Effectenstudie

De Faam Breda

Bijlage aanvraag milieubelastende activiteit vergunning

Referentie: 26019
Datum: 25 augustus 2026

Adviseur
diipadvies BV
Larixhof 17
6951MR Dieren
contactpersoon
[redacted]
06-[redacted]
[redacted]@diipadvies.nl

www.diipadvies.nl

Inhoudsopgave

1. Inleiding 3
   1.1. Aanleiding 3
   1.2. Soort activiteit 3
   1.3. Participatiebeginsel 3
   1.4. Planning 3
   1.5. Motivering van de activiteit 3
2. Plaats van de activiteit 4
   2.1. Locatiebeschrijving 4
   2.2. Bodemopbouw 5
   2.3. Overzichtstabel locatiekenmerken 6
   2.4. Bodemenergiesystemen 7
   2.5. Grondwaterverontreinigingen 8
   2.6. Infrastructuur 8
3. Kenmerken van de activiteit 9
   3.1. Principe bodemenergiesysteem 9
   3.2. Aard en omvang van de activiteit 9
   3.3. Aanleg en onderhoud 10
4. Effecten op het milieu 11
   4.1. Inleiding 11
   4.2. Energiebesparing en emissiereductie 11
   4.3. Hydrologische effecten 11
   4.4. Hydrothermische effecten 11
   4.5. Zettingen 11
   4.6. Geluid 11
   4.7. Invloed op de waterkwaliteit 12
   4.8. Invloed op andere grondwatergebruikers 12
   4.9. Invloed op natuur en landbouw 12
   4.10. Invloed op archeologie 12
   4.11. Invloed op gebouwen en infrastructuur 12
   4.12. Lozingswater 13
   4.13. Conclusie 13

Bijlage 1: Geohydrologische effecten 15

Bijlage 2: Hydrothermische effecten 19

Bijlage 3: Zettingen 23

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

In Breda wordt het project De Faam gerealiseerd. Voor de klimatisering van het gebied is een open bodemenergiesysteem voorzien.

Milieubelastende activiteit vergunning

Voor het exploiteren van een bodemenergiesysteem is een milieubelastende activiteit vergunning benodigd in het kader van de Omgevingswet. Voor u ligt de effectenstudie voor het open bodemenergiesysteem. Deze studie dient als bijlage bij de vergunningaanvraag. In deze studie worden de effecten van het bodemenergiesysteem op de omgeving gekwantificeerd.

1.2. Soort activiteit

Voor De Faam wordt een bodemenergiesysteem gerealiseerd. De bronnen en de bijbehorende energiecentrales voorzien de gebouwen van duurzame energie. De bronnen worden geboord in het 3^{e} watervoerende pakket. Met de bronnen wordt grondwater onttrokken en geretourneerd in hetzelfde watervoerende pakket.

1.3. Participatiebeginsel

Er heeft geen afstemming plaats gevonden met de exploitanten van omliggende bodemenergiesystemen.

1.4. Planning

Het bodemenergiesysteem wordt na vergunningverlening gerealiseerd en in bedrijf genomen. De duur van de activiteit is permanent.

1.5. Motivering van de activiteit

Het doel van de activiteit is het duurzaam koelen en verwarmen van de gebouwen. Door het toepassen van duurzame energie wordt het verbruik van gas en elektriciteit verminderd waardoor CO_2-uitstoot wordt gereduceerd (zie 4.2). Open bodemenergiesystemen in combinatie met warmtepompen en vrije koeling is voor dit project de meest interessante vorm van duurzame energie. Andere vormen van (duurzame) energie zijn voor dit project minder interessant vanwege hogere investeringskosten, praktische bezwaren en geringere energiebesparing.

2. Plaats van de activiteit

2.1. Locatiebeschrijving

De Faam is gelegen in Breda. De projectlocatie is weergegeven in figuur 1a.



Figuur 1: projectlocatie (inclusief bronlocatie van De Faam en het nabijgelegen systeem van Eureka)

2.2. Bodemopbouw

Elke locatie heeft zijn unieke kenmerken. De bodem en het grondwater hebben hun eigen specifieke eigenschappen. Bovendien kunnen verschillende belanghebbenden in de omgeving van de locatie aanwezig zijn. In onderstaande paragrafen worden de kenmerken van de locatie beschreven.

De bodemopbouw in de directe omgeving van de locatie is beschreven op basis van de volgende gegevens:

- Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem (REGIS)
- Boorbeschrijvingen uit het archief van TNO Bouw en Ondergrond uit DINOLoket
- Boorbeschrijvingen bodemenergiesysteem Eureka
- Boorbeschrijvingen 5tracks

In tabel 1 is de bodemopbouw geschematiseerd weergegeven.

Tabel 1: gehanteerde bodemopbouw

diepte (m-mv)	lithologie	geohydrologische benaming	doorlaatvermogen [m²/d] of weerstand [d]
0 - 18	matig fijne tot matig grof zand met kleilaagjes	1e watervoerend pakket	350 m²/d
18 - 20	klei en matig fijn tot matig grof zand	1e scheidende laag	100 d
20 - 33	matig grof zand	2e watervoerende pakket	200 m²/d
33 - 43	klei met enkele zandlaag	2e scheidende laag	1.000 d
43 - 100	matig grof tot zeer grof zand	3e watervoerende pakket	825 m²/d
100 - 115	klei	3e scheidende laag	2.000 d
115 - 220	fijn tot matig grof zand	4e watervoerende pakket	2.500 m²/d
> 220	klei en zeer fijn zand	hydrologische basis	∞

2.3. Overzichtstabel locatiekenmerken

In tabel 2 zijn de locatiekenmerken beschreven inclusief bronvermelding.

Tabel 2: locatiekenmerken

kenmerk	eenheid	
maaiveld [a]	[m NAP]	+1,8
grondwaterstand [b]	[m-mv]	1,5
stijghoogte 1e watervoerende pakket [b]	[m-mv]	1,5
stijghoogte 2e watervoerende pakket [b]	[m-mv]	1,5
stijghoogte 3e watervoerende pakket [b]	[m-mv]	0,9
grondwaterstroming 3e watervoerende pakket (snelheid) [c]	[m/jaar]	circa 10
grondwaterstroming 3e watervoerende pakket (richting) [c]	[-]	noordelijk
grondwatertemperatuur 3e watervoerende pakket [d]	[°C]	11,5
zoet-/brakgrensvlak (chloride 150 mg/l) [c]	[m NAP]	dieper dan -200
brak-/zoutgrensvlak (chloride 1.000 mg/l) [c]	[m NAP]	dieper dan -200
bodemenergieplan [g]	-	niet aanwezig
diepterestrictie [g]	[m-mv]	maximale boordiepte 93 m-mv
grondwatergebruikers 3e watervoerende pakket [e]	< 1.500 m	aanwezig (zie 2.4)
gesloten bodemenergiesystemen [f]	< 500 m	niet aanwezig
grondwaterbeschermingsgebieden [g]	< 1.500 m	niet aanwezig
verontreinigingen in het 3e watervoerende pakket [h]	< 1.500 m	niet aanwezig (zie 2.5)
archeologische waarden [g]	-	niet gelegen in gebied met hoge archeologische waarden
natuurbeschermingsgebieden [i]	< 1.500 m	niet aanwezig
Landbouw	<1.500 m	niet aanwezig
infrastructuur (spoorlijnen e.d.) [j]	< 1.500 m	aanwezig (zie 2.6)
waterkeringen [k]	< 1.500 m	niet aanwezig

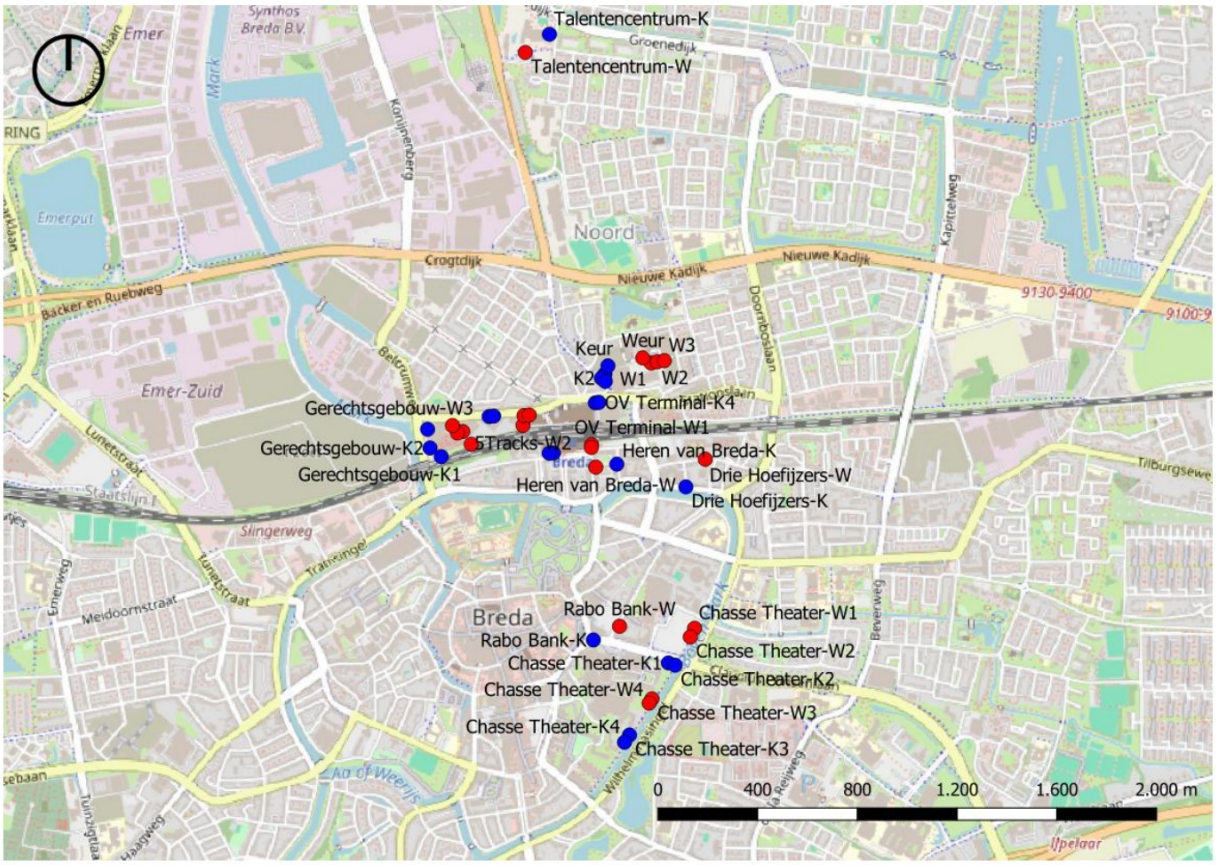
a bron: Actueel Hoogtebestand Nederland
b bron: grondwatertools.nl
c bron: REGIS
d bron: [redacted] - Analyse van temperatuurmetingen in de Nederlandse ondergrond (2000)
e bron: overzicht ODZOB
f bron: gemeente Breda
g bron: interactieve atlassen provincie Noord Brabant
h bron: bodemloket
i bron: landelijke kaart PDOK WFS server Natura2000
j bron: topografische kaart
k bron: leggerkaart waterkeringen Brabantse Delta

2.4. Bodemenergiesystemen

In de omgeving (< 1.500 m) zijn open bodemenergiesystemen aanwezig (zie figuur 2). In de omgeving (< 500 m) zijn geen gesloten bodemenergiesystemen aanwezig.

Tabel 3: open bodemenergiesystemen binnen 1.500 m

grondwatergebruikers	Afstand en richting tov Faam [m]	vergund debiet [m³/uur]	vergunde waterhoeveelheid [m³/jaar]
Eureka	20 N	90	180.400
OV terminal	320 ZW	220	630.000
Heren van Breda	370 Z	35	200.000
Drie Hoefijzers	450 Z	37	150.000
5Tracks	620 ZW	130	500.000
Gerechtsgebouw	800 ZW	165	495.000
Rabobank	1.000 Z	55	300.000
Chassé Theater	1.300 Z	415	660.000
Talentencentrum	1.380 N	35	96.200



Figuur 2: Bodemenergiesystemen in de omgeving

2.5. Grondwaterverontreinigingen

Ten zuiden van de projectlocatie bevindt zich een VOCL verontreiniging in het grondwater. In 2009 is onderzoek uitgevoerd (Mateboer Milieutechniek 20-10-2009) naar deze verontreiniging

Saneringsonderzoek VOCL verontreiniging Christiaan Huygensstraat 52 te Breda.

Uit dit onderzoek blijkt dat de verontreiniging tot een diepte van 24 m-mv (in het 2^{e} watervoerende pakket) is aangetroffen.

2.6. Infrastructuur

Op circa 170 m ten zuiden van de projectlocatie liggen de sporen van Station Breda.

3. Kenmerken van de activiteit

3.1. Principe bodemenergiesysteem

Als het project koudevraag heeft, wordt grondwater uit de koude bronnen opgepompt. Via warmtewisselaars wordt de koude overgedragen aan de gebouwen. Hierbij warmt het opgepompte grondwater op. Het relatief warme grondwater wordt vervolgens geïnfiltreerd in de warme bronnen.

Als het project warmtevraag heeft, wordt grondwater uit de warme bronnen opgepompt. Via een warmtewisselaar wordt de warmte overgedragen aan warmtepompen. De warmtepompen voorzien de gebouwen van warmte. Hierbij koelt het grondwater af. Het relatief koude grondwater wordt vervolgens geïnfiltreerd in de koude bronnen. Op deze wijze vindt opslag van zomerwarmte en winterkoude plaats om te gebruiken in het andere seizoen.

Het grondwater wordt via ondergrondse leidingen via de technische ruimtes van en naar de warme en koude filters gepompt. In de warmtewisselaar staat het grondwater koude of warmte af aan het secundaire circuit. Het water in het gebouwcircuit is gescheiden van het grondwater.

3.2. Aard en omvang van de activiteit

De energetische uitgangspunten van het bodemenergiesysteem zijn in overleg met ontwerper van de bovengrondse installatie bepaald. De uitgangspunten zijn bepaald conform de BRL 11000 (protocol BRL 11001) en 6000-21 conform ISSO-publicatie 39.

In tabel 4 zijn de energetische uitgangspunten opgenomen.

Het bodemenergiesysteem bestaat uit drie doubletten. In figuur 1 zijn de locaties van de bronnen weergegeven op de topografische kaart. In tabel 5 zijn de eigenschappen van de bronnen beschreven. De coördinaten van de bronnen zijn opgenomen in tabel 6.

Tabel 4: energetische uitgangspunten

	eenheid	koude leveren	warmte leveren
maximale waterverplaatsing	[m³/jaar]	500.000	500.000
gemiddelde waterverplaatsing	[m³/jaar]	400.000	400.000
maximaal debiet	[m³/uur]	180	180
gemiddelde infiltratie temperatuur	[°C]	17	7
min. en max. infiltratietemperatuur	[°C]	25	-
energiehoeveelheid	[MWh/seizoen]	2.376	2.376
vermogen	[kW]	1.262	1.262

Tabel 5: eigenschappen bronnen

	eenheid	warme bronnen	koude bronnen
minimale filterlengte	[m]	23	23
filtertraject [1]	[m-mv]	45 - 93	45 - 93

[1] *Het definitieve filtertraject wordt bepaald op basis van de aangetroffen bodemopbouw nadat de boring op diepte is gekomen (de filterstelling). Het filter wordt geplaatst in de bodemlagen die daarvoor het meest geschikt zijn (grofzandige lagen).*

Tabel 6: coördinaten bronnen

bron	x-coördinaat [m]	y-coördinaat [m]	maximale boordiepte [m-mv]
K1	113.056	401.141	93
K2	113.042	401.125	93
K3	113.058	401.112	93
W1	113.242	401.186	93
W2	113.268	401.191	93
W3	113.303	401.194	93

3.3. Aanleg en onderhoud

De bronnen worden geboord volgens BRL SIKB protocol 2101, Mechanisch Boren. Het horizontaal leidingwerk tussen de bronnen en de technische ruimte wordt aangelegd op circa 1 m-mv. De vrijgekomen grond uit de sleuven voor het leidingwerk wordt zoveel mogelijk weer teruggebracht in de bodem. Het oppervlak in de sleuven wordt gelijk aan het omliggende maaiveld afgewerkt.

De ruimte rondom het filter en de stijgbuis van de bron wordt ter hoogte van de zandlagen aangevuld met filter- of aanvulgrind. Ter hoogte van de kleilagen wordt zwelklei aangebracht. De elektrisch aangedreven bronpompen worden op diepte aangebracht, waardoor aan maaiveld het geluid van de pompen niet hoorbaar is.

De graafwerkzaamheden voor de putbehuizing vinden plaats op een kleine oppervlakte van 4 m^2. De vrijkomende grond bij de boorwerkzaamheden wordt conform het Besluit Bodemkwaliteit afgevoerd.

Bij het aanleggen en onderhouden van de bronnen komt grondwater vrij. Daarnaast kan het bij calamiteiten nodig zijn om extra grondwater te lozen. De wijze van het lozen van het boorspoelwater/ontwikkelwater is beschreven in een separate lozingsnotitie.

4. Effecten op het milieu

4.1. Inleiding

Er zijn verschillende berekeningen uitgevoerd om de effecten van het bodemenergiesysteem inzichtelijk te maken. De effecten zijn in drie categorieën te verdelen. De hydrologische effecten (bijlage 1), de hydrothermische effecten (bijlage 2) en de zettingseffecten (bijlage 3). De hydrologische effecten beschrijven de kwantitatieve gevolgen van het bodemenergiesysteem op het grondwater (grondwaterstroming, grondwaterstanden en stijghoogtes). De hydrothermische effecten beschrijven de effecten op de temperatuur van het grondwater en de bodem. De zettingsberekeningen beschrijven de effecten op het zetten van de bodem. In onderstaande paragrafen zijn de resultaten van de effectberekeningen beschreven. Gevolgd door de invloed die het beoogde bodemenergiesysteem heeft op de omgeving. Gestart wordt met het positieve effect: de energiebesparing.

4.2. Energiebesparing en emissiereductie

Het toepassen van het WKO-systeem resulteert in een besparing van circa 355.000 m^3 aardgasequivalenten per jaar. Dit komt neer op een energiebesparing van circa 62%. De energiebesparing resulteert in een emissiereductie van circa 620 ton CO_2 per jaar (57%) en 766 kg NO_x (86%).

De SPF-verklaring is separaat bijgevoegd bij de aanvraag op het Omgevingsloket.

4.3. Hydrologische effecten

De maximale stijghoogteverandering in het 3^e watervoerende pakket bedraagt 5,6 m. De stijghoogteverandering in het 1^e , 3^e en 4^e watervoerende pakket zijn kleiner dan 0,05 m. Het berekende hydrologische invloedsgebied in het 3^e watervoerende pakket reikt tot maximaal 1.500 m van de bronnen. De berekeningsresultaten van de hydrologische effecten zijn opgenomen in bijlage 1.

4.4. Hydrothermische effecten

Het berekende maximale hydrothermische invloedgebied reikt tot maximaal 170 m van de bronnen. De berekeningen van de hydrothermische effecten zijn opgenomen in bijlage 2.

4.5. Zettingen

Als gevolg van door het bodemenergiesysteem veroorzaakte verlagingen van de grondwaterstand en stijghoogte kan zetting van de bodem optreden. De berekende eindzetting is 8 mm. De berekende eindzetting ter plaatse van het spoor bedraagt circa 2 mm. De onderbouwing van de zettingsberekening is opgenomen in bijlage 3. Van negatieve effecten ten gevolge van zetting is geen sprake.

4.6. Geluid

Geluid wordt tijdelijk geproduceerd als gevolg van boorwerkzaamheden, aanleg horizontaal leidingwerk, aanleg putbehuizing en inrichten van de technische ruimte. Tijdens de realisatie van het bodemenergiesysteem staat een aantal weken een boorwagen te boren (geluidsniveau draaiende vrachtwagen), er rijdt een kraan en meerdere keren per dag een vrachtwagen rond en er draait een aggregaat. De realisatie van het grondwatersysteem maakt onderdeel uit van de nieuwbouw van De

Faam. Het geluid dat tijdelijk geproduceerd wordt voor de realisatie van het bodemenergiesysteem is nihil ten opzichte van het geluid dat de totale bouw produceert. Gezien het geluid geproduceerd wordt in stedelijk gebied zijn er geen negatieve gevolgen voor het milieu.

4.7. Invloed op de waterkwaliteit

De overgang van zoet naar zout grondwater bevindt zich in het 4e watervoerende pakket. De hydrologische invloed van het bodemenergiesysteem is daar nihil. Het beoogde bodemenergiesysteem van De Faam heeft derhalve geen invloed op de ligging van het zoet-/brakgrensvlak.

Uit onderzoeken naar de gevolgen van temperatuurveranderingen op de chemische en microbiologische processen in de bodem en het grondwater blijkt dat de geringe temperatuurveranderingen die optreden door bodemenergie geen significante invloed hebben op de chemische en microbiologische samenstelling van het grondwater.

Van negatieve invloed op de waterkwaliteit is geen sprake.

4.8. Invloed op andere grondwatergebruikers

Er zijn andere grondwatergebruikers aanwezig in het hydrologisch invloedsgebied. Er zijn twee grondwatergebruikers aanwezig in het thermische invloedsgebied. Van negatieve invloed op andere grondwatergebruikers is geen sprake. Een onderbouwing is beschreven in bijlage 1 en 2.

4.9. Invloed op natuur en landbouw

In de omgeving (< 1.500 m) van het bodemenergiesysteem zijn geen natuur-, Natuurbeschermingswetgebieden of Ecologische beschermingszones aanwezig. Grondwaterstandsveranderingen treden niet op ten gevolge van het beoogde bodemenergiesysteem. Van invloed op de natuur en landbouw is geen sprake.

4.10. Invloed op archeologie

Er is geen gebied met hoge archeologische waarde aanwezig. Het bodemenergiesysteem heeft derhalve geen negatieve invloed op cultuurhistorie en archeologische waarden, ook niet tijdens realisatie van het bodemenergiesysteem.

4.11. Invloed op gebouwen en infrastructuur

De geringe zetting veroorzaakt geen schade aan gebouwen of infrastructuur. De zettingsberekening is opgenomen in bijlage 3. Van negatieve invloed op gebouwen en infrastructuur is geen sprake.

4.12. Lozingswater

Tijdens de realisatie en het onderhoud van het bodemenergiesysteem komt water vrij dat geloosd moet worden. Hiervoor is in de Omgevingswet de voorkeursvolgorde voor lozen gedefinieerd. Een van de opties in tabel 7 wordt toegepast.

Tabel 7: voorkeursvolgorde lozen

type afvalwater	voorkeursvolgorde lozing (bevoegd gezag)
boorspoelwater (open en gesloten systemen)	1. vuilwaterriool (gemeente) 2. op het maaiveld (gemeente) 3. overige routes In de bodem en op het schoonwaterriool is niet toegestaan.
ontwikkel- en beheerwater (open systemen)	1. in de bodem (provincie) 2. oppervlaktewater (waterschap of Rijkswaterstaat) 3. schoonwaterriool (gemeente) 4. vuilwaterriool (gemeente) 5. externe verwerker

Bij het aanleggen en onderhouden van de bronnen komt grondwater vrij. Daarnaast kan het bij calamiteiten nodig zijn om extra grondwater te lozen. De wijze van het lozen van het boorspoelwater/ontwikkelwater en beheerwater en calamiteiten is beschreven in een separate lozingsnotitie.

4.13. Conclusie

Het beoogde bodemenergiesysteem heeft geen negatieve gevolgen voor het milieu en overige belangen.

Bijlagen

Bijlage 1: Geohydrologische effecten

Om de hydrologische effecten van de energieopslag te kunnen berekenen, is gebruik gemaakt van het softwarepakket MLU. Meer informatie over MLU is te vinden op www.MLU.app.

Schematisatie

De modelschematisatie is gebaseerd op de geohydrologische bodemopbouw in tabel 1. De bovenkant van de hydrologisch basis is de gesloten onderkant van het model. Uitgangspunt is dat de bodemopbouw geldt voor het totale gemodelleerde gebied. In tabel 8 is de modelschematisatie weergegeven.

Tabel 8: modelschematisatie

diepte [m-mv]	toelichting	doorlaatvermogen [m²/d]	weerstand [d]
1,5 - 18	1e watervoerende pakket	350	-
18 - 20	1e scheidende laag	-	100
20 - 33	2e watervoerende pakket	200	-
33 - 43	2e scheidende laag	-	1.000
43 - 45	3e watervoerende pakket (boven filter)	35	-
45	fictieve scheidende laag	-	2,9
45 - 68	3e watervoerende pakket (filter)	400	-
68	fictieve scheidende laag	-	7,9
68 - 100	3e watervoerende pakket (onder filter)	390	-
100 - 115	3e scheidende laag	-	2.000
115 - 220	4e watervoerende pakket	2.500	-
> 220	hydrologische basis	-	∞

De berekeningen zijn stationair uitgevoerd. Dat wil zeggen dat in het model continu met maximaal debiet wordt onttrokken en geïnfiltreerd (180 m³/uur; 60 m³/uur per bron).

Fictieve scheidende lagen

De fictieve scheidende lagen zijn representatief voor de verticale weerstand in het watervoerend pakket waar het onvolkomen filter van het bodemenergiesysteem is gesitueerd. De fictieve scheidende lagen worden bepaald door de helft van de weerstand van de watervoerende laag boven de fictieve scheidende laag en de bovenste helft van de onderliggende laag mee te nemen. In beide gevallen wordt een anisotropie van 4 aangehouden.

Berekeningsresultaten

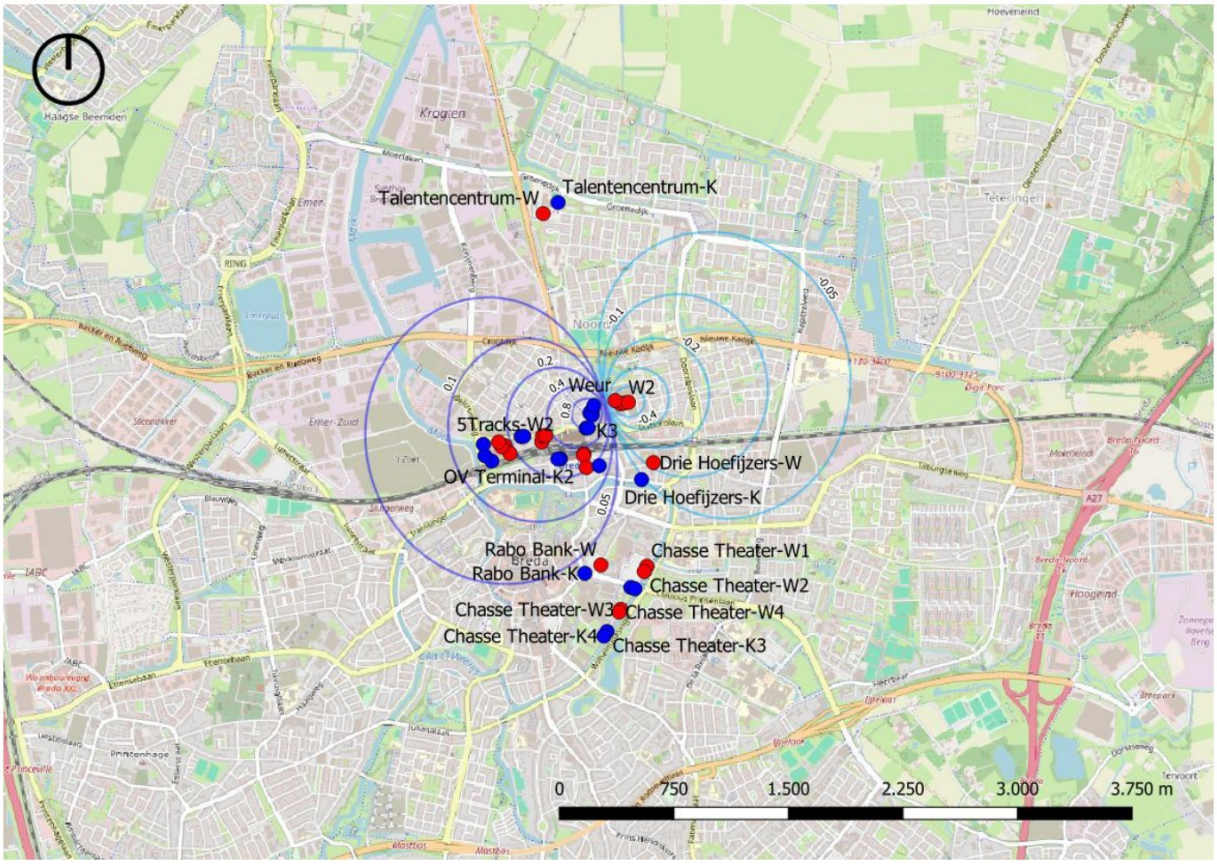
De berekeningen zijn uitgevoerd om inzicht te krijgen in de veranderingen van de grondwaterstand en de stijghoogten in de watervoerende pakketten ten gevolge van het grondwatersysteem. Tevens is bepaald tot welke afstand in de omgeving van het grondwatersysteem de grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen merkbaar zijn. Dit is het invloedsgebied, dat wordt gedefinieerd als het gebied waar de berekende veranderingen groter zijn dan 0,05 m.

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in tabel 9.

Tabel 9: hydrologische effecten

	eenheid	maximale verandering	maximaal invloedsgebied
1e watervoerende pakket	[m]	<0,05	-
2e watervoerende pakket	[m]	<0,05	-
3e watervoerende pakket	[m]	5,6	1.500
4e watervoerende pakket	[m]	< 0,05	-

In figuur 3 is het maximale hydrologische invloedsgebied van het 3e watervoerende pakket weergegeven.



Figuur 3: het maximale hydrologische invloedsgebied in het 3e watervoerende pakket

Invloed op andere grondwatergebruikers

In het hydrologische invloedsgebied van De Faam bevinden zich de bronnen van het bodemenergiesysteem van het Gerechtsgebouw, de drie Hoefijzers, de Heren van Breda, de OV terminal, en 5Tracks (zie figuur 9). In tabel 10 is beschreven wat de extra stijghoogteverandering ter plaatse van de bronnen deze bodemenergiesystemen is.

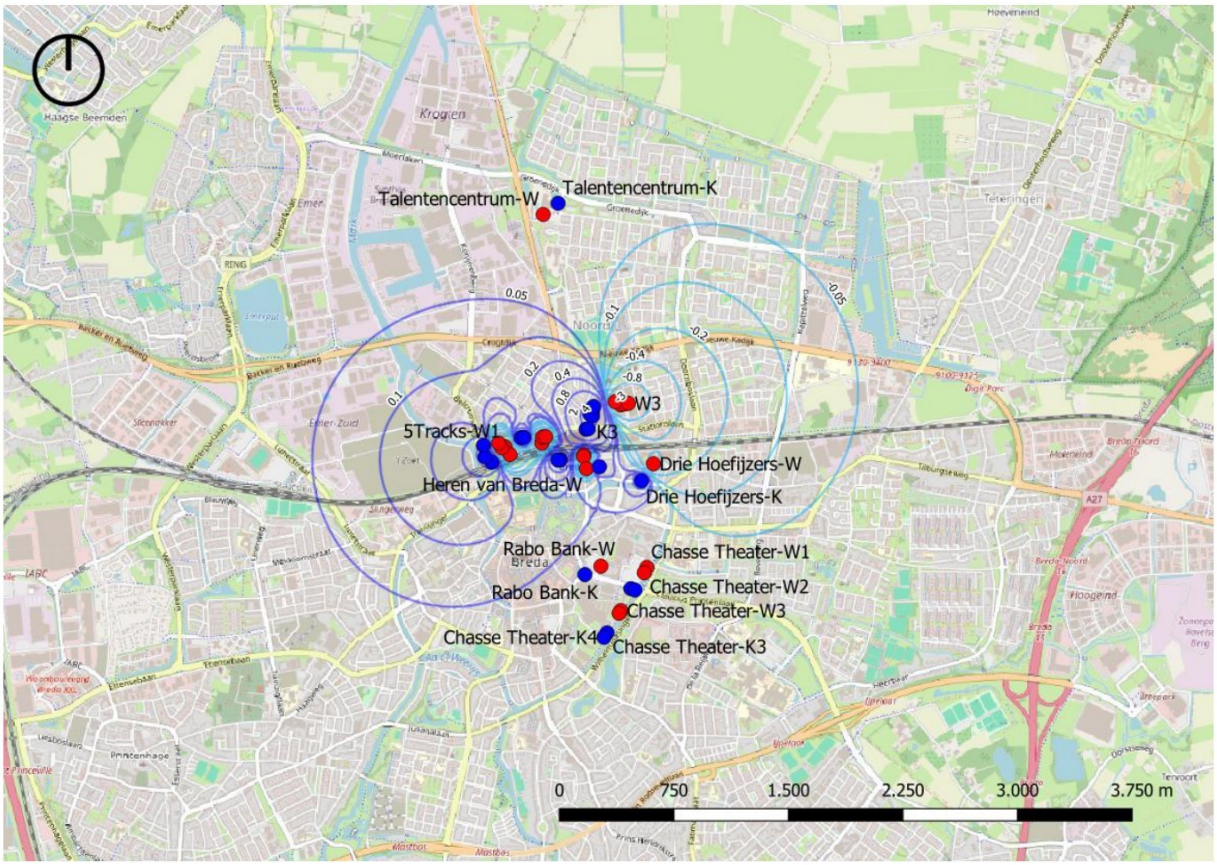
Tabel 10: hydrologische effecten op grondwatergebruikers

bron	eenheid	stijghoogteverandering door De Faam	effect
Eureka	[m]	1,3	versterkend
OV terminal K3 en K4	[m]	0,8	versterkend
OV terminal overige bronnen	[m]	<0,3	dempend en versterkend
Heren van Breda	[m]	0,22	dempend/versterkend
Drie Hoefijzers	[m]	0,07	versterkend
5Tracks	[m]	<0,3	dempend/versterkend
Gerechtsgebouw	[m]	<0,17	dempend/versterkend
Rabobank	[m]	<0,05	
Chassé Theater	[m]	<0,05	
Talentencentrum	[m]	<0,05	

De berekende extra stijghoogteveranderingen bij deze bronnen zullen geen belemmering opleveren voor de bedrijfsvoering. Dit wordt bepaald door de diepte van de pomp. De diepte van de pomp wordt bepaald door de laagste grondwaterstand/stijghoogte van het bepompte pakket, de minimale overdruk van het systeem en de eigen berekende afpomping. In de praktijk worden pompen 4 à 5 meter dieper gehangen. Dit betekent dat in de praktijk er een grenswaarde van 4 à 5 meter is voordat de pomp in storing valt door een te lage waterstand in de bron. Op die grenswaarden zit dan nog een alarm als de stijghoogte nog maar 1 meter van de grenswaarde ligt. De extra stijghoogteverandering zoals in deze effectenstudie berekend, zullen daarom zelden tot problemen leiden bij de bronnen van een ander bodemenergiesysteem.

Van negatieve invloed op andere grondwatergebruikers is geen sprake.

Ter illustratie zijn in figuur 4 de gecombineerde hydrologische effecten weergegeven van alle systemen die binnen het invloedsgebied van het bodemenergiesysteem van de Faam liggen (inclusief het systeem van de Faam zelf)



Figuur 4: het maximale hydrologische invloedsgebied in het 3e watervoerende pakket (gecombineerde effecten)

Invloed op zoet grondwater

Het zoet-/brakgrensvlak en het brak-/zoutgrensvlak bevinden zich diep in het 4e watervoerende pakket. Het bodemenergiesysteem heeft daar geen invloed waardoor de invloed op het zoet-/brakgrensvlak en het brak-/zoutgrensvlak verwaarloosbaar is.

Van verzilting van zoete grondwatervoorraden is geen sprake.

Conclusie

Het bodemenergiesysteem heeft geen negatieve invloed op de zoete grondwatervoorraad. Het bodemenergiesysteem heeft invloed op de grondwaterstand. Er zijn gebieden met archeologie, aardkundige waarden, landbouw, openbare groenvoorzieningen en Natuurbeschermingsgebieden aanwezig in het hydrologische invloedsgebied. Het project ligt niet in een gebied met kwetsbare funderingen. Het bodemenergiesysteem heeft derhalve geen invloed op de monumentale watertoren.

Andere grondwatergebruikers worden niet negatief beïnvloed door de toepassing van het beoogde bodemenergiesysteem.

Bijlage 2: Hydrothermische effecten

Om de hydrothermische berekeningen uit te voeren is gebruik gemaakt van HSTwin2D. Met dit programma kan warmtetransport worden berekend in een verzadigd grondwatersysteem.

Schematisatie

De modelparameters zijn weergegeven in tabel 11.

Tabel 11: modelschematisatie

laagnaam	dikte [m-mv]	doorlatendheid [m/d]	warmtegeleiding [W/(mK)]	warmtecapaciteit [MJ/(m³K)]
geleidende toplaag	-	-	2,4	2,5
3e watervoerende pakket	25	11	2,4	2,5
geleidende onderlaag	-	-	2,4	2,5

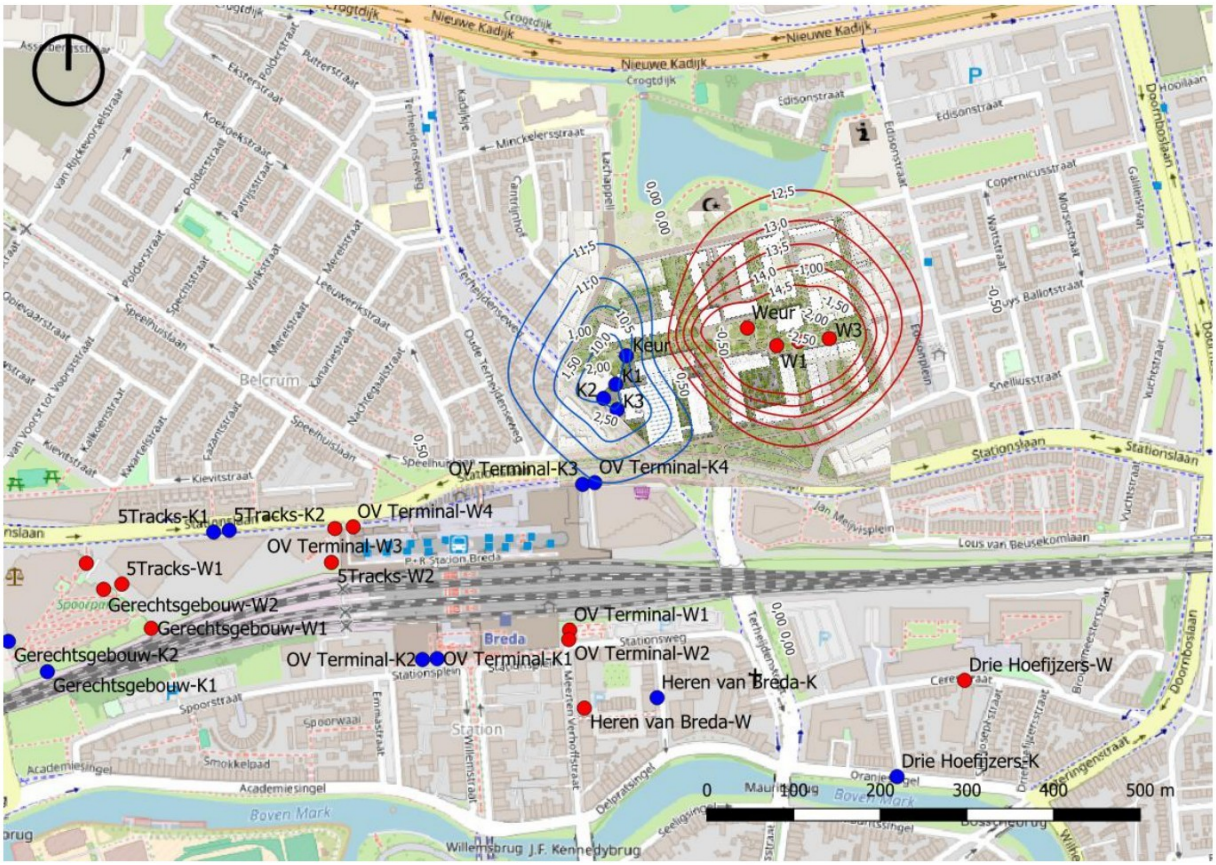
In tabel 12 is het onttrekkings- en infiltratiepatroon weergegeven die in het model zijn opgenomen.

Tabel 12: onttrekkings- en infiltratiepatroon

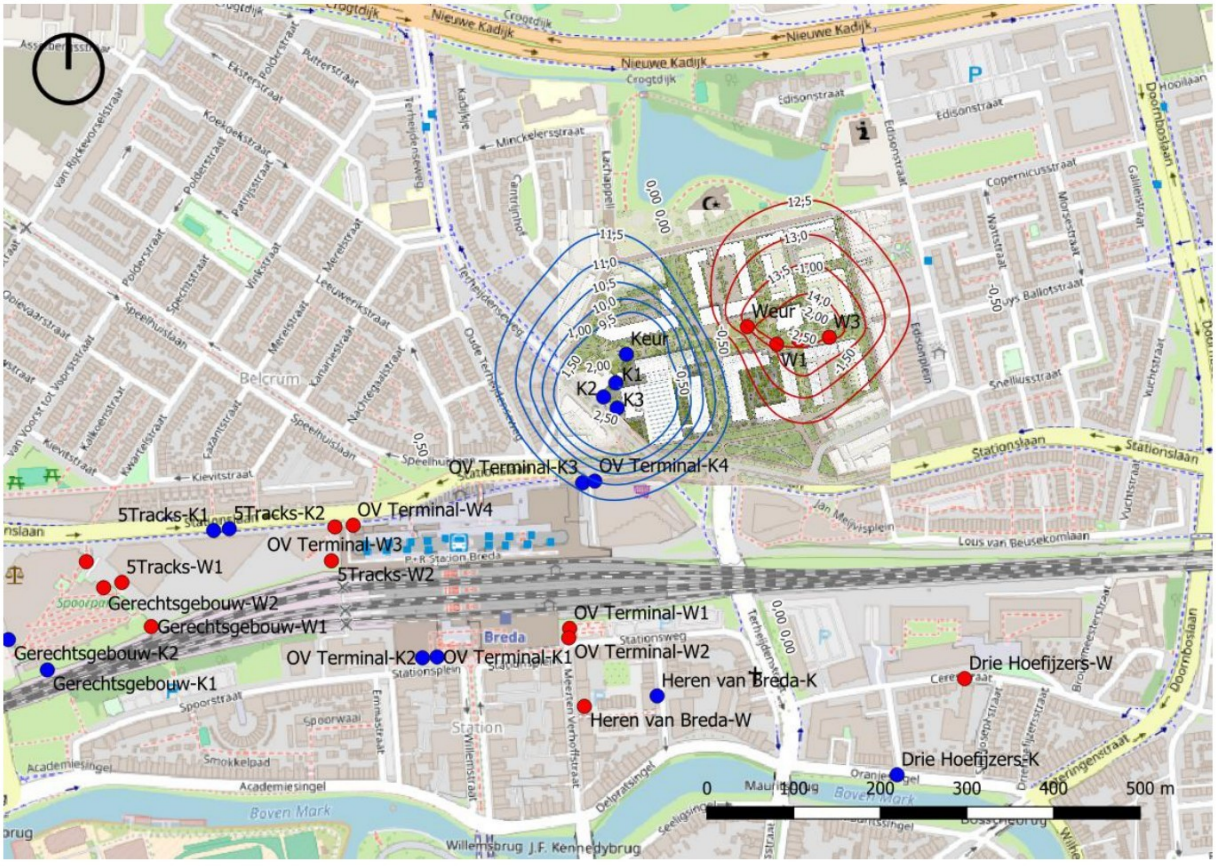
	energiehoeveelheid [MWh/seizoen]	infiltratietemperatuur [°C]
winter (warmte leveren)	2.376	7
lente	-	-
zomer (koude leveren)	2.376	17
herfst	-	-

Resultaten van de berekeningen

Het thermische invloedsgebied is het gebied rondom de bronnen waar de temperatuur meer dan 0,5°C afwijkt van de natuurlijke grondwatertemperatuur. De natuurlijke grondwatertemperatuur van het opslagpakket bedraagt 11,5°C. De berekende temperaturen in de zomer en winter na 20 jaar zijn weergegeven in figuur 5 en 6. Het thermische invloedgebied reikt tot maximaal 170 van de bronnen.



Figuur 5: hydrothermische effecten na 20 jaar (einde zomer)



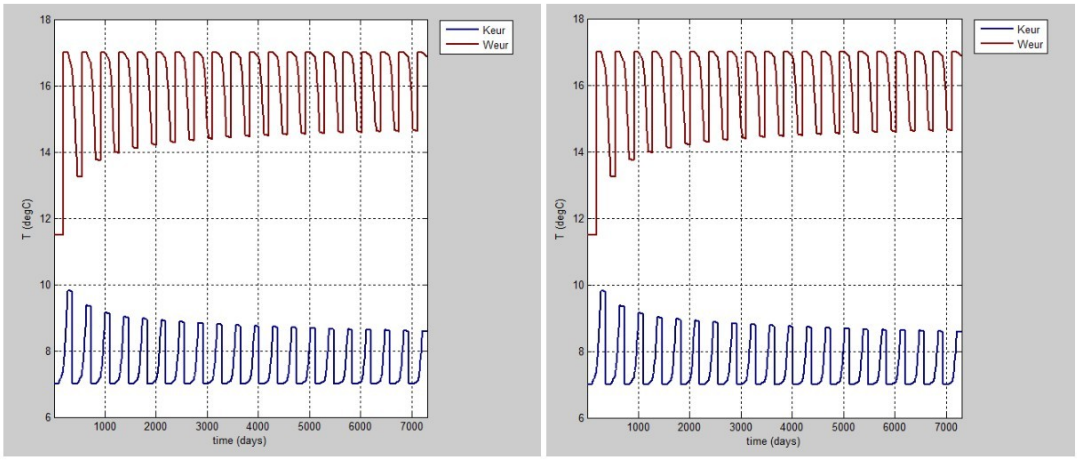
Figuur 6: hydrothermische effecten na 20 jaar (einde winter)

Invloed op andere bodemenergiesystemen

In het berekende thermische invloedsgebied van de bronnen van De Faam bevinden zich twee andere open bodemenergiesystemen. Het betreft de systemen van Eureka en OV Terminal. Ter illustratie zijn in figuur 7 de berekende brontemperaturen van het systeem van Eureka weergegeven. Te zien is dat de brontemperaturen niet tot nauwelijks beïnvloed worden door het systeem van De Faam.

In figuur 8 en 9 zijn de gecombineerde thermische effecten weergegeven van de systemen van De Faam, Eureka en OVterminal.

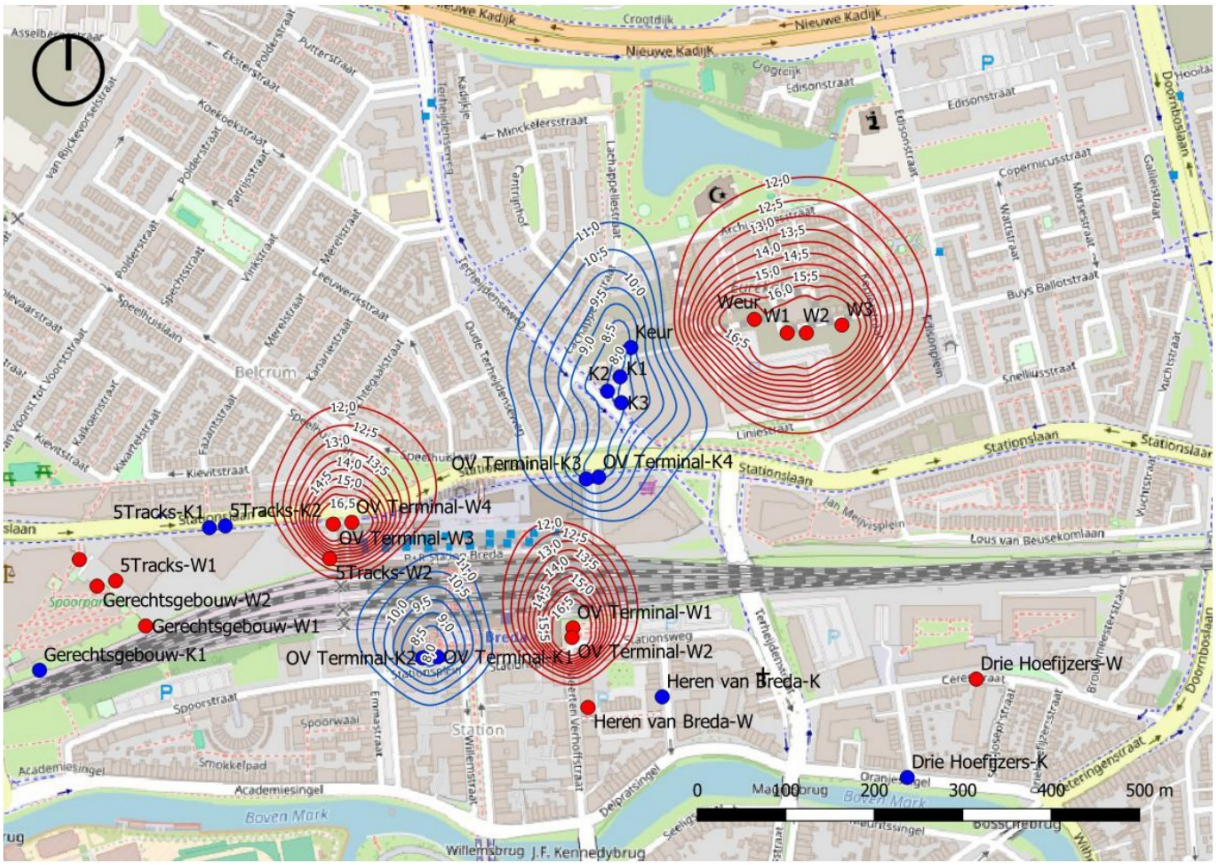
Van negatieve thermische invloed op andere bodemenergiesystemen is geen sprake.



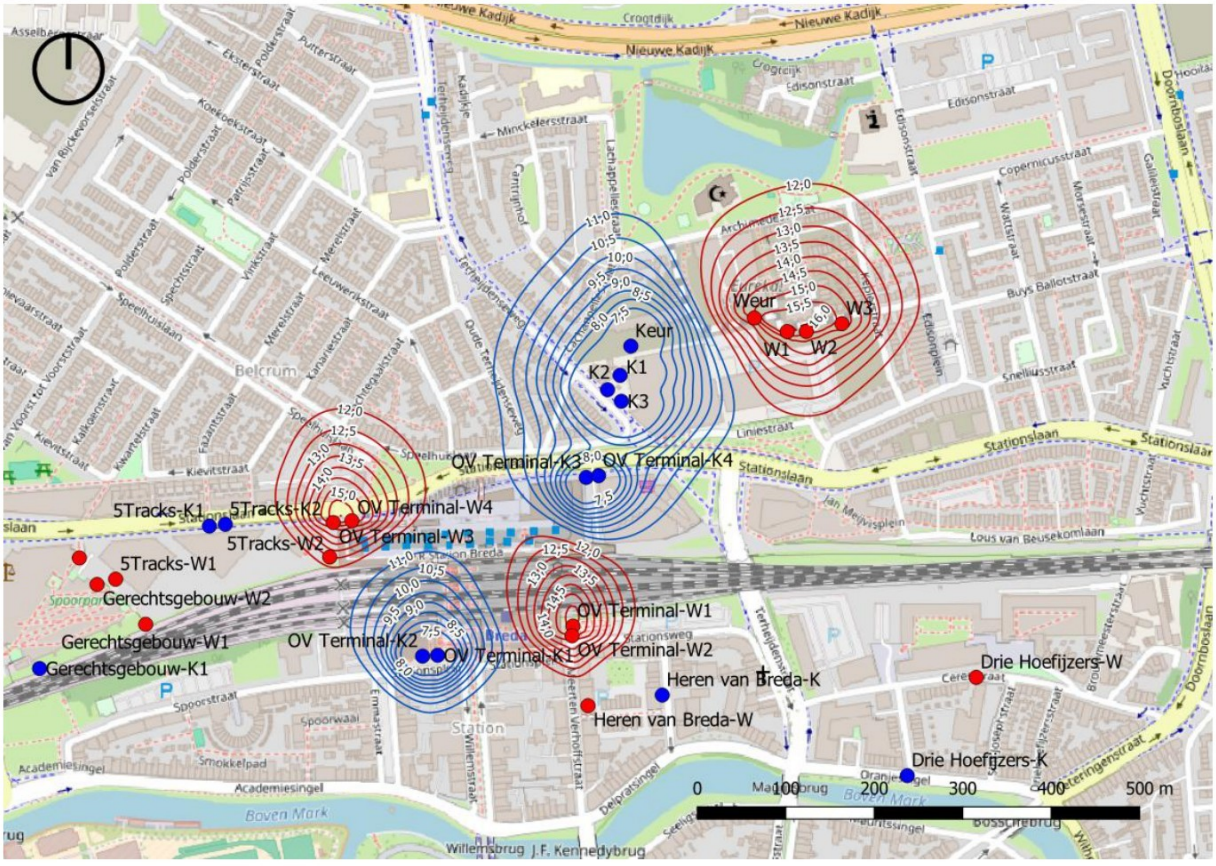
Figuur 7: Temperatuurverloop in de bronnen van Eureka met (links) en zonder (rechts) De Faam

Conclusie

Van negatieve hydrothermische invloed is geen sprake.



Figuur 8: gecombineerde hydrothermische effecten na 20 jaar (einde zomer)



Figuur 9:gecombineerde hydrothermische effecten na 20 jaar (einde winter)

Bijlage 3: Zettingen

De bodem bestaat uit zand en klei. De berekende eindzetting bedraagt 8 mm ter plaatse van de bronnen. Ter onderbouwing is in figuur 12 de zettingsberekening weergegeven. Hierbij is de eindzetting berekend op basis van Terzaghi (parameters conform NEN blad 6740).

Materiaal	diepte	Dikte	stijghoogte verandering tgv WKO [m]	primaire zettingsconstrante	secundaire zettingsconstante	soortelijke massa	zetting
	0						
Onverz.zone		1,5	0	-	-	1600	0
	1,5						
Zand		16,5	0,03	1000	1,00E+99	2000	0
	18						
Klei		2		25	240	1800	0
	20						
Zand		13	0,04	1000	1,00E+99	2000	0
	33						
Klei		10		70	600	1800	8
	43						
Zand		2	2,8	1000	1,0E+99	2000	0
	45						
Zand		23	5,6	1000	1,0E+99	2000	0
	68						
Zand		32	1,3	1000	1,0E+99	2000	0
	100						
Klei		15		100	1000	1800	0
	115						
Zand		165	0	1000	1,0E+99	2000	0
	220						

totaalzetting	8

Figuur 12: Zettingsberekening uitgevoerd op basis van Terzaghi

Zetting bij het spoor

Ten zuiden loopt een spoor. De maximale eindzetting ter hoogte van het spoor bedraagt circa 2 mm (zie figuur 13). Het zettingsverhang langs het spoor is veel kleiner dan 1 m per 10 km.

Materiaal	[m-mv] diepte	[m] Dikte	[m] stijghoogte verandering tgv WKO [m]	[-] primaire zettingsconstrante	[-] secundaire zettingsconstante	[kg/m3] soortelijke massa	[mm] zetting
	0						
Onverz.zone		1,5	0	-	-	1600	0
	1,5						
Zand		16,5	0	1000	1,00E+99	2000	0
	18						
Klei		2		25	240	1800	0
	20						
Zand		13	0	1000	1,00E+99	2000	0
	33						
Klei		10		70	600	1800	2
	43						
Zand		2	0,6	1000	1,0E+99	2000	0
	45						
Zand		23	0,6	1000	1,0E+99	2000	0
	68						
Zand		32	0,6	1000	1,0E+99	2000	0
	100						
Klei		15		100	1000	1800	0
	115						
Zand		165	0	1000	1,0E+99	2000	0
	220						

totaalzetting	2

Figuur 13: Zettingsberekening nabij het spoor uitgevoerd op basis van Terzaghi

Cumulatieve zettingsberekening

Ter illustratie is de cumulatieve zettingsberekening uitgevoerd. De maximale eindzetting op basis van de cumulatieve hydrologische effecten bedraagt circa 10 mm (zie figuur 14).

Materiaal	[m-mv] diepte	[m] Dikte	[m] stijghoogte verandering tgv WKO [m]	[-] primaire zettingsconstrante	[-] secundaire zettingsconstante	[kg/m3] soortelijke massa	[mm] zetting
	0						
Onverz.zone		1,5	0	-	-	1600	0
	1,5						
Zand		16,5	0,01	1000	1,00E+99	2000	0
	18						
Klei		2		25	240	1800	0
	20						
Zand		13	0,07	1000	1,00E+99	2000	0
	33						
Klei		10		70	600	1800	10
	43						
Zand		2	3,5	1000	1,0E+99	2000	0
	45						
Zand		23	6,4	1000	1,0E+99	2000	0
	68						
Zand		32	1,7	1000	1,0E+99	2000	0
	100						
Klei		15		100	1000	1800	0
	115						
Zand		165	0	1000	1,0E+99	2000	0
	220						

totaalzetting	10

Figuur 14: maximale cumulatieve zettingsberekening uitgevoerd op basis van Terzaghi

Conclusie

In de Nederlandse Norm Geotechniek van 1990 (NEN 6740) zijn normen opgenomen om een ongewenst verlies aan bruikbaarheid, schade of hoge onderhoudskosten aan infrastructuur en constructies te voorkomen. Volgens deze NEN-norm mag de zetting niet groter zijn dan 150 mm en mag het zettingsverhang niet groter zijn dan 1:300. Bij de aanwezigheid van ondiepe zettingsgevoelige bodemlagen, zoals een deklaag, kunnen verschillen in de samenstelling van de betreffende laag aanleiding geven tot verschilzettingen aan maaiveld. Wanneer de veroorzaakte zetting in de deklaag groter is dan 15 mm, dan kunnen effecten van betekenis optreden.

ProRail hanteert een maximaal zettingsverhang van 1 m per km (6 mm per spoorstaaf van 6 m). De berekende zetting ter hoogte van het spoor en daarmee gepaard gaande verschilzetting zal derhalve geen schade aan het spoor veroorzaken.

Er treedt naar verwachting geen maaiveldzetting op ten gevolge van de toepassing van het beoogde bodemenergiesysteem. De theoretisch berekende totale maximale eindzetting bedraagt als gevolg van het bodemenergiesysteem 8 mm en vindt grotendeels plaats in de eerste scheidende laag. Door de dempende werking van de bodemlagen tussen maaiveld en de scheidende laag waarin de zetting optreedt, wordt zetting aan maaiveld daarom niet verwacht.

Van negatieve effecten ten gevolge van zetting op andere belangen is geen sprake.