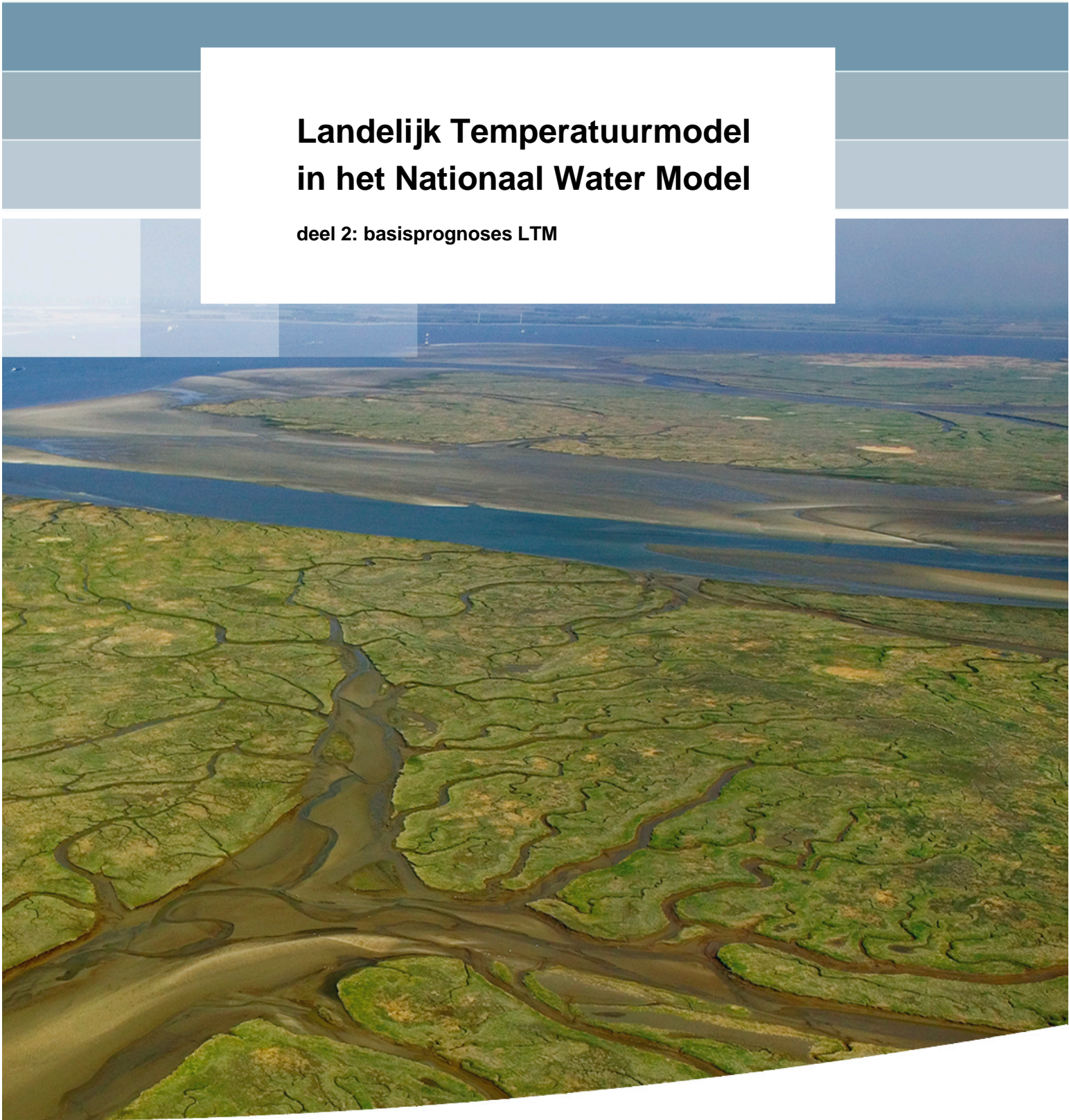


Landelijk Temperatuurmodel in het Nationaal Water Model

deel 2: basisprognoses LTM



Landelijk Temperatuurmodel in het Nationaal Water Model

deel 2: basisprognoses LTM

Pascal Boderie

1220056-010

Titel

Landelijk Temperatuurmodel in het Nationaal Water Model

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
WVL	1220056-010	1220056-010-ZWS-0001	37

Trefwoorden

LTM, NWM, Watertemperatuur

Samenvatting

In 2016 is de stand alone versie van LTMLight, die in 2015 op basis van LSMLT_1.2 in een stand alone versie (branch) van het NWM is opgenomen, beschikbaar gemaakt in de productie omgeving van NWM release 1.3. In deze rapportage zijn de belangrijkste inhoudelijke aanpassingen ervan beschreven, het betreft met name de update van de warmtelozingen en het uitbreiden van de meteorologische gegevens voor de scenarioberekeningen.

De rapportage toont aan dat de LTMLight nu meedraait in de basisprognoses van NWM en dat de resultaten binnen de productie omgeving voor de referentieberekening (1980-2010) *na correctie van een bug* plausibel en daarmee bruikbaar zijn hoewel dit nog aangetoond dient te worden aan de hand van een update van de vergelijking met veldmetingen in deze rapportage.

Met LTMLight zijn ook de effecten van *acht* toekomstscenario's voor de zichtjaren 2050 en 2085 op watertemperatuur berekend. Het betreft de combinatie van 2 klimaatscenario's op basis van KNMI14 (GL en WH) met vier socio-economische toekomst scenario's (Druk, Rust, Warm, Stoom). Van de acht combinaties die nu technisch beschikbaar zijn bespreekt dit rapport er beknopt vier omdat de voor watertemperatuur onderscheidende model forcering in LTMLight in de socio-economische toekomstscenario's grotendeels nog ontbreekt of inconsistent is. De LTMLight scenario's voor watertemperatuur beschouwen op dit moment dus vooral het effect van het zichtjaar en KNMI klimaatscenario's en niet het effect van socio-economische effecten. De berekeningen van de zichtjaren laten bovendien alléén het effect van de klimaatverandering binnen Nederland op de watertemperatuur zien. De resultaten voor de LTMLight scenario berekeningen moeten worden beschouwd voorlopige berekeningen.

De resultaten voor de scenario's laten zien dat de berekende verhoging van de watertemperatuur als gevolg van de scenario's plausibel zijn en, voor zover vergelijkbaar, waarschijnlijk consistent zijn met hetgeen in 2013 voor IRC berekend werd. De berekende watertemperatuur is *na correctie van een bug* bruikbaar. De resultaten nabij de buitenranden van het model zijn sterk beïnvloed door aannames op deze randen (Maas, Rijn Vecht en Noordzee) en in die aannames is het effect van klimaatverandering niet verwerkt. Het effect van warmtelozingen in stromende delen van het LTM wordt correct berekend; lokaal in (Rotterdamse) havens, waar LSM nauwelijks stroming berekent, wordt de bijdrage van de warmtelozing lokaal overschat en dient LTM te worden verbeterd (meer diffuus lozen en toevoegen van dispersie).

In het rapport is aangegeven welke vervolgstappen gezet moeten worden en welke wenselijk zijn om LTMLight in NWM geschikt te maken voor bedoeld gebruik. Voornaamste inhoudelijke aanbeveling is om een onderbouwde watertemperatuur op de rivier randen en Noordzeerand voor toekomstscenario's te definiëren. Verder ontbreekt het instrument op dit moment een

Deltares

Titel

Landelijk Temperatuurmodel in het Nationaal Water Model


Opdrachtgever
WVL

Project
1220056-010

Kenmerk
1220056-010-ZWS-0001

Pagina's
37

aantal tools dat essentieel is om de resultaten van de berekeningen goed te kunnen analyseren en presenteren.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.0	30 okt. 2016	P. Boderie		E. Meijers		G. Blom	

Status

Definitief

Inhoud

1	Introductie	1
2	Status LTMLight in NWM	2
3	Uitgangspunten LTMLight in NWM	3
3.1	Introductie	3
3.2	Modellen raamwerk	3
3.3	Uitvoer in NWM	4
3.3.1	Variabelen	4
3.3.2	Uitvoerlocaties	5
3.4	Scenario's	7
3.5	Atmosferische randvoorwaarden - meteorologie	8
3.5.1	Referentie reeks	8
3.5.2	Scenario reeks	9
3.6	Randvoorwaarden watertemperatuur	12
3.6.1	Referentie reeks	12
3.6.2	Scenario reeks	14
3.7	Warmtelozingen	15
3.7.1	Warmtelozingen referentiereeks	15
3.7.2	Warmtelozingen scenario's	18
4	LTMLight berekeningen basisprognoses	19
4.1	Beschikbaarheid modelresultaten LTMLight	19
4.2	Resultaten referentiesituatie ten opzichte van metingen	19
4.2.1	Watertemperatuur	20
4.2.2	Bijdrage lozingen	21
4.3	Resultaten klimaatscenario's	26
4.3.1	Plausibiliteit klimaatscenario's	26
4.3.2	Vergelijking met IRC scenario's	27
4.4	Aanvullende deelresultaten (<i>na correctie van een bug in bijdrage globale straling</i>)	29
5	Conclusies	32
5.1	Conclusies ten aanzien van de koppeling van de modellen	32
5.2	Conclusies ten aanzien van de inhoud	32
6	Aanbevolen vervolgstappen	34
6.1	Inhoudelijke juistheid en bruikbaarheid verbeteren	34
6.2	Beschikbaar maken van extra presentatiemogelijkheden	34
6.3	Beheer en onderhoud	34
7	Referenties	37
A	Warmtelozingen	A-1
B	Modelresultaten op LMW locaties	B-3

C Modelresultaten 2003 met gecorrigeerde straling	C-6
D Werkwijze opschonen uitvoerlokaties	D-10

1 Introductie

Het Nationaal Water Model is een instrumentarium dat bestaat uit een koppeling van bestaande watermodellen, invoerdata, schematisaties en scenario's. Het richt zich op drie toepassingen: waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en waterkwaliteit. De basis van het Nationaal Water Model is het Deltamodel dat in het Deltaprogramma is ontwikkeld en toegepast om de Deltabeslissingen te onderbouwen.

Diverse projecten en programma's zullen de komende jaren modellen blijven gebruiken bij beleidsvoorbereiding. Al die modeltoepassingen hebben een inschatting nodig van de invloed van het toekomstige klimaat op de hoeveelheid water en de verdeling daarvan. Het Nationaal Water Model focust op het doorrekenen van de waterbeweging door elke twee jaar basisprognoses af te geven op basis van de laatste stand van het watersysteem. Programma's tappen van deze 'nationale basis' gegevens af voor eigen (model)toepassingen. De voordelen zijn: consistentie, besparing van kosten en het versterken van de samenwerking tussen overheden en kennisorganisaties.

Bij elke update van de basisprognoses kunnen nieuwe inzichten worden meegenomen t.a.v. klimatologische-, socio-economische veranderingen en/of modelontwikkeling. Daarmee bieden de basisprognoses een doorkijk naar de veranderingen die Nederland in deze eeuw te wachten staan. Vervolgstap op de 2-jaarlijkse berekeningen voor de basisprognoses Zoetwaterwatervoorziening zijn de berekeningen met het gekoppelde Landelijk Temperatuur Model en brengen de gevolgen in beeld van meteorologische en hydrologische veranderingen op de watertemperatuur.

Dit achtergrond rapport beschrijft de inhoudelijke aanpassingen en de controle die is uitgevoerd op de resultaten van de LTMLight berekeningen binnen NWM (referentie en 4 klimaatscenario's voor beide zichtjaren) door deze te vergelijken met de resultaten uit de eerdere IRC2013 studie. Met deze controle wordt beoogd vertrouwen te geven in de kwaliteit van de basisprognoses voor watertemperatuur in Nederland op de middellange termijn (2050/2085). Daarnaast moet de controle vertrouwen geven in het gebruik van de resultaten voor partijen die de basisprognoses als standaard uitgangspunt willen hanteren bij de modelmatige berekening van andere effecten voor de beschikbaarheid van voldoende koel- of beregeningswater. Dit rapport richt zich op het eerste orde effect van veranderingen op de watertemperatuur en niet de doorvertaling naar effecten voor bijvoorbeeld de industrie.

2 Status LTMLight in NWM

Deze studie volgt op deel 1 dat vorig jaar werd uitgevoerd (Boderie, 2015) en waarin LTMLight¹ stand alone (niet onder FEWS) werd gekoppeld aan NWM. Het doel van deze studie (deel 2) is om de stand-alone versie terug te laten vloeien in de officiële productie omgeving (release 1.) van het NWM zodat temperatuurberekeningen integraal onderdeel van de basisprognoses vormen. Het accent in deel 2 van het project ligt op technische aspecten maar er zijn ook voorlopige resultaten voor de basisprognoses beschikbaar.

De resultaten van de basisprognoses laten het effect van klimaatverandering op de watertemperatuur zien voor de klimaatscenario's GL en WH voor de zichtjaren 2050 en 2085. Het effect van de socio-economische scenario's (Druk vs. Rust en Warm vs. Stoom) is maar ten dele verwerkt in deze versie van het instrument, immers de socio-economische scenario's binnen LTMLight zijn nog niet gedefinieerd, dat wil zeggen dat bijvoorbeeld de omvang en locatie van warmtelozingen of de buitenlandse voorbelasting voor watertemperatuur in alle vier de socio-economische scenario's gelijk is genomen aan de referentiesituatie. Hydrologisch gezien verschillen de socio-economische scenario's wél.

De resultaten van LTMLight in NWM illustreren de mogelijkheden van het instrument voor (potentiele) gebruikers. De berekeningen van de zichtjaren laten alléén het effect van de klimaatverandering binnen Nederland op de watertemperatuur zien; de effecten van socio-economische veranderingen op warmtelozingen in binnen- en buitenland (via Lobith en Eijsden) zijn niet verwerkt. Mede hierdoor is een 1-op-1 vergelijking met eerder uitgevoerde studies, waaronder de IRC studie (2013), niet mogelijk.

In deze studie zijn op hoofdlijnen de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

1. LTMLight in NWM FEWS operationele hoofdversie opgenomen. Daarbij is gezorgd voor:
 - Aanleg van database van LSMLight waterbeweging in FEWS, zodat LTMLight los kan draaien van de waterbeweging
 - LTMLight temperatuursom gekoppeld aan LSMLight waterbeweging, inclusief geactualiseerde warmtelozingen, rivier- en zeeranden en de meteorologische forcering volgens KNMI'14
 - Opschonen van uitvoerlocaties, want die waren vervuildHoofdstuk 3 beschrijft dit instrument.
2. LTMLight gedraaid voor de referentie situatie en vergeleken met metingen. Daarbij getoetst op de correcte werking van LTMLight
3. LTMLight berekeningen voor vier klimaatscenario's ingezet en deze beknopt geanalyseerd en zover mogelijk vergeleken met historische scenario's.

Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten voor referentie en klimaatscenario's

Gedurende het project is ook het technisch beheer van LSMLight verbeterd. Zo is het nu mogelijk om achteraf (dus nadat LSM berekeningen zijn gemaakt) warmtelozingen en uitvoerlocaties toe te voegen.

¹ De toevoeging "Light" aan zowel het Landelijk SOBEK Model (LSM) als het Landelijk Temperatuur Model (LTM) geeft aan dat de schematisatie van LSMLight en LTMLight geografisch beperkt(er) is dan die van LSM en LTM.

3 Uitgangspunten LTMLight in NWM

Dit hoofdstuk overlapt met teksten uit het rapport Update Deltascenario's (Hunnik en Hegnauer, 2016). Dit is gedaan op verzoek van RWS om onderhavig rapport beter zelfstandig leesbaar te laten zijn.

3.1 Introductie

Het Landelijk Temperatuurmodel (LTMLight) is en wordt ontwikkeld in het user interface van SOBEK (Rural, 2e generatie bv versie 2.12 of 2.13) wordt daar geautomatiseerd gekoppeld aan het landelijk SOBEK Model (LSMLight) dat door hydrologen wordt ontwikkeld en beheerd. In Boderie, en Loos (2015) is beschreven hoe een modelversie van LTMLight binnen het Nationaal Water Model (NWM) gekoppeld is aan LSMLight. NWM draait in een FEWS omgeving en waterbewegingsresultaten van LSMLight worden via de database van FEWS doorgegeven (gekoppeld) aan LTMLight. Daardoor is het binnen NWM, net als in SOBEK omgeving, mogelijk om LTMLight los van LSMLight te draaien wat gezien de lange rekentijd van LSMLight een voordeel is. LTM en LTMLight zijn toepassingen van het waterkwaliteitsmodel D-WAQ (vroeger DELWAQ).

Paragraaf 3.2 schetst hoe de modellen samenhangen en welke informatie stromen er tussen de modellen zijn. De uitvoermogelijkheden van LTMLight zijn te vinden in 3.3. In paragraaf 3.4 zijn de scenario's uit de rapportage update Deltascenario's Nationaal Watermodel (Hunnik en Hegnauer, 2016) opgenomen voor zover direct relevant voor beschrijving van de LTMLight resultaten. De manier waarop de randvoorwaarden van LTMLight voor de referentie situatie en de scenario's zijn ingevuld is beschreven in paragrafen 3.5 tot en met 3.7.

3.2 Modellen raamwerk

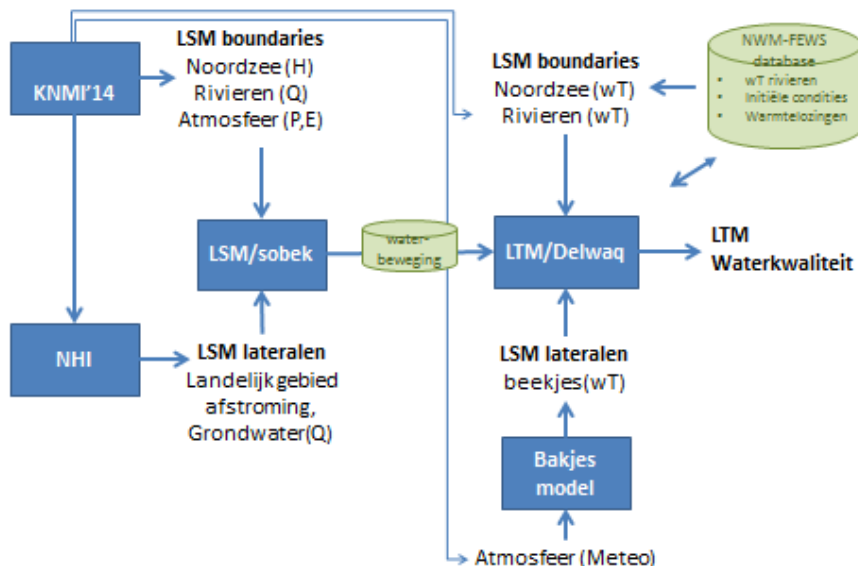
In Figuur 3.1 is schematisch de samenhang tussen modules rondom LTMLight aangegeven.

In principe is de koppeling van LTMLight aan LSMLight gelijk aan de koppeling zoals in SOBEK, ook daar verzorgt een koppelingsprogramma (WQINT) ervoor dat waterbewegingsresultaten uit LSM op de juiste plaatsen beschikbaar komen in de waterkwaliteitschematisatie. In NWM worden alle voor LTMLight benodigde waterbewegingsdata via de NWM-FEWS database van LSMLight naar LTMLight doorgegeven. Voordeel van deze werkwijze is dat (varianten van) berekeningen met LTMLight gemaakt kunnen worden op basis van opgeslagen LSM resultaten, denk daarbij bijvoorbeeld aan gevoeligheidsanalyses van meteorologische scenario's of lozingsvarianten (vergunde- of praktijkwarmtelast).

Het schema in Figuur 3.1 laat verder zien dat de benodigde watertemperaturen voor de randen van LTMLight enerzijds uit meetreeksen uit de FEWS database komen (voor de grote rivieren zoals Rijn, Maas etc.) en anderzijds voor kleine (laterale) wateren berekend worden met behulp van een z.g. bakjes model. De forcering van het bakjes model is gekoppeld aan KNMI meetstations.

De NWM-FEWS database slaat ook overige gegevens voor LTMLight op zoals de warmtelozingen.

Modelketen – LTM in NWM



Figuur 3.1 Samenhang² van de verschillen de onderdelen van LSM en LTM (identiek voor LSMLight en LTMLight) in NWM (in groen de NWM-FEWS database)

3.3 Uitvoer in NWM

De configuratie van het LTMLight in NWM is zo ingericht dat de uitvoer van LTMLight op een geconfigureerd aantal locaties in de (FEWS) database van NWM wordt opgeslagen. Op die locaties zijn vervolgens tijdreeksen van 1980 tot 2010 beschikbaar van een viertal variabelen, in zijn die beschreven.

3.3.1 Variabelen

De beschikbare uitvoervariabelen van LTMLight zijn:

Tabel 3.1 Uitvoervariabelen LTM en LTMLight

Variabele	Omschrijving	eenheid
Q	door het hydrodynamische model (SOBEK) berekende afvoer geaggregeerd op het DELWAQ netwerk	(m ³ .s ⁻¹)
TW_Sim	door DELWAQ berekende oppervlaktewater temperatuur	(°C)
TW_Mod	Door DELWAQ berekende bijdrage van (cumulatieve) warmtelozingen aan de gesimuleerde watertemperatuur (TW_sim)	(°C)
WLC_sim	Door DELWAQ berekende Warmte Lozings Capaciteit: de maximaal ter plaatse te lozen hoeveelheid warmte per seconde (MJ/s) tot aan de vigerende norm ter plaatse (maximale watertemperatuur (28 °C) en maximale opwarming (3 °C)	(MW)

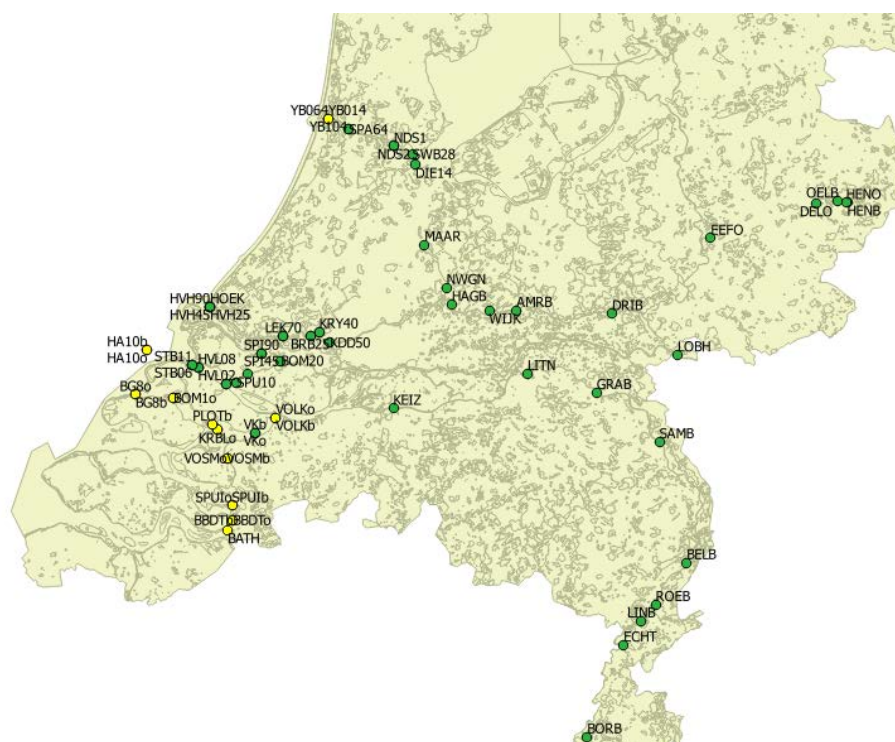
3.3.2 Uitvoerlocaties

Het stand-alone LTMLight (onderdelen van SOBEK) produceert voor de gesimuleerde wateren ruimtelijk dekkende resultaten afgebeeld op het DELWAQ Netwerk. Binnen NWM zijn deze ruimtelijk dekkende resultaten niet in de FEWS database opgeslagen (dit is wel een wens). Op een beperkt aantal uitvoerlocaties (monitoring locaties) zijn tijdseries beschikbaar van ieder van de vier variabelen (3.3.1).

In deze studie zijn de uitvoerlocaties waarop LTMLight uitvoer schrijft opgeschoond omdat de set in de loop der jaren was vervuild (veelal doublures onder een andere naam). Details van deze actie staan in appendix D. Bij de naamgeving van de uitvoerlocaties zijn "prefixes" gebruikt om categorieën van uitvoer locaties te onderscheiden, zie Tabel 3.2. In onderstaande figuren (*Figuur 3.2 - Figuur 3.4*) zijn de locaties per categorie afgebeeld.

Tabel 3.2 Type uitvoerlocaties voor LTM en LTMLight

Prefix	Betekenis	Locaties
KE	Koelwater Energie opwekking	Zie Figuur 3.3
KI	Koelwater Industrie	Zie Figuur 3.2
PI	Proceswater Industrie/Inname	Zie Figuur 3.4
DI	Drinkwater Inname locatie	Zie Figuur 3.3 Figuur 3.4
DO	Drinkwater (oeverinfiltratie)	Zie Figuur 3.4
LMW	Landelijk Meetnet Water	Zie Figuur 3.2



Figuur 3.2 Overzicht van de uitvoerlocaties van LTMLight op punten waar ook watertemperatuur gemeten wordt. Weergegeven is de RMI-code van de meetstations uit het Landelijk Meetnet Water voor Rijkswateren waar oppervlaktewater temperatuur wordt.



Figuur 3.3 Overzicht van de uitvoerlocaties van LTMLight op punten waar ook warmtelozingen plaatsvinden door E-sector (KE_punten) en de industrie (KI_punten).



Figuur 3.4 Overzicht van de uitvoerlocaties van LTMLight op punten waar ook water wordt ingenomen door drinkwaterbedrijven en (proces)industrie.

3.4 Scenario's

In 2014 heeft KNMI de klimaatscenario's geactualiseerd. Aanleiding daarvoor is o.a. het nieuwe IPCC klimaatrapport. Het KNMI14 instrument is geschikter om de gevolgen van klimaatverandering voor watertemperatuur mee door te rekenen dan KNMI'06 omdat de scenario's naast neerslag, verdamping en luchttemperatuur ook variatie van andere variabelen zoals luchtvochtigheid en straling specificeren.

Net als in de KNMI'06 scenario's bevatten deze KNMI'14 scenario's vier scenario's voor de toekomstige klimaatverandering, respectievelijk GL, GH, WL en WH. De KNMI'14 scenario's beschrijven een minder sterke opwarming en uitdroging in de zomer en een hogere zeespiegelstijging voor 2050 en 2085 ten opzichte van de KNMI'06 scenario's (KNMI, 2014). De KNMI'14 scenario's beschrijven de klimaatverandering voor de zichtjaren 2050 en 2085, terwijl de KNMI'06 scenario's de klimaatverandering voor de zichtjaren 2050 en 2100 beschrijven. Daarnaast is ook de basisperiode voor het klimaat verschoven in de KNMI'14 scenario.

Resultaten van LTM uit de knelpuntenanalyse (Deltares, 2015) zijn daarmee niet 1-op-1 vergelijkbaar met de basisprognoses. Resultaten van LTM uit de IRC studie (2013) waren gebaseerd op projecties voor de jaren 2021-2050 en 2071-2100, de klimaatverandering is niet gebaseerd op KNMI maar op de klimaatmodellen Arpege-Aladin51 (2021/50-1971/00) en HadleyQ0-CLM (2071/00-1971/00) voor het Rijnstroomgebied (binnen ENSAMBLE) project. Ook de resultaten LTM in deze studie zijn niet 1-op-1 vergelijkbaar met de basisprognoses.

Voor de Rijn de Maas worden afvoeren bepaald met behulp van GRADE (Hegnauer et al., 2014). Hiervoor heeft KNMI ook klimaatscenario's ontwikkeld voor het Rijn en Maas stroomgebied. Voor beide stroomgebieden bleek echter een extra scenario nodig om de hoekpunten van de scenario's goed op te kunnen spannen conform de bandbreedte van de ICCP-CMIP5 scenario's. Hierdoor zijn twee varianten voor het WH scenario gemaakt, het WH en het WHdry scenario. Het WHdry scenario wordt toegepast binnen Zoetwater, in dit rapport staat WH dus feitelijk voor het WHdry scenario.

Er zijn geen nieuwe beschrijvingen van de socio-economische ontwikkelingen beschikbaar. Dit heeft als gevolg dat (ook) de socio-economische scenario's en klimaatscenario's niet meer 1 op 1 aansluiten.

Bij de interpretatie van NWM resultaten moet rekening gehouden worden met de volgende zaken:

- 1 De KNMI'14 klimaatscenario's zijn opgeleverd voor de zichtjaren 2050 en 2085, terwijl de KNMI'06 klimaatscenario's zijn opgeleverd voor de zichtjaren 2050 en 2100. Berekende effecten voor 2100 en 2085 kunnen niet direct met elkaar vergeleken worden. Door het verschil in zichtjaren lijkt het alsof de zeespiegelstijging minder wordt (een maximale waarde van 80 i.p.v. 85 cm), maar dit verschil wordt veroorzaakt door het verschil in zichtjaar. Wanneer de zeespiegelstijging van het KNMI14 2085 W_H vertaald zou worden naar 2100, wordt een zeespiegelstijging van 95 cm verwacht (KNMI, 2014).
- 2 Doordat op dit moment alleen de neerslag en potentiële verdamping met de directe afhankelijke parameters zijn aangepast is de modelinvoer niet meer consistent. Zo zijn de bodemdaling en de scenario's voor het toekomstige watergebruik o.a. afhankelijk van de klimaatverandering.

- 3 Ook de socio-economische scenario's zijn niet geüpdatet en zijn dus niet meer consequent omdat deze op een andere periode zijn gebaseerd (zichtjaar 2100 in plaats van zichtjaar 2085). De impact van dit verschil in zichtjaar is naar verwachting klein.

Tabel 3.3 Overzicht basisprognoses in NWM

zichtjaar	Klimaatscenario '14	Sociaaleconomisch scenario
Referentie	Referentie	Referentie
2050	GL	Druk
2050	GL	Rust
2050	WH	Stoom
2050	WH	Warm
2085	GL	Druk
2085	GL	Rust
2085	WH (=WHdry)	Stoom
2085	WH (=WHdry)	Warm

3.5 Atmosferische randvoorwaarden - meteorologie

3.5.1 Referentie reeks

De data voor de referentie reeks (1981-2010) wordt verkregen via onderstaande KNMI website van historische meetgegevens.

<https://data.knmi.nl/portal/KNMI-DataCentre.html#fromdate=1900-01-01&todate=2016-04-05&fromtime=00%3A00%3A00&totime=23%3A59%3A59&term=temperature&location=3.2%3B7.4%3B53.7%3B50.6&openData=true>

In LTMLight worden 10 regio's gebruikt, voor de volgende KNMI hoofdstations zijn tijdreeksen van data opgehaald.

Tabel 3.4 KNMI stations waarvoor tijdseries van historische metingen (zie Tabel 3.5) worden gebruikt

STN	LON(east)	LAT(north)	ALT(m)	NAME
#235	4.781	52.928	0.50	DEKOOY
#240	4.790	52.318	-4.40	SCHIPHOL
#260	5.180	52.100	2.00	DEBILT
#270	5.752	53.224	1.50	LEEWARDEN
#280	6.58	53.12	3.2	EELDE
#290	6.891	52.274	34.50	TWENTHE
#310	3.596	51.442	8.00	VLISSINGEN
#344	4.447	51.962	-4.80	ROTTERDAM
#370	5.377	51.451	20.30	EINDHOVEN
#380	5.762	50.906	114.00	MAASTRICHT

Voor bovenstaande stations zijn voor de referentieperiode 1981-2010 ook de volgende variabelen beschikbaar. De referentiegewasverdamping wordt niet als modelforcering gebruikt (grijs in de tabel) maar is beschikbaar gemaakt voor validatiedoeleinden.

Tabel 3.5 Meteorologische variabelen waarvoor tijdseries voor 14 stations (zie Tabel 3.4) worden gebruikt

Code	Omschrijving	Eenheid
# TG	Etmaalgemiddelde temperatuur	(in 0.1 graden Celsius)
# Q	Globale straling	(in kJ/m ²)
# UG	Etmaalgemiddelde relatieve vochtigheid	(in procenten)
# FG	Etmaalgemiddelde windsnelheid	(in 0.1 m/s)
# NG	Etmaalgemiddelde bewolking, bedekkingsgraad van de bovenlucht in achtsten (9=bovenlucht onzichtbaar)	(in achtsten)
# EV24	Referentiegewasverdamping (Makkink)	(in 0.1 mm)

Opmerkingen bij de referentiedata

- Globale straling moet in LTMLight worden gespecificeerd in W/m². Het KNMI specificeert globale straling in kJ/m² hetgeen een etmaal gesommeerde waarde is (dus kJ/m²/dag). Conversie vindt plaats met de volgende conversiefactor: 1/86.4.
- In de historische meetreeksen ontbreekt globale straling van voor 1987 voor de meeste stations. In de referentiereeks, die met het transformatieprogramma door KNMI wordt gemaakt (zie bij klimaatscenario's), is globale straling in zulke gevallen aangevuld met metingen uit station de Bilt. Zie Technische documentatie van Bakker en Bessembinder (2013).

3.5.2 Scenario reeks

Om LTMLight voor de scenario's te kunnen draaien zijn getransformeerde reeksen van alle reeksen voor de variabelen in Tabel 3.5 nodig. Voor luchttemperatuur en globale straling levert KNMI zulke getransformeerde reeksen. Voor de overige variabelen vindt de transformatie binnen NWM (FEWS) plaats door gebruik te maken van zogenaamde veranderingsvectoren (meestal procentuele veranderingen) waarmee de referentiereeks bewerkt wordt.

De gegevens voor de KNMI14 scenario's uit drie bronnen verkregen:

1. Als getransformeerde reeksen van dagwaarden beschikbaar voor luchttemperatuur en globale straling:
http://www.klimaatscenarios.nl/toekomstig_weer/transformatie/index.html.
2. Als maandgemiddelde procentuele verandering in KNMI (2014b) in de toelichting transformatie tijdreeksen (versie 6-10-2015). Hier zijn veranderingsvectoren voor de relatieve luchtvochtigheid gegeven
3. Als seizoen gemiddelde procentuele verandering in de KNMI brochure (2014c). Hierin zijn per seizoen of per jaar veranderingsvectoren voor diverse variabelen gegeven. Gebruikt wordt de windsnelheid

Hieronder is per variabele een korte toelichting gegeven.

Luchttemperatuur

Tijdreeksen van luchttemperatuur voor de vier scenario's zijn beschikbaar en te zien in NWM en worden hier niet als tijdserie weergegeven. De waarden in Tabel 3.6 geven de jaar- en zomergemiddelde temperatuurstijging van de getransformeerde reeks aan.

Tabel 3.6 Verandering luchttemperatuur

	2050	2050	2085	2085
	GL	WH	GL	WH
	°C	°C	°C	°C
Jaar	1	2.3	1.3	3.7
Zomer	0.9	2.1	1.2	3.1
Winter	1.1	2.7	2.0	4.1

Globale straling

Tijdreeksen van globale straling voor de vier scenario's zijn beschikbaar en te zien in NWM en worden hier niet als tijdserie weergegeven. De waarden in *Tabel 3.6* geven de jaar- en zomergemiddelde procentueel verandering van de globale straling van de getransformeerde reeks ten opzichte van de referentiereeks aan.

Tabel 3.7 Verandering globale straling (procentuele verandering ten opzichte van de referentie)

	2050	2050	2085	2085
	GL	WH	GL	WH
	%	%	%	%
Jaar	0.6	1.2	-0.5	1.4
Zomer	2.1	6.5	0.9	9.5
Winter (december)	-1.7	-6.2	-1.8	-8.0

Relatieve luchtvochtigheid

In de zomer maanden is de verandering van de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid bekend, de veranderingen liggen in de range van -3.9% ('zomers) tot +1.1% ('s winters) en zijn daarmee significant. Zie *Tabel 3.9*.

Eventueel kan KNMI deze gegevens op dag basis beschikbaar maken door het transformatieprogramma hiervoor geschikt te maken.

Wind

Voor windsterkte zijn de veranderingen volgens KNMI (Bessembinder persoonlijke communicatie) niet significant (kleiner dan de natuurlijke variatie gemiddeld over de laatste 30 jaar). Voor veel toepassingen kan gewoon de reeks voor het huidige klimaat in de toekomst worden gebruikt.

In de winter is de verandering van gemiddelde windsnelheid per scenario wél gepubliceerd in de brochure (KNMI, 2014c). De windsterkte is 2.5% minder in het Gl scenario en tot 2.5% sterker in het in het Wh scenario. Buiten het winterseizoen zijn er voor de rest van het jaar geen veranderingen gepubliceerd. Zie *Tabel 3.9* voor de gebruikte veranderingsvectoren.

Bewolkingsgraad

Voor de verandering van de bewolkingsgraad heeft het KNMI geen getalsmatige informatie gepubliceerd en ook niet direct beschikbaar. De informatie is wel beschikbaar n de runs van de klimaatscenario's (grids) maar niet op korte termijn (dit jaar) beschikbaar. Sinds de jaren 1950 is de bewolking in Nederland niet wezenlijk veranderd (KNMI, 2014c) en voor het Gl scenario verandert de bewolking ook niet. Voor het WH scenario neemt de bewolking 's zomers door meer (drogere) oostenwind beduidend af en 's winters door

meer regendagen toe. Dit effect is in de verre toekomst (2080) waarschijnlijk groter dan in de meer nabije toekomst (2050). In *Tabel 3.9* is deze trend met +/- weergegeven maar niet vertaald naar een veranderingsvector (%).

Een veranderingsvector voor bewolking is waarschijnlijk op kortere termijn nog wel te schatten uit getransformeerde reeksen van luchttemperatuur en straling (bijvoorbeeld: een combinatie van meer straling overdag en een lagere temperatuur in de nacht is waarschijnlijk het gevolg van een afname van de bewolkingsgraad).

Vooralsnog is in LTMLight de bewolking uit de referentiereeks gebruikt (geen veranderingsvector).

Referentie gewasverdamping

KNMI publiceert de referentieverdamping volgens Makkink welke wordt afgeleid uit de getransformeerde straling en de getransformeerde luchttemperatuur.

LTMLight berekent de openwater verdamping volgens de energiebalansmethode (Boderie en Visser, 2007). Door LTMLight verdamping en Makkink verdamping (*1.26) te vergelijken krijgen we een idee hoe valide de met LTMLight berekende toekomstscenario's zijn. Binnen het NWM worden deze niet gebruikt in de berekening, maar zijn wel bruikbaar voor validatie.

Tabel 3.8 Verandering referentie gewasverdamping volgens Makkink

	2050	2050	2085	2085
	GL	WH	GL	WH
	%	%	%	%
Jaar	3	7	2.5	10
Zomer (juni-augustus)	4	3.5	11	15

Tabel 3.9 Relatieve verandering (klimaatvectoren) voor wind, luchtvochtigheid en bewolkingsgraad voor klimaatscenario's GL en WH in de zichtjaren 2050 en 2080 (Bron KNMI'14).

	Windsnelheid				Relatieve luchtvochtigheid				Bewolkingsgraad			
	Wind				RH				Cloud			
	2050	2050	2085	2085	2050	2050	2085	2085	2050	2050	2085	2085
	GL	WH	GL	WH	GL	WH	GL	WH	GL	WH	GL	WH
	%	%	%	%	%	%	%	%				
Jan	-1.1	+0.9	-2.0	+2.2	0.3	0.2	0.4	0.6		+		++
Feb	-1.1	+0.9	-2.0	+2.2	0.2	0.2	0.3	0.2		+		++
Mrt	-0.55	+0.4	-1.0	+1.1	0.1	0.3	0.1	0.8				
Apr					0	0.2	0.2	1.1				
Mei					-0.2	-0.3	0.5	0.5				
Jun					-0.5	-1.5	0.4	-1.6		-		--
Jul					-0.6	-2.5	-0.1	-3.6		-		--
Aug					-0.5	-2.7	-0.5	-3.9		-		--
Sep					-0.3	-1.7	-0.2	-1.9				
Okt					-0.1	-0.4	0.2	-0.2				

Nov	-0.55	+0.4 5	-1.0	+1.1	0.1	0.3	0.3	0.6				
Dec	-1.1	+0.9	-2.0	+2.2	0.3	0.4	0.4	0.7		+		++

3.6 Randvoorwaarden watertemperatuur

Het landelijk SOBEK model (LSMLight) kent veel randen waarvoor een waterstand of debiet dient worden gespecificeerd (orde 10000 randen). Omdat het praktisch onmogelijk is om (tijdreeksen) van gemeten watertemperatuur te specificeren voor al deze randen worden de meeste randen in LTMLight geclusterd. Met uitzondering van verdamping moet voor alle onderstaande individuele randen (vet) en geclusterde randen (cursief) de watertemperatuur worden gespecificeerd:

- **Rijn**
- **Maas**
- **Schelde**
- **Overijsselse Vecht**
- *Noordzee*
- *Lateral grondwater*
- *Verdamping*
- *Neerslag*
- *Laterale instroom*

Voor de Rijn, Maas, Schelde, Vecht zijn vier individuele tijdreeksen gedefinieerd (voor Rijn en Maas zie 3.6.1). Voor de Noordzee is één tijdreeks gedefinieerd die voor alle Noordzee randen in LTMLight (van Noordwijk tot bij de Eems) wordt gebruikt.

Voor alle randen van het type grondwater wordt één tijdreeks die typisch is voor de grondwatertemperatuur in Nederland aangehouden. Voor alle neerslag punten wordt één tijdreeks voor de neerslagtemperatuur afgeleid uit de luchttemperatuur in de Bilt.

Voor de bulk van het aantal randen (m.n. de geclusterde rand 'laterale instroom' wordt de watertemperatuur als volgt afgeleid. Nederland is verdeeld in 10 regio's rondom de 10 KNMI hoofdstations die worden gebruikt (zie 3.5) in de temperatuurberekeningen. Voor elke regio wordt de met behulp van de meteorologie van het KNMI hoofdstation de watertemperatuur in een fictief waterlichaam (bakje) berekend. De zo berekende temperatuur wordt opgelegd aan alle randen van het type "Laterale instroom" in de betreffende regio.

Figuur 3.5 laat de randen van LTMLight zien waarvoor tijdreeksen voor de watertemperatuur worden gespecificeerd. Voor de "buitenranden" van Nederland gaat het om de Maas, Rijn, Vecht, en Schelde en Noordzee.

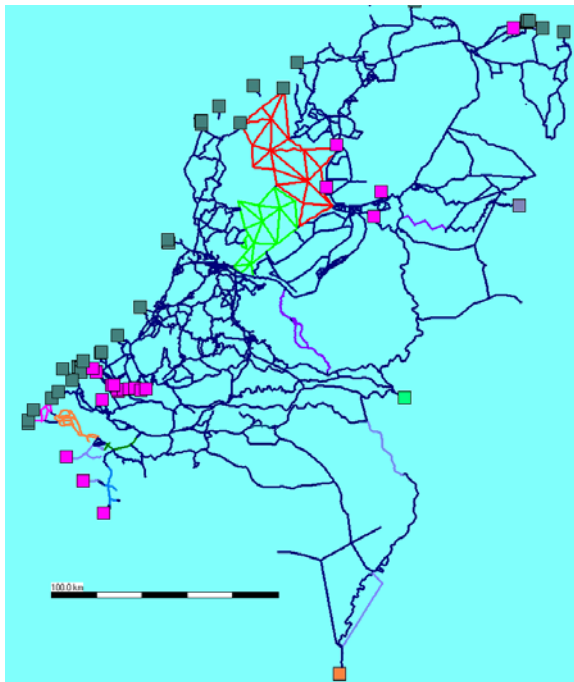
3.6.1 Referentie reeks

Voor de rivierafvoer wordt gebruik gemaakt van de tijdseries die ook voor LSM worden gebruikt waarbij voor het WH scenario de WHdry variant die ook binnen Zoetwater ("droge" toepassing) wordt toegepast.

De watertemperatuur van de rivieren is voor de referentiesituatie (1981-2006) gehaald uit waterbase (<http://live.waterbase.nl>.)

Specifiek voor de watertemperaturen in LTMLight geldt:

1. Voor de Rijn (licht groen) gebruiken we gemeten watertemperatuur van Lobith zoals gemeen op station Lobith en Lobith Ponton
2. Voor de Maas (oranje) gebruikt de gemeten watertemperatuur van Eijsden (oranje) zoals gemeten op meetstation (Eijsden Grens en Eijsden ponton)
3. Voor de Vecht (donker blauw gebruikt metingen van de Rijn (meetstation Lobith) omdat daar geen metingen beschikbaar zijn. Het model heeft wel de mogelijkheid om een andere tijdserie aan te sluiten indien deze alsnog beschikbaar komen.
4. Voor de Noordzee randen (donker groen) bestaan vele individuele locaties. Voor al deze locaties definiëren we slechts één type rand (nl. Noordzee) waar voor een tijdserie van meetstation Hoek van Holland wordt gebruikt. Mocht het nodig zijn kunnen afwijkende tijdseries voor individuele randen (bv bij IJmuiden) worden aangesloten.

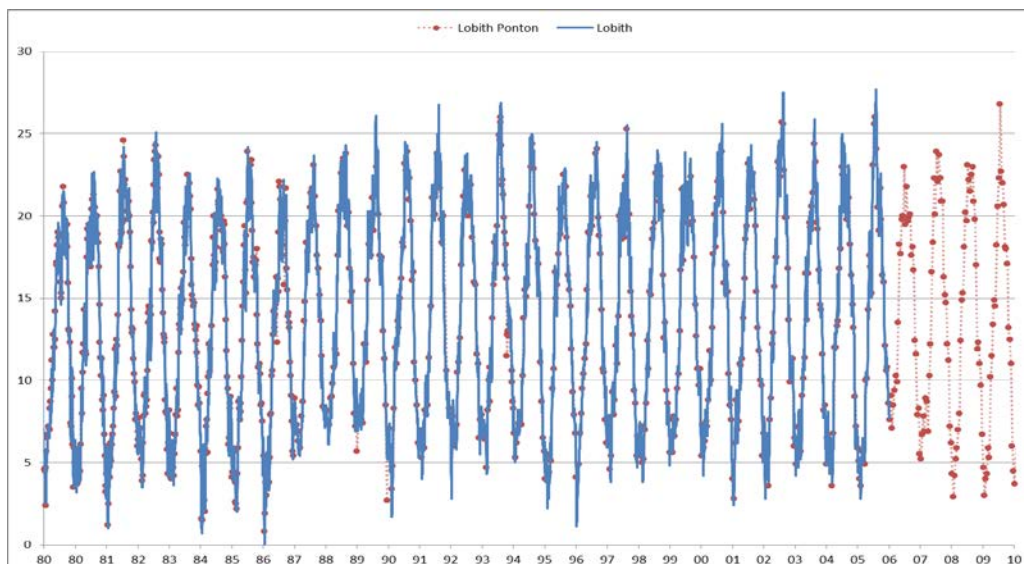


Figuur 3.5 Randen van het LTMLight model

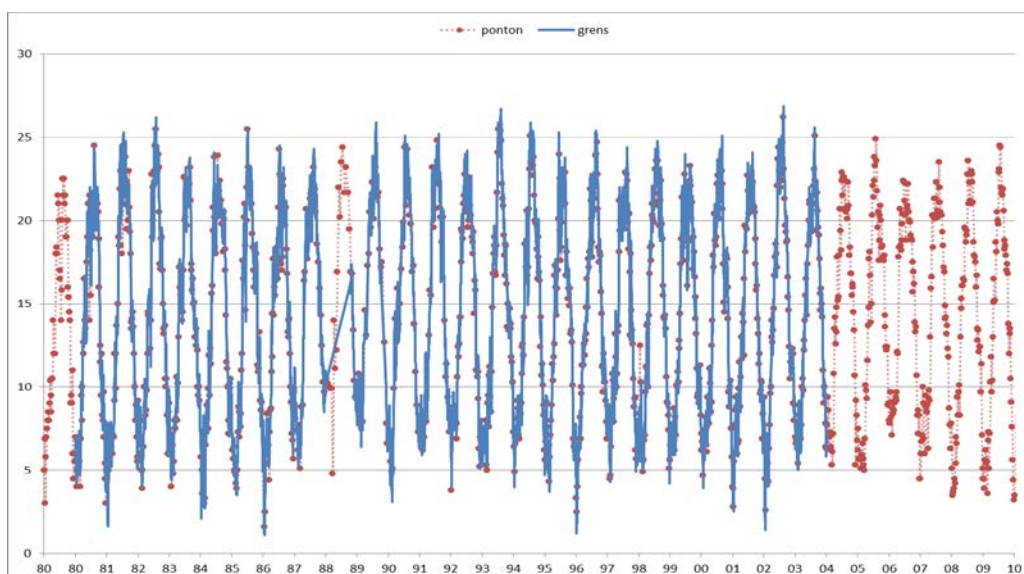
Er is een aantal bewerkingen op de data uitgevoerd:

- Per locatie is een tijdserie gemaakt van de beschikbare metingen. Voor Lobith en Eijsden betekende dit dat de metingen op de pontons zijn toegevoegd aan de metingen van het vaste meetpunt
- De temperatuurmetingen beschikbaar in waterbase zijn dagwaarden. Missende waarden worden lineair geïnterpoleerd en het geval er meerdere metingen op een dag beschikbaar zijn wordt de eerst beschikbare gebruikt.
- Vanaf oktober 1989 is het tijdstip van meten op meetstation Lobith verschoven van 8.00 naar 12.00u waardoor er een (stap)trend (+0.6 °C) in de metingen is geïntroduceerd. Hiervoor zijn de data niet gecorrigeerd hoewel dat mogelijk is (zie Deltares, 2008). *Figuur 3.6* laat de meetwaarden zien.
- Ook voor Eijsden is het meettijdstip binnen de tijdserie veranderd zonder hiervoor te corrigeren (tot 1992 om 8u en van 1981 om 12u). Het verschil in watertemperatuur voor

beide tijdstippen is nagenoeg constant en bedraagt, net als voor de Rijn bij Lobith, ongeveer 0.6°C .



Figuur 3.6 Watertemperatuur Lobith (blauw, lijn) en Lobith-Ponton (rood, punten) voor LTMLight (referentie periode)



Figuur 3.7 Watertemperatuur Eijsden Grens (blauw, lijn) en Eijsden-Ponton (rood, punten) voor LTMLight (referentie periode)

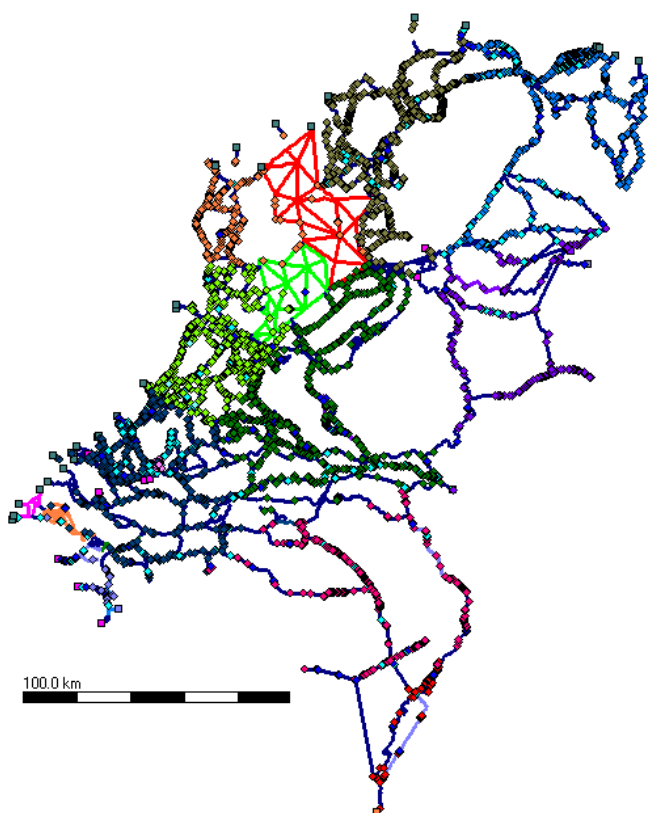
3.6.2 Scenario reeks

Op dit moment verandert de watertemperatuur van de rivierranden voor de Rijn, Maas en Vecht NIET voor de basisscenario's in het model! Reden is dat er nog geen keuze is gemaakt over de methodiek hoe deze verandering gekwantificeerd moet worden.

Het resultaat van berekeningen met LSMLight voor wat betreft de klimaatscenario's zal voor wateren die sterk beïnvloed zijn door de randen Lobith, Eijsden en de Overijsselse Vecht niet

bruikbaar zijn. Bij lage afvoer is de verblijftijd van het water hoger en strekt de invloed van de randvoorwaarde op de binnenlandse watertemperatuur minder ver.

Voor de lateralen instroming vanuit de punten zoals in Figuur 2.5 aangegeven berekent de randvoorwaarde programmatuur de watertemperatuur van de scenario's. De laterale watertemperatuur wordt voor de scenario's met dezelfde procedure berekend als voor de referentiereeks en is gebaseerd op de gesimuleerde watertemperatuur in een fictief bakje gevoed met meteorologische meetreeks van het representatieve KNMI station in de regio. Voor de scenario's wordt daarbij gebruik gemaakt van de meteorologische reeksen die horen bij het betreffende klimaatscenario. Dit geldt voor alle randen van het type "Laterale instroom" in de betreffende regio.



Figuur 3.8 Laterale (regionale) randen van het LTMLight model ingedeeld naar 10 regio's (elk met verschillende kleur) per regio wordt de watertemperatuur berekend met gebruikmaking van het representatieve KNMI station in die regio

3.7 Warmtelozingen

3.7.1 Warmtelozingen referentiereeks

Warmtelasten van elektriciteitsproductie eenheden en industrie zijn in de referentiesom opgenomen volgens de praktijklast (uitgedrukt als vermogen in MW). In de FEWS database van NWM is naast deze praktijklast ook de vergunde warmtelast beschikbaar (niet voor de in dit rapport beschreven berekeningen). Voor sommige productie-eenheden zijn de warmtelasten variabel in de tijd beschikbaar, voor verreweg de meeste is alleen een gemiddelde waarde van het opname jaar beschikbaar. De basis inventarisatie (t.b.v. de

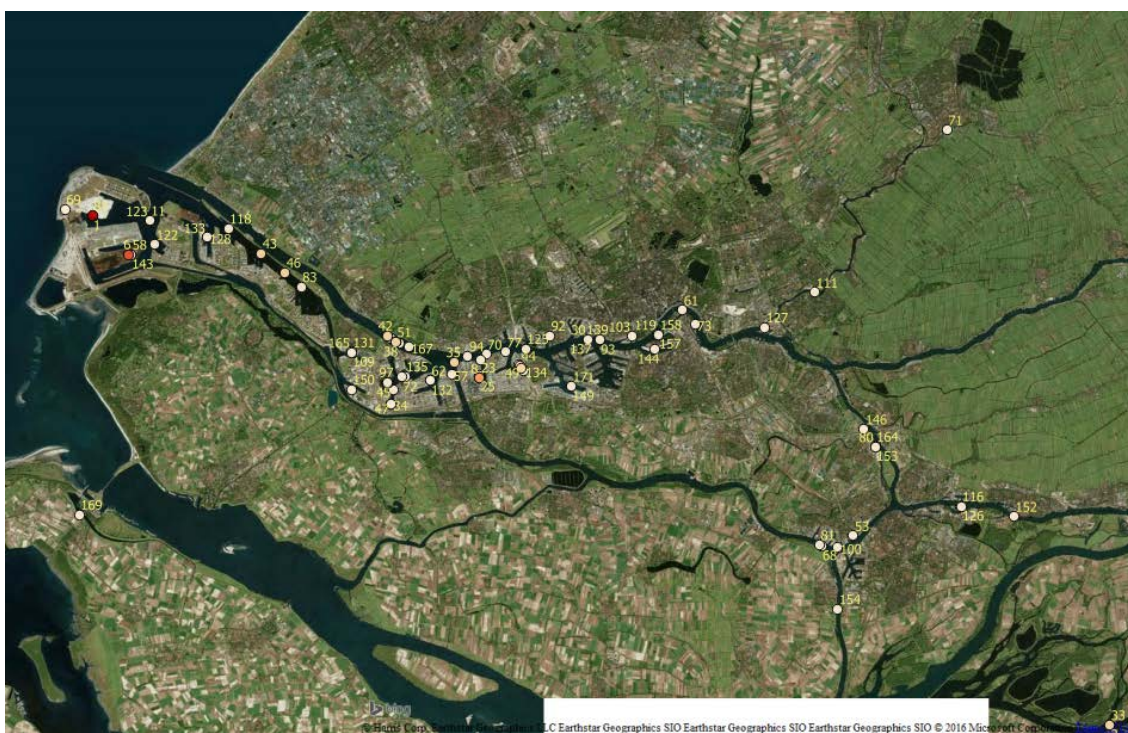
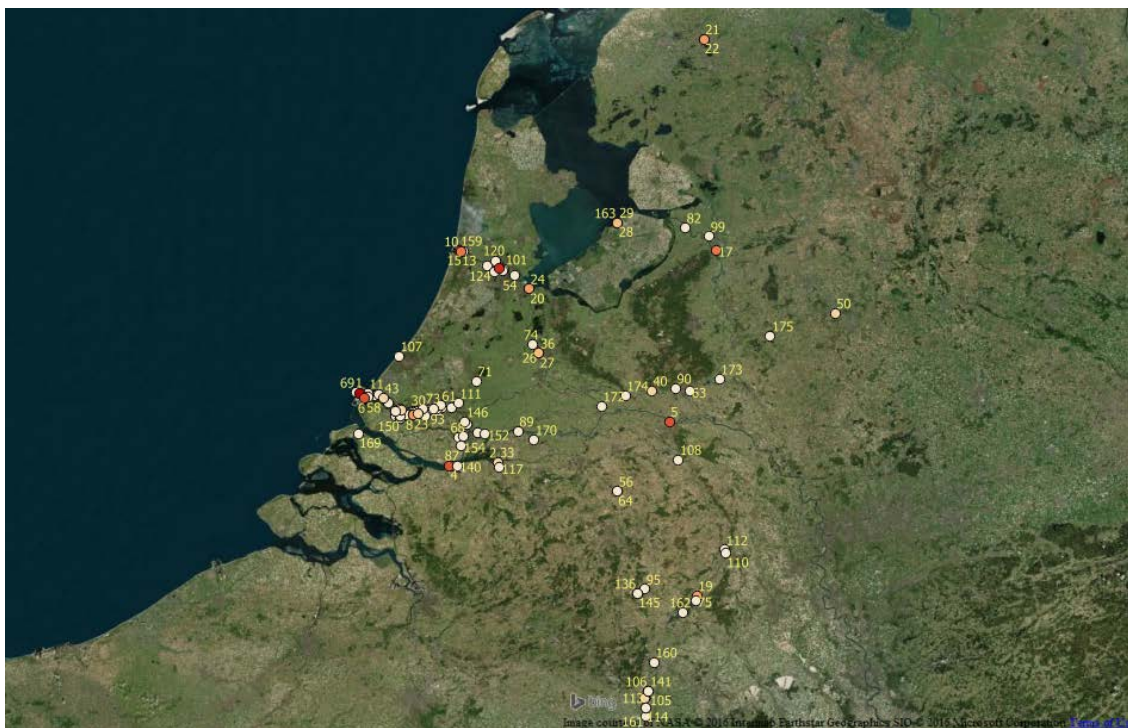
landelijke analyse knelpunten analyse 21e eeuw (Klijn et. al. 2011) is uitgevoerd in 2010 door KEMA). Deze inventarisatie (momentopname 2010) is door de regionale waterbeheerders in deze studie in 2016 geëvalueerd en deels herzien wat geleid heeft tot een relatief beperkte verandering van de warmtelasten. Merk op dat deze herziene warmtelasten in principe de momentopname 2016 vertegenwoordigen. Deze momentane waarden (een aantal uitzonderingen waarvoor beheerders ongevraagd een jaarlijkse waarde specificerden) worden in LTM constant verondersteld voor de periode 1980-2010.

De gemiddelde warmtelasten van alle lozings zijn weergegeven in de Appendix. De wijzigingen zijn opgenomen in Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Samenvatting actualisatie warmtelasten (praktijkwaarden). De kolom "2010" bevat de warmtelasten zoals in 2010 door Kema geïnventariseerd. De kolom "2016" bevat de geactualiseerde waarden uit inventarisatie 2016 zoals aangegeven door drie geënquêteerde regionale directies. De praktijklast uit de kolom "actueel" heeft betrekking op de jaren 2013-2016, details in de kolom "opmerkingen".

bron	lozing	"2010" praktijk (MW)	"2016" praktijk (MW)	opmerkingen
Oost Nederland	Kema Nederrijn	5	15.45	In 2015 vergund en in de praktijk verhoogd naar 15,45 MW
	Centrale Gelderland	706	0	Centrale stopgezet (2015), maar lozingsvergunning niet ingetrokken
Zuid Nederland	NUON Power Buggenum WAC	256	0	Zonder toelichting (sluiting per april 2013, bron Energia)
	NUON Diemen DM34	0	0	Per 2012 ontmanteld (status vergunning onbekend)
	Sappi_Maas	14	10.90	actualisatie
	Mars_Veghel	15	2.30	actualisatie
	Kappa_Maas	4	3.80	actualisatie
	Tes.Chemie_Julianak	1	0.93	actualisatie
	PQ_Julianak	0.55	0.93	actualisatie
	Nutricia_Maas	1	0.19	actualisatie
	Nedri_Maas	0.5	0.20	actualisatie
	DSM_Maas	1.2	0.21	actualisatie
	ENCI_Maastricht	1	1.00	actualisatie
	Corus_Julianak	0.3	0.24	actualisatie
	Trespa_Weert	0.75	0.02	actualisatie
	Johnson_Julianak	0.16	0.02	actualisatie
	O-I_Maas	0.17	0.23	actualisatie
	Componenta_Weert	0.22	0.13	actualisatie
	Friesland Campina te Veghel	0	20	Nieuw
	Tata Steel Nederland Tubes	0	3.96	Nieuw
WNN	Hemweg Centrale	617	635	Actualisatie
	Velsen Centrale V24	502	0	Actualisatie
	Velsen Centrale V25	0	371	Nieuw
	Corus Staal IJMON	183	222	Actualisatie
	Albemarle	18	2.9	Actualisatie
	Cargill Soja	9	7.9	Actualisatie
	Sonneborn Refined Products	1.1	0.9	Actualisatie

In LTMLight worden de warmtelasten uit de database gekoppeld aan de (warmte)lozingspunten in het LSM netwerk. De koppeling vindt plaats op basis van een identificatie (ID) van de lozing.



Figuur 3.9 Kaart locaties warmtelozingen. Het nummer op de kaart (heel NL boven, regio rondom haven Rotterdam, onder) correspondeert met het volgnummer in de Appendix.

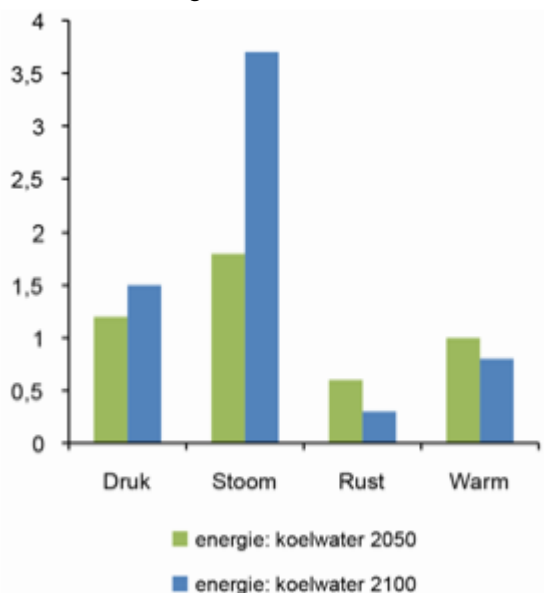
Warmtelozingen in Duitsland en België liggen buiten het modeldomein van het Nationaal Watermodel. Er wordt geen gebruik gemaakt van modellen om de bijdrage van de warmtelozingen op de grens (Lobith en Eijsden) te kwantificeren.

De bijdrage van het restant warmtelozingen is integraal onderdeel van de gemeten temperatuur voor deze rivierranden (3.6).

3.7.2 Warmtelozingen scenario's

De warmtelozingen zijn voor alle basisscenario's gelijk aan de warmtelozingen in het referentiejaar.

Tijdens de knelpuntenanalyse werd rekening gehouden met een variërende vraag naar koelwater, zie Figuur 3.10.



Figuur 3.10 Verandering van koelwatergebruik voor de elektriciteitsproductie ten opzichte van de basisperiode 2008-2012, waarin het verbruik op 1 (100%) is gesteld. Kopie uit Deltascenario's voor 2050 en 2100. Nadere uitwerking 2012-2013 W. Bruggeman (Deltares) en E. Dammers (PBL).

4 LTMLight berekeningen basisprognoses

Disclaimer:

In dit hoofdstuk worden resultaten van de berekeningen beschreven. Door omstandigheden (bug in stralingsconversie, tijdsdruk en nog niet uit ontwikkelde tools voor nabewerking) kan dit hoofdstuk niet worden afgemaakt voordat aanbevelingen 1-3 (zie hoofdstuk 6) zijn uitgevoerd). De resultaten zijn dus nog deels fout en incompleet. De gewenste vergelijking met de eerdere studie (IRC, 2013) is niet 1-op-1 mogelijk. In paragraaf 4.3.2 is wel en “kort-door-de-bocht” vergelijking opgenomen).

Paragraaf 4.1 beschrijft op welke manier de resultaten van de basisprognoses (technisch) beschikbaar zijn.

Paragraaf 4.2 beschrijft de resultaten van de referentieberekening in vergelijking met metingen. Paragraaf 4.3 beschrijft de resultaten van de klimaatscenario's en vergelijkt die met eerdere resultaten uit de IRC studie.

Paragraaf 4.4 is vreemde eend in de bijt. Hierin tonen we aan dat na correctie van de bug in de stralingsconversie de resultaten ten positieve veranderen. In een volgende versie zal, nadat de hele 30jarige reeks is doorgerekend, deze paragraaf overbodig worden want dan worden de correcte resultaten in voorliggende paragrafen beschreven.

4.1 Beschikbaarheid modelresultaten LTMLight

Voor LTMLight 1.3 zijn resultaten op twee manieren beschikbaar: (1) in FEWS en (2) als vanuit NWM geëxporteerde LTMLight resultaten. De export bestaat uit één NetCDF bestand per scenario, zie hieronder. Deze files zijn gebruikt getest met de (Python) scripts die hiervoor ontwikkeld zijn. De export levert technisch correcte bestanden (dat wil zeggen dat de inhoud ervan 1:1 correspondeert met de resultaten in de FEWS database). De inhoud van de NetCDF bestanden is conform beschreven in 3.3):

- ZW_LTMLTExportArchive_REF2015S0
- ZW_LTMLTExportArchive_D2050S0
- ZW_LTMLTExportArchive_D2085S0
- ZW_LTMLTExportArchive_R2050S0
- ZW_LTMLTExportArchive_R2085S0
- ZW_LTMLTExportArchive_S2050S0
- ZW_LTMLTExportArchive_S2085S0
- ZW_LTMLTExportArchive_W2050S0
- ZW_LTMLTExportArchive_W2085S0

4.2 Resultaten referentiesituatie ten opzichte van metingen

We presenteren hieronder (4.2.1) tijdseries en samenvattende statistiek van de watertemperatuur voor de LMW locaties waarvoor metingen beschikbaar zijn. Metingen zijn beschikbaar voor de volgende 9 locaties:

- BELFBVN
- HARVSS

- KAMPN
- KEIZERSVEER
- KINDERDKLEK
- MAARSSN
- NIEUWGN
- VELWMMDN
- VROUWZD

In 4.2.2 tonen we aan dat de bijdrage van de warmtelozingen aan de temperatuur correct is aan de hand van één locatie. Een gewenste presentatietechniek om de bijdrage van warmtelozingen ruimtelijk af te beelden is op dit moment nog niet beschikbaar.

4.2.1 Watertemperatuur

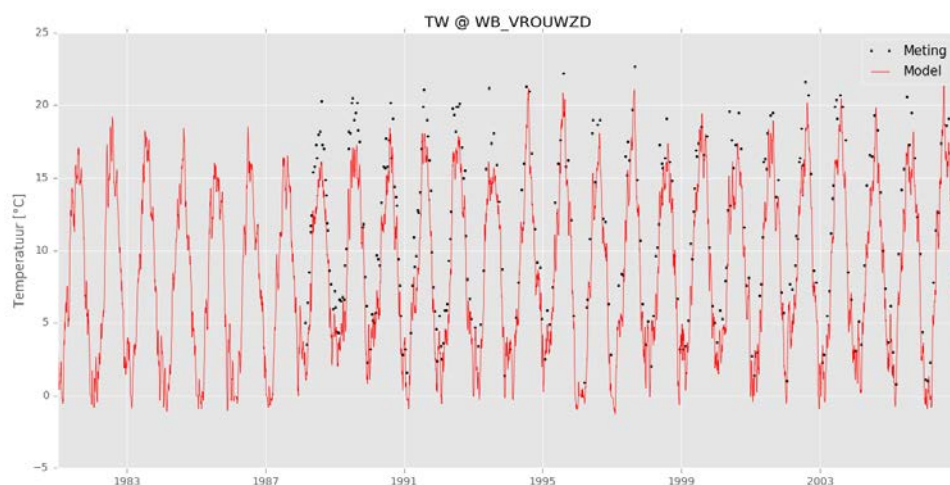
Voor de referentieberekening wordt voor de berekende watertemperatuur het volgende verwacht:

- 1 De watertemperatuur verloopt als een sinusoïde waarbij winter waarden vanzelfsprekend lager zijn dan zomerwaarden
- 2 De watertemperatuur varieert tussen 0 en maximaal 30°C (een kleine negatieve waarde is toegestaan en is een indicatie voor ijsvorming)
- 3 Het effect van verschillende klimatologische jaren is zichtbaar in de maximale watertemperatuur (2003, 2006 warme jaren)

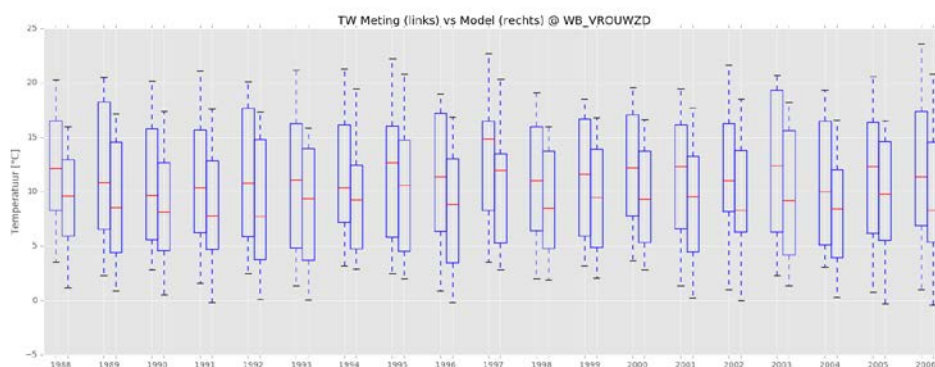
Figuur 4.1 laat zien dat aan voorwaarden 1-3 wordt voldaan.

Als extra controle is nog een vergelijking van het modelresultaat met (ons) beschikbare metingen gedaan. Figuren Figuur 4.1 en Figuur 4.2 laten zien dat de overeenkomst met de metingen voor Nederlands grootste meer (locatie Vrouwezand in het IJsselmeer) op dit moment onvoldoende is. Er treedt een systematische afwijking op in de orde van 3°C door een te lage bijdrage van de globale straling).

De mis-match tussen het model en de metingen is vergelijkbaar voor de andere LMW locaties. Resultaten voor de overige locaties staan weergegeven in Appendix 2.



Figuur 4.1 Modelresultaat (1981-2006) en metingen voor locatie Vrouwezand (IJsselmeer)



Figuur 4.2 Modelresultaat en metingen (1988-2006) voor locatie Vrouwezand Statistische samenvatting (minimum, 90p, gemiddelde, mediaan, 10p en maximum).

4.2.2 Bijdrage lozingen

Het model berekent naast de watertemperatuur ook de bijdrage van de warmtelozingen aan de watertemperatuur uit. De variabele 'surplus temperatuur' bevat de cumulatieve bijdrage van alle bovenstroomse warmtelozingen na verdunning en afkoeling ervan. De surplustemperatuur is ter plaatse van een individuele lozing dus niet alleen het gevolg van die warmtelozing maar bevat ook het restant van alle bovenstrooms geloosde warmte.

Het effect van een individuele warmtelozing aan de opwarming van het ontvangend water wordt in LTMLight als volgt berekend: dT (°C) = P (Warmtelozing in MW_{th}) / Q (debiet in m³/s) / 4.2 (kJ/m³/K).

Merk op dat LTMLight:

- Uitgaat van volledige menging en geen kennis over de omvang van de lozingspluim heeft;
- Geen informatie beschikbaar is over het onttrekkingsdebiet van een warmtelozing

- Een warmtelozing gedefinieerd is als hoeveelheid geloosde energie per tijdseenheid (MW_{th})
- De door LSM berekende afvoeren (10 minuten waarden) in LTM als daggemiddelde waarden worden gebruikt
- De invloed van het getij is geen expliciet onderdeel van de koppeling tussen SOBEK en LTM.
- Menging in stagnante delen van het netwerk (zoals havens) gekalibreerd dient te worden

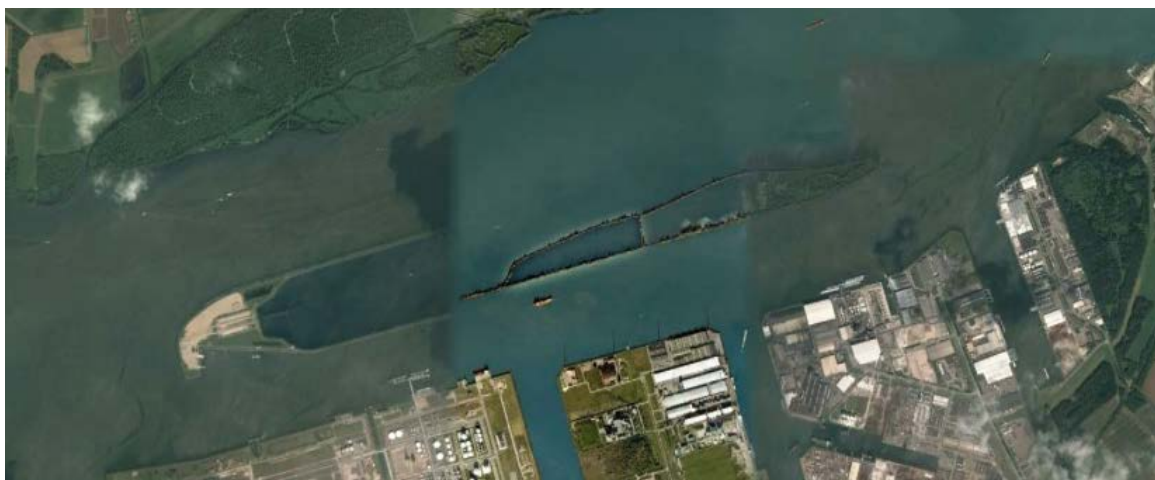
Hieronder volgt ter illustratie en controle een handmatige berekening van de bijdrage van een aantal warmtelozingen in het Hollands Diep nabij Moerdijk. De lokale situatie is weergegeven in Figuur 4.3. In SOBEK is de afvoer van het Hollands Diep rondom het eiland nabij Moerdijk in met twee aparte takken geschematiseerd, zie Figuur 4.4. De debieten in beide takken verschillen. Voor het jaar dat hier als controlejaar gebruikt is (2006) bedraagt de laagste afvoer via de zuidkant van het eiland orde $50 \text{ m}^3/\text{s}$, via de noordkant stroomt in de laagwater situatie $200 \text{ m}^3/\text{s}$.

De belangrijkste lozing op de zuidelijke tak is de warmtelozing van Essent (179 MW), daarnaast zijn er nog 4 lozingen die bijdragen aan de opwarming in dit deel van het Hollands Diep, te weten SVI (2 MW), AZN (6 MW), Omya (0.1 MW) en BMC (7 MW). De totale warmtelast bedraagt daarmee 195 MW geloosd op de zuidelijke tak bij Moerdijk (in LTMLightsegment 328).

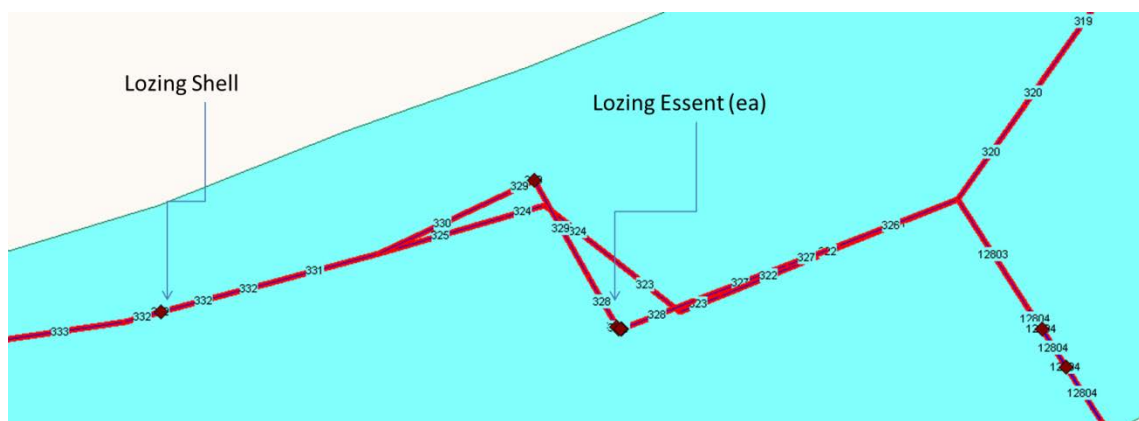
De door LTMLight berekende surplus temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) en het daggemiddelde debiet (m^3/s) ter plaatse van de lozing is weergegeven in Figuur 4.5. Te zien is dat bij toename van het debiet de surplus temperatuur afneemt en omgekeerd dat bij afnemend debiet de surplustemperatuur toeneemt.

De bijdrage van de warmtelozing aan de opwarming van het water kan worden berekend uit: $dT (^{\circ}\text{C}) = P (\text{Warmtelozing in } MW_{th}) / Q (\text{debiet in } \text{m}^3/\text{s}) / 4.2 (\text{kJ}/\text{m}^3/\text{K})$. Voor half maart lezen we (Figuur 4.5) het debiet af, $200 \text{ m}^3/\text{s}$, de berekende dT bij 195 MW is dan 0.23°C wat overeenstemt met de door het model berekende waarde van de surplustemperatuur.

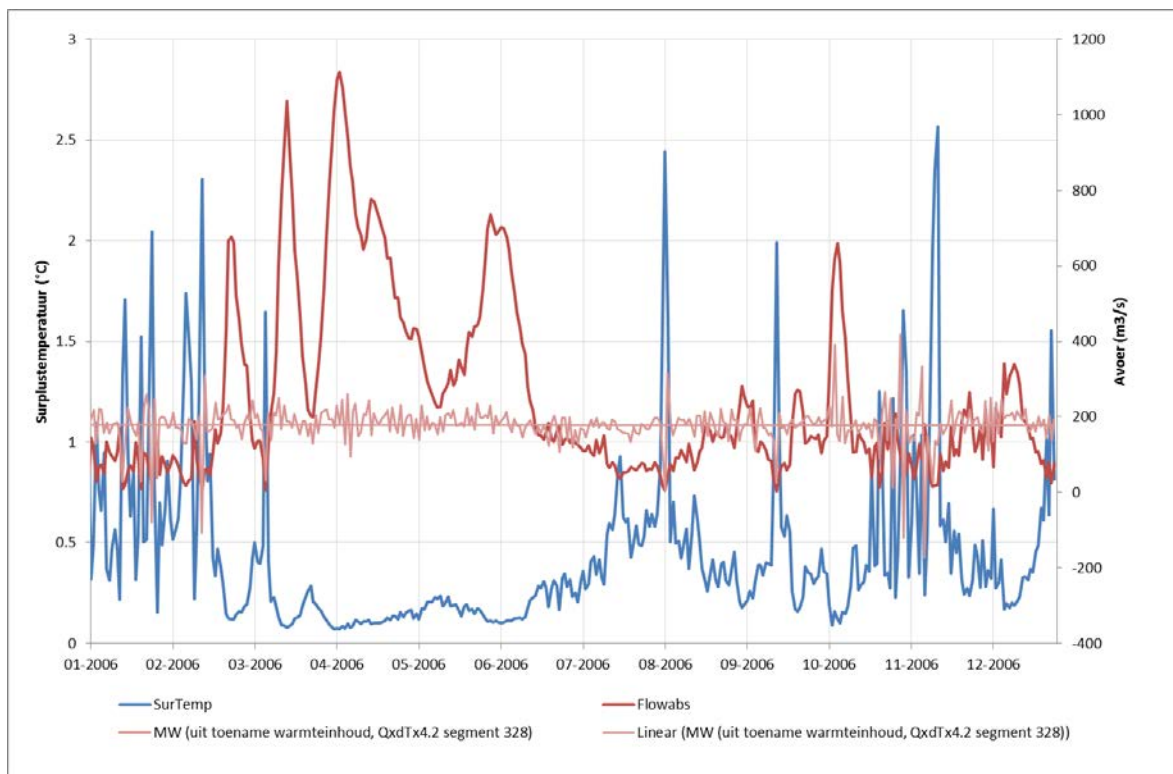
Bij deze controle berekening is geen rekening gehouden met de voorbelasting, dat is de warmtevracht die via de rand(en) van het segment waarin geloosd wordt binnenkomt (SurTemp is niet gelijk aan nul op de rand van het segment waarin de lozing plaatsvindt). Voor de volledigheid is nog een controle uitgevoerd waarin met de voorbelasting rekening wordt gehouden. $\text{individuele warmtelast} = (\text{berekende temperatuur in lozingssegment} - \text{temperatuur in segment bovenstrooms van lozingssegment}) * Q * 4.2$. De zo teruggerekende warmtelast staat weergegeven in Figuur 4.5 en komt gemiddeld uit op 180 MW. Het verschil met de geloosde warmtelast (195MW) is goed te verklaren door afkoeling naar de atmosfeer in het segment waarin geloosd wordt.



Figuur 4.3 Lokale situatie ter plaatse van de warmtelozingen bij Moerdijk. In SOBEK zijn de afvoeren aan beide zijden van het eiland in aparte takken geschematiseerd



Figuur 4.4 Schematisatie van het Hollands Diep ter plaatse van het eiland bij Moerdijk. De lozing van Essent vindt plaats in de "zuidelijke" tak (segment 328).



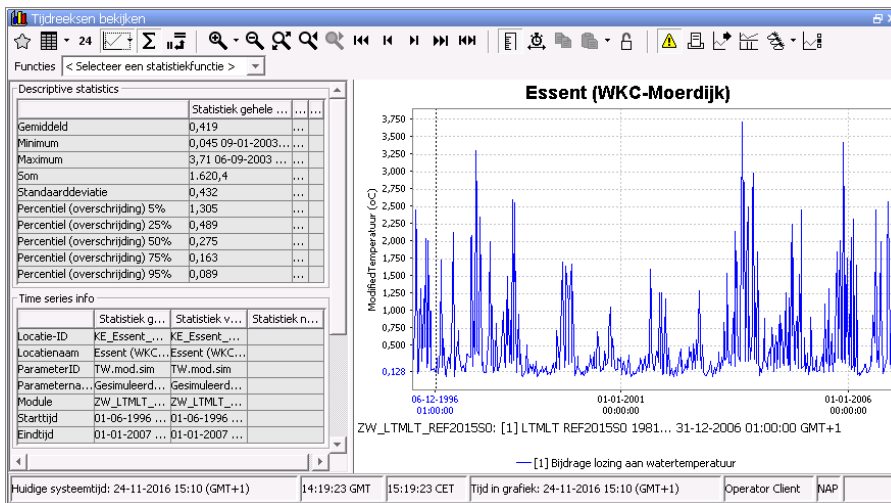
Figuur 4.5 Bijdrage van de warmteozing (blauw) van Essent (179 MW) in en vier andere warmteozingen (som van de vijf lozingen is 195 MW) aan de watertemperatuur (°C) in het Hollands Diep bij variërende afvoer via de zuidelijke tak (rood). In roze de teruggerekende warmtelast (zie tekst).

Het model berekent de bijdrage van de warmteozingen aan de watertemperatuur correct. **De LTM uitvoervariabele “surplustemperatuur” mag echter niet gebruikt worden om een individuele lozing na te rekenen, daarvoor moet de dT over het segment van de lozing worden gebruikt. De surplustemperatuur geeft de bijdrage van de (restanten) van alle warmteozingen in het model na verdunning en afkoeling van die warmtelast.**

In Tabel 4.2 is voor een langere periode van ongeveer 10 jaar (1997-2006) de relatie tussen afvoer, dT en surplustemperatuur gegeven. Voor de situatie in de zuidelijke tak rondom Moerdijk blijkt de surplustemperatuur een goede schatter van de dT omdat er ter (toevallig) plaatse geen grote voorbelasting is.

Tabel 4.1 Statistische uitvoer NWM (FEWS) voor de periode 1997-2006 van de afvoer door de zuidelijke tak van het Hollandsdiep (Figuur 4.4), berekende dT uit $P/Q/4.2$ (P =warmteozing in MWth) en de door het model berekende surplustemperatuur (inclusief atmosferische afkoeling en voorbelasting)

Percentiel afvoer	Afvoer (Q in m3/s)	dT (°C) a.g.v. 195 MW bij deze afvoer	Surplustemperatuur (°C)
5	29	1.60	1.3
25	90	0.52	0.49
50	177	0.26	0.27



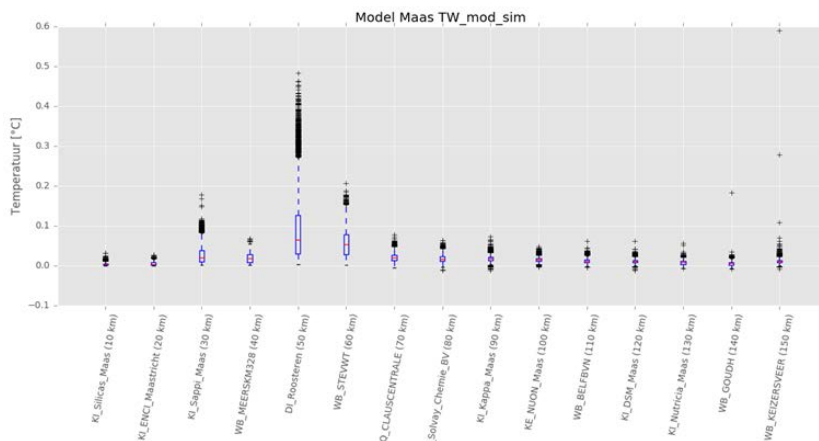
Figuur 4.6 Voorbeeld van een uitvoerscherm van NWM (FEWS) met statistische uitvoer t.b.v. Tabel 4.3

Bijdrage lozingen in stagnante havens

De bijdrage van de warmtelozingen aan de watertemperatuur wordt correct berekend voor stromende wateren. Lokaal kan in havens de bijdrage soms opvallend hoog zijn. Dit komt omdat er in havens relatief grote warmtelasten voorkomen die door een geconcentreerde manier van lozen (in een klein deel van de haven, in feite één segment) in combinatie met de het ontbreken van stroming in de haven, en dus ontbreken van menging, leiden tot een te hoge temperatuur. Een te hoge temperatuur leidt vervolgens tot een overschatting van de afkoeling waardoor de warmtebalans niet meer correct kan zijn. Herstel is daarom aanbevolen. Hiervoor zijn twee acties nodig: (1) de lozing verdelen over een groter deel van de haven en (2) lokaal extra mening toevoegen om te voorkomen dat de warmte in de haven blijft "hangen".

Bijdrage lozingen op riviertrajecten

Ter illustratie is in Figuur 4.7 de bijdrage van de warmtelozingen in de Maas gepresenteerd. De bijdrage van buitenlandse warmtelozingen zit niet in het model en de bijdrage van de warmtelozingen binnen Nederland is volgens het model beperkt tot maximaal 0.5°C (o.a. door uit bedrijf nemen van o.a. de centrales bij Buggenem).



Figuur 4.7 Bijdrage van de warmtelozingen op de Maas (gemiddelde van hele periode in °C). Let op de x-as is niet correct geschaald (geen exacte rivierkilometers).

4.3 Resultaten klimaatscenario's

Disclaimer: Resultaten van de berekeningen met de klimaatscenario weerspiegelen aan de landsgrenzen van Nederland nog niet het effect van klimaatverandering buiten Nederland t.

In paragraaf 4.3.1 laten we zien dat de resultaten van de klimaatscenario's plausibel zijn. In paragraaf 4.3.2 wordt een poging gedaan de resultaten van de klimaatscenario's te vergelijken met eerdere resultaten..

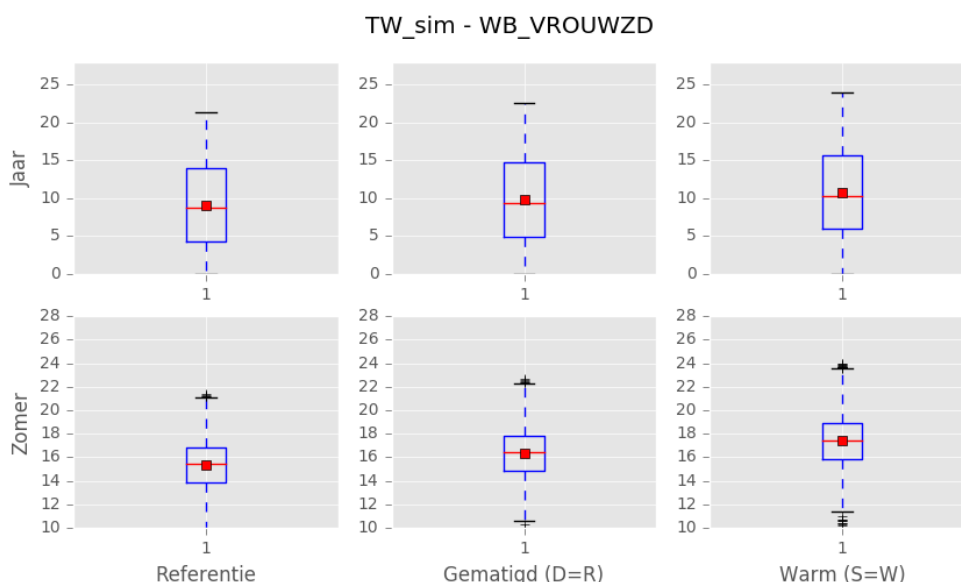
4.3.1 Plausibiliteit klimaatscenario's

We presenteren hier het effect van de klimaatscenario's voor het IJsselmeer. De watertemperatuur van het IJsselmeer is nagenoeg alleen afhankelijk van de meteorologie en klimaatscenario's in Nederland, het ontbreken van klimaat scenario's van watertemperatuur van de Rijn en Maas randen beïnvloedt het resultaat op het IJsselmeer dus niet.

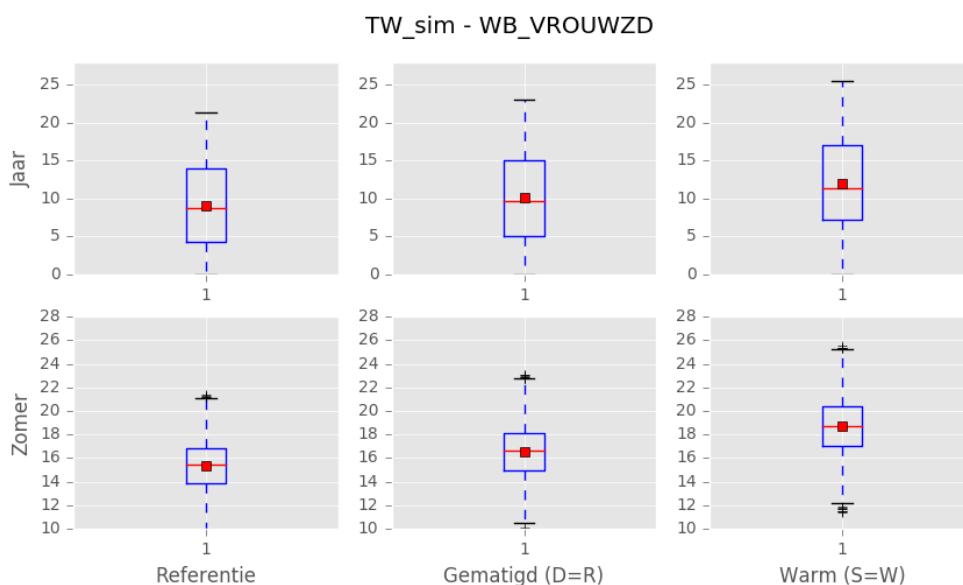
Voor de scenarioberekeningen mag voor de berekende verandering van de watertemperatuur het volgende worden verwacht:

- 1 Verhoging in de zomer is groter dan in de winter
- 2 Verhoging in het warme scenario is hoger dan in het gematigd scenario
- 3 Voor 1 & 2 geldt dat het effect in 2085 groter is dan in 2050

Figuur 4.8 en Figuur 4.9 laten zien dat de berekeningen aan deze drie voorwaarden voldoen.



Figuur 4.8 Berekende verhoging van de watertemperatuur (locatie Vrouwezand IJsselmeer) als gevolg van klimaatverandering (zichtjaar 2050) voor x-as (referentie, gematigd en warm) en y-as (jaar en zomer).



Figuur 4.9 Berekende verhoging van de watertemperatuur (locatie Vrouwezand IJsselmeer) als gevolg van klimaatverandering (**zichtjaar 2085**) voor x-as (referentie, gematigd en warm) en y-as (jaar en zomer).

4.3.2 Vergelijking met IRC scenario's

Resultaten van LTM uit de IRC studie (2013) zijn gebaseerd op projecties voor de jaren 2021-2050 en 2071-2100 en lijken daarmee op de projecties die in NWM worden gebruikt, 2050 en 2085. Hoewel de opgelegde klimaatveranderingsvectoren en toekomstige afvoerreeksen verschillen, zijn de beschikbare scenario's en berekeningsresultaten in Tabel 4.2 toch naast elkaar gezet. In beide studies waren er twee scenario's voor de nabije toekomst (I, II) en twee voor de verre toekomst (II, IV).

De opgelegde forcering van het klimaat (belangrijkste representant "dT luchttemperatuur") komt voor periode I en IV in beide studies redelijk overeen. Periodes II en III vertonen niet de gewenste overeenkomst voor deze klimaatforcering en de resultaten voor de watertemperatuur worden daarom niet vergeleken.

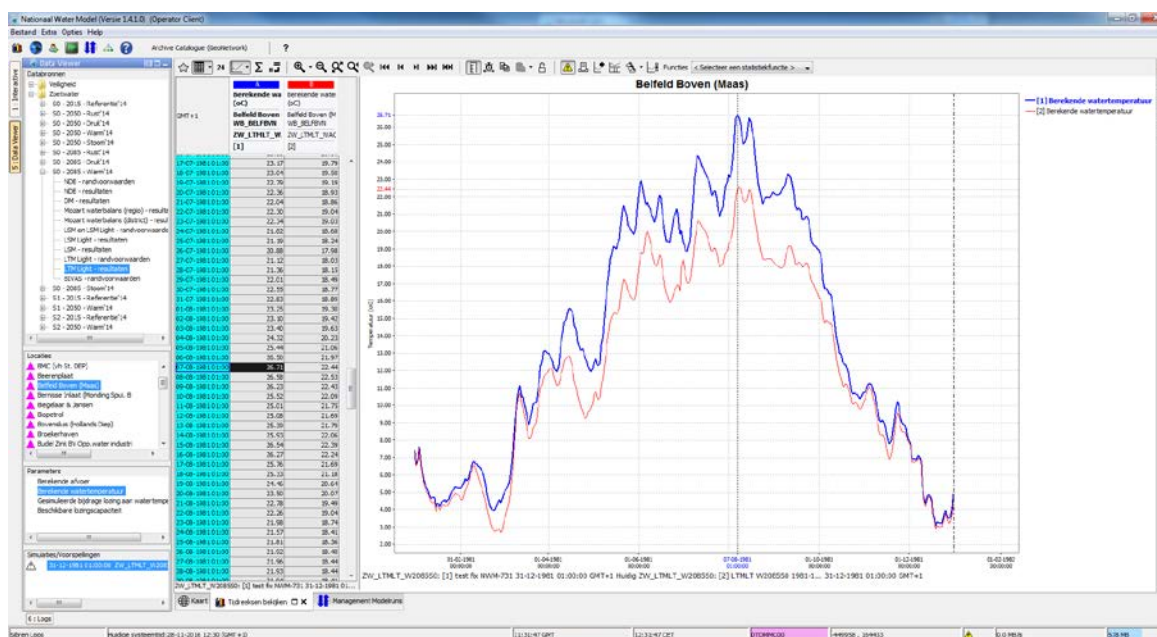
De berekende watertemperaturen voor periode I (2050, "nabij gematigd") en IV (2085, "ver warm") in groen gemarkeerd in onderstaande tabel, laten zien dat de berekende watertemperaturen in beide studies redelijk goed overeenkomen. Dit geeft vertrouwen in de resultaten van de berekende temperatuurverhoging van de basisprognoses. Voor een zuiverdere (1:1) vergelijking zijn additionele berekeningen nodig

Tabel 4.2 Overzicht van scenario's uit IRC (2010) en NWM (deze studie).

Studie	Periode	I	II	III	IV
NWM scenario					
		2050-GL	2050-WH	2085-GL	2085-WH
dT luchttemperatuur		+1.0	+2.3	+1.3	+3.7
dT watertemperatuur	Jaar	0.8	2.3	0.8	3.0
	Zomer	1.0	1.7	1.2	3.5
IRC scenario					
		NF-Qmax	NF-Qmin	FF-Qmax	FF-Qmin
dT luchttemperatuur		+1.5	+1.5	+4.0	+4.0
dT watertemperatuur	Jaar	0.8	1.0	2.7	2.8
	Zomer	1	1.4	3.2	3.2
<p>IRC: „increased summer temperature + 1.5 K” and „increased summer temperature + 4 K” as representative projections for the near (2021-2050) and far (2071-2100) future. Assumed climate change vectors are based on the EU-Project ENSEMBLES.</p> <p>NWM basisprognoses 2050 en 2085 gebaseerd op GL en WH (0.9-2.3) tot 1.2-3.7), zie paragraaf 3.5</p>					

4.4 Aanvullende deelresultaten (na correctie van een bug in bijdrage globale straling)

Voor het test-jaar 2003 zijn na correctie van de 'stralingsconversie' bug opnieuw de scenario's "Referentie 2015", "Warm 2050" en "Warm 2085" doorgerekend. De herstelactie zorgt ervoor dat de globale straling in W/m² wordt klaargezet voor LTMLight. Het LTMLight model verwacht W/m², terwijl in de NWM FEWS applicatie globale straling in J/cm² wordt getoond. Als gevolg van een tekstuele bug werd de conversiefactor van J/cm² naar W/m² niet opgepakt. Het effect van deze herstelactie is zichtbaar in Figuur 4.10



Figuur 4.10 Effect van de herstel actie op de berekende watertemperatuur voor locatie Belfeld (Maas): voor (rood) en na (blauw) oplossen van de fout

Voor een viertal locaties in de Maas (Belfeld Boven), Haringvliet (Bovensluis), het Amsterdam-Rijnkanaal (Maarssen) en het Noordzeekanaal (Westzaan) is de gecorrigeerde model berekening vertaald naar statistische waarden voor de jaarreeks 2003. In Tabel 4.3 is per rivierlocatie de gesimuleerde watertemperatuur (wT) en de bijdrage van warmtelozingen aan de watertemperatuur (bW of surplustemperatuur) getoond. De belangrijkste statistiek waarden minimum, maximum en 50% overschrijdingspercentiel zijn voor de drie scenario's opgesomd. Tijdsreeksen van de modelresultaten voor deze vier locaties zijn opgenomen in Bijlage C.

Uit de resultaten in Tabel 4.3 is blijkt dat de toename van de watertemperatuur voor het nabije warme scenario (W2050) gemiddeld varieert van 1.3 tot 2.0°C en voor het verre warme scenario (W2085) gemiddeld van 2.1-2.8°C. Deze watertemperatuuropenaamte is plausibel ten opzichte van de opgelegde randvoorwaarde van, met name, de luchttemperatuur (zie Tabel 3.6). De toename is ruimtelijk (voor deze vier locaties) niet gelijk, dat wordt enerzijds veroorzaakt door de ruimtelijk variabele meteorologie en anderzijds door de bijdrage van de warmtelozingen aan de watertemperatuur in combinatie met veranderende afvoer.

In Bijlage C is voor locatie Belfeld te zien dat de bijdrage van de Nederlandse warmtelozingen, hoewel absoluut gezien klein, in de toekomstscenario's relatief sterk afneemt. Dat wordt niet veroorzaakt door een toename van de afvoer (die is gelijk of neemt

eerder af) maar komt door het –ogenschijnlijk tegenstrijdige- feit dat geloosde warmte sneller afkoelt in warmer water.

Tabel 4.3 laat voor het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) zien dat de maximale jaartemperatuur sterk toeneemt van W2050 tot W2085 (2.03 °C). Bijlage C laat voor het ARK zien dat deze relatief grote toename in de zomertemperatuur voor scenario W2085 voor een belangrijk deel veroorzaakt wordt doordat de bijdrage van de warmtelozingen aan de watertemperatuur toeneemt van 2°C tot 2.5°C als gevolg van een lager zomerdebiet in het ARKI (van 15 naar 25 m³/s).

Aanbevolen wordt om statistiek voor de zomerperiode op te nemen in de tabeluitvoer van LTMLight zodat bovenstaande verklaring ook uit zo'n tabel kan worden afgeleid

Vanzelfsprekend wordt aanbevolen om de 30 jarige reeks met de gecorrigeerde stralingsconversie opnieuw te draaien en de resultaten te rapporteren.

Tabel 4.3 Statistiek van gesimuleerde watertemperatuur en bijdrage warmtelozing voor 4 locaties in het test-jaar 2003. Statistiek heeft betrekking op het hele kalenderjaar, statistiek voor seizoenen ontbreekt nog.

Station	Statistiek over jaar 2003	Referentie 2015		Warm 2050		Warm 2085		
Water Temperatuur (WT)		WT	BW	WT	BW	WT	BW	
Belfeld Boven (Maas)	Gemiddeld	13.03	0.010	14.81	0.009	15.87	0.008	
	Minimum	0.74	0.001	1.11	0.002	1.39	0.001	
	Maximum	28.36	0.028	31.88	0.027	33.31	0.028	
	Standaarddeviatie	7.93	0.005	8.32	0.005	8.54	0.006	
	Percentiel overschrijding	5%	24.74	0.019	27.50	0.019	28.90	0.018
		25%	20.33	0.013	22.37	0.012	23.60	0.012
		50%	11.87	0.009	13.19	0.008	14.55	0.007
		75%	5.85	0.006	7.97	0.005	8.83	0.003
95%		2.60	0.005	3.76	0.003	4.20	0.001	
Bovensluis (Hollands Diep)	Gemiddeld	14.02	0.69	15.35	0.73	16.14	0.69	
	Minimum	1.79	0.06	2.38	0.06	2.75	0.05	
	Maximum	27.62	2.01	30.38	1.97	31.89	1.88	
	Standaarddeviatie	7.66	0.35	7.97	0.38	8.17	0.35	
	Percentiel overschrijding	5%	25.31	1.30	27.33	1.37	28.59	1.31
		25%	21.39	0.87	23.08	0.94	24.02	0.89
		50%	13.30	0.68	14.52	0.71	15.15	0.67
		75%	7.84	0.49	8.74	0.50	9.55	0.46
95%		3.26	0.15	4.06	0.12	4.47	0.10	
Maarsse (Amsterdam Rijnkanaal)	Gemiddeld	15.42	2.84	17.24	2.76	18.14	2.66	
	Minimum	3.15	1.93	4.16	1.83	3.70	1.68	
	Maximum	29.39	4.64	32.11	4.91	34.14	4.17	
	Standaarddeviatie	7.64	0.49	7.70	0.53	8.22	0.38	
	Percentiel overschrijding	5%	26.53	3.62	28.74	3.66	30.46	3.24
		25%	22.44	3.23	24.29	3.14	25.70	2.92
		50%	14.64	2.83	16.11	2.70	17.37	2.70
		75%	9.12	2.46	10.62	2.39	11.32	2.41
95%		4.96	2.08	6.53	1.95	6.65	2.08	
Westzaan (Noordzeekanaal)	Gemiddeld	12.75	0.24	14.77	0.21	15.52	0.20	
	Minimum	1.33	0.00	3.58	0.00	3.80	0.00	
	Maximum	26.20	0.41	29.16	0.38	29.28	0.36	
	Standaarddeviatie	7.75	0.07	7.81	0.07	7.88	0.07	
	Percentiel overschrijding	5%	24.45	0.36	26.85	0.32	27.72	0.33
		25%	20.37	0.29	22.47	0.26	23.77	0.26
		50%	12.75	0.25	14.29	0.20	14.55	0.20
		75%	4.81	0.19	7.43	0.15	8.07	0.14
95%		2.37	0.14	4.11	0.12	4.99	0.11	

5 Conclusies

Conclusies van deze studie kunnen worden gesplitst in conclusies ten aanzien van de inbouw van LTMLight in de operationele versie van NWM (“technisch”) en conclusies ten aanzien van de berekeningen die met LTMLight zijn uitgevoerd (“inhoudelijk”).

5.1 Conclusies ten aanzien van de koppeling van de modellen

LTMLight is ingebouwd in NWM en draait operationeel mee zodat watertemperatuur beschikbaar is als onderdeel van de basisprognoses in het NWM.

De koppeling met LSMLT is met succes gelegd. Randvoorwaarden (hydrologie, meteorologie, warmtelozingen en uitvoerlocaties) worden doorgegeven en het model produceert geen missende waarden en heeft geen last van numerieke instabiliteit.

Hoewel de resultaten plausibel lijken is bij rudimentaire vergelijking met metingen gebleken dat er een fout in de conversie van de eenheid van globale straling zit. Daarom rekent het model nu met een (veel) te lage bijdrage van globale straling aan de watertemperatuur. De berekende watertemperatuur is daarom structureel (orde 3°C) te laag en het model resultaat is daardoor inhoudelijk niet bruikbaar. De fout is eenvoudig in de FEWS configuratie te herstellen en het resultaat van de herstel actie is getoetst voor één jaar (paragraaf 4.4).

Het technisch beheer is sterk verbeterd. Zo is het nu mogelijk om achteraf (dus nadat LSM berekeningen zijn gemaakt) warmtelozingen en uitvoerlocaties voor LTMLight toe te voegen. De configuratie maakt nog geen gebruik van alle beschikbare LMW uitvoer locaties.

5.2 Conclusies ten aanzien van de inhoud

De resultaten van de berekeningen van de watertemperatuur met LTMLight binnen NWM (referentie en 4 klimaatscenario's voor beide zichtjaren) zijn op dit moment *niet correct*.

De resultaten van referentieberekening laten zien dat voor de hele periode 1981-2006 de berekende watertemperatuur orde 3 °C lager ligt dan de metingen (geanalyseerd op 9 LWM locaties). De oorzaak van deze grote structurele afwijking (bias) is geïdentificeerd en kan eenvoudig worden hersteld waardoor de structurele onderschatting van de gesimuleerde watertemperatuur naar verwachting verdwijnt (getoetst voor één jaar, zie paragraaf 4.4).

De resultaten van de referentieberekening laten zien dat de variatie van de gesimuleerde watertemperatuur (binnen een jaar) en gesimuleerde variatie tussen de verschillende jaren in de simulatiereeks goed overeenkomt met de variaties die in de signalen van de overeenkomstige meetlocaties te zien zijn.

De bijdrage van de warmtelozingen aan de watertemperatuur wordt correct berekend voor stromende wateren. Lokaal kan in havens de bijdrage van warmtelozingen opvallend groot zijn. Dit komt omdat er in havens relatief grote warmtelasten voorkomen die, door een geconcentreerde manier van lozen (in een klein deel van de haven, in feite één segment), in combinatie met de beperkte menging in de haven leiden tot een te hoge watertemperatuur. Een te hoge watertemperatuur leidt vervolgens tot een overschatting van de afkoeling

waardoor de warmtebalans (het restant warmte dat voor verspreiding in oppervlaktewater overblijft) niet meer correct kan zijn. Herstel is daarom aanbevolen.

De resultaten van de vier toekomstscenario's lijken in termen van toename van de watertemperatuur betrouwbaar. Hoewel de interpretatie gehinderd wordt door (1) fout in de straling van de referentiereeks en (2) missend signaal op de buitenlandse randen, laten de modelresultaten voor de grote meren (IJsselmeer, Markermeer) zien dat de toename van de watertemperatuur in lijn van de verwachting ligt. De berekende watertemperatuur (de absolute waarde om bijvoorbeeld met normen te vergelijken) in de basisprognoses is op dit moment niet bruikbaar.

Er zijn maar twee NWM scenario's die qua forcering enigszins lijken op de in IRC (2010) gebruikte scenario's. De gesimuleerde watertemperatuur voor deze twee perioden, "nabij (2050) gematigd" en "ver (2085) warm", komen redelijk overeen in beide studies en geven vertrouwen in de resultaten van de berekende temperatuurverhoging van de basisprognoses.

6 Aanbevolen vervolgstappen

6.1 Inhoudelijke juistheid en bruikbaarheid verbeteren

- 1 Fout in de conversie van de stralingsgegevens van KNMI herstellen. Bij de transformatie van de gegevens van globale straling (J/cm²/etmaal) naar de eenheid die LTMLight gebruikt (uurlijkse gegevens in W/m²) is een fout geconstateerd waardoor gebruikte straling te laag is (0.36 x originele waarde). Met gecorrigeerde configuratie de basisprognoses opnieuw doorrekenen
- 2 De rivieranden van de Maas en Rijn voorzien van watertemperatuur tijdreeks horend bij klimaatverandering. De daarbij gebruikte methodiek moet worden beschreven.
- 3 De Noordzee voorzien van watertemperatuur tijdreeks horend bij klimaatverandering.

Aanbevelingen 1 t/m 3 zijn essentieel om uit te voeren voordat de overige aanbevelingen nuttig zijn:

- 4 Lokaal in (Rotterdamse) havens de warmtelozingen meer diffuus lozen en of lokaal extra dispersie toevoegen om te hoge watertemperatuur te voorkomen.
- 5 Resultaten LTMLight in meer detail vergelijken met eerdere studies (IRC). Er is nu gekeken naar het gemiddelde van de periode die beide studies gebruiken (IRC 2001-2010) en NWM (1981-2006). Een vergelijking voor de jaren die beide studies zijn beschouwd (2001-2006) wordt aanbevolen.
- 6 Modeluitkomsten vergelijken met de resultaten van het warmtebalansmodel dat recent in SOBEK is ingebouwd
- 7 Gevoeligheidsanalyse uitvoeren om het effect van het gebruik van KNMI grid data te vergelijken met het gebruik van dezelfde informatie in KNMI tijdreeksen. In het huidige instrument wordt gebruik gemaakt van tijdreeksen voor individuele stadions in de 100jarige 100jarige reeks voor het WABES project komen deze data ook ruimtelijk geïnterpoleerd een grid beschikbaar)

6.2 Beschikbaar maken van extra presentatiemogelijkheden

Onderstaande aanbevelingen doen geen uitspraak over de pek waar de gewenste functionaliteit geïmplementeerd moet worden (NWM-FEW of daarbuiten).

- 1 Resultaten afbeelden in langs-profielen voor een aantal geselecteerde riviertrajecten (Maas, Rijn, Rijntakken, ARK, NZK enz.)
- 2 Geografische presentatie van de verschillen tussen verschillende scenario's. Kaart met per uitvoerlocatie de geanalyseerde verschillen tussen scenario's afgebeeld
- 3 Standaard statistische verwerking van de uitvoer in een tabel, inclusief statistiek van de zomerperiode
- 4 Mogelijk maken dat ruimtelijk dekkende informatie wordt weergegeven voor het hele netwerk van oppervlaktewateren
- 5 Sectorspecifieke duiding van de berekende watertemperatuur toevoegen ("KOELWAT" functionaliteit).

6.3 Beheer en onderhoud

- 1 In deze studie is het mogelijk gemaakt om warmtelozingen en uitvoerlocaties onafhankelijk van LSM te beheren. Nog niet alle uitvoerlocaties zoals beschreven in 3.3.2 komen in de FEWS database met LTMLight resultaten terecht (en missen dus in de export naar NetCDF files). Herstel van deze omissie is aanbevolen combinatie met het de locaties die specifiek voor WABES toegevoegd gaan worden.

De manier waarop warmtelozing in havens zijn geschematiseerd moet worden verbeterd. Hiervoor zijn twee acties nodig: (1) de lozing verdelen over een groter deel van de haven en (2) lokaal extra menging toevoegen om te voorkomen dat de warmte in de haven blijft "hangen".

- 2 Testprotocol verder aanscherpen. Tijdens de uitvoering van deze studie is een aantal tekortkomingen in de modeluitkomsten geconstateerd. Voor een deel kan dit soort tekortkomingen eerder worden gesignaleerd als de bestaande testprotocollen hiervoor worden uitgebreid. Specifiek gaat het om:
 - Detectie (numeriek) ontsporen van de simulatie (NaN waarden)
 - Detectie ontsporen van de simulatie (variabele continuïteit)
 - Range checks op meteorologische modelinvoeren (min-gemiddeld-max)
 - Maximale afwijking van gesimuleerde watertemperatuur ten opzichte van metingen voor enkele locaties (in ieder geval locatie Vrouwezand op het IJsselmeer) als indicator voor de gebruikte meteorologie

- 4 In deze studie is een aantal scripts (python) gemaakt om de resultaten van de LTMLight simulaties te visualiseren. Beheer en onderhoud binnen NWM van de scripts is aanbevolen. Toevoeging van statistiek voor delen van een kalenderjaar (zomer) wordt aanbevolen.

- 5 De archief functie van NWM bevat ook LTMLight resultaten. De modeluitvoer van LTMLight wordt gedurende de simulatie in NWM opgeslagen. Deze functionaliteit is nuttig (gebleken) bij het analyseren van de modelresultaten. De variabelen die in de uitvoer worden gearchiveerd kunnen door de volgende wijzigingen worden geoptimaliseerd (efficiënter en effectiever):

<ul style="list-style-type: none"> • SurTemp verwijderen (redundant) • WLC, dTWLC, WOC en dWOC overbodige informatie • VWind, TempAir, RelHumAir, RadSW, Cloud, PAtm, SunFac toevoegen, zijn behulpzaam bij debuggen • HtCond, HtTot, Psvap, Pvpw, RadBR, RadLat en RCHeat toevoegen zijn behulpzaam bij debuggen 	<ul style="list-style-type: none"> DelwaqLSMLT.map DelwaqLSMLT.his DelwaqLSMLT.his DelwaqLSMLT.his
--	---

- 6 In het Deltamodel is in samenwerking met de Energiesector en de industrie een module KOELWAT ontwikkeld waarmee de effecten van watertemperatuur op de beschikbaarheid van koelwater in kaart worden gebracht in termen die aansluiten bij de belevingswereld van de industrie (b.v. beschikbare koelwatercapaciteit (in MW) of dagen waarin de productie door overschrijding van kritische grenzen beperkt is). We bevelen aan om de module uit het Deltamodel binnen het NWM beschikbaar te maken of de functionaliteit in Python scripts om te zetten.

7 Referenties

Boderie, P. en Loos, S., 2015. Analyse van het Landelijk Temperatuurmodel (LTM) in operationele context. Deltares memo 1209459-00-ZKS-00. Deltares, januari 2015

Boderie, P. 2015. Koppeling van het Landelijk Temperatuurmodel (LTMLight) met het Nationaal Water Model (NWM). deel 1: stand alone versie. Deltares rapport 1220056, 2015.

Boderie, 2002. Water temperature Rhine, Contribution of cooling water to the ambient water temperature: measurements and models Deltares, 2012 (rapport 1203156).

Boderie, P. en Visser, T., 2007. Implementeren verbeteringen in het landelijk temperatuurmodel. Delft Hydraulics rapport Q4421, November 2007

Bakker, A. & J. Bessembinder, 2012. Time series transformation tool: description of the program to generate time series consistent with the KNMI '06 climate scenarios. TR-326, KNMI, De Bilt.

BfG (2013): Klimaänderungsvektoren als Grundlage für die Modellierung von Wassertemperaturänderungen im Rheingebiet. -Technische Dokumentation. Enno Nilson, Peter Krahe & Klaus Görden. Bundesanstalt für Gewässerkunde und Meteorologisches Institut der Universität Bonn, 23 p.

Deltares, 2008. Bepaling koelcapaciteit van Rijkswateren Statistische analyse landelijke warmtelozingscapaciteit en koelcapaciteit Hollandsch Diep onder kritische en extreme omstandigheden M.J. Kallen, E.D. de Goede, P.M.A. Boderie. Deltares Rapport Q4498.

Hunnik, J. en M. Hegnauer, 2016. Update Deltascenario's in het Nationaal Watermodel. Deltares rapport 1220056-000-ZWS-0015 Augustus, 2015.

IKSR bericht 214. Estimation of the effects of climate change scenarios on future Rhine water temperature development, 2013.

KNMI (2014), KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, KNMI, De Bilt.

KNMI, 2014a. KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective. Scientific background report KNMI'14. KNMI, Scientific report WR 2014-01.

KNMI, 2014b. KNMI'14 Toelichting transformatie tijdreeksen (versie 6-10-2015)

Loos, S. en P.Boderie, 2013. Gebruikershandleiding Watertemperatuur voorspellingen. RWsOS-Rivieren en RWsOS-Waterbeheer. Rapport nummer 1207726-002. Deltares, 2013.

Maat, J. ter, M. van der Vat, J. Hunink, M. Haasnoot, G. Prinsen, M. Visser, P. Boderie, R. van Ek, M. Maarse, R. van der Sligte, H. Verheij, C. Wesselius, 2014, Effecten van maatregelen voor de zoetwatervoorziening in Nederland in de 21^e eeuw. Deltares rapport 1209141-001-VEB-0004.

A Warmtelozingen

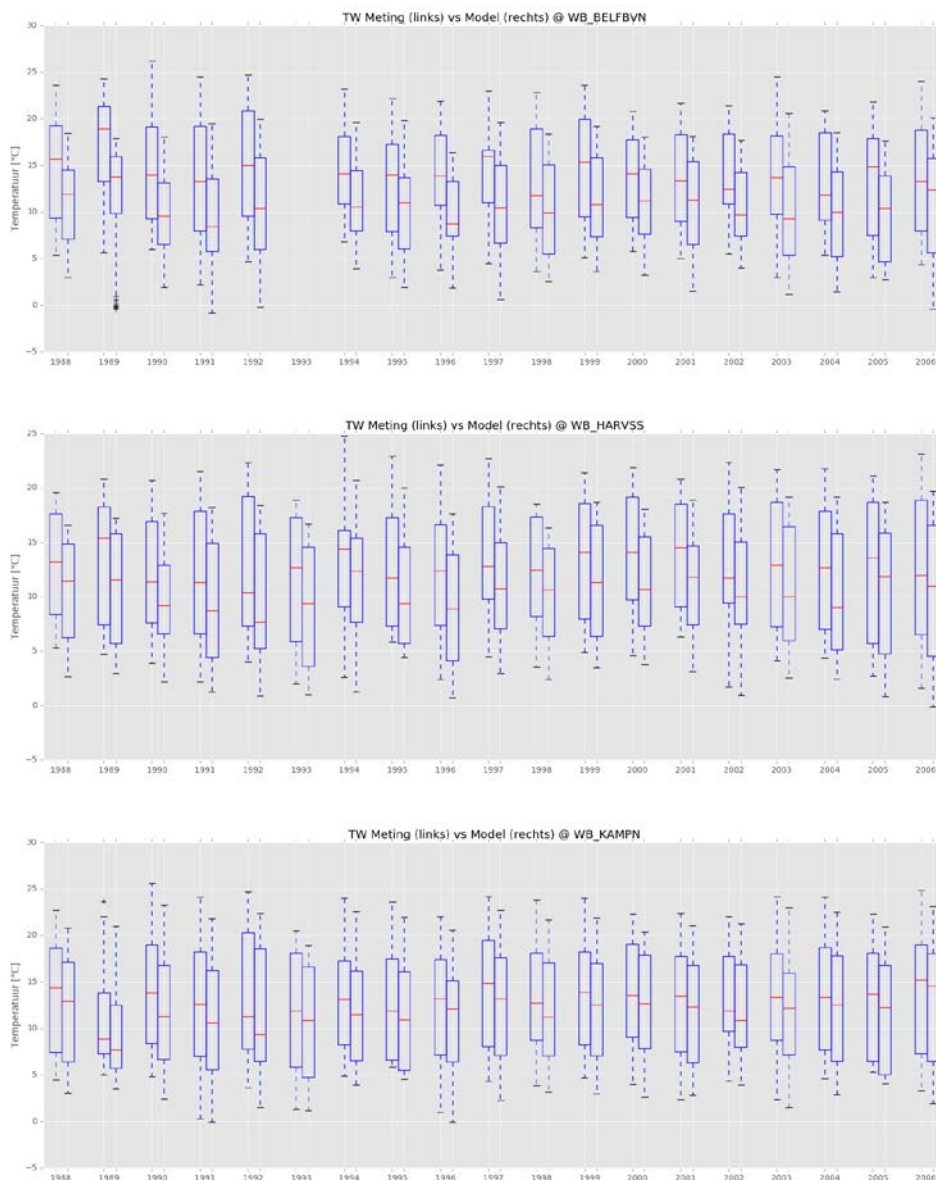
De uitgangspunten voor de warmtelozingen zoals gebruikt in de LTM Light berekeningen, zie kolom "Praktijk (MW)", zijn beschreven in paragraaf 3.7.1.

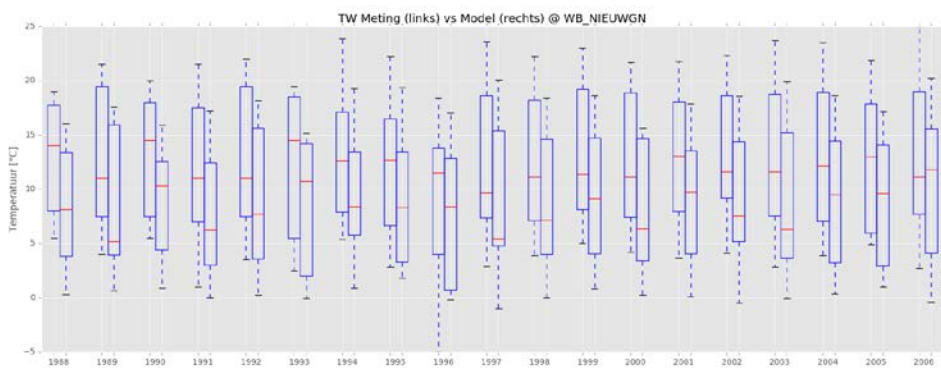
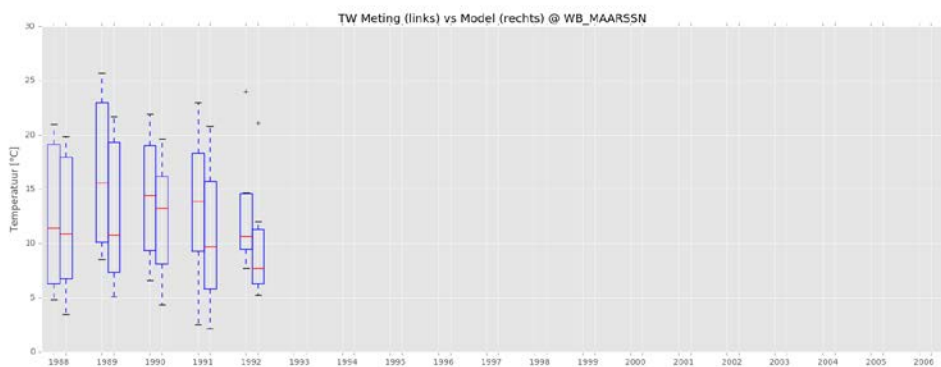
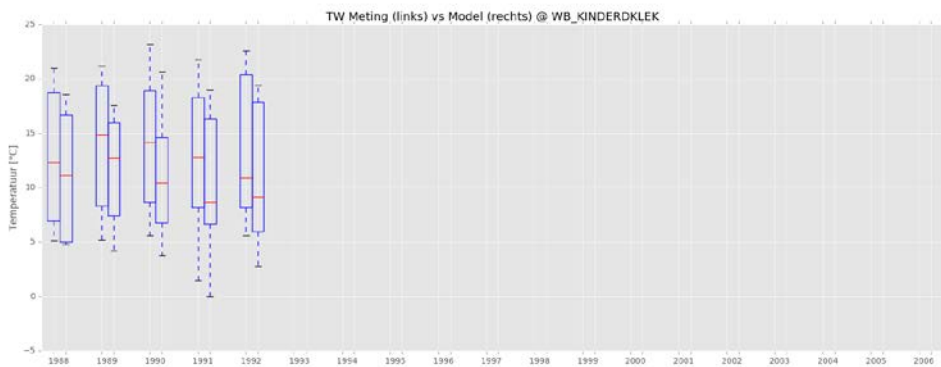
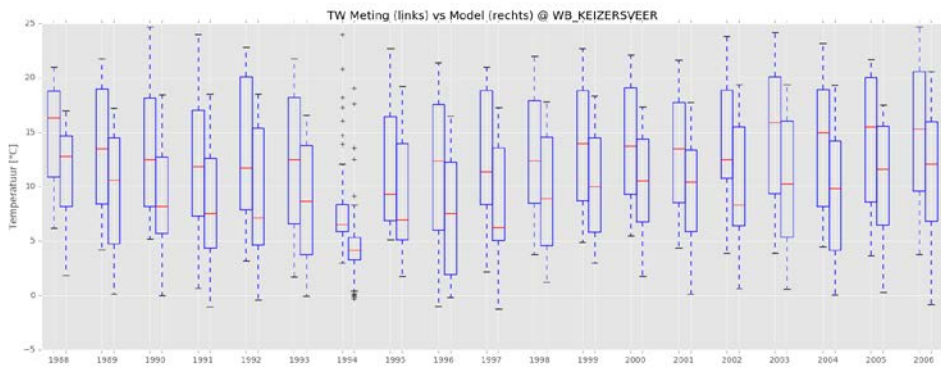
nr	Lozing ID	Vergund (MW)	Praktijk (MW)	nr	Lozing ID	Vergund (MW)	Praktijk (MW)
1	Silicas_Maas	0	1.82	46	Sloe_Vlissingen	480	0
2	Clauscentrale_Maas	0	0	47	VelsenC.V25_binnenk	450	371
3	SABIC_Maas	0	30	48	AEB_NZK	456	156
4	Ovako_Noord	0	0	49	CorusIJmond_Staalh	390	222
5	Flevocentr_IJssel	0	0	50	AVR_N.Waterweg	385	237
6	Huntsmn_Brittannieh	2.4	0	51	Centrale_IJssel	360	0
7	Hexion_Botlekh	0.08	0.08	52	Essent_H.Diep	322	179
8	Oving_Noord	0.01	0.01	53	NUON_Maas	308	0
9	Standic_Dordtse Kil	0.01	0.01	54	NUON.DM34_Diemen	300	0
10	ADM_Beneluxh	0.8	0.8	55	Electrabel1_Bergum	267	267
11	Climax_Botlekh	0.8	0.8	56	Electrabel2_Bergum	267	267
12	Cytec_St.Laurens	0.8	0.8	57	ShellCh_1ePetrol.h	266	266
13	DOMO_Brittannieh	0.8	0.8	58	NUON.DM33_Diemen	249	121
14	Exxon_3ePetrol.h	0.8	0.8	59	SNR_1ePetrol.h	219	219
15	Lab_Beneluxh	0.8	0.8	60	Lage_ARK	200	121
16	Mobil_2ePetrol.h	0.8	0.8	61	MerwedeC.MK12_ARK	190	129
17	Vopak_Torontoh	0.8	0.8	62	Flevocentr1_IJssel	179	179
18	Scheepswerf_Waalh	0.08	0.08	63	Flevocentr2_IJssel	179	179
19	Rdam_GW_N.Maas	0.01	0	64	E.ON_Keileh	156	160
20	DSM_N.Waterweg	0.01	0.01	65	Yara1_Sluis	154	0
21	Goltens_Botlekh	0.01	0.01	66	Akzo_Chemie	133.5	133.5
22	Air Liq_Brittannieh	0	0	67	Essent_Amer/Donge	105.8	0
23	Dura_N.Maas	0	0	68	Shin_Chemie	100	100
24	Keppel_N.Waterweg	0	0	69	Air_Nieuwe	90.5	90.5
25	Organic_Chemie	0	0	70	MerwedeC.MK11_ARK	90	72
26	Padmos_Haringvliet	0	0	71	Hexion1_1ePetrol.h	88	88
27	Schouten_Afg.Maas	0	0	72	Hoekloos_StLaurens	77	77
28	van Brink_Waalh	0	0	73	Yara2_Sluis	69	0
29	AGC_Gemeenteh	0	0	74	Norske_NederrIjn	64	64
30	GieterIJ_IJssel	0	0	75	Sappi_Maas	60	10.9
31	Vogelenz_NederrIjn	0	0	76	Tronox_N.Waterweg	55	55
32	Friesland_Twentek	0	0	77	Biopetrol_Botlekh	50	0
33	Unimills_O.Maas	30.7	30.7	78	Kuwait_5ePetrol.h	50	50
34	E.ON_Edisonbaai	1789	0	79	ShellR_2ePetrol.h	50	50
35	Essent_Amer	1545	636	80	Exxon_Wezerh	48.6	48.6
36	HemwegC_J.vRiebeekh	1150	635	81	Evonik_Chemie	45	45
37	Shell_Hollandsch	970	970	82	CorusVelsen_Staalh	0	0
38	C.Gelderland_Waal	794	0	83	Hexion2_1ePetrol.h	41	41
39	Electrabel_Amazoneh	750	0	84	ShellCh_2ePetrol.h	40	40
40	Dow_Terneuzen	650	0	85	Akzo_Twentek	40	40
41	ShellR_1ePetrol.h	630	630	86	Cabot_St.Laurens	38.9	38.9
42	EPZ_Conv_Borssele	620	0	87	Hexion3_1ePetrol.h	35	35
43	VelsenC.V24_binnenk	550	0	88	Albemarle_Het IJ	30	2.9
44	Enecogen_Beerke	520	0	89	ThermPh1_Vlissingen	29	0
45	EPZ_Kern_Borssele	0	0	90	DMV_Veghel	28	28

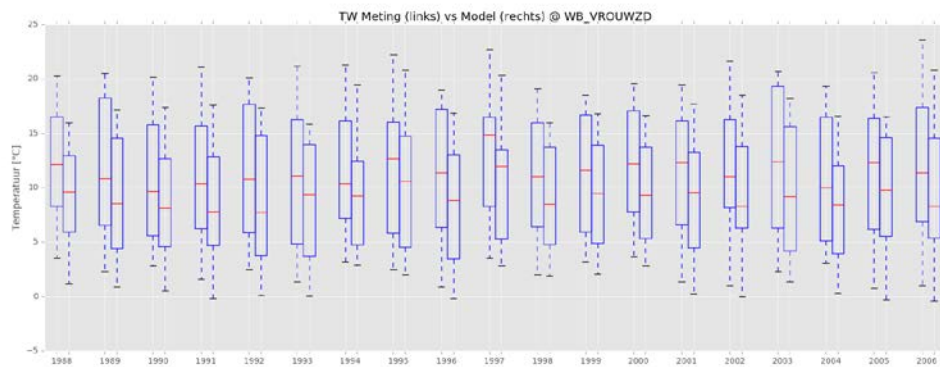
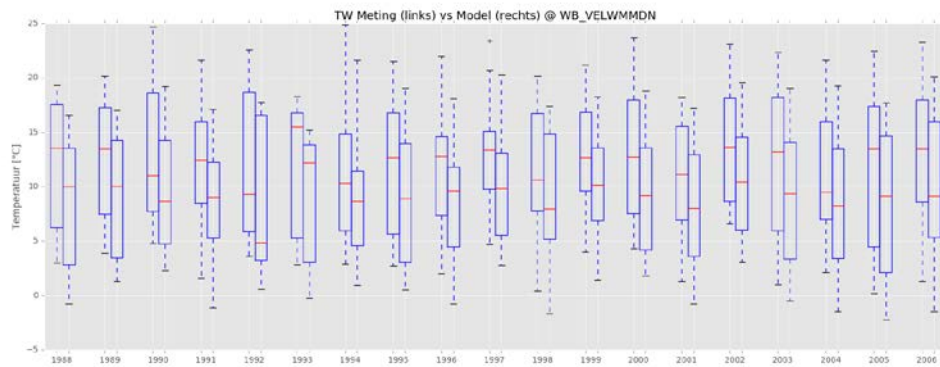
nr	Lozing ID	Vergund (MW)	Praktijk (MW)	nr	Lozing ID	Vergund (MW)	Praktijk (MW)
91	Recycling_O. Maas	27	27	136	Air_Chemieh	3	3
92	N.V. Mississippih	20.5	20.5	137	STcollege_St.Jobsh	3	3
93	Shin_1ePetrol.h	20	20	138	RWZI_N. Maas	2.7	2.7
94	Linde_O. Maas	18	18	139	Tes.Chemie_Julianak	2.6	0.928
95	Unilever_Koningsh	15.6	15.6	140	PQ_Julianak	2.6	0.926
96	Odfjell_3ePetrol.h	15	15	141	Vestia_Voorh	2.5	0
97	De Kleef_IJssel	15	15	142	Nutricia_Maas	2.5	0.185
98	Mars_Veghel	15	2.3	143	Nedri_Maas	2.3	0.199
99	Cargill_Mercuriush	22.3	7.9	144	E.ON-Roca_H. IJssel	2.3	0
100	PerGen_2ePetrol.h	14	14	145	DSM_Maas	2	0.21
101	ZAC1_Vlissingen	12.5	0	146	ENCI_Maastricht	2	0.996
102	Ashland_O. Maas	12	12	147	Corus_Julianak	2	0.24
103	Loders_Europah	12	12	148	SVI_H. Diep	1.9	1.9
104	Oronite_N. Maas	11.2	11.2	149	Pon_Ketelh	1.6	1.6
105	Croda_H. IJssel	10.8	10.8	150	Dongec_Geertruidenb	1.6	0
106	Cargill_Botlekh	10.4	10.4	151	OVG_N. Maas	1.5	0
107	Hunter_N. Maas	10	10	152	TEAM_4ePetrol.h	1.5	1.5
108	Biegelaar_ARK	10	10	153	Cargill_Sas	0	0
109	Invista_Vlissingen	10	0	154	Exter_W. Thomassenh	1.2	1
110	Kappa_Maas	10	3.8	155	Sonneborn_Beringh	4.4	0.9
111	RECV_2ePetrol.h	9	9	156	Netherl_6ePetrol.h	1	1
112	Heros_Terneuzen	9	0	157	Voridian_Beerck	1	1
113	Crown_NZK	23	11.9	158	Cargill_Amerikah	1.3	1
114	Nedstaal_Noord	8.5	8.5	159	Rdam_Wiltonh	0.91	0
115	Grootint_Drechth	8	8	160	Dupont_Beneden	0.9	0.9
116	Lyempf_IJssel	8	8	161	Lubbers_N. Maas	0.84	0.84
117	Kemira_Donauh	7.6	7.6	162	Trespa_Weert	0.75	0.02
118	E.ON_Europah	7	0	163	Ferro_Keileh	0.7	0.7
119	BMC_H. Diep	7	7	164	Alumin_3ePetrol.h	0.5	0.5
120	ZAC2_Vlissingen	7	0	165	Wild_IJsselh	0.5	0.5
121	AZN_H. Diep	6.1	6.1	166	Wupperman_H. Diep	0.5	0.5
122	Rosier_S. van Gent	5.88	0	167	Johnson_Julianak	0.5	0.02
123	Promelca_B. Merwede	5.5	5.5	168	O-I_Maas	0.46	0.23
124	Kema_Nederrijn(h)	15.45	15.45	169	Europ_Mississippih	0.4	0.4
125	ATM_H. Diep	4.8	4.8	170	Meneba_Maash	0.4	0.4
126	Food4U_Wilhelminah	4.32	4.32	171	Componenta_Weert	0.22	0.13
127	HIWA_IJsselh	4.2	4.2	172	Alblasserdam_Noord	0.21	0.21
128	Atofina_N. Maas	4.1	4.1	173	Omya_H. Diep	0.118	0.118
129	ThermPh2_Vlissingen	4	0	174	Air_Seineh	0.06	0.06
130	Meneba_Weert	4	4	175	LBC_3ePetrol.h	0.04	0.04
131	Coatex_C.Insteekh	3.8	3.8	176	vanBeest_B. Merwede	0.02	0.02
132	DSM-Special_Botlekh	3.8	3.8	177	Gem_N. Maas	0.001	0.001
133	Abbott_IJsselk	3.5	4	178	Friesland Campina te V	28	20
134	Corus_Develh	3.5	3.5	179	Tata Steel Nederland Tu	3.96	3.96
135	AdamF. Mercuriush	3	2				

B Modelresultaten op LMW locaties

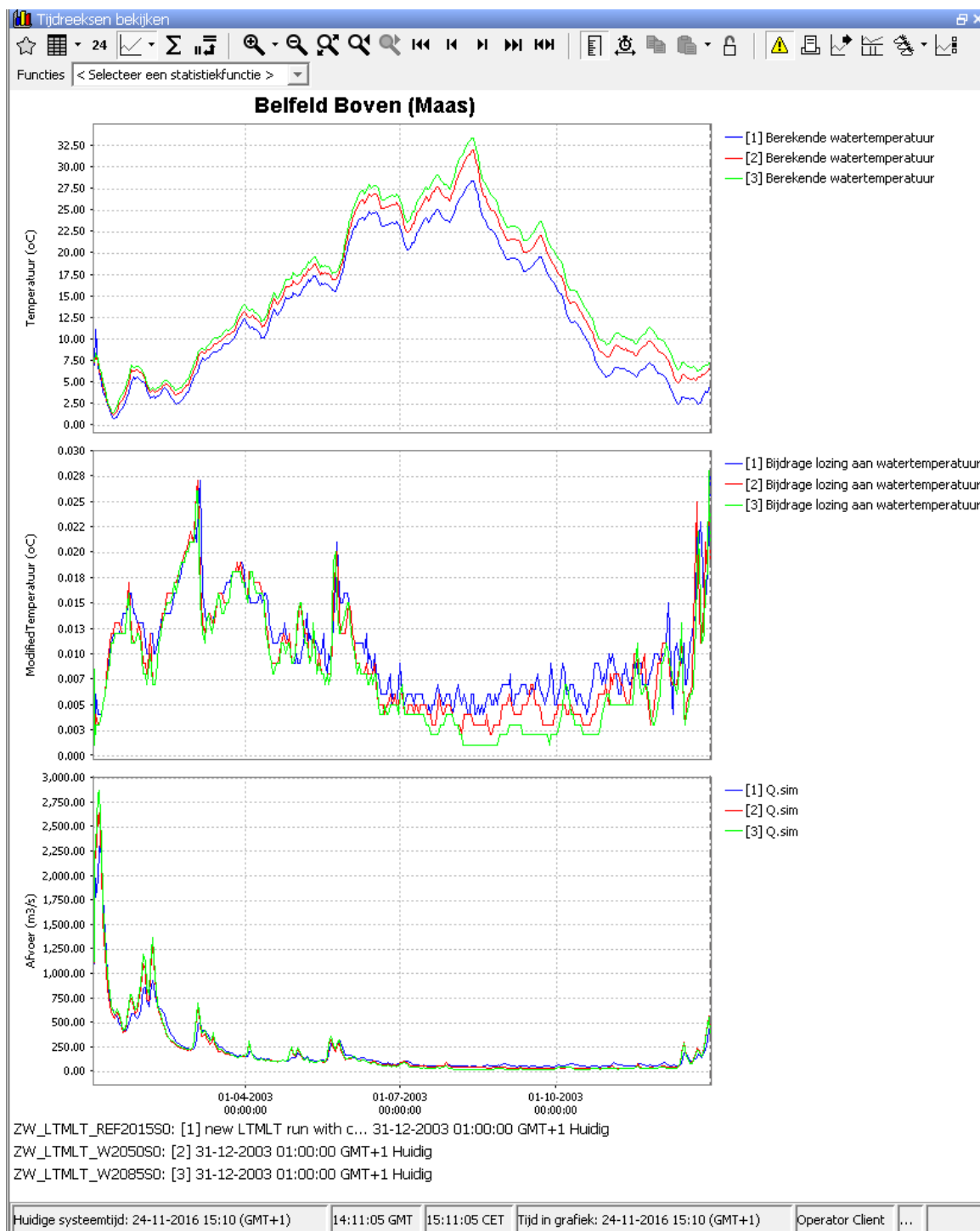
De vergelijking in onderstaande figuren is alleen gemaakt voor jaren waarvoor metingen van de watertemperatuur beschikbaar zijn. Missende waarden duiden op missende metingen voor dat jaar.



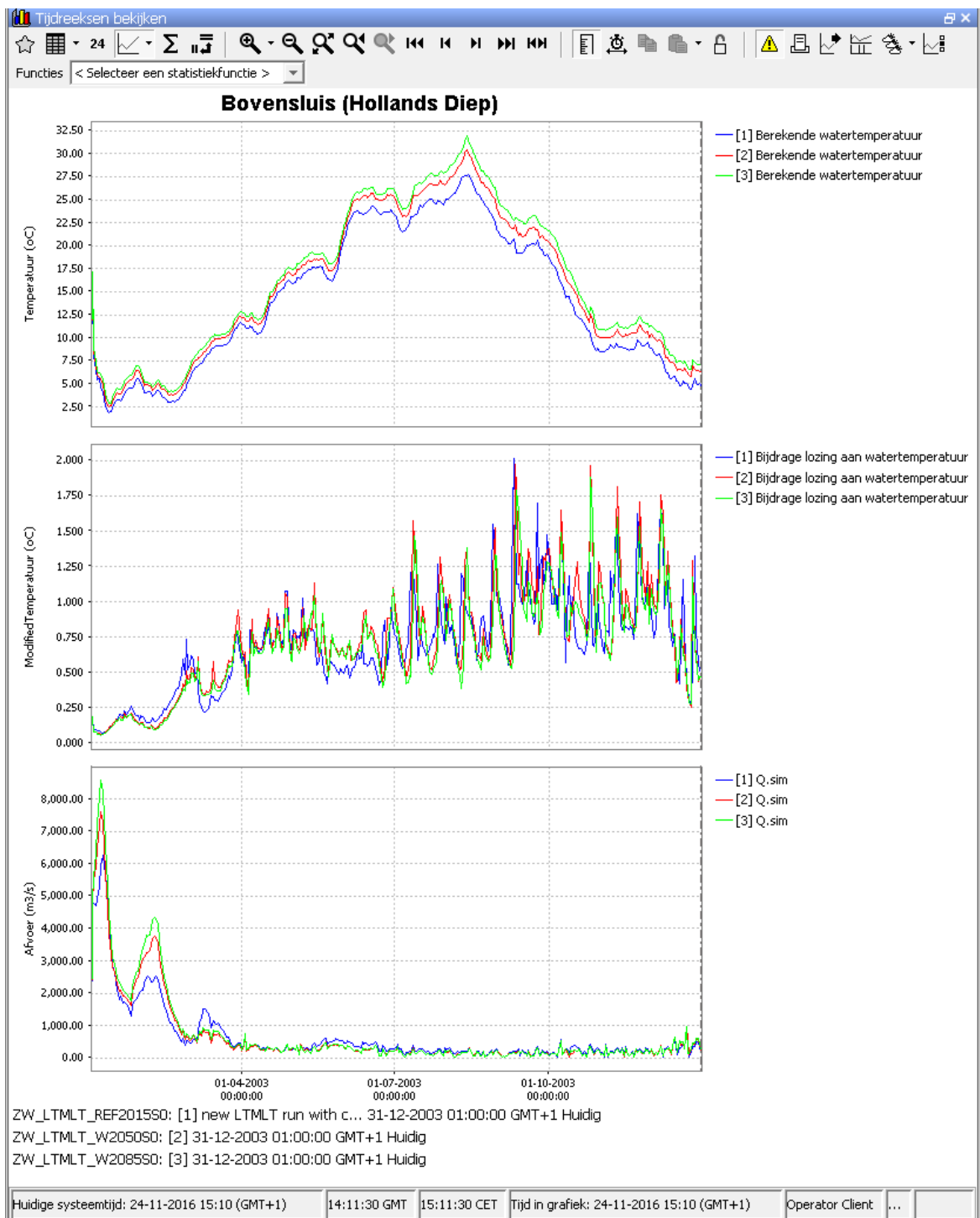




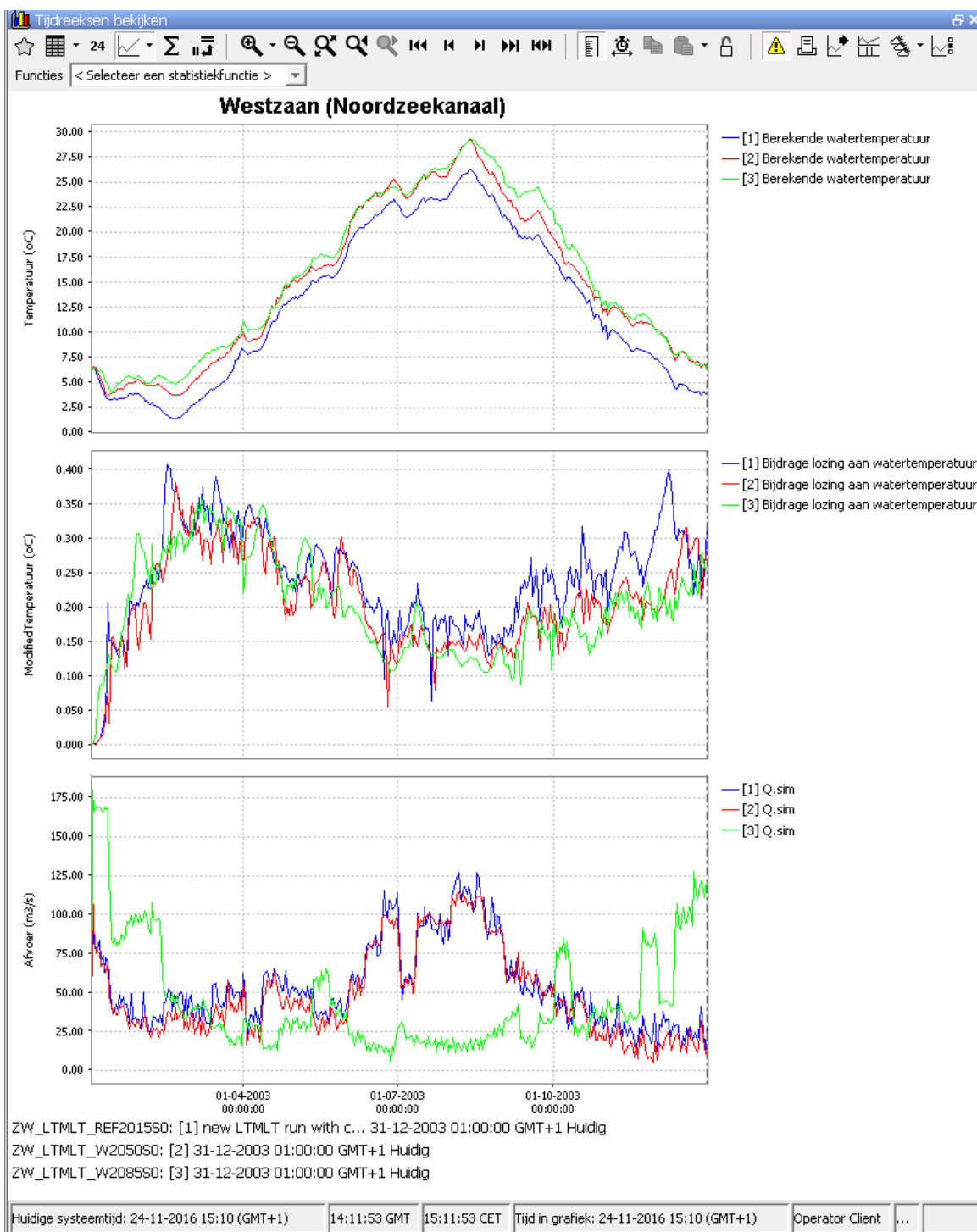
C Modelresultaten 2003 met gecorrigeerde straling



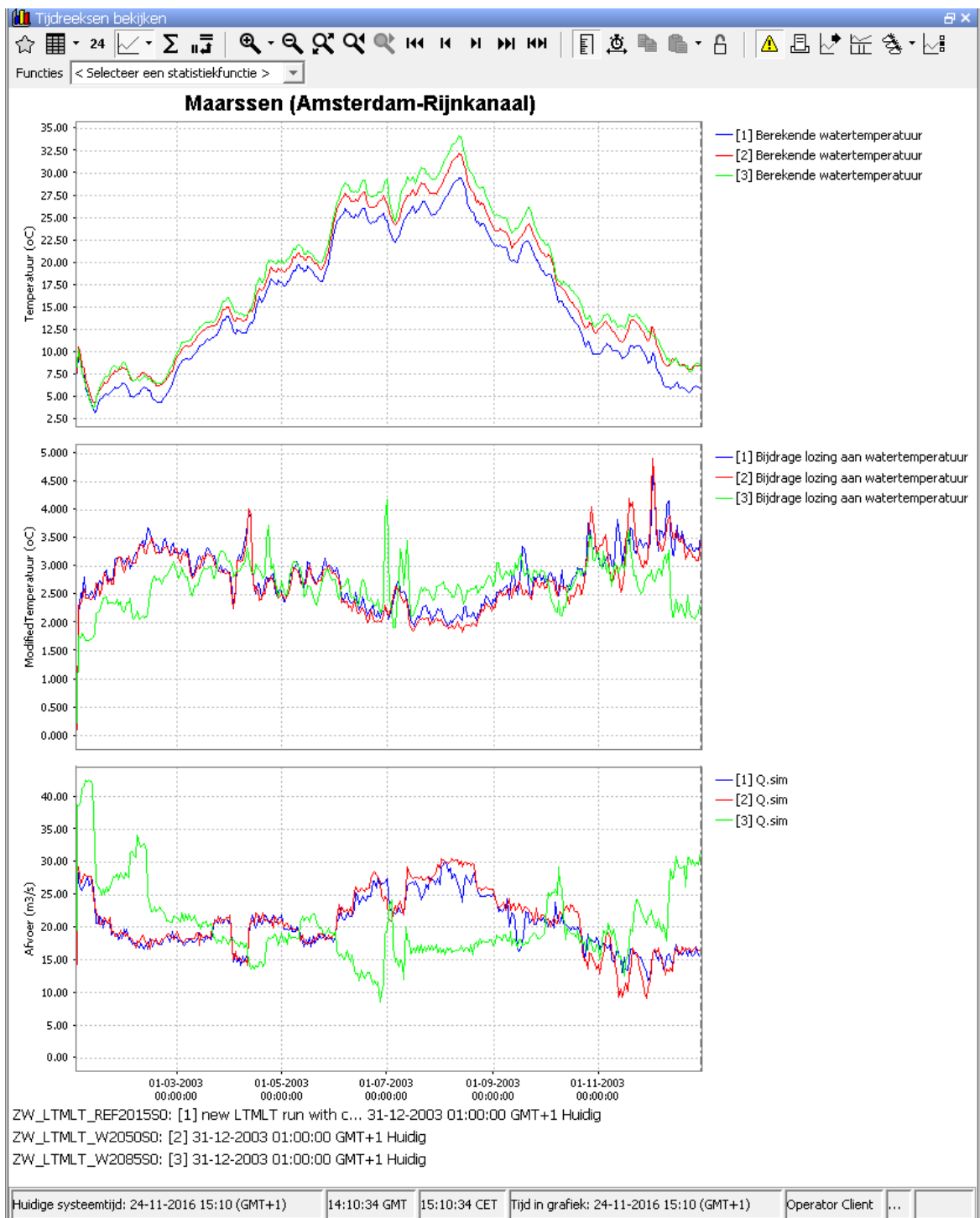
Figuur C-1: Berekende watertemperatuur (boven), bijdrage warmtelozing (midden) en afvoer (onder) voor het jaar 2003 op locatie Belfeld: Referentie=blauw, Scenario2050=rood, Scenario 2085=groen



Figuur C-2: Berekende watertemperatuur (boven), bijdrage warmtelozing (midden) en afvoer (onder) voor het jaar 2003 op locatie Hollands Diep: Referentie=blauw, Scenario2050=rood, Scenario 2085=groen



Figuur C-3: Berekende watertemperatuur (boven), bijdrage warmtelozing (midden) en afvoer (onder) voor het jaar 2003 in het Noordzeekanaal: Referentie=blauw, Scenario2025=rood, Scenario 2085=groen



Figuur C-4: Berekende watertemperatuur (boven), bijdrage warmtelozing (midden) en afvoer (onder) voor het jaar 2003 op locatie Maarssen: Referentie=blauw, Scenario2050=rood, Scenario2085=groen

D Werkwijze opschonen uitvoerlocaties

In deze studie zijn de uitvoerlocaties waarop door LTMLight uitvoer wordt geschreven opnieuw afgeleid uit de uitvoerlocaties die in LTM beschikbaar waren. Daarna is deze set opgeschoond (veelal doublures onder een andere naam) Bij de naamgeving van de monitoring locaties zijn “prefixes” gebruikt om categorieën van uitvoer locaties te onderscheiden.

De werkwijze bij het opschonen was als volgt:

- 7 Uitgangspunt zijn de monitoring locaties zoals die “historisch” in LTM-Obese aanwezig zijn
- 8 In principe zijn bijna alle monitoringlocaties (met prefix KE, KI, PI, DI, DO, WB en WQ) aanwezig in LTM. Bij inzoomen blijkt dat de KE en KI locaties niet altijd vlak bij de warmtelozing liggen, dat was ook al het geval in LSM-obese. Daarnaast lijken enkele PI-locaties anders te liggen
- 9 Uit LSM-LT verwijderd: KE, KI en PI-locaties (183)
- 10 Gebruik de shape met (163) warmtelozingen (zie 3.7), maak daarvan een nieuwe shape waarbij de coördinaten ongewijzigd zijn, maar de id's hetzelfde als in fews (lsm-obese), dus met prefix KE resp. KI (het idee is dat er dan bij elke warmtelozing een monitoringpunt vlak bij het lozingspunt ligt, dat geef (bij klein ontvangend volume en grote warmtelast geeft dit wel een hoge temperatuur maar punten zijn grotendeels ter controle punten).
- 11 Locaties in deze nieuwe shape in LSM-LT als monitoringlocaties toegevoegd waarbij een verschuiving van 10 oost is gebruikt.
- 12 Uit LSM-obese is apart een shape met PI monitoringlocaties (23) geëxporteerd en deze is vervolgens in LSM-LT ingebracht.
- 13 Locaties met prefix DI, DO, WB en WQ zijn onveranderd
- 14 Locaties met prefix LMW (landelijk meetnet water) toegevoegd waarbij gekeken is of de locaties geschikt zijn voor validatie van de LTMLight resultaten. Criterium daarbij is de waterdiepte waarop gemeten is (parameter TW10 is gebruikt, daarmee vervallen meetpunten in diepere lagen). Met GIS uitgezocht welke locaties voor LSM-LT gebruikt kunnen worden, dat zijn er 82. Deze locaties hebben een prefix LMW en vervolgens de RMI-code. Shape aangemaakt en deze locaties ingebracht als monitoringlocatie.
- 15 Samenvattend zijn de volgende uitvoerlocaties beschikbaar voor de basisprognoses met LTM

Prefix	Betekenis	Functie (en status tov LTM-obese) van de monitoring punten
KE	Koelwater Energie opwekking	Controle warmtelozing
KI	Koelwater Industrie	Controle warmtelozing
PI	Proceswater Industrie/Inname	Onttrekking proceswater
DI	Drinkwater Inname locatie	Inname drinkwater
DO	Drinkwater (oeverinfiltratie)	Onttrekking drinkwater
WB	Punt waterbeweging	Vervallen (overlapt met LMW)
WQ	Punt waterkwaliteit	Vervallen (overlapt met LMW)
LMW	Landelijk Meetnet Water	Vervangt WB en WQ