

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water

Aan: Jurian Pronk
Van: Arend de Wilde
Datum: 26 april 2021
Ons kenmerk: BG3953WATNT2101051642
Classificatie: projectgerelateerd

Onderwerp: Effectbeoordeling van de warmteleiding op het eco-aquaduct en het NNN

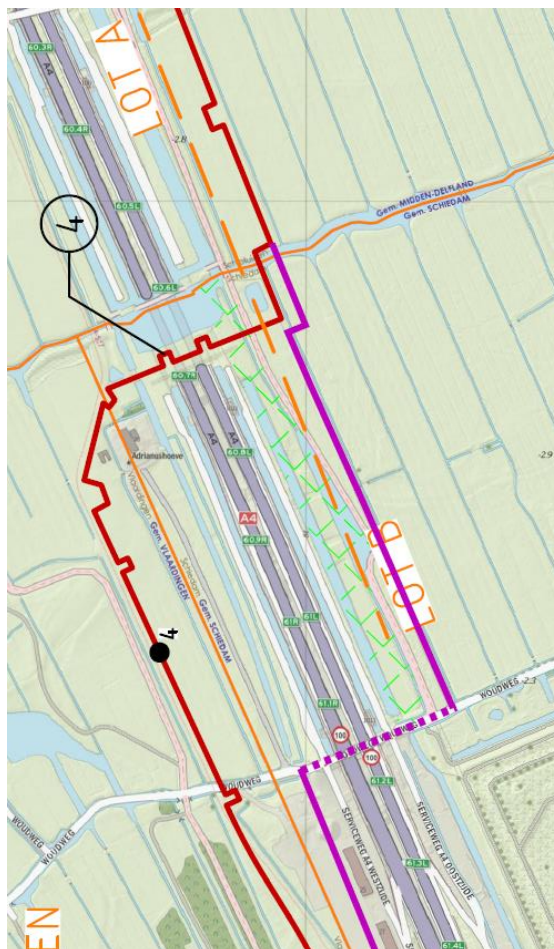
1 Aanleiding

WarmtelinQ (voorheen Eneco Warmtenetten B.V. en LdM C.V.) is voornemens om een warmte-transportleiding aan te leggen vanaf Vlaardingen (aftak van de Leiding over Noord) naar Den Haag via Delft.

Het tracé kruist het Natuurnetwerk Nederland (NNN), ter hoogte van het viaduct over de A4 en De Zweth, zie figuur 1.

De bovenkant van de transportleiding wordt in principe op een minimale diepte van 1 meter ten opzichte van het maaiveld gelegd. In de leiding wordt warm water verpompt. Hoewel de leiding goed geïsoleerd is om warmteverlies te voorkomen, zal er toch enige opwarming van de bodem rondom de leiding plaatsvinden. Verwarmen van de bodem kan effecten hebben op flora en fauna. Deze effecten zullen nader besproken worden in deze memo.

Deze versie van de memo is een update van de versie van 5 januari op basis van het definitieve rapport van Deltares over de verwachte opwarming met als referentie: 11206615-000-GEO-0002, 23 maart 2021 (zie bijlage).



Figuur 1. Ligging van het tracé (rode lijn) en de werkweg (paars) ten opzichte van het NNN (groen gearceerd).

2 Natuurwaarden NNN en het ecoduct

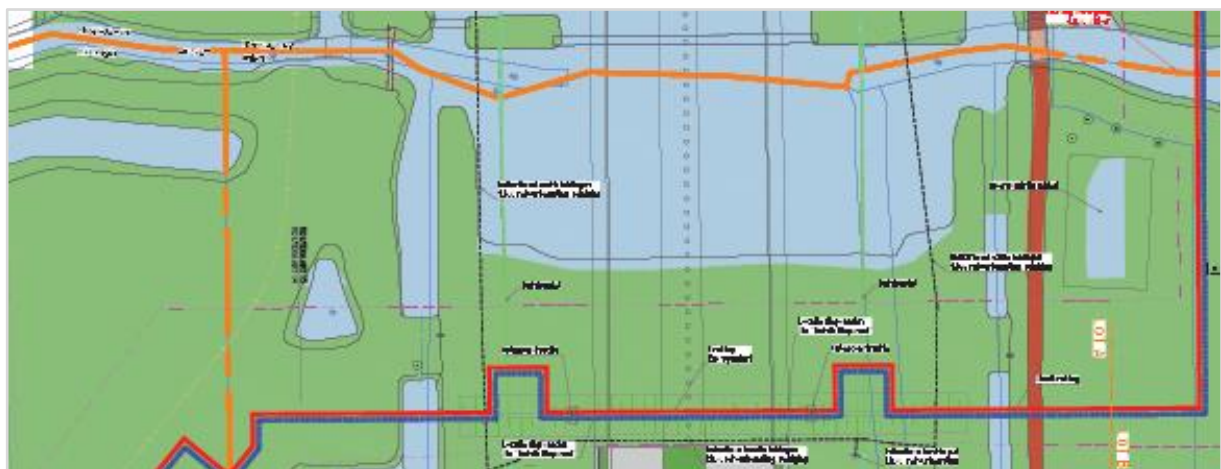
Volgens de kaart op website van de provincie van het NNN behoort alleen de smalle strook grond met sloot tussen de dijk naast de A4 en het fietspad tot het NNN (figuur 1). Daarmee zou het ecoduct (officieel: eco-aquaduct Zweth en Slinksloot) geen onderdeel zijn van het NNN. Gezien het belang van het ecoduct voor het NNN is ervan uitgegaan dat deze functioneel onderdeel uitmaakt van het NNN.

De nagestreefde natuurdoeltypen voor het ecoduct en het NNN zijn weergegeven in de Natuurbeheertypenkaart van de provincie Zuid-Holland. Volgens de Natuurbeheertypenkaart (pzh.b3p.nl/viewer/app/Natuurbeheerplan) uit 2020 wordt het deel dat is aangewezen als ecologische verbindingszone beheerd als N05.01 Moeras. Op de beheertypenkaart uit 2021 is voor het NNN deel als beheertype N05.03 N05.03 Veenmoeras. In de praktijk varieert het waterdeel op het ecoduct tussen de 50 en 60 meter en is er ook een 45 meter brede landstrook met een drogere graslandvegetatie en aan de zuidzijde een kade ook met een gras en kruidenvegetatie.

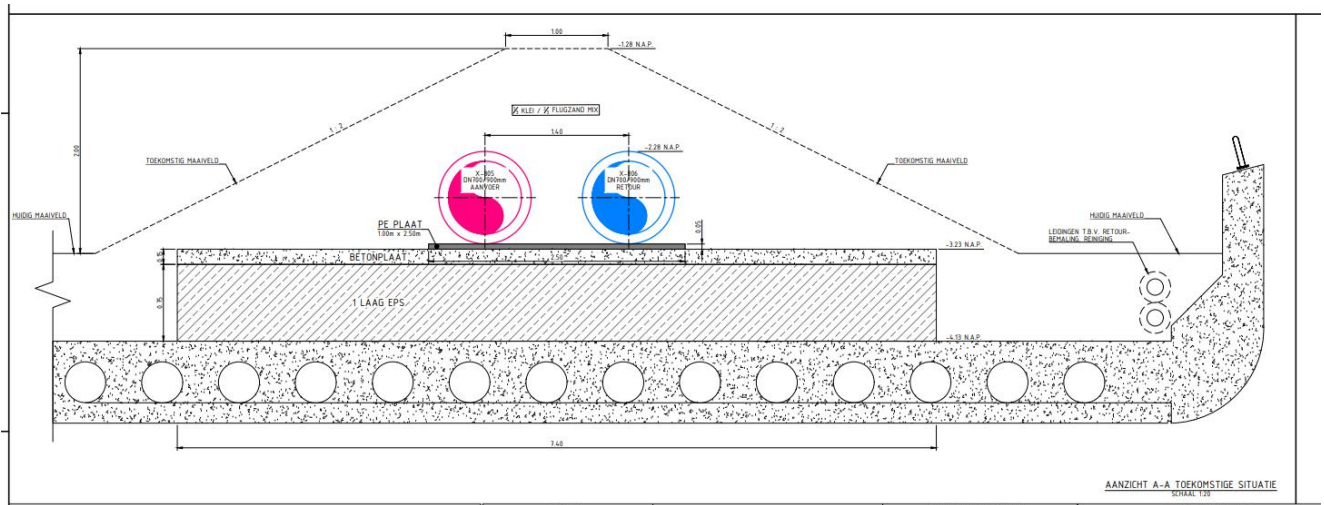
Met een breedte van 100 meter is het eco-aquaduct over de A4 het breedste van Nederland. Deze is in 2014 aangelegd en de vegetatie is hier dus pas relatief recent in ontwikkeling. Het is een combinatie met zowel land als waterhabitats. De verbinding zelf ligt op maaiveldniveau, de A4 loopt er onderdoor. Zo blijft de verbinding met het natuurgebied rondom de A4 Delft-Schiedam intact. Via het eco-aquaduct kunnen dieren zich makkelijker verspreiden. Het eco-aquaduct is onder meer bedoeld voor de noordse woelmuis, de hermelijn, de bunzing, de waterspitsmuis, verschillende vleermuissoorten, de rugstreeppad en diverse vissoorten en insectensoorten.

3 De warmteleiding

Het tracé van de warmteleiding loopt over het eco-aquaduct Zweth en Slinksloot. De kruising met de A4 vraagt om een speciale constructie omdat de snelweg er onderdoor loopt. Op het viaduct is al een klein dijklichaam aanwezig dat wordt vergraven tot op een betonplaat die op een EPS pakket ligt. Dit EPS pakket ligt op het dak van het ecoaquaduct. Op de betonplaat wordt een PE plaat geplaatst waar vervolgens de warmtetransportleiding op worden geplaatst, zie figuur 2 en 3.



Figuur 2. Bovenaanzicht van de kruising van het viaduct. Bron: Rotterdam Engineering, 2019



Figuur 1. Doorsnededetail ter hoogte van het viaduct. Bron: Rotterdam Engineering, 16-10-2020.

Het geheel wordt vervolgens weer bedekt met het afgegraven materiaal van het dijklichaam (een Flugzand-klei mengsel). Het herstelde dijklichaam wordt vervolgens ingezaaid met gebiedseigen materiaal (maaisel uit de directe omgeving) of indien mogelijk met de oorspronkelijke zoden van de kade. Direct naast het viaduct worden 4 buispalen geheid, om belasting door verzakking van de leiding op het viaduct te voorkomen.

Tijdens het functioneren van de warmteleiding stroomt er warm water door de leidingen wat warmte aan de omringende grond af zal staan. Het hele jaar door zal er warm water door de leiding stromen dus zowel in de winter als zomer zal de grond rondom de leiding warmer zijn dan de omgeving.

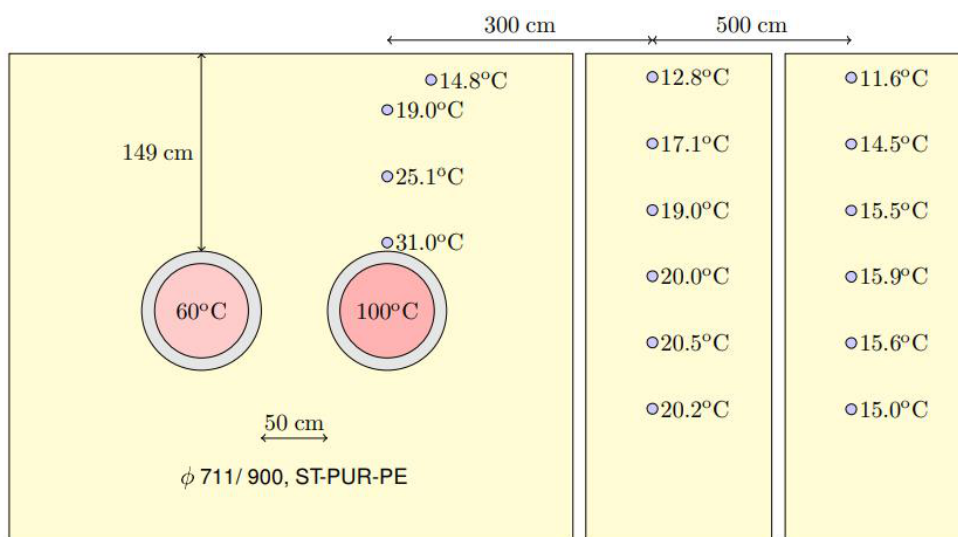
Onder natuurlijke omstandigheden wordt de bodemtemperatuur aan de oppervlakte bepaald door zonne-energie via directe instraling en luchttemperatuur. Op grote diepte speelt daarnaast ook aardwarmte, maar dat is voor de dieptes waar het voor dit project om gaat niet relevant. De directe zoninstraling en de luchttemperatuur hebben een dag- en nachtritme die op maaiveld temperatuurverschillen tot meer dan 20 graden tussen dag en nacht kan geven. Deze verschillen dempen in de bodem snel uit naar de gemiddelde temperatuur beneden de 20 cm diepte¹. Onder de 1 meter diepte dempt ook de jaarlijkse temperatuurf fluctuatie grotendeels uit en heerst een vrijwel constante temperatuur die overigens onder invloed van klimaatverandering wel langzaam toeneemt.

Het bovenstaande ontwerp van de warmteleiding was gebaseerd op modelberekeningen. Vanuit zowel SBB als RWS waren er vragen over de feitelijke warmteafgifte van de leiding, met name op het eco-aqueduct en onder de sloot in het naastgelegen deel van het NNN. Om een beter inzicht te krijgen in de feitelijke warmte-afgifte van een dergelijke leiding, heeft Deltares in 2020 metingen uitgevoerd langs een bestaande warmteleiding (Leiding over Noord) met vergelijkbare watertemperaturen en uitvoering. Hiervoor is met een meetlans zowel boven als naast de leiding op verschillende dieptes en afstanden gemeten wat de temperatuur is. In totaal is er op drie van dergelijke locaties gemeten (figuur 4). en zijn de uitkomsten vergelijkbaar. De resultaten van sectie 2 zijn weergegeven (figuur 5).

¹ http://projects.knmi.nl/hawa/pdf/Handboek_H11.pdf

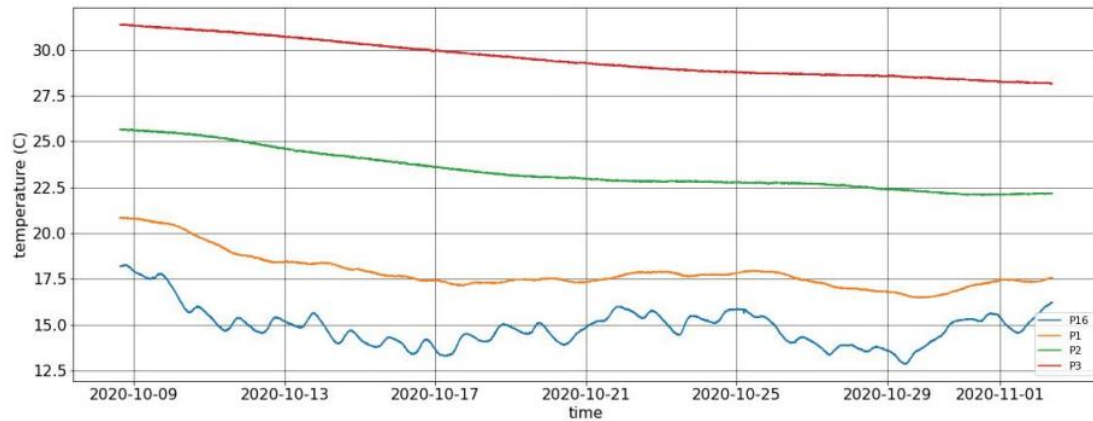


Figuur 4. Meetopstelling bodemtemperatuur (Deltares 2020).

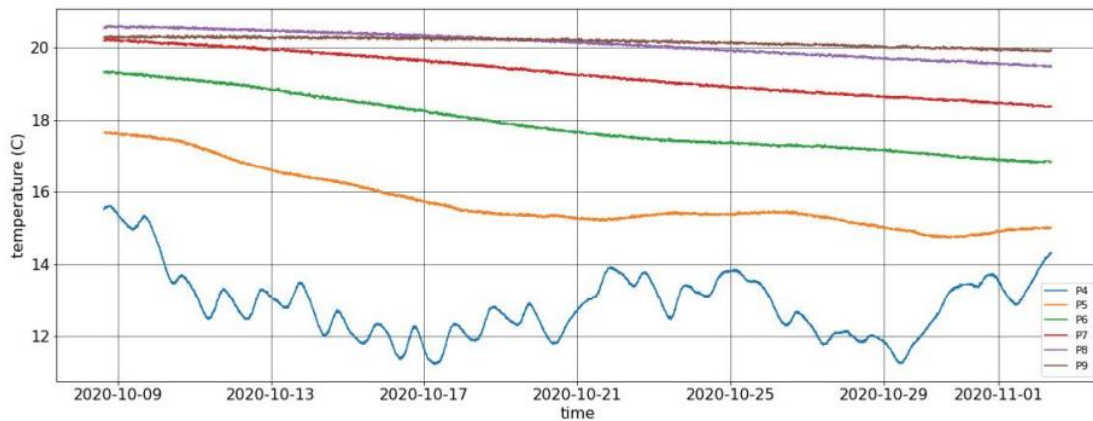


Figuur 5. Testopstelling sectie 2 boven en op 3 en 8 m naast de buizen.

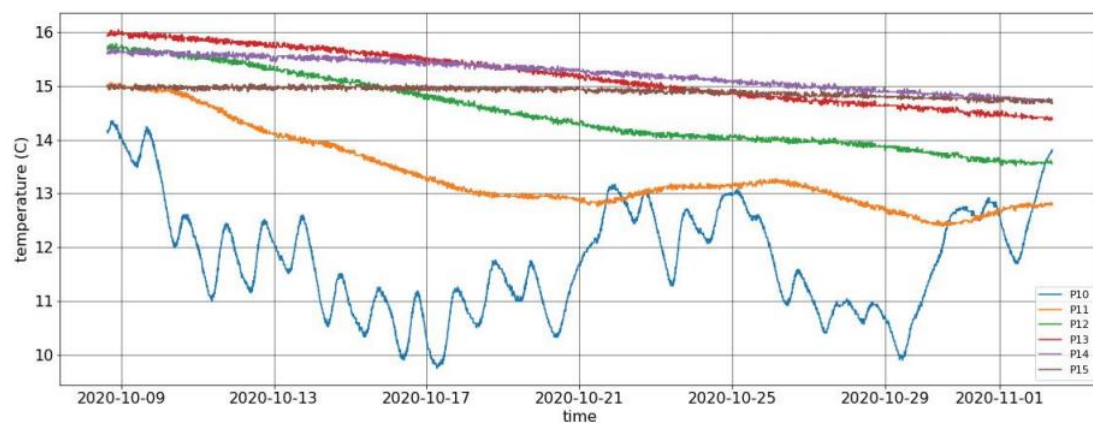
De resultaten van de metingen van sectie 2 zijn in figuur 6-8 weergegeven. Hierbij is de temperatuur van 20 cm onder maaiveld steeds met de onderste blauwe lijn weergegeven. Daar is duidelijk de effecten van de dag en nachtverschillen van de buitentemperatuur te zien.



Figuur 6. Temperatuur op verschillende dieptes direct boven de warmteleiding (Deltares)



Figuur 7. Temperatuur op verschillende dieptes op drie meter naast de warmteleiding (Deltares)

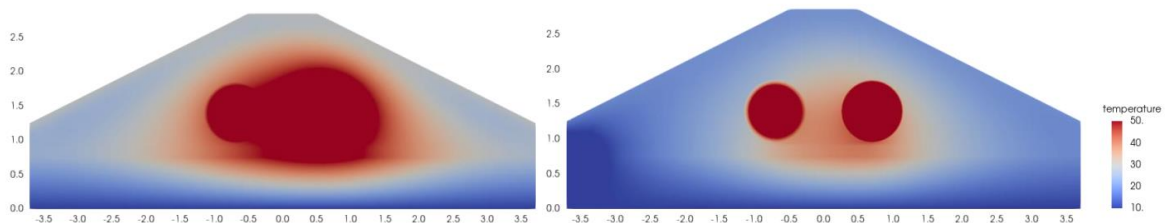


Figuur 8. Temperatuur op verschillende dieptes op 8 meter naast de warmteleiding (Deltares)

Uit deze metingen van Deltares komen een paar aandachtspunten naar voren:

- De warmte rond de buizen verspreid zich verder in horizontale richting dan naar boven. Tot op meer dan 8 meter naast de buizen zijn effecten van maximaal 2 graden gemeten. In sectie 3, met de buitenste meting op 13 meter naast de leiding zijn geen effecten meer gemeten.
- De opwarming neemt in verticale richting sneller af, en is bij de gemeten warmteleiding tussen de 2 en 4 graden op 20 cm -mv.

Met behulp van de temperatuurmetingen uit 2020 heeft Deltares hun rekenmodel gekalibreerd. Deltares heeft met dit rekenmodel in 2021 een aanvullende berekening uitgevoerd aan de warmteleiding op het ecoaquaduct en de sloot ernaast². Hierbij is gebruik gemaakt van de lokale informatie over ligging, gebruikte materialen en bodemopbouw. Van aanzienlijk belang blijkt de hoeveelheid water in de bodem. In een volledig droge bodem is de opwarming in de wortelzone aanzienlijk hoger dan in een waterverzadigde situatie. In figuur 9 is dit weergegeven.



Figuur 9. Resultaten modelberekening van de temperatuurverdeling. Links geheel droge bodem, rechts natte bodem. Referentiedatum 24 augustus 2019 (Deltares 2021)

Uit de modelberekeningen blijkt dat de opwarming in de wortelzone van het dijkje varieert van gemiddeld 6 graden in volledig droge situatie (links in figuur 9) tot 3 graden als de bodem verzadigd is van regenwater (rechts in figuur 9). Overigens zal in de praktijk de linker situatie niet optreden omdat er altijd wat bodemvocht aanwezig zal zijn.

Naar mate de afstand van de leiding toeneemt zullen deze waarden lager liggen zoals te zien is naar de zijkanten van het dijkje. Doordat de warmteleiding in een dijkje ligt op ongeveer het niveau van het omringende maaiveld, is niet aannemelijk dat deze warmte horizontaal verder zal reiken dan het talud van het dijkje.

De modelberekeningen voor de sloot in het NNN geven aan dat de bodem van de sloot direct boven de warmteleiding tot maximaal 6 graden opwarmt en ter plaatse van de slootrand 4 graden. Het volume water boven de warmte leidingen wordt ingeschat op 12 m³. Dit volume zal door een stroomsnelheid in de sloot, die wordt aangenomen op 1 m/d, in 3,5 dagen zijn ververs. Als gevolg van de thermische eigenschappen van water stijgt de temperatuur van het slootwater in die 3,5 dagen met 1°C. Het wegstromende water koelt af doordat warmte wordt afgestaan aan de lucht en de bodem verderop.

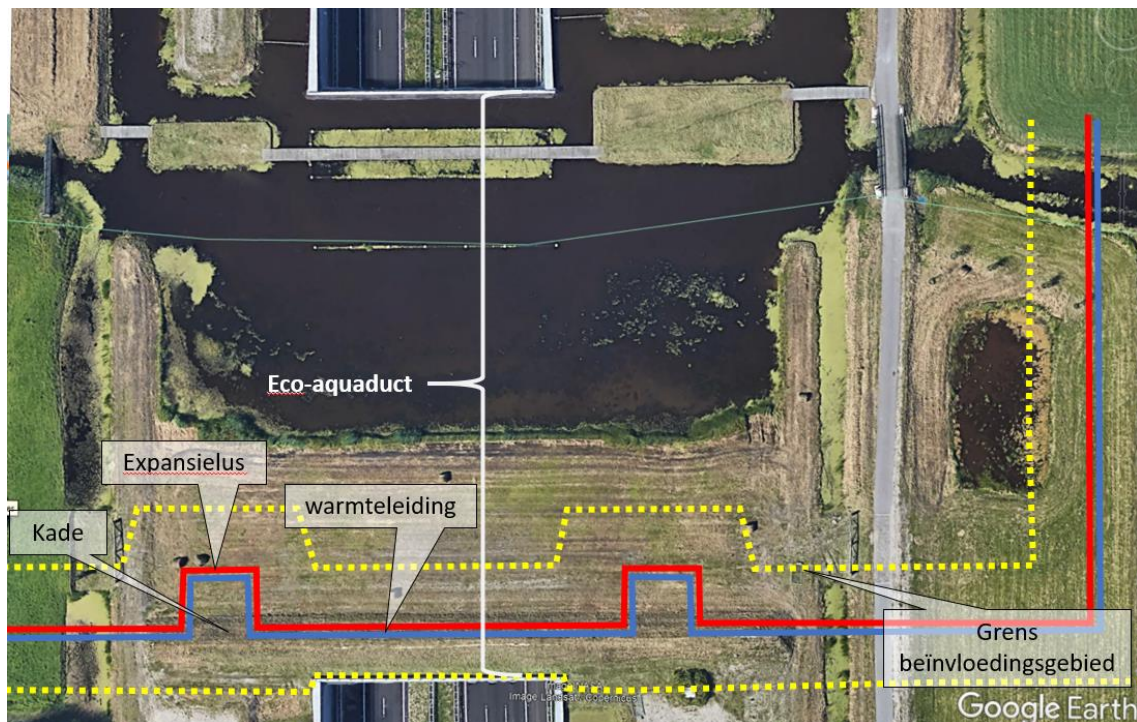
² Esch, van J. 20121. Opwarming eco-aquaduct A4 Schiedam. In opdracht van WarmtelinQ. Deltares.

4 Effect van de warmteleiding op flora en fauna

4.1 Beschrijving situatie

De ligging van de warmteleiding is aan de zuidkant van het eco-aquaduct onder de kade. Hier is de gronddekking ongeveer 1 meter. De warmteleiding heeft expansielussen die ongeveer 10 meter verder naar de noordzijde uitsteken en daarmee niet meer onder de kade liggen. De gronddekking zal ter plekke van de expansielussen ook ongeveer 1 meter zijn omdat de leiding hier dieper komt te liggen en de kade ter plekke verbreedt zal worden.

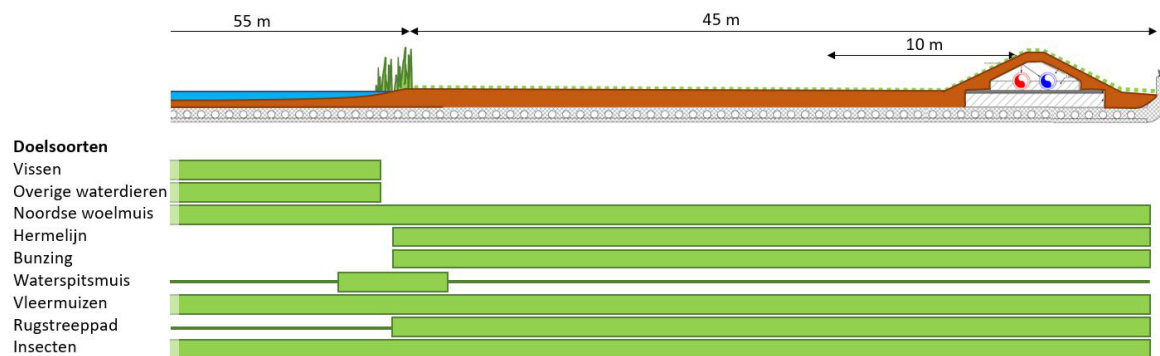
Op basis van de resultaten van de warmtemetingen, de modelberekeningen, de ligging van de leiding en de gronddekking is in figuur 9 globaal aangegeven in welk gebied naar verwachting maximaal enige opwarming van de bodem plaats kan vinden. Omdat de leiding in een dijkje ligt is de verwachting dat de horizontale opwarming echter minder zal zijn dan gemeten in een vlak gebied door Deltares in 2020.



Figuur 10. Bovenaanzicht van het eco-aqueduct (Google Earth) met daarop ingetekend de warmteleiding (rood/blauw) en een contour van ongeveer 10 meter (geel) rondom de warmteleiding als begrenzing van het beïnvloedingsgebied.

In figuur 11 is een dwarsdoorsnede van het zuidelijke deel van het eco-aqueduct gemaakt en is deze gerelateerd aan ruimtegebruik van de doelsoorten voor zover deze bekend zijn. Naast doelsoorten is een ecoduct vaak vooral van belang voor algemene soorten. Dit betreft zowel in principe allerlei diergroepen en ook plantensoorten. Het spreekt voor zich dat watergebonden organismen als vissen, waterslakken, libellenlarven etc., aan het waterdeel gebonden zijn, terwijl landorganismen zoals veel zoogdieren (haas, mol, muizen en ook de doelsoorten noordse woelmuis, hermelijn, waterspitsmuis en bunzing) en veel soorten ongewervelden over het landdeel zullen bewegen. Vliegende soorten (vleermuizen, insecten) kunnen zowel over het water als het landdeel vliegen. In de praktijk volgen vlinders echter vaak de luwte van de vegetatie of de dijk is de verwachting. Ook vleermuizen volgen vaak landschappelijke structuren zoals de oever met oeervervegetatie of de kade voor hun vliegroutes. In figuur 11 is globaal aangegeven

welk deel van de ecoverbinding voor welke soort geschikt is. Snelle soorten (haas, hermelijn, vleermuizen, vogels etc.) passeren de het eco-aquaduct in seconden of minuten en kiezen daarvoor het moment in het jaar en dag dat voor hen geschikt is. Andere soorten kunnen veel langer op het eco-aquaduct verblijven of daar zelfs een groot deel van hun leven doorbrengen. Voor deze laatsten is het van belang dat zij het hele jaar door geschikte leefomstandigheden op het eco-aquaduct zullen vinden. Dit betreft in ieder geval planten en ook weinig mobiele soorten als slakken, mieren, etc.



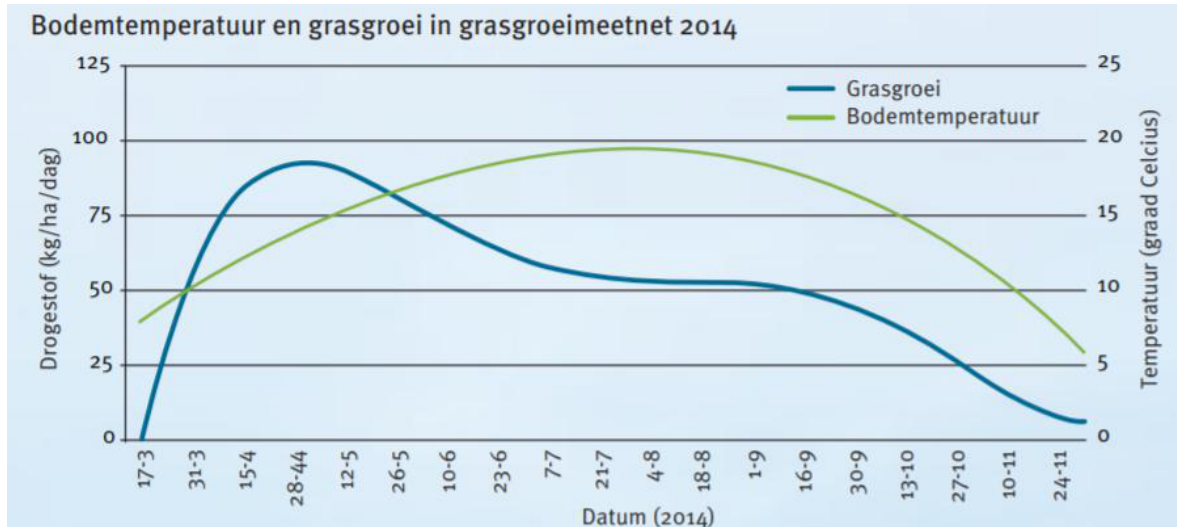
Figuur 11. Dwarsdoorsnede van het eco-aquaduct met daarop ingetekend de warmteleiding (rood/blauw) en globaal de zones die door de verschillende doelsoorten(groepen) gebruikt kunnen worden (RHDHV).

Direct ten oosten van het eco-aquaduct kruist de warmteleiding een stukje NNN met daarin een slootje van ongeveer 4 m breed net ten zuiden van de duiker (zie figuur 10).

4.2 Overwegingen

Op het eco-aquaduct is onbekend of de warmte van de warmteleiding tot meer dan 8 meter meetbaar zal zijn zoals bij de Leiding om noord waar de proefmetingen zijn uitgevoerd. Op het eco-aquaduct is immers maar een dunne bodemlaag die zowel naar de lucht als naar het betondek eronder ook warmte af kan geven. In deze rapportage is op basis van de beschikbare informatie ervan uitgegaan dat er maximaal tot 10 meter vanaf de leiding nog enig warmte-effect meetbaar zal zijn. De verwachting is echter dat dit gezien de beperkte grond dikte en door de ligging in het dijkje duidelijk minder zal zijn. Uit de metingen in het veld voor de Leiding om Noord is wel duidelijk dat bij een gronddekking van ongeveer 1 meter, een opwarming van 2-5 graden boven de referentiewaarden te verwachten is op een diepte van 20cm - mv direct boven de warmteleiding. De modelberekeningen van Deltares (2021) gaan uit van een range van 3 – 6 graden, waarbij 6 graden alleen bij extreem droge omstandigheden te verwachten is. De verwachting is daarom dat ook voor WarmtelinQ op het eco-aquaduct direct boven de warmteleiding de temperatuur 3-5 graden hoger zal zijn dan de omgeving, en dat op afnemende afstand deze opwarming afneemt en maximaal tot op 10 meter afstand van de warmteleiding meetbaar zal zijn.

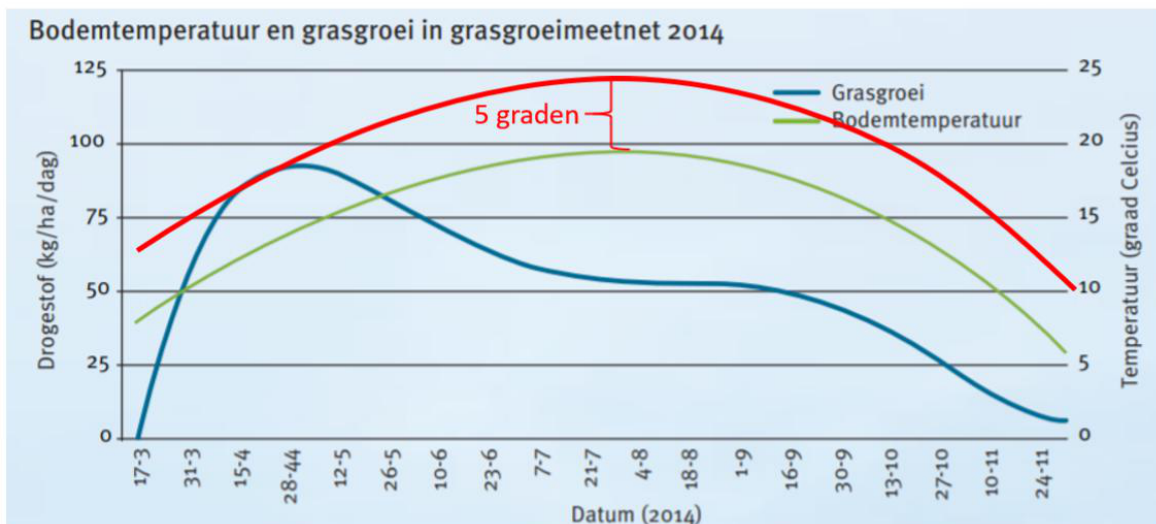
De lokale bodemtemperatuur is afhankelijk van verschillende factoren zoals de directe zoninstraling, beschaduwning (door bv hoog opgaand gras), luchttemperatuur, wind, bodemtype en hellingshoek. In figuur 12 is het gemiddelde bodemtemperatuurverloop onder grasland in combinatie met de ontwikkeling van de grasvegetatie door het jaar weergegeven.



Figuur 12. Relatie bodemtemperatuur en grasgroei. (Bron Wageningen UR. <https://edepot.wur.nl/338038>)

Bij een bodemtemperatuur van ongeveer 8 graden begint gras te groeien. Boven de 20 graden stoppen de in Nederland voorkomende grassen geleidelijk met groeien om bij een bodemtemperatuur van rond de 25 graden geheel te stoppen. De groei is optimaal tussen een bodemtemperatuur van 12°C en 20°C.

Een opwarming van 0-5 graden van de bodem van een deel van het eco-aquaduct zorgt ervoor dat in dat deel zowel de minimumtemperatuur als de maximumtemperatuur hoger komt te liggen. In figuur 13 is dit schematisch aangegeven in dezelfde figuur als figuur 12 hoe de bodemtemperatuur dan globaal zou verschuiven bij een maximale toename van 5 graden. Hiervan zal alleen sprake zijn direct boven de warmteleiding, op de taluds en direct naast het dijkje is het dus minder.



Figuur 13. Als figuur 12 met daarin toegevoegd de bodemtemperatuur met 5 graden verhoging

Uit figuur 13 valt op dat bij een maximale verhoging van 5 graden de minimumtemperatuur hooguit 1-2 maanden onder de 8 graden zal vallen. De maximale temperatuur zal ook in de zomer vrijwel altijd nog onder de 25 graden blijven en een groot deel van het jaar zal de bodemtemperatuur boven de 20 graden

liggen. Als gevolg hiervan zal in het winterhalfjaar, globaal van half oktober tot half mei, op de warmste plek dicht boven de leiding het gras het grootste deel van de tijd goed kunnen groeien, terwijl in het zomerhalfjaar vooral kruiden die van droogte en warmte houden zich daar zullen ontwikkelen. Naar mate de afstand tot de warmteleiding afneemt, zal dit effect ook afnemen.

De meeste kruiden en grassen die in grasland en dus ook op het eco-aquaduct en de het NNN groeien, wortelen tot 20-30 cm diepte. Het slootje waar de warmteleiding onderdoor loopt, heeft de waterbodem op ongeveer 40-50 cm beneden maaiveld. Langs de oever van het slootje groeien moerasplanten die vooral oppervlakkig wortelen. De planten direct boven de warmteleiding zullen in hun wortelzone dus een substraat aantreffen dat 2-5 graden warmer is dan gemiddeld. Deze hogere warmte zal, naast de hogere warmte zelf, ook leiden tot snellere uitdroging. Deze groeiplek zal daarom in het zomerhalfjaar vooral geschikt zijn voor soorten die diep wortelen, en dus minder last hebben van uitdroging, voor droogtetolerante soorten, en soorten met een korte groeicyclus die na een regenbui de hele groeicyclus snel doorlopen. In de winterperiode is het neerslagoverschot voldoende om droogtestress bij de meeste soorten te voorkomen³ en zal droogte nauwelijks invloed hebben op de soortensamenstelling.

De jaargemiddelde temperatuur in Nederland is sinds 1906 met 1,9 C toegenomen. De lente en de zomer zijn het sterkst opgewarmd. De belangrijkste reden voor de trendmatige toename van de gemiddelde temperatuur op aarde in de laatste 50 jaar is het door de mens veroorzaakte versterkte broeikaseffect⁴. De huidige Nederlandse natuur heeft dus te maken met een temperatuurregime die al aanzienlijk warmer is dan ruim een eeuw geleden. Hieraan zijn allerlei gevolgen gerelateerd zoals:

- Verdroging. Dit wordt deels ook veroorzaakt door toegenomen onttrekkingen en drainages
- Verschuiving groeiseizoenen. De plantengroei – en bloei komt eerder op gang na de winter en loopt langer door.
- Verdwijnen van droogte- en warmte-intolerante soorten.
- Toename en introductie van droogte- en warmte-minnende soorten

De verwachting is dat deze processen de komende jaren zeker door zullen gaan. Als gevolg hiervan vindt er een verschuiving plaats in zowel de flora als de fauna waarbij de verwachting is dat de soortensamenstelling in Nederland uiteindelijk gaat lijken op de huidige situatie in midden Frankrijk.

Dijken en kades vormen een kunstmatig habitat in het Nederlandse landschap en met name op dijken in het rivierengebied hebben zich in de loop van de eeuwen soorten afkomstig uit Midden-Europa gevestigd. Aan de ene kant omdat zichzelf of hun zaden via het rivierwater of de oevers konden migreren, en anderzijds omdat de dijken en natuurlijke afzettingen van kalkrijk zand voor geschikte habitats zorgden. Dit betreft bijvoorbeeld de vele soorten van stroomdal- en glanshaverhooilanden. Veel van deze soorten uit het heuvel- en bergland van de bovenloop van de Rijn hebben behoefte aan kalkrijke en goed gedraineerde bodems en groeien daarom beter in zanderige en droge bodems. De abiotiek in de vorm van bodemmateriaal, helling en expositie van de dijk bepaalt voor een belangrijk deel welke vegetatie er - duurzaam - mogelijk is op een dijk. Voor het ontwikkelen van een biodiverse vegetatie en bijbehorende fauna op dijken wordt gestreefd naar een bodem die kalkrijk is en snel opdroogt. Dat botst vaak met de rol die de vegetatie op de dijk heeft ten aanzien van de waterveiligheidsfunctie waar het bijdraagt erosie te voorkomen. Deze erosiebestendigheid wordt bepaald door de samenstelling van de toplaag van de dijk in combinatie met de dijkvegetatie. De dijkvegetatie zorgt ervoor dat de erosiekrachten van het langsstromend water niet rechtstreeks de bodem raken. Daarom is een dichte vegetatie en een goede doorworteling van belang voor dijken met een waterkerende functie.

³ Luske, B. et al. 2012. Beworteling van grasland en droogtetolerantie. Louis Bolk Instituut. Publicatienummer 2012-028 LbD

⁴ <https://www.clo.nl/indicatoren/nl022613-temperatuur-mondiaal-en-in-nederland>

De kade op het eco-aquaduct heeft geen enkele waterveiligheidsfunctie en er is daarom geen enkele noodzaak om een dichte en gesloten grasmat in stand te houden. De kade heeft vooral een windkerende om te zorgen voor luwte voor vliegende dieren en daarnaast een geleidende functie voor bijvoorbeeld vleermuizen. Het is daarvoor helemaal niet relevant of de vegetatie wel of niet goed ontwikkeld is. Daar komt bij dat de kade klein is en daardoor de taluds kort. De hoeveelheid afstromend regenwater zijn daardoor beperkt en er is geen sprake van grote volumes of hoge stroomsnelheden die voor erosie kunnen zorgen.

De vegetatie op de kade is leef- en foerageergebied voor allerlei soorten. Daarvoor is vooral de biodiversiteit een belangrijk criterium. Meer soorten planten (en daarmee samenhangende diersoorten) betekent immers meer kansen voor andere soorten om, schuilplaatsen, voedselplanten, nectar of prooien te vinden. De kade zorgt doordat deze droger is dan de rest van het landdeel van de eco-aquaduct en betekent daarmee een verrijking van het aanbod van habitats. De zuidkant van de kade warmt bovendien meer op dan de rest van de graslanden, en biedt daarom al vroeger in het voorjaar tot later in het najaar een plek waar planten kunnen groeien en bloeien en waar koudbloedige dieren zich kunnen opwarmen.

4.3 Effecten van de warmteleiding op het eco-aquaduct

Tijdens de aanleg van de warmteleiding wordt het bestaande talud op het eco-aquaduct geheel vergraven. Hierdoor zal de kade tijdelijk niet gebruikt kunnen worden als leefgebied of verbindingszone. Doordat het overgrote deel van het eco-aquaduct onaangetast blijft, kunnen daar alle functies wel behouden blijven. Wel dient tijdens de aanleg negatieve effecten op bijvoorbeeld broedvogels voorkomen te worden door het implementeren van de maatregelen uit het ecologisch werkprotocol.

Uit de beschrijving van de effecten van de warmteleiding en de overwegingen in de vorige paragraaf blijkt duidelijk dat de effecten maximaal tot op 10 meter van de leiding op zullen treden. Daar volgt direct uit dat er over een breedte van ongeveer 80 meter van het eco-aquaduct in het geheel geen effecten op zullen treden. Het gehele waterdeel inclusief de oevervegetaties zullen dus zeker geen effecten ondervinden.

De kade, en vooral de strook boven de leiding zal vrijwel zeker te maken krijgen met een opwarming in de ordegrootte van 2-5 graden gedurende het hele jaar in de wortelzone van de vegetatie. Dit zal invloed hebben op standplaatsfactoren als droogte en temperatuur. Hierdoor zal in het winterhalfjaar vooral het groeiseizoen van alle daarop voorkomende vegetatie verlengd worden en in het zomerhalfjaar zal het vooral droogte- en warmteminnende planten bevoordelen. Er is geen enkele reden aan te nemen dat er zich geen vegetatie op de kade zal ontwikkelen. De maximaal te verwachten bodemtemperatuur van ordegrootte 24 graden is geen enkele belemmering voor zowel grassen als kruiden van droge, warme en zonnige standplaatsen. De kade zal daarom jaarrond begroeid zijn en daarmee zowel een functie voor planten en dieren vervullen als het dijklichaam zelf beschermen tegen erosie.

Als gevolg van de al jarenlang optredende klimaatverandering vindt al een geleidelijke toename plaats van warmteminnende soorten en zal deze ontwikkeling zich nog lang voortzetten. De kade zal daardoor een geschikte plaats zijn om zich te vestigen voor dergelijke soorten die nu vooral nog in droog en warme stedelijk gebied te vinden zijn zoals aarereprijs, Balkanvergeet-mij-nietje en de Zuid-Afrikaanse gierst. De vegetatiediversiteit zal daardoor lokaal een klein beetje kunnen veranderen en ook de geassocieerde fauna zal iets kunnen veranderen.

De functie van het eco-aquaduct betreft vooral leefgebied en verbindingszone voor verschillende planten en vooral diersoorten. In figuur 1.1 zijn de voornaamste doelsoorten en soortengroepen genoemd. In tabel 1 is aangegeven in hoeverre de effecten van de warmteleiding invloed hebben op deze functie.

Tabel 1. Effecten van de warmteleiding op doelsoorten voor het eco-aquaduct

Doelsoort/groep	Mogelijke effecten warmteleiding	Opmerkingen
Vissen	Uitgesloten	De waterhabitats ondervinden geen enkel effect
Overige waterdieren	Uitgesloten	De waterhabitats ondervinden geen enkel effect
Noordse woelmuis	Uitgesloten	Het eco-aquaduct is niet geschikt als leefgebied maar wel als verbindingszone. De waterhabitats en een groot deel van de landhabitats ondervinden geen enkel effect. Het drogere deel van het talud is thans al nauwelijks geschikt als verbindingszone. Door een wat drogere vegetatie en een iets andere soortsaamenstelling verandert deze functionaliteit niet.
Hermelijn	Uitgesloten	Het landgedeelte van het eco-aquaduct is geschikt als onderdeel van het leefgebied en als verbindingszone. De hermelijn komt ook in veel warmere klimaten voor dan Nederland en kan het talud ook met een drogere en iets andere vegetatie prima als leefgebied gebruiken.
Bunzing	Uitgesloten	Zowel het water- als het landgedeelte van het eco-aquaduct is geschikt als onderdeel van het leefgebied en als verbindingszone. De bunzing komt ook in veel warmere klimaten voor dan Nederland en kan het talud ook met een drogere en iets andere vegetatie prima als leefgebied gebruiken.
Waterspitsmuis	Uitgesloten	De waterspitsmuis leeft vooral langs de ondiepe oeverzone van schoon water. Het eco-aquaduct is daarmee in potentie zowel geschikt als leefgebied en als migratiezone. De oeverzone ondervindt geen enkel effect van de warmteleiding. De soort maakt ook wel gebruik van grasland om te foerageren. Omdat de soort ook in warmere delen van Europa voorkomt zal de warmteleiding geen effect hebben op de kwaliteit van het leefgebied.
Vleermuizen	Uitgesloten	Deze soorten vliegen over het eco-aquaduct om daar te foerageren of als vliegroute. Een marginale verandering in de vegetatie op de kade heeft geen enkel effect.
Rugstreeppad	Uitgesloten	Ook deze soort komt ook in veel warmere gebieden voor en zal geen enkel negatief effect ondervinden van de warmteleiding
Insecten	Uitgesloten	Het toevoegen van een iets droger en warmer habitat is juist een verrijking en kan de vestiging van warmte- en droogteminnende soorten op de kade juist stimuleren.

4.4 Effecten van de warmteleiding op het NNN

De warmteleiding kruist een strook grasland met daarin een slootje welke onderdeel zijn van het NNN. De leiding zal hier ruim 1 meter gronddekking hebben waardoor de effecten op het grasland minder zijn dan op het grasland van het eco-aquaduct. Het is mogelijk dat er lokaal wat meer droogte en warmtetolerante plantensoorten voor zullen gaan komen.

De warmteleiding kruist een slootje waarbij de gronddekking ongeveer 100 cm is. Dit zal leiden tot het lokaal opwarmen van de slootbodem met maximaal 6 graden. Als gevolg van een aangenomen stroming van 1 m/d zal het slootwater met ongeveer 1 graad opwarmen. In het winterhalfjaar zal dit ervoor zorgen dat lokaal de temperatuurcondities net iets anders zijn dan in de omgeving. Insecten, slakken en andere ongewervelden zullen mogelijk iets langer actief blijven en vissen en watervogels zullen deze plek opzoeken om op te warmen. Tijdens het winterhalfjaar zijn de watercondities geschikt voor alle in de omgeving voorkomende waterorganismen en kunnen bijvoorbeeld vissen de sloot net als in de huidige condities gebruiken als migratieroute.

In het zomerhalfjaar zal de watertemperatuur ook ongeveer 1 graad hoger liggen dan de huidige waarden en bij weinig stroming als gevolg van weinig neerslag kan deze temperatuur mogelijk nog enkele graden extra stijgen. Hierdoor kunnen de lokale condities voor planten en dieren minder geschikt of zelfs tijdelijk ongeschikt worden doordat bijvoorbeeld de zuurstofgehaltes te veel dalen en/of er algenbloei kan ontstaan. Het is te verwachten dat na een regenbui het water in de sloot doorspoelt en de oorspronkelijke condities zich weer even herstellen. Omdat de opwarming doorgaat is de verwachting dat met name tijdens perioden met hoge luchttemperaturen de sloothabitat over een lengte van ordegrootte 5 – 10 meter verminderd tot ongeschikt zal zijn voor waterleven.

Tijdens de aanleg van de warmteleiding door het NNN zijn effecten op planten en dieren mogelijk. Door het toepassen van de mitigerende maatregelen uit het ecologisch werkprotocol worden deze zoveel als mogelijk beperkt.

5 Conclusies

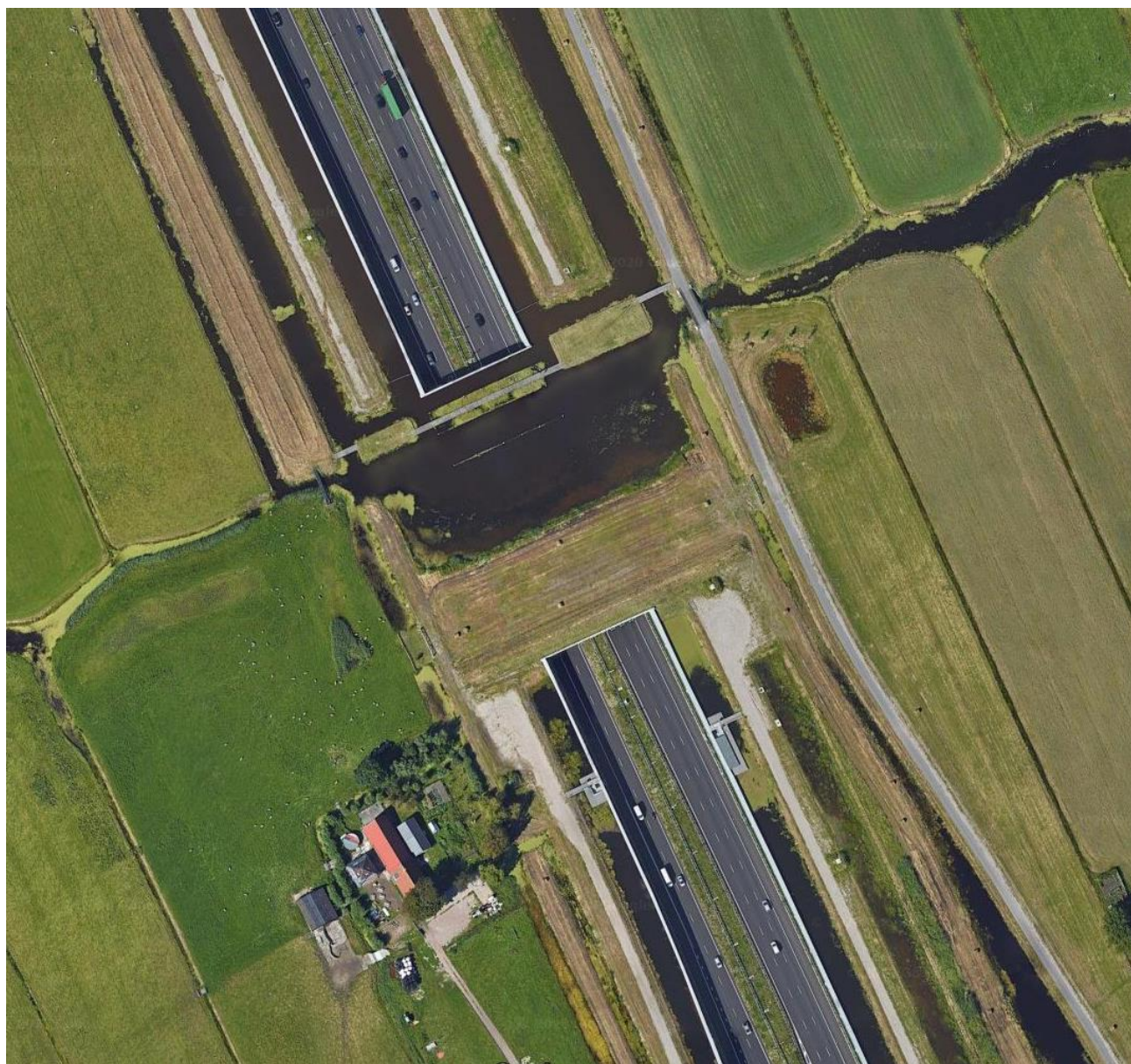
- De aanleg van de warmteleiding op het eco-aquaduct heeft zeker tot gevolg dat de bodemtemperatuur lokaal tot mogelijk 5 graden toe kan nemen.
- Dit zal effecten hebben op de plantensoorten die daar kunnen groeien en ook op enkele diersoorten die daar voorkomen.
- Het gevolg hiervan is dat zich vooral plantensoorten kunnen vestigen die warmte- en droogte minnend zijn. Deze plantensoorten dragen bij aan het functioneren van het eco-aquaduct als leefgebied en verbindingszone en hebben op geen enkele wijze een negatief effect op het functioneren hiervan.
- Erosie van de kade is niet aan de orde omdat er altijd vegetatie zal groeien.
- Dit aanvullend droger en warmer habitat zal ook een geschikte vestigings- of verblijfplaats zijn van diersoorten voor dit soort habitats en draagt hiermee bij aan de biodiversiteit van de locatie.
- De warmteleiding door het NNN zorgt voor vergelijkbare effecten op het landdeel hiervan als op het eco-aquaduct.
- Het waterhabitat in de sloot van het NNN zal met name in het zomerhalfjaar licht negatief beïnvloed kunnen worden doordat de gemiddelde temperatuur ongeveer 1 graad zal stijgen.
- De functie van deze sloot als verbindingszone voor vissen zal in het winterhalfjaar en tijdens/na regenbuien blijft behouden.
- De aanleg van de warmteleiding op het eco-aquaduct geeft geen blijvende negatieve effecten.
- Tijdens de aanleg kunnen negatieve effecten optreden. Door toepassen van mitigerende maatregelen uit kunnen deze voorkomen of beperkt worden.

BIJLAGE:

- Rapport Deltares - *Opwarming eco-aquaduct A4 Schiedam: warmteberekeningen*
Auteur(s): de heer J.M. van Esch

Opwarming eco-aquaduct A4 Schiedam

warmteberekeningen



Opwarming eco-aquaduct A4 Schiedam warmteberekeningen

Auteur(s)

de heer J.M. van Esch

Opwarming eco-aquaduct A4 Schiedam
warmteberekeningen

Opdrachtgever	WarmteLinQ
Contactpersoon	H.J. de Jong
Trefwoorden	warmteleiding, dgflow

Documentgegevens	
Versie	0.1
Datum	23-03-2021
Projectnummer	11206615-000
Document ID	11206615-000-GEO-0002
Pagina's	25
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)		
John van Esch		

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
0.1	dr.ir. John van Esch	dr. Henk Kruse	ing. Harm Aantjes	
				

Samenvatting

De warmteleiding Vlaardingen – Den Haag, die door WarmtelinQ wordt aangelegd, transporteert restwarmte uit de Rotterdamse haven voor het verwarmen van huizen en bedrijven in Zuid Holland. In Schiedam kruist de warmteleiding de A4 via een eco-aquaduct en als gevolg van het warmtetransport zullen de zichtdijk op het eco-aquaduct en het water in een watergang naast het kunstwerk opwarmen. Deze opwarming heeft mogelijk effecten voor de flora en fauna. In dit rapport worden berekeningen gepresenteerd waarmee de verwachte temperatuuroename wordt vastgesteld. De berekeningen zijn uitgevoerd met het eindige elementen programma DgFlow en voorspellen de warmteontwikkeling in de ondergrond voor het jaar 2019.

De resultaten laten zien dat de warmteleidingen, bij het voorgestelde ontwerp, een gemiddelde temperatuursverhoging in de wortelzone van de zichtdijk geeft van 6°C. Bij de berekeningen is uitgegaan van een droog Flugsand-klei mengsel waaruit de dijk is opgebouwd. Een tweede berekening laat zien dat als het mengsel volledig verzadigd is met water, de warmtetoename beperkt blijft tot 3°C. Door de aanwezigheid van klei in het Flugsand-klei mengsel zal een volledig droge situatie niet optreden. De berekende temperatuur toename van 6°C kan derhalve als een bovengrens worden beschouwd. In de zomer zal de zichtdijk minder vocht bevatten. Alhoewel het gedrag van het bodemvocht in het Flugsand-klei mengsel niet bekend is kan worden aangenomen dat de klei het bodemvocht vast houdt. De te verwachten temperatuur toename op 20 cm onder de oppervlakte van de zichtdijk zal dus tussen de 3°C en 6°C liggen.

Bij de watergang naast het ecoduct wordt ter plaatse van de slootbodem een temperatuur toename van 6°C berekend. Ter plaatse van de slootrand wordt een temperatuur toename van 4°C voorspeld.

Het volume water boven de warmteleidingen wordt ingeschat op 12 m³. Dit volume zal door een stroomsnelheid in de sloot die wordt aangenomen op 1 m/d in 3,5 dagen zijn ververs. Het gemiddelde vermogen door de slootbodem en slootwand als gevolg van de warmteleidingen bedraagt 115 W. Hierdoor stijgt de temperatuur van het slootwater in 3,5 dagen met één graad.

In vervolgonderzoek worden de effecten van de warmtetoename op flora en fauna beschouwd.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
2	Probleemstelling	7
3	Beschikbare gegevens	9
4	Berekeningen	12
4.1	Zichtdijk	13
4.2	Watergang	18
5	Conclusies	23
Literatuur	24	

1 Inleiding

WarmtelinQ is opgericht voor de aanleg van een ondergrondse warmteleiding, waarmee restwarmte uit de Rotterdamse haven voor het verwarmen van huizen en bedrijven in Zuid Holland kan worden gebruikt. De warmteleiding loopt van de Vondelingplaat in Rotterdam via Schiedam en Delft naar Den Haag en er komt een aftakking van Delft naar het Westland. In Schiedam kruist de geplande warmteleiding de A4 via een eco-aquaduct. De aanvoer en retourleiding wordt door WarmtelinQ aangeduid als warmteleiding Vlaardingen – Den Haag en wordt hierna warmteleiding genoemd.

Als gevolg van het warmtetransport door de leidingen (aanvoer en retour) zal de zichtdijk op het eco-aquaduct waarbinnen de leidingen worden aangelegd, en het water in een watergang naast het kunstwerk opwarmen met mogelijke effecten voor de flora en fauna. Onderzoek moet uitwijzen of de effecten van temperatuursverhoging op de zichtdijk en het water in de watergang

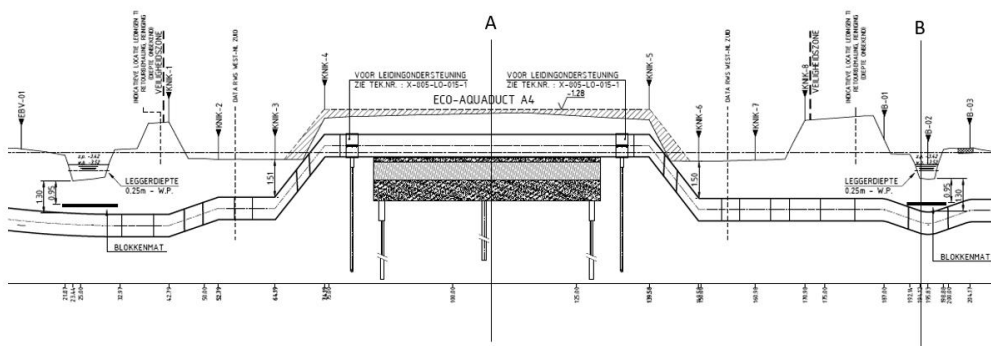
Als gevolg van het warmtetransport door de leiding zal de zichtdijk op het eco-aquaduct waarbinnen de leiding ligt, en het water in een watergang naast het kunstwerk opwarmen met mogelijke effecten voor de flora en fauna. Onderzoek moet uitwijzen of de effecten van temperatuursverhoging op de zichtdijk en het water in de watergang toelaatbaar zijn. Het onderzoek bestaat uit twee delen. Het eerste deel betreft het vaststellen van de te verwachten temperatuurtoename. Het tweede deel behelst de beschouwing van de effecten van de toename op flora en fauna. Dit rapport beschrijft de resultaten van het eerste deel van het onderzoek en geeft een voorspelling van de temperatuursverhoging op basis van berekeningen. De berekeningen zijn uitgevoerd met het eindige elementen programma DgFlow (Deltares 2021). Het onderzoek naar de effecten op flora en fauna maakt geen onderdeel uit van de rapportage.

In hoofdstuk 2 wordt de doelstelling van het onderzoek beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft de resultaten van berekeningen die zijn uitgevoerd voor de zichtdijk en de watergang. De conclusies worden gepresenteerd in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden een aantal aanbevelingen gegeven.

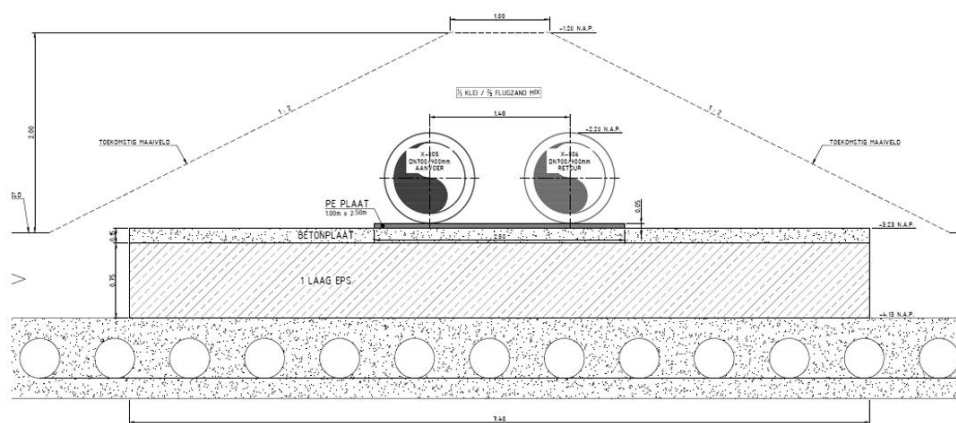
2

De onderzoeksvraag die wordt gesteld is: 'hoe groot is de toename van de temperatuur in de zichtdijk op het eco-aquaduct en hoe groot is de temperatuurotoenamen ter plaatse van de watergang naast het kunstwerk als gevolg van de aanleg van de warmteleidingen'. Deze vraag wordt in dit onderzoek beantwoordt met modelberekeningen die het temperatuursverloop op beide locaties over een representatief jaar (2019) laten zien met en zonder warmteleidingen.

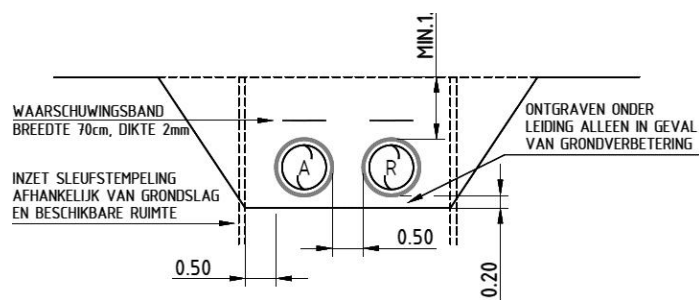
Figuur 2.1 geeft de langsdoorsnede van het eco-aquaduct en de warmteleidingen weer met daarin de locaties (A en B) die in dit project onderzocht zullen worden. Dwarsdoorsnede A is afgebeeld in Figuur 2.2. Van dwarsdoorsnede B waren geen gegevens beschikbaar en doorsnede B is, in samenspraak met WarmtelinQ, afgeleid uit het standaardprofiel dat is afgebeeld in Figuur 2.3 en de langsdoorsnede.



Figuur 2.1 Langsdoorsnede eco-aquaduct en warmteleiding.



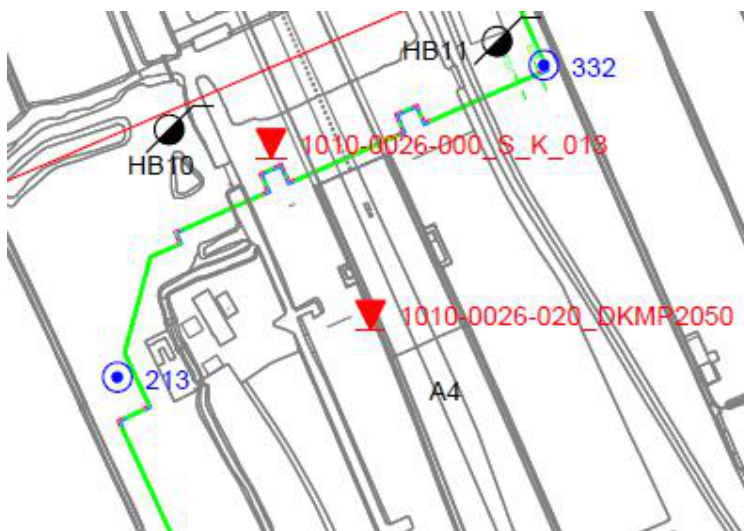
Figuur 2.2 Dwarsdoorsnede A, warmteleidingen in de zichtdijk.



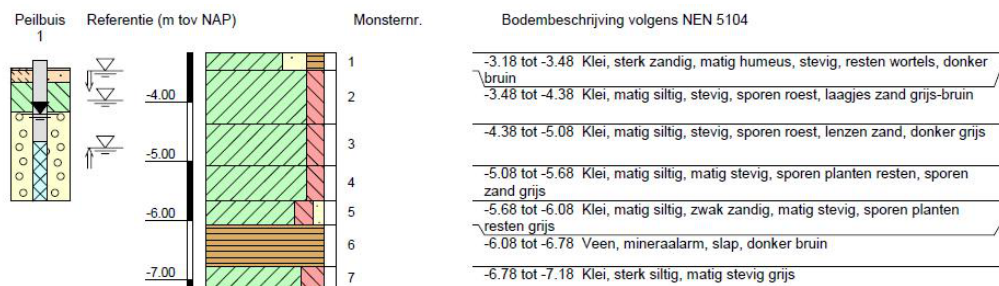
Figuur 2.3 Dwarsdoorsnede B, warmteleidingen ter plaatse van de watergang.

3 Beschikbare gegevens

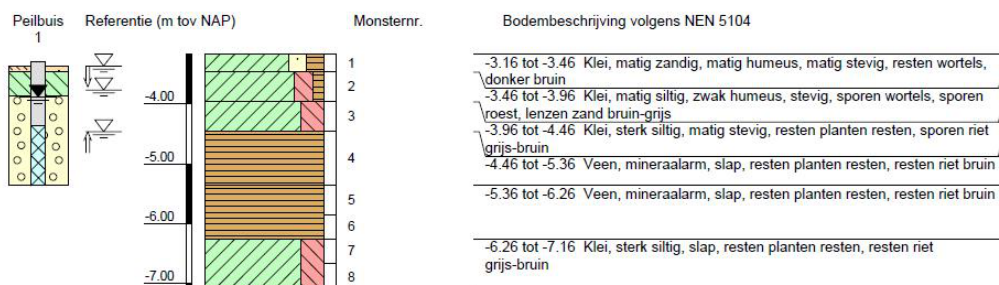
Voor de beoordeling van de opbouw van de ondergrond is de beschrijving van de handboringen HB10 en HB11, de milieuboringen 213, 322 (Fugro 2020) gebruikt, en zijn de sonderingen 1010-0026-000_S_K_013 en 1010-0026-020_DKMP2050 geïnterpreteerd (Fugro 2020). Figuur 3.1 laat de positie van de meetpunten zien en in Figuur 3.2 en Figuur 3.3 zijn de boorbeschrijvingen afgebeeld.



Figuur 3.1 Overzichtstekeningen grondonderzoek (bron Fugro 2020).



Figuur 3.2 Boorbeschrijving handboring 10 (bron Fugro 2020).



Figuur 3.3 Boorbeschrijving handboring 11 (bron Fugro 2020).

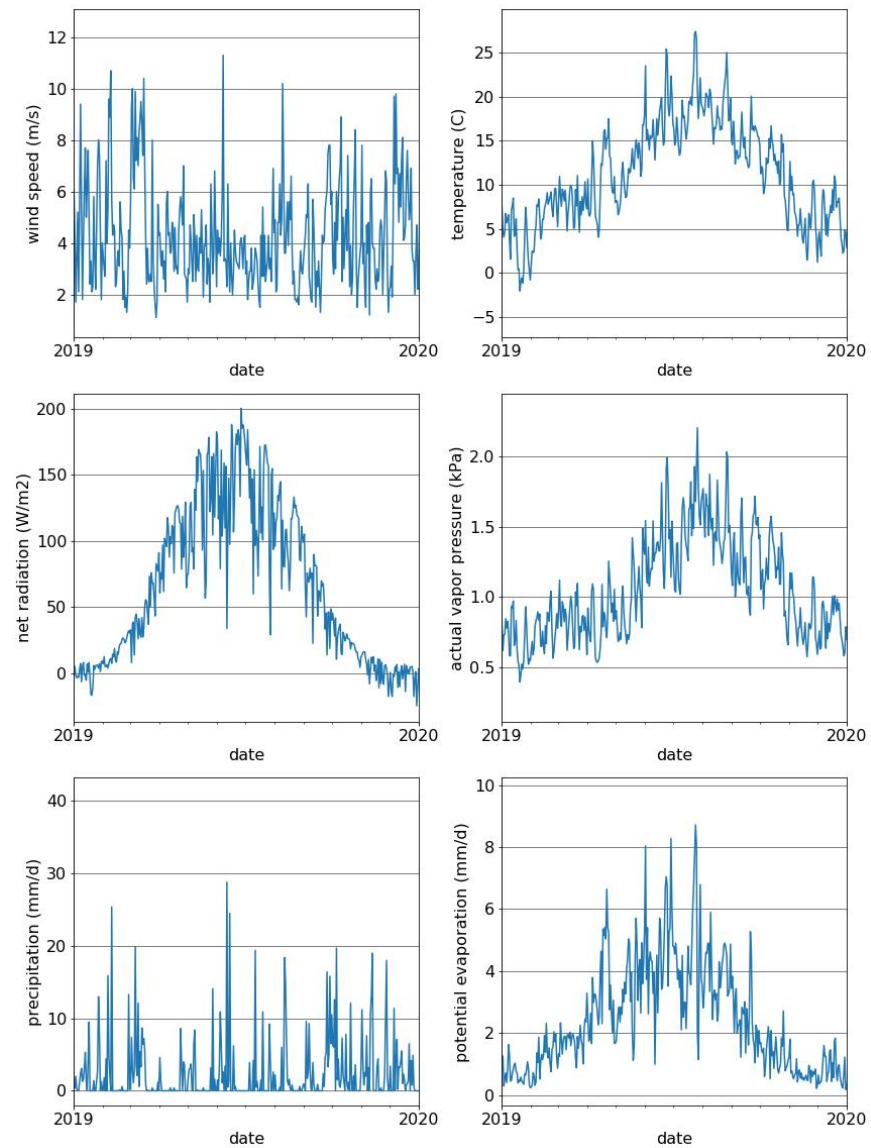
De thermische eigenschappen van de ondergrond en de materialen waarmee het eco-aquaduct is geconstrueerd zijn afgeleid uit de Anteagroup rapportage (Anteagroup 2020).

Volgens Figuur 2.2 heeft de zichtdijk een kruinbreedte van 1 m, een hoogte van 2 m en taludhellingen van 1 op 2. De dijk is opgebouwd uit een mengsel van 1/3 klei en 2/3 Flugsand. De leidingen (DN 700/900) hebben een binnendiameter van 700 mm en een buitendiameter van 900 mm. De binnenbuis is van staal de mantel aan de buitenzijde is van PE. Tussen de binnen- en buitenbuis is een isolatielaag van PUR aangebracht. De componenten van de leiding hebben de volgende diktes: staal 14.2 mm, PE 11 mm en PUR 83 mm en de warmtegeleidingscoëfficiënten van de leidingmaterialen zijn respectievelijk: 45 W/mK, 0.028 W/mK en 0.17 W/mK. De specifieke warmte van staal, PE en PUR bedragen 500 J/kgK, 1900 J/kgK en 1470 J/kgK. De maatgevende temperatuur van de vloeistof in de aanvoerleiding wordt gesteld op 105 °C en de temperatuur in de afvoerleiding is 60 °C, de hart op hart afstand tussen de leidingen is 1.4 m.

Beide warmteleidingen liggen in de zichtdijk op een PE plaat van 5 cm (de thermische eigenschappen van PE zijn hierboven beschreven. Daaronder ligt een 15 cm dikke betonplaat bovenop een 75 cm dikke EPS plaat die is aangebracht om het gewicht te reduceren. De EPS plaat zal de uitstraling van warmte naar het betondek reduceren. Het betondek heeft een dikte van 800 mm met daarin uitsparingen. Beton heeft een thermische geleidbaarheid van 1.7 W/mK en een warmtecapaciteit van 1000 J/kgK. Voor de sparingsbuizen worden de eigenschappen van stilstaande lucht gebruikt; de geleiding is 0.023 W/mK en de warmtecapaciteit wordt gesteld op 1000 J/kgK.

Volgens Figuur 2.1 ligt de bovenkant van de warmteleidingen ter plaatse van de watergang op NAP – 5.37m, de onderkant ligt op NAP – 6.27m en de slootbodem ligt op een diepte van NAP – 4.07m. Het winterpeil wordt gehandhaafd op NAP – 3.52m en het zomerpeil ligt op NAP – 3.42m. De hoogte van het maaiveld links van de sloot is NAP – 3.08m en de maaiveldhoogte rechts van de sloot is NAP – 2.82m. Uit Figuur 2.3 volgt dat de dagmaat tussen aanvoer en afvoerleiding 50 cm is. Uit handboring 11 is het volgende ondergrondprofiel afgeleid: klei van maaiveld tot NAP – 4.46m, veen van NAP – 4.46m tot NAP – 6.26m en klei van NAP – 6.26m tot NAP – 7.16m.

De meteorologische gegevens, die gebruikt worden als bovenrandvoorwaarde in DgFlow, zijn verzameld via de KNMI website (KNMI 2020). In Figuur 3.4 zijn de gebruikte gegevens: windsnelheid, atmosferische temperatuur, inkomende zonnestraling, dampspanning en neerslag afgebeeld. Met het rekenmodel DgFlow (Deltares 2021) wordt de potentiële verdamping berekend waaruit de thermische warmteflux vanuit de bodem naar de atmosfeer wordt afgeleid.



Figuur 3.4 KNMI gegevens Rotterdam en berekende verdamping.

4 Berekeningen

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de tijdsafhankelijke warmteberekeningen (twee dimensionaal) gepresenteerd. De berekeningen zijn uitgevoerd met het eindige elementen model DgFlow dat door Deltares is ontwikkeld (Deltares 2021).

Bij de berekeningen wordt de temperatuur in de warmteleidingen constant verondersteld en worden tijdsafhankelijke meteorologische condities aan maaiveld opgelegd. Er wordt in eerste instantie gerekend met droog materiaal in de zichtdijk. De gevoeligheid voor vocht wordt met een berekening waarbij de zichtdijk verzadigd met water wordt verondersteld. Bij de watergang wordt uitgegaan van een verzadigde toestand.

De thermische eigenschappen van klei en veen in de ondergrond en het Flugsand-klei mengsel in de zichtdijk zijn bepaald op basis van literatuuronderzoek. De overige eigenschappen zijn overgenomen uit de Anteagroup rapportage (Anteagroup 2021). De berekeningen worden tijdsafhankelijk uitgevoerd. Er wordt gebruik gemaakt van de gegevens van het jaar 2019. Er wordt gerekend met en zonder warmteleidingen om de warmtetoeename vast te kunnen stellen. De uiteindelijke opwarming van het water in de watergang, die wordt beïnvloed door neerslag en stroming van water is door middel van een eenvoudige hydrologische studie worden bepaald.

Figuur 4.1 geeft de positie van de dwarsdoorsneden weer die zullen worden beschouwd.



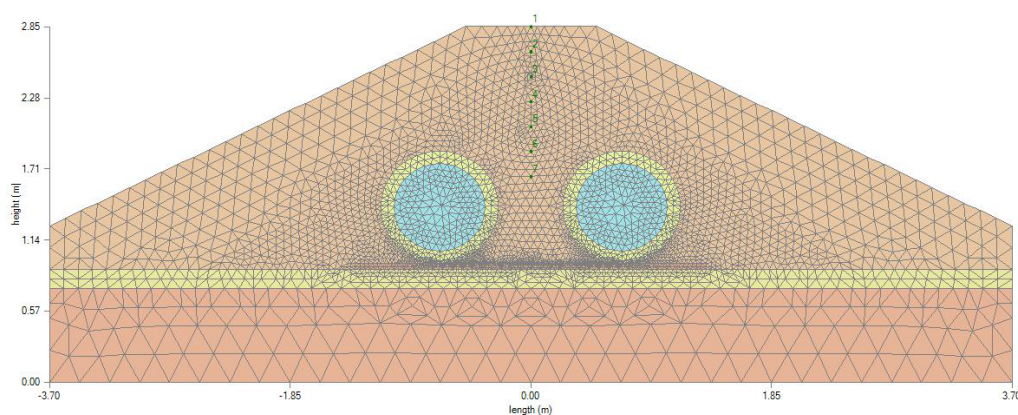
Figuur 4.1 Ligging dwarsdoorsneden.

4.1 Zichtdijk

Berekeningen

In Figuur 4.2 is het eindige elementen mesh voor de zichtdijk met warmteleiding afgebeeld. De dijk is opgebouwd uit een mengsel van klei-Flugsand. De leidingen hebben een binnendiameter van 700 mm en een buitendiameter van 900 mm. De binnenbuis is van staal de mantel aan de buitenzijde is van PE. Tussen binnen- en buitenbuis is een isolatielaag van PUR aangebracht. Beide leidingen liggen in de zichtdijk op een PE plaat, daaronder ligt een betonplaat en daaronder een EPS plaat. Het betondek is niet gemodelleerd omdat de EPS plaat de warmteflux naar beneden bepaalt. De materiaaleigenschappen zijn weergegeven in Tabel 1.

De temperatuur van de vloeistof in de aanvoerleiding is 105 °C en de temperatuur in de afvoerleiding is 60 °C. Aan de bovenrand zijn de atmosferische condities opgegeven die door het KNMI gemeten zijn in weerstation Rotterdam gedurende het jaar 2019. De onderrand en de verticale randen zijn thermisch geïsoleerd.

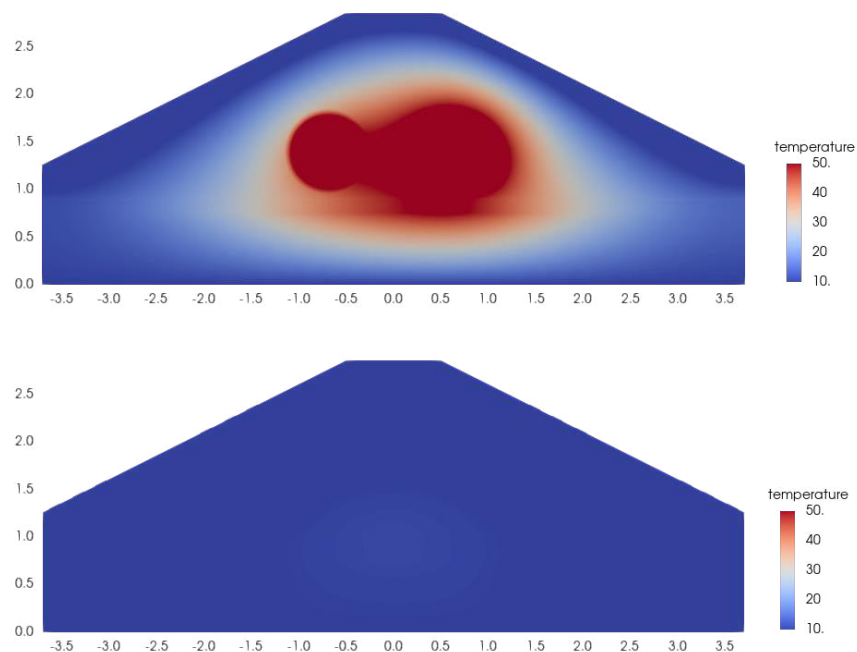


Figuur 4.2 Eindige elementen mesh zichtdijk met leiding.

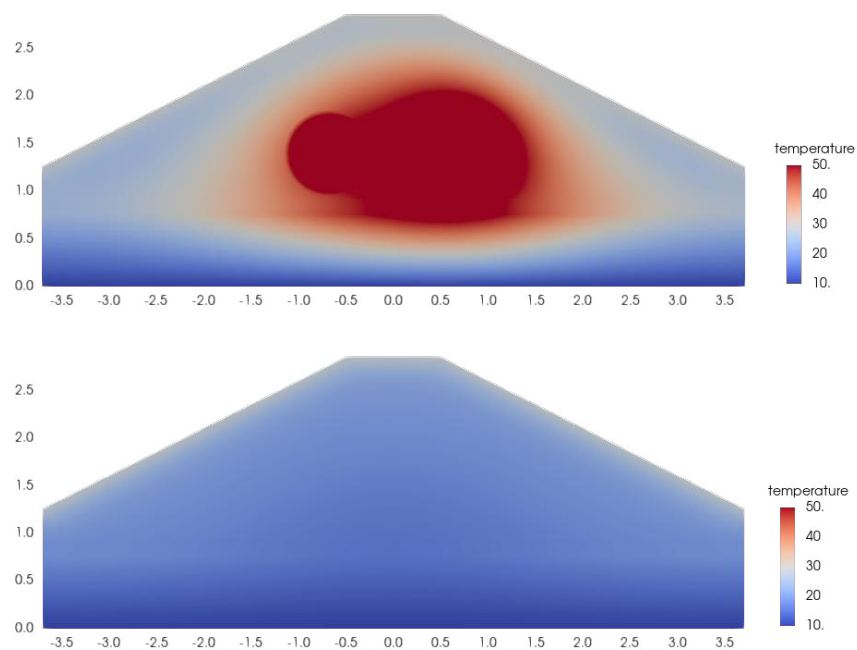
Tabel 1 Materiaalparameters zichtdijk.

materiaal	geleidbaarheid (W/mK)	capaciteit (J/kgK)	dichtheid (kg/m³)	diffusie (mm²/s)
1/3 klei 2/3 Flugsand droog	0.16	1510	800	0.13
PE	0.17	1900	950	0.09
beton	1.7	1000	2400	0.71
eps	0.035	1450	27.5	0.88
PUR	0.024	1470	90	0.18
staal	45	500	8050	11.18
water	0.6	4182	1000	0.14

De berekende temperatuursverdeling in de zichtdijk zonder en met leiding, onder droge omstandigheden is afgebeeld voor een winter en zomer situatie. Figuur 4.3 geeft de temperatuursverdeling voor 5 Februari 2019 (wintersituatie) en Figuur 4.4 laat de voorspelde temperatuursverdeling voor 24 Augustus 2019 (zomersituatie) zien.



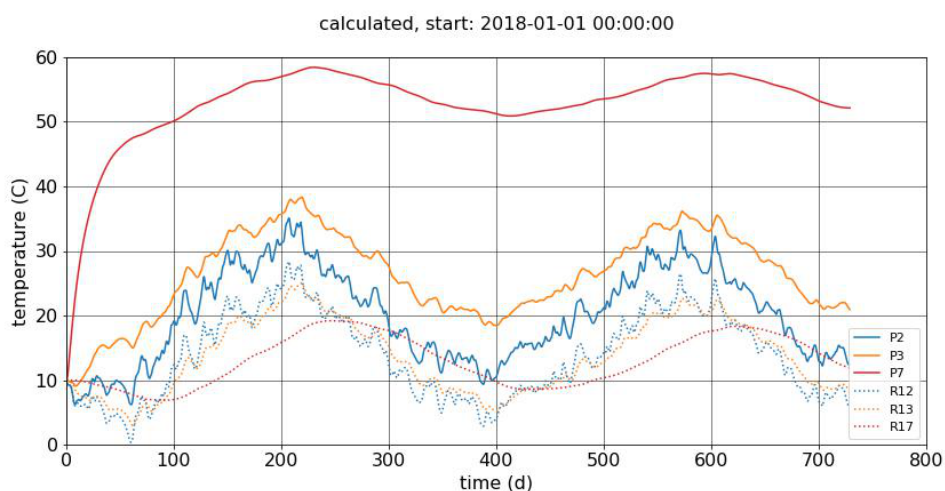
Figuur 4.3 Temperatuursverdeling zichtdijk (droog) met en zonder leiding 5 Februari 2019 (dag 400).



Figuur 4.4 Temperatuursverdeling zichtdijk (droog) met en zonder leiding 24 Augustus 2019 (dag 600).

Tijdens de berekening wordt de temperatuur gevolgd op een aantal locaties P2, P3 en P7 in de geometrie met leiding en referenties locaties R12, R13, R17 in geometrie zonder leidingen. De locaties liggen in het hart van de doorsnede tussen de aanvoerleiding en de retourleiding. De gronddekking van P2 en R12 is 20 cm, van P3 en R13 is de dekking 40 cm en P7 en R17 liggen 120 cm onder de kruin van de dijk. Het temperatuursverloop van de locaties in de zichtdijk is afgebeeld in Figuur 4.5. De berekening is gestart op 1 januari 2018

en de resultaten zijn beoordeeld voor het jaar 2019. Het duurt namelijk enige tijd voordat het model ingeregeld is. De eerder getoonde resultaten voor 5 Februari 2019 en 24 Augustus 2019 worden gevonden voor dag 400 en dag 600 van de berekening.



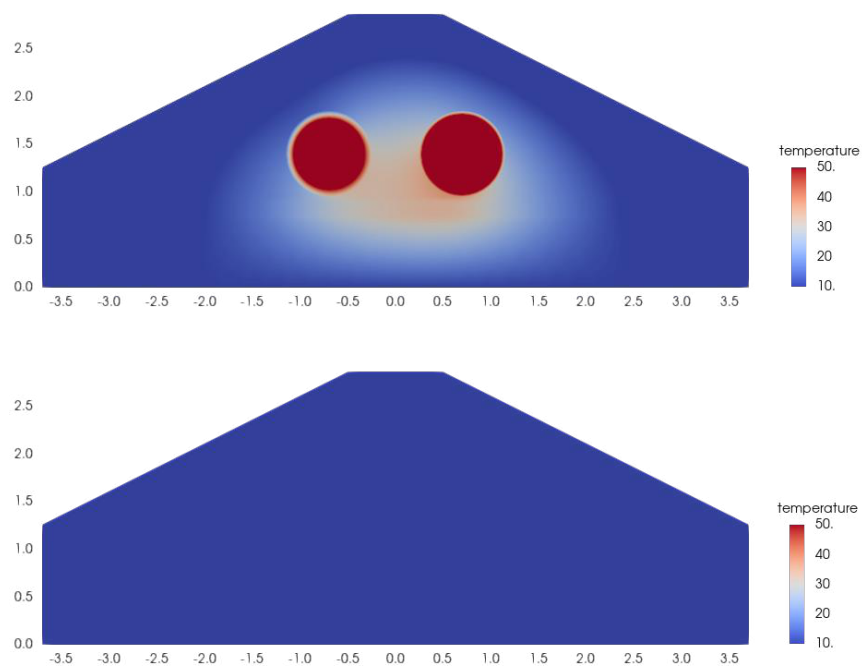
Figuur 4.5 Temperatuursverloop locaties zichtdijk (droog) met en zonder leiding.

Tabel 2 Berekende temperaturen zichtdijk droog.

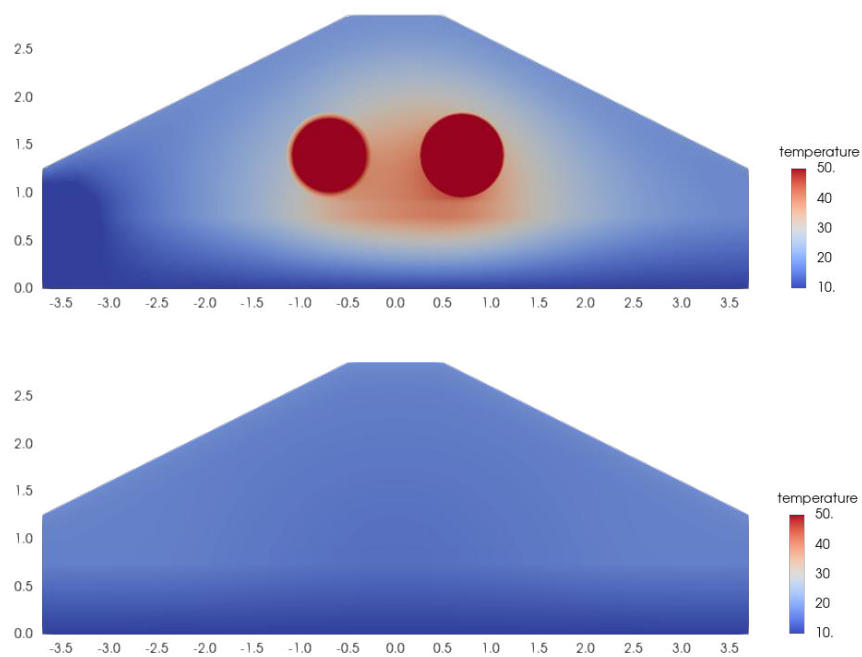
locatie	x (m buis)	y (m -mv)	min (C)	mean (C)	max (C)
2	0	2.65	6	20	35
3	0	2.45	9	26	38
7	0	1.65	10	53	58
12	0	2.65	0	14	28
13	0	2.45	3	14	25
17	0	1.65	7	13	19

De resultaten laten zien dat de warmteleidingen, bij het voorgestelde ontwerp, een gemiddelde temperatuursverhoging in wortelzone van de zichtdijk geeft van 6°C. Bij de berekeningen is uitgegaan van een droog Flugsand-klei mengsel waaruit de dijk is opgebouwd. De warmtegeleidbaarheid van het mengsel onder droge omstandigheden is daarbij gesteld op 0.16 W/mK.

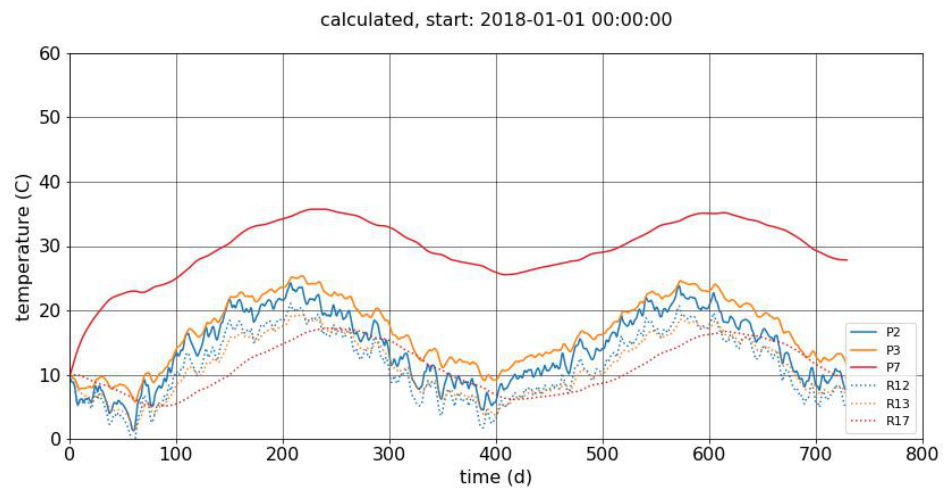
Aanvullende berekeningen laten de warmteontwikkeling zien als het Flugsand-klei mengsel verzadigd is met water, en de warmtegeleidbaarheid toeneemt tot 0.96 W/mK, Figuur 4.6 geeft de warmteverdeling op dag 400 van de berekening en Figuur 4.7 laat het verloop op dag 600 zien. In Figuur 4.8 is het temperatuursverloop van de locaties onder natte condities te zien.



Figuur 4.6 Temperatuursverdeling zichtdijk (nat) met en zonder leiding 5 Februari 2019 (dag 400).



Figuur 4.7 Temperatuursverdeling zichtdijk (nat) met en zonder leiding 24 Augustus 2019 (dag 600).



Figuur 4.8 Temperatuursverloop locaties zichtdijk (nat) met en zonder leiding.

Tabel 3 Berekende temperaturen zichtdijk nat.

locatie	x (m buis)	y (m -mv)	min (C)	mean (C)	max (C)
2	0	2.65	1	14	24
3	0	2.45	6	17	25
7	0	1.65	10	30	36
12	0	2.65	-1	11	21
13	0	2.45	1	11	19
17	0	1.65	5	11	17

Als het Flugsand-klei mengsel verzadigd is, blijft de warmtetoeename beperkt blijft tot 3°C (zie Tabel 3).

Discussie resultaten

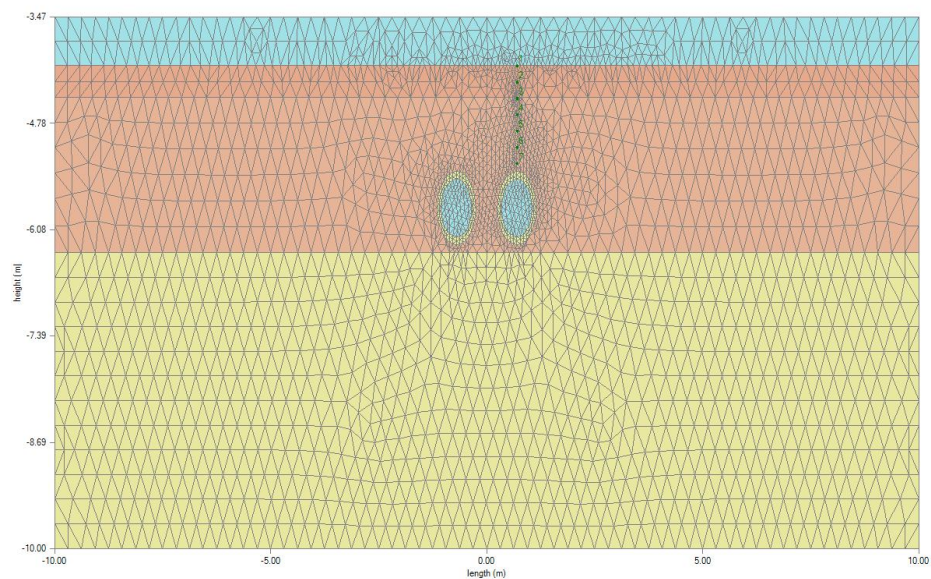
Door de aanwezigheid van klei in Flugsand-klei mengsel zal een volledig droge situatie niet optreden. De berekende temperatuur toename van 6°C kan daarom als een bovengrens worden beschouwd. Omdat het gedrag van het bodemvocht in het Flugsand-klei mengsel niet bekend is kan worden aangenomen dat de te verwachten temperatuur toename op 20 cm onder de oppervlakte van de zichtdijk zal tussen de 3°C en 6°C liggen.

4.2 Watergang

Berekeningen

In Figuur 4.9 is het eindige elementen mesh voor de berekening met de watergang met de warmteleidingen afgebeeld. In het rekenmodel is uitgegaan van gemiddeld waterpeil op NAP – 3.47m en het niveau van de slootbodembodem op NAP – 4.07m. De ondergrond bestaat uit klei tot NAP – 4.46m, veen tot NAP – 6.26m met daaronder klei tot NAP – 10.0m. De thermische eigenschappen zijn verzameld in Tabel 4

De temperatuur van de vloeistof in de aanvoerleiding is 105 °C en de temperatuur in de afvoerleiding is 60 °C. Aan de bovenrand zijn de atmosferische condities opgegeven die door het KNMI gemeten zijn in weerstation Rotterdam gedurende het jaar 2019. De onderrand en de verticale randen bevinden zich ver genoeg van de leiding en zullen de temperatuur rond de leiding niet beïnvloeden.

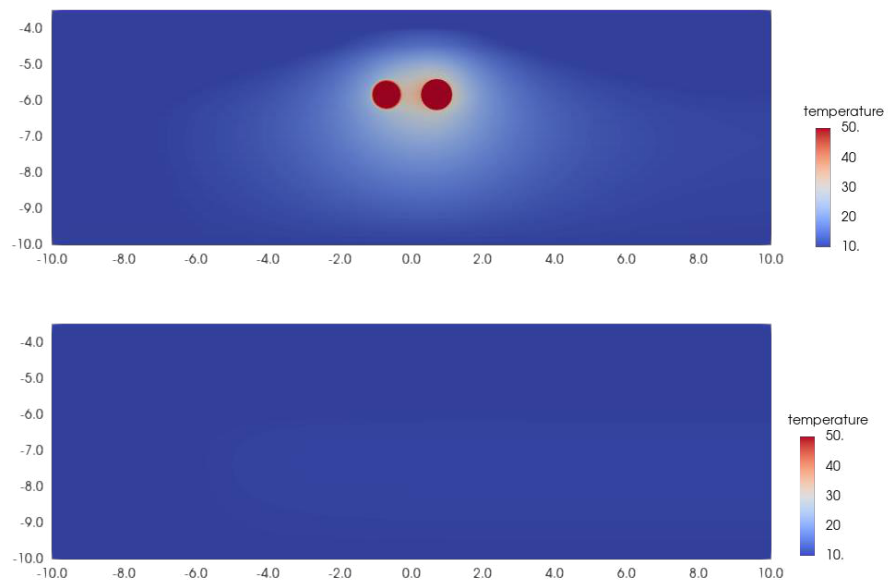


Figuur 4.9 Eindige elementen mesh watergang .

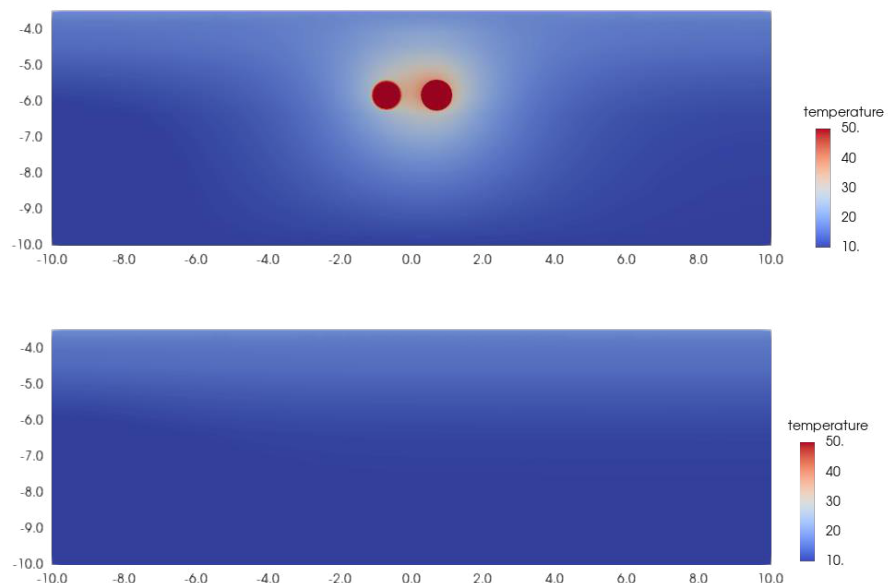
Tabel 4 Materiaalparameters watergang.

materiaal	geleidbaarheid (W/mK)	capaciteit (J/kgK)	dichtheid (kg/m ³)	diffusie (mm ² /s)
water	0.6	4182	1000	0.14
klei nat	1.1	2970	1400	0.26
veen nat	0.6	1880	1100	0.29
klei nat	1.1	2970	1400	0.26
PE	0.17	1900	950	0.09
PUR	0.028	1470	90	0.21
staal	45	500	8050	11.18

Figuur 4.10 geeft de berekende temperatuursverdeling rond de watergang weer met en zonder leiding op 5 Februari 2019 en Figuur 4.11 laat de temperatuursverdeling zien met en zonder leiding op 24 augustus 2019.

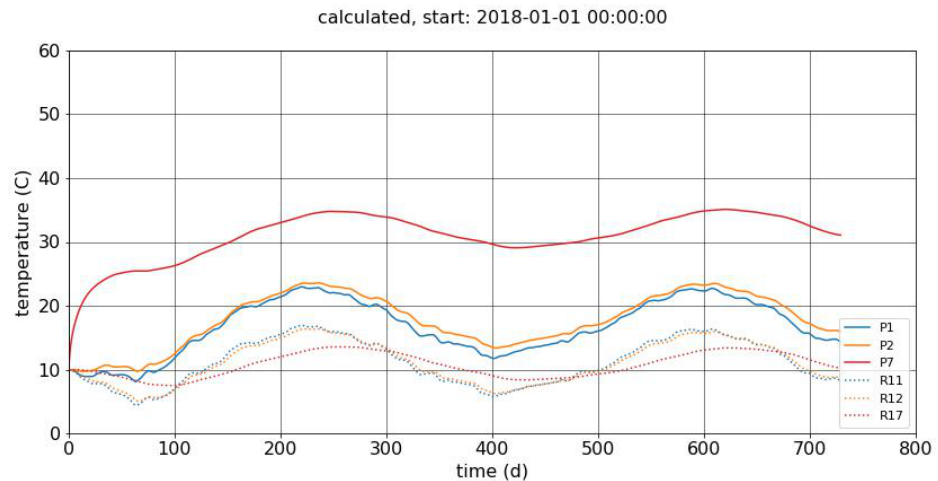


Figuur 4.10 Temperatuursverdeling watergang met en zonder leiding 5 Februari 2019 (dag 400).



Figuur 4.11 Temperatuursverdeling watergang met en zonder leiding 24 Augustus 2019 (dag 600).

Ook bij de berekening voor de watergang wordt de temperatuur gevolgd op een aantal locaties P1, P2 en P7 in de geometrie met leiding en locaties R11, R12, R17 als referentie in geometrie zonder leidingen. De locaties liggen in het hart van de doorsnede tussen de aanvoerleiding en de retourleiding. locaties P1 en R11 liggen op de slootbodembodem, P2 en R12 liggen 20 cm onder de bodem en P7 en R17 liggen 120 cm onder de slootbodembodem. Het temperatuursverloop van de locaties onder de watergang is afgebeeld in Figuur 4.12. De berekening is gestart op 1 januari 2018 en de resultaten zijn beoordeeld voor het jaar 2019.



Figuur 4.12 Temperatuursverloop locaties watergang met en zonder leiding.

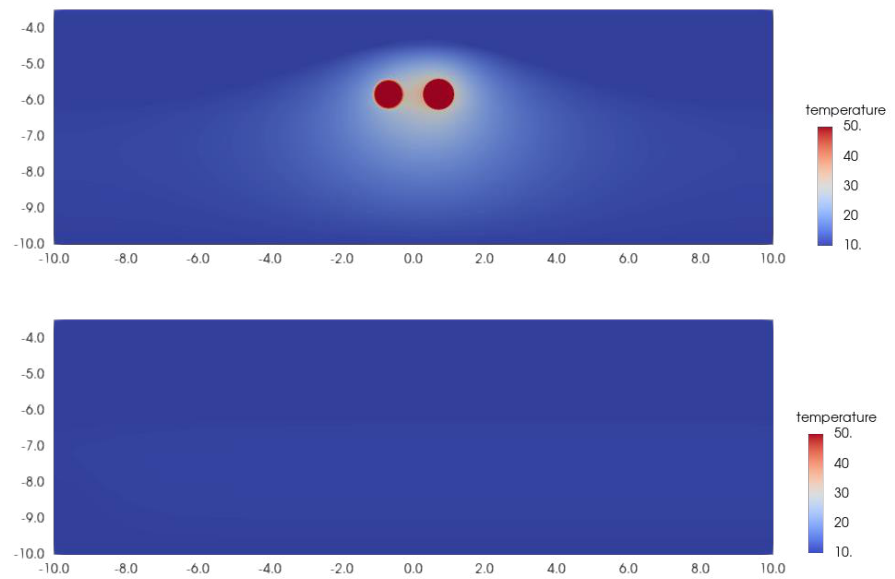
Tabel 5 Berekende temperaturen watergang.

locatie	x (m buis)	y (m -mv)	min (C)	mean (C)	max (C)
1	0	2.85	12	17	23
2	0	2.65	13	18	24
7	0	1.65	29	32	35
11	0	2.85	6	11	16
12	0	2.65	6	11	16
17	0	1.65	8	11	13

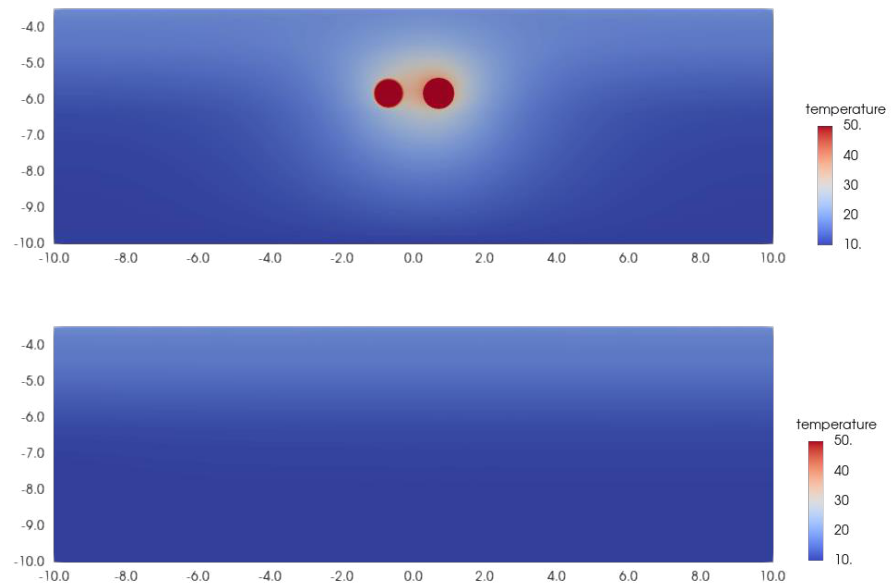
De tweedimensionale berekening die is uitgevoerd voor het voorspellen van de warmtetoename in de watergang laat zien dat de temperatuurtoename door de warmteleidingen op de watergangbodem toeneemt met 6°C.

Een tweede berekening, die hieronder wordt beschreven, laat zien dat de temperatuurtoename direct naast de sloot beperkt blijft tot 4°C.

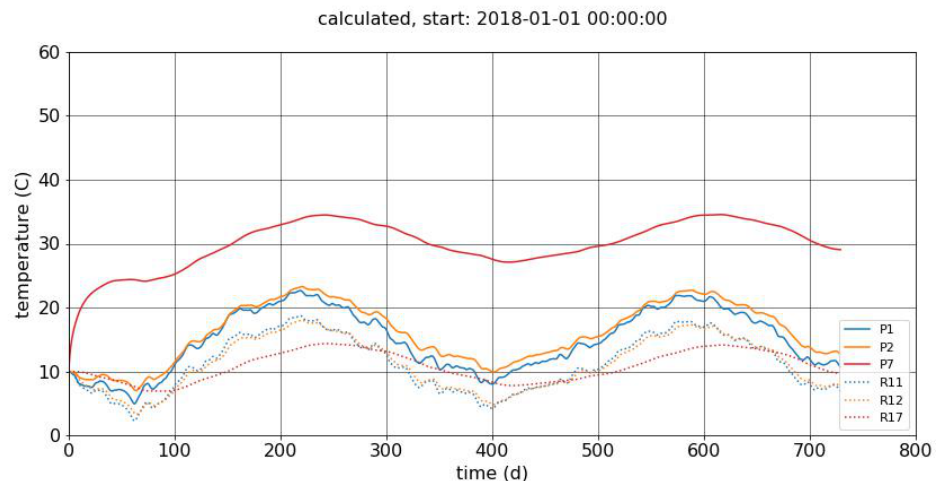
In Figuur 4.13 en Figuur 4.14 is het warmteverloop in de ondergrond volgens de tweede berekening afgebeeld. Het temperatuursverloop in de sensoren is weergegeven in Figuur 4.15.



Figuur 4.13 Temperatuursverdeling slootrand met en zonder leiding 5 Februari 2019 (dag 400).



Figuur 4.14 Temperatuursverdeling slootrand met en zonder leiding 24 Augustus 2019 (dag 600).



Figuur 4.15 Temperatuursverloop locaties slootrand met en zonder leiding.

Tabel 6 Berekende temperaturen slootrand.

locatie	x (m buis)	y (m -mv)	min (C)	mean (C)	max (C)
1	0	2.85	8	15	22
2	0	2.65	10	16	23
7	0	1.65	27	31	35
11	0	2.85	4	11	18
12	0	2.65	5	11	17
17	0	1.65	8	11	14

Discussie resultaten

Ter plaatse van de slootbodem wordt een temperatuur toename van 6°C berekend. Ter plaatse van de slootrand wordt een temperatuur toename van 4°C berekend.

Het volume water boven de warmte leidingen wordt ingeschat op 12 m³ (waterdiepte 0.6 m, slootbreedte 6 m, 3.5 m beïnvloede strook). Dit volume zal door een stroomsnelheid in de sloot, die wordt aangenomen op 1 m/d, in 3,5 dagen zijn ververs. Het gemiddelde vermogen door de slootbodem en slootwand als gevolg van de warmteleidingen bedraagt 115 W.

Daarbij is uitgegaan van een warmtegeleidingscoëfficiënt van de kleibodem van 1.1 W/mK, een warmteverschil van 1°C tussen slootbodem en de locatie 20 cm onder de bodem en een slootbodempoppervlak van 21 m². Met de thermische eigenschappen van water uit Tabel 4 stijgt de temperatuur van het slootwater in 3,5 dagen met 1°C.

5 Conclusies

In dit rapport is de toename van de temperatuur in de zichtdijk op het eco-aquaduct berekend en de temperatuurtoenames ter plaatse van de watergang naast het kunstwerk als gevolg van de aanleg van de warmteleidingen bepaald. De berekeningen zijn uitgevoerd met het eindige elementen programma DgFlow.

De resultaten laten zien dat de warmteleidingen, bij het voorgestelde ontwerp in een volledig droge situatie, een gemiddelde temperatuursverhoging in de wortelzone van de zichtdijk geeft van 6°C. Bij deze berekeningen is uitgegaan van een droog Flugsand-klei mengsel waaruit de dijk is opgebouwd. Een tweede berekening laat zien dat als het mengsel verzadigd is met water, een temperatuursverhoging wordt gevonden van 3°C.

Door de aanwezigheid van klei in het Flugsand-klei mengsel zal een volledig droge situatie niet optreden. De berekende temperatuur toename van 6°C wordt daarom als een bovengrens worden beschouwd. Hoewel het gedrag van de hoeveelheid bodemvocht in het Flugsand-klei mengsel niet bekend is zal de te verwachten temperatuur toename op 20 cm onder de oppervlakte van de zichtdijk tussen de 3°C en 6°C liggen.

Bij de watergang naast het ecoduct wordt ter plaatse van de slootbodem een temperatuur toename van 6°C berekend. Ter plaatse van de slootrand is een toename van de temperatuur van 4°C berekend.

Het volume water boven de warmte leidingen wordt ingeschat op 12 m³. Dit volume zal door een stroomsnelheid in de sloot, die wordt aangenomen op 1 m/d, in 3,5 dagen zijn ververst. Het gemiddelde vermogen door de slootbodem en slootwand als gevolg van de warmte leidingen bedraagt 115 W. Hierdoor stijgt de temperatuur van het slootwater in 3,5 dagen met één graad.

Literatuur

Anteagroup, 2020, 'warmteafdrachtberekening eco-aquaduct A4 – leiding door het Midden', projectnummer 437129.

Deltares, 2021, 'heat supply pipelines in agricultural areas; heat transfer model validations', projectnummer 11205411-001.

Fugro, 2020, 'geotechnisch veldwerk en laboratoriumonderzoek Lot A project leiding door het Midden Zuid Holland', documentnummer LdM-T-403-RP-007, versie 2.0.

KNMI, 31-12-2020, <http://projects.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi>, daggegevens Rotterdam.

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

Deltares

www.deltares.nl