

Datum 19 juni 2025
Referentie PR09983/ME/20250619
Betreft Effectberekeningen Bodemenergieplan De Vliert
Auteur M. van Haaren
Gecontroleerd door Y. van de Ridder

Effectberekeningen Bodemenergieplan De Vliert

1 INLEIDING

Deze notitie dient als bijlage bij het bodemenergieplan 'de Vliert'. Hierin zijn de hydrologische, hydrothermische en grondmechanische effecten gepresenteerd voor zowel de huidige demarcatie van het bodemenergieplan (fase 1) als de cumulatieve effecten met de ontwikkelingen Sportiom en Pierson die voor nu buiten het bodemenergieplan vallen (fase 2). Hiermee wordt de juridische haalbaarheid van het plangebied getoetst en kan deze notitie als naslagwerk dienen voor vergunningaanvragen binnen de demarcatie van bodemenergieplan 'de Vliert'.

2 UITGANGSPUNTEN EFFECTBEREKENINGEN

Voor de hydrologische berekeningen zijn binnen de zoekgebieden fictieve bronlocaties gekozen. De broncapaciteit en waterverplaatsing komen overeen met het Bodemenergieplan de Vliert (Tabel 4.2). Het doel van deze notitie is om de effecten (hydrologisch, hydrothermisch en grondmechanisch) voor zowel fase 1 als fase 2 van het bodemenergieplan door te rekenen en te toetsen.

Disclaimer bronlocaties fase 2

Voor de deelgebieden Sportiom en Pierson zijn nog geen ontwikkelingen bekend. Bij het kiezen van bronlocaties is hier dus geen rekening gehouden met toekomstige plannen, maar is alleen gekeken naar locaties die hydrologisch en grondmechanisch optimaal lijken en op voorhand ook vanuit thermisch oogpunt geschikt lijken. Aangezien het nog zeer onzeker is hoe het Sportiom en Pierson eruit gaan zien in de toekomst, kan het goed zijn dat de indicatieve locaties voor fase 2 herzien moeten worden. Om deze reden geldt er voor fase 2 ook nog geen ordeningspatroon.

3 HYDROLOGISCHE RESULTATEN

Om de hydrologische effecten van het open bodemenergiesysteem te berekenen, is gebruik gemaakt van het hydrologische softwarepakket MLU voor Windows (Multi Layer Unsteady state). Meer informatie over MLU is te vinden op www.microfem.com. De bodemopbouw in het model is gebaseerd op de geohydrologische schematisatie zoals staat beschreven in het bodemenergieplan. Uitgangspunt is dat de bodemopbouw geldt voor het totale gemodelleerde gebied.

In Figuren 1 en 2 (zie sectie 'FIGUREN') zijn respectievelijk de berekende grondwaterstandveranderingen en de stijghoogteveranderingen in het eerste watervoerende pakket (opslagpakket) weergegeven voor zowel fase 1 als 2. In Figuur 3 zijn de cumulatieve stijghoogtes weergegeven van fase 1 met de bestaande bodemenergiesystemen binnen het invloedsgebied.

Conclusies/aandachtspunten:

- Om de stijghoogte- en grondwaterstandveranderingen te berekenen is een berekening uitgevoerd waarbij elk systeem gedurende een seizoen op maximaal debiet draait. Aangezien elk open bodemenergiesysteem in de praktijk slechts gedurende een zekere periode op maximaal debiet draait, zijn de berekende grondwaterstandveranderingen en stijghoogteveranderingen op dat punt een overschatting van de werkelijke optredende effecten.
- Grondwaterstandsveranderingen van meer dan 5 cm binnen het gebied wat gekenmerkt is als Natuurnetwerk Nederland (de Heinis) treden niet op, voor zowel fase 1 als fase 2.
- Grondwaterstandsveranderingen variërend van 1 tot 5 cm treden wel op binnen gebieden die gekenmerkt zijn als Natuurnetwerk Nederland voor beide fases. De Heinis is gekenmerkt als attentiezone waterhuishouding. Binnen deze zones gelden aanvullende maatregelen om het grondwater te beschermen. Omdat het invloedsgebied (tot 5 cm) en De Vliert buiten dit gebied vallen, zijn er naar verwachting geen aanvullende maatregelen nodig.
- De maximale toename in stijghoogteverandering bij bestaande bodemenergiesystemen buiten het plangebied (Santa Maria Mavo, De Kameleon & de Amazones) bedraagt maximaal 0,07 m voor fase 1. In fase 2 is de invloed minder. Dit is dermate gering dat dit in de praktijk geen effect heeft op de bedrijfsvoering of het rendement van deze systemen.
- De cumulatieve invloed leidt niet tot een zodanige injectiedruk dat de ontwerpnormen overschreden worden. Hierdoor is er geen verhoogd risico op bodemspijting. Wel is het sterk aan te raden om de filters zo diep mogelijk te plaatsen wat het risico op bodemspijting verder vermindert. Dit onderschrijft het belang dat regel 6 uit het bodemenergieplan te allen tijde wordt opgevolgd.
- Van hydrologische beïnvloeding van overige belangen is geen sprake.

4 HYDROTHERMISCHE RESULTATEN

De berekeningen van de thermische effecten van de open bodemenergiesystemen zijn uitgevoerd met het programma HstWin-3D. Met het programma HstWin-3D worden warmte- en stoftransport berekend in een verzadigd driedimensionaal grondwatersysteem.

De randvoorwaarden in het HstWin-3D-model zijn gebaseerd op de geohydrologische beschrijving zoals omschreven in het bodemenergieplan. HstWin-3D simuleert de grondwaterstroming en het warmtetransport in meerdere lagen. De berekende hydrothermische effecten na 20 jaar energieopslag zijn aan het eind van het zomer- en winterseizoen weergegeven in Figuren 4 en 5 voor fase 1 en fase 2 (zie Sectie FIGUREN).

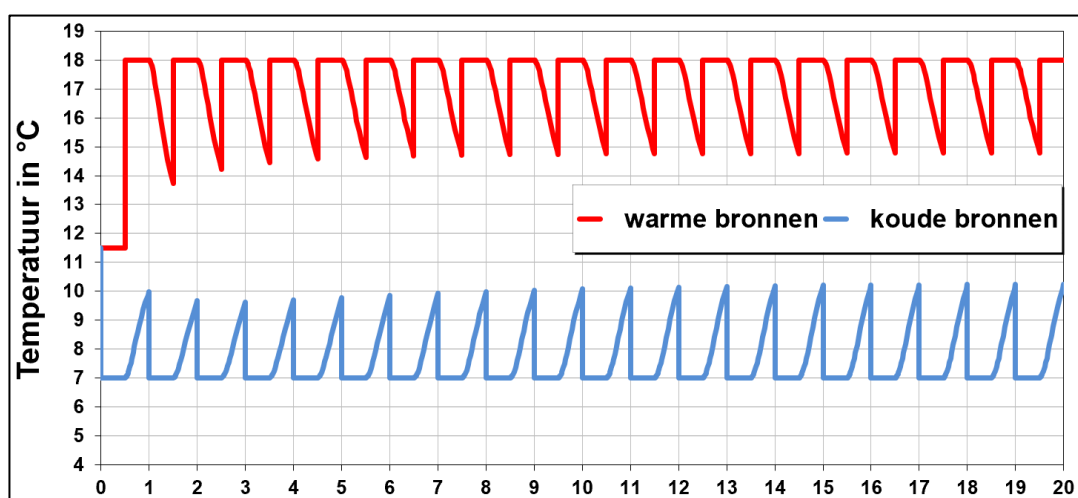
Het hydrothermische invloedsgebied is het gebied op de diepte van de gemodelleerde bronfilters waarbinnen de berekende temperatuur na 20 jaar minimaal 0,5 °C afwijkt van de natuurlijke grondwatertemperatuur (11,5 °C).

Conclusies/aandachtspunten:

- Er is gerekend met een gemiddelde infiltratietemperatuur van 7°C in de winter en 18°C in de zomer. In de praktijk zal dit temperatuursverschil lager uitvallen waardoor de berekende thermische effecten een overschatting zijn van de werkelijk optredende effecten.
- Het hydrothermische invloedsgebied reikt tot circa 300 m ten noordwesten van de bronnen in het projectgebied.
- Er is geen overlap met bestaande bodemenergiesystemen en het thermische invloedsgebied van het bodemenergieplan.

- Er treedt geen onderlinge thermische kortsluiting op tussen de bodemenergiesystemen binnen het bodemenergieplan. Wel treedt er in fase 2 thermische invloed op bij de koude bronnen van Pierson. Hierdoor wordt aan het einde van de zomer grondwater met de natuurlijke grondwatertemperatuur aangetrokken in de koude bronnen van Pierson. De bronnen van fase 1 ondervinden geen negatieve invloed van de bronnen van fase 2.

Om na te gaan of bij de bronnen van Pierson significante thermische invloed optreedt, is in onderstaand figuur het gemiddelde temperatuurverloop van de bronnen van Pierson weergegeven.



Figuur 6 | Gemiddeld temperatuurverloop bronnen Pierson

Uit bovenstaand figuur valt op te maken dat het gemiddelde temperatuurverloop van de bronnen stabiliseert en dat er geen kortsluiting optreedt. Wel ondervinden de koude bronnen wat invloed van de warme bronnen van Pierson. Aangezien zowel de uitgangspunten als infiltratietemperaturen worst-case zijn ingeschat, zal bovenstaand effect in de praktijk lager uitvallen. Het huidige orderingspatroon van fase 1 is dan ook niet belemmerend voor een eventuele broninpassing voor Pierson.

5 GRONDMECHANISCHE EFFECTEN

De stijghoogteveranderingen als gevolg van het open bodemenergiesysteem kunnen zetting veroorzaken. In welke mate deze zettingen daadwerkelijk optreden, hangt af van de zettingsgevoeligheid van de aanwezige bodemlagen en van de grootte van de stijghoogteveranderingen. Daarnaast zijn de eerder opgetreden bodembelastingen van belang. Deze zogenaamde voorbelastingen kunnen hebben plaatsgevonden bij extreem lage stijghoogten in droge jaren of door eerdere (tijdelijke) onttrekkingen.

De potentiële zetting is berekend met de formule van Koppejan. Hiervoor is de bodem geschematiseerd op basis van de opbouw in Tabel 4.2 uit het bodemenergieplan. De zettingconstanten zijn ontleend aan NEN-blad 6740 - bladzijde 20. In de zettingsberekeningen is aangenomen dat de veroorzaakte verlaging direct doorwerken in de kleilagen en dat er geen sprake is van voorbelastingen (worst-case benadering). De berekende stijghoogtes zijn cumulatief. Dat wil zeggen van alle systemen binnen het bodemenergieplan en de systemen die binnen het hydrologische invloedsgebied van het bodemenergie vallen.

Resultaten fase 1

Via deze methode is een maximale eindzetting van 10 mm berekend (zie Bijlage 1). Het berekende maximale zettingsverhang bedraagt in de directe nabijheid van de bronnen (binnen 10 m rondom de bronnen) maximaal 1 m per 2.900 m. Aan de rand van het berekende hydrologische invloedsgebied bedraagt de berekende eindzetting maximaal 1 mm.

Binnen het bodemenergieplan bevindt zich een spoorlijn. De berekende maximale eindzetting ter hoogte van het spoor bedraagt circa 7 mm. Het berekende maximale zettingsverhang bedraagt maximaal 1 m per 43.000 m.

Resultaten fase 2

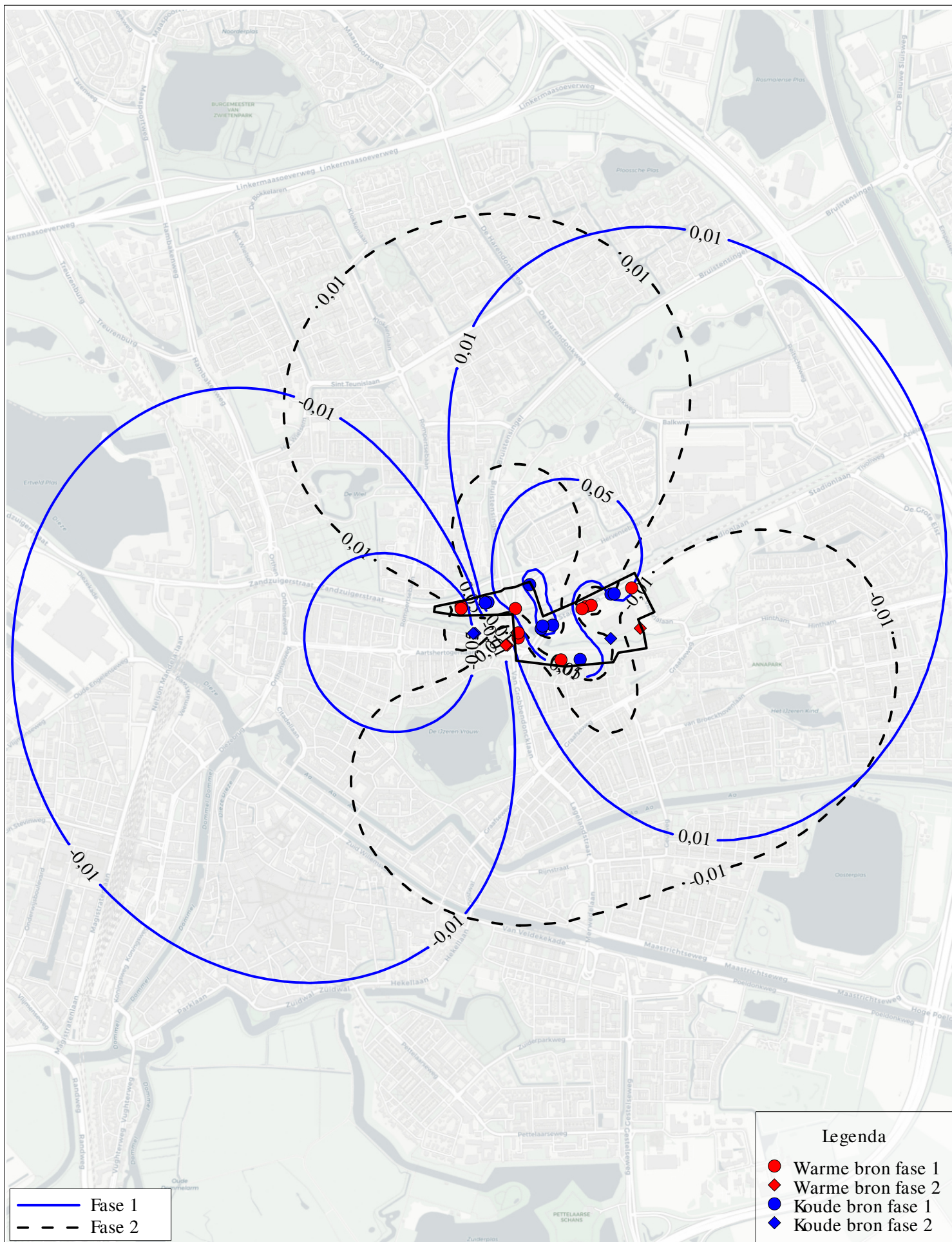
Voor fase 2 is tevens een maximale eindzetting van 10 mm berekend (zie Bijlage 2). Omdat het stijghoogtepatroon afwijkt ten opzichte van fase 1, is er wel een verschil in zettingsverhang. Deze bedraagt voor fase 2 maximaal 1 m per 2.300 m. Ook voor fase 2 is de eindzetting aan de rand van het hydrologische invloedsgebied maximaal 1 mm.

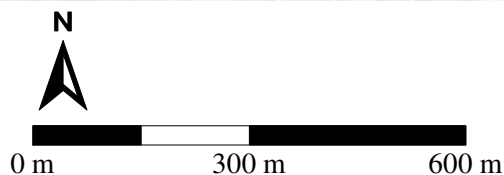
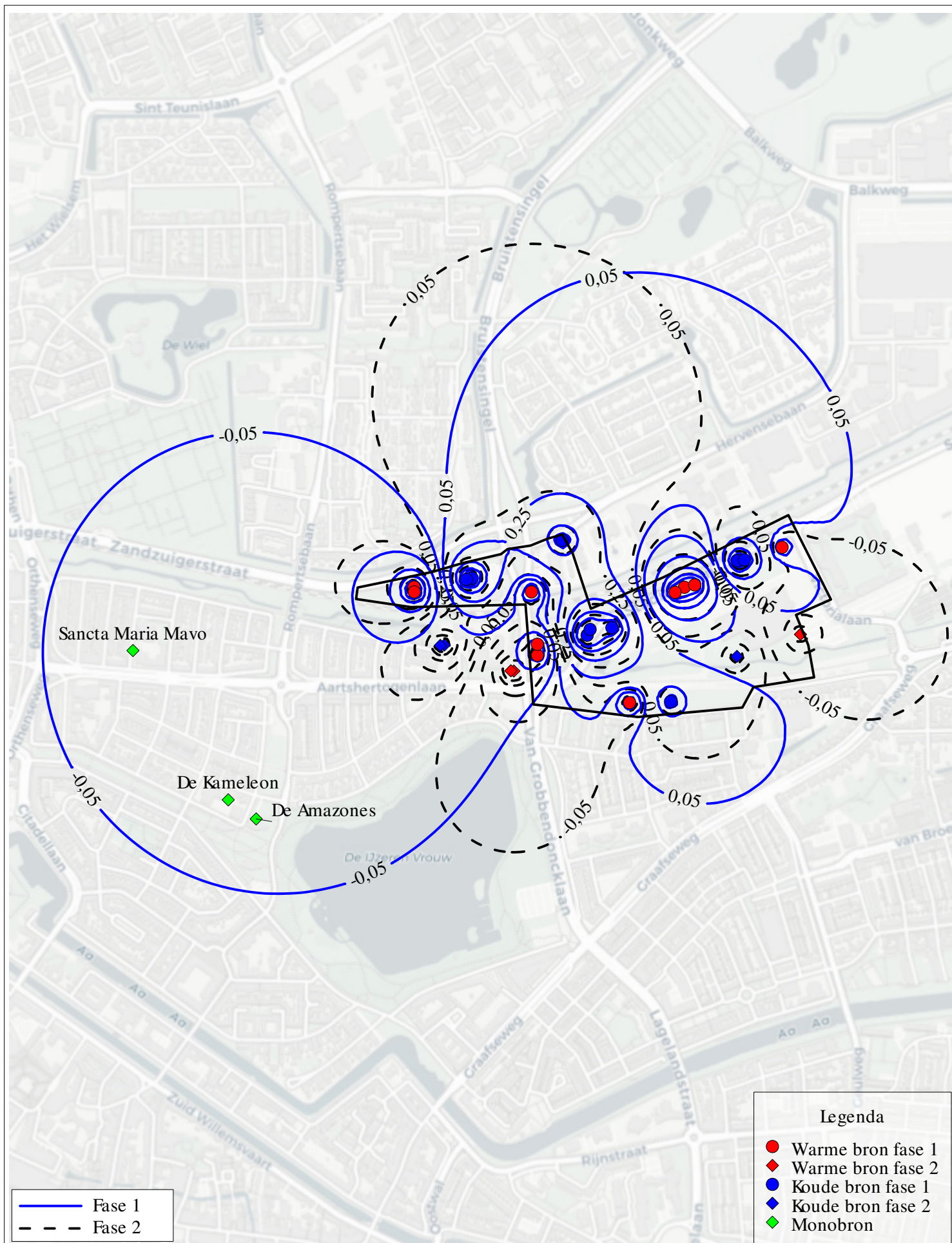
Ter hoogte van de spoorlijn bedraagt de maximale eindzetting in fase 2 maximaal 6 mm met een bijbehorend zettingsverhang van 1 m per 49.000. Dit betekent dat fase 2 niet leidt tot extra grondmechanische effecten ten opzichte van fase 1.

In de hydrologische berekeningen is aangenomen dat het systeem continu op maximaal debiet draait. In werkelijkheid draait het systeem niet continu op maximaal debiet, waardoor de berekende hydrologische effecten een overschatting zijn. De berekende eindzetting is daarom ook een overschatting van de werkelijk optredende zetting.

De berekende eindzetting voor zowel fase 1 als fase 2 veroorzaakt geen schade aan gebouwen, funderingen, spoor, wegen of constructies.

FIGUREN





Project: Bodemenergieplan de Vliert

Datum: A: 11-06-2025
B:

Onderwerp: Berekende maximale stijghoogteveranderingen
in het opslagpakket [m]

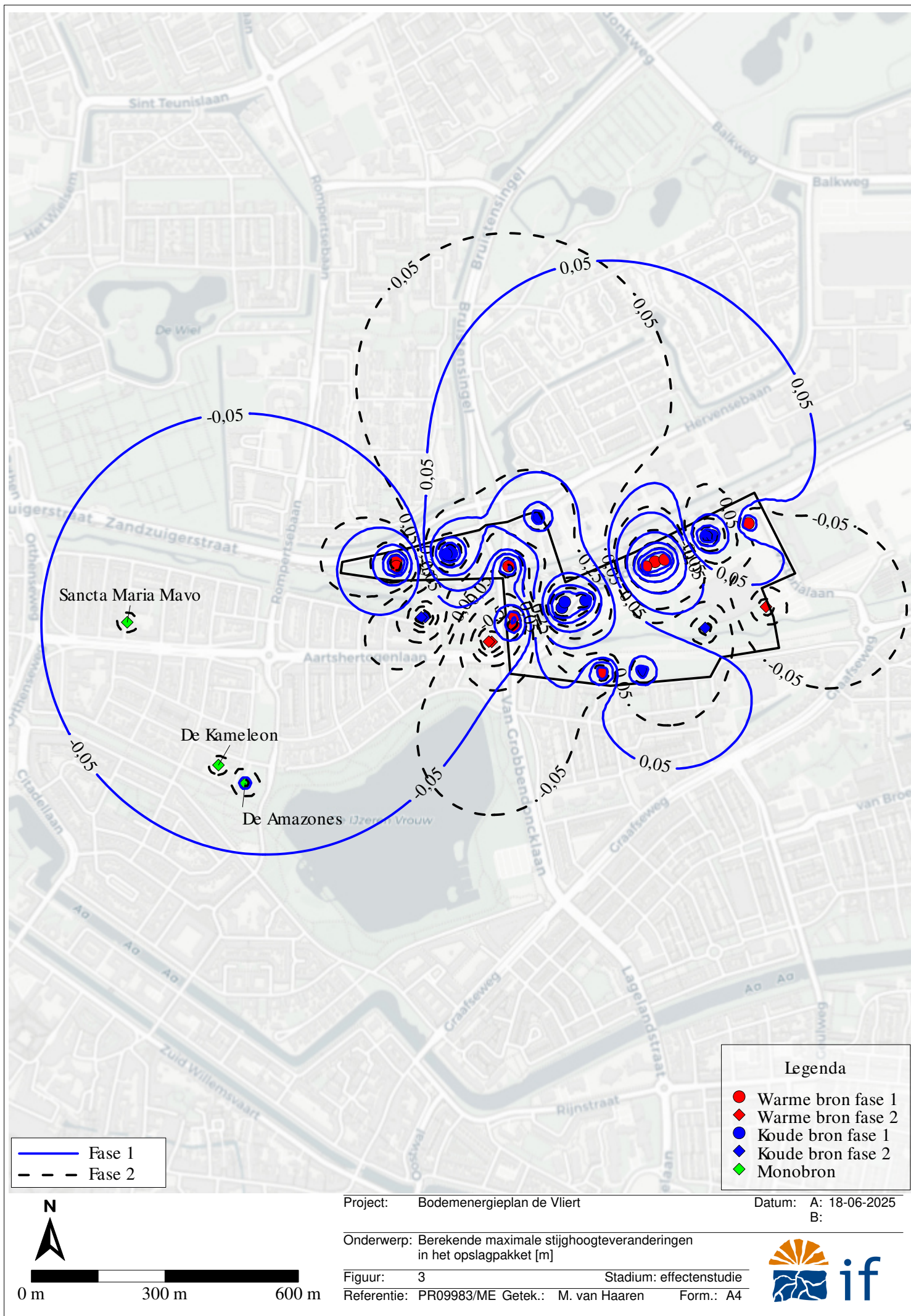
Figuur: 2

Stadium: effectenstudie

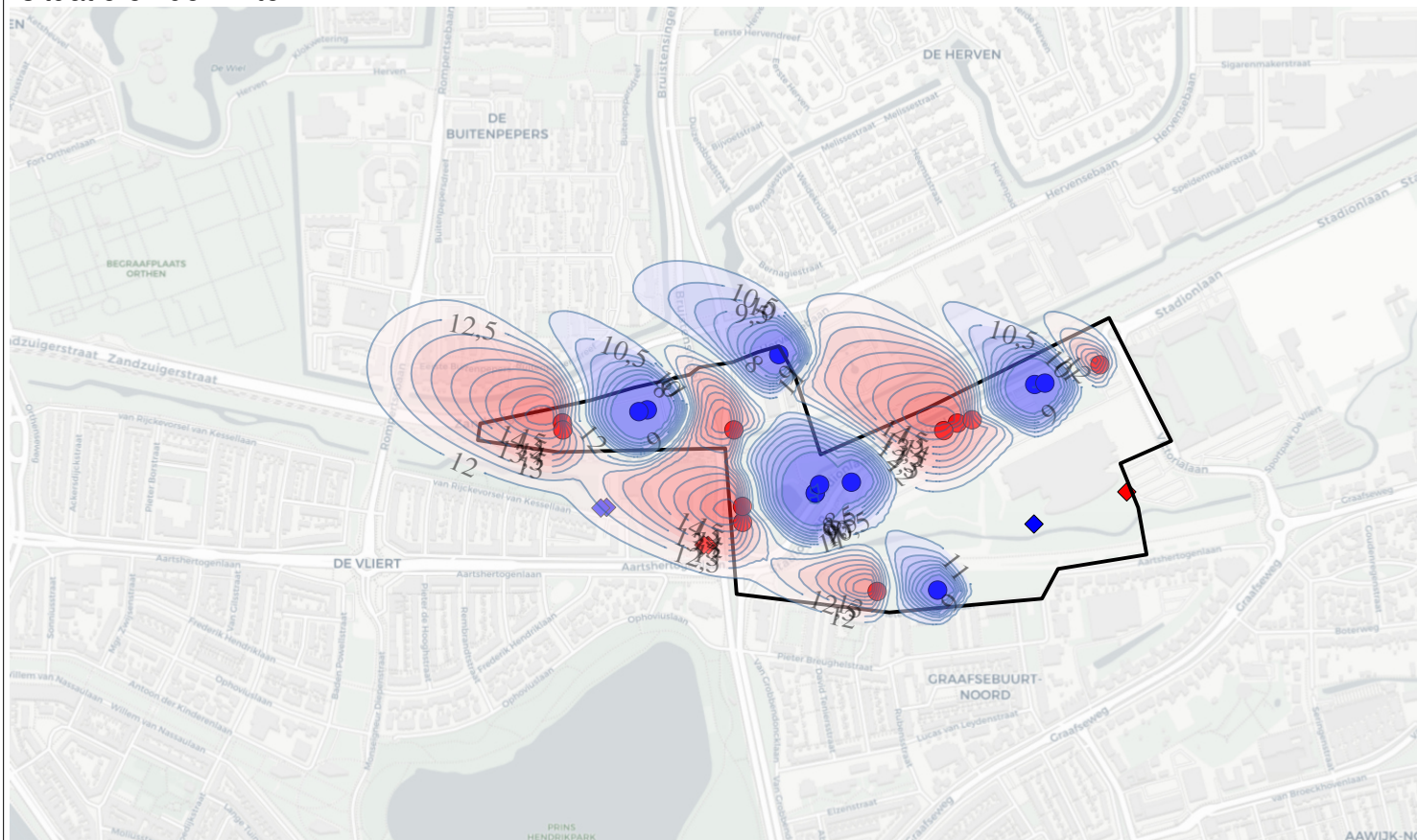
Referentie: PR09983/ME Getek.: M. van Haaren

Form.: A4

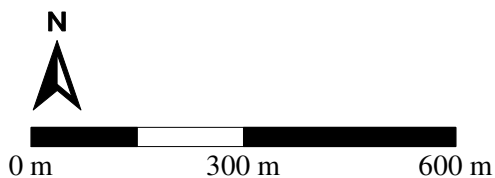
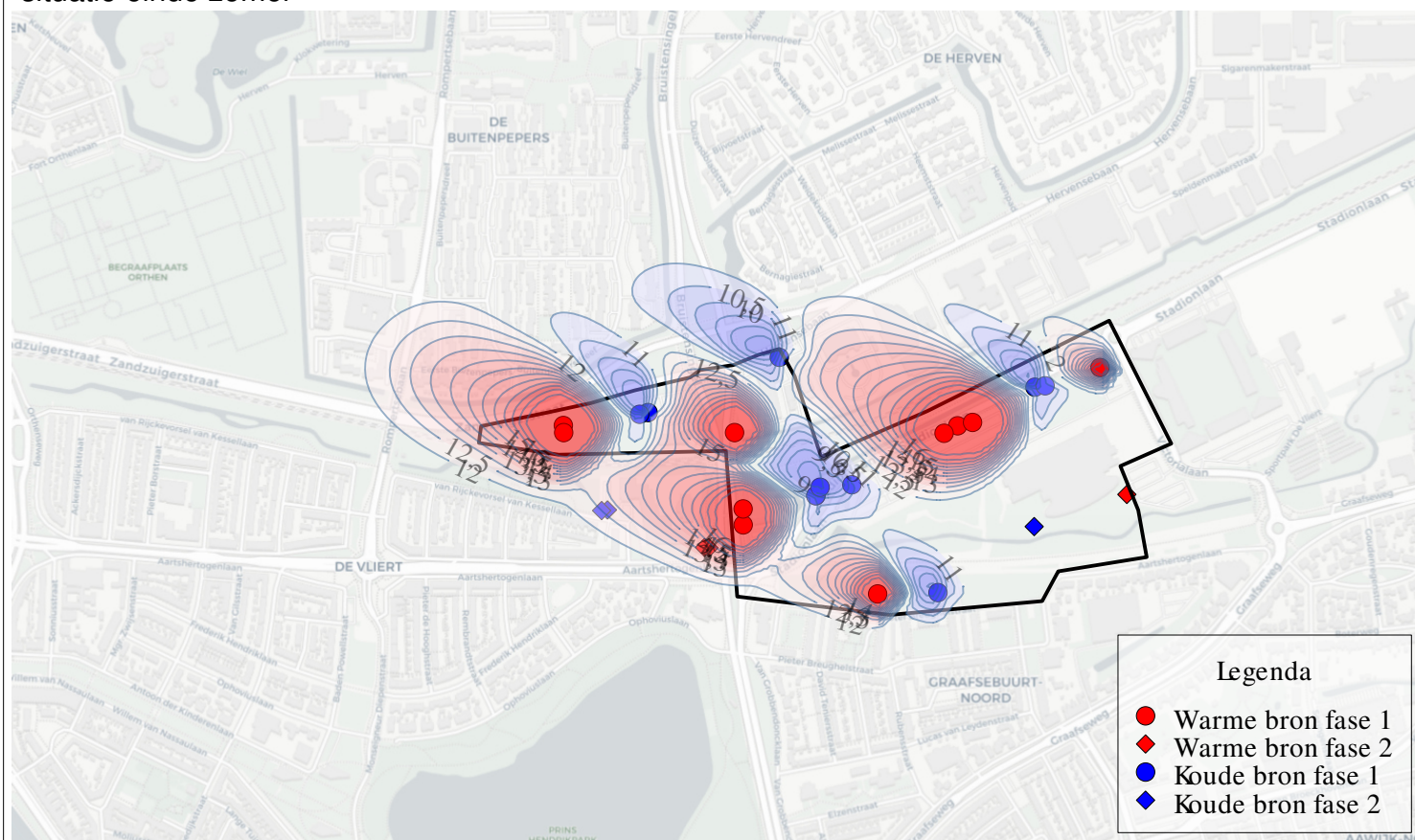




situatie einde winter



situatie einde zomer



Project: Bodemenergie de Vliert

Datum: A: 11-06-2025
B:

Onderwerp: Berekende temperaturen in het opslagpakket na 20 jaar energieopslag fase 2 [°C]

Figuur: 4

Stadium: effectenstudie

Referentie: PR09983/ME Getek.: M. van Haaren

Form.: A4



Map of the Herten area showing the spatial distribution of CO₂ concentration in the aquifer. The map displays various streets and locations, including DE HERVEN, DE BUITENPEPERS, DE VLIERT, and GRAAFSEBUURT-NOORD. A black outline delineates the study area. Concentration contours are shown in shades of blue and red, with values ranging from 9 to 16. A legend in the bottom right corner identifies the symbols: red circle for 'Warme bron fase 1', red diamond for 'Warme bron fase 2', blue circle for 'Koude bron fase 1', and blue diamond for 'Koude bron fase 2'.



BIJLAGEN

Zettingsberekening

Versie 29 september 2004

Berekening van eindzetting volgens de methode van Koppejan (combinatie van Terzaghi en Keverling Buisman)



Projectnaam: De viert Fase 1
Projectnummer: PR09983
Datum berekening: 11-6-2025
Bijlage: 1
Rapport: Effectennotitie
Specialist: M. van Haaren
Opmerking(en): Eindzetting nabij de bron en ter hoogte van het spoor fase 1

Gebruikte formule van Terzaghi:

$$z = \frac{D}{C} \ln \frac{\sigma_k + \Delta\sigma_k}{\sigma_k}$$

GLG: 2,2 m-mv

Materiaal	[m-mv] diepte	[m] Dikte	ΔH bron	C_p	C_s	C_{onein}	$\frac{[N/m^2]}{\sigma_k}$	$\frac{[N/m^2]}{\Delta\sigma_k}$	[mm] Z
	0								
Onverz.zone		2,2	0,11	-	-	-	-		0
	2,2								
zand		22,8	0,11	200	1E+99	200	150681,6	1079,1	1
	25								
klei		2		25	320	19,0476	270363,6	12556,8	5
	27								
zand		1	2,45	450	1E+99	450	283116,6	24034,5	0
	28								
zand		15		450	1,00E+99	450	361596,6	28350,9	3
	43								
zand		10	3,33	450	1E+99	450	484221,6	32667,3	1
	53								
zand		27	0,7	450	1E+99	450	665706,6	6867	1
	80								

Verklaring van de parameters:

symbolen	verklaring	eenheid
D	= Dikte	[m]
ΔH	= Stijghoogteverandering	[m]
C_p	= Primaire zettingsconstante	[-]
C_s	= Seculaire zettingsconstante	[-]
C_{onein}	= Totale zettingsconstante	[-]
ρ	= Bulkdichtheid	[kg/m ³]
σ_k	= Korrelspanning	[N/m ²]
$\Delta\sigma_k$	= Verandering korrelspanning	[N/m ²]
Z	= Zetting	[mm]
GLG	= Gemiddelde laagste grondwaterstand	[m-mv]

Totale zetting [mm]	10
Zettingsverhang	1 m / 2900

Zettingsberekening

Versie 29 september 2000

Berekening van eindzetting volgens de methode van Koppejan (combinatie van Terzaghi en Keverling Buisman)



Projectnaam: De viert Fase 2
Projectnummer: PR09983
Datum berekening: 11-6-2025
Bijlage: 2
Rapport: Effectennotitie
Specialist: M. van Haaren
Opmerking(en): Eindzetting nabij de bron en ter hoogte van het spoor fase 2

Gebruikte formule van Terzaghi:

$$z = \frac{D}{C} \ln \frac{\sigma_k + \Delta\sigma_k}{\sigma_k}$$

GLG: 2,2 m-mv

Materiaal	[m-mv] diepte	[m] Dikte	ΔH bron	[-] C_p	[-] C_s	[-] C_{onein}	[N/m ²] σ_k	[N/m ²] $\Delta\sigma_k$	[mm] Z
	0								
Onverz.zone		2,2	0,11	-	-	-	-		0
	2,2								
zand		22,8	0,11	200	1E+99	200	150681,6	1079,1	1
	25								
klei		2		25	320	19,0476	270363,6	11968,2	5
	27								
zand		1	2,33	450	1E+99	450	283116,6	22857,3	0
	28								
zand		15	3,25	450	1,00E+99	450	361596,6	31882,5	3
	43								
zand		10	3,21	450	1E+99	450	484221,6	31490,1	1
	53								
zand		27	0,7	450	1E+99	450	665706,6	6867	1
	80								

Verklaring van de parameters:

symbolen	verklaring	eenheid
D	= Dikte	[m]
ΔH	= Stijghoogteverandering	[m]
C_p	= Primaire zettingsconstante	[-]
C_s	= Seculaire zettingsconstante	[-]
C_{onein}	= Totale zettingsconstante	[-]
ρ	= Bulkdichtheid	[kg/m ³]
σ_k	= Korrelspanning	[N/m ²]
$\Delta\sigma_k$	= Verandering korrelspanning	[N/m ²]
Z	= Zetting	[mm]
GLG	= Gemiddelde laagste grondwaterstand	[m-mv]

Totale zetting [mm]	10
Zettingsverhang	1 m / 2300