide schema's zijn onvoorwaardelijk stabiel maar schema 15 geeft minder rekenlast en is even nauwkeurig als het volledig impliciete schema. Dit nieuwe schema was in de vorige studie nog niet beschikbaar.

Omdat water in de grote meren (IJsselmeer, Randmeren) onvoldoende bleek te mengen is de dispersie lokaal verhoogd.

De rekentijdstep voor de simulatie van de waterkwaliteit bedraagt nu 10 minuten. De totale rekentijd voor een simulatie van 4 jaar is ongeveer 3 uur.

## 2.7 Waterbeweging

In 2006 heeft er een verificatie plaatsgevonden van het SOBEM landelijk temperatuurmodel [WL, 2006]. Bij deze verificatie is gebruik gemaakt van een waterbewegingsmodel dat nog niet helemaal in orde was. Bekend was dat de aansturing van de stuwen in de Maas en Lek verkeerd was, de PID-instellingen uit Sobek-RE zorgden voor instabiliteiten in Sobek River waardoor het ARK niet gevoed werd vanuit de Nederrijn/Lek en de waterbeweging van de Maas zeer instabiel bleek. De waterbeweging van het landelijke Sobekmodel is later door het RIZA aangepast en verbeterd (Gao, 2007).

In deze studie is gebruik gemaakt van het nationale Sobek model zoals beschreven in Gao (2007). In de door Gao uitgevoerde studie werd een tweetal geconstateerde problemen aangepakt. Deze problemen waren door Vierea en Van der Werf (2006) en deels door Boderie en Meijers (2006) aangedragen. Het betreft:

- Het model berekent de debieten bij Lith en Driel in de zomerperiode van 2003 niet goed, afwijkingen lopen op tot maximaal 40%.
- Er stroomt geen water van de Lek naar het Amsterdam Rijnkanaal (ARK).

De conclusie is dat het model nog in ontwikkeling is. Een aantal van de fouten is terug te voeren op problemen met en in de schematisatie. Verder is gewerkt met de Sobek deelmodellen terwijl het Landelijk Temperatuurmodel een Nationaal model is waarin de deelmodellen gekoppeld zijn.

Bij de conclusies voor de deelmodellen wordt telkens de conclusie getrokken dat het realiteitsgehalte van de zijdelingse aangevoerde debieten verbeterd kan worden. In onderhavige studie is echter alleen het effect van de watertemperatuur van de zijdelingse aanvoeren onderzocht (zie 2.3 en 4.8), niet het debiet ervan.

WL | Delft Hydraulics heeft in de onderhavige studie niet onderzocht of de schematisatie en waterbeweging correct zijn, er is geen vergelijking met gemeten waterstanden en of gemeten debieten uitgevoerd. Het aangeleverde model is voor wat betreft waterbeweging als gegeven beschouwd.

### **2.7.1 Deelmodel Maas**

De grove onderschatting van het debiet benedenstrooms van Borgharen in de zomer is teruggebracht tot 10%. Aanbevelingen voor verdere verbetering zijn mogelijk.

### **2.7.2 Deelmodel Rijntakken**

In de zomerperiode is de verdeling van het water over de Rijntakken niet optimaal. De hoeveelheid water naar de Waal is iets te groot waardoor er op Nederrijn en IJssel relatief te weinig water is.

Langs de IJssel is het tekort aan water groter geworden, de schatting van de zijdelingse aanvoer aldaar (Oude IJssel en Twentekanaal) kan worden verbeterd.

Bij de conclusies meldt Gao: het onttrekkingspunt langs de Lek (capaciteit 12.5 m<sup>3</sup>/s) moet in het Nationale model worden weggelaten omdat er twee verbindingen aanwezig zijn tussen Lek en het ARK, zie 2.7.3.

### **2.7.3 Deelmodel ARK - NZK**

De bodemligging van het ARK is aangepast waardoor er water volgens de geldende beheersregels door het kanaal stroomt.

De waterbalans van het NZK is complex door de vele sluizen en gemaalcomplexen. Uit de conclusies blijkt volgens ons dat de waterbalans nog niet sluitend is en er een aantal verbeterpunten openstaat.

Water in het ARK wordt op twee plaatsen uit de Lek ingelaten. Dat gebeurt om de stroming richting IJmuiden op gang te houden en indringen van zout tegen te gaan. Inlaat vindt plaats op twee plaatsen, te weten bij de Pr. Irenesluizen (Wijk bij Duurstede) en bij de Pr. Beatrixsluizen in het Lekkanaal (Nieuwegein/Vianen). Beide verbindingen zijn opgenomen in het landelijke warmtemodel!

Verder stroomt water uit diverse polders en boezems af op het ARK (polders en boezemlanden van AGV en de boezems van HHR Rijnland, Hollands Noorderkwartier en Stichtse Rijnlanden).

## 2.8 Warmtemodel

Warmtemodellen zijn gebaseerd op de wet van behoud van energie en proberen alle relevante warmtefluxen te kwantificeren. Dat gebeurt met min of meer eenvoudige empirische vergelijkingen.

Het warmtemodel dat tot nu toe in het landelijke temperatuurmodel gebruikt is, is relatief nieuw en pas twee keer toegepast (voor de Maas en voor de het landelijke temperatuurmodel). Hoewel het gebaseerd is op een uitgebreid literatuuronderzoek verdient het aanbeveling om het gedrag van het model te vergelijken met een model dat een langere en uitgebreidere staat van dienst heeft. Een geschikt model is één van de warmtemodellen die in DELFT3D gebruikt wordt, zie 2.8.1.

In deze studie zijn dus twee, zeer vergelijkbare maar op onderdelen verschillende, warmtemodellen vergeleken. Dat wordt gedaan door de presentatie van beide modellen afzonderlijk en als geheel te vergelijken. Deze paragraaf beschrijft beknopt de verschillen tussen beide modellen.

### 2.8.1 Uitwisseling met de atmosfeer

Het Proctor Ocean Heat Flux Model gebaseerd op Lane (1989) en Gill (1982) zoals geïmplementeerd in DELFT3D is toegevoegd aan de open processenbibliotheek van DELFT3D en kan vanuit Sobek-WQ worden gebruikt naast het al bestaande warmtemodel (zie Q3527 en Q3315). Naar het bestaande warmtemodel wordt als “DELFT3D” verwezen, naar het Procotr Ocean Heat Flux model als “DELFT3D”.

Beide zijn empirische modellen die afzonderlijke warmtebalanstermen voor de uitwisseling van warmte met de atmosfeer beschrijven. Beide modellen maken gebruik van dezelfde meteorologische invoervariabelen, te weten:

- Straling (gemeten of berekend uit gemeten bewolgingsgraad of gemeten percentage zonneschijn).
- Luchttemperatuur.

- Luchtvochtigheid.
- Windsnelheid.

Beide modellen houden géén rekening met ijsvorming. Omdat het landelijke temperatuurmodel voornamelijk in de zomer ingezet zal worden is het geen groot bezwaar dat er afwijkingen tussen model en meting ontstaan na een vorstperiode waarin het water tot onder nul graden afkoelt.

De alternatieve temperatuurformuleringen (DELFT3D) is gekalibreerd aan de hand van de parameters die convectie (het Stanton getal) en verdamping (het Dalton getal) beschrijven.

### **Stanton (convectief)**

Het Stanton getal is een zuivere calibratieparameter zonder fysische basis die bij de convectieve warmtestroom wordt gebruikt. Het Stanton getal heeft een lineair effect op deze stroom, dus een verhoging levert een sterkere convectieve stroming op (waardoor de watertemperatuur de luchttemperatuur zal naderen) terwijl een verlaging een zwakkere convectieve stroming oplevert (waardoor de afwijking tussen watertemperatuur en luchttemperatuur groter kan worden). Door het gebrek aan een fysische basis kan de parameter flink gewijzigd worden, hoewel dit niet garandeert dat buiten het calibratiegebied de resultaten nog steeds goed zijn. Typische waarden liggen tussen 0,0010 en 0,0030.

Er is een aantal verschillende waarden toegepast, veelal aan het hogere eind van het bovengenoemde bereik.

### **Dalton (evaporatief)**

Ook het Dalton getal is een calibratieparameter zonder fysische basis die een lineair effect heeft op een warmtestroom, de evaporatieve warmtestroom. Doordat verdamping altijd energie kost, zal een hogere Dalton waarde altijd een verlaging van de watertemperatuur opleveren. De effectiviteit van het Dalton getal verschilt over het jaar, maar algemeen kan worden gesteld dat het Dalton getal een grotere invloed heeft op de watertemperatuur dan het Stanton getal. Ook hier liggen typische waarden tussen 0,0010 en 0,0030.

Er is een aantal verschillende waarden toegepast, veelal aan het hogere eind van het bovengenoemde bereik.

## **2.8.2 Afkoeling van warmtelozingen**

Er kan discussie ontstaan over de grootte van het zelfkoelingsgetal ( $Z$ ) dat moet worden gekozen om in een (excess)temperatuurmodel de afkoeling van een warmtelozing te berekenen. In een model dat op basis van de stralingsbalans de watertemperatuur kan berekenen is het in principe niet nodig een waarde voor het zelfkoelingsgetal te specificeren.

Het model kan  $Z$  berekenen uit de formele definitie van het zelfkoelingsgetal ( $Z$  in  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ), volgens Ryan (1974):  $Z = -dq / dT_w$  waarin  $dq$  de afgeleide van de netto warmteuitwisseling over het water-lucht grensvlak is ( $dq$  in  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) per graad watertemperatuur ( $T_w$  in  $^{\circ}\text{C}$ ). Zie de studie ‘Warmtelozingen in oppervlaktewater en uitwisseling met de atmosfeer’ (Q3315) voor details.

Bij de implementatie in het model hebben we ervoor gekozen om warmtelozingen niet meer expliciet als aparte stof te modelleren. In plaats daarvan worden nu de watertemperatuur inclusief en watertemperatuur zónder de bijdrage van de warmtelozing als twee aparte stoffen gemodelleerd, respectievelijk TotTemp en NatTemp. Het verschil tussen beide temperaturen vertegenwoordigt dan de bijdrage van de lozing. De modelstof NatTemp is niet van definitie veranderd ten opzichte van eerdere studies (Q3527, Q4161), het betreft de temperatuur die het water als gevolg van natuurlijke processen (dus zónder bijdrage van warmtelozingen) gehad zou hebben. De expliciete bijdrage van de lozing (ModTemp in de vorige studies) is nu verdisconteerd in TotTemp. De bijdrage van lozingen aan de watertemperatuur is dan te berekenen uit TotTemp minus NatTemp.

Door deze manier van implementatie wordt afkoeling van geloosde warmte in alle termen van de stralingsbalans verrekend: een verhoging van de watertemperatuur leidt tot meer geleiding, meer verdamping en meer langgolvlige uitstraling. Verstoring van de evenwichtstemperatuur door warmtelozing wordt daarmee op dezelfde manier verdisconteerd dan wanneer dit door regionale weer- of klimaatgradiënten gebeurt.

Het zelfkoelingsgetal is een maat voor verandering van netto warmtebalans ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) per graad watertemperatuur. Per stof (TotTemp en NatTemp) wordt de routine HeatFL aangeroepen en zijn dus de stralingsbalansen termen voor beide temperaturen bekend. De termen  $q_{br}$  (terugstraling),  $q_{Le}$  (verdamping) en  $q_{Sg}$  (geleiding) zijn afhankelijk van de watertemperatuur en bepalen per definitie het zelfkoelingsgetal.

Het zelfkoelingsgetal wordt in het model daarom berekend uit:

$$Z = -[(q_{br}+q_{Le}+q_{Sg})_{\text{TotTemp}} - (q_{br}+q_{Le}+q_{Sg})_{\text{NatTemp}}] / (\text{TotTemp}-\text{NatTemp}) \quad (1)$$

Berekende waarden voor het zelfkoelingsgetal  $Z$  variëren in zomer in de berekening van 20 tot 45 in  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  overeenkomend met literatuurwaarden (Erdinger, Wemelsfelder, Sweers).

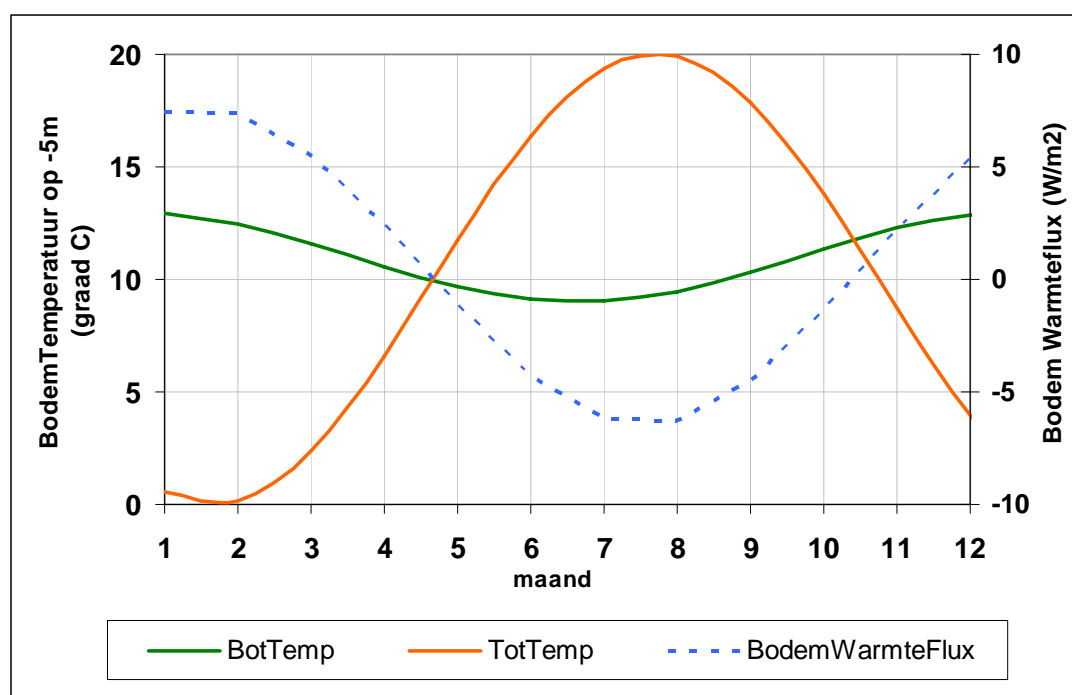
Het zelfkoelingsgetal hoeft niet meer als modelinvoer te worden opgegeven, opgegeven waarden worden zelfs niet gebruikt. Het model berekent tijdfafhankelijk het zelfkoelingsgetal dat hoort bij de meteorologische condities die het model gebruikt. De oude optie waarin het zelfkoelingsgetal als invoerparameter opgegeven kan worden is nog beschikbaar.

### 2.8.3 Uitwisseling met de bodem

Warmteuitwisseling tussen water de bodem is geïmplementeerd door de warmteflux naar de bodem evenredig te veronderstellen met de warmtetransport coëfficiënt,  $\lambda$  ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot^\circ\text{C}$ ), en de temperatuurgradiënt tussen de bodem en het water. De temperatuurgradiënt ( $^\circ\text{C}/\text{m}$ ) wordt berekend uit het verschil tussen gemodelleerde watertemperatuur (TotTemp) en een opgelegde temperatuur in de bodem, BotTemp op een gekozen diepte  $z$ .

Voor de opgelegde bodemtemperatuur op diepte  $z$  is gebruik gemaakt van een harmonische functie met een gemiddelde bodemtemperatuur ( $T$ ) van  $11\text{ }^\circ\text{C}$  met een amplitude ( $A$ ) van de met het seizoen variërende temperatuur van  $2\text{ }^\circ\text{C}$  en een faseverschuiving ( $\phi$ ) van 270 dagen (9 maanden). De berekende bodemtemperatuur volgens onderstaande formule is gepresenteerd in Figuur 2.1.

$$\text{BotTemp}(z) = T + A * \sin(\text{dagnummer} - \phi) / 365 * 2\pi$$



Figuur 2.1 BotTemp zoals gebruikt in model, een fictieve curve voor TotTemp en de resulterende bodemwarmteflux berekend met de gebruikte modelinstellingen ( $\lambda = 3\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot^\circ\text{C}$ ,  $z=5\text{m}$ )

De bodemtemperatuur is afgeleid uit Bense en Kooi (2004). Seizoensfluctuaties dringen in grondwater tot ongeveer 10 meter diep door, tot ongeveer 5 meter blijkt de toename van de temperatuur min of meer lineair, zie Figuur 2.2.

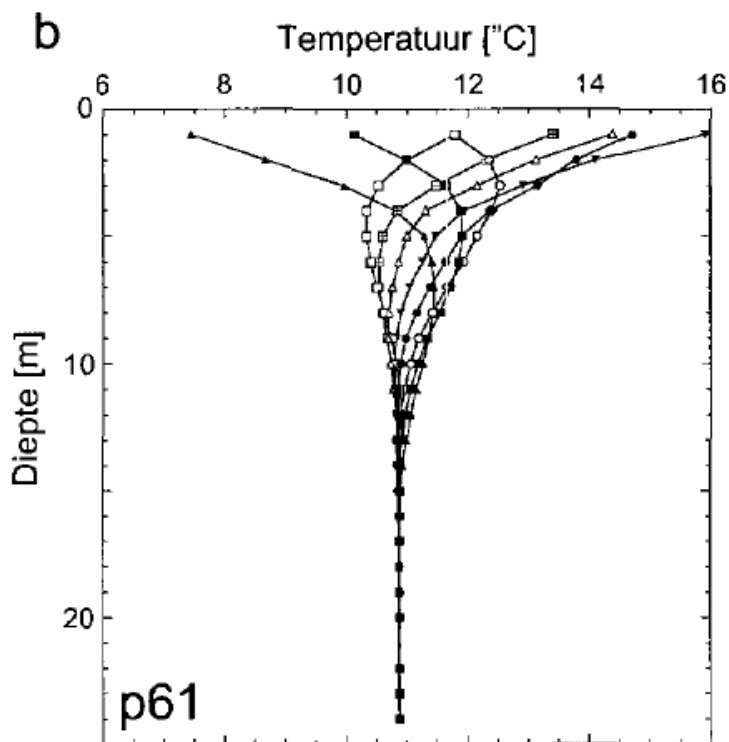
Op 5 meter diepte onder waterbodem niveau treedt volgens deze functie de laagste temperatuur in de maand april, de hoogste temperatuur in de maand december.



De verdeling van thermische eigenschappen in het model is homogeen. De waarde voor de warmtetransportcoëfficiënt is  $3.5 \text{ W.m}^{-2}.\text{°C}$  wat representatief is voor kleiige sedimenten.

Het effect van bodemuitwisseling bedraagt maximaal ongeveer  $5 \text{ W.m}^{-2}$ .

De resulterende warmteuitwisselingsflux met de bodem is weergegeven in Figuur 2.1. In de zomer periode (mei-oktober) is de flux negatief, er verdwijnt warmte naar de bodem, in de periode november tot april levert de bodem warmte na aan het water en is de resulterende warmteflux positief.



Figuur 2.2 Karakteristieke diepteprofielen van temperatuur in een peilbuis (Bense en Kooij, 2004)

### 3 Gebruik Open Processenbibliotheek

#### 3.1 Aanpassingen proces meteo

Het bestaande proces dat de meteorologie berekent (onder de naam “meteo”) is aangepast (met de nieuwe naam “met10”) om ook de straling te kunnen berekenen. Van het proces zijn de relevante schakelaars, invoer en uitvoer zijn weergegeven in Figuur 3.1.

Switches	Measured	Process	Output
<p><b>Spatial Interpolation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nearest</li> <li>• Linear</li> <li>• Squared</li> </ul> <p><b>Use for Cloud</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Measured</li> <li>• 100%- %Sunshine</li> </ul> <p><b>Use for Radiation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Measured</li> <li>• Calculated</li> </ul>	<p>10 stations x</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wind Speed</li> <li>• Wind speed</li> <li>• Cloud cover</li> <li>• Radiation</li> <li>• Air temp.</li> <li>• % Sunshine</li> <li>• Rel. humidity</li> <li>• Air pressure</li> <li>• X coordinate</li> <li>• Y coordinate</li> </ul>	<div style="border: 1px solid black; background-color: #d4f1d4; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p><b>MET10</b></p> </div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wind speed</li> <li>• Cloud cover</li> <li>• Radiation</li> <li>• Air temp.</li> <li>• Rel. humidity</li> <li>• Air pressure</li> </ul>

Figuur 3.1 Het proces dat de meteorologie berekent (met10)

#### Schakelaars/switches

Een drietal schakelaars heeft invloed op de werking van het met10 proces.

#### Ruimtelijke interpolatie

De schakelaar voor ruimtelijke interpolatie (MeteoC1cSW) bepaalt of gebruik wordt gemaakt van het dichtstbijzijnde station (optie 1 (verstekwaarde)) of dat van elk station de waarde wordt gebruikt, gedeeld door de afstand (optie 2) of het kwadraat van de afstand (optie 3).

Dit is geen nieuwe toevoeging. De gebruikte optie is 1 (dichtstbijzijnde station).

## Wolkbedekkingsgraad

De wolkbedekkingsgraad is nieuw toegevoegd in het 'met10' proces. Er is ook een schakelaar toegevoegd (MeteoSunSw) die bepaald of de ingevoerde waarde ook gebruikt wordt (optie 1). Er kan voor worden gekozen om de gemeten wolkbedekkingsgraad te negeren en in plaats daarvan aan te nemen dat de wolkbedekkingsgraad gelijk is aan 100% - % zonneshijn (optie 2 is de verstekwaarde).

Een nadeel van het gebruik van de gemeten waarde is dat dit een grove schatting is, op basis van achtste delen. Aannemen dat de wolkbedekkingsgraad afhankelijk is van het percentage zonneshijn is echter ook een vereenvoudiging van de werkelijkheid.

De wolkbedekkingsgraad werd voorheen uitsluitend in het heatbal proces gebruikt, waarbij % zonneshijn direct werd omgerekend. Bij het meteo proces werd dit aan de invoer zijde echter per abuis "uren zonneshijn" genoemd (en ook als zodanig ingevoerd), wat vervolgens zonder enige omrekening als "% zonneshijn" werd uitgevoerd.

Er is gebruik gemaakt van optie 2.

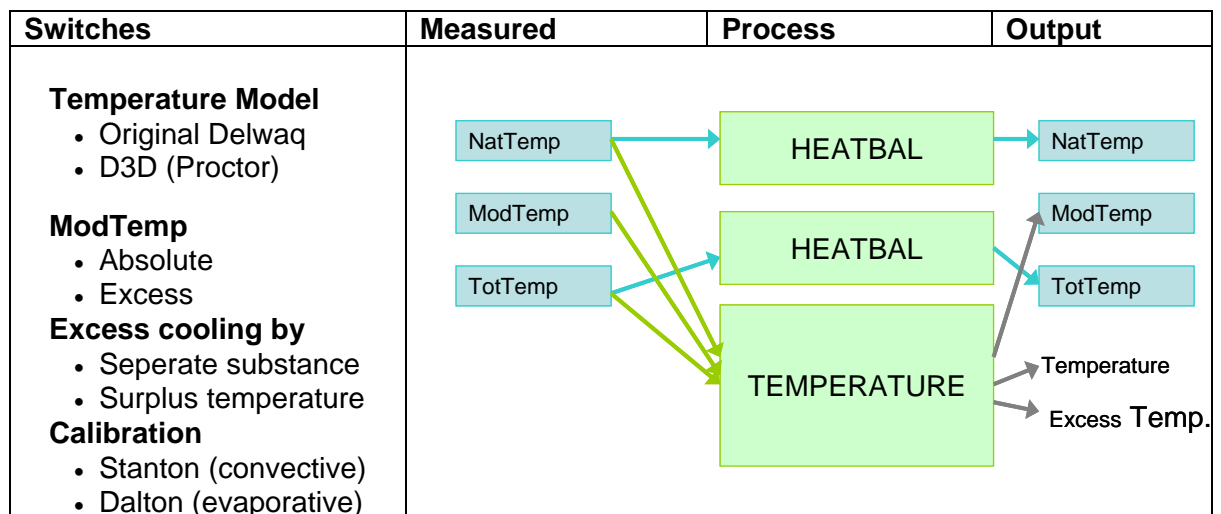
## Instraling

Omdat voor het Delft3D temperatuurmodel een dag-nacht variatie in de instraling belangrijk is en instralingsgegevens vaak alleen beschikbaar zijn op dagbasis, is ook de berekening van instraling op basis van wolkbedekkingsgraad en stand van de zon toegevoegd aan het met10 proces. Deze berekening is overgenomen van het Delf3D temperatuur model. Er is ook een schakelaar toegevoegd (MeteoRadSW) om te kiezen voor de gemeten waarde (optie 1, is verstekwaarde) of deze berekende waarde (optie 2).

Bij het Delft3D model is optie 2 gebruikt, bij het DELFT3D model optie 1.

## 3.2 Aanpassingen temperatuursprocessen

Twee processen bepalen de temperatuurbalans: het heatbal proces dat de natuurlijke temperatuur (zonder lozingen) berekent op basis van in- en uitgaande warmtestromingen en het temperatuur proces, dat de afkoeling van geloosd warmteoverschot berekent en de uiteindelijke totale temperatuur en de afwijking t.g.v. temperatuurslozingen. Deze twee processen werken zeer nauw samen en worden beiden in gedrag bestuurd door een aantal schakelaars. Een en ander is schematisch weergegeven in Figuur 3.2. De veranderde processen zijn anders genoemd, heatf2 en temper2.



Figuur 3.2 Temperatuursprocessen

## Schakelaars

Een drietal schakelaars bepaalt hoe de processen zich gedragen.

## Gebruikt temperatuurmodel

Er is naast het DELFT3D temperatuurmodel een extra temperatuurmodel ingebouwd. Dit model is een kopie van het Proctor/Ocean model zoals dat in DELFT3D FLOW gebruikt wordt. Om te bepalen welk model gebruikt wordt, kan de schakelaar SWHeat op 1 worden gezet (verstekwaarde) voor het DELFT3D model of 2 voor het DELFT3D model.

Beide opties zijn gebruikt.

## Gebruik van ModTemp

De stof ModTemp wordt gewoonlijk gebruikt om het effect van geloosde temperatuur bij te houden. Er kan met een schakelaar (SwitchTemp) worden bepaald of de stof ModTemp de absolute (totale) temperatuur van het water (optie 0) of slechts de overtollige temperatuur (optie 1 is verstekwaarde) weergeeft.

Er is tot nu toe gebruik gemaakt van optie 1 (overtollig).

## Koeling van geloosde warmte

In de oorspronkelijke modelaanpak werd de geloosde temperatuur afgekoeld richting de natuurlijke temperatuur (NatTemp) met behulp van het door de gebruiker te specificeren zelfkoelingsgetal (optie 1 is verstekwaarde). Omdat de grootte van dit getal lastig te bepalen is, is ervoor gekozen om een schakelaar toe te voegen (SWHeatE) die een tweede aanpak mogelijk maakt, waarbij het afkoelingsgetal niet wordt gebruikt (optie 2). Hierbij wordt een tweede, nieuw toegevoegde stof (TotTemp) gemodelleerd die de totale temperatuur, inclusief lozing voorstelt en door hetzelfde heatbal proces wordt gemodelleerd als de natuurlijke temperatuur. Hierbij wordt de ModTemp stof dus niet gebruikt en moet SwitchTemp op 0 staan om misverstanden te voorkomen.

Het model berekent in deze instelling het zelfkoelingsgetal dat hoort bij de meteorologische condities die het model gebruikt.

## Uitvoer

Omdat een aantal verschillende stoffen van belang zijn, die onder invloed van schakelaars verschillende betekenissen kunnen krijgen, is het belangrijk goed bij te houden wat de uiteindelijke watertemperatuur is. Hiervoor worden door het Temperatuur proces op basis van de verschillende stoffen en schakelaars een tweetal uitvoergrootheden aangemaakt: de 'excess' (geloosde) temperatuur (SurTemp) die altijd het verschil aangeeft tussen een situatie zonder lozingen en een situatie met lozingen en de totale temperatuur (Temp2, Temp is in Sobek al gereserveerd), die altijd de totale absolute temperatuur, inclusief lozingen weergeeft. De absolute temperatuur zónder lozingen is altijd gelijk (NatTemp), dus hiervoor is geen extra uitvoergrootheid beschikbaar.

## 4 Resultaten

Deze studie evalueert het effect van een aantal veranderingen dat is aangebracht in het model. De evaluatie vindt plaats ten opzichte van de metingen van de watertemperatuur in de toplaag. De gebruikte metingen zijn beschreven in Q4161 en nagenoeg ongewijzigd gebruikt.

In dit resultaten hoofdstuk wordt steeds het resultaat van twee simulaties vergeleken. Indien de nieuwe simulatie beter past bij de metingen is sprake van een verbetering, anders van een verslechtering. Kleine verbeteringen en verslechteringen worden als neutraal beschouwd en niet meegenomen in de uiteindelijke evaluatie.

In het algemeen zijn de veranderingen (zoals verwacht) relatief klein. Een vergelijking aan de hand van tijdseries grafieken per meetlocatie (zoals in Q4161) is ondoenlijk. Deze presentatievorm is daarom alleen gebruikt om het eindresultaat van de studie, het verbeterde model, te rapporteren. Dat gebeurt in hoofdstuk 4.9.

Er is een analyse uitgevoerd door het temperatuurverschil tussen twee simulaties per meetlocatie uit te zetten in de tijd. Ook hier wordt het aantal grafieken zodanig groot dat het benodigde overzicht voor een evaluatie ontbreekt. Daarom is deze analysevorm niet in het rapport opgenomen (wel digitaal beschikbaar) en is er gezocht naar een hoger aggregatie niveau voordat de simulaties –van twee varianten– met elkaar worden vergeleken. Deze methodiek wordt toegelicht in 4.1.

### 4.1 Beoordelingsmethode

Aggregatie van simulatieresultaten vindt plaats in ruimte en tijd, dat wil zeggen dat van alle metingen (periode van 4 jaar) binnen een cluster van locaties de afwijking ten opzichte van het model wordt berekend. De afwijking wordt op twee manieren berekend:

- (i) het gemiddelde van de afwijkingen; dus het gemiddelde van positieve en negatieve waarden, gebruikt symbool:  $\Sigma(\Delta)$ . De waarde is indicatief voor een eventuele systematische afwijking tussen model en metingen. Vooral voor langere perioden (kwartalen) dient de gemiddelde afwijking klein te zijn.
- (ii) het gemiddelde van de absolute waarde van de afwijkingen, gebruikt symbool:  $\Sigma(|\Delta|)$ . De waarde is ongevoelig voor het aantal metingen (dus de aggregatie periode of het aantal locaties) waarover gemiddeld wordt.

Per simulatie ontstaat zo een tabel met de gemiddelde afwijking van model en metingen, uitgesplitst per cluster van locaties en per tijdsperiode: maand, kwartaal, half jaar en kalenderjaar.

Bij deze evaluatie tellen alle afwijkingen tussen model en meting mee. Per deelgebied worden alle metingen samengevoegd en wegen locaties relatief zwaarder als er meer metingen voor die locatie beschikbaar zijn.

Er is kort onderzocht hoe het resultaat van de beoordeling verandert als per deelgebied de metingen eerst per locatie worden samengevoegd waardoor alle locaties even zwaar wegen. De veranderingen blijken klein en op het eerste gezicht willekeurig.

In Tabel 4.1 en Tabel 4.2 zijn de modelresultaten van de oude studie (Q4161) weergegeven om de lezer te laten zien hoe de geaggregeerde methodiek uitpakt. Gemiddelde afwijkingen tussen model en metingen zijn afgebeeld waarbij relatief kleine afwijkingen (minder dan 0.5°C) groen en grotere afwijkingen rood weergegeven worden.

In Tabel 4.2 is de afwijking op basis van het gemiddelde van de absolute temperatuurverschillen weergegeven, daarbij worden afwijkingen van minder dan 1.0 °C met groen en grotere afwijkingen in rood weergegeven.

De geaggregeerde evaluatiemethode laat zien (Tabel 4.2) dat verbetering van de nauwkeurigheid van het model gewenst is voor de Maas, IJsselmeer en Veluwemeer-Markermeer). De overige deelgebieden (Noordelijk Deltabekken, Zuidelijk Deltabekken en Amsterdam Rijnkanaal) doen het relatief goed. In Tabel 4.1 is goed te zien dat in het IJsselmeergebied de temperatuur in de zomer overschat en in de winter juist onderschat wordt. Deze systematische afwijking is al in de vorige studie geconstateerd. Ook in het ARK en Veluwemeer-Markermeer overschat het model de watertemperatuur systematisch.

Tabel 4.1 Gemiddelde van afwijkingen tussen model en metingen voor het landelijk temperatuurmodel zoals gebruikt in Q4161. Kleine afwijkingen ( $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ) zijn groen, grotere afwijkingen rood weergegeven

$\Sigma(\Delta)$	NDB	ZDB	MAAS	ARKNZK	IJM	VELMAR
Jan	-0.3	-0.9	-0.8	-0.3	-1.3	-1.0
Feb	0.1	-0.7	-1.6	0.1	-1.0	-1.3
Mar	-0.1	-0.9	-1.4	0.4	-1.0	-0.8
Apr	0.1	-0.3	-0.7	0.5	0.3	0.6
Mei	0.3	-0.3	-0.2	0.7	0.4	1.2
Jun	0.5	0.3	-0.2	0.7	0.3	1.4
Jul	0.4	0.3	0.1	0.6	0.7	1.6
Aug	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	1.4
Sep	0.2	0.4	0.3	0.5	0.5	1.1
Okt	0.0	0.0	-0.3	0.8	0.3	0.3
Nov	-0.3	-0.7	-0.6	0.1	-0.5	-0.5
Dec	-0.2	-0.8	0.4	0.0	-0.5	-1.4
1eKw	-0.1	-0.8	-1.3	0.1	-1.1	-1.1
2eKw	0.3	-0.1	-0.3	0.6	0.3	1.1
3eKw	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	1.3
4eKw	-0.1	-0.4	-0.2	0.3	-0.1	-0.3
zomer	0.4	0.2	0.1	0.6	0.4	1.2
winter	-0.1	-0.6	-0.7	0.2	-0.6	-0.7
jaar	0.1	-0.1	-0.1	0.4	0.1	0.5

Tabel 4.2 Afwijkingen tussen model en metingen voor het landelijk temperatuurmodel zoals gebruikt in Q4161. Kleine afwijkingen (0.5°C) zijn groen, grotere afwijkingen rood weergegeven

$\Sigma( \Delta )$	NDB	ZDB	MAAS	ARKNZK	IJM	VELMAR
Jan	0.5	1.0	2.6	1.0	1.4	1.5
Feb	0.4	0.7	1.7	0.5	1.1	1.7
Mar	0.4	0.9	1.4	0.7	1.1	1.2
Apr	0.4	0.6	1.1	0.6	1.0	1.1
Mei	0.7	0.7	0.6	0.8	0.9	1.2
Jun	0.8	0.7	0.8	0.9	1.4	1.7
Jul	0.6	0.7	0.8	0.8	1.2	1.7
Aug	0.8	0.9	1.0	1.0	1.4	1.4
Sep	0.6	0.6	0.8	0.8	1.2	1.3
Okt	0.4	0.4	0.9	1.0	0.5	0.5
Nov	0.5	0.8	1.9	0.9	0.5	0.5
Dec	0.6	0.8	2.7	1.0	0.8	1.4
1eKw	0.4	0.8	1.9	0.7	1.2	1.4
2eKw	0.6	0.7	0.8	0.8	1.1	1.3
3eKw	0.7	0.7	0.9	0.9	1.3	1.5
4eKw	0.5	0.6	1.5	0.9	0.6	0.7
zomer	0.6	0.7	0.8	0.8	1.2	1.4
winter	0.5	0.7	1.7	0.8	0.9	1.1
jaar	0.6	0.7	1.0	0.8	1.1	1.3

### Vergelijking van het resultaat van twee sommen

Om het resultaat van twee simulaties met elkaar te vergelijken wordt eerst, voor elk van de twee sommen, het gemiddelde van de absolute waarde van de afwijkingen tussen model en meting ( $\Sigma(|\Delta|)$ ) berekend. Per som ontstaat dan een tabel zoals weergegeven in Tabel 4.2. Het verschil tussen twee van zulke tabellen geeft aan of het model verbetert dan wel verslechtert.



## Overzicht van de berekeningen

Tabel 4.3 geeft een overzicht van de berekeningen die in deze studie zijn uitgevoerd. In de volgende paragrafen wordt verwezen naar het nummer van de berekening zoals gegeven in de eerste kolom van de tabel.

Tabel 4.3 Overzicht van de berekeningen die uitgevoerd zijn en opgeleverd worden met het instrument

som	WB	PB	T-Form	SOBEK versie	Model	Variant	SOBEK case	Studie
0	oud	oud	DELFT3D	21118	NLTemp	verificatie studie	-	Q4161 en §4.1
1	nieuw	oud	DELFT3D	21118	NITemp2	verbeterde WB	-	§4.3
2	nieuw	oud	DELFT3D	21118	NITemp2	IJssel + 10%	1	§4.4
3	nieuw	oud nieuw*	DELFT3D D3D	21118 21118T2	NITemp2 NITNieuwLit	Wind + 10%	- 1	§4.5
4	nieuw	nieuw	D3D	21118T2	NITNieuwLit	basis som	14	§4.6
5	nieuw	nieuw	DELFT3D	21118T2	NITNieuwLit	vergelijking T-Formuleringen	6	§4.6
6	nieuw	nieuw	D3D	21118T2	NITNieuwLit	metingen Roer	3a	§4.7
7	nieuw	nieuw	D3D	21118T2	NITNieuwLit	lateralen lin f(ruimtelijke Tlucht)	3	§4.9
8	nieuw	nieuw	DELFT3D	21118T2	NITNieuwLit	lateralen f(Tlucht), bodemuitwisseling, Roer, T- Eijsden	9	§ 4.10
WB=Watebewegingsmodel ; PB=Processenbibliotheek; T-Form=Temperatuurformuleringen; Model=Sobek Model; Variant=korte beschrijving van de som; Case=Folder waar resultaten in de software (SOBEK) te vinden zijn. Oud refereert aan Q4161, nieuw refereert aan onderhavige studie (Q4282).								
* = het effect van extra wind is met oude en met nieuwe processenbibliotheek onderzocht. Het effect is met het bestaande instrument onderzocht omdat dit goed paste in de projectplanning. Later is met de nieuwe processenbibliotheek het effect opnieuw onderzocht. Dat was nodig om te bevestigen dat de de nieuwe manier waarop het zelfkoelingsgetal (wind speelt daarin een grote rol) bepaald wordt geen effect heeft op de gevoeligheid van het model voor windsnelheid.								

## 4.2 Waterbeweging en schematisatie

Deze paragraaf bespreekt de verschillen tussen som 0 en som 1, zie Tabel 4.3.

Het effect van een verbeterde waterbeweging en een gewijzigde schematisatie kan niet en is niet gescheiden beoordeeld.

Het effect van minder geaggregeerde waterkwaliteitssegmenten is lokaal groot. Bijvoorbeeld, de lozing van de Amercentrale werd in de vorige studie verspreid over boven- en benedenstreams gelegen segmenten, dat gebeurt nu niet meer.

Het effect van de veranderde schematisatie werkt ook door via de waterdiepte. Locaties in het IJsselmeer (HOLLPTE) hadden in de oude schematisatie een diepte van 3.75 meter en nu nog maar 2.8 meter, dit heeft een relatief groot effect op de temperatuurmodellering.

Het verschil tussen de berekende temperatuur met de oude waterbeweging en de berekende temperatuur met verbeterde waterbeweging blijft voor het merendeel van de locaties beperkt tot -1 en +1 °C. De bijdrage van de lozing aan de totale watertemperatuur verandert, op lokale uitzonderingen na, niet wezenlijk als gevolg van de nieuwe waterbeweging.

Hieronder worden beknopt de veranderingen voor de deelgebieden genoemd, voor zover afwijkend van het hier boven geschetste algemene beeld.

### **Rijn-Maasmonding - Noordrand**

Op de noordrand is naast het getij op zee voornamelijk de afvoer via de Waal en Nederrijn-Lek van invloed. In het verbeterde waterbewegingsmodel is een aantal zaken verbeterd t.o.v. het oude waterbewegingsmodel die van invloed kunnen zijn op de waterbeweging op de noordrand (randvoorwaarde bij Lobith is veranderd van 10 minuten waarden naar daggemiddelde, de aan/besturing van de stuwen Driel, Amerongen en Hagestein is verbeterd en er wordt nu wel water op het ARK gelaten). Het gezamenlijke effect op het debiet bij binnenkomst van de Rijn-Maasmonding in de verbeterde waterbeweging is echter niet veel veranderd (niet getoond). Bij een hoge afvoer komt er iets minder water op de Lek. Bij lage afvoer is er nauwelijks verschil. Op basis hiervan was geen grote verandering in watertemperatuur te verwachten.

### **Rijn-Maasmonding - zuidrand**

Het verschil tussen oude en nieuwe waterbeweging is voor locaties op de zuidrand sterk verschillend met uitschieters van -5 tot +3 °C verschil. De invloed van de lozingen is met de verbeterde waterbeweging beter waarneembaar. Opvallend is het grote verschil in temperatuur die plaatsvindt op locaties in de Bergse Maas en Biesbosch. Dat wordt niet veroorzaakt door een verschil in debiet. Het verschil wordt verklaard door de verfijning van de segmenten van de waterkwaliteit ter plekke. De te grove schematisatie in de oude studie mengde de lozing van de Amercentrale over een te groot volume, zelfs tot bovenstrooms van het lozingspunt. Het verschil in temperatuur wordt veroorzaakt door een verhoogde bijdrage van de warmtelozing aan de watertemperatuur in het verbeterde model.

### **Maas**

De temperatuurverschillen op de Maas zijn wat groter dan op de andere riviertakken. Opvallend is dat dit op de meeste locaties aan het eind van 2003 plaatsvindt. Op de locaties BUNDE, STEVWT, WELLBSD, NEDHMT en WIJESWDBSD komen erg grote verschillen voor. Er zijn locaties waar de temperaturen berekend met de oude waterbeweging dicht bij de metingen liggen, voornamelijk op de noordwestelijke locaties van de Maas. In het zuidelijk deel van de Maas zijn meer locaties te vinden waar de berekende temperaturen met de verbeterde waterbeweging dicht bij de metingen liggen.

Mogelijk is de nieuwe waterbeweging in de Maas nog niet helemaal goed. De waterbeweging is complex door de aanwezigheid van laterale kanalen met onttrekkingen en bovenstroomse terugvoer, stuwen en retentiegebieden.

### **Amsterdam Rijnkanaal - Noordzeekanaal**

De bijdrage van de temperatuurlozingen op de watertemperatuur is op de locaties NOORDZKNL en MAARSSN met de verbeterde waterbeweging groter dan met de oude

waterbeweging, Op de locaties NIEUWSS en NIEUWGN is dat andersom, dit is het gevolg van een verfijning van de schematisatie ter plekke van de lozingen.

T.o.v. de temperatuurmetingen zijn de resultaten van de temperatuurberekeningen met de verbeterde waterbeweging over het algemeen verbeterd.

### IJsselmeergebied

Op de locatie SCHOKKHVRCAT en vooral HOLLPTE komen grotere verschillen tussen oude en verbeterde waterbeweging voor (tussen de -2 en +2 °C). De oorzaak is opnieuw de schematisatie, die tot een verandering van de waterdiepte leidt.

### Markermeergebied

Vergeleken met de metingen heeft de verbeterde waterbeweging een kleine verbetering in berekende temperatuur opgeleverd.

Het overall effect van de waterbeweging en schematisatie per deelgebied is weergegeven in Tab 4.4. De afwijking van de metingen wordt voor de Maas gemiddeld 0.2 °C groter, voor het Veluwemeer-Markermeer 0.4 °C beter. ARKNZK en IJsselmeergebied verbeteren met name in de zomer ten koste van een verslechtering in de wintermaanden.

Tabel 4.4 Verschil (°C) tussen originele waterbeweging (som 0) en nieuwe waterbeweging (som 5).  
Verschillen op basis van  $(\sum(|\Delta|))$  van de beide sommen. Merk op dat door afronding (ogenschijnlijk) gelijke verschillen verschillend worden beoordeeld (gekleurd)

	NDB	ZDB	MAAS	ARKNZK	IJM	VELMAR
Jan	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	0.0
Feb	0.0	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	0.0
Mar	-0.1	-0.3	-0.3	-0.1	-0.6	-0.5
Apr	0.0	-0.3	-0.4	-0.2	0.0	0.1
Mei	0.1	-0.2	-0.3	-0.1	0.1	0.7
Jun	0.1	0.1	-0.3	0.0	0.2	1.0
Jul	0.1	0.1	-0.1	0.2	0.3	0.9
Aug	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.8
Sep	-0.1	-0.1	-0.1	0.1	0.2	0.6
Okt	-0.2	-0.2	-0.2	0.2	0.0	-0.2
Nov	-0.1	-0.4	-0.4	0.1	-0.5	-0.6
Dec	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	-0.1	0.0
1eKw	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	-0.4	-0.2
2eKw	0.0	-0.1	-0.3	-0.1	0.1	0.6
3eKw	0.1	0.1	0.0	0.2	0.3	0.8
4eKw	-0.1	-0.2	-0.2	0.1	-0.2	-0.3
zomer	0.1	0.0	-0.2	0.0	0.2	0.7
winter	-0.1	-0.2	-0.2	0.0	-0.3	-0.2
jaar	0.0	-0.1	-0.2	0.0	0.0	0.4

### 4.3 Afvoer van de IJssel

Deze paragraaf bespreekt de verschillen tussen som 0 en som 2, zie , zie Tabel 4.3

De vraag om te onderzoeken wat het effect van een 11% hogere afvoer van de IJssel op de watertemperatuur heeft komt voort uit de verificatiestudie (Gao, 2007) waaruit bleek dat er fouten tot ongeveer 11% in de waterbalans van de IJssel voorkomen.

Er zijn kleine verschillen waarneembaar variërend van  $-0,5$  °C tot  $+1$  °C op de locaties KAMPN en SCHOKKHVRCAT in het IJsselmeergebied. Op de andere locaties in dit gebied zijn nauwelijks tot geen verschillen tussen de twee berekeningen te zien.

Andere deelgebieden worden niet beïnvloed door een verhoging van de afvoer van de IJssel. Het Veluwe- en Markermeer hebben geen verbinding met de IJssel of met de IJssel in verbinding staande rivieren.

### 4.4 Wind

Deze paragraaf bespreekt de verschillen tussen som 0 en som 3, zie Tabel 4.3.

In het temperatuurmodel met de verbeterde waterbeweging en waarin de DELFT3D temperatuurformulering wordt gebruikt is de windsnelheid voor de tien meteorologische stations verhoogd met 10%. Dit om na te gaan wat de invloed van extra wind is op de watertemperatuur.

Voor alle deelgebieden geldt dat er geen tot kleine verschillen (tussen de 0 en  $+0,5$  °C) in temperatuur ontstaan als gevolg van extra wind. Als er verschil in temperatuur is dan is dat voornamelijk vanaf maart tot begin november, dus in de zomerperiode. In het model met 10% extra wind wordt een lagere watertemperatuur berekend. De verschillen zijn echter verwaarloosbaar klein en van een verbetering dan wel verslechtering is geen sprake. Het model is dus tamelijk ongevoelig voor windsnelheid.

In de berekende temperaturen van de warmtelozingen (“bijdrage lozing”) zijn geen verschillen te zien.

### 4.5 Warmtemodel

Deze paragraaf bespreekt de verschillen tussen de basissom 4 en som 5, zie Tabel 4.3.

#### Formuleringen

Het verschil tussen de beide formuleringen van de atmosfeer-water uitwisseling (DELFT3D en DELFT3D) die in deze studie zijn gebruikt is beoordeeld aan de hand van metingen voor het IJsselmeer. In meren komt het effect van de warmtebalans het meest tot uitdrukking in de watertemperatuur.

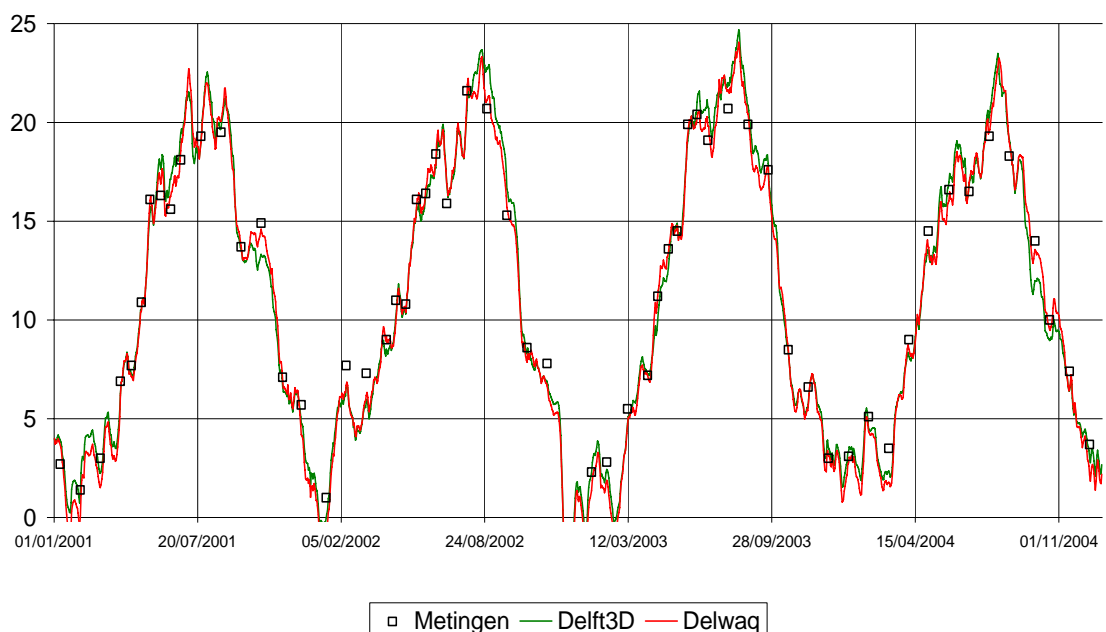
Op stromende takken van de Maas- en Rijn is de verblijftijd dermate kort dat de invloed van de meteorologie relatief klein is. Debiet en temperatuur op de randen en geloosde warmte bepalen daar voor een groot deel de watertemperatuur.

Het DELFT3D temperatuurmodel is ten opzichte van de vorige studie ongewijzigd gebruikt. Het resultaat in Figuur 4.1 (rode lijn) past goed bij de metingen in de periode 2001-2004.

Het DELFT3D temperatuurmodel is zodanig gecalibreerd dat de metingen optimaal passen bij de metingen voor locatie Vrouwezand in het IJsselmeer. Daartoe zijn de waarden voor Stanton en Dalton (zie 2.8.1) aangepast. De gebruikte waarde voor Stanton (convectie) is  $30 \times 10^{-4}$  en voor Dalton (evaporatie)  $25 \times 10^{-4}$ . Deze waarden vallen aan de bovenkant van de geaccepteerde ranges. Het modelresultaat is het meest gevoelig voor de instraling van de waarde voor Dalton. Het resultaat in Figuur 4.1 (groene lijn) past goed bij de metingen in de periode 2001-2004.

De verschillen tussen beide warmte uitwisselingsmodellen zijn klein en de conclusie is dat beide geschikt zijn om toe te passen in het landelijke model. De afwijking van metingen in het tweede en derde kwartaal is dan kleiner dan  $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ . De rest van het jaar heet grotere afwijkingen. Het model onderschat de watertemperatuur met  $1.0$  tot  $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$  in die maanden. Daar waar de beide modellen in Figuur 4.1 zichtbaar van elkaar afwijken ligt het DELFT3D model telkens iets dichterbij de meetwaarde.

Het gebruik van het DELFT3D warmtebalans model leidt niet tot een verbetering van de modelresultaten voor het meetpunt Vrouwezand op het IJsselmeer. In het verbeterde model (zie 4.9) is daarom gebruik gemaakt van het (oude) DELFT3D temperatuurmodel.



Figuur 4.1 Gesimuleerde watertemperatuur (DELFT3D en DEFT3D) voor locatie Vrouwezand (midden van het IJsselmeer) en metingen

## Zonnestraling

Zonnestraling is kwantitatief een zeer belangrijk voor het berekenen van de watertemperatuur. Naast direct gemeten zonnestraling wordt in temperatuurmodellen vaak gebruik gemaakt van zonnestraling gegevens die afgeleid zijn uit metingen van bewolgingsgraad (en zonnestand, die afhangt van positie op aarde en seizoen). In Nederland is de reden dat bewolgingsgraad gratis beschikbaar is en dat voor metingen van zonnestraling betaald moet worden aan het KNMI.

Het blijkt dat het DELFT3D model iets slechter de metingen voor locatie Vrouwezand in het IJsselmeer beschrijft als gebruik wordt gemaakt van uit bewolgingsgraad afgeleide zonnestraling (niet afgebeeld). Mogelijke verklaring is dat de meting van bewolgingsgraad (observatie in ‘achtsten’ hemelbedekking) minder nauwkeurig is. Het gebruik van gemeten zonnestraling verdient dus de voorkeur.

Overigens zijn metingen van bewolgingsgraad nog steeds nodig als modelinvoer omdat de langgolvlige terugstraling ervan afhangt.

## Frequentie modelvoer

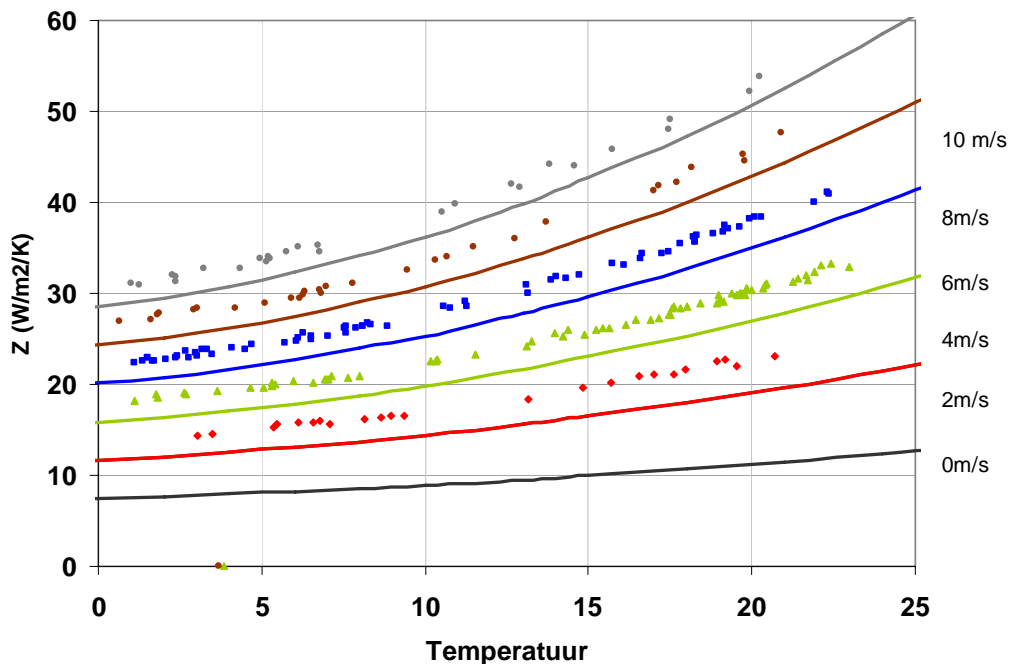
Zowel het oude als het verbeterde landelijke temperatuurmodel gebruiken dagwaarden voor de meteorologische gegevens. In een testsituatie voor het IJsselmeer blijkt dat het gebruik van uurwaarden voor zonnestraling geen afwijkend resultaat geeft.

## 4.6 Berekeningsmethode lozingen

In de oude studie werd de afkoeling van een warmtelozing berekend met een empirische formule volgens Sweers (1976). In Figuur 4.2 is de waarde van het zelfkoelingsgetal als functie van watertemperatuur en windsnelheid te zien (lijnen). De berekening van de afkoeling van een warmtelozing gebeurde daarmee anders en gedeeltelijk onafhankelijk van de berekening van de warmtefluxen over het grensvlak water-atmosfeer. Zo heeft de luchttemperatuur via het proces geleiding bv. géén invloed op de zelfkoelig volgens de empirische formules van Sweers terwijl dat volgens de definitie van het zelfkoelingsgetal wel het geval is (zie 2.8.2).

In het verbeterde landelijk temperatuurmodel wordt het zelfkoelingsgetal berekend uit de termen van de stralingsbalans (zie 2.8.2). De berekende waarde van het zelfkoelingsgetal is als functie van watertemperatuur en windsnelheid (Figuur 4.2) uitgezet. In vergelijking met de waardes zoals gebruikt door Sweers zijn deze hoger. De waarde die Sweers gebruikt zijn overigens zo'n 20% lager dan waarden die door Wemelsfelder in IJsselmeer, Rijn en Maas bepaald werden (WL, 2003).

De verschillen in modelresultaten zijn verwaarloosbaar klein en om die reden niet afgebeeld.

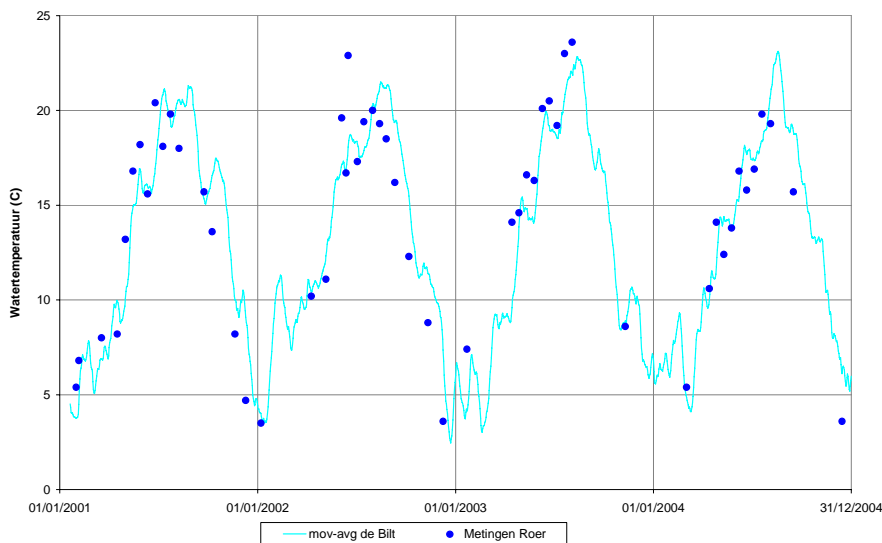


Figuur 4.2 Zelfkoelingsgetal ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ) in de oude studie volgens Sweers (1976) als functie van windsnelheid en watertemperatuur (lijnen) en berekende zelfkoelings getallen voor 4 simulatiejaren met het verbeterde landelijk temperatuurmodel (punten)

## 4.7 Metingen Roer

Voor de watertemperatuur van de Roer werd in het landelijke temperatuurmodel géén gebruik gemaakt van veldmetingen. In plaats daarvan, zie ook paragraaf 4.9, werd voor alle laterale instromingen in het model het voortschrijdend gemiddelde van de luchttemperatuur in de Bilt gebruikt.

In de huidige studie worden de beschikbare veldmetingen (gemeten water temperatuur van de instroom van de Roer bij Roermond) wel gebruikt. Zie Figuur 4.3. In deze paragraaf wordt onderzocht hoe groot het effect hiervan is. Daartoe worden de verschillen tussen de basissom 4 en som 6 hier besproken, zie Tabel 4.3.



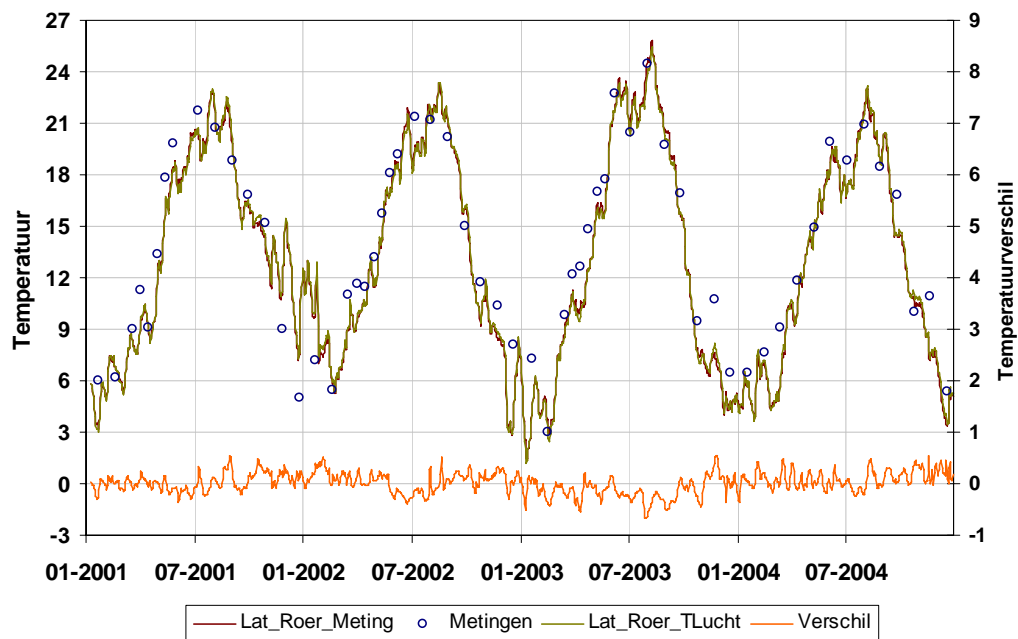
Figuur 4.3 Gemeten watertemperatuur in de Roer bij Roermond en voortschrijdend gemiddelde van de luchttemperatuur in de Bilt + 2.5°C

In Figuur 4.4 is voor locatie Belfeld (benedenstrooms van de instroom van de Roer) gekeken naar het effect van de methode waarmee de laterale watertemperatuur van de Roer bepaald is. Het verschil is relatief klein, variaties zijn minder dan 0.5 °C. De performance van het model verandert dan ook nauwelijks. De beide lijnen in Figuur 4.4 overlappen elkaar grotendeels en de zichtbare afwijkingen tussen model en metingen verandert niet.

In Tabel 4.5 is de verandering van de fit op de metingen tussen beide sommen numeriek weergegeven. De fit op de metingen is bepaald aan de hand van de absolute verschillen tussen modelresultaat ( $\Sigma(|\Delta|)$ ). Ten opzichte van de basissom verandert de fit van het model op de metingen nauwelijks als gebruik gemaakt wordt van gemeten temperaturen voor de Roer. De verschillen (maximaal 0.07°C) zijn te klein om aan de hand van metingen te kunnen beoordelen of dit een verbetering dan wel een verslechtering is.

Omdat metingen de voorkeur boven schatters hebben is in de vervolgsommen gebruik gemaakt van de gemeten watertemperaturen van de Roer.





Figuur 4.4 Verschil tussen de fit van de basis som (4) en de som met gemeten Roertemperaturen op locatie Belfeld. De verschillen zijn klein ( $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) en daarom op de rechter y-as weergegeven

Tabel 4.5 Verschil in de afwijkingen tussen de fit van de basis som (4) en som 6 met gemeten Roertemperaturen voor alle meetlokaties in het stroomgebied van de Maas. Verbeteringen zijn in groen aangegeven, verslechtingen in rood, heel kleine afwijkingen ( $\pm 0.005\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) zijn niet gemarkeerd

Maas	1e-kwartaal	2e-kwartaal	3e-kwartaal	4e-kwartaal
BUNDE	0.00	0.00	0.00	0.00
MEERSKM32.8	0.00	0.00	0.00	0.00
STEVWT	0.00	0.00	0.00	0.00
BELFBVN	-0.01	0.04	-0.07	-0.01
GOUDH	0.00	0.00	-0.01	0.00
DEMTCPBSD	0.00	0.00	0.00	0.00
LITHSH	0.00	0.02	-0.01	0.00
KERKDZMR	0.00	0.03	-0.03	0.00
WELLBSD	0.00	0.00	0.00	0.00
NEDHMT	0.00	0.00	0.00	-0.02
WIJKSWDBSD	0.00	0.00	0.00	0.00

## 4.8 Lateralen

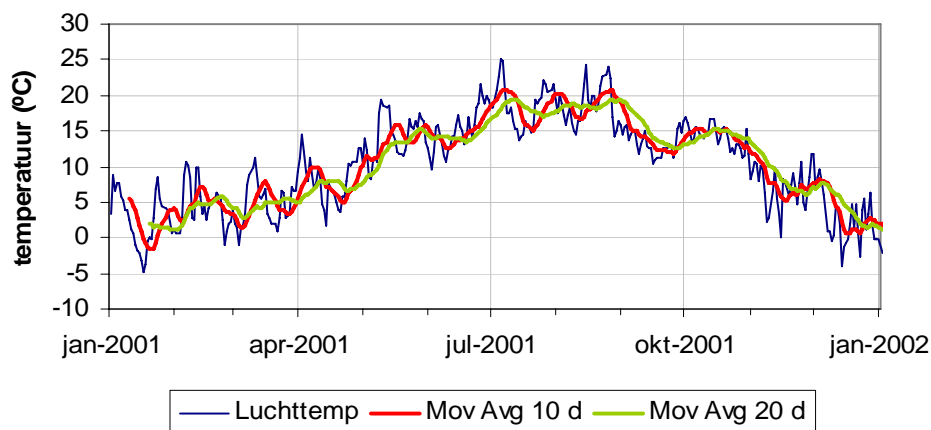
### 4.8.1 Inleiding

Deze paragraaf bespreekt de verschillen tussen de basissom 4 en som 7, zie Tabel 4.3.

Bij de regionale modellen waaruit het landelijke temperatuurmodel is opgebouwd is, met uitzondering van het NDB-gebied (grote invloed van getij), de neerslag op het stroomgebied vertaald naar zijdelingse toestroming.

Daartoe zijn relaties tussen neerslag en afvoer per gebied gebruikt. Naar verwachting is de invloed van laterale debieten in bepaalde delen van het model, vooral 's zomers, aanzienlijk. In de vorige studie bleek op basis van fractieberekeningen het aandeel lateraal water vooral groot in de Maas, de randmeren en Amstel- Gooi en Vecht streek.

De watertemperatuur van de lateralen is in de vorige studie voor alle laterale debieten in het model gelijk gesteld aan de gemeten luchttemperatuur bij de Bilt. Daartoe is een tijdserie van het 20-daags voortschrijdend gemiddelde bepaald. Daarbij is de veronderstelling dat laterale stromingen qua temperatuur gelijkenis met oppervlaktewater vertonen. Globaal volgen lucht en watertemperatuur dezelfde jaarcurve waarbij de gemiddelde watertemperatuur enkele graden hoger ligt dan de luchttemperatuur. De luchttemperatuur volgt bovendien een grilliger en minder gedempt verloop dan de watertemperatuur.



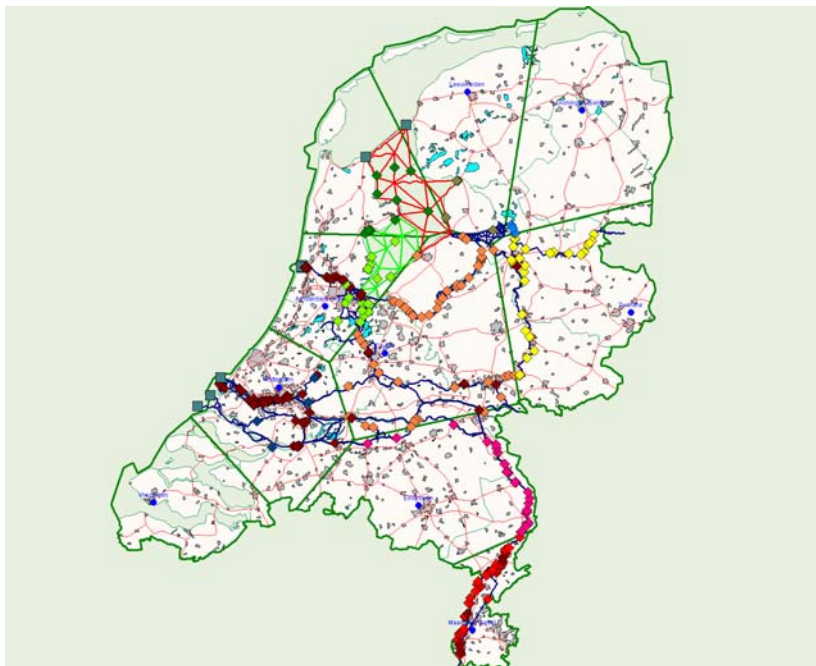
Figuur 4.5 Gemeten luchttemperatuur en 10-daags en 20-daags voortschrijdend gemiddelde luchttemperatuur in De Bilt

### 4.8.2 Methodiek

In de voorliggende studie is de luchttemperatuur van de 10 beschikbare KNMI weerstations gebruikt bij het schatten van de watertemperatuur van de lateralen.

In Figuur 4.6 is weergegeven op welke manier de meteorologische stations aan de verschillende lateralen zijn toegekend. Dat is gebeurd door Thiessen polygonen voor de 10 meteorologische stations te construeren. In het model zijn de lateralen die binnen een polygoon liggen tot één en hetzelfde knooptype gemaakt. In Figuur 4.6 is dat weergegeven door de knopen een verschillende kleur te geven. Aan elk knooptype kan een verschillende reeks voor de watertemperatuur worden toegekend, bijvoorbeeld op basis van metingen van het klimaatstation horend bij de polygoon waarin de lateralen liggen. De volgende weerstations zijn daarbij in het model beschikbaar en gebruikt:

- Den Helder
- Twente
- De Bilt
- Schiphol
- Rotterdam
- Eindhoven
- Maastricht



Figuur 4.6 Thiessen polygonen voor de 10 KNMI stations en de toekenning van de laterale knopen aan de polygonen (zie kleur van het symbool)

De watertemperatuur van de meeste laterale debieten is niet voorhanden. Daarom is de watertemperatuur geschat op basis van beschikbare -ruimtelijk variabele- luchttemperatuur metingen. Daarbij is een relatie tussen lucht- en watertemperatuur nodig. De vraag is of een dergelijke relatie landelijk uniform mag zijn of ook ruimtelijk moet worden gedifferentieerd. Het is te verwachten dat de vorm van de relatie af zal hangen van het type water en stroomgebied dat de laterale toestroming kenmerkt. Om voeling hiervoor te krijgen is voor twee regionale locaties het verband tussen water- en luchttemperatuur onderzocht, te weten:

- de Roer;
- polderlozing Rijnland (Spaarndam).

De correlatie tussen lucht en watertemperatuur zijn voor beide locaties redelijk goed ( $r^2$  waarden van  $\pm 0.9$ ). De spreiding is echter behoorlijk groot en de afwijking van de daadwerkelijk gemeten waarde en de op basis van luchttemperatuur voorspelde temperatuur verschilt aanzienlijk, ongeveer 2-3 °C.

Het beste resultaat wordt bereikt met een voortschrijdend gemiddeld van 3 dagen.

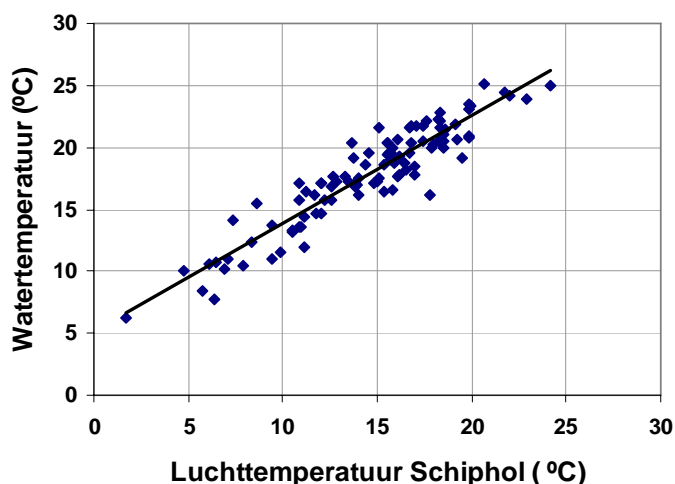
De gebruikte relatie (uniform) met ruimtelijk gedifferentieerde luchttemperatuur is:

$$T_{\text{water, lateraal}} = 0.92 \times T_{\text{lucht}} + T_{\text{vast}} \quad (2)$$

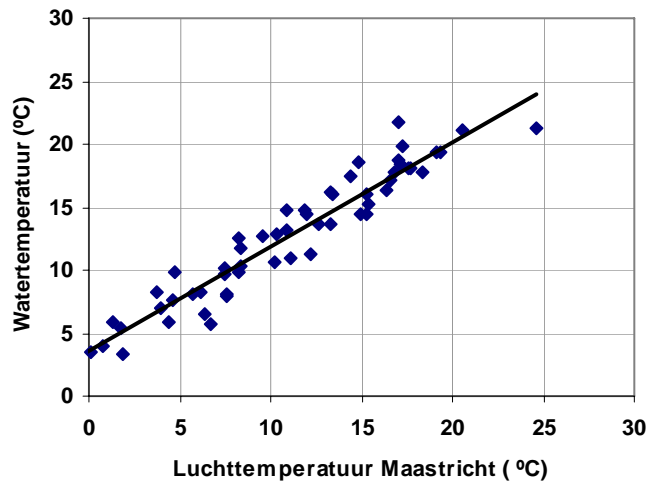
De vaste waarde uit de lineaire relatie ( $T_{\text{vast}}$ ) is voor de stations Maastricht en Schiphol gebaseerd op metingen (respectievelijk van de Roer en Spaarndam). Voor de overige stations is de waarde van  $T_{\text{vast}}$  een, ruimtelijk gedifferentieerde calibratieparameter. De gebruikte waarden zijn vermeld in Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Waarde van  $T_{\text{vast}}$  in vergelijking (2)

Den Helder	3.4	Twente	3.2
Schiphol	3.2	Vlissingen	2.8
De Bilt	3.7	Rotterdam	2.7
Leeuwarden	3.2	Eindhoven	4.4
Groningen	3.3	Maastricht	4.6



Figuur 4.7 Correlatie van de 3-daags voortschrijdend gemiddelde luchttemperatuur (x-as, Schiphol) en watertemperatuur (y-as, Rijnland) met metingen



Figuur 4.8 Correlatie van de 3-daags voortschrijdend gemiddelde luchttemperatuur (x-as, Maastricht) en wartertemperatuur (y-as) voor de Roer met metingen

## 4.9 Het verbeterde model

Deze paragraaf bespreekt het resultaat van het verbeterde landelijk temperatuurmodel (som 8) en vergelijkt het met het resultaat van het originele model (som 0) zie in Tabel 4.3.

Het verbeterde model (som 8 in Tabel 4.3) is kort te kenschetsen als:

- verbeterde waterbeweging
- vernieuwde schematisatie
- verbeterde modelrand Eijsden (wartertemperatuur)
- formuleringen uit het DELFT3D temperatuurmodel
- afkoeling van lozingen via berekend zelfkoelingsgetal
- meetwaarden wartertemperatuur gebruikt voor de Roer
- lateralen op basis van luchttemperatuur van het dichtstbijzijnde weerstation
- warmteuitwisseling met de bodem

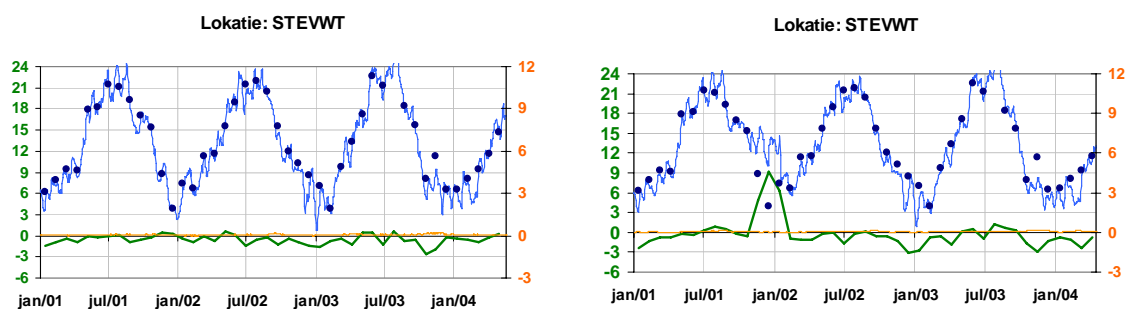
De resultaten van de simulaties zijn achtereenvolgens op verschillende manieren weergegeven:

1. Per locatie een tijdserie over de hele simulatieperiode van 4 jaar (2001-2004) waarin naast metingen en modelresultaat ook het aandeel van de geloosde warmte en de afwijking tussen model en meting te zien zijn (appendix A1a-6a).
2. Per locatie de afwijking tussen model en metingen in een grafiek per maand uitgezet (maximaal 4 waarnemingen per maand in de simulatieperiode 2001-2004). Zie Appendix A1b-A6b.

3. Per locatie de afwijking tussen model en metingen in een tabel per kwartaal. De afwijking wordt gepresenteerd als het gemiddelde van de absolute waarde van de verschillen en als het gemiddelde van de -niet absolute- verschillen. Zie respectievelijk de tabellen Tabel 4.7 en Tabel 4.7b.
4. Per cluster van locaties per tijdsperiode (maand, kwartaal, half-jaar, jaar) als som van de absolute verschillen tussen model en meting  $\Sigma(|\Delta|)$ . Zie Tabel 4.8.
5. Per cluster van locaties per tijdsperiode (maand, kwartaal, half-jaar, jaar) het verschil tussen origineel temperatuurmodel (som 0) en het verbeterde temperatuurmodel (som 8). Verschillen zijn bepaald uit de absolute verschillen tussen model en meting  $\Sigma(|\Delta|)$ . Zie Tabel 4.9.

De presentatie van de resultaten in Appendix A is identiek aan de presentie die gebruikt is in Q4161. De verschillen zijn klein en globaal moeilijk waarneembaar.

Grote verschillen zijn wel goed waarneembaar, illustratief is het effect van de verbetering van de fout in de temperatuur op de modelrand van Eijsden. Daar ontbrak de temperatuur voor 4 maanden. Na herstel hiervan zijn de resultaten ter plekke voor het 4<sup>e</sup> kwartaal 2001 sterk verbeterd, te zien in Figuur 4.9.



Figuur 4.9 Simulatie voor locatie Stevensweert (stroomgebied Maas) voor het verbeterde landelijk temperatuurmodel (links) en het originele landelijke temperatuurmodel (rechts)

In Tabel 4.7 is het model beoordeeld op basis van absolute verschillen aan de hand van een criterium van 1 °C. De resultaten voor het 2e en 3e kwartaal zijn gemiddeld beter dan voor het 1e en 4e kwartaal, voor de winterperiode zijn er beduidend minder metingen beschikbaar. De resultaten per locatie verschillen ook sterk. Het model presteert het beste voor de locaties in het Noordelijk Deltabekken. Omdat dit watersysteem gedomineerd is door bovenstroomse randen (waarvoor het model temperatuurmetingen gebruikt) is te verwachten dat de resultaten hier het beste zijn, toch zijn de verschillen tussen model en metingen nog altijd om en nabij 0.5 °C. Voor locatie Vrouwezand in het IJsselmeer bedraagt de minimale afwijking 's zomers ook 0.5 °C. Deze locatie wordt nauwelijks of niet door randen en warmtelozingen beïnvloed en afwijkingen ten opzichte van metingen zijn waarschijnlijk grotendeels het resultaat van variatie in meteorologie en lokale menging.

In Tabel 4.7b is het model opnieuw beoordeeld ten opzichte van de metingen maar nu op basis van de niet-absolute verschillen. Positieve en negatieve afwijkingen kunnen elkaar in principe compenseren is het beoordelingscriterium moet strenger zijn dan gebruikt in Tabel 4.7. De gebruikte kleuren in Tabel 4.7b geven slechts aan of de afwijking groter dan nul (model te warm) of kleiner dan nul is (model onderschat de metingen).

Te zien is dat het model de metingen in de winterhalfjaar vrijwel altijd onderschat terwijl in het zomerhalfjaar (2e en 3e kwartaal) er afwisselend sprake is van over- en onderschatting.

Gegroepeerd naar cluster van locaties (Tabel 4.8) is te zien dat de vergelijking tussen model en metingen een vergelijkbaar beeld geeft als dat in Tabel 4.7. In de periode mei tot oktober is de prestatie voor alle regio's (met uitzondering van het IJsselmeer waarover later meer) redelijk goed. De minder goede performance van het model in het 1e en 4e kwartaal weegt zwaarder een tabel per cluster: een beperkt aantal metingen (in bv de Maas) bepaalt het hele beeld voor deze periode. Uit deze tabel blijkt de relatieve performance van het verbeterde model:

1. Noordelijk Deltabekken.
2. Zuidelijk Deltabekken en het Amsterdam Rijnkanaal – Noordzeekanaal.
3. IJsselmeer en het Markermeer.
4. het stroomgebied van de Maas.

Bij de beoordeling wordt geen rekening gehouden met het feit dat sommige meetlocaties minder representatief zijn voor het model dan andere. Zo is de beoordeling van het model voor het hele IJsselmeer gebied minder goed dan wanneer een aantal (haven)locaties niet of minder zou zijn mee gewogen. Als alleen de locaties Kampen, Vrouwezand en Den Oever karakteristiek voor het IJsselmeer zijn presteert het verbeterde temperatuurmodel goed, in de zomer binnen een marge van 0.5 °C.

In het markermeer geldt hetzelfde, voor de hoofdlocatie Markermeermidden (MARKMMDN) presteert het model goed.

Tot slot is in Tabel 4.9 het verschil tussen het resultaat met het originele en het verbeterde landelijke temperatuurmodel weergegeven. Te zien is dat verbeteringen met name hebben plaatsgevonden in de zomer en in de regio's IJsselmeer, Markermeer en Veluwemeer en AmserdamRijnkanaal-Noordzeekanaal. Het Zuidelijk deltabekken is iets verslechterd en het Noordelijk deltabekken ongewijzigd.

Tabel 4.7 Gemiddelde van afwijkingen  $\Sigma(|\Delta|)$  tussen model en metingen voor het landelijke temperatuurmodel per locatie per kwartaal. Kleine afwijkingen (<1.0 °C) zijn groen, grotere afwijkingen rood weergegeven

<b>NDB</b>	1e-kwartaal	2e-kwartaal	3e-kwartaal	4e-kwartaal
AMMSL	0.61	0.90	0.67	0.39
GROOTAMVSBSD		0.34	0.47	
KINDDLKOV	0.52	0.53	0.77	0.76
DEMTCPBSD		0.43	0.52	
WIELDRTOVR	0.47	0.42	0.47	0.41
ALBSDRTOVR	0.41	0.44	0.95	0.52
KRIMPADIJSLK	0.53	0.41	0.49	0.71
BRIENOBRTOVR	0.39	0.64	0.33	0.45
BRIENOD	0.75	0.74	0.79	0.65
LEKHVRTOVR	0.38	0.28	0.33	0.52
MAASS	0.94	0.44	0.46	0.75
HOEKVHLRTOVR	0.54	1.33	0.95	0.83

<b>ARKNZK</b>	1e-kwartaal	2e-kwartaal	3e-kwartaal	4e-kwartaal
IJMDBTHVN	0.74	0.73	0.55	0.68
NOORDZKNL	0.77	0.95	0.55	0.56
NIEUWSS	0.91	0.45	0.68	0.74
MAARSSN	1.43	0.93	1.70	1.35
NIEUWGN	0.94	0.67	0.41	1.14

<b>ZDB</b>	1e-kwartaal	2e-kwartaal	3e-kwartaal	4e-kwartaal
KEIZVR	1.91	1.16	0.91	1.35
NOORDGVDPBSD		0.65	0.87	
GATVDKSBSD		0.73	0.84	
BOERPBSD		0.73	1.31	
BOVSS	1.18	0.72	0.58	0.68
VOLKRSZSSHL	0.88	0.60	0.52	0.85
HELLGPBSD		1.10	0.98	
HARVBLHNWBSD		1.01	1.23	
HITSSKDBSD		0.57	0.45	
MIDDHNBSD		1.18	0.85	
SCHEELHK	0.89	1.10	0.61	1.38
HARVSS	1.45	0.84	0.50	0.55

<b>IJM</b>	1e-kwartaal	2e-kwartaal	3e-kwartaal	4e-kwartaal
KAMPN	0.89	0.50	0.54	0.43
SCHOKKHVRCAT		1.05	0.82	
KETMWT	1.43	0.46	0.58	0.69
VROUWZD	0.98	0.43	0.47	0.61
HOUTRHK	2.68	1.34	1.02	0.75
ANDK	1.13	0.69	0.76	1.23
KOOPMPDR		2.53	2.28	
HOLLPTE		1.95	2.08	
DENOVR	1.67	0.72	0.39	0.71

<b>Maas</b>	1e-kwartaal	2e-kwartaal	3e-kwartaal	4e-kwartaal
BUNDE	2.20	1.44	3.48	2.00
MEERSKM32.8		0.65	0.79	0.42
STEVWT	0.74	0.55	0.61	0.94
BELFBVN	1.32	0.90	0.87	2.20
GODH		0.65	0.64	
DEMTCPBSD		0.43	0.52	
LITHSH		0.95	0.95	
KERKZMR		0.95	0.82	
WELLBSD		1.16	0.76	
NEDHMT	2.50	1.12	1.03	1.33
WIJKSWDBSD		1.45	0.87	

<b>VELMAR</b>	1e-kwartaal	2e-kwartaal	3e-kwartaal	4e-kwartaal
WOLDWMDN	1.94	0.96	0.95	0.89
VELWMDN	1.82	0.68	0.72	1.17
ELLSD		1.18	1.15	
MARKMDN	0.61	0.45	0.31	0.89
LELSHVN	2.61	0.68	0.75	1.52
BROEKHVN	1.47	1.03	0.63	1.07



Tabel 4.7b Gemiddelde van afwijkingen  $\Sigma(\Delta)$  tussen model en metingen voor het landelijke  
temperatuurmodel per locatie per kwartaal. Afwijkingen kleiner dan 0 °C zijn blauw,  
afwijkingen groter dan 0 °C rood weergegeven

<b>NDB</b>	1e-kwartaal	2e-kwartaal	3e-kwartaal	4e-kwartaal
AMMSL	-0.47	-0.90	-0.66	-0.38
GROOTAMVSBSD		-0.06	0.15	
KINDDLKOV	0.10	0.20	0.20	0.11
DEMTCPBSD		0.11	-0.11	
WIEDRTOVR	-0.28	-0.12	0.04	-0.15
ALBSDRTOVR	-0.28	-0.35	-0.83	-0.47
KRIMPADIJSLK	-0.45	-0.32	-0.38	-0.67
BRIENBRTOVR	-0.17	-0.51	-0.15	-0.37
BRIENOD	-0.71	-0.71	-0.68	-0.63
LEKHVRTOVR	-0.24	0.00	0.06	-0.37
MAASS	-0.91	-0.31	-0.15	-0.74
HOEKVHLRTOVR	-0.40	1.28	0.80	-0.81

<b>ARKNZK</b>	1e-kwartaal	2e-kwartaal	3e-kwartaal	4e-kwartaal
IJMDBTHVN	-0.51	0.69	0.47	-0.51
NOORDZKNL	-0.67	-0.94	-0.06	0.26
NIEUWSS	0.33	-0.11	0.43	-0.15
MAARSSN	1.42	0.87	1.70	1.34
NIEUWGN	-0.90	-0.64	-0.17	-1.14

<b>ZDB</b>	1e-kwartaal	2e-kwartaal	3e-kwartaal	4e-kwartaal
KEIZVR	-1.72	-0.51	0.41	-0.64
NOORDGVDPBSD		-0.32	0.07	
GATVDKSBSD		-0.63	-0.16	
BOERPBSD		0.55	0.76	
BOVSS	-1.18	-0.53	-0.18	-0.64
VOLKRSZSSHLD	-0.88	-0.49	-0.32	-0.84
HELLGPBSD		-0.88	0.30	
HARVBLHNWBSD		-0.59	0.13	
HITSSKDBSD		-0.36	-0.05	
MIDHNBSD		-0.97	-0.25	
SCHEELHK	-0.89	-0.53	0.19	-1.31
HARVSS	-1.45	-0.67	0.06	-0.55

<b>IJM</b>	1e-kwartaal	2e-kwartaal	3e-kwartaal	4e-kwartaal
KAMPN	-0.79	0.08	-0.14	-0.27
SCHOKKHVRCAT		-0.55	-0.27	
KETMWT	-1.43	-0.20	0.01	-0.69
VROUWZD	-0.98	-0.18	0.28	-0.56
HOUTRHK	-2.68	0.51	0.62	-0.65
ANDK	-1.13	-0.45	-0.37	-1.23
KOOPMPDR		-2.36	-1.71	
HOLLPTE		-0.98	-0.81	
DENOVR	-1.67	0.40	0.11	-0.71

<b>Maas</b>	1e-kwartaal	2e-kwartaal	3e-kwartaal	4e-kwartaal
BUNDE	-2.20	1.44	3.48	-0.88
MEERSKM32.8		-0.65	-0.28	-0.41
STEVWT	-0.74	-0.25	-0.27	-0.63
BELFBVN	-1.24	-0.90	-0.46	-1.88
GOUDH		-0.37	-0.31	
DEMTCPBSD		0.43	0.52	
LITHSH		-0.90	-0.55	
KERKZMR		-0.94	-0.74	
WELLBSD		-0.87	-0.36	
NEDHMT	-2.50	-1.12	-1.03	-1.33
WIJKSDBSD		-0.76	-0.35	

<b>VELMAR</b>	1e-kwartaal	2e-kwartaal	3e-kwartaal	4e-kwartaal
WOLDWMDN	-1.94	0.09	0.58	-0.79
VELWMDN	-1.82	0.16	0.29	-1.16
ELLSD		-0.26	-0.07	
MARKMMDN	-0.34	0.29	0.22	-0.89
LELSHVN	2.61	0.68	0.75	1.52
BROEKHVN	-0.72	0.63	0.59	-0.54

Tabel 4.8 Gemiddelde van de absolute afwijkingen  $\Sigma(|\Delta|)$  tussen model en metingen voor het landelijke temperatuurmodel per cluster van locaties. Kleine afwijkingen (<1.0 °C) zijn groen, grotere afwijkingen zijn rood weergegeven

$\Sigma( \Delta )$	NDB	ZDB	MAAS	ARKNZK	IJM	VELMAR
Jan	0.55	1.12	1.89	1.17	1.54	1.38
Feb	0.38	0.73	1.07	0.73	1.16	2.02
Mar	0.48	1.01	1.35	0.81	1.47	1.74
Apr	0.46	0.79	1.19	0.73	0.92	0.98
Mei	0.60	0.76	0.73	0.85	0.71	0.53
Jun	0.69	0.61	0.95	0.81	1.15	0.96
Jul	0.55	0.64	0.85	0.73	0.91	0.88
Aug	0.62	0.62	0.82	0.91	1.13	0.61
Sep	0.67	0.68	0.87	0.72	0.99	0.75
Okt	0.55	0.58	0.98	0.78	0.45	0.73
Nov	0.64	1.10	1.83	0.80	0.89	1.20
Dec	0.63	1.04	1.78	1.00	0.85	1.73
1eKw	0.47	0.96	1.44	0.89	1.38	1.76
2eKw	0.58	0.72	0.92	0.80	0.92	0.83
3eKw	0.61	0.65	0.85	0.79	1.01	0.76
4eKw	0.60	0.87	1.34	0.85	0.68	1.10
zomer	0.60	0.68	0.88	0.79	0.96	0.80
winter	0.53	0.91	1.38	0.87	1.05	1.46
jaar	0.57	0.77	0.97	0.83	0.99	1.03

Tabel 4.9 Verschil (°C) tussen origineel temperatuurmodel (som 0) en het verbeterde temperatuurmodel (som 8). Verschillen op basis van  $\Sigma(|\Delta|)$  van de beide sommen. Merk op dat door afronding (ogenschijnlijk) gelijke verschillen verschillend worden beoordeeld (gekleurd)

	NDB	ZDB	MAAS	ARKNZK	IJM	VELMAR
Jan	0.0	-0.2	0.7	-0.2	-0.1	0.1
Feb	0.0	0.0	0.7	-0.2	-0.1	-0.3
Mar	-0.1	-0.1	0.1	-0.1	-0.4	-0.6
Apr	0.0	-0.2	-0.1	-0.1	0.1	0.1
Mei	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.1	0.6
Jun	0.1	0.1	-0.2	0.1	0.2	0.7
Jul	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3	0.8
Aug	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.7
Sep	-0.1	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.5
Okt	-0.1	-0.2	-0.1	0.2	0.1	-0.2
Nov	-0.1	-0.3	0.1	0.1	-0.4	-0.7
Dec	-0.1	-0.2	1.0	0.0	-0.1	-0.3
1eKw	0.0	-0.1	0.4	-0.2	-0.2	-0.3
2eKw	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.1	0.5
3eKw	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3	0.7
4eKw	-0.1	-0.2	0.2	0.1	-0.1	-0.4
zomer	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6
winter	-0.1	-0.2	0.3	0.0	-0.2	-0.3
jaar	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.1	0.3

## 5 Conclusies

Een aantal verbeteringen en uitbreidingen is met succes uitgevoerd in deze studie. Verbetering van de performance van het model ten opzichte van metingen is minder goed mogelijk gebleken dan aanvankelijk verwacht.

Het effect van de waterbeweging op de gesimuleerde temperaturen is aanzienlijk, zoals verwacht is het model dus gevoelig voor de waterbeweging. De resultaten voor het Amsterdam Rijnkanaal zijn verbeterd. De verbeteringen in de waterbeweging leiden echter niet tot een landelijke verbetering van het modelresultaat. Het gebruikte waterbewegingsmodel bevat nog steeds fouten (Gao, 2007) en het belang daarvan voor temperatuurmodellering is onbekend. Mogelijk is dat de oorzaak van een lichte verslechtering van het model in het Zuidelijk Deltabekken en op locaties in de Maas.

Door intensief met het waterkwaliteitsdeel van het model te werken is het vertrouwen in en de robuustheid ervan verbeterd. Een aantal grotere en kleinere fouten is hersteld. In de modelrand van Eijsden ontbrak de temperatuur voor 4 maanden. Na herstel hiervan blijken de resultaten ter plekke voor het 4<sup>e</sup> kwartaal 2001 sterk verbeterd. Voor een locatie in de afgedamde Maas (Nederhemert) zijn twee meetpunten verwijderd omdat deze evident fout bleken. Het model vertoont nu geen grote afwijkingen (uitschieters groter dan 2-3 °C) meer ten opzichte van de metingen.

Ten aanzien van de gevoeligheid is het volgende te concluderen. Het model blijkt niet gevoelig voor een verandering van de waterverdeling tussen Rijn en IJssel. Een 11% hogere IJsselafvoer leidt tot nauwelijks waarneembare verschillen in de beschouwde periode.

Het model blijkt niet erg gevoelig voor een 10% hogere windsnelheid. In de zomerperiode leidt de extra wind tot een marginaal lagere watertemperatuur.

Door toepassing van een ander warmte-flux model veranderen de resultaten van de simulaties niet wezenlijk. Dat bevestigt de correctheid van de formuleringen die gebruikt worden. Het DELFT3D temperatuurmodel geeft een iets minder goede fit op de metingen voor locatie Vrouwezand in het IJsselmeer en is om die reden niet in het Landelijk temperatuurmodel opgenomen.

De watertemperatuur van de laterale toestromingen is verbeterd door deze regionaal te differentiëren op basis van het driedaags voortschrijdend gemiddelde van de gemeten luchttemperatuur. Daardoor is de systematische afwijking van het model verkleind. Het model onderschat de metingen in het winterhalfjaar nog steeds systematisch maar in de zomer is hiervan geen spake meer.

Het gebruik van gemeten zonnestraling leidt tot betere resultaten dan wanneer gebruik wordt gemaakt van zonnestraling die afgeleid is uit metingen van bewolkingsgraad. Gemeten waarden op uurbasis leiden niet tot betere resultaten dan het gebruik van dagwaarden.

De beste prestatie van het model wordt bereikt op de centraal in het IJsselmeer en Markermeer gelegen meetpunten. De gewenste nauwkeurigheid van 0.5 °C wordt hier gehaald. Op andere locaties dan in het Zuidelijk deltabekken wordt dit resultaat niet gehaald. Als de grens voor de beoordeling “acceptabel” wordt verruimd naar 1.0 °C dan voldoet vrijwel het gehele model hieraan.

Aanbevolen wordt om de waterbeweging verder te verbeteren en te valideren aan de hand van metingen. Nadat de effecten van een verder verbeterde waterbeweging zijn geëvalueerd kan worden besloten of verdere verbetering mogelijk is dan wel nodig. In het laatste geval zal met name de temperatuur van laterale debieten en eventueel een aanpassing van de formulering voor ijsvorming in beeld komen.

## 6 Referenties

Bense, V.F. en H. Kooi (2004) Temporal and spatial variations of shallow subsurface temperature as a record of lateral variations in groundwater flow; in: Journal of Geophysical Research - Solid Earth, jrg 109,

RWS, 2006. Aanpassing SOBEK model voor het nationale warmwatermodel. Gao, Q. Maart 2006.

Lane, A., 1989. The heat balance of the North Sea, Proudman Oceanographic Laboratory, Report No. 8.

Gill, A.E., 1982. Atmosphere-Ocean dynamics, International Geophysics Series, Vol. 30, Academic Press.

Sweers, H.W., 1976. A monogram to estimate the heat exchange coefficient at the air-water interface as a function of wind speed and temperature; a critical survey of some literature. J. of Hydrology, vol. 30.

WL, 2006. Verificatie SOBEK-Landelijk temperatuurmodel. Q4166. Boderie, Meijers en Penaillo.

WL, 2003. Warmtelozingen in oppervlaktewater en uitwisseling met de atmosfeer. Q3315. Boderie en Dardengo.

WL, 2005 User manual DELFT3D-Flow. Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. December, 2005

## **Bijlagen**

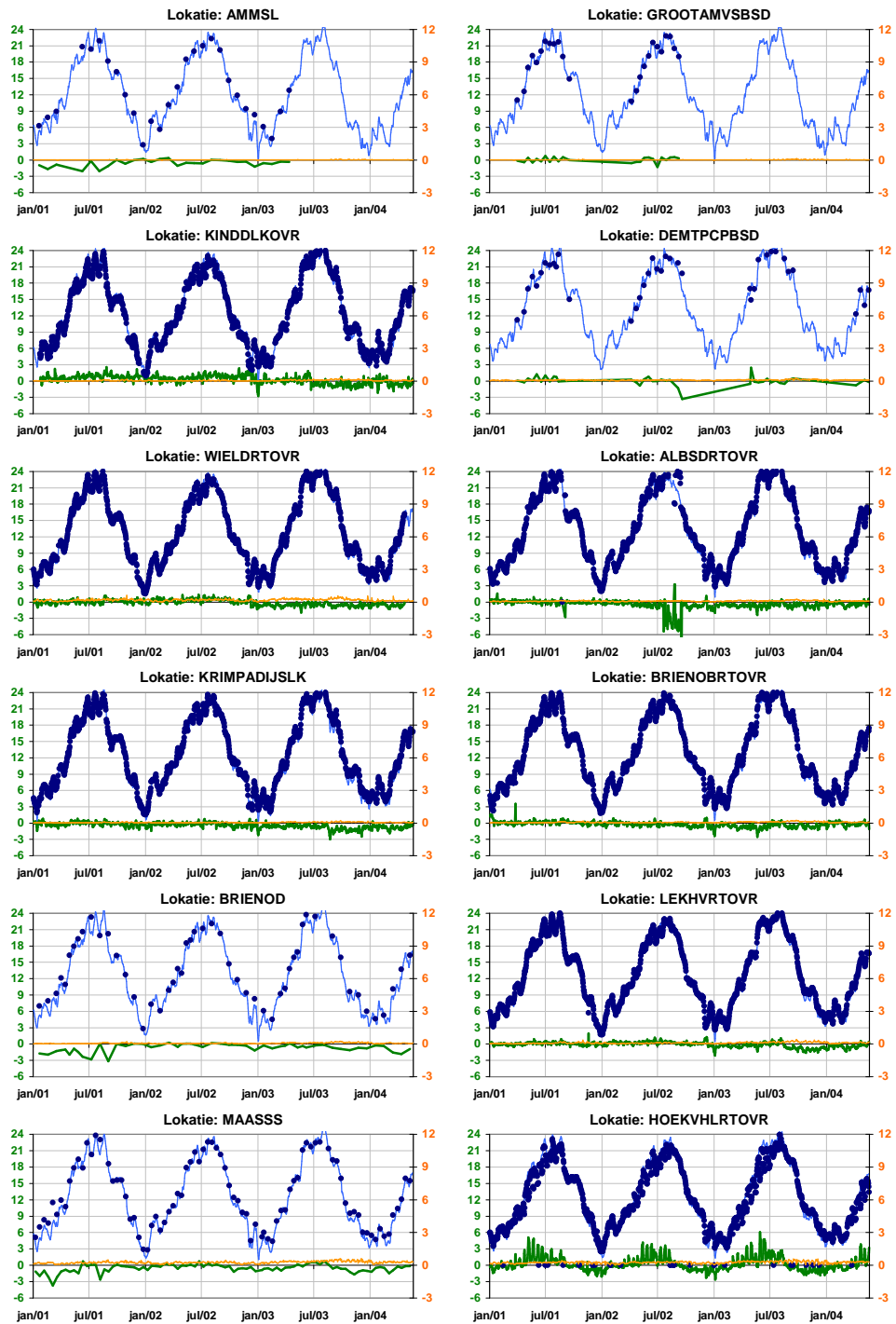


Fig. A.1a Temperatuurmetingen en modelresultaten voor diverse locaties in het deltabekken Noordrand. Model en meting op linker y-as, verschil en bijdrage lozing op rechter y-as.

• meting      — verschil (model-meting)      — model      — bijdrage lozing

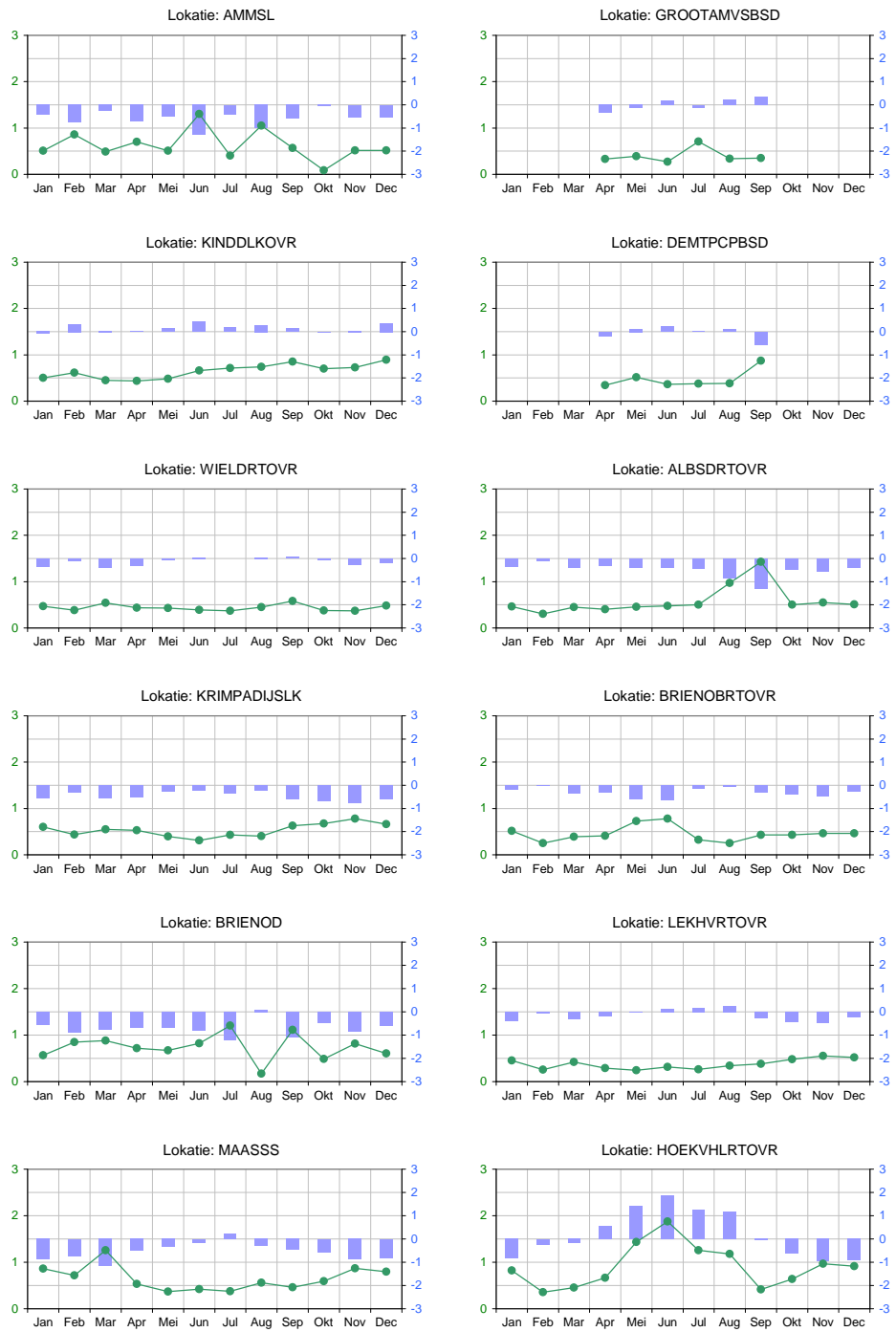


Fig. A1b Verschil tussen modelberekening en meting per maand in de periode 1991-1994 in het deltabekken Noordrand: gemiddelde van de absolute verschillen (linker-as) en gemiddelde van de verschillen (rechter-as).

—•— gemiddeld absoluut verschil      ■ gemiddeld verschil



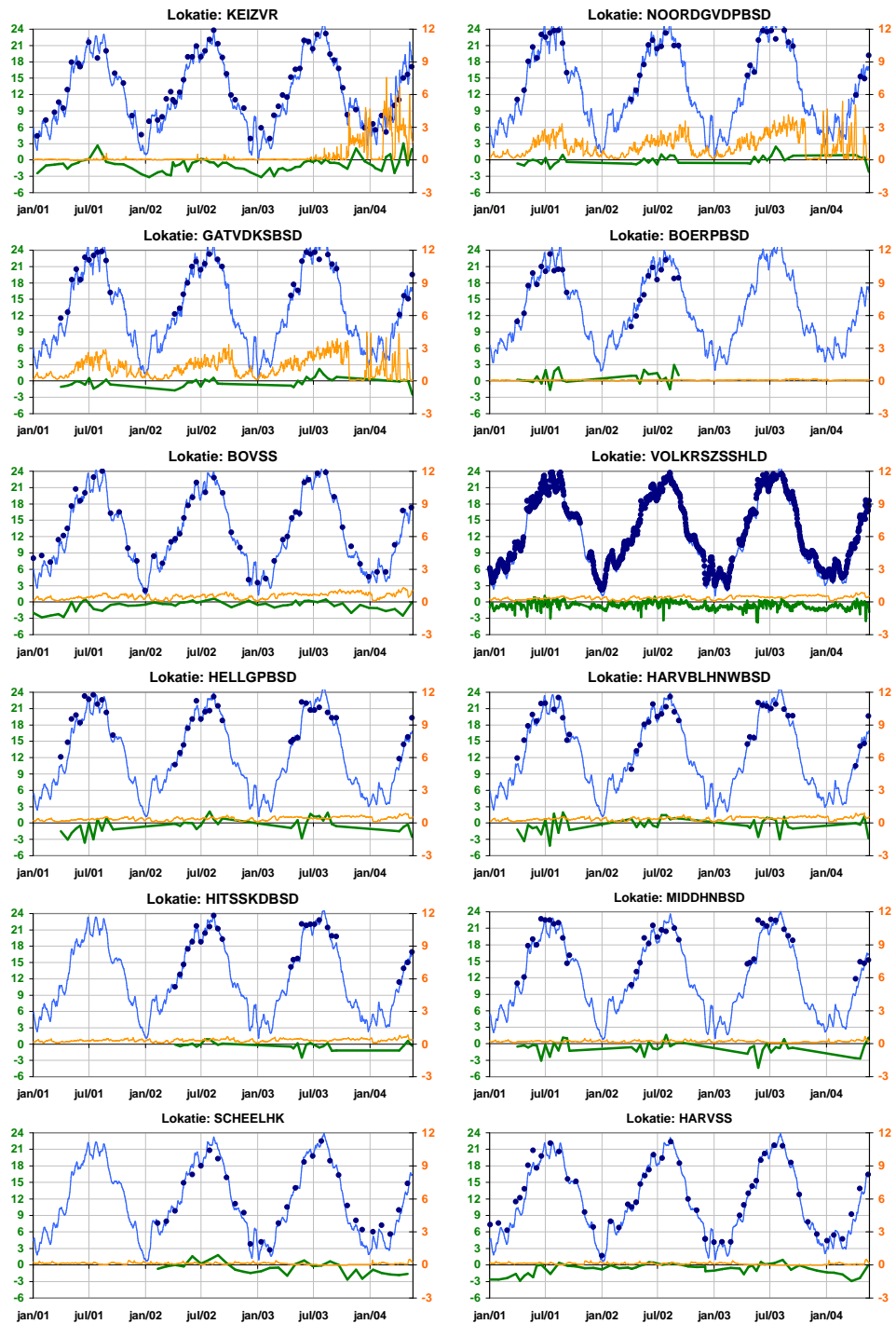


Fig. A.2a Temperatuurmetingen en modelresultaten voor diverse locaties in het deltabekken Zuidrand. Model en meting op linker y-as, verschil en bijdrage lozing op rechter y-as

• meting      — verschil (model-meting)      — model      — bijdrage lozing

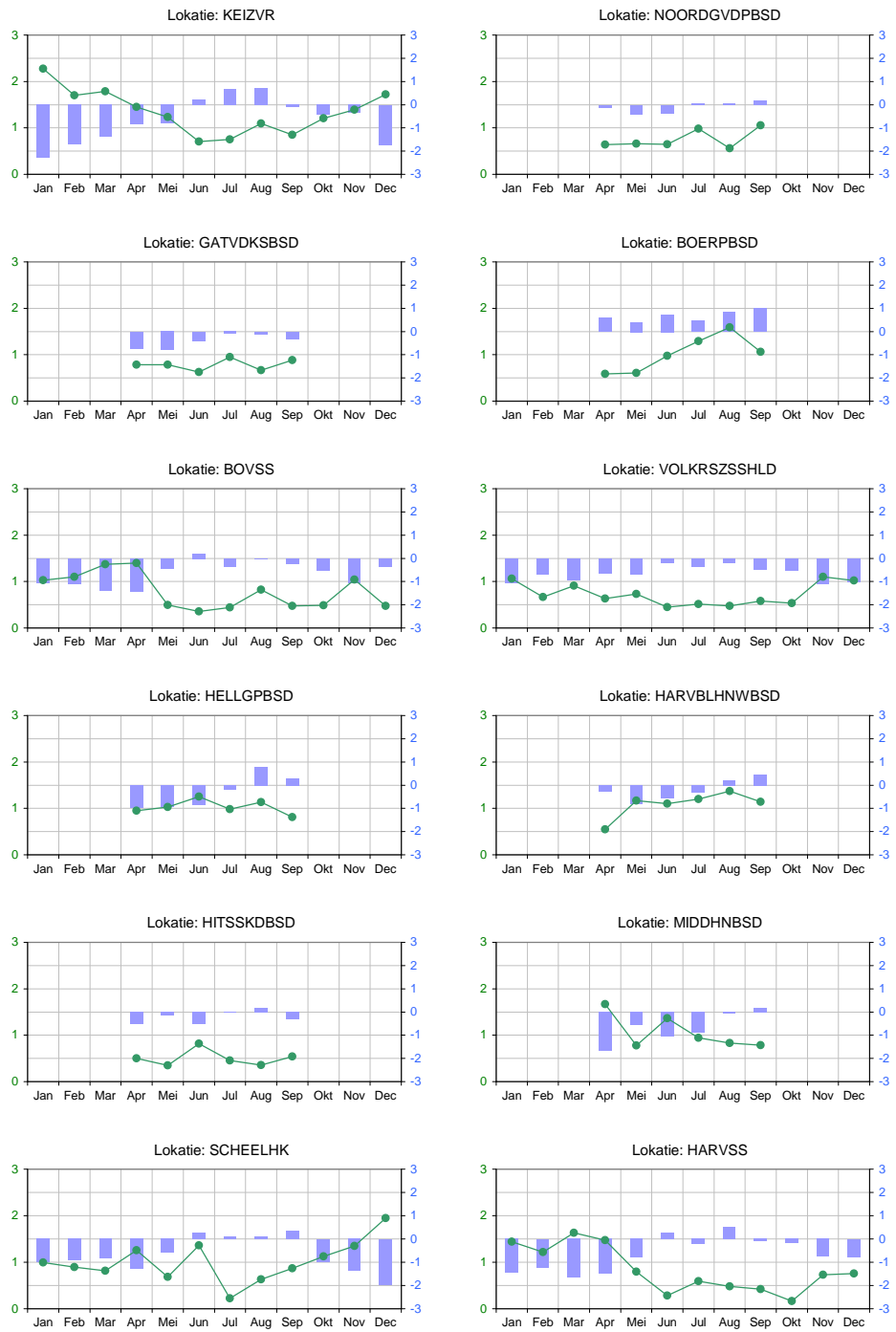


Fig. A2.b Verschil tussen modelberekening en meting per maand in de periode 1991-1994 in het deltabekken Zuidrand: gemiddelde van de absolute verschillen (linker-as) en gemiddelde van de verschillen (rechter-as).

—•— gemiddeld absoluut verschil      ■ gemiddeld verschil

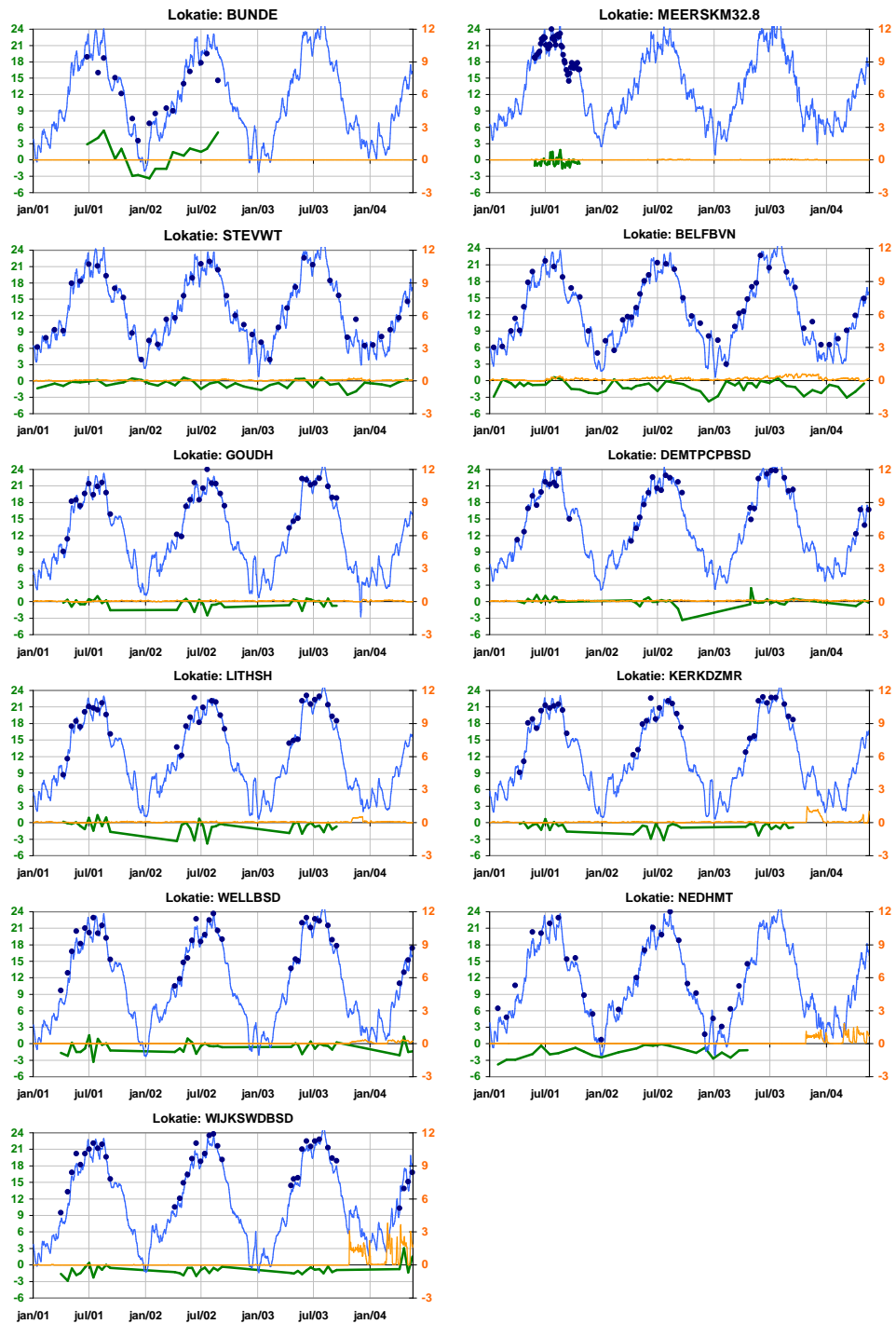


Fig. A.3a Temperatuurmetingen en modelresultaten voor diverse locaties in het stroomgebied van de Maas. Model en meting op linker y-as, verschil en bijdrage lozing op rechter y-as

• meting      — verschil (model-meting)      — model      — bijdrage lozing

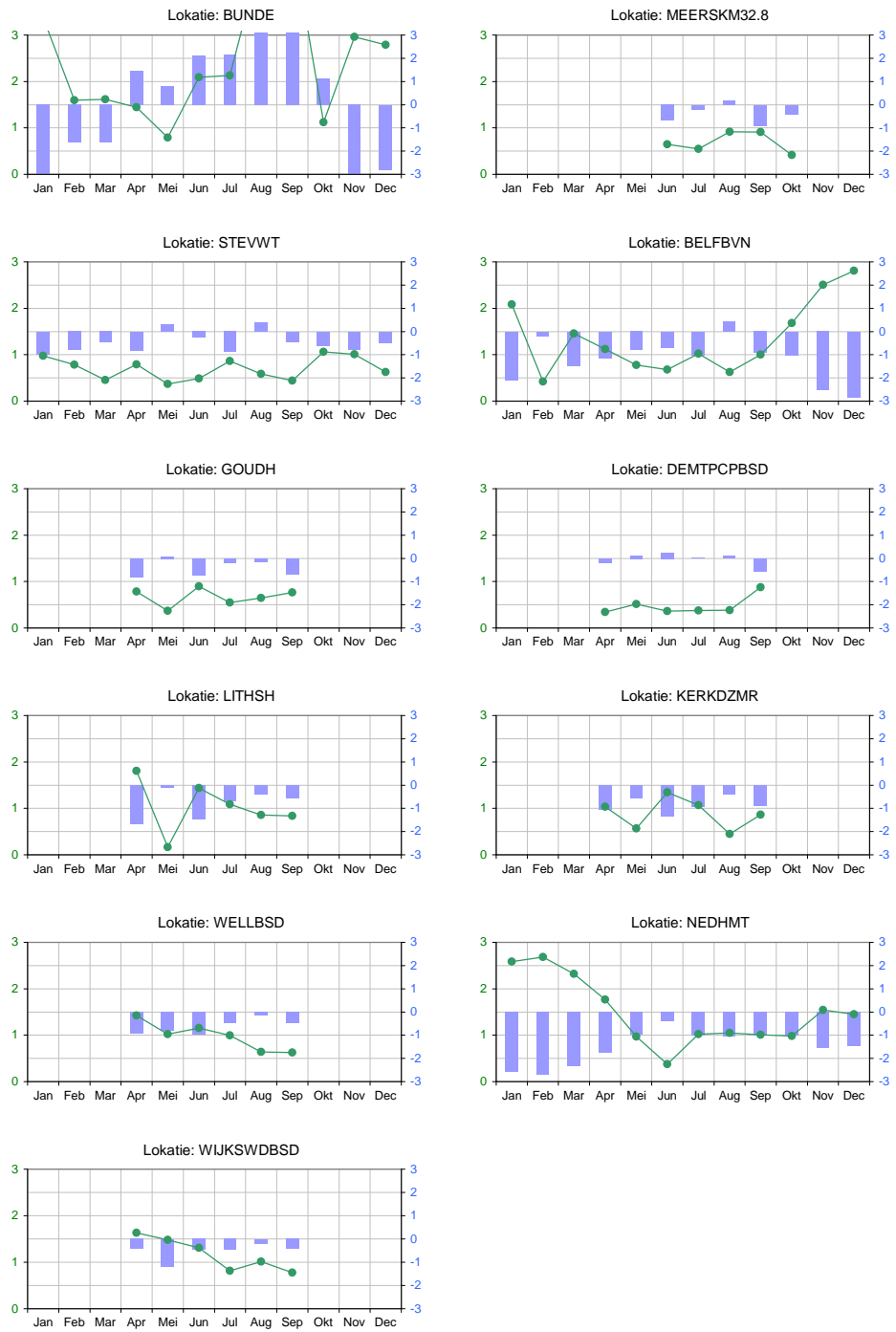


Fig. A.3b Verskil tussen modelberekening en meting per maand in de periode 1991-1994 in het stroomgebied van de Maas: gemiddelde van de absolute verschillen (linker-as) en gemiddelde van de verschillen (rechter-as).

—•— gemiddeld absoluut verschil      ■ gemiddeld verschil

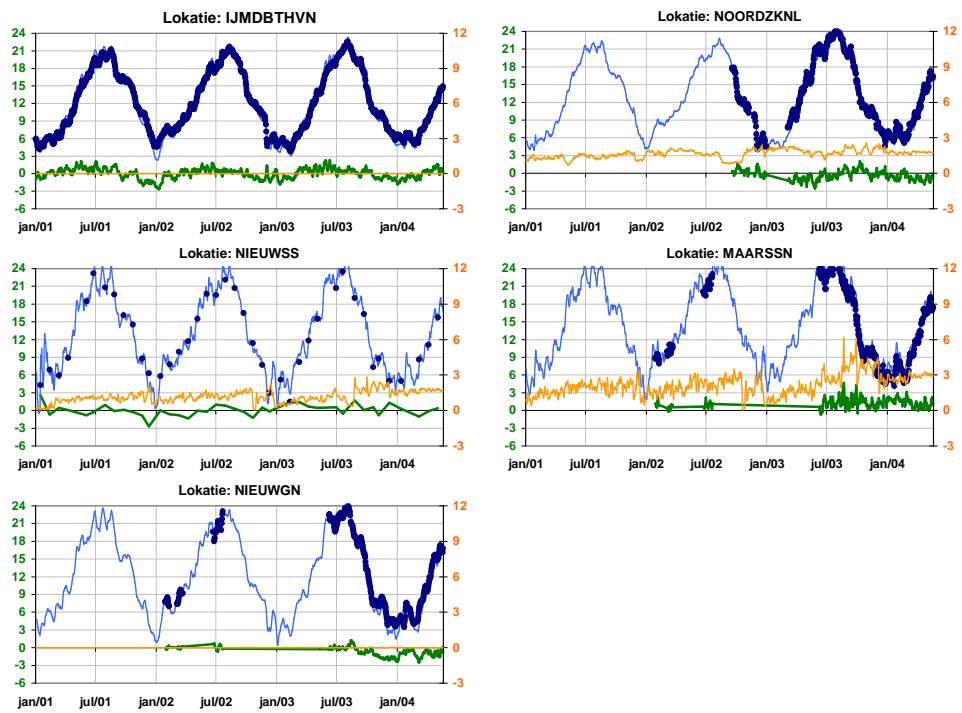


Fig. A4.a Temperatuurmetingen en modelresultaten voor diverse locaties in het ARK-NZK. Model en meting op linker y-as, verschil en bijdrage lozing op rechter y-as

- meting
- verschil (model-meting)
- model
- bijdrage lozing

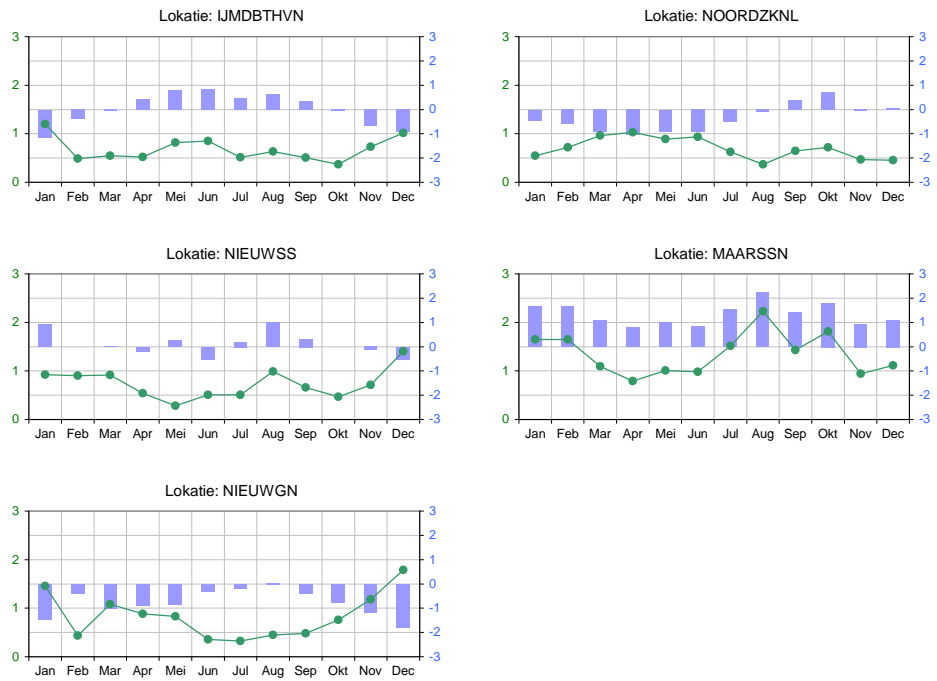


Fig. A.4b Verschil tussen modelberekening en meting per maand in de periode 1991-1994 in ARK-NZK: gemiddelde van de absolute verschillen (linker-as) en gemiddelde van de verschillen (rechter-as).

—•— gemiddeld absoluut verschil      ■ gemiddeld verschil

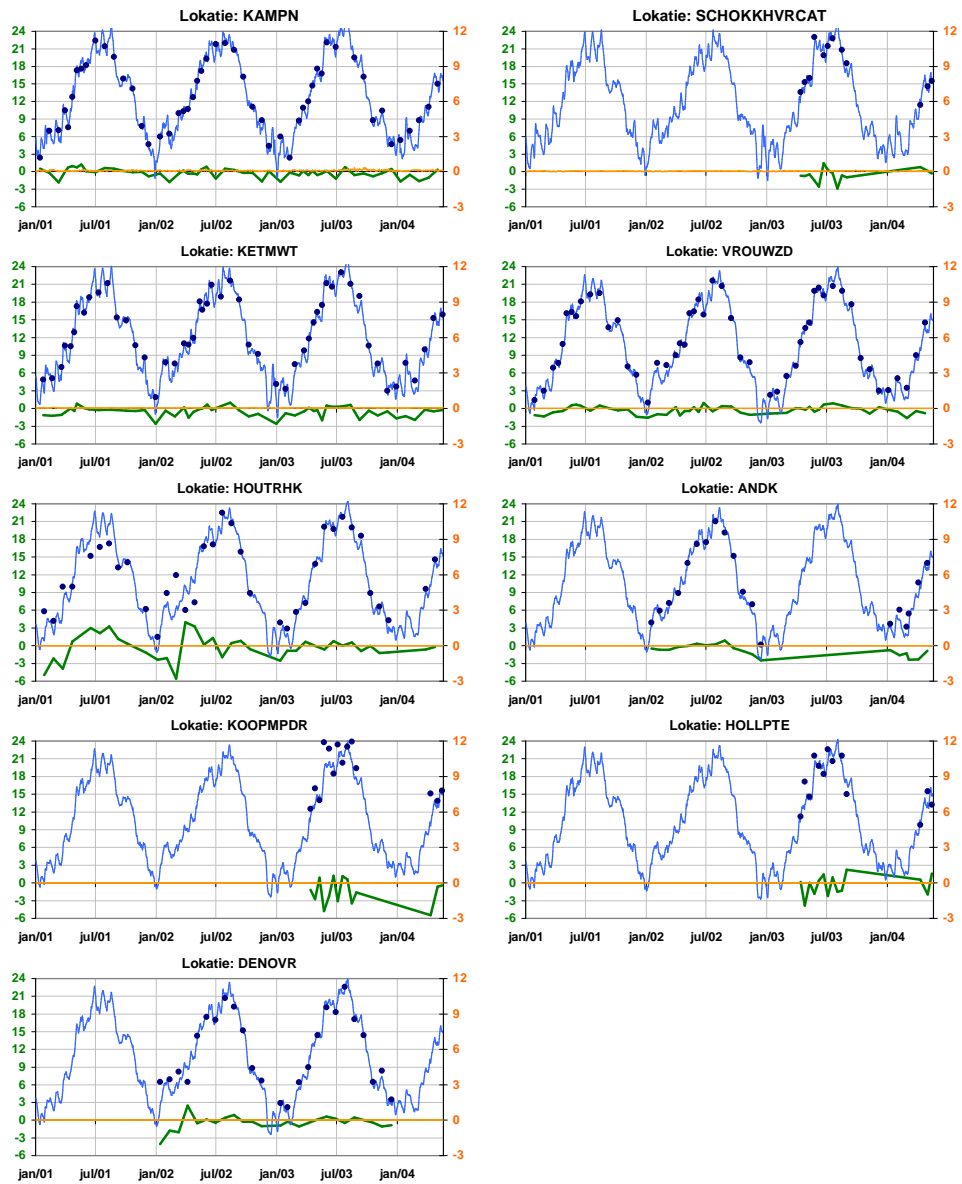


Fig. A5.a Temperatuurmetingen en modelresultaten voor diverse locaties in het IJsselmeergebied. Model en meting op linker y-as, verschil en bijdrage lozing op rechter y-as

• meting      — verschil (model-meting)      — model      — bijdrage lozing

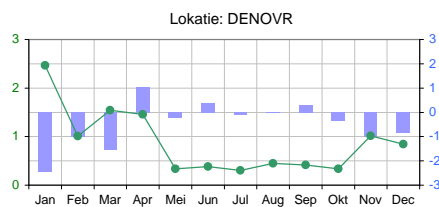
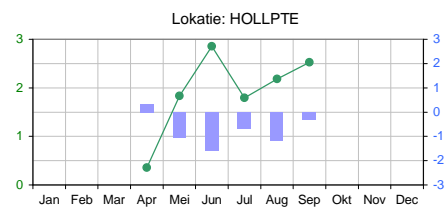
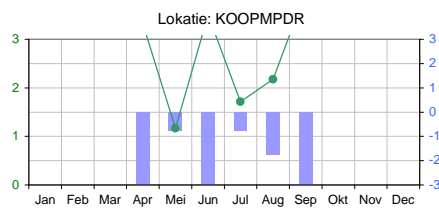
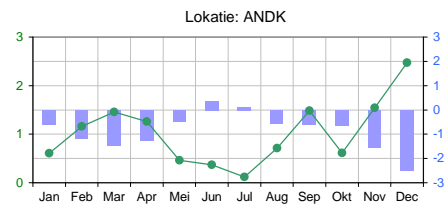
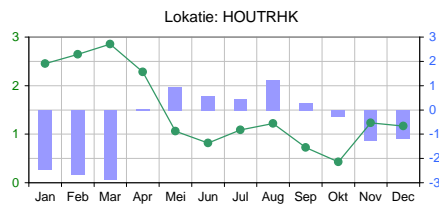
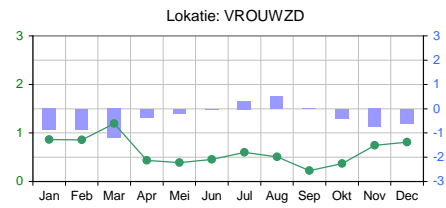
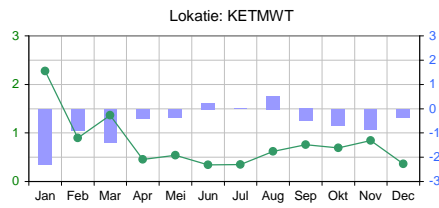
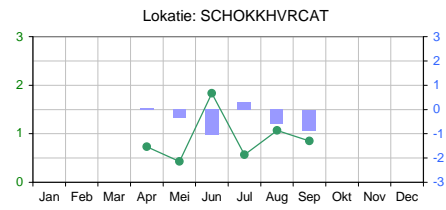
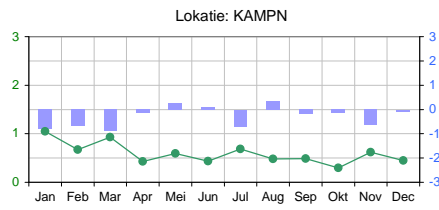


Fig. A.5b Verschil tussen modelberekening en meting per maand in de periode 1991-1994 in het IJsselmeergebied: gemiddelde van de absolute verschillen (linker-as) en gemiddelde van de verschillen

—•— gemiddeld absoluut verschil      ■ gemiddeld verschil



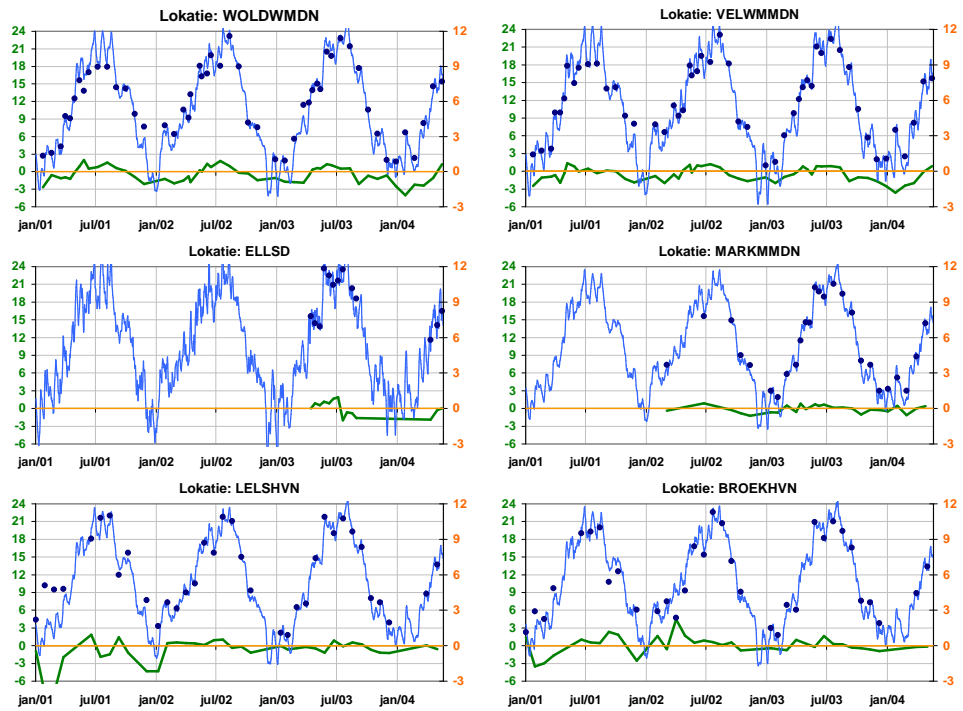


Fig. A6.a Temperatuurmetingen en modelresultaten voor diverse locaties in het Veluwe- en Markermeergebied. Model en meting op linker y-as, verschil en bijdrage lozing op rechter y-as

• meting      — verschil (model-meting)      — model      — bijdrage lozing

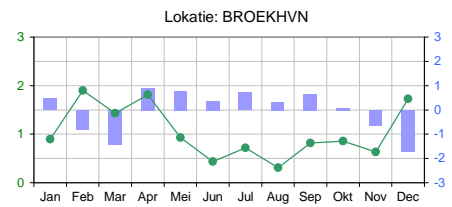
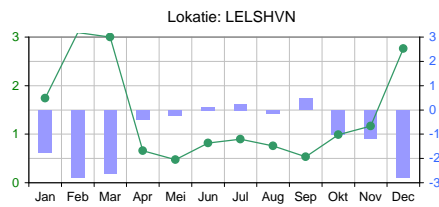
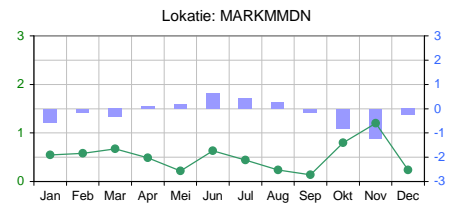
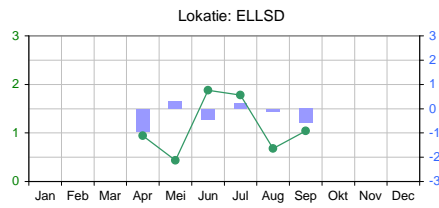
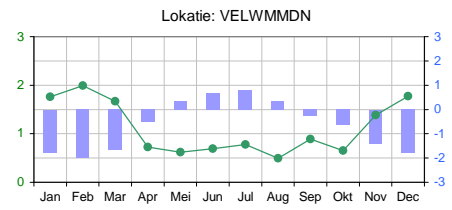
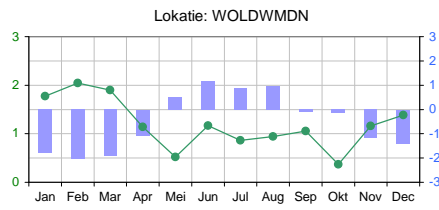


Fig. A.6a Verschil tussen modelberekening en meting per maand in de periode 1991-1994 in het Markermeergebied: gemiddelde van de absolute verschillen (linker-as) en gemiddelde van de verschillen

—•— gemiddeld absoluut verschil      ■ gemiddeld verschil