

Update LSM3 temperatuurmodel - verbeteringen 2024



Update LSM3 temperatuurmodel - verbeteringen 2024

Auteur(s)

Sibren Loos

Geert Prinsen

Update LSM3 temperatuurmodel - verbeteringen 2024

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Martin Scholten
Referenties	11208053-010-ZWS-0005_v0.1-KPP 2022 - verificatie van LSM3 voor temperatuur 11209233-013-ZWS-0004_v0.1-Rapportage doorvoeren verbeteringen LSM3 temperatuur
Trefwoorden	LSM3, SOBEK3, temperatuur

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	11-03-2025
Projectnummer	11210333-011
Document ID	11210333-011-ZWS-0003
Pagina's	24
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Sibren Loos Geert Prinsen	

Inhoud

1	Inleiding	5
1.1	Overzicht openstaande issues	5
1.2	Doorgevoerde verbeteringen LSM3	6
1.2.1	Afvoer Bodegraven	6
1.2.2	Watertemperatuur gerelateerde aanpassingen	7
1.2.2.1	Aanpassingen in de Sobek3 software	7
1.2.2.2	Modelaanpassingen voor warmtelozingen	7
2	Resultaten verbeteringen watertemperatuur LSM3	8
2.1	Verschil met vorige versie	8
2.1.1	Temperaturen onder de nul graden Celsius	8
2.1.2	Constante watertemperatuur	11
2.1.3	Hoge dispersie waarden	12
2.1.4	Warmtelozingen	14
2.1.4.1	Aanpassing opdrukken warmtelast	14
2.1.4.2	Het Amsterdam Rijnkanaal	16
2.1.4.3	Aanvullende actualisatie	18
2.2	Vergelijking met metingen	18
3	Uitlevering Nationaal Water Model	21
4	Conclusies en vervolgstappen	22
5	Referenties	23

1 Inleiding

Naar aanleiding van eerdere studies (Loos et al., 2024; Loos en Boderie, 2022) en de in 2024 uitgevoerde basisprognoses 2024 met het LSM3 model zijn er updates doorgevoerd voor het LSM3 temperatuurmodel. De issues die naar voren zijn gekomen zijn beschreven in paragraaf 1.1. Vervolgens is benoemd welke wijzigingen zijn doorgevoerd (in paragraaf 1.2) en welke modelversies van het LSM3 die uitgeleverd zijn, of nog uitgeleverd zullen worden in 2025, aan het Nationaal Water Model (paragraaf 3). De beschreven modelversies zijn vastgelegd in een Protocol van Overdracht ("PvO_MA07ab_KPP2024_LSM-sobek-lsm3-j18_5-v7").

In hoofdstuk 2 zijn de resultaten beschreven van de doorgevoerde verbeteringen door naar de verschillen met de vorige LSM3 modelversie te kijken. De vergelijking met metingen zal worden uitgevoerd in 2025.

Hoofdstuk 3 geeft een kort overzicht van de uitgevoerde verbetering en welke stappen nog afgerond moeten worden.

1.1 Overzicht openstaande issues

In Tabel 1.1 zijn alle issues voor het LSM3 temperatuurmodel opgesomd. De meeste hiervan zijn dit jaar opgepakt, zie hiervoor paragraaf 1.2.

Tabel 1.1 Overzicht van issues die zijn geconstateerd tijdens het toepassen van het LSM3 temperatuurmodel.

Issuenummer	Beschrijving	Opmerking	Zie paragraaf
SOBEK3-2236	Berekende watertemperatuur voor meerdere locaties (ver) onder de nul graden Celsius	In de Delft3D software wordt bij een temperatuur kleiner dan nul graden Celsius de 'heatflux' op nul gezet om verdere afkoeling te voorkomen.	2.1.1
SOBEK3-2223	De berekende dispersie toont onrealistische waarden	Hoge dispersie kan leiden tot een snelle verspreiding van de warmte. Vanwege het fragmentarisch patroon van de extreme waarden is de verwachte impact klein	2.1.3
SOBEK3-2261	De modelresultaten tonen constante temperaturen voor meerdere locaties	Voor drooggevallen rekenpunten is dit een verwachte uitkomst, voor niet-droogvallende rekenpunten is dit incorrect.	0
NWM-1165	Controle / actualisatie warmtelozingen	Een compleet gedetailleerd plaatje van alle lozingen is o.b.v. beschikbare informatie niet realistisch/haalbaar. Er is daarom gekeken naar het Amsterdam Rijnkanaal waar voor 2018 een overschrijding van de gesimuleerde watertemperatuur ten opzichte van de metingen was geconstateerd.	2.1.4
NWM-1169	Verbeteren onrealistische temperatuur rond warmtelozingslocaties	Met behulp van een model aanpassing rond de warmtelozingen nagaan of de warmtelast beter mengt met het ontvangende water	
NWM-1171	Nadere controle voor de afvoer bij Bodegraven	Er is geconstateerd dat er afvoer 'ontbreekt' bij Bodegraven in de periode februari-juni en oktober-december.	1.2.1
NWM-1247	Aanvullende check op de verdamping in de warmtebalans	In detail naar de warmtebalans in de voorjaarsperiode kijken, dit n.a.v. een vergelijking met (berekende) Makkink verdamping.	Niet verder onderzocht in dit rapport

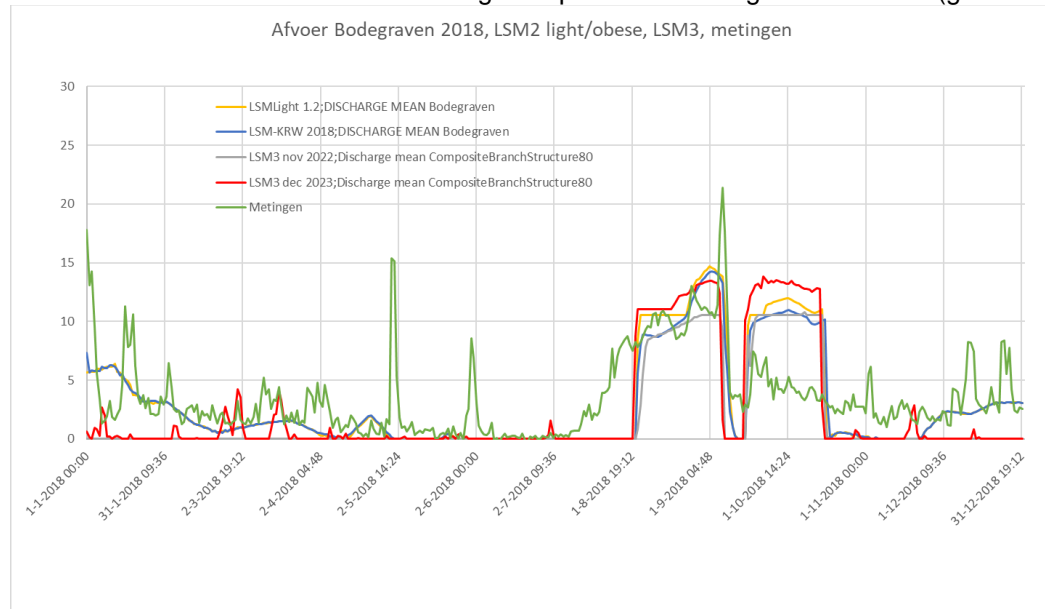
De 'SOBEK3' issues zijn naar voren gekomen uit de plausibiliteitscheck die in het NWM-kader als voorbereiding op de (doorgerekende) basisprognoses 2024 zijn uitgevoerd. De 'NWM' issues zijn eerder geconstateerd in de voorgaande studie (Loos et al., 2024) en werden niet als blokkerend beschouwd om de basisprognoses 2024 door te kunnen rekenen. Wel is bij de berekeningen voor de basisprognoses besloten om de warmtelozingen 'uit te zetten' om te voorkomen dat dit tot onrealistische resultaten of instabiele berekeningen zou leiden.

1.2 Doorgevoerde verbeteringen LSM3

Dit rapport focust op de verbetering van het temperatuurmodel, zie paragraaf 1.2.2. Daarnaast is er ook een kleine aanpassing in de schematisatie onderzocht om de afvoer bij Bodegraven te verbeteren (en 'recht te trekken' met eerdere LSM versies), dit staat beschreven in paragraaf 1.2.1.

1.2.1 Afvoer Bodegraven

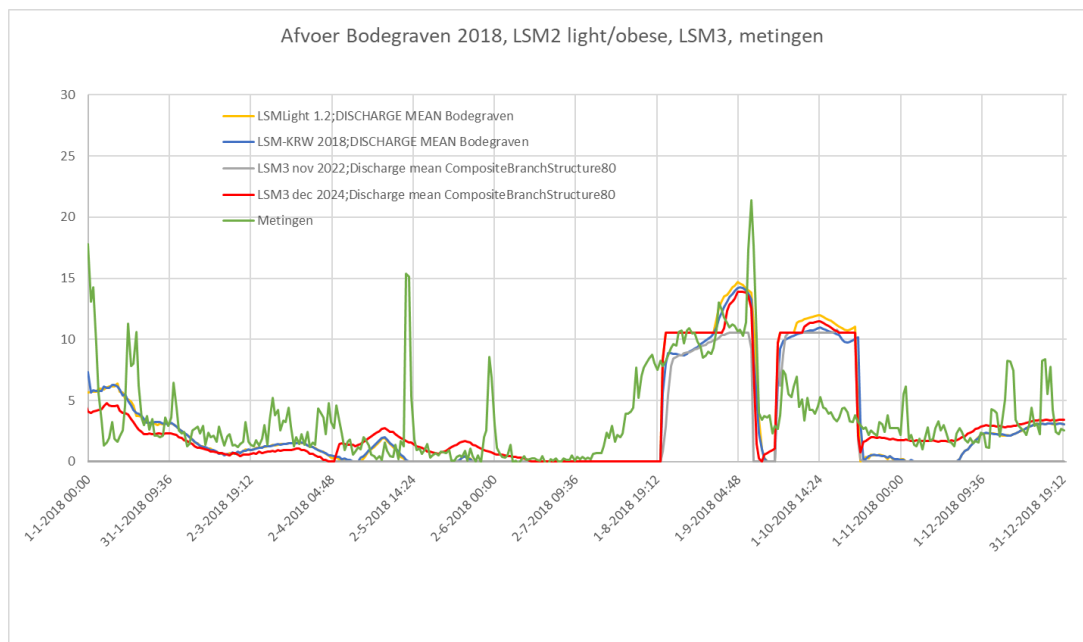
In de LSM3 versie van december 2023 (weergegeven in rood in Figuur 1.1) geeft het model in de wintermaanden een onderschatting ten opzichte van het gemeten debiet (groene lijn).



Figuur 1.1 Afvoer Bodegraven voor het jaar 2018; groen = metingen, rood = LSM3 versie december 2023.

Er zijn diverse testberekeningen uitgevoerd om verschillen met het LSM-light model te kunnen duiden. Omdat er bij Bodegraven een kunstwerk ligt is allereerst gekeken of met andere instellingen het verschil in afvoer verklaard kan worden. Maar de aangepast LSM3 som is vergelijkbaar met de eerdere LSM3 resultaten, waaruit geconcludeerd kan worden dat de sturing het grotere verschil in LSM3 tussen berekend debiet en gemeten debiet volgens NHI bij Bodegraven niet verklaart. Vervolgens is gekeken naar omliggende laterale debieten die water vanuit de regio simuleren. Uit deze test is gebleken dat in het LSM3 diverse "SRW_lateralen" ontbreken, die wel aanwezig zijn in LSM-light. Een voorbeeld is lateral SRW_137: dit is in LSM-light een 'flow connection node with storage and lateral flow' maar in LSM3 alleen een 'retention' zonder 'lateral flow'. De ontbrekende laterals (die wel correct in LSM-light aanwezig zijn) verklaren de ontbrekende afvoer bij Bodegraven in de wintermaanden, zie de nieuwe LSM3 berekening in rood in Figuur 1.2 ten opzichte van de metingen weergegeven in blauw.

Uit een nadere analyse of ook elders in de LSM3 schematisatie ontbrekende lateralen voorkomen, is gebleken dat dit inderdaad het geval is voor lateralen SRW_10 t/m SRW_196. Binnen het NWM worden de laterale debieten door het LHM berekend. Door een schematisatie aanpassing in het LSM3 kunnen deze berekende debieten op de juiste manier doorgegeven worden aan het LSM3 model. De benodigde wijziging zal in het LSM3 model zoals binnen het NWM gebruikt, i.e. eerstvolgende versie sobek-lsm3-j18_5-v8 (zie hoofdstuk 3), worden doorgevoerd.



Figuur 1.2 Afvoer Bodegraven voor het jaar 2018; blauw = metingen, rood = nieuwe LSM3 versie (december 2024).

1.2.2 Watertemperatuur gerelateerde aanpassingen

1.2.2.1 Aanpassingen in de Sobek3 software

Voor de watertemperatuur zijn meerdere aanpassingen in de Sobek3 software doorgevoerd, dit betreft correcties voor de drie issues bovenaan in Tabel 1.1. Hiermee zijn de volgende problemen verholpen:

- (sterk) negatieve watertemperaturen (toelichting impact beschreven in paragraaf 2.1.1)
- constante watertemperaturen voor locaties die niet zijn drooggevallen (toelichting impact beschreven in paragraaf 0)
- onrealistische dispersiewaarden (toelichting impact beschreven in paragraaf 2.1.3)

1.2.2.2 Modelaanpassingen voor warmtelozingen

Voor de watertemperatuur rondom warmtelozingen is een aanpassing doorgevoerd waarbij de warmtelast op een andere manier wordt ingebracht: in graden Celsius met een factor 0.1 verlaagd in combinatie met een hoger debiet (factor 10). Gecombineerd levert dit dezelfde warmtelozing op (in MW), maar door het verhoogde debiet, is er meer waterbeweging danwel volume en daardoor een verwachte hogere uitwisseling met het omliggende stromende waterlichaam (toelichting impact beschreven in paragraaf 2.1.4.1).

Ook is er onderzocht wat het effect is van een geactualiseerde warmtelozing op de watertemperatuur in het Amsterdam Rijnkanaal (zie paragraaf 2.1.4.2).

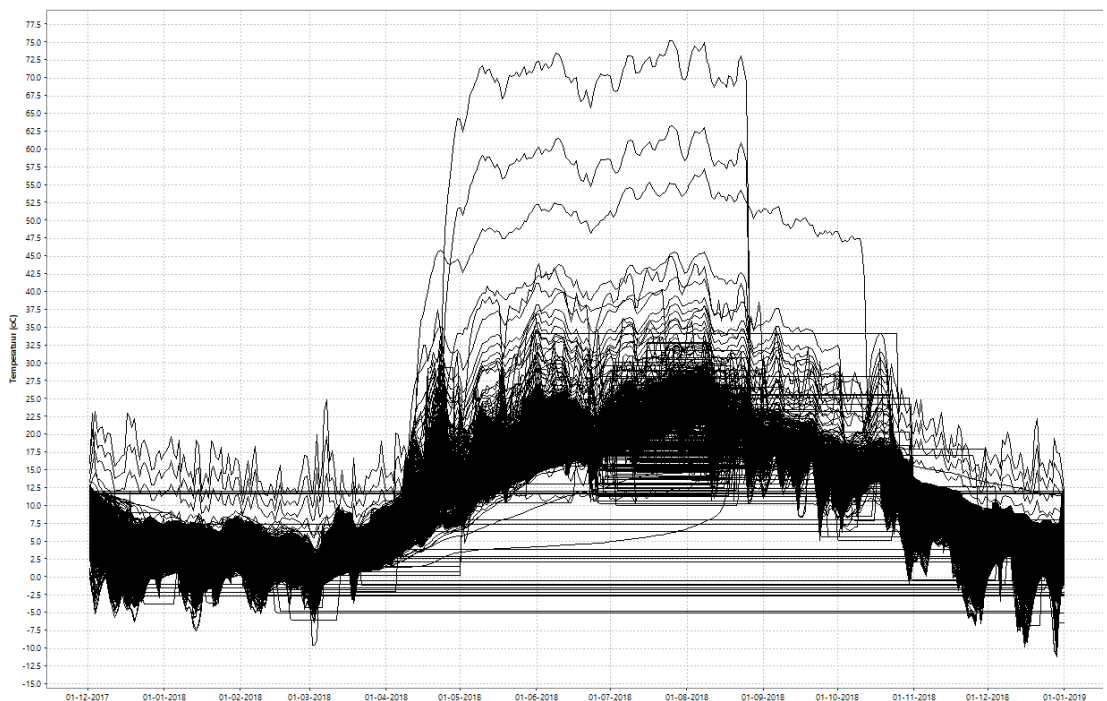
2 Resultaten verbeteringen watertemperatuur LSM3

2.1 Verschil met vorige versie

In onderstaande paragrafen zijn de in paragraaf 1.1 genoemde issues één voor één langsgelopen en is het effect van de beschreven (verbeter)stap getoond.

2.1.1 Temperaturen onder de nul graden Celsius

In de vorige versie van het LSM3 model zoals gebruikt in de verificatiestudie (referentieberekening met het composite¹ model 'C0' waarin nog te hoge temperaturen rond warmtelozingslocaties zichtbaar zijn) is te zien dat de watertemperatuur op sommige momenten onder de -10°C duikt (zie Figuur 2.1). Ook voor één van de basisprognose 2024 berekeningen uitgevoerd binnen het Nationaal Water Model instrumentarium, met gebruikmaking van synthetische KNMI'23 tijdreeksen, toont negatieve watertemperaturen (lager dan 0°C met uitschieters tot -16°C, zie Figuur 2.2)



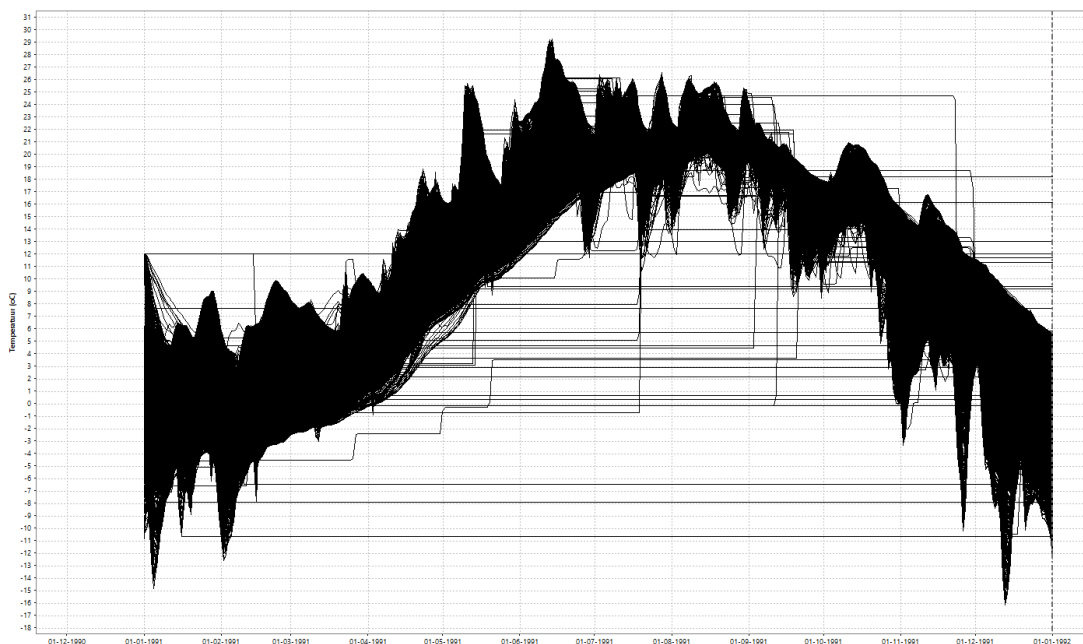
Figuur 2.1 Overzicht van berekende watertemperatuur voor het jaar 2018 met het LSM3 model (verificatiestudie; Loos et. al., 2024) voor alle uitvoerlocaties, waarin negatieve temperaturen zichtbaar zijn.

In de nieuwe Sobek3 code (cf_dll.dll) is een aanpassing gemaakt waardoor de temperatuur niet verder af kan koelen als de watertemperatuur onder de nul graden Celsius uitkomt. Het resultaat van de aangepaste berekening is te zien in Figuur 2.3.

De doorgevoerde aanpassingen in de code zijn gebaseerd op het volgende:

¹ Het 'Composite' model is het volledige watertemperatuur model inclusief uitwisseling met de atmosfeer. In het 'Transport' model is de uitwisseling met de atmosfeer uitgezet, waardoor zonder invloed van globale straling en warmteverlies het transport (en menging) van een warmtelozing onderzocht kan worden.

- De warmteflux kan negatief blijven bij negatieve watertemperaturen, waardoor watertemperaturen steeds lager worden
- IJsvorming wordt niet gemodelleerd in SOBEK3 (geen latente warmte van bevrozing, alleen van verdamping)
- Delft3D4 heeft vergelijkbare warmtefluxmodellen, maar staat geen negatieve warmteflux toe bij bevrozing
- Dezelfde oplossing als in Delft3D4 is nu geïmplementeerd in SOBEK3



Figuur 2.2 Overzicht van berekende watertemperatuur voor het jaar 1991 (o.b.v. synthetische meteorologische tijdreeksen van het KNMI) met het LSM3 model (uit het NWM; Basisprognoseberekening Referentie2028a zonder warmtelozingen) voor alle uitvoerlocaties **vóór de fix voor lage temperaturen**.

De doorgevoerde aanpassing is:

- Als de watertemperatuur onder de nul graden Celsius komt wordt de totale heatflux op nul gezet, zodat er alleen nog opwarming kan plaatsvinden.

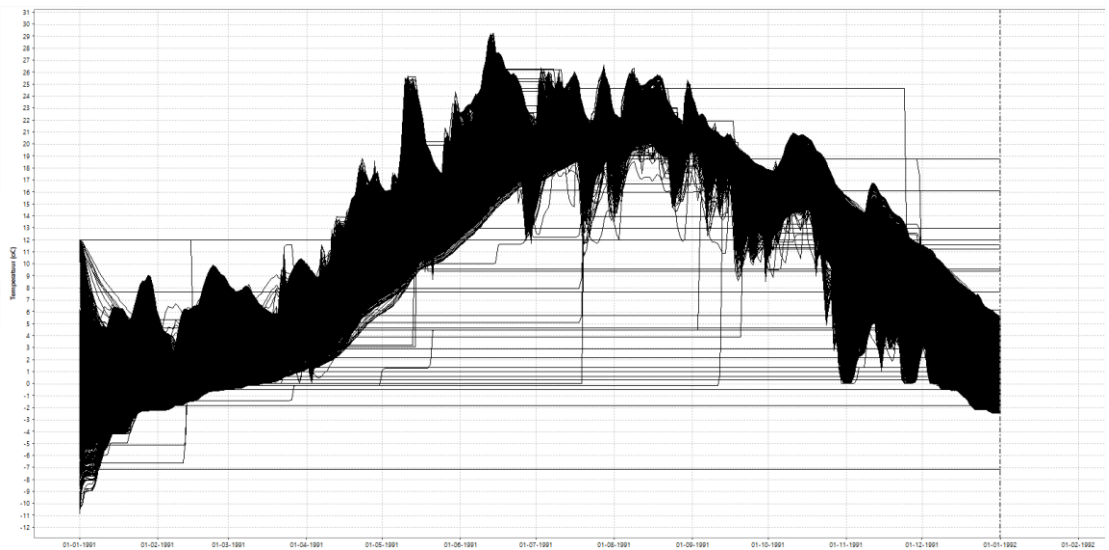
Dit gebeurt omdat er geen ijs, waarvoor o.a. andere verdampingsformuleringen nodig zijn, gemodelleerd kan worden binnen Sobek3. Zodra de watertemperatuur weer boven de nul graden Celsius uitkomt kan er weer afkoeling plaatsvinden. Als er een negatieve temperatuur op de rand wordt gezet (of als de startconditie negatieve temperaturen bevat), kan de temperatuur nog wel onder de nul graden Celsius uitkomen maar neemt deze niet verder af.

In Figuur 2.4 is de watertemperatuur voor en na de toegepaste correctie getoond voor een locatie in het IJsselmeer. De watertemperatuur blijft gedurende het gehele jaar boven de nul graden Celsius.

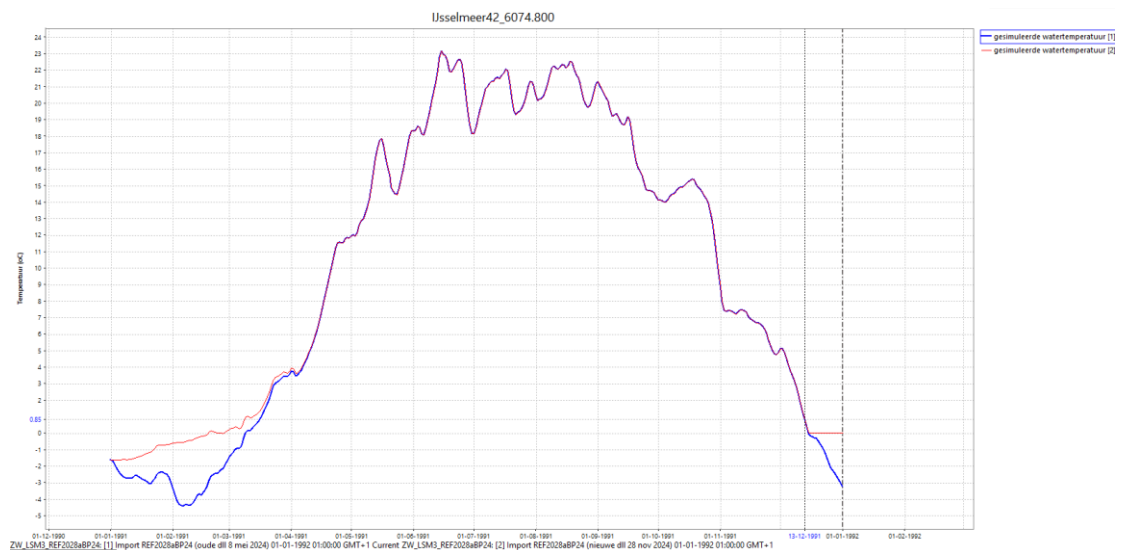
Voor een locatie met een kleiner watervolume is het temperatuurverloop gevoeliger voor laterale debieten. In het huidige LSM3 model wordt de temperatuur voor laterale debieten berekend met het 'bakjes'-model².

² Het 'bakjes'-model bestaat uit tien fictieve gesloten waterbakjes, die alleen beïnvloed worden door opgedrukte meteorologie van 10 KNMI stations (Amsterdam/Schiphol, De Bilt, Den Kooy, Eindhoven, Groningen/Eelde, Leeuwarden, Maastricht, Rotterdam, Twente, Vlissingen). Voor elk bakje dat één van deze regio's (rondom de KNMI stations) afdekt, wordt de watertemperatuur berekend, welke vervolgens wordt gebruikt als randvoorwaarde voor de lateralen. Het 'bakjes'-model is opgezet in Sobek2 en maakt gebruik van de Delwaq processen voor het berekenen van watertemperatuur.

Dit model is nog opgezet in Sobek2, waarin andere warmtebalansformuleringen worden gebruikt en de hierboven genoemde aanpassing voor de heatflux niet is opgenomen. De resultaten van het 'bakjes'-model kunnen daarom nog wel negatieve temperaturen opleveren. Het wordt aanbevolen dit bakjesmodel ook over te zetten naar Sobek3 zodat dezelfde onderliggende warmtebalansformuleringen worden gebruikt.



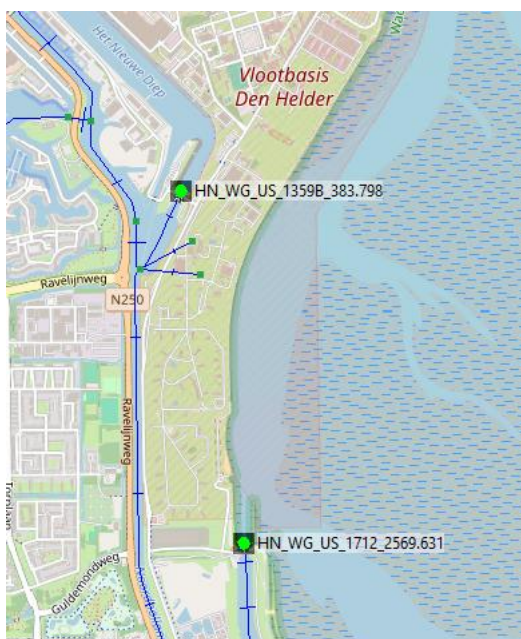
Figuur 2.3 Overzicht van berekende watertemperatuur voor het jaar 1991 (o.b.v. synthetische meteorologische tijdreeksen van het KNMI) met het LSM3 model (uit het NWM; Basisprognoseberekening Referentie2028a zonder warmtelozingen) voor alle uitvoerlocaties **ná de fix voor lage temperaturen** (zie ter vergelijking Figuur 2.2).



Figuur 2.4 Berekende watertemperatuur voor het jaar 1991 (o.b.v. synthetische meteorologische tijdreeksen van het KNMI) met het LSM3 model voor het IJsselmeer **vóór (blauwe lijn) en ná (rode lijn) de fix voor lage temperaturen**.

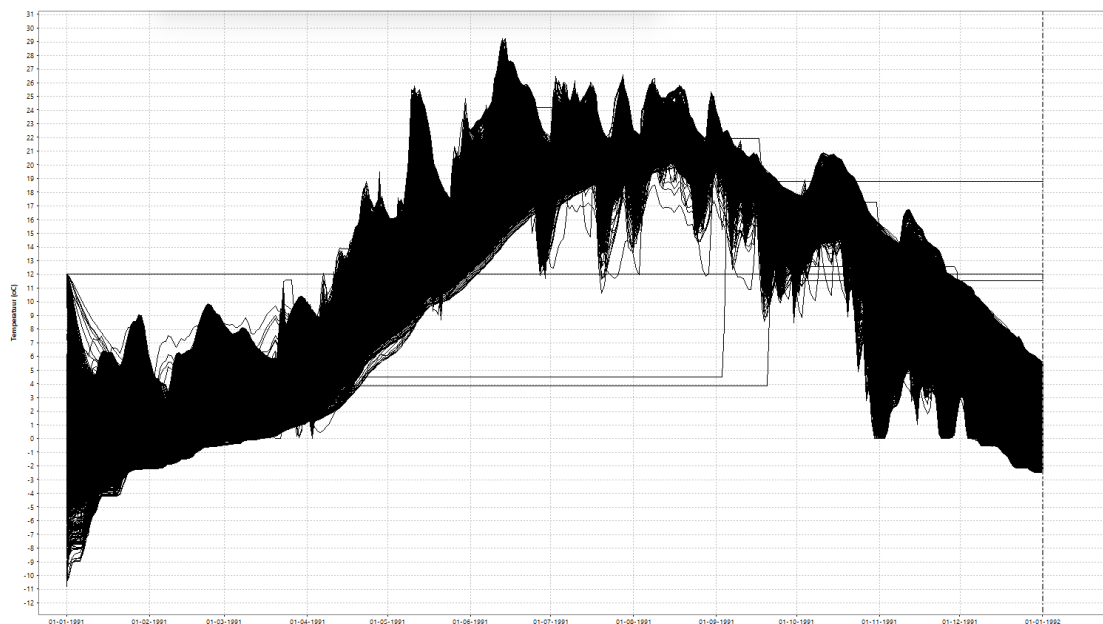
2.1.2 Constante watertemperatuur

Er is door het SOBEK team naar het issue met de constante watertemperaturen gekeken. Ze constateerden dat voor een aantal gevallen dit optreedt op randen, waarbij geen uitwisseling is. In dit bijzondere geval is er een pomp gedefinieerd op de inkomende flow link. Als de pomp uit staat is de stroomsnelheid $0 \text{ m}^3/\text{s}$ en dan wordt aangenomen dat dit een uitstromende rand is. Maar omdat er geen fysieke uitstroom is, verandert de temperatuur niet door advectie. Daarnaast worden geen temperatuurfluxen, als gevolg van uitwisseling met de atmosfeer, op een randpunt berekend. Dus ook daardoor blijven de temperaturen constant. De constante temperatuur blijft beperkt tot de randlocatie en het 'binnengebied' (het modeldomein) wordt hier niet door beïnvloedt. Het is daarmee geen 'bug', maar een visualisatie 'issue' in de zin dat je zowel modelresultaat en modelrand in dezelfde kaartlaag ziet. De keuze hiervoor is dat beide tijdreeksen in de gridpoints.nc uitvoerbestand worden weggeschreven en zonder filtering in de FEWS-NWM kaartlaag getoond worden. Een voorbeeld locatie van een dergelijke rand is een locatie in de buurt van Den Helder op het eind van een branch, zie Figuur 2.5.



Figuur 2.5 Voorbeeld locatie van een modelrand waar een pomp is gedefinieerd op de inkomende flow link.

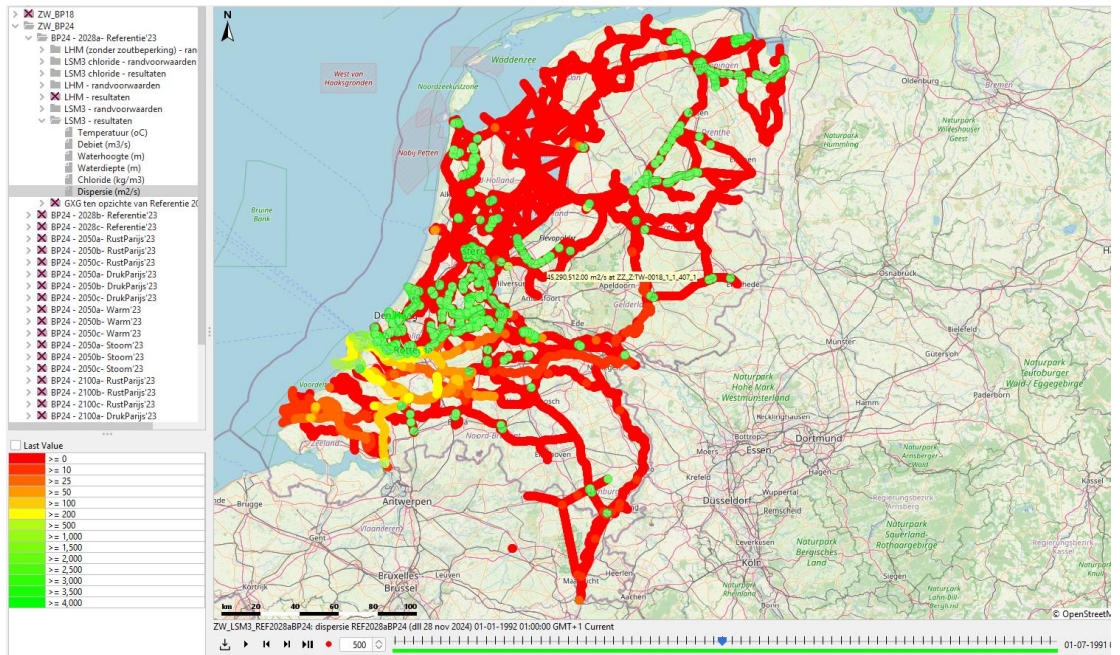
Voor andere gevallen, rondom droogvallende rekenpunten, bleek wel een fout in de code te zitten. De 'aanpalende' rekenpunten kregen hier onterecht een constante temperatuur op momenten dat de buurcellen droogvielen (waterdiepte $< 1 \text{ cm}$). Dit is hersteld in de code, het resultaat voor de gehele LSM3 schematisatie is te zien in Figuur 2.6. De locaties die nog zichtbaar zijn met een constante temperatuur zijn randen of ondervinden ergens in het jaar droogval. Op deze plekken is het correct dat er, na droogval, geen nieuwe watertemperatuur wordt berekend, want voor zulke rekenpunten ($< 1 \text{ cm}$ waterdiepte) kan geen realistische temperatuur berekend worden met de Sobek3 rekenkern. En voor pompen op de buitenrand wordt de temperatuur opgedrukt door de gebruiker (het is een randvoorwaarde van het LSM3) en pas doorgegeven aan het netwerk zodra er instroming plaatsvindt (als de pomp aan staat). Echter, als de pomp uit staat, vindt er geen berekening plaats voor deze buitenrand en wordt de laatst berekende watertemperatuurwaarde vastgehouden. In feite gaat het in dit geval niet om een berekende temperatuur en zouden deze punten uit de (FEWS) visualisatie kunnen worden verwijderd.



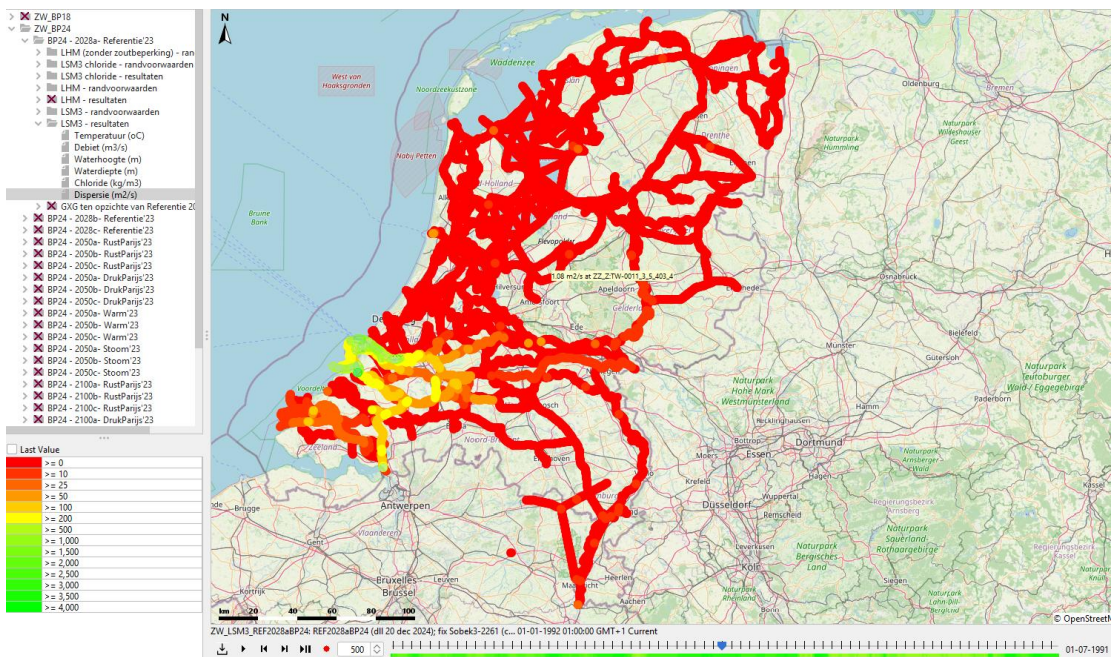
Figuur 2.6 Overzicht van berekende watertemperatuur voor het jaar 1991 (o.b.v. synthetische meteorologische tijdreeksen van het KNMI) met het LSM3 model (uit het NWM; Basisprognoseberekening Referentie2028a zonder warmtelozingen) voor alle uitvoerlocaties (die niet droogvallen) **ná fix voor constante temperaturen** (zie ter vergelijking *Figuur 2.3*).

2.1.3 Hoge dispersie waarden

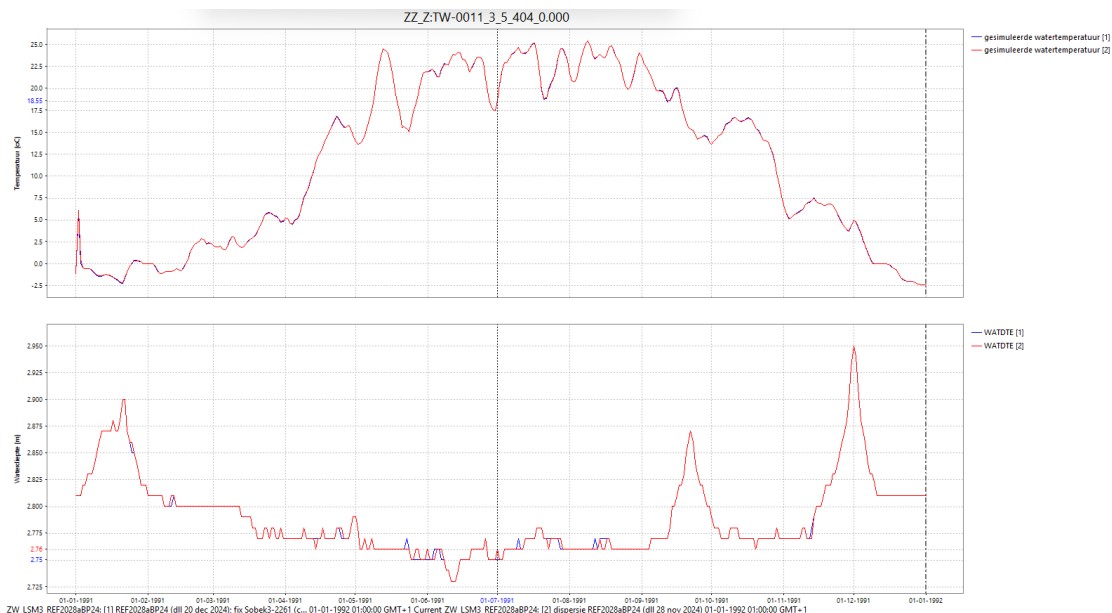
Figuur 2.7 toont het ‘gefragmenteerd’ ruimtelijk patroon van de hoge dispersiewaarden. Het Sobek team heeft het issue opgelost, door bij de berekening van de dispersie de chezy waarde te gebruiken van het snelheidsrekenpunt (deze is altijd gedefinieerd) in plaats van het waterstandsrekenpunt (niet altijd gedefinieerd). Het resultaat is te zien in *Figuur 2.8*: de grootste waarde is kleiner dan 4000 m²/s en alle hogere waarden liggen in het getijdegebied. Om vast te stellen of de wijziging invloed heeft op de modelberekeningen is voor een aantal locaties gekeken of er verschillen zijn tussen de oude en nieuwe berekening, zie een voorbeeld locatie in *Figuur 2.9* Op basis van een aantal steekproeven kan gesteld worden dat de verschillen te verwaarlozen zijn.



Figuur 2.7 Ruimtelijk beeld van dispersie voor een willekeurige dag in zoals berekend met het LSM3 model **vóór de fix voor onrealistische dispersiewaarden** (de velgroene punten hebben te hoge dispersiewaarden).



Figuur 2.8 Ruimtelijk beeld van dispersie voor een willekeurige dag in zoals berekend met het LSM3 model **ná de fix voor onrealistische dispersiewaarden**.

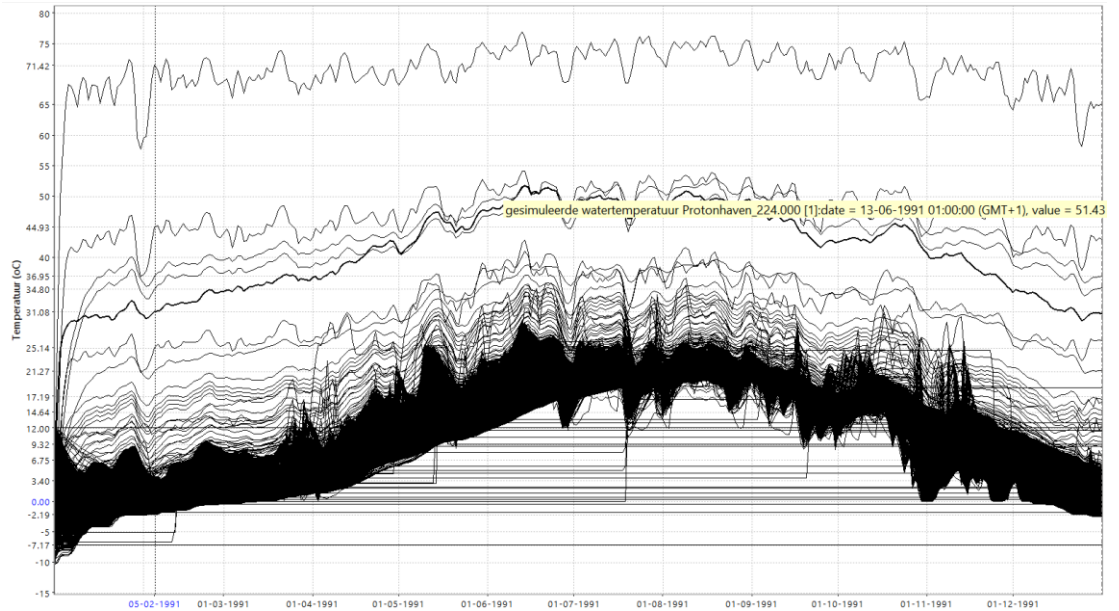


Figuur 2.9 Vergelijking van de watertemperatuur (boven) en waterdiepte (onder) voor een branch in Flevoland waarvoor in Figuur 2.7 onrealistische dispersiewaarden te zien zijn (rood: vóór de fix, blauw: ná de fix).

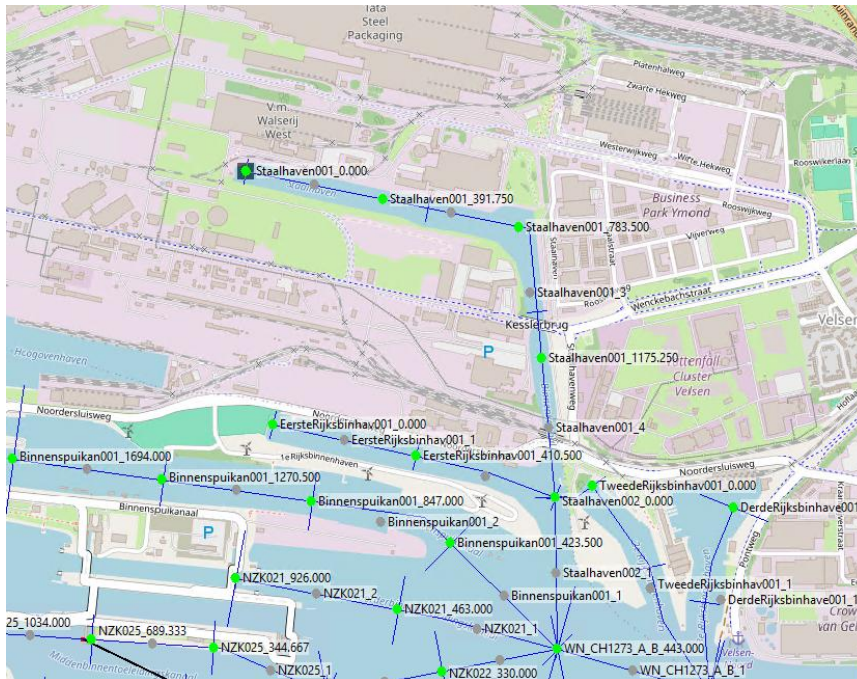
2.1.4 Warmtelozingen

2.1.4.1 Aanpassing opdrukken warmtelast

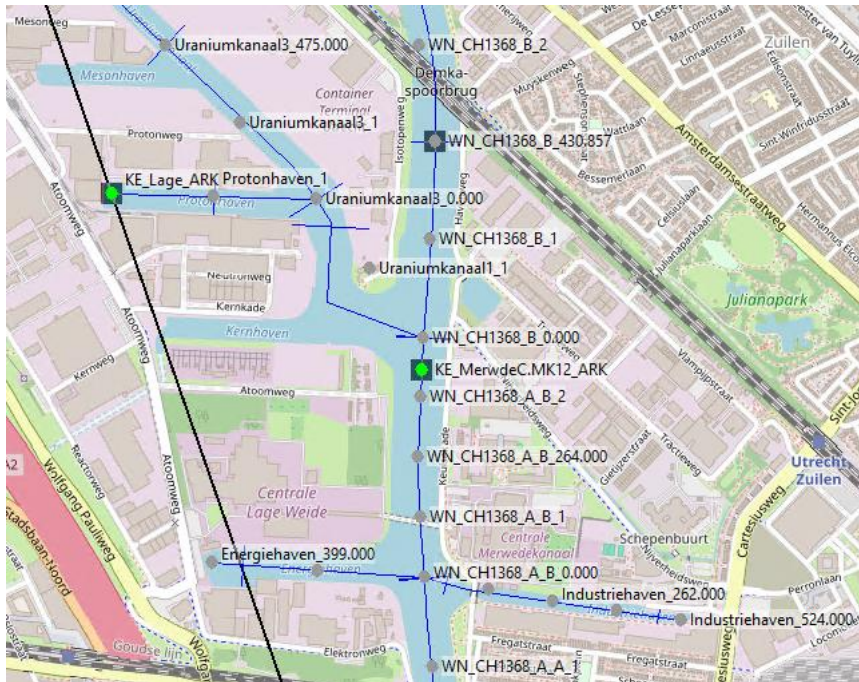
In Figuur 2.6 is gerekend zonder warmtelozingen. Ter vergelijking is in Figuur 2.10 het resultaat getoond waarin de warmtelozingen zijn aangezet zoals in paragraaf 1.2.2.2 beschreven. Voor een locatie in Friesland dichtbij de warmtevoorziening Electrabel in Burgum is het effect van de warmtevoorziening te zien (Figuur 2.13). Behalve dat de aanpassing een stabiele som heeft opgeleverd is wel te zien dat er onrealistisch hoge temperaturen worden berekend rondom warmtevoorzieningen zoals in de Staalhaven bij IJmuiden en ook de Protonhaven aan het Amsterdam Rijnkanaal (in Figuur 2.10: Protonhaven is de vetgedrukte temperatuurreeks zichtbaar ter hoogte van de 'pop-up', Staalhaven is de bovenste temperatuurreeks), zie Figuur 2.11 en Figuur 2.12 voor de ligging van deze locaties. Dit toont aan dat de er nog onvoldoende menging plaatsvindt in het oppervlaktewater rondom sommige grote warmtevoorzieningen.



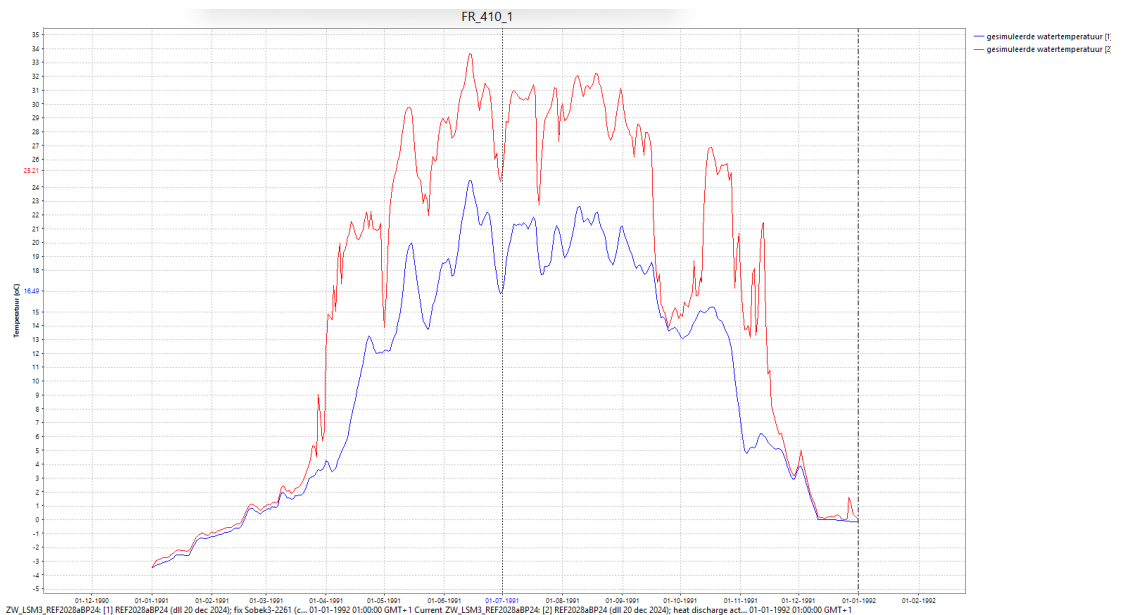
Figuur 2.10 Overzicht van berekende watertemperatuur voor het jaar 1991 (o.b.v. synthetische meteorologische tijdreeksen van het KNMI) met het LSM3 model voor alle uitvoerlocaties ná het toevoegen van warmtelozingen.



Figuur 2.11 De staalhaven bij Tata Steel ligt in een zijtak van het Noordzeekanaal.



Figuur 2.12 De protonhaven aan een zijtak van het Amsterdam Rijnkanaal met in de buurt een grote warmtelast van twee Eneco centrales, KE_Lage_ARK en KE_Merwede*_ARK.



Figuur 2.13 Vergelijking van de watertemperatuur voor een locatie in de buurt van een grote warmtevoorziening (Burgum, Electrabel) waarin onrealistische watertemperatuur werd gesimuleerd met de oude code (rood: vóór de fix, blauw: ná de fix).

2.1.4.2 Het Amsterdam Rijnkanaal

Voor het Amsterdam Rijnkanaal (ARK), is in de verificatiestudie (Loos en Boderie, 2022) geconstateerd dat modelresultaten van LSM3 voor het ARK bij Maarsse te hoge watertemperaturen laten zien ten opzichte van de gemeten waarden. Dit was aanleiding om in detail te bekijken of de warmtelasten van twee centrales aan het ARK nog actueel zijn en correct zijn opgenomen in het LSM3 model.

Het betreft twee Eneco centrales LageWeide (LSM3-id: KE_Lage_ARK) en Merwede (LSM3-id: (KE_MerwdeC.MK11_ARK en KE_MerwdeC.MK12_ARK). Beide centrales vallen onder één vergunning. De vergunde warmtelast is resp. 213 en 355 MW met een beperking tot gezamenlijk 472 als de temperatuur van het ARK boven een grenswaarde ligt (waarschijnlijk 28 graden Celsius). Een dergelijke beperking zit niet in LSM3.

In LSM3 wordt nu gerekend met 57% van de vergunde warmtelast, resp. 122 en 202 MW, samen 324 MW (in het verleden is waarschijnlijk uitgegaan van 50% en daarna is de vergunning verlaagd).

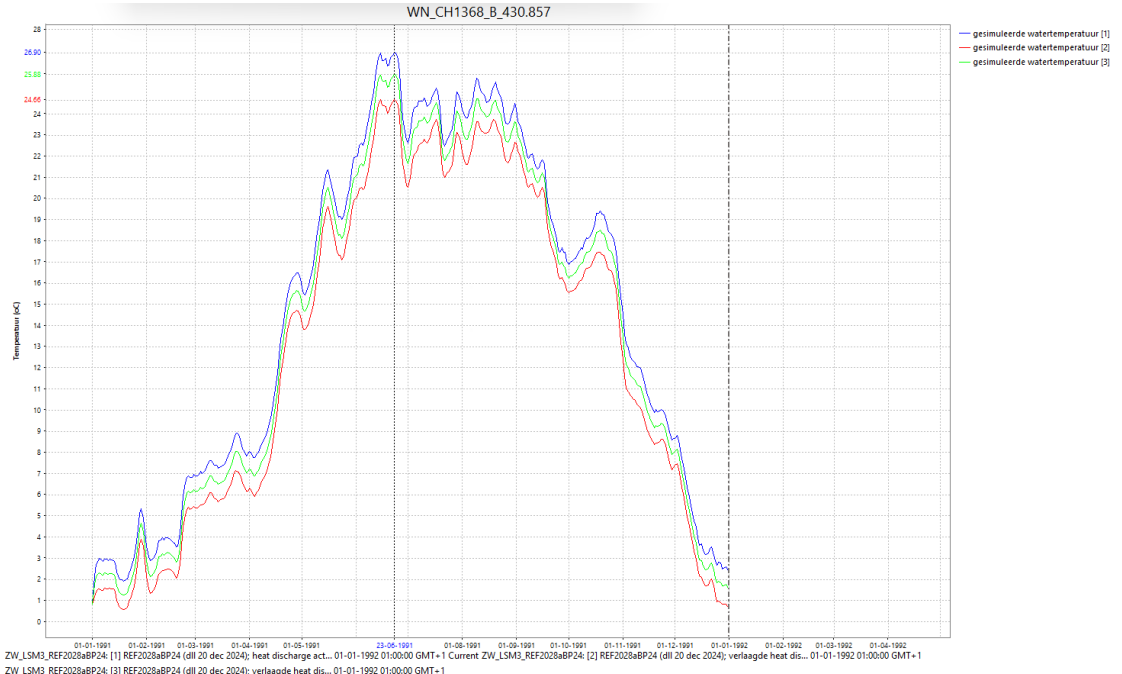
Voor recente jaren 2018-2022 zijn actuele warmtelozingen van Lage Weide beschikbaar. De actuele last van Lage Weide is 83 MW ofwel 70% van de LSM3 model waarde (40% van vergund).

Voor de Merwede centrale zijn ook metingen beschikbaar maar die hebben vermoedelijk betrekking op slechts één van de twee units. De metingen voor de Merwede centrale geven een warmtelast van 51 MW. Dat is 25% van wat in LMS3 zit. Als de meting betrekking heeft op unit MK11 (nu 72 MW in LSM3) dan is het reductiepercentage 70% wat meer in lijn is met het percentage voor LageWeide.

Om de gevoeligheid voor deze warmtelast te onderzoeken zijn twee simulaties uitgevoerd die rekening houden met deze onzekerheid:

- 1 Beide centrales op 70% van huidig model geeft een totale last naar het ARK van 226MW.
- 2 LageWeide naar 70% en Merwede naar 25% geeft een warmtelast naar het ARK van 136MW (gewogen reductie naar het ARK van 42%)

De resultaten zijn getoond in Figuur 2.14, hierin is te zien dat de reductie van de warmtelast een significant effect heeft op de watertemperatuur stroomafwaarts van de warmtelozingen in het ARK. Dit scheelt voor simulatie 1 en simulatie 2 respectievelijk ruim 1 graad Celsius en bijna 2.5 graden Celsius. Zie voor vergelijking met metingen paragraaf 2.2.



Figuur 2.14 Vergelijking van LSM3 modelresultaten voor locatie Maarssen voor de oorspronkelijk warmtelozingen (324MW, in blauw), en gereduceerde warmtelozingen (226MW in groen en 136MW in rood).

2.1.4.3 Aanvullende actualisatie

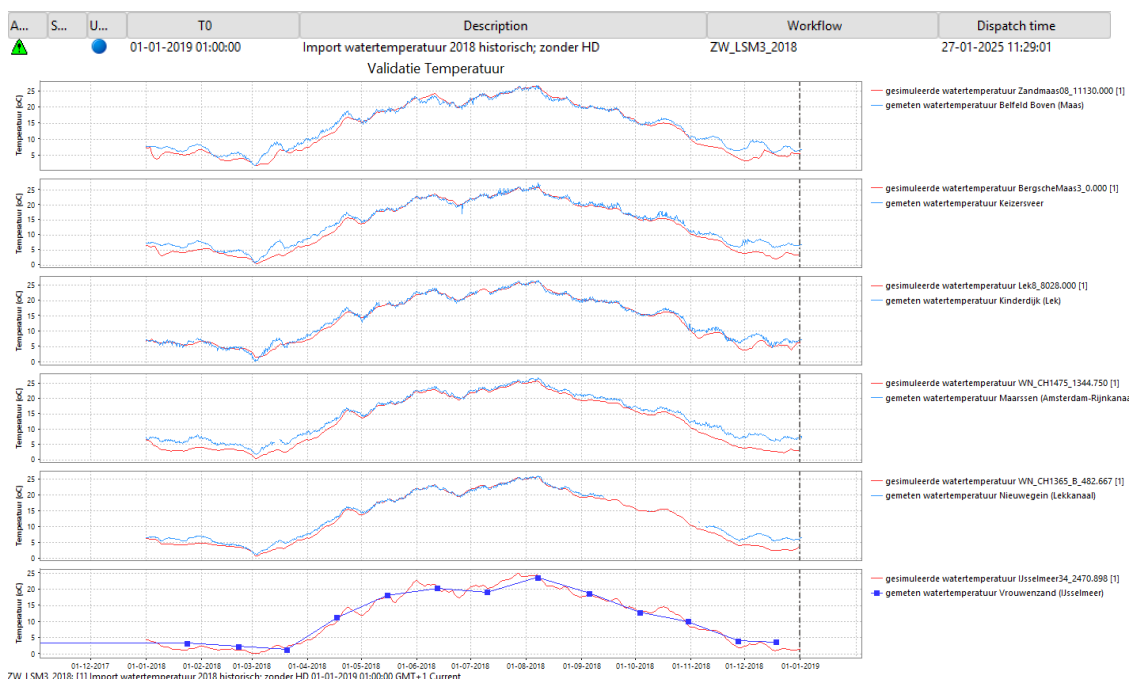
Een compleet en gedetailleerd plaatje van alle praktijkklozingen is o.b.v. beschikbare informatie niet realistisch/haalbaar. Om de momenteel opgedrukte warmtelozingen in het LSM3 verder te actualiseren is informatie (i.e. meetgegevens) nodig die alleen via regionale directies beschikbaar gesteld kan worden. Alle afzonderlijke regionale directies zullen hiervoor via/door RWS benaderd moeten worden. Dit zal een forse inspanning vergen. Een gerichtere aanpak kan zijn om alleen de bekende grotere lozers na te lopen zoals ook voor de warmtelozingen in het ARK is gedaan.

2.2 Vergelijking met metingen

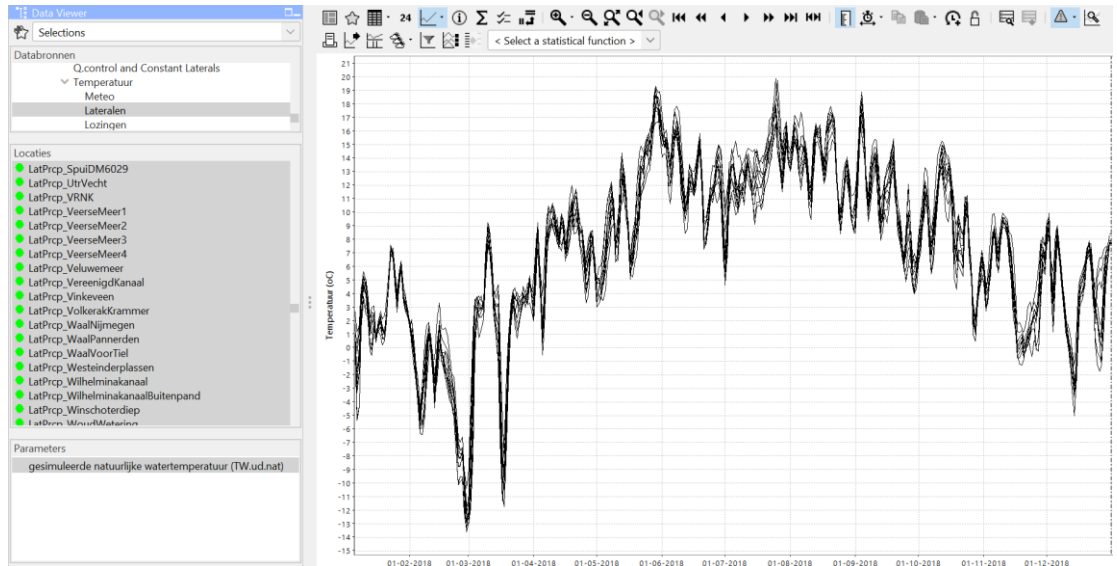
De huidige testberekeningen zijn uitgevoerd met een synthetische KNMI'23 tijdreeks zoals gebruikt in de basisprognoses 2024. Om het gecorrigeerde LSM3 model te kunnen vergelijken met metingen zijn er met het gecorrigeerde model berekeningen uitgevoerd voor 2018, het jaar waar eerder verificatie-berekeningen voor zijn uitgevoerd zoals beschreven in Loos, et al. (2024). Er zijn twee berekeningen uitgevoerd:

- testberekening #1 met de drie correcties zoals beschreven in paragrafen 2.1.1 t/m 2.1.3, zonder warmtelast;
- testberekening #2 gelijk aan testberekening #1, met het verschil dat warmtelozingen zijn toegevoegd volgens de aanpassing zoals beschreven in paragraaf 1.2.2.2 (en zonder de verdere reductie van de warmtelast voor het ARK zoals beschreven in paragraaf 2.1.4.2).

Testberekening #1 (zonder warmtelast; Figuur 2.15) geeft een goede fit met de metingen in met name de zomerperiode. In de winterperiode, goed zichtbaar in het najaar, geeft het model een onderschatting van de gemeten temperatuur. Deze afwijking wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt door een te lage temperatuur in de randvoorwaarden voor neerslag (afgeleid uit dauwpunttemperatuur, Figuur 2.16) en lateralen (berekend met het 'bakjes'-model, Figuur 2.17).



Figuur 2.15 Vergelijking van LSM3 modelresultaten, waarbij geen warmtelozingen zijn meegenomen, met watertemperatuur metingen in 2018 voor een zestal locaties, van boven naar beneden: Belfeld Boven (Maas), Keizersveer (Bergsche Maas), Kinderdijk (Lek), Maarsse (Amsterdam-Rijnkanaal), Nieuwegein (Lekkanaal) en Vrouwenzand (IJsselmeer).



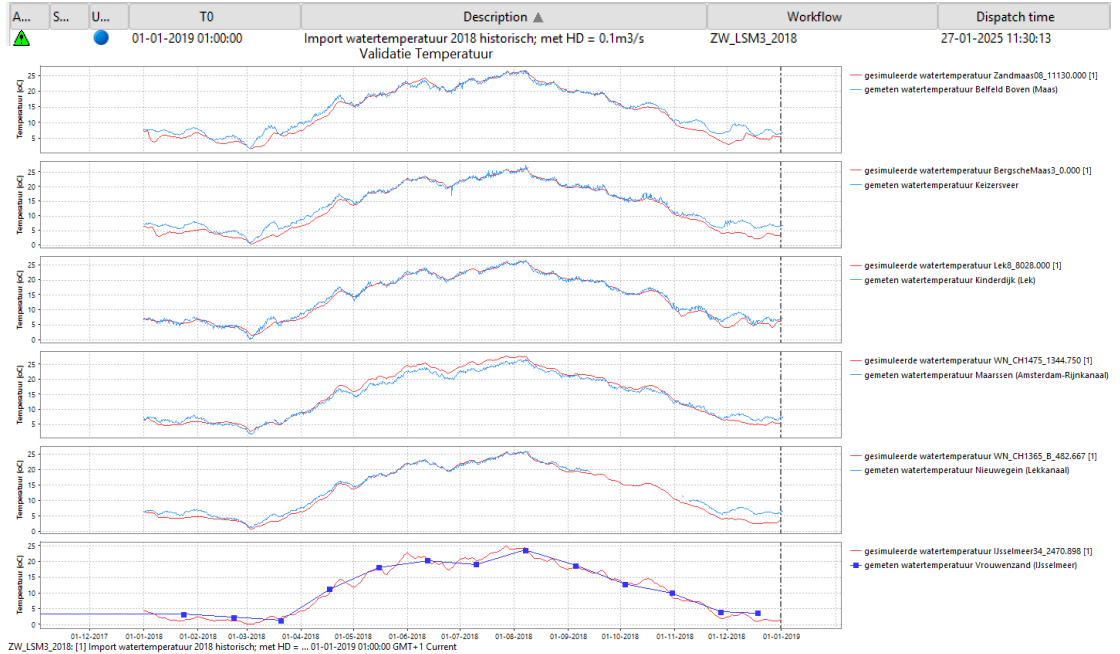
Figuur 2.16 Randvoorwaarden voor het LSM3: de temperatuur van neerslag is gelijkgesteld aan de (berekende) dauwpunttemperatuur, welke is afgeleid uit de luchttemperatuur (T.LT) en relatieve luchtvochtigheid (RELTVLVTHD) en kan (sterk) negatief zijn in de winterperiode.



Figuur 2.17 Randvoorwaarden voor het LSM3: de geschatte temperatuur van de laterale afvoer is berekend met behulp van het 'bakjes'-model in Sobek2, en kan negatief zijn.

Testberekening #2 (inclusief warmtelast; Figuur 2.18 geeft eveneens een goede fit met de metingen en geeft zeer vergelijkbare resultaten als Testberekening #1, behalve voor locatie Maarsse in het Amsterdam-Rijnkanaal. Hier is de invloed van nabijgelegen warmtelozingen aanzienlijk, zoals ook als was aangetoond in paragraaf 2.1.4.2 en Figuur 2.14.

Met warmtelozingen is de fit in de winter nu wel goed, in de zomer overschat het model de metingen maar mogelijk komt dit omdat de warmtelozing in praktijk in de zomer lager is dan in de winter. In de andere meetlocaties is het aandeel watertemperatuur als gevolg van warmtelozingen zeer beperkt.



Figuur 2.18 Vergelijking van LSM3 modelresultaten, inclusief 130 warmtelozingen verspreid over Nederland, met watertemperatuur metingen in 2018 voor een zestal locaties, van boven naar beneden: Belfeld Boven (Maas), Keizersveer (Bergsche Maas), Kinderdijk (Lek), Maarssen (Amsterdam-Rijnkanaal), Nieuwegein (Lekkanaal) en Vrouwenzand (IJsselmeer).

3 Uitlevering Nationaal Water Model

De aangepaste LSM3 schematisatie en verbeterde Sobek3 software, met daarin de reparaties voor de in paragraaf 1.1 benoemde issues, zal bij oplevering als “LSM-sobek-lsm3-j18_5-v8” worden uitgebracht en gereleased worden onder versie SOBEK_3.8.00.

De fix voor het kunnen wegschrijven van Delwaq invoerbestanden is terechtgekomen in een special die in mei 2024 is opgeleverd aan het NWM als “LSM-sobek-lsm3-j18_5-v7a” en “LSM-sobek-lsm3-j18_5-v7b”. Er zal met het Sobek team overlegd worden of de in dit rapport beschreven reparaties/verbeteringen ook doorgevoerd (‘gebackport’) kunnen worden naar deze special, zodat voor het NWM de uitvoer optie voor Delwaq intact blijft.

Het is ten tijde van het schrijven van dit rapport nog onduidelijk of er aanvullende verbeteringen in het LSM3 nodig zijn voordat hier in het NWM mee gerekend zal worden. Zo is n.a.v. resultaten BP2024 sommen geconstateerd dat bij lage afvoeren de afvoerverdeling in RMM over Oude Maas en Nieuwe Maas anders is dan bij 3D modellen; in LSM3 gaat een groter deel van de afvoer via de Nieuwe Maas. Dat heeft effect op berekende chlorideconcentraties (bv. bij Krimpen wordt daardoor een te lage CL-concentratie bij lage afvoeren berekend). Parameters in LSM3 kunnen mogelijk bijgesteld worden afhankelijk van een eventuele herkalibratie van het RMM deelmodel.

4 Conclusies en vervolgstappen

Uit deze studie kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Er zijn drie correcties aangebracht in de Sobek3 rekenkern van LSM3 t.b.v. de watertemperatuurmodellering (zie issues SOBEK3-2223, SOBEK3-2236 en SOBEK3-2261 in Tabel 1.1)
- De nieuwe LSM3 berekeningen geven op een tiental locaties in de buurt van grotere warmtelozingen een plausibel resultaat voor watertemperatuur
- Het is onbekend in hoeverre de warmtelozingen die in het LSM3 zijn toegepast op basis van de lozingsvergunningen actueel zijn. Een actualisatie zal tijdrovend zijn.

Er is nog een beperkt aantal stappen nodig om de nieuwe LSM3 versie gereed te maken voor uitlevering, bijvoorbeeld aan het NWM:

- De ontbrekende laterale debieten moeten worden toegevoegd (zie paragraaf 1.2.1);
- Het verbeterde model moet nog:
 - o worden toegepast voor een relatief droog en warm jaar om te kijken of:
 - de warmtelozingen met de huidige aanpassingen rond lozingslocaties stabiele resultaten geven,
 - hoe het model zich gedraagt voor extreme situaties (bijvoorbeeld een warm jaar uit de Stoom2100 synthetische KNMI'23 reeks) en of dit nog steeds plausibele resultaten oplevert,
 - o vergeleken worden met metingen (zie paragraaf 2.2), om te kijken of aanpassing rondom warmtelozingen in (bijvoorbeeld) het Amsterdam Rijnkanaal (zie paragraaf 2.1.4.2) een verbetering zijn, dit kan onderzocht worden door:
 - een lokale aanpassing van de dispersie om de uitwisseling met de omgeving verder te stimuleren,
 - het debiet voor de grootste warmtelozingen te verhogen naar $1\text{m}^3/\text{s}$, met als doel dat de opgedrukte warmtelozing zich niet lokaal ophoopt met een mogelijke modelcrash als gevolg,
 - de warmtelozing als een intake-outfall locatie te schematiseren,
- Een overleg met het SOBEK team voor afstemming over het al dan niet faciliteren van de koppeling met Delwaq (i.e. het wegschrijven van invoerbestanden), zie paragraaf 3.
- Het wordt aanbevolen het bakjesmodel (momenteel o.b.v. Sobek2) dat de watertemperatuur voor de laterale debieten simuleert ook over te zetten naar Sobek3 zodat dezelfde onderliggende warmtebalansformuleringen worden gebruikt.

Tenslotte, is het wenselijk om de volgende plausibiliteitscheck uit te voeren:

- Een aanvullende check op de verdamping in de warmtebalans (issue NWM-1247) moet nog worden uitgevoerd (zie Tabel 1.1).

Na deze controles en nog door te voeren aanpassingen, is de verwachting dat er voldoende vertrouwen is om het LSM3 model binnen de NWM omgeving in te zetten voor watertemperatuurberekeningen.

5 Referenties

Loos, S., P. Boderie, I. Marth, G. Prinsen (2024), Rapportage doorvoeren verbeteringen LSM3 temperatuur, Hydraulica Schematisaties zoet - LSM3, Deltares rapport 11209233-013-ZWS-0004, december 2024, Delft.

Loos, S. en P. Boderie (2022), KPP 2022 – Verificatie van LSM3 voor temperatuur, Deltares rapport 11208053-010-ZWS-0005, december 2022, Delft.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl