Effect van warmtewinning uit watertransportleidingen op de Amsterdamse Waterleidingduinen

Thermische effecten op oppervlaktewater en infiltratiecapaciteit van het bodempassagesysteem

ARJAN VAN WACHTENDONK, JORIS WESTENEND EN MATTHIJS BONTE

Artikel

In de Amsterdamse Waterleidingduinen wordt voorgezuiverd ruwwater geïnfiltreerd ten behoeve van de productie van drinkwater. Het water wordt ingenomen uit het Lekkanaal en naar de duinen getransporteerd met een pijpleiding. Waternet en PWN onderzoeken de mogelijkheden tot warmtewinning uit het getransporteerde water langs het leidingtracé. Een belangrijke vraag hierbij is of warmtewinning geen belemmering is voor de productie van drinkwater. Dit artikel presenteert de resultaten van een praktijkproef en een modelstudie om de effecten van warmtewinning uit de waterleiding in beeld te brengen. Wat is de uiteindelijke thermische invloed in het duingebied? En welke impact heeft de afkoeling op de infiltratiesnelheid van ruwwater in de duinen?

Inleiding

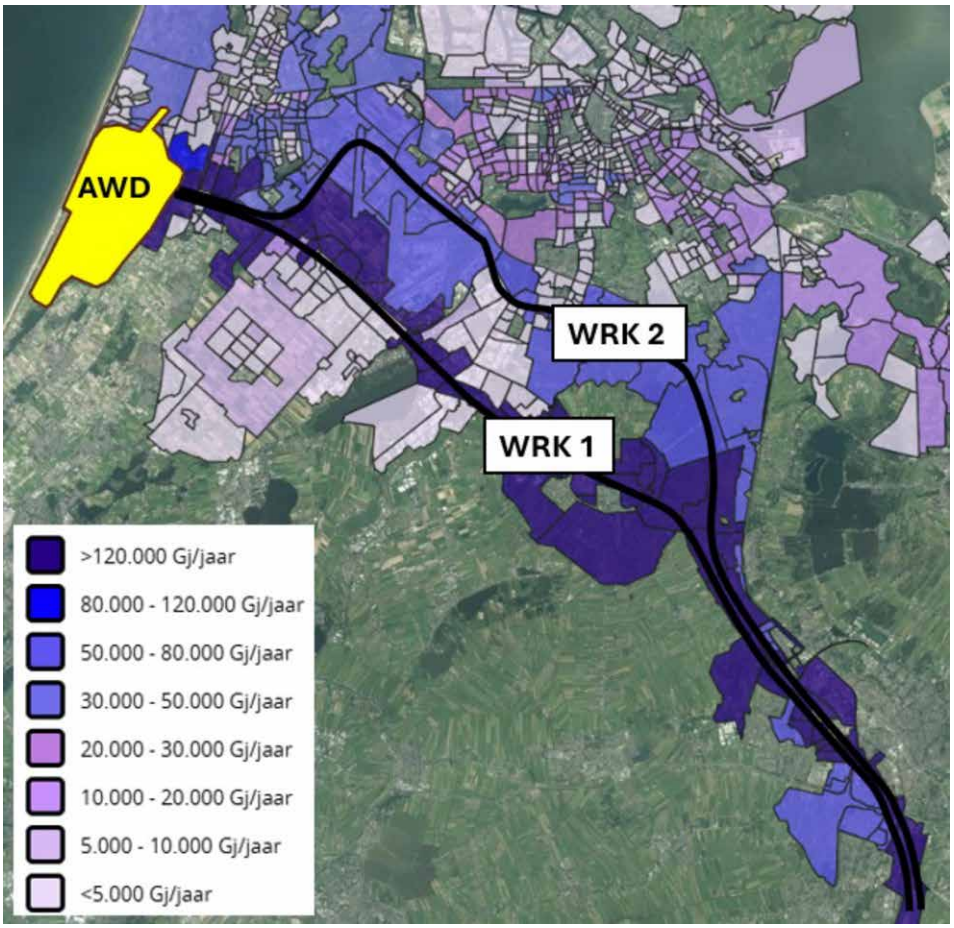
In de Amsterdamse Waterleidingduinen (AWD) wordt voorgezuiverd ruwwater geïnfiltreerd ten behoeve van de productie van drinkwater. Dit water wordt ingenomen uit het Lekkanaal bij Nieuwegein en vervolgens met leidingen (de zogenaamde WRK1- en WRK2-leidingen) van de Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland (WRK) richting de duinen getransporteerd (Afbeelding 1). In de duinen wordt het water geïnfiltreerd over een oppervlak van ongeveer 100 ha en vervolgens met drains onttrokken. Deze zogenaamde bodempassage vormt een belangrijke stap in het zuiveringsproces.

Waternet en PWN onderzoeken in opdracht van de WRK de effecten van het winnen van warmte uit de WRK-leidingen. Potentieel kan de winning van warmte voldoen aan de warmtevraag van enkele tienduizenden huishoudens. De gewonnen warmte kan worden gebruikt om woonwijken in de omgeving van de leiding op een duurzamere manier (zonder aardgas) te verwarmen. Hierbij wordt voorzien dat de warmtewinning wordt gecombineerd met een warmte-/koude-opslag (WKO) in de ondergrond als seizoenbuffer. De warmtewinning kan gebruikt worden om het WKO-systeem in de zomer op te laden met warmte, zodat dit in de winter gebruikt kan worden voor verwarming.

Als er warmte uit de leidingen wordt gewonnen, komt het water kouder aan in de Waterleidingduinen. Dit kan effecten hebben op de drinkwaterproductie in de

This work is licensed under CC BY 4.0

duingebieden. De watertemperatuur beïnvloedt de viscositeit (stroperigheid) en dichtheid van het water, waardoor het water langzamer door het duinpakket gaat stromen. De infiltratiecapaciteit van de Waterleidingduinen kan hierdoor afnemen. Dit artikel geeft een overzicht van de opzet en resultaten van een modelstudie om de deze effecten te kwantificeren.



Afbeelding 1 *Schematische ligging traject WRK-leidingen richting de Amsterdamse Waterleidingduinen (AWD). De vlakken tonen de potentie voor warmteonttrekking uit ruwwater- en drinkwaterleidingen (Waternet, 2022)*

Aanpak

Om de effecten van warmtewinning op de capaciteit van de bodempassage in beeld te brengen, zijn de volgende stappen gevolgd:

1. Proef en modellering koudelozing: In 2023 heeft er een koudelozing in een van de geulen van de AWD plaatsgevonden. De effecten van deze koudelozing op de watertemperatuur zijn uitgebreid gemeten en vervolgens gemodelleerd.
2. Modellering temperatuur infiltratiesysteem AWD. Met de kennis uit de eerste stap is een oppervlaktewatermodel ontwikkeld om de temperatuur van het gehele infiltratiesysteem van de AWD te simuleren.

3. Modellering effect temperatuur op bodempassage. Het grondwatermodel van de AWD is geschikt gemaakt om de temperatuur van het grondwater te berekenen en het viscositeitseffect op de infiltratiecapaciteit.
4. Scenario's voor warmtewinning. Met het gezamenlijke oppervlaktewater- en grondwatermodel zijn een aantal scenario's voor warmtewinning doorgerekend.

De aanpak van deze stappen is verder toegelicht in dit hoofdstuk.

Proef en modellering koudelozing
In de zomer van 2023 is gedurende vijf weken een van de infiltratiegeulen van de AWD gevoed met relatief koud grondwater in plaats van infiltratiewater uit de WRK-leiding (Afbeelding 2). Dit grondwater was 6 tot 8°C kouder dan het infiltratiewater. In de geul waar het koude grondwater water is geloosd en in een naastgelegen referentiegeul is op verschillende dieptes en verschillende locaties de watertemperatuur gemeten. Verder is in de geul een weerstation geïnstalleerd om lokale meteorologische gegevens te verzamelen.

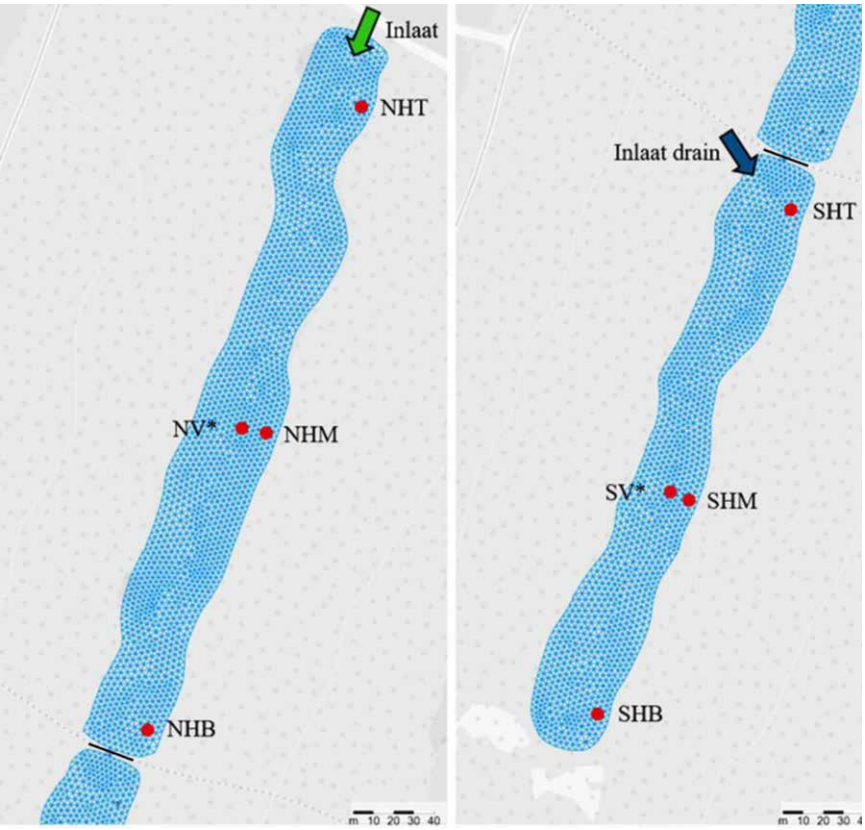
Afbeelding 2 *Infiltratiegeul in de Amsterdamse Waterleidingduinen waar de proef is uitgevoerd. In het linkerdeel is koud water ingebracht en in de rechtergeul water uit de WRK-leiding. Helemaal rechts in de afbeelding staat de pomp van het grondwater.*

De meetdata van de koudelozingsproef zijn gebruikt om een model in Delft3D FM Suite 2024.03 HMWQ (Deltares, 2024) te bouwen. Met dit model kunnen de stroming van het water en de watertemperatuur berekend worden op basis van onder andere de meteorologische omstandigheden, infiltratiesnelheden en de temperaturen en debieten van het aanvoerwater.

Voor het oppervlaktemodel van de koudelozing is een rekengrid gemaakt met driehoekige cellen waarvan de zijdes allemaal ongeveer 3 meter lang zijn (Afbeelding 3). De bodemhoogte van de geul is gebaseerd op zes ingemeten dwarsprofielen. Het model is verdeeld in drie evenredig verdeelde dieptelagen. Als randvoorwaarden zijn debieten en temperaturen van het instromende water

en de meteorologie (luchttemperatuur, luchtvochtigheid, bewolkingsgraad, windsnelheid en windrichting) opgegeven. Al deze randvoorwaarden zijn gemeten tijdens de proef, behalve het aanvoerdebiet in de referentiegeul. Hier is aangenomen dat dit gelijk is aan de gemiddelde infiltratiecapaciteit van de AWD, vermenigvuldigd met het oppervlak van de geul. Met het model is de volledige periode van vijf weken van de koudeproef doorgerekend.

Bij het modelleren van de watertemperatuur is de keuze van de Secchi-diepte belangrijk. De Secchi-diepte is een maat voor de troebelheid van het water. In troebeler water wordt meer straling geabsorbeerd in het bovenste deel van de waterkolom. Ondanks het zeer heldere water in de Waterleidingduinen is de Secchi-diepte in het model gelijkgesteld aan ongeveer de bodemhoogte van de geulen. Hiervoor is gekozen omdat in Delft3D geen opname plaatsvindt van straling aan de bodem, terwijl dit in werkelijkheid wel gebeurt. De keuze voor een grote Secchi-diepte op basis van het heldere water leidt tot te laag berekende watertemperaturen .



Afbeelding 3 *Opstelling veldonderzoek en schematisering oppervlaktewatermodel warmte-uitwisseling bij geul 21, met links de referentiegeul waar WRK-water is ingelaten en rechts het proefdeel van de geul, waar grondwater is ingelaten. In rood zijn de verschillende temperatuur-meetpunten weergegeven. Bij de meetpunten met een * is op drie verschillende dieptes gemeten.*

Modellering temperatuur infiltratiesysteem AWD
Van het volledige infiltratiesysteem van de AWD is een Delft3D-model gemaakt (Afbeelding 4). Dit is een systeem van toevoersloten die het water uit de WRK-leiding transporteren naar infiltratiegeulen, waar het water infiltreert voor bodempassage. De opzet van het model is hetzelfde als voor de koudeproef, behalve dat een grover grid is gebruikt. Het grid bestaat ter hoogte van de infiltratiegeulen uit driehoekige cellen met zijdes van ongeveer 10 meter. De toevoersloten zijn gemodelleerd als één gridcel breed (5 tot 15 meter) met een vaste diepte. Als debietrandvoorwaarde is een aanvoer van 80.000 m^3/dag voor de WRK-1 aangenomen en een aanvoer van 66.000 m^3/dag voor de WRK-2.

Als temperatuurrandvoorwaarde is de gemeten watertemperatuur dicht bij het innamepunt van de WRK in de Lek genomen. Deze temperatuur wordt door Rijkswaterstaat gemeten. Op deze temperatuurreeks is vervolgens een vertragingsfactor gezet van 24 uur. Dit is ongeveer de reistijd van het water vanaf het innamepunt van de WRK tot aan de AWD (over een afstand van circa 50 km). Uit meetdata blijkt dit een goede aanname om de temperatuur van het inlaatwater te bepalen. In het voorjaar van 2024 is op meerdere plekken in de AWD de oppervlaktewatertemperatuur elk uur gemeten met dataloggers. Het model is gekalibreerd op deze reeksen.

Modellering effect temperatuur op bodempassage
Het Delft3D-model berekent voor alle toevoersloten en infiltratiegeulen de oppervlaktewatertemperatuur. Om te bepalen hoe deze temperatuur de infiltratiecapaciteit beïnvloedt, is het grondwatermodel van de AWD aangepast om ook met temperatuur te kunnen rekenen. Sinds 2024 kan met Modflow 6 (Langevin e.a., 2017) grondwaterstroming en energietransport integraal berekend worden, waarbij rekening wordt gehouden met verschillen in doorlatendheid als gevolg van veranderingen in viscositeit en dichtheid. Het model is opgebouwd vanuit AMWADU, het gekalibreerde grondwatermodel van de AWD (Kamps, 2005). Het model is gemaakt voor Modflow 6, waarbij de invoer is gegenereerd met FloPy (Hughes e.a., 2023). Het model is gevalideerd op de berekende fluxen van de infiltratiegeulen. De belangrijkste parameters voor de aansturing van deze module zijn weergegeven in Tabel 1.

De maandgemiddelde gemeten luchttemperatuur van KNMI-weerstation Schiphol is toegevoegd aan de *recharge-package* om het infiltrerende neerslagoverschot met bijbehorende temperatuur te simuleren. De gemiddelde temperatuur van de infiltratiegeulen zoals deze zijn berekend met het Delft3D-model zijn toegevoegd aan de General Head Boundary-package. Het model is 6 jaar doorgerekend met dezelfde invoer voor ieder jaar om een beeld te krijgen hoe lang het duurt voordat een nieuw thermisch evenwicht ontstaat.

Tabel 1: Parameters warmtetransportmodel oppervlaktewater en grondwater

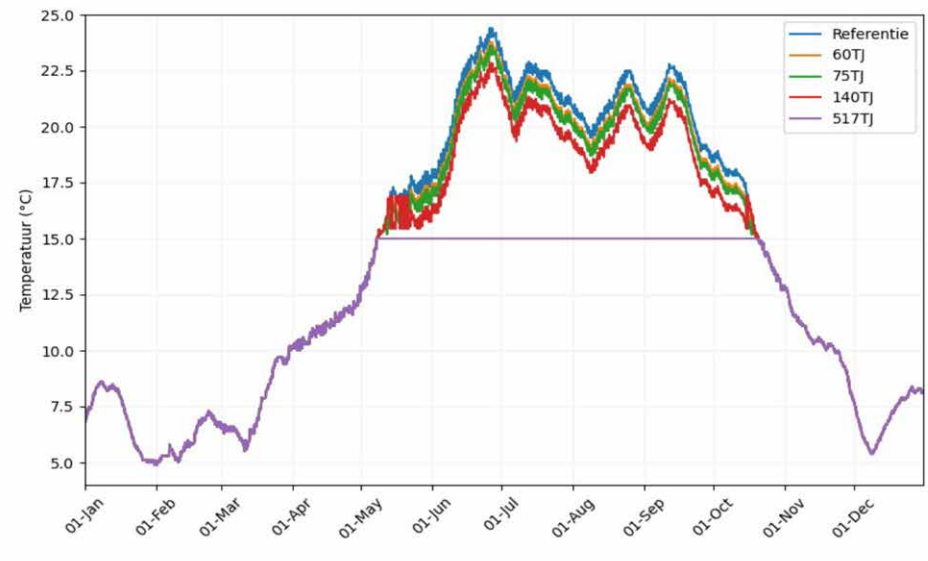
Parameter	Waarde	Eenheid
Oppervlaktewatermodel		
Modelcode	Delft3D-FM suite 2024.03 HMWQ	
Rekentijdstap	1-30	(s)
Referentiedichtheid van zoetwater	1000	(kg/m^3)
Uniforme horizontale eddy-viscositeit	0,1	(m^2/s)
Uniforme horizontale eddy-diffusie	0,1	(m^2/s)
Uniforme verticale eddy-viscositeit	1×10^{-6}	(m^2/s)
Uniforme verticale eddy-diffusie	1×10^{-6}	(m^2/s)
Smagorinsky-factor	0,2	(-)
Manning-coëfficiënt	0,023	(s/m$^{1/3}$)
Secchi-diepte	1	(m)
Grondwatermodel		
Modelcode	MODFLOW 6	
Lengte berekening	6	(jaar)
Lengte tijdstappen	1	(dag)
Celgrootte	20	(m)
Aantal modellagen	5	(-)
Specifieke bergingscoefficiënt	1×10^{-5}	(1/m)
Freatische bergingscoefficiënt	0,15	(-)
Referentietemperatuur (gemiddelde temperatuur grondwater)	12,94	(˚C)
Effectieve porositeit van de bodem	0,3	(-)
Dichtheid bodemmateriaal droog	1500	(kg/m)
Soortelijke warmte bodemmateriaal	830	(J/[kg ˚C])
Warmtegeleidingscoëfficiënt van de bodem	0,27	(W/[m ˚C])
Referentiedichtheid van zoetwater	1000	(kg/m^3)
Dichtheid van water	1000	(kg/m^3)
Soortelijke warmte water	4183	(J/[kg ˚C])
Warmtegeleidingscoëfficiënt van water	0,5918	(W/[m ˚C])
Latente warmte verdamping	2500	(kJ/kg)
Helling van de dichtheid-concentratielijn	-0,375	(-)
Referentie-viscositeit	$8{,}904\times10^{-4}$	(Pa/s)
Viscositeit-parameter A1	10	(-)
Viscositeit-parameter A2	248,7	(-)
Viscositeit-parameter A3	133,15	(-)
Latente warmte verdamping	2500	(kJ/kg)
Advectieschema	‘upstream’	(-)
Dispersieterm	0	(m)

Scenario's voor warmtewinning

Met het gecombineerde oppervlaktewater- en grondwatermodel zijn vier verschillende scenario's voor warmtevraag plus een referentiescenario doorgerekend. Per scenario is bepaald met hoeveel graden het water uit de WRK moet worden afgekoeld om aan de warmtevraag te voldoen. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat alleen het water dat richting de infiltratiegeulen van de AWD stroomt wordt afgekoeld. De vier verschillende warmtevraagscenario's zijn (Afbeelding 4):

0. Referentiescenario. Het water uit de WRK-leiding heeft de temperatuur zoals gemeten ter hoogte van het innamepunt bij de Lek in 2023.
1. Een onttrekking van 60 TJ/jaar. Dit komt neer op een constante 0,6˚C afkoeling in de periode dat het water in de WRK-leiding warmer dan 16˚C is.
2. Een onttrekking van 75 TJ/jaar. Dit komt neer op een constante 0,8˚C afkoeling in de periode dat het water in de WRK-leiding warmer dan 16˚C is.
3. Een onttrekking van 140 TJ/jaar. Dit komt neer op een constante 1,6˚C afkoeling in de periode dat het water in de WRK-leiding warmer dan 17˚C is.
4. Een maximale onttrekking van warmte. Dit komt neer op een constante verlaging van de watertemperatuur in de WRK-leiding tot 15˚C. Hiermee kan zo'n 517 TJ/jaar aan warmte worden onttrokken.

Om bovenstaande wat in perspectief te zetten: de hoeveelheid warmte-energie die nodig is om een gemiddelde Nederlandse woning van ruimteverwarming en water te voorzien is 27 GJ per jaar.

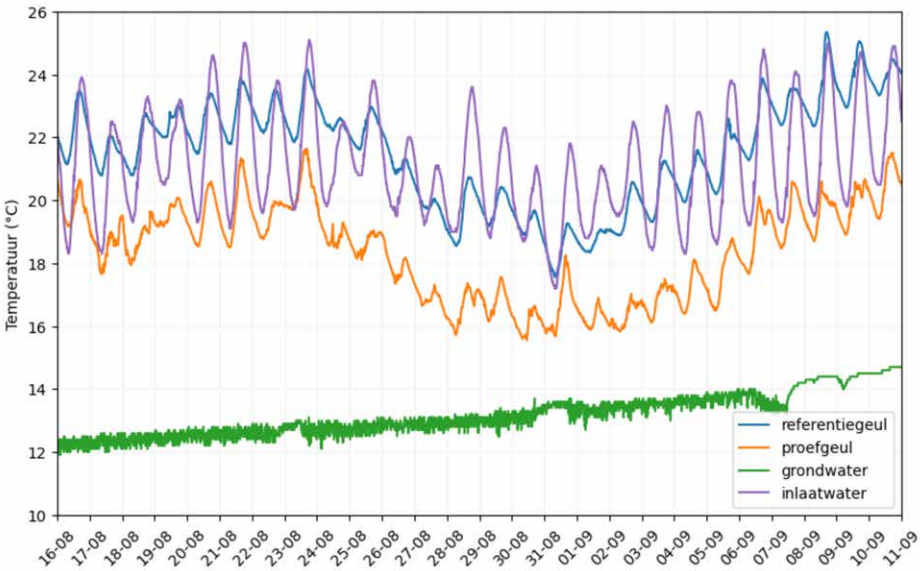


Afbeelding 4 *Temperatuur WRK-water voor de verschillende scenario's.*

Resultaten

Proef en modellering koudelozing

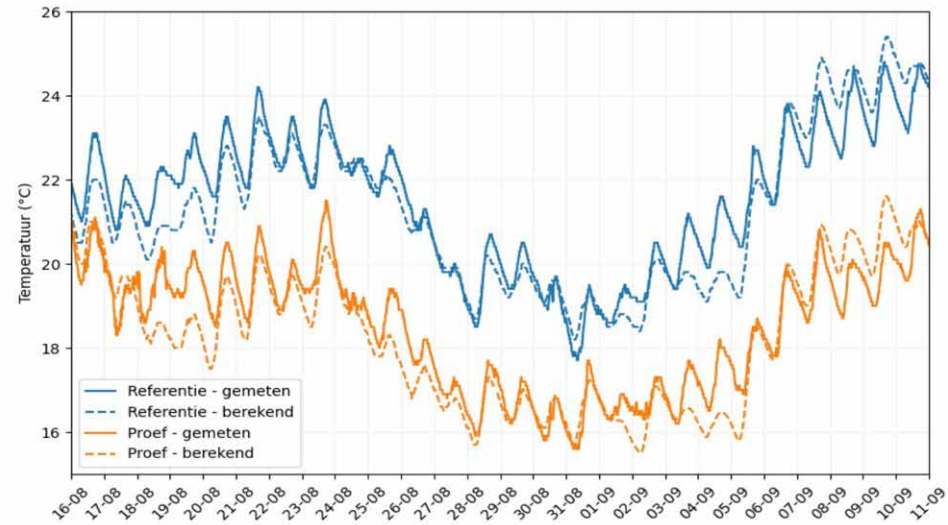
Tijdens de koudeproef was het grondwater ruim 8°C kouder dan het infiltratiewater uit de WRK-leiding (Afbeelding 5). Dit leidde tot een afkoeling in de infiltratiegeul van ongeveer 3°C ten opzichte van de referentiegeul. De proef heeft inzicht gegeven in de warmte-uitwisseling tussen infiltratiegeulen en atmosfeer en inzicht in de menging van warmte in infiltratiegeulen. De warmte-uitwisseling blijkt sterk afhankelijk van de windsnelheid: bij hogere windsnelheden ligt de watertemperatuur significant dichter bij de atmosferisch temperatuur. Het lokaal meten van de windsnelheid heeft dus meerwaarde, deze kan vaak flink verschillen met metingen van het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation. Daarnaast blijken de geulen zeer goed gemengd. De verblijftijd is iets meer dan 3 dagen, uit de metingen is nauwelijks sprake van een koudepluim of temperatuurstratificatie (dit blijkt uit metingen op verschillende locaties, deze zijn niet opgenomen in de figuren).



Afbeelding 5 *Gemeten temperatuur van het grondwater, het inlaatwater en van de infiltratiegeulen tijdens de proef in 2023. De proefgeul is gevoed met grondwater en de referentiegeul met inlaatwater, dit is water uit de WRK-leidingen.*

Het oppervlaktewatermodel bleek in staat de gemeten temperatuur in de geulen te benaderen met een gemiddelde absolute afwijking van 0,32°C (Afbeelding 6). De gemeten en berekende gemiddelde afkoeling gedurende de proefperiode bedragen respectievelijk 3,06 en 3,10°C. Het verschil tussen deze twee waarden is een indicatie van de mate van nauwkeurigheid waarmee de afkoeling en heropwarming als gevolg van warmtewinning gemodelleerd kan worden.

Verder berekende het model een duidelijke koudepluim bij het lozingspunt van het grondwater, iets wat niet in de metingen is gevonden. Deze discrepantie tussen model en veldmetingen nabij het lozingspunt komt vermoedelijk doordat een model als D-Hydro de turbulente stromingsprocessen nabij het lozingspunt niet goed meeneemt. Volgens De Groot-Wallast en Vlijm (2022) komt dit doordat modellen als D-Hydro en Delft3D zogenaamde far-fieldmodellen zijn die geschikt zijn voor modellering van gehele waterpartijen, terwijl voor de modellering nabij het lozingspunt een near-fieldmodel zoals JET3D nodig is. In onze modellering overschatten we het effect nabij het lozingspunt en treedt er in werkelijkheid meer turbulente menging op. Dit is voor het effect op het ontvangende water dus een conservatieve aanname.



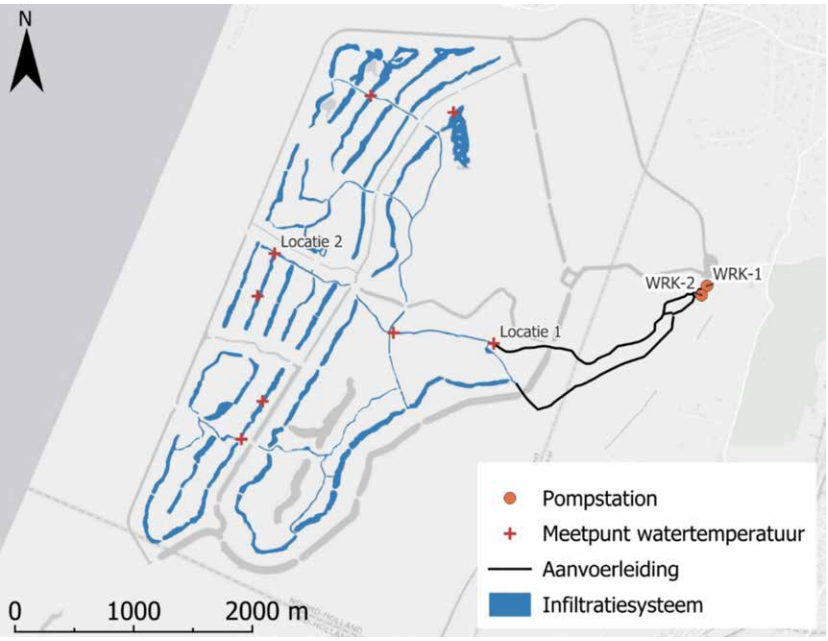
Afbeelding 6 *Gemeten en berekende temperatuur in de referentiegeul en proefgeul. De gemeten temperaturen zijn afkomstig van een meetpunt in het midden van de geul.*

Modellering temperatuur infiltratiesysteem AWD

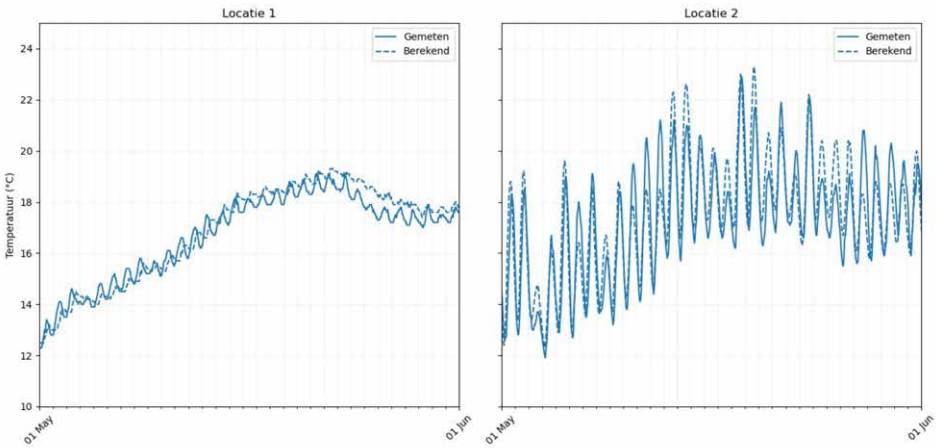
Het oppervlaktewatermodel van het gehele infiltratiesysteem van de AWD blijkt goed in staat gemeten temperaturen te simuleren. Afbeelding 8 toont de fit van twee meetpunten ter illustratie. Opvallend is dat de temperatuur vlak bij het aanvoerpunt (Locatie 1) van de AWD redelijk constant is, terwijl de dag-nachtvariatie in temperatuur toeneemt naarmate het water langer in de toevoersloten zit (Locatie 2). Dit duidt op een warmte-uitwisseling tussen oppervlaktewater en atmosfeer.

Vervolgens is het effect van de onttrekking van warmte uit de WRK op de watertemperaturen in de infiltratiegeulen doorgerekend. Ieder scenario is vergeleken met het referentiescenario. Voor de maanden januari tot en met april en november en december is er geen temperatuureffect berekend. Dit komt omdat in deze maanden geen warmteonttrekking plaatsvindt en de verblijftijd van water in de AWD relatief kort is (gemiddeld 5 dagen).

De modelresultaten laten zien dat de afkoeling van instromend water sterk wordt gedempt. Van de totale afkoeling in de WRK-leiding blijft gemiddeld nog maar een fractie over (Tabel 2). Het instromende water wordt dus snel weer opgewarmd en het geulensysteem fungeert als een soort zonnecollector. Van de afkoeling die modelmatig aan het water van de WRK wordt toegekend, blijft gemiddeld tussen de 5 en 15% over (van de afkoeling van 0,6˚C blijft bijvoorbeeld 0,06˚C over voor scenario 1 in juni en juli).



Afbeelding 7 *Infiltratiegeulen Amsterdamse Waterleidingduinen en meetpunten watertemperatuur.*



Afbeelding 8 *Gemeten en berekende watertemperatuur op locatie 1 en 2 (zie Afbeelding 7 voor locaties).*

Tabel 2: Gemiddelde afkoeling (˚C) in de infiltratiegeulen per scenario per maand.

Scenario	ΔT WRK	mei	juni	juli	augustus	september	oktober
60 TJ	-0,6˚C	-0,05	-0,06	-0,06	-0,07	-0,10	-0,05
75 TJ	-0,8˚C	-0,05	-0,07	-0,07	-0,09	-0,12	-0,06
140 TJ	-1,6˚C	-0,07	-0,14	-0,14	-0,18	-0,24	-0,12
517 TJ	Afkoeling tot 15˚C	-0,16	-0,70	-0,71	-0,79	-1,19	-0,26

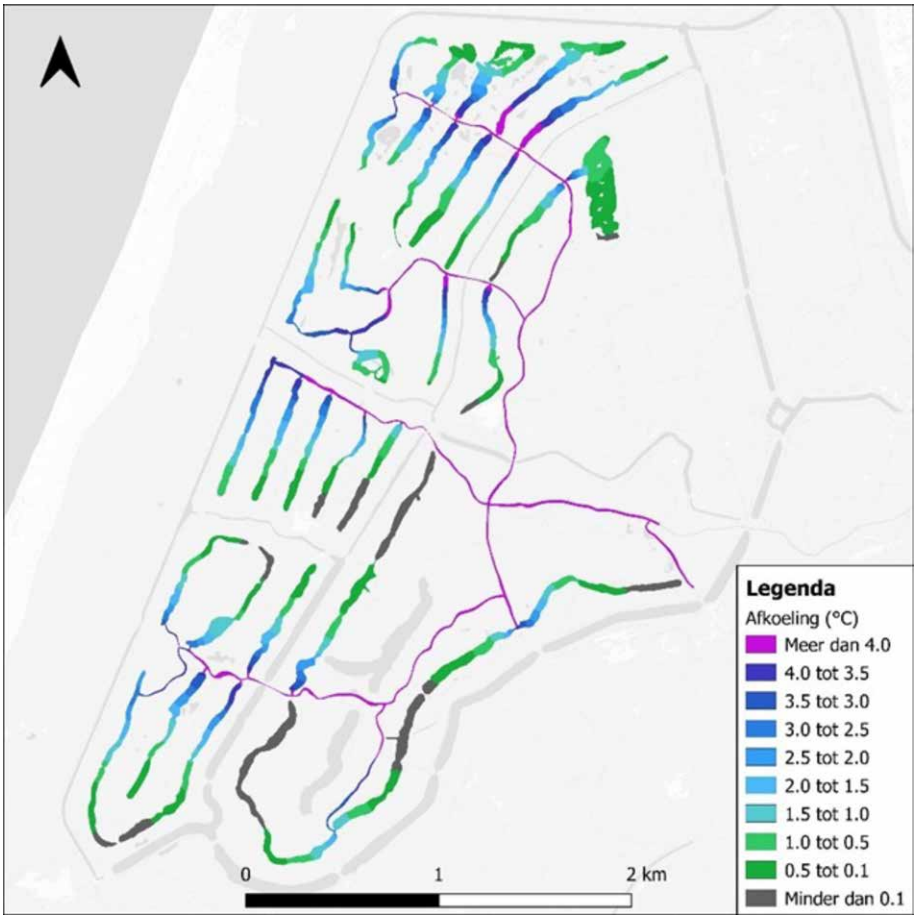
Afbeelding 9 toont een kaart van de gemiddelde afkoeling in september voor het 517 TJ-scenario. Dit is ter illustratie hoe de koudepluim zich in het infiltratie-systeem verspreidt. In de toevoersloten is de afkoeling meer dan 4˚C. In de infiltratiegeulen neemt het verschil snel af, afhankelijk van de verblijftijd. In de geulen met de langste verblijftijden is zelfs helemaal geen effect gemodelleerd.

Thermische effecten op infiltratiecapaciteit bodempassage

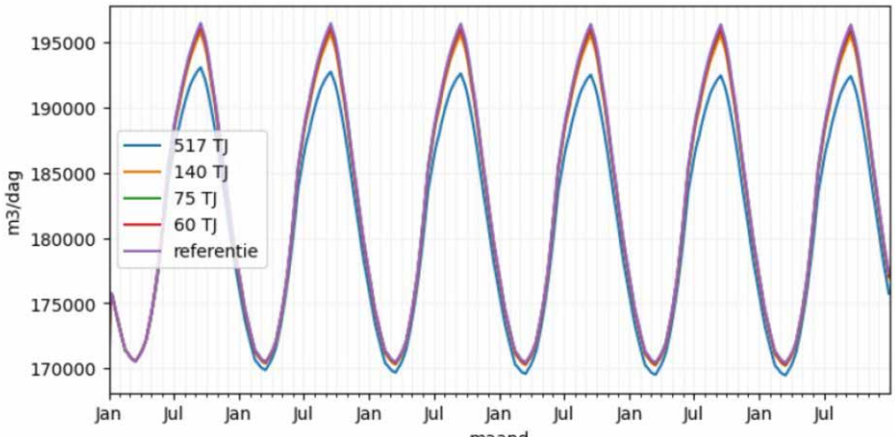
In de AWD wordt jaarlijks 70 miljoen m3 water geproduceerd. Dat is gemiddeld 192.000 m3 per dag. Bij een normale bedrijfsvoering komt 185.000 m3 per dag uit de WRK-leiding en de infiltratiegeulen, de overige 7.000 m3 is natuurlijk duin-water. Door de natuurlijke temperatuurveranderingen van de neerslag en de temperatuur in de geulen varieert de infiltratiecapaciteit van de AWD jaarlijks met 26.000 m3 per dag (circa 14% ten opzichte van het gemiddelde) (Tabel 3). De hoogste infiltratiesnelheid treedt op in september, de laagste in maart (Afbeelding 10).

Door de toepassing van aquathermie neemt de infiltratiecapaciteit van de AWD af. Het grootste effect treedt op in september (Afbeelding 11). In het 517 TJ-scenario is het capaciteitsverlies 4000 m3 per dag (circa 2%), in de overige scenario's blijft dit onder de 1000 m3 per dag. De afname in infiltratiecapaciteit gaat heel gestaag, het duurt enkele jaren voordat in het gehele systeem een nieuwe gemiddelde bodemtemperatuur is ingesteld. Pas in de laatste twee gesimuleerde jaren is er sprake van een dynamisch evenwicht.

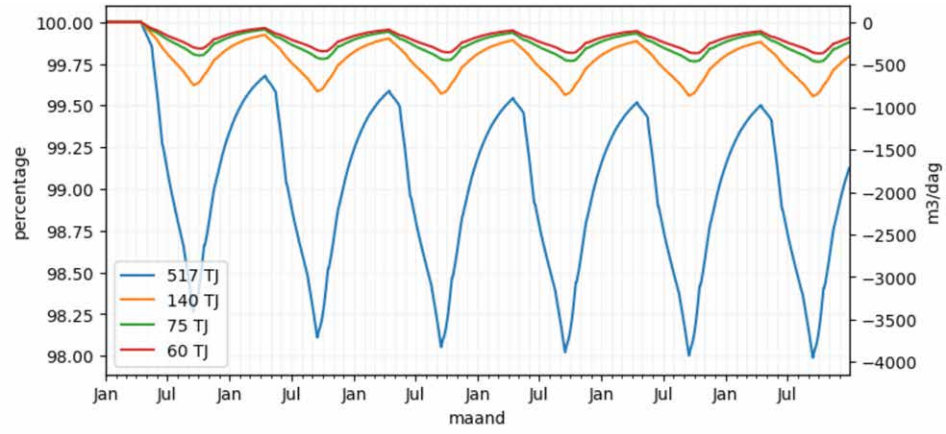
Verwacht wordt dat de effecten in alle scenario's op te vangen zijn binnen de dimensies van het infiltratie-winsysteem van de AWD. Dit heeft verschillende redenen. Het maximale effect vindt plaats in het najaar. In deze tijd van het jaar is de infiltratiecapaciteit door hoge watertemperaturen relatief groot Daarnaast zijn deze effecten berekend voor een gemiddeld jaar. De effecten tussen de jaren zijn veel groter. Om in te kunnen spelen op extremere omstandigheden, kunnen de drainagemiddelen waarmee water wordt onttrokken verder worden opgezet waardoor wincapaciteit tijdelijk kan worden vergroot (zonder aanspraak te maken op reservecapaciteit). De analyse moet nog uitgebreid worden omdat een deel van het WRK water wordt doorgeleverd aan PWN. De invloed van een temperatuur-daling is hier mogelijk eerder beperkend dan de effecten bij Waternet.



Afbeelding 9 *Gemiddelde afkoeling in september bij het 517 TJ-scenario. Schaal tot -4.0 graden Celsius.*



Afbeelding 10 *Infiltratiecapaciteit van de AWD per maand in de huidige situatie en van warmtewinning uit de WRK voor 6 jaar.*



Afbeelding 11 *Afname infiltratiecapaciteit van de AWD per maand in de huidige situatie en als gevolg van warmtewinning uit de WRK voor 6 jaar.*

Tabel 3: *Overzicht infiltratiecapaciteit verschillende scenario's in 1000 m³/dag. De verschillen zijn berekend t.o.v. van het referentiescenario.*

	Maximaal			Gemiddeld			Minimaal		
Scenario	Abso-luut	Verschil	%	Abso-luut	Verschil	%	Abso-luut	Verschil	%
Referentie	196,4			182,6			170,4		
60 TJ	196,0	-0,4	-0,2 %	182,4	-0,2	-0,1 %	170,3	-0,1	-0,1 %
75 TJ	195,9	-0,5	-0,2 %	182,4	-0,3	-0,2 %	170,3	-0,1	-0,1 %
140 TJ	195,5	-0,9	-0,4 %	182,2	-0,5	-0,3 %	170,2	-0,2	-0,1 %
517 TJ	192,4	-3,9	-2 %	180,6	-2,0	-1 %	169,5	-1,0	-0,6 %

Conclusies

In dit artikel hebben we een koudelozingsproef en gecombineerde oppervlakte-water- en grondwatermodellering gepresenteerd om de effecten in beeld te brengen van warmtewinning uit de WRK-watertransportleiding van Nieuwegein naar de Amsterdamse Waterleidingduinen. Hiermee is de doorwerking van warmtewinning op de ruwwatertemperatuur in het infiltratiegeulensysteem en gedurende de bodempassage gekwantificeerd.

De koudelozing en berekeningen laten zien dat de effecten van warmtewinning sterk gedempt worden doordat het aangevoerde water in het geulensysteem behoorlijk opwarmt voordat het infiltreert. Van de afkoeling door warmtewinning in de watertransportleiding blijft gemiddeld 5-15% over in de infiltratiegeulen. Het koudere water heeft een hogere viscositeit en infiltreert daardoor langzamer. In de verschillende scenario's wordt een maximale afname in infiltratiecapaciteit gevonden variërend van 0,2% (voor 60 TJ warmtewinning) tot 2% (voor 517 TJ). De fluctuatie gedurende het jaar, doordat het in de winter kouder is dan in de zomer, bedraagt circa 14%. Het effect van de warmtewinning op de infiltratie-

capaciteit is het grootst direct na de zomer, juist wanneer de infiltratiecapaciteit als gevolg van de seizoenale temperatuurfluctuatie het grootst is. Verwacht wordt dat deze effecten wegvallen ten opzichte van de seizoensfluctuaties en goed opgevangen kunnen worden in het infiltratiesysteem van Waternet.

Het afkoelen van het water kan ook effecten hebben op de ecologie in de Waterleidingduinen. De huidige inzichten zijn dat die effecten zowel positief als negatief kunnen zijn (De Lange et al., 2017). In het project worden de ecologische effecten nader onderzocht met een ecologisch veldonderzoek gepland voor de zomers van 2025 en 2026.

Referenties

De Lange, M., Jacobs, C. en P. Boderie (2017) Ecologische effecten koudwaterlozingen. *STOWA Deltafact. https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/verzilting/ecologische-effecten-koudwaterlozingen-aquathermie*

Deltares (2024) D-Flow Flexible Mesh. Computational Cores and User Interface. User manual. Version 2024.03

De Groot-Wallast, I. en R. Vlijm (2022) Modelleren van verspreiding van koude in oppervlaktewater door TEO installaties (een aanbeveling van WarmingUp). https://www.warmingup.info/documenten/de-groot-wallast-2022-modelleren-van-verspreiding-van-koude-in-oppervlaktewater-door-teo-installaties_warmingup-rapport-t3b.pdf

Langevin, C.D., J.D. Hughes, E.R. Banta, R.G. Niswonger, S. Panday en A.M. Provost (2017) Documentation for the MODFLOW 6 Groundwater Flow Model: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A55, 197 p. https://doi.org/10.3133/tm6A55

Kamps, P.T.W.J. (2006) Kalibratie van het grondwaterstromingsmodel van de Amsterdamse Waterleidingduinen en de omgeving (AMWADU 2005)

Hughes, J.D., C.D. Langevin, S.R. Paulinski, J.D. Larsen en D. Brakenhoff (2023) FloPy Workflows for Creating Structured and Unstructured MODFLOW Models. Groundwater. https://doi.org/10.1111/gwat.13327

Waternet (2022) Omgevingswarmtekaart https://www.waternet.nl/innovatie/energietransitie/omgevingswarmtekaart/ geraadpleegd op 16 april 2025

Summary The Effect of Heat Extraction from Water Transport Pipelines on the Amsterdam Water Supply Dunes

In this paper, we present a field test and combined surface water and groundwater modelling approach to assess the effects of heat extraction from the water transport pipeline between Nieuwegein and the Amsterdam Water Supply Dunes. A reference scenario and four heat extraction scenarios were simulated with heat extraction of 60, 75, 140, 517 TJ/year. In the first three scenario's, the water temperature is reduced by 0.6, 0.8, 1.6°C, compared to the reference temperature. The water temperature in the last scenario is reduced to 15°C, resulting in a variable temperature decrease of up to 9°C. The field test and modelling showed that the effects of heat extraction are strongly mitigated due to the reheating of incoming water in the surface water network and infiltration channels. The reduction in water temperature leads to a decrease in infiltration velocity due to

the increase in viscosity and density. In the different scenarios, a maximum decrease in infiltration velocity is found ranging from 0.2% (for 60 TJ heat extraction) up to 2% (for 517 TJ). This effect is small compared to the seasonal variation in infiltration velocity of approximately 14%.

Auteurs

ARJAN VAN WACHTENDONK
Waternet
arjan.van.wachtendonk@waternet.nl

JORIS WESTENEND
Waternet
joris.westenend@waternet.nl

MATTHIJS BONTE
Waternet/MB-Water
matthijs.bonte@mb-water.nl