



**Gemeente
Rotterdam**

Technisch achtergrond document Bodemenergieprogramma RCD-XL

Een technische en inhoudelijke beschrijving van de
modellering voor vakspecialisten.

Van:

Datum:

21 april 2026

Cluster:

Stadsontwikkeling



Inhoudsopgave

1	Introductie	3
2	Modelmatige Benadering en Data-Integratie	4
2.1	Historische Data	4
2.2	Gebruik iMOD-Python en Python tools	4
2.3	Gebruik van het CARROT-model	5
2.3.1	Bodem	5
2.3.2	Putten	8
2.3.2.1	Bestaande OBES Systemen	8
2.3.2.2	Van filter naar modelinput	8
2.3.2.3	Van temperatuur en debiet naar modelinput	9
2.3.2.4	Verdeling toekomstige WKO's uit inventarisatie	10
2.3.3	Neerslag	11
2.3.4	Drainage	11
2.3.5	Oppervlaktewater	11
2.4	Modelscenario's	12
3	Modeloutput	13
3.1.1	Scenario 1A (alleen bestaande OBES)	13
3.1.2	Scenario 1B (stationair, bestaande + toekomstige OBES uit inventarisatie)	15
3.1.3	Scenario 2A (alleen bestaande OBES, tijdsafhankelijk)	17
3.1.4	Scenario 2B (Bestaande + toekomstige OBES uit inventarisatie, tijdsafhankelijk)	19
3.1.5	Scenario 3A historische tijdsafhankelijkheid	21
3.1.6	Scenario 3B, 3A + scheef gestelde verdeling nieuwe bronnen (warm boven, koud onder)	22
3.2	Rotterdam 4D	24
4	Benodigde toekomstige data uitwisseling	26



1 **Introductie**

Voor het bodemenergieprogramma RCD-XL (Rotterdam Central District XL) gebied is het CARROT grondwatermodel van de gemeente bijgesneden en aangepast om in meer detail en in 4D (X,Y, Diepte, Tijd) koude en warmteopslag te kunnen modelleren. De reden voor het maken van een 4D model is dat er in het verleden weinig tot niet werd gekeken naar de diepteliggingen van koude en warme opslag. Met het 4D-model kan worden achterhaald of het verdelen van koude en warme bronnen over de diepte meer ruimte biedt voor bodemenergiesystemen. Verder kunnen met het model analyses worden uitgevoerd om temperatuurontwikkelingen in de tijd te analyseren om hiermee mogelijke interferentie van de systemen te bepalen.

De specifieke stappen die nodig zijn om van de inventarisatie van de koudevraag in het RCD-XL-gebied tot een bodemenergieprogramma te komen, zijn te technisch om uitgebreid op te nemen in het bodemenergie programma RCD-XL. Voor vakspecialisten die met het plan en het model gaan werken, is een uitgebreide beschrijving wel noodzakelijk. Dit document is daarom bedoeld voor specialisten die met het bodemenergieprogramma werken en zelf met het model rekenen ten behoeve van de aanleg en exploitatie van een open bodemenergiesysteem.



2 Modelmatige Benadering en Data-Integratie

2.1 Historische Data

Vanuit Omgevingsdienst Haaglanden (ODH) is (historische) data per maand aangeleverd vanaf 2010 met betrekking tot o.a. filterstellingen, vergunde debieten, daadwerkelijk verpompte debieten en geïnfiltreerde temperaturen uit jaarrapportages. Deze data wordt geanalyseerd en verwerkt in het eerdergenoemde CARROT-grondwatermodel. De volgorde van verwerking is als volgt:

1. Analyseren en verwerken van de bronposities in X en Y richting.
2. Analyseren en verwerken van de filterstelling in de Z richting. De filterstelling is de positie van de bronfilters in de bodem – in verticale richting.
3. Analyseren en verwerken van de vergunde debieten en de ontwerptemperatuur van de bronnen.
4. Het analyseren van de bronbeschrijvingen om een beeld te krijgen over de bodemopbouw.
5. Analyseren en verwerken van daadwerkelijk verpompte debieten per maand
6. Analyseren en verwerken van geïnfiltreerde temperaturen per maand

Met de historische data zijn we in staat om de daadwerkelijk verpompte debieten en temperaturen te modelleren en die effecten te vergelijken met effectenstudies die rekenen op basis van het oorspronkelijke ontwerp. Hieruit volgt een beter beeld van de daadwerkelijk benutte ruimte in de ondergrond. Voor toekomstige actualisaties van het model is het wenselijk dat niet alleen jaarrapportages, maar ook nieuwe vergunningen, vergunde wijzigingen, boorbeschrijvingen en gewijzigde filterstellingen periodiek worden verwerkt. Zo kan beter worden bijgehouden welke systemen goed functioneren, welke systemen minder ruimte benutten dan vergund en welke nieuwe ontwikkelingen in het model moeten worden opgenomen.

2.2 Gebruik iMOD-Python en Python tools

Om de methodiek zo transparant en reproduceerbaar mogelijk te houden werken we met een geautomatiseerde workflow. Deze workflow is opgezet in Python scripts die ervoor zorgen dat het originele CARROT modelinput wordt omgezet tot de modelinput van het projectgebied voor het RCDXL model. Hiervoor moet niet alleen het model worden uitgesneden maar moet alle input data (cellen van 50x50 m) worden verschaald naar 10x10m om effecten in voldoende detail te kunnen modelleren. Niet alleen een laterale verscaling is noodzakelijk maar ook een nieuwe laagindeling in de diepte (Zie 2.3.1 Bodem) was nodig. Verder is het omzetten van alle data van filterstellingen en debieten naar modelinput enkel werkbaar als dit met een script gebeurt. Om de modelinput van het originele CARROT model om te zetten naar het RCDXL model maken we veel gebruik van de door Deltares ontwikkelde module iMOD-Python.

"De [iMOD Python](#)-module is ontworpen om je te ondersteunen bij het opzetten van MODFLOW-grondwatermodellen. Het maakt het eenvoudig om van ruwe data naar een volledig gedefinieerd MODFLOW-model te gaan, met als doel dit proces reproduceerbaar te



maken. Of je nu een eenvoudig 2D-conceptueel model wilt bouwen of een complex 3D-regionaal model met miljoenen cellen, iMOD Python schaaft automatisch mee door gebruik te maken van dask.” ([iMOD Python – iMOD Suite](#))

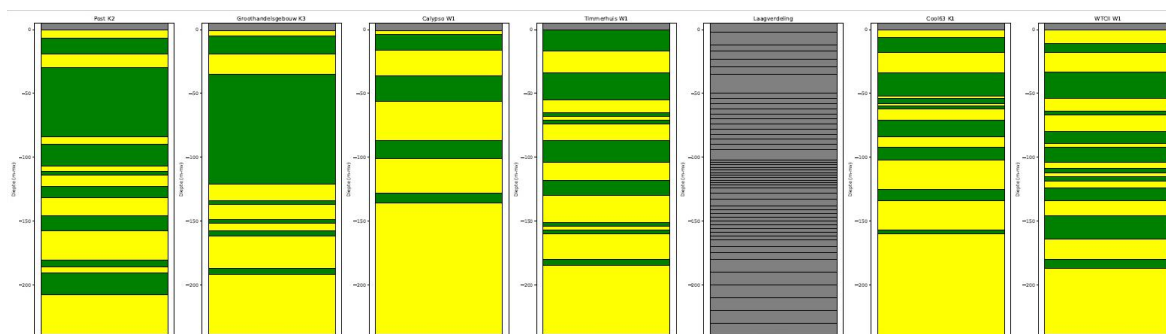
2.3 Gebruik van het CARROT-model

Voor de ruimtelijke ordening van bodemenergiesystemen wordt gebruikgemaakt van het CARROT-grondwatermodel van de gemeente Rotterdam (**Coordinated Approach Remediation ROTterdam**). Dit model is ontwikkeld in samenwerking met Deltares om de verspreiding van bodemvervuiling in het havengebied te modelleren. In 2022 is een technische uitbreiding opgenomen om de ontwikkeling van warmte en koude open bodemenergiebronnen te kunnen simuleren. Het model berekent zowel de thermische als de hydrologische effecten in de ondergrond. Hierdoor kunnen verschillende scenario's worden doorgerekend, zoals de optimale verdeling van warmte- en koudezones en de kans op effecten naar de bovengrond door toename van de druk door het onttrekken en infiltreren van grondwater. Dit hoofdstuk beschrijft uitgebreid de modelinput en parameters die nodig zijn om het model te kunnen draaien.

2.3.1 Bodem

Voor het opzetten van een nieuw model was het nodig om de lagenindeling van het basismodel (huidige CARROT model) aan te passen, zodat er een hoger detailniveau in de diepere ondergrond kon worden opgenomen. In het basismodel CARROT is de bodemopbouw voornamelijk gebaseerd op GeoTOP en REGIS. Voor het opnieuw bepalen van de bodemopbouw is in eerste instantie ook gekeken naar REGIS. Hierbij is vooral gekeken naar waar de “complexe eenheden” zich bevinden. Zoals in de formatie van Maassluis en de formatie van Oosterhout. Deze “complexe eenheden” zijn meer heterogeen en bevatten soms meer of minder scheidende kleilagen. Om hier meer duidelijkheid over te krijgen zijn de boringen van bestaande WKO systemen in en rondom het RCDXL gebied opgevraagd en bekeken.

Van de boorbeschrijvingen zijn de lagen genoteerd als watervoerend of waterscheidend van NAP +5 m tot NAP -250 m. Dit is gedaan voor 5 boorbeschrijvingen van de volgende systemen; Post, Groothandelsgebouw, Calypso, Timmerhuis, Cool63 en WTCII. Deze data is gevisualiseerd, waarbij groen een scheidende laag weergeeft en geel een watervoerende laag (zie onderstaande figuur).



Figuur 1. Visualisatie van de boorbeschrijvingen en de laagverdeling. Geel is watervoerend en groen is waterscheidend.

De laagverdeling voor het model is uiteindelijk voornamelijk gebaseerd op de boorbeschrijving van het Timmerhuis. Voor de laagverdeling zijn in Excel 59 rijen gemaakt, die overeenkomen met het aantal lagen. Deze rijen hebben allemaal een bovenkant van de laag in m NAP gekregen en een onderkant van de laag in m NAP. De laagdiktes verschillen tussen 2 en 15 meter, afhankelijk van hoe groot het benodigde detailniveau moest zijn.

De laagverdeling (tops en bottoms) is verwerkt in het python script voor de discretisatie van de celgrootte en laagdikte in het model (template). De verdeling in doorlatendheid is aangegeven in het script "subsoil" als lijst. Hierbij is de doorlatendheid voor de eerste 14 lagen (tot een diepte van -50 m) overgenomen uit het CARROT basismodel. Van een diepte van -50 mNAP tot een diepte van -260 mNAP is de horizontale en verticale doorlatendheid geschat op basis van de boorbeschrijving van het Timmerhuis en doorlatendheden in REGIS. Het gebied is klein genoeg om aan te nemen dat de horizontale verspreiding van diepe lagen uniform verdeeld is. Bij een groter gebied zal op basis van bestaande bronnen een interpolatie van boringen worden uitgevoerd om heterogeniteit in de ondergrond in het horizontale vlak te kunnen modelleren.

Tabel 1 Bodemopbouw model met bijbehorende doorlatendheden

Laag	bovenkant (mNAP)	Onderkant (mNAP)	Dikte (m)	Horizontale doorlatendheid (m/dag)	Verticale doorlatendheid (m/dag)
1	5	1.5	3.5	Uit CARROT model	Uit CARROT model
2	1.5	0	1.5	" "	" "
3	0	-2	2	" "	" "
4	-2	-5	3	" "	" "
5	-5	-8	3	" "	" "
6	-8	-15.5	7.5	" "	" "
7	-15.5	-17.5	2	" "	" "
8	-17.5	-30	12.5	" "	" "
9	-30	-32.5	2.5	" "	" "
10	-32.5	-34.5	2	" "	" "
11	-34.5	-36	1.5	" "	" "
12	-36	-45	9	" "	" "



13	-45	-47.5	2.5	" "	" "
14	-47.5	-50	2.5	" "	" "
15	-50	-54	4	20	7
16	-54	-58	4	0.001	0.001
17	-58	-62	4	0.001	0.001
18	-62	-66	4	20	7
19	-66	-70	4	20	7
20	-70	-74	4	20	7
21	-74	-78	4	0.001	0.001
22	-78	-82	4	0.001	0.001
23	-82	-86	4	0.001	0.001
24	-86	-90	4	0.001	0.001
25	-90	-94	4	20	7
26	-94	-102	8	20	7
27	-102	-104	2	20	7
28	-104	-106	2	20	7
29	-106	-108	2	20	7
30	-108	-110	2	20	7
31	-110	-112	2	20	7
32	-112	-114	2	20	7
33	-114	-116	2	0.001	0.001
34	-116	-118	2	0.001	0.001
35	-118	-120	2	0.001	0.001
36	-120	-122	2	25	8
37	-122	-124	2	25	8
38	-124	-128	4	25	8
39	-128	-133	5	25	8
40	-133	-138	5	25	8
41	-138	-141	3	25	8
42	-141	-144	3	25	8
43	-144	-147	3	0.001	0.001
44	-147	-150	3	25	8
45	-150	-153	3	0.001	0.001
46	-153	-156	3	20	7
47	-156	-159	3	20	7
48	-159	-162	3	20	7
49	-162	-165	3	20	7
50	-165	-170	5	20	7
51	-170	-175	5	20	7
52	-175	-180	5	20	7
53	-180	-190	10	20	7



54	-190	-200	10	20	7
55	-200	-210	10	20	7
56	-210	-220	10	20	7
57	-220	-230	10	20	7
58	-230	-240	10	20	7
59	-240	-260	20	0.001	0.001

2.3.2 Putten

2.3.2.1 Bestaande OBES Systemen

ODH heeft voor bestaande open bodemenergiesystemen in en rondom het RCD-XL-gebied data aangeleverd in de vorm van locatiedossiers. Per systeem is informatie beschikbaar gesteld, waaronder monitoringsrapportages in Excel, algemene jaarrapportages, verleende vergunningen en vergunde wijzigingen, boorstaten en in sommige gevallen onderliggende onderzoeksrapporten.

De boorbeschrijvingen zijn gebruikt om de bodemopbouw van het model te verfijnen. Daarnaast zijn de filterstellingen uit de boorbeschrijvingen gebruikt voor de modelinput. Uit de verleende vergunningen en vergunde wijzigingen zijn de maximaal vergunde debieten afgeleid, in het bijzonder het maximale dagdebiet en het totale vergunde debiet, ten behoeve van het genereren van de modelinput.

De jaaropgaves in Excel hebben een standaard opmaak. Hierin zijn de volgende gegevens per maand aangeleverd en de totalen per kwartaal en per jaar; de waterhoeveelheden in m³, de energiehoeveelheden in MWht, de gemiddelde temperaturen onttrekken en infiltratie van warmte- en koudelevering in graden Celsius, m³ gespuid water en de minimum en maximuminfiltratietemperaturen bij warme- en koudelevering.

De opmaak van deze bestanden is zodanig dat dit niet in één keer geïmporteerd kan worden in het gemaakte script. Er komen dan lege velden, waarmee het script niet kan werken. Daarnaast is niet alle data relevant voor de modelinput. Om in de toekomst de data in een volledig geautomatiseerde workflow op te halen en te verwerken als modelinput is een extra inspanning vereist.

2.3.2.2 Van filter naar modelinput

De filterstellingen zijn terug te vinden in de boorbeschrijvingen die ontvangen zijn van ODH. Deze filterstellingen zijn samengevoegd in Excel. In dit document staan per systeem de vergunde debieten, de datum van de vergunning verlening, de x, y coördinaten in RD New, de filterstellingen, de onttrokken debieten per jaar en de gemiddelde temperaturen per jaar.

Voor elk systeem is als modelinput een ipf document (input voor de WELL package in iMOD-WQ) gemaakt voor de warme bronnen en voor de koude bronnen. In dit ipf bestand is per filter een rij geschreven met de x, y coördinaten, de map locatie van de txt files voor de



debieten, de bovenkant van het filter en de onderkant van het filter (in m NAP). In de runfile van het model wordt verwezen naar de ipf bestanden.

2.3.2.3 Van temperatuur en debiet naar modelinput

De temperaturen en debieten zijn aangeleverd in de vorm van Excelbestanden per systeem per jaar. Dit zijn de zogenoemde jaarrapportages van de open bodemenergiesystemen. Voor het genereren van modelinput is een Python-script ontwikkeld dat de samengevoegde data automatisch omzet naar de juiste invoervorm.

Genereren van debiet input:

In het script wordt gebruik gemaakt van het maximaal dagdebiet (Het maximale debiet dat een bron mag verpompen op basis van de verleende vergunning). Dit maximale dagdebiet wordt verdeeld over de filters. Vervolgens wordt uitgerekend op basis van de maanddebieten die aangeleverd zijn van ODH hoeveel dagen de koude -en warme pompen maximaal actief zijn. Vervolgens worden deze koude en warme draaidagen verdeeld over de maand, afhankelijk van of er meer warme of meer koude dagen zijn. Als er meer warm water is onttrokken, wordt ervan uitgegaan dat het gaat om een koude maand, waarin meer warmtevraag is. Als er in dezelfde maand ook koude draaidagen zijn, dan wordt er uitgegaan van een overgang en worden deze dagen aan het einde van de maand geplaatst. Op basis van deze lijst kunnen tekstbestanden gegenereerd worden, waarin per dag aangegeven staat hoeveel debiet er onttrokken wordt en hoeveel debiet geïnfiltreerd wordt. De output is een tekstbestand voor elk filter in elke koude- en warme bron van het systeem.

Genereren van temperatuur input:

Voor de temperatuurdata is los een Excel document aangemaakt met alle temperatuurdata van elke maand, van elke bron. Om van deze Excel data de juiste input te maken voor het model is een python script gemaakt. In dit script wordt voor elke periode (1 maand) een ipf bestand gemaakt met daarin de coördinaten van de bron, de temperatuur van die periode en de naam van de bron.



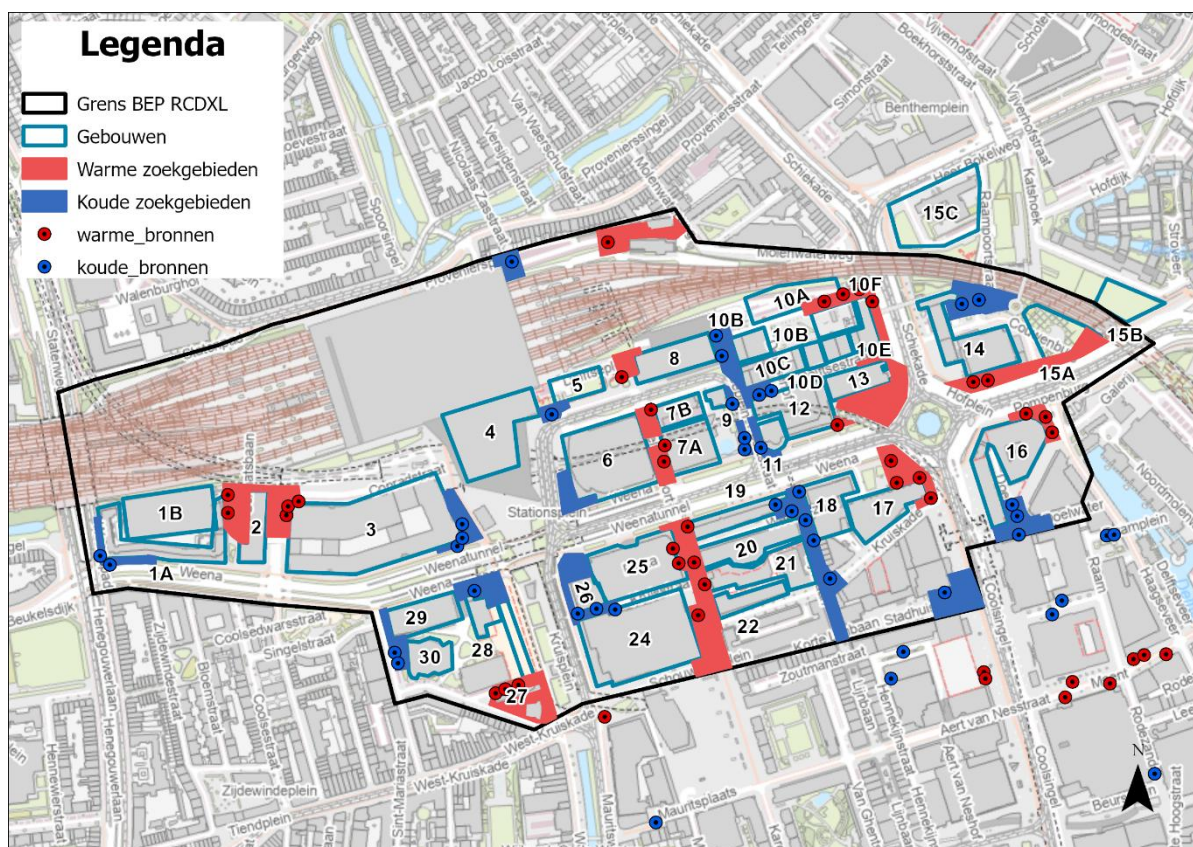
```
26
4
X
Y
conc
id_name
0,txt
92106.0,437227.0,0.0,"calypsok1"
92043.0,437357.0,0.0,"calypsow1"
91921.0,437391.0,14.0,"FirstW1"
91937.0,437396.0,14.0,"FirstW2"
91785.0,437436.0,9.9,"FirstK1"
91789.0,437423.0,9.9,"FirstK2"
92461.0,437510.0,8.5,"cool63K1"
92450.0,437650.0,11.8,"cool63W1"
92496.0,437769.0,0.0,"HofpleinW1"
92482.0,437865.0,8.0,"HofpleinK1"
91929.0,437917.0,0.0,"NS_ovterminalK1"
92047.0,437941.0,0.0,"NS_ovterminalW1"
92593.0,437483.0,0.0,"PostK1"
92605.0,437500.0,0.0,"PostK2"
92618.0,437400.0,0.0,"PostW1"
92609.0,437381.0,0.0,"PostW2"
92660.0,437580.0,0.0,"TimmerhuisK1"
92669.0,437581.0,0.0,"TimmerhuisK2"
92693.0,437428.0,0.0,"TimmerhuisW1"
92706.0,437433.0,0.0,"TimmerhuisW2"
91862.0,437567.0,8.4,"groothandelsgebouwK1"
91868.0,437577.0,8.4,"groothandelsgebouwK2"
91868.0,437594.0,8.4,"groothandelsgebouwK3"
91652.0,437605.0,0.0,"groothandelsgebouwW1"
91654.0,437616.0,0.0,"groothandelsgebouwW2"
91667.0,437622.0,0.0,"groothandelsgebouwW3"
```

Figuur 2. Voorbeeld bovenste deel van een temperatuur ipf

Deze ipf's worden ingelezen in de runfile voor het model. Door middel van de coördinaten worden de juiste temperaturen aan de debieten gekoppeld. Er wordt alleen een temperatuur aan het water meegegeven als er ook daadwerkelijk water wordt geïnfiltreerd. Als het geïnfiltreerde debiet 0.0 is dan is de temperatuur ook 0.0. Op deze manier is een extra check in het model ingebouwd. Wanneer namelijk in de model output ergens een temperatuur van ca. 0.0 graden wordt gevonden wijst dit erop dat er ergens iets fout gaat tussen de ipfs en txt bestanden van de debieten ten opzichte van de ipf met de te infiltreren temperaturen.

2.3.2.4 Verdeling toekomstige WKO's uit inventarisatie

Uit de inventarisatie is een groot aantal toekomstige WKO's gekomen. Om te bepalen of er ruimte in de diepe ondergrond is voor deze WKO's zijn er in verschillende expert sessies mogelijkheden besproken om tot een zo optimaal mogelijke verdeling van de putten te komen. Uiteindelijk zijn deze bronlocaties nog enkele keren aangepast op basis van de modeloutput. De uiteindelijk meest kansrijke verdeling van bronlocaties op basis van de diepe ondergrond is opgenomen in onderstaande afbeelding. Hierbij is uitsluitend gekeken naar de ondergrondse inpassing. De bovengrondse inpassing is niet meegenomen, omdat deze in het plangebied nog sterk kan wijzigen door voortschrijdend ontwerp en gebiedsontwikkeling.



Figuur 3 posities bestaande bronnen + mogelijk nieuwe WKO's die uit de inventarisatie naar voren zijn gekomen

2.3.3 Neerslag

De neerslag is als jaargemiddelde overgenomen uit het CARROT V3.1 model. De neerslag heeft met name invloed op het freatisch systeem en in mindere mate op het 1^e watervoerend pakket. De invloed van neerslag op de watervoerende lagen op een diepte tussen de 80 en 260 meter is verwaarloosbaar. Daarom is een jaargemiddelde neerslag in dit geval voor een instationair model dat per maand rekent voldoende.

2.3.4 Drainage

De drainage is overgenomen uit het CARROT V3.1 model. Daarnaast is de OLF package die afvoer op maaiveld simuleert opgenomen op basis van het AHN4.0 maaiveldbestand. Hierbij moet worden opgemerkt dat de Weenatunnel uit het maaiveld bestand is gehaald omdat er anders op diepte water zou worden onttrokken aan het model.

2.3.5 Oppervlaktewater

Binnen de grenzen van het RCD-XL gebied is geen oppervlaktewater aanwezig. In het model is daarom geen oppervlaktewater opgenomen. Hiervoor is gekozen omdat de modellering zich richt op de diepe watervoerende pakketten waarin de open bodemenergiesystemen zijn voorzien. De invloed van oppervlaktewater buiten de grenzen van het RCD-XL gebied op deze dieper gelegen pakketten is in dit gebied en voor dit



toepassingsdoel verwaarloosbaar ten opzichte van de invloed van brononttrekking, infiltratie en de geohydrologische schematisatie van de ondergrond.

2.4 Modelscenario's

1a) Uitsluitend stationaire stroming en geen warmtetransport, hierbij worden de huidige bronnen gemodelleerd. Alle bronnen worden hierbij gezet op het maximaal vergund debiet uit de beschikking.

1b) Scenario 1a plus de toekomstige bronnen. Voor de toekomstige bronnen worden de concrete (ver)bouwplannen aangehouden. De toekomstige bronnen hebben een toegewezen debiet van 100 m³/uur. De boven en onderkant van de filters zijn geplaatst van -111.0 m NAP tot -151 m NAP.

2a) Scenario 1a plus tijdsafhankelijk rekenen. Dit houdt in dat de warmte en koude effecten van de WKO's op de bodem/het grondwater over een periode van 15 jaar worden doorgerekend. Op t=0 starten alle bestaande bronnen tegelijk en verpompen ze 15 jaar lang het vergunde debiet. Een periode van 15 jaar is gekozen om de ontwikkeling van thermische bellen en onderlinge interferentie over een representatieve exploitatieperiode inzichtelijk te maken, zonder daarbij te pretenderen dat dit de feitelijke levensduur van ieder individueel systeem exact weergeeft. De daadwerkelijke levensduur is namelijk een stuk langer. Het maximaal vergunde debiet is per maand verdeeld op basis van maximale draaidagen (zie 2.3.2.3)

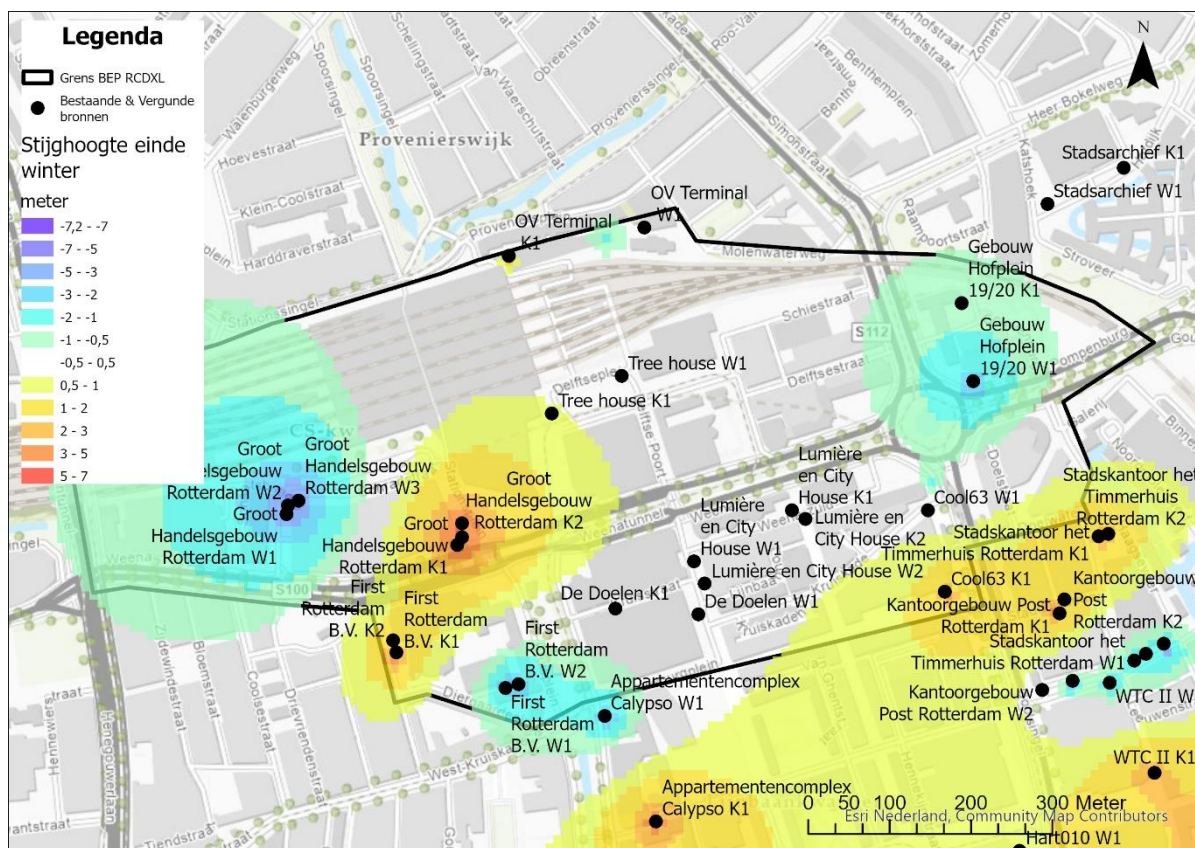
2b) Scenario 2a plus toekomstige bronnen. De toekomstige bronnen hebben een toegewezen debiet van 100 m³/uur.

3a) Bestaande bronnen met historische tijdsafhankelijkheid. In dit scenario worden de effecten van de WKO's op de bodem doorgerekend met een bekende startdatum: 2000, het einde van de doorrekening wordt gesteld op 2024. In dit scenario wordt gerekend met de bekende verpompte debieten en geïnfiltreerde temperaturen per maand. Op die manier kan worden bepaald hoeveel de effecten tussen de daadwerkelijke situatie en de vergunning afwijken.

3b) Scenario 3a plus toekomstige bronnen. De filters voor de nieuwe bronnen zijn op basis van inzicht uit 2b scheef gesteld. Om negatieve thermische interferentie tegen te gaan zijn de nieuw te plaatsen warme en koude filters in de diepte gescheiden (zie onderstaande tabel). Hierbij worden de effecten van de WKO's doorgerekend in de toekomst op basis van te verwachten verpompte debieten. Startjaartal is 2000, einde wordt gesteld op 2050.

Tabel 2 Scheef gestelde filterdieptes van mogelijk toekomstige systemen in modelversie 3b.

Diepte (meter)	Filters warme bron	Filter koude bron
-97 tot -112	x	



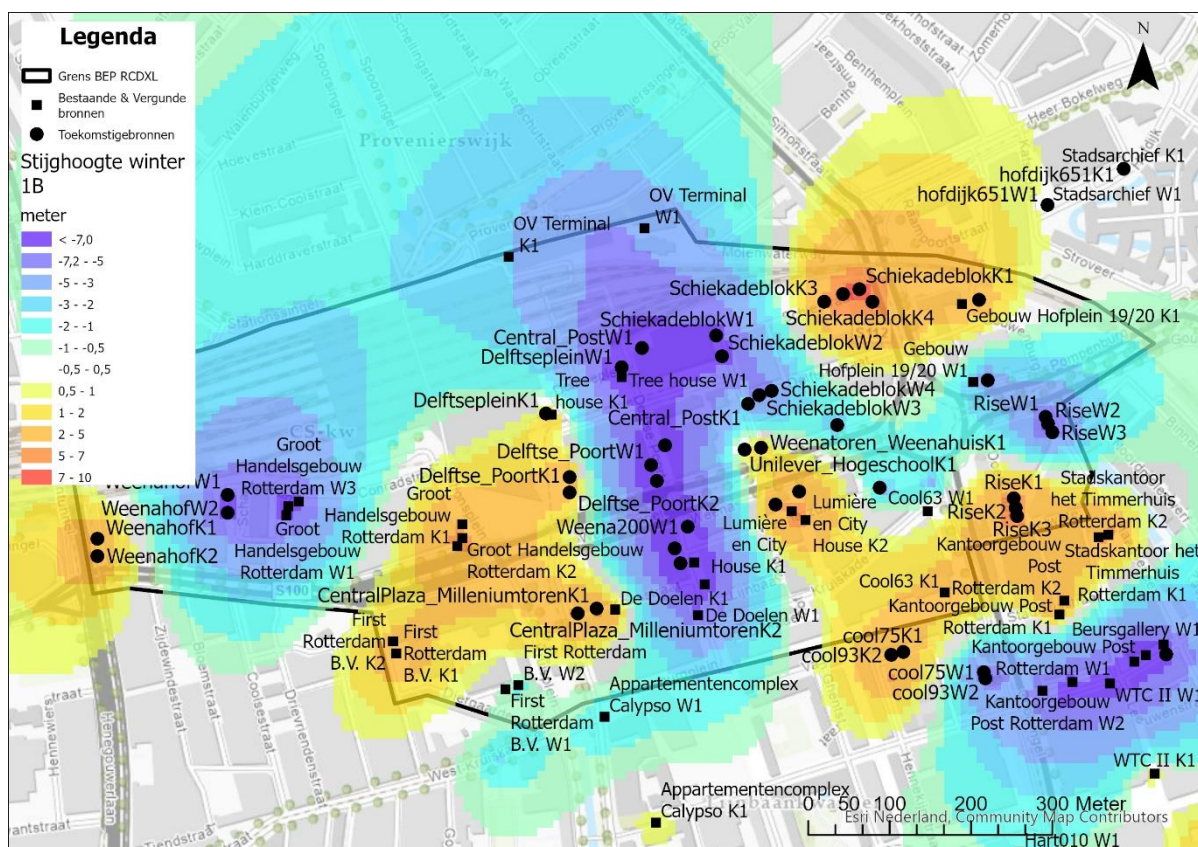
Figuur 5 Verschil stijghoogte op diepte 150 m–mv **bestaande** systemen einde Winter



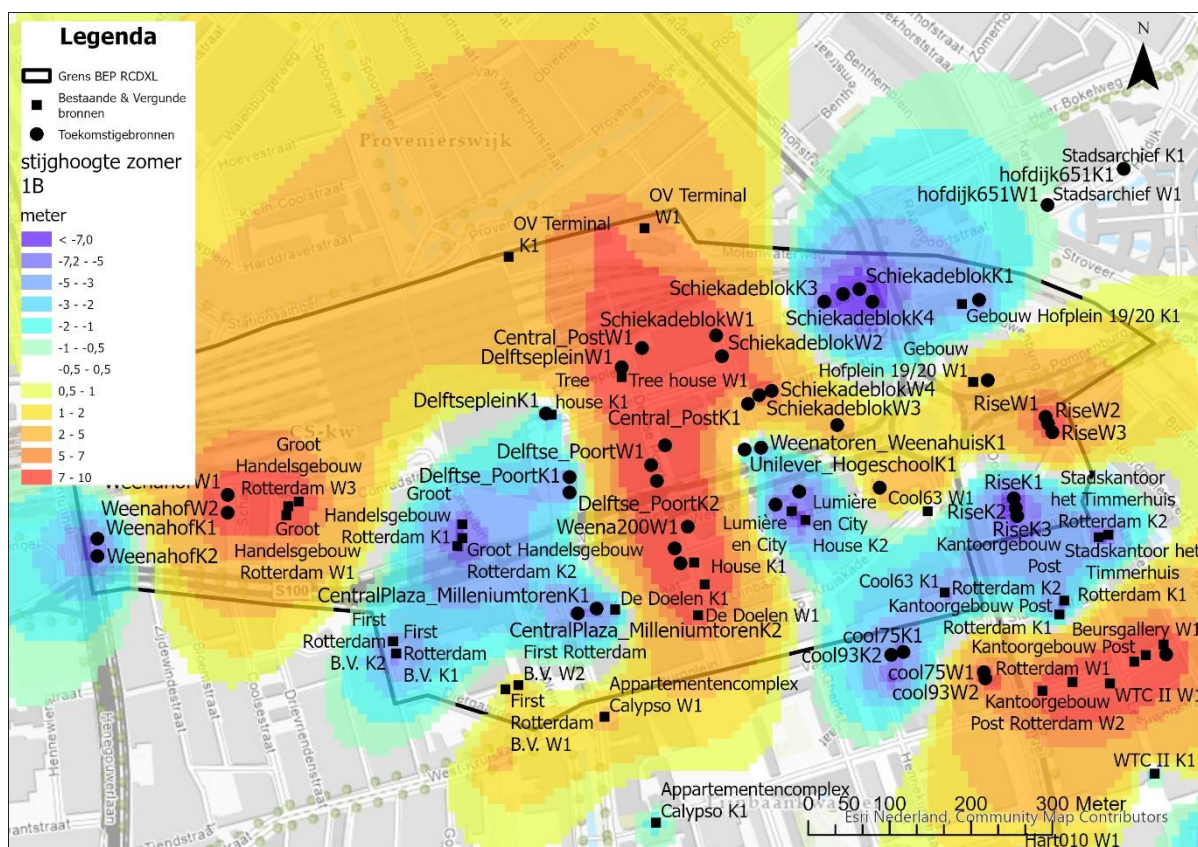
Figuur 6 Stijghoogte op diepte 150 m–mv **bestaande** systemen einde Zomer

3.1.2 Scenario 1B (stationair, bestaande + toekomstige OBES uit inventarisatie)

In onderstaande afbeeldingen zijn de stijghoogteveranderingen weergegeven aan het einde van de winter en de zomer. Hierin zijn alle systemen meegenomen: bestaande systemen, vergunde systemen en mogelijk toekomstige systemen uit de inventarisatie. In dit scenario zijn de filters nog in dezelfde dieptelaag geplaatst.



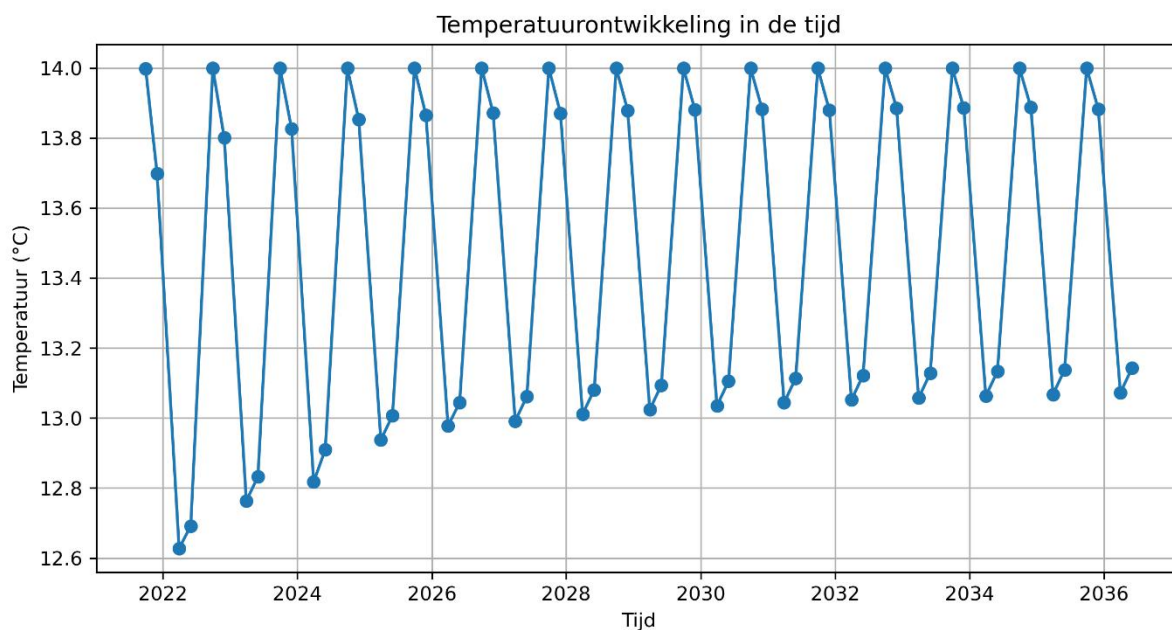
Figuur 7 Verschil stijghoogte op diepte 150 m-mv **bestaande + toekomstige** systemen einde winter



Figuur 8 Verschil stijghoogte op diepte 150 m – mv **bestaande + toekomstige** systemen einde zomer

3.1.3 Scenario 2A (alleen bestaande OBES, tijdsafhankelijk)

In onderstaande afbeeldingen is de temperatuurontwikkeling in scenario 2A weergegeven. Het aantal bestaande systemen is nog beperkt, waardoor – zoals verwacht – geen significante thermische interferentie tussen de systemen optreedt.



Figuur 9 Gemodelleerde Temperatuur ontwikkeling van een warme bron Groothandelsgebouw voor modelversie 2A



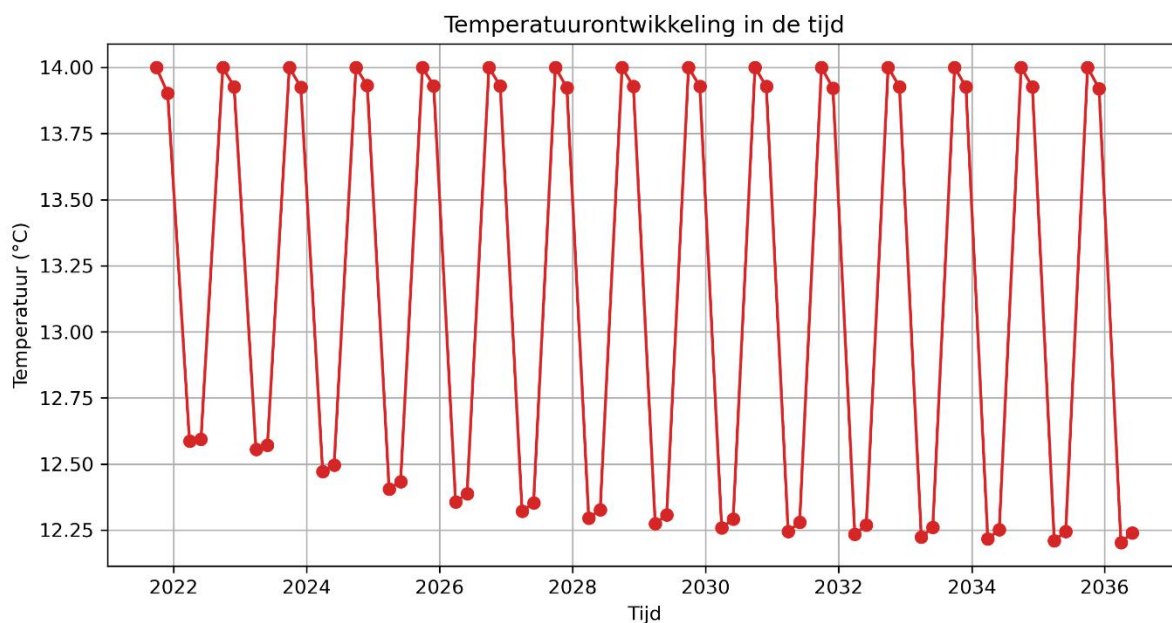
Figuur 10 Warmte-koude verdeling in de ondergrond van bestaande systemen Modelversie 2A einde winter



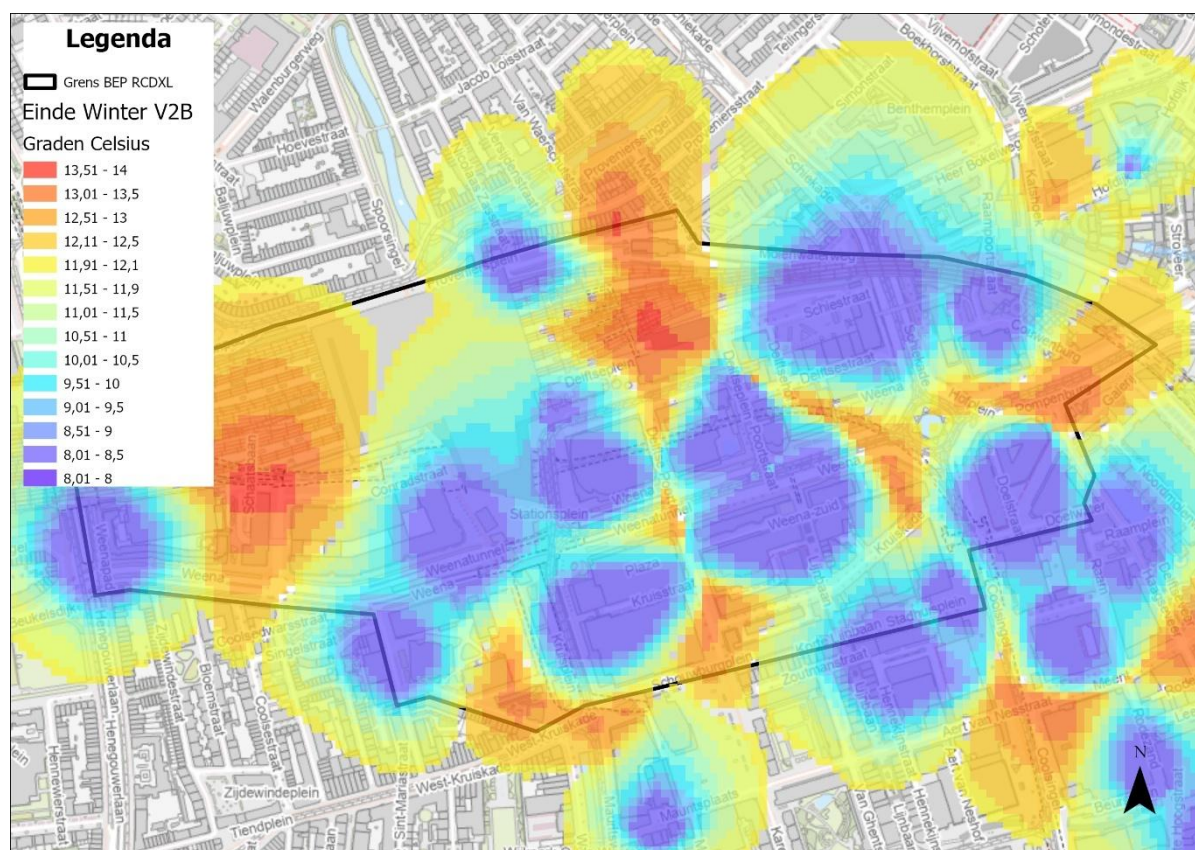
Figuur 11 Warmte -koude verdeling in de ondergrond van bestaande systemen Modelversie 2A einde zomer

3.1.4 Scenario 2B (Bestaande + toekomstige OBES uit inventarisatie, tijdsafhankelijk)

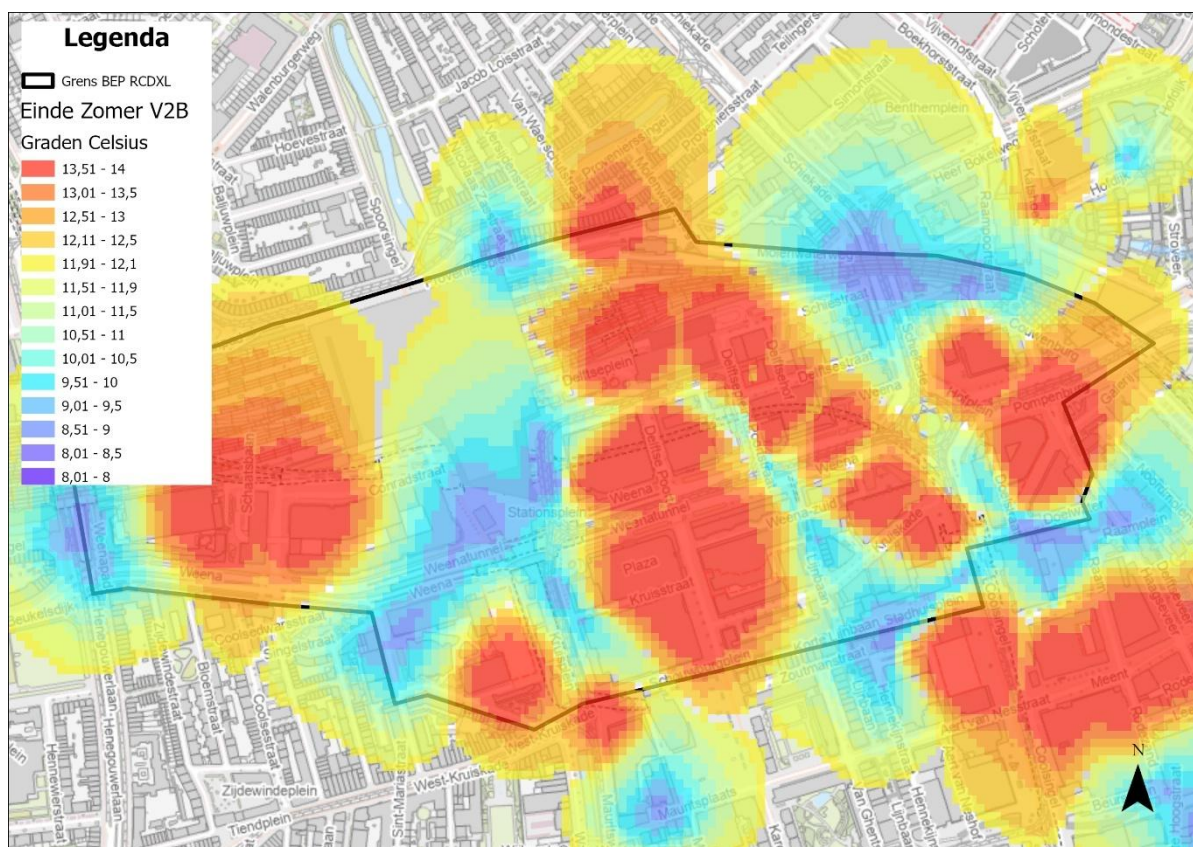
In onderstaande afbeeldingen is de temperatuurontwikkeling in scenario 2B weergegeven. In dit scenario is negatieve thermische interferentie tussen systemen zichtbaar. Dat komt doordat een groot aantal systemen met filters in dezelfde dieptelaag is geplaatst, namelijk tussen circa -111,0 en -151 m NAP. Hieruit volgt dat niet voor alle systemen voldoende ruimte beschikbaar is wanneer alle filters op dezelfde diepte worden geplaatst bij een filterlengte van 40 meter.



Figuur 12 Gemodelleerde Temperatuur ontwikkeling van een warme bron Groothandelsgebouw voor modelversie 2B



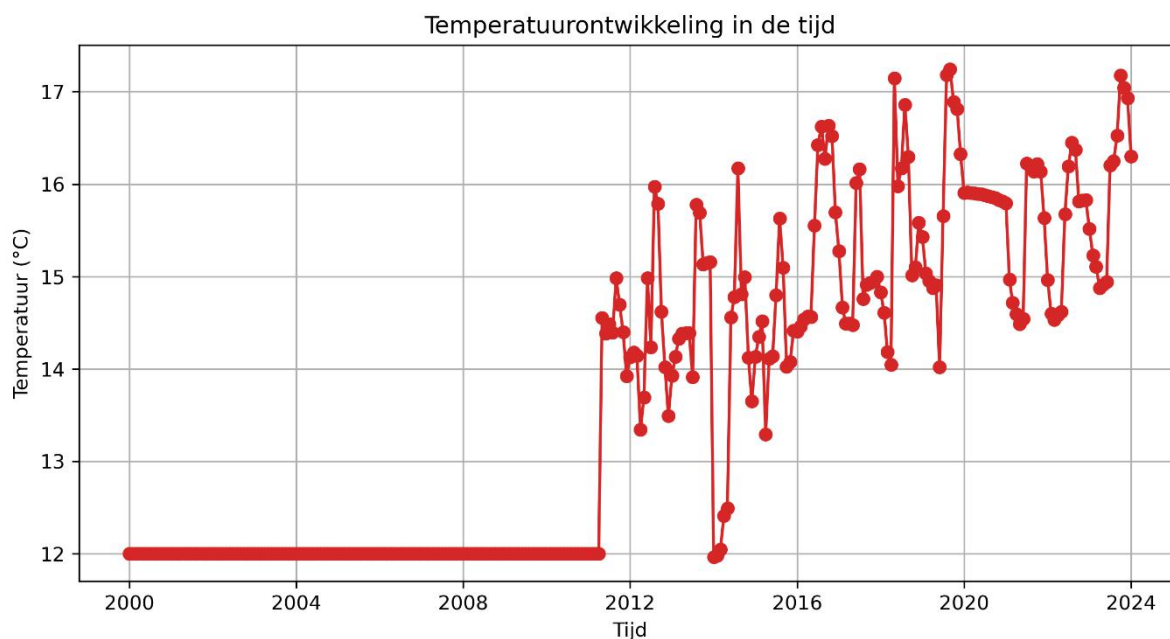
Figuur 13 Warmte-koude verdeling in de ondergrond van bestaande systemen Modelversie 2B einde winter



Figuur 14 Warmte-koude verdeling in de ondergrond van bestaande systemen Modelversie 2B einde zomer

3.1.5 Scenario 3A historische tijdsafhankelijkheid

Om te bepalen wat het daadwerkelijke effect van een open bodemenergiesysteem is op de stijghoogte en temperatuur in de ondergrond ten opzichte van de vergunning, zijn in scenario 3A de daadwerkelijk verpompte debieten en temperaturen gemodelleerd. Hiermee ontstaat een realistischer beeld van het ruimtegebruik in de ondergrond. Veel systemen verpompen namelijk minder water dan op basis van de vergunning mogelijk is. Over een langere periode ontstaat daarmee een realistischer inschatting van het maximale ruimtegebruik van het systeem in de ondergrond ten opzichte van de vergunde situatie. In theorie kan dit inzicht aanleiding geven om vergunningen in de toekomst nauwkeuriger af te stemmen op het feitelijke gebruik.



Figuur 15 Gemodelleerde Temperatuur ontwikkeling op basis van de maandelijks verpompte debieten en geïnfiltreerde temperaturen voor een warme bron Groothandelsgebouw. Er is geen data beschikbaar tussen 2000 en 2010.

3.1.6 Scenario 3B, 3A + scheef gestelde verdeling nieuwe bronnen (warm boven, koud onder)

In scenario 3B is de modeloutput aan het einde van scenario 3A ($t = 2025$) gebruikt als starttoestand voor de stijghoogte- en temperatuurverdeling. Op die manier wordt de reeds opgebouwde verdeling van druk, warmte en koude uit de historische situatie meegenomen in de doorrekening naar de toekomst. Vervolgens zijn de bronnen van de toekomstige systemen over de diepte verdeeld, zoals eerder in tabel 2 is weergegeven.

Om het effect over een periode van 25 jaar goed te kunnen beoordelen, is een Python-script gebruikt dat voor elke tijdstap en voor elk filter de modeloutput uitleest en in een tabel weergeeft wat de maximale en minimale bereikte temperatuur en stijghoogte in dat filter zijn geweest. Op die manier kan voor alle filterlocaties worden bepaald of deze voldoen aan de criteria voor negatieve interferentie en maximale stijghoogteverandering. Met de in scenario 3B gekozen verdeling van de bronnen treedt geen negatieve interferentie op: warme bronnen worden niet kouder dan de omgevingstemperatuur en koude bronnen worden niet warmer dan de omgevingstemperatuur. Ook blijkt de druktoename richting maaiveld verwaarloosbaar klein, wat de kans op zetting beperkt. In het Bodemenergieprogramma is de zettingsberekening als bijlage opgenomen.



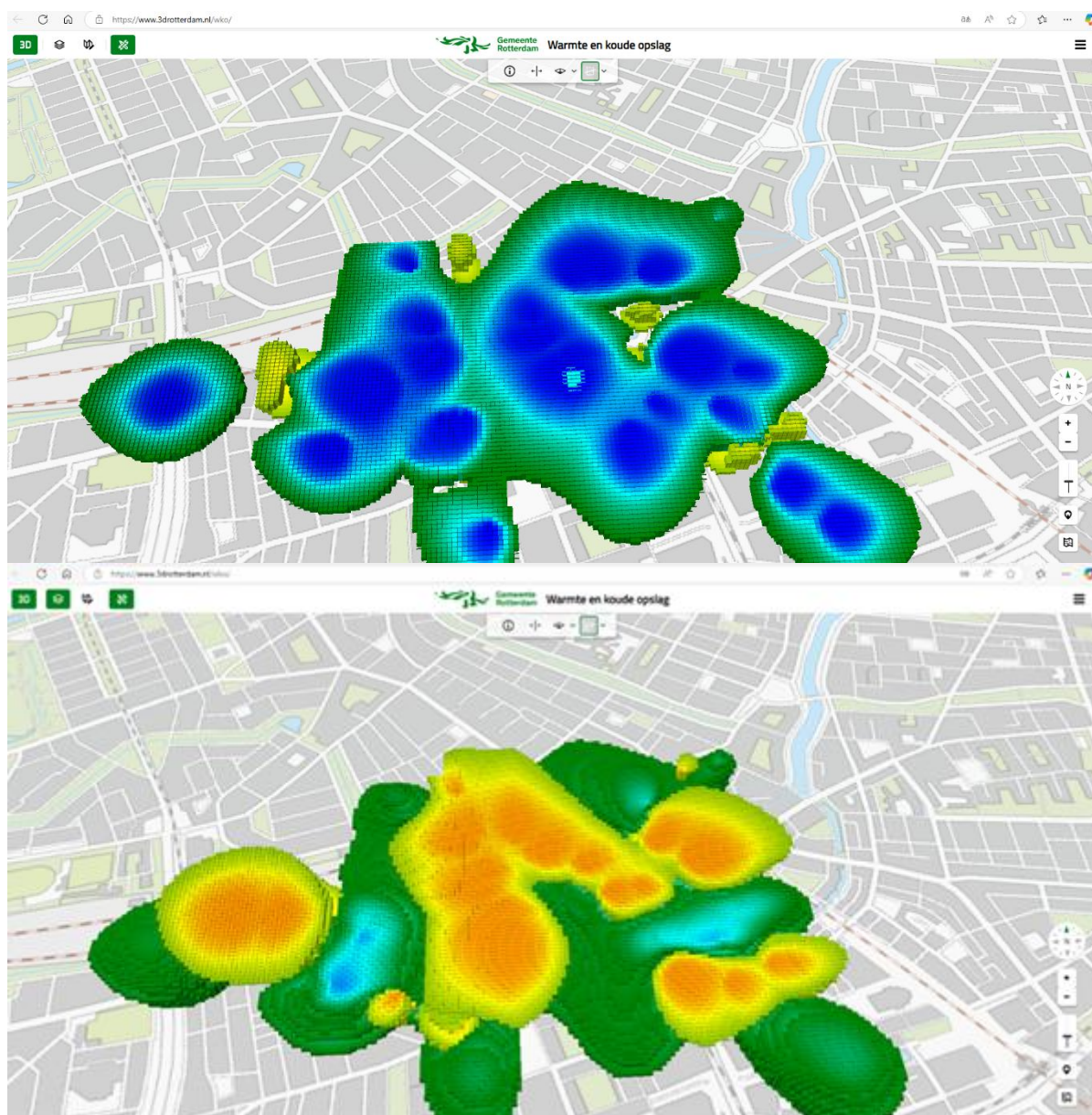
naam	head_min	head_max	Temp_min	Temp_max	layer_top	layer_bot	layer_middle	check_koude	check_warm	check_head	max_diff_head
Lumiere_W1_f1	-10.3	5.8	12.6	15.0	26	32	29	False	False	True	8.2
CentralPlaza_W2_f1	-10.2	5.8	12.4	15.0	26	32	29	False	False	True	8.1
CentralPlaza_W1_f1	-10.2	5.7	12.4	15.0	26	32	29	False	False	True	8.1
Weena200_W1_f1	-10.2	5.7	12.4	15.0	26	32	29	False	False	True	8.1
Unilever_W1_f2	-10.0	5.4	12.4	15.0	26	32	29	False	False	True	7.9
Unilever_W1_f1	-9.9	5.4	12.5	15.0	26	32	29	False	False	True	7.8
Weena200_K1_f4	-9.9	4.3	10.0	12.0	57	59	58	False	False	True	7.8
Weena70_K1_f4	-9.8	4.2	10.0	12.0	57	59	58	False	False	True	7.7
Unilever_K1_f4	-9.8	4.2	10.0	12.0	57	59	58	False	False	True	7.7
Weena70_W1_f1	-9.8	5.2	12.4	15.0	26	32	29	False	False	True	7.7
Weena70_W2_f1	-9.7	5.1	12.4	15.0	26	32	29	False	False	True	7.6
Lumiere_K1_f4	-9.7	4.2	10.0	12.0	57	59	58	False	False	True	7.6
Schiekadeblok_K3_f4	-9.7	4.0	10.0	12.0	57	59	58	False	False	True	7.6
Lumiere_W2_f1	-9.6	5.2	12.5	15.0	26	32	29	False	False	True	7.5
Schiekadeblok_K4_f4	-9.6	4.0	10.0	12.0	57	59	58	False	False	True	7.5
Schiekadeblok_W2_f1	-9.5	4.7	12.4	15.0	26	32	29	False	False	True	7.4
Weena200_K1_f1	-9.5	3.9	10.0	12.0	51	53	52	False	False	True	7.4
Weena70_K1_f1	-9.5	3.9	10.0	12.0	51	53	52	False	False	True	7.4
Lumiere_K2_f4	-9.5	3.9	10.0	12.0	57	59	58	False	False	True	7.4
Schiekadeblok_W3_f1	-9.5	4.7	12.3	15.0	26	32	29	False	False	True	7.4
Unilever_K1_f1	-9.4	3.8	10.0	11.9	51	53	52	False	False	True	7.3
Schiekadeblok_W1_f1	-9.4	4.5	12.4	15.0	26	32	29	False	False	True	7.3



Weena200_K1_f3	-9.4	3.8	10.0	12.0	55	56	56	False	False	True	7.3
Lumiere_K1_f3	-9.4	3.8	10.0	12.0	55	56	56	False	False	True	7.3
DeDoelen_W1_f1	-9.4	4.9	12.2	15.0	26	32	29	False	False	True	7.3
Weena70_K1_f3	-9.4	3.8	10.0	12.0	55	56	56	False	False	True	7.3
Schiekadeblok_K3_f1	-9.3	3.7	10.0	12.0	51	53	52	False	False	True	7.2
Schiekadeblok_W4_f1	-9.3	4.5	12.3	15.0	26	32	29	False	False	True	7.2
Schiekadeblok_K4_f1	-9.3	3.6	10.0	12.0	51	53	52	False	False	True	7.2
Unilever_K2_f4	-9.3	3.7	10.0	12.0	57	59	58	False	False	True	7.2
Unilever_K1_f3	-9.3	3.7	10.0	12.0	55	56	56	False	False	True	7.2
Lumiere_K1_f1	-9.2	3.7	10.0	12.0	51	53	52	False	False	True	7.1
Weena200_K1_f2	-9.2	3.7	10.0	12.0	53	54	54	False	False	True	7.1

3.2 Rotterdam 4D

Om de resultaten niet uitsluitend via tabellen te toetsen, is het wenselijk om ze ook visueel in 4D te ontsluiten. Daarvoor wordt gebruikgemaakt van een afgesloten omgeving van het Digital Twin-model van de gemeente Rotterdam. Open bodemenergie is een toepassing die zich grotendeels buiten het zicht afspeelt, diep in de ondergrond. Met behulp van de 4D-viewer kan voor niet-vakspecialisten beter inzichtelijk worden gemaakt hoe bodemenergie in Rotterdam functioneert. In onderstaande afbeelding is een uitsnede van de modelresultaten van scenario 3B weergegeven. De bovenste afbeelding toont het resultaat op een diepte van 200 meter aan het einde van de winter, wanneer het meeste koude water is geïnfilteerd. De onderste afbeelding toont het resultaat aan het einde van de zomer, op de diepte waar het meeste warme water wordt geïnfilteerd.



Figuur 16 Uitsnede uit het DigitalTwin (warmte koude)model van de gemeente Rotterdam. De blauwe gebieden(10 graden) zijn koud en de oranje gebieden(15 graden) zijn warm. De groene gebieden zitten qua temperatuur rond de 12 graden.



4 Benodigde toekomstige data uitwisseling

Voor het periodiek actualiseren van het model is het van belang dat gemeente Rotterdam en Omgevingsdienst Haaglanden afspraken maken over de uitwisseling van gegevens van open bodemenergiesystemen. Het doel van deze gegevensuitwisseling is om het model actueel te houden, nieuwe systemen en wijzigingen tijdig te verwerken en periodiek te kunnen beoordelen of het bodemenergieprogramma nog goed aansluit op de feitelijke ontwikkeling in het gebied.

Voor de actualisatie van het model zijn in ieder geval gegevens nodig over:

- de onttrokken debieten van de warme en koude bron;
- de temperaturen van het onttrokken water uit de warme en koude bron;
- de ligging en filterstelling van bronnen;
- nieuwe vergunningen, vergunde wijzigingen en nieuw gerealiseerde bronnen;
- boorbeschrijvingen en andere relevante ondergrondgegevens die beschikbaar komen.

De exacte vorm waarin deze gegevens worden uitgewisseld, wordt niet in dit document vastgelegd. Gemeente Rotterdam en Omgevingsdienst Haaglanden maken hierover afzonderlijke proces- en werkafspraken. Daarbij kan worden afgesproken in welk format gegevens het best kunnen worden aangeleverd, hoe de kwaliteit en volledigheid van de gegevens wordt geborgd en op welk moment de gegevens periodiek worden uitgewisseld. Uitgangspunt is dat de gegevensuitwisseling ten minste jaarlijks plaatsvindt, zodat:

- nieuwe en gewijzigde open bodemenergiesystemen in het model kunnen worden opgenomen;
- nieuw beschikbare boorgegevens en filterstellingen kunnen worden verwerkt;
- de werkelijk verpompte debieten en temperaturen van bestaande systemen kunnen worden meegenomen;
- en het model periodiek kan worden doorgerekend ter ondersteuning van evaluatie en eventuele actualisatie van het bodemenergieprogramma.

Indien een nieuwe bron in werking treedt, is het van belang dat ook de boorbeschrijving en de filterstelling beschikbaar komen. Met name de filterdieptes zijn noodzakelijk om nieuwe bronnen correct in het model op te nemen.