

# Butterfly Orchids Andel

Effectenstudie open bodemenergiesysteem - Middelhoge Temperatuur Opslag (MTO)



**Datum** 28 november 2025  
**Referentie** 100354/PO/20251128  
**Betreft** Effectenstudie open bodemenergiesysteem - MTO Butterfly Orchids Andel  
**Behandeld door** [REDACTED]  
**Gecontroleerd door** [REDACTED]  
**Versie** Definitief

#### VERGUNNINGAANVRAGER

Butterfly Orchids  
[REDACTED]  
Middenweg 4  
4281 KH Andel  
E [REDACTED]@butterfly-orchids.nl

#### ADVISEUR BODEMENERGIE

IF Technology bv  
[REDACTED]  
Velperweg 35  
6824 BE Arnhem  
T 06 [REDACTED]  
E [REDACTED]@iftechnology.nl

Dit document is uitsluitend opgesteld als onderbouwing voor de aanvraag van de vergunning in het kader van de Waterwet en maakt onderdeel uit van de BRL SIKB 11000, scope 1a. Dit document is nadrukkelijk geen ontwerpdocument voor het open bodemenergiesysteem in relatie tot detailengineering conform BRL SIKB 11000, scope 2a.



# Samenvatting

## Inleiding

Butterfly Orchids ontwikkelt 12 hectare aan nieuwe kassen. In het kader van de energietransitie is een gasloze, duurzame oplossing gewenst. Butterfly Orchids heeft het voornemen om de warmtevoorziening te regelen met Middelhoge TemperatuurOpslag (MTO), waarbij zonnepanelen, een overschot aan warmte uit de kas en oppervlaktewater de bronwarmte leveren. Het overschot aan warmte in de zomer wordt opgeslagen in de ondergrond middels de MTO om dit in de winter weer terug te winnen en te gebruiken voor de duurzame verwarming van de kassen. Het MTO-systeem bestaat ondergronds uit vier warme en zes koude bronnen. Butterfly Orchids is gelegen aan de Mid-denweg 8 in Andel.

## Bodemenergie

De tien bronnen van het open bodemenergiesysteem zijn beoogd in het tweede watervoerende pakket in het traject van 67 - 85 m-mv. Het systeem onttrekt en infiltreert maximaal 1.370.000 m<sup>3</sup>/jaar met een maximaal debiet van 390 m<sup>3</sup>/uur. Daarnaast wordt maximaal 3.120 m<sup>3</sup> grondwater per jaar onttrokken voor het onderhouden van de bronnen.

## Hydrologische effecten

Het berekende hydrologische invloedsgebied reikt tot maximaal 7.000 m van de bronnen. De maximale grondwaterstand- en stijghoogteverandering bedraagt 0,01 m en 25,0 m. Negatieve hydrologische invloed op andere grondwatergebruikers en overige belanghebbenden is niet aan de orde.

## Hydrothermische effecten

Beïnvloeding van de grondwatertemperatuur kan na 20 jaar energieopslag optreden tot maximaal 310 m van de bronnen. De veroorzaakte temperatuurveranderingen hebben geen nadelige gevolgen voor andere grondwatergebruikers en overige belanghebbenden.

## Grondmechanische effecten

De berekende eindzetting bedraagt 39 mm. Deze zetting en het daarmee gepaard gaande zettingsverhang (1 m per 1.000 m) veroorzaken geen schade aan gebouwen of funderingen.

## Effecten op de grondwaterkwaliteit

Het zoet-/brakgrensvlak en het brak-/zoutgrensvlak worden niet negatief beïnvloed door het MTO-systeem zodat geen sprake is van verzilting van het grondwater. Bij de warme bronnen (maximaal 55°C) kan op basis van de literatuur enige beïnvloeding van de grondwatersamenstelling worden verwacht, maar dit blijft beperkt tot de opgewarmde zone direct om de bronnen. De grondwaterkwaliteit zal regelmatig gemonitord worden om negatieve invloed op tijd te constateren. Verder zijn binnen het berekende hydrologische invloedsgebied geen verontreinigingen bekend.

## SPF

De SPF is variabel doordat de kassen in twee fases worden gerealiseerd en omdat het rendement van de MTO ieder jaar toeneemt. De SPF in jaar 5 is 3,0. In jaar 10 is de SPF gestegen naar 4,2. In de eerste jaren ligt de SPF relatief laag doordat extra warmte wordt opgeslagen. Hier heeft het MTO systeem op latere jaren profijt van, waardoor de SPF hoger ligt. Een voordeel van het

energieconcept is dat maximaal gebruik gemaakt kan worden van elektriciteitsproductie van de zonnepanelen in de zomer. Deze elektriciteit wordt omgezet in warmte (zogenaamde power-to-heat). In de zomer ligt hierdoor het elektriciteitsverbruik hoger, en in de winter lager. Het elektriciteitsverbruik wordt verschoven van de winter naar de zomer. Dit heeft een positief effect op de netcongestie-problematiek.

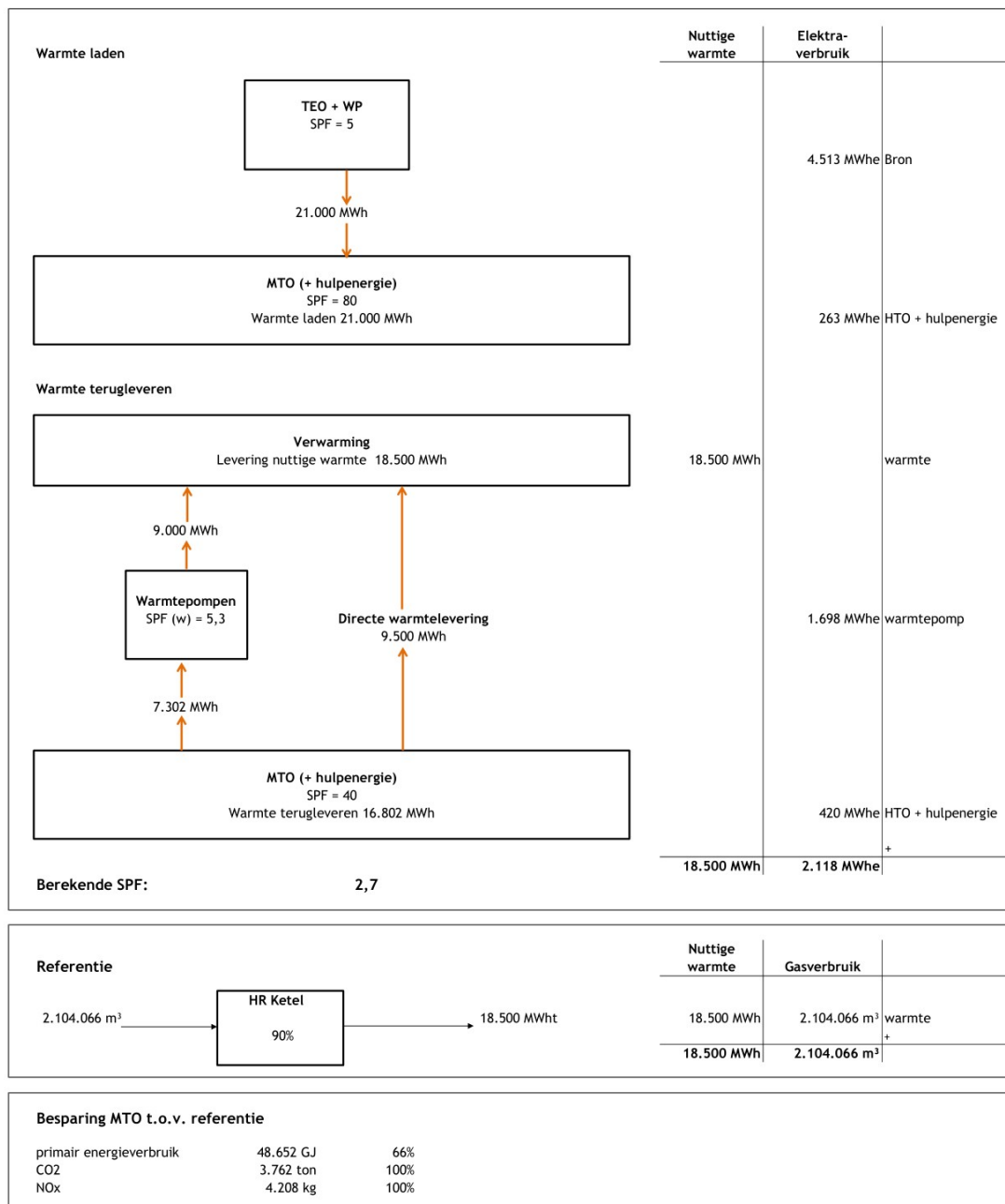
#### **Energiebesparing en emissiereductie**

Door het toepassen van het MTO-systeem kan jaarlijks maximaal 27.000 GJ (na 5 jaar) en 58.000 GJ (vanaf jaar 10) aan primaire energie worden bespaard. Dit komt neer op 56% en 70% respectievelijk. Deze energiebesparing leidt tot een jaarlijkse emissiereductie van 2.100 ton CO<sub>2</sub> na 5 jaar en 3.800 ton CO<sub>2</sub> vanaf jaar 10. De emissiereductie voor NO<sub>x</sub> bedraagt 2.300 kg na 5 jaar en 4.200 kg vanaf jaar 10. Daarmee wordt 100% emissiereductie bereikt.



## INHOUDSOPGAVE

<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2 Systeembeschrijving</b>	<b>10</b>
2.1 Projectlocatie	10
2.2 Uitgangspunten Open Bodemenergiesysteem	13
2.3 Opzet open bodemenergiesysteem	15
2.4 Afwijking dieptebeleid	17
2.5 Seasonal performance factor, energiebesparing en emissiereductie	19
<b>3 Geohydrologie en effectberekeningen</b>	<b>21</b>
3.1 Bodemopbouw	21
3.2 Geohydrologische kenmerken	23
3.3 Hydrologische effecten	24
3.4 Grondmechanische effecten	27
3.5 Hydrothermische effecten	28
<b>4 Invloed op de omgeving</b>	<b>31</b>
4.1 Grondwaterkwaliteit	31
4.2 Verzilting	33
4.3 Verontreinigingen	33
4.4 Grondwatergebruikers	34
4.5 Gesloten bodemenergiesystemen	34
4.6 Grondwaterbescherming / dieptebeperking	34
4.7 Bebouwing en infrastructuur	35
4.8 Natuur en openbaar groen	35
4.9 Cultuurhistorie en archeologische waarden	36
Systeemconcept	42
Berekening SPF	44



## Bijlagen

- 1 Boorbeschrijving van de proefboringen
- 2 Berekening van de eindzetting
- 3 Berekening van de tijdsafhankelijke zetting
- 4 Systeemconcept en SPF-berekening
- 5 Analyse waterkwaliteit proefboring

# 1 Inleiding

## Een kas zonder aardgas

Butterfly Orchids is een glastuinbouwbedrijf dat het hele jaar door orchideeën kweekt in haar kas- sen. Het bedrijf is voornemens haar tuinbouwareaal uit te breiden met 12 hectare aan nieuwe kas- sen op de locatie Middenweg 8 in Andel. Deze nieuwe kassen zullen volledig gasloos worden ver- warmd en dat is een unicum in Nederland. Daarmee wordt namelijk een 100% reductie bereikt in de uitstoot van CO<sub>2</sub> en stikstofoxides (NO<sub>x</sub>), ten opzichte van een gasgestookte referentiesituatie.

Om volledig gasloos te kunnen verwarmen, dient het warmtesysteem gebruik te maken van ver- schillende technieken. De opwekking van warmte gebeurt via zonnecollectoren, een aquathermie- systeem, de kassen zelf (omdat deze veel warmte kunnen invangen in de zomer) en een warmte- pomp. In de zomer leveren deze warmtebronnen veel goedkope en duurzame warmte op. Maar deze wordt met name in de winter pas gebruikt door de kassen. Door middel van grootschalige sei- zoensmatige opslag van warmte kan dit probleem worden opgelost: warmteoverschotten van de zo- mer worden opgeslagen voor gebruik in de winter.

## Ondergrondse warmteopslag bij Butterfly Orchids

Ondergrondse warmteopslag, ook wel bekend als Hoge Temperatuur Opslag (HTO), is een techniek waarbij warmte, met een temperatuur hoger dan 25 °C, op grote schaal wordt opgeslagen in de on- dergrond, om op een later moment weer terug te worden gewonnen. Voor het opslaan van warmte in de ondergrond met middelhoge temperaturen (tot circa 55 °C) wordt de term Middelhoge Tem- peratuur Opslag (MTO) gebruikt. MTO lijkt sterk op WKO, alleen zijn de infiltratietemperaturen bij de bronnen wat hoger.

Bij Andel wordt een MTO-systeem beoogd om de duurzame warmte die wordt opgewekt in de zo- mer te kunnen opslaan, om het vervolgens te kunnen benutten in de winter.

## Juridisch kader

Een MTO-systeem verpompt thermische energie door grondwater te verpompen en valt daarmee onder de juridische definitie van een Open Bodemenergiesysteem (OBES). Het onttrekken en infil- treren van grondwater ten behoeve van het open bodemenergiesysteem is in het kader van de Om- gevingswet vergunningplichtig. De provincie Noord-Brabant is bevoegd gezag.

In het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal) zijn standaardregels opgenomen voor OBES. Een MTO- systeem wijkt op twee punten af van de standaardregels:

- De maximale infiltratietemperatuur: die ligt standaard op 25 °C maar wordt hier aangevraagd op 55 °C.
- Warmteoverschot in de ondergrond: de standaardregel is dat een OBES geen warmteoverschot heeft, maar bij MTO is dit niet te voorkomen omdat de infiltratietemperaturen bij zowel de warme bronnen (gemiddeld 50 °C bij dit project) als de koude bronnen (gemiddeld 13 °C) hoger zijn dan de natuurlijke grondwatertemperatuur.

Een belangrijk doel van de Omgevingswet is om maatwerk mogelijk te maken. Daarom is afwijken van standaardregels mogelijk. Voor een OBES kan dit door voorschriften op te nemen die een ho- gere infiltratietemperatuur en een warmteoverschot in de bodem wel toestaan. Afwijken is



mogelijk, maar wel onder de voorwaarde dat er doelmatig gebruik wordt gemaakt van bodemenergie en dat het benutten van de bodem in balans is met het beschermen ervan.

De aanvraag van de Omgevingsvergunning dient voorzien te zijn van een studie naar de effecten van het open bodemenergiesysteem en de invloed hiervan op de omgeving. Deze studie dient te voldoen aan de eisen die zijn opgenomen in het SIKB BRL protocol 11001 (versie 3.0) Ontwerp, realisatie, beheer en onderhoud ondergronds deel van bodemenergiesystemen.

De voorliggende effectenstudie geeft een overzicht van de effecten van het open bodemenergiesysteem op de bodem, het grondwater en de omgeving.

#### **Aandachtspunten bij een MTO-systeem**

Een MTO-systeem onderscheidt zich van een reguliere WKO (met opslagtemperaturen tot maximaal 25°C) vanwege de hogere opslagtemperaturen, in het geval van Butterfly Orchids maximaal 55°C. Hogere opslagtemperaturen in de ondergrond kunnen een effect hebben op de samenstelling van het grondwater dat tot boven 25°C opgewarmd wordt. In Hoofdstuk 4.1 wordt nader op deze effecten ingegaan en wordt beschreven waarom deze opwarming geen risico voor de grondwaterkwaliteit veroorzaakt.

Overige aandachtspunten zoals bodemdaling als gevolg van stijghoogteveranderingen en trillingen die kunnen optreden tijdens het boren zijn bij een MTO-systeem niet anders dan bij een WKO-systeem. Grondmechanische effecten als gevolg van stijghoogteveranderingen zijn nader toegelicht in hoofdstuk 3.4 en 4.7. Trillingen als gevolg van het boren van de bronnen treden, net als bij de aanleg van reguliere WKO-bronnen, niet op omdat enkel in ongeconsolideerde grond geboord wordt.

Om een MTO-systeem in Andel te realiseren met een goede technische en thermische prestatie, is het noodzakelijk om bronfilters tot een diepte van 85 m-mv te plaatsen. Dit is een extra aandachtspunt, omdat in het provinciale beleid van Noord-Brabant is opgenomen dat de maximale diepte van OBES-bronfilters maximaal 80 m-mv mogen worden geplaatst. Waarom dit noodzakelijk is en waarom er geen alternatief opslagpakket kan worden gekozen voor MTO, is nader toegelicht in sectie 2.4.

#### **Voordelen MTO**

Hoewel een aantal aandachtspunten bestaat voor MTO, zoals hierboven besproken, biedt MTO een aantal voordelen die WKO niet, of in beperkte mate, kan bieden. MTO maakt het mogelijk om duurzame warmtebronnen optimaal te benutten. Door het seizoensmatig opslaan en leveren van duurzame warmte kan de productie en het gebruik van warmte door het jaar heen veel beter aan elkaar gekoppeld worden. Enkele voordelen van MTO zijn:

- Door de inzet van MTO is het mogelijk om de kassen gasloos te verwarmen, doordat het grootschalige seizoensopslag van warmte mogelijk maakt. Duurzame warmte is in de winter beperkt beschikbaar, terwijl in de zomer een overschot heerst. Opslag is de oplossing.
- Netcongestie-problematiek tegengaan. De keuze voor MTO is een elektriciteitsnet-vriendelijke oplossing: met MTO kan de warmtepomp ingezet worden in periodes met veel overschot aan duurzame elektriciteit (met name zomerperiode). Op tijden waarin elektriciteit schaars is en de capaciteit op het elektriciteitsnet kritisch is (met name winterperiode) kan vervolgens zoveel mogelijk warmte rechtstreeks via de MTO geleverd te worden. Dat betekent dat dit systeem de belasting van het drukke elektriciteitsnet helpt verlichten. Bij een WKO-systeem zou in de winter water uit de warme bronnen worden onttrokken met een aanzienlijk lagere temperatuur

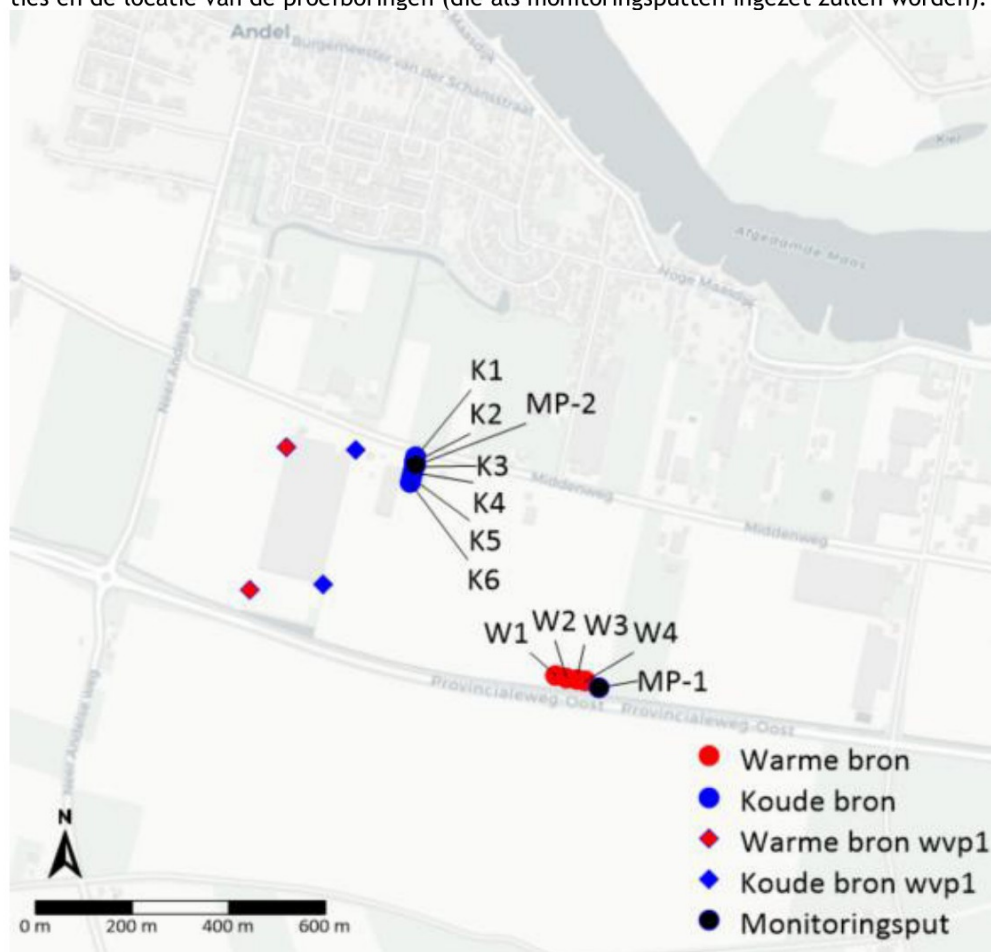
(bijvoorbeeld 18 °C), waardoor veel elektriciteit van de warmtepomp nodig is om dit op te krikken naar een temperatuur die kan worden gebruikt voor de verwarming van de kassen.

- Er hoeft door de hogere brontemperatuur ook minder vermogen aan warmtepomp te worden opgesteld. Het rendement van de warmtepomp is bij MTO hoger dan bijvoorbeeld bij een lucht-water warmtepomp of een warmtepomp gekoppeld aan een WKO-systeem (i.p.v. MTO).
- Lage CO<sub>2</sub>- en stikstofemissies: Door overtollige duurzame energie op te slaan als warmte in de bodem en door hoge rendementen van warmtepompen in de winter zijn forse reducties op CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub> emissies mogelijk (zie paragraaf 2.5). De CO<sub>2</sub>-emissiereductie geeft invulling aan de duurzame ambities in de provincie, en het verlagen van de stikstofuitstoot van de warmtevoorziening met 100% helpt het stikstofprobleem in Noord-Brabant tegen te gaan.
- Hoge energiedichtheid: ten opzichte van OBES heeft MTO een veel hogere energiedichtheid. Dit komt door het grotere temperatuurverschil tussen de warme en koude bron. Bij een OBES is het temperatuurverschil gemiddeld 5 graden. Voor MTO is dit al snel gemiddeld 20-25 °C. Hierdoor kan, bij hetzelfde debiet en/of dezelfde waterverplaatsing, vier tot vijf keer meer aan warmte worden opgeslagen in de ondergrond dan bij OBES. Vanuit dat oogpunt maakt een MTO-systeem aanzienlijk doelmatiger gebruik van bodemenergie, dat ziet men terug in de productiviteit.
- Hoger vermogen: een groter temperatuurverschil tussen de warme en koude bron heeft ook als voordeel dat het vermogen dat bodemzijdig geleverd kan worden per doublet fors hoger is dan bij OBES (factor 4 á 5). Hierdoor zijn minder bronnen nodig dan bij een OBES systeem. Voor deze locatie is dat specifiek interessant, omdat het bodembeleid er (mede) op gericht is om de regionale kleilaag in Noord-Brabant zo min mogelijk te doorboren.

## 2 Systeembeschrijving

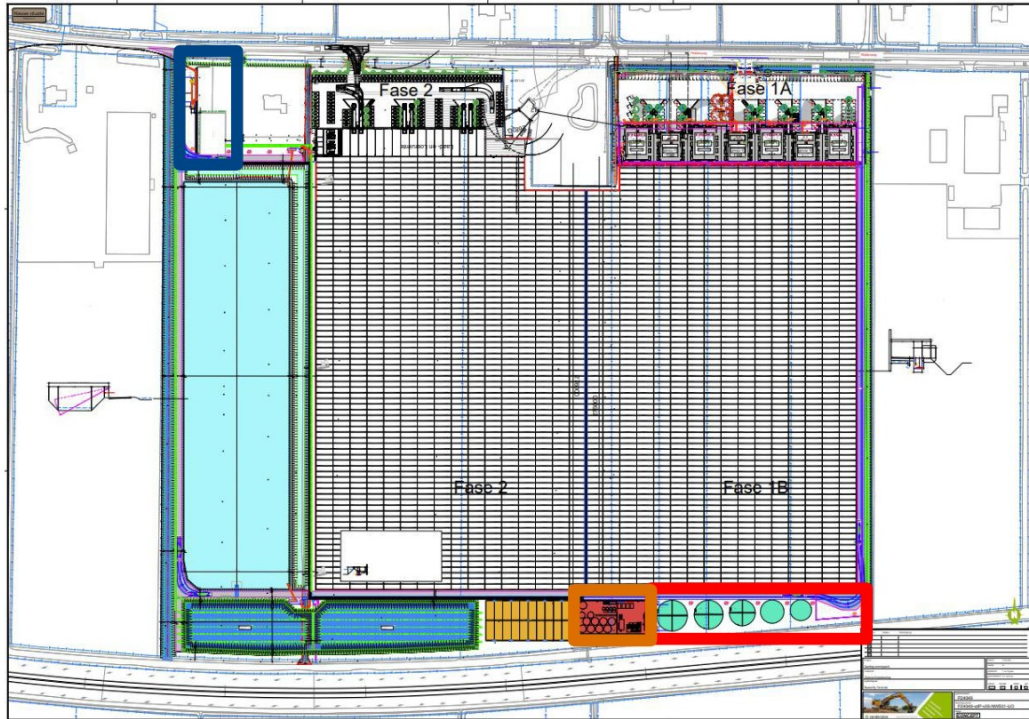
### 2.1 PROJECTLOCATIE

Het project is gelegen ten zuiden van Andel (Figuur 2.1). In Figuur 2.2 zijn warme en koude zones opgenomen waarbinnen de bronnen geplaatst zullen worden. Het voornemen is om deze zone over te nemen in de vergunning (door middel van vastleggen van de hoekpunten van de zones). In Figuur 2.2 is ook de toekomstige situatie met de kassen en de technische ruimte te zien. Figuur 2.3 en Figuur 2.4 geven respectievelijk de koude en warme zone in detail weer, inclusief beoogde bronlocaties en de locatie van de proefboringen (die als monitoringsputten ingezet zullen worden).

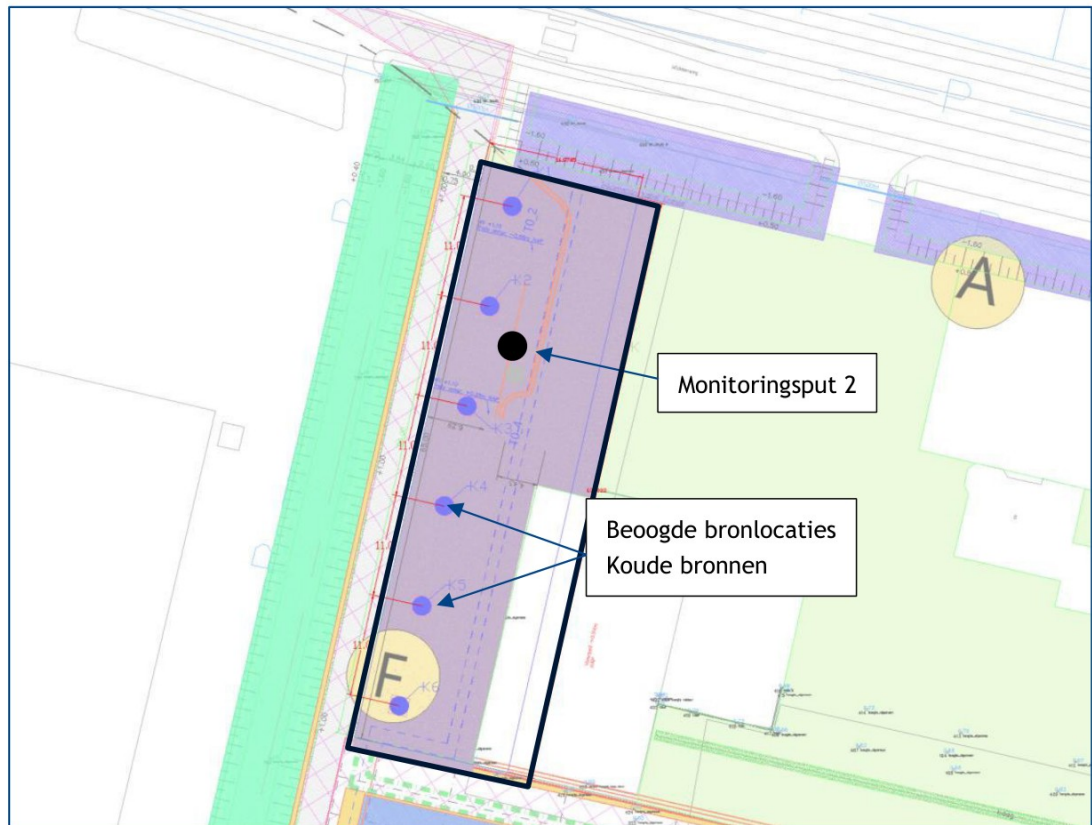


Figuur 2.1 | Bronnen op de projectlocatie, inclusief omliggende bestaande bronnen in het eerste watervoerende pakket.

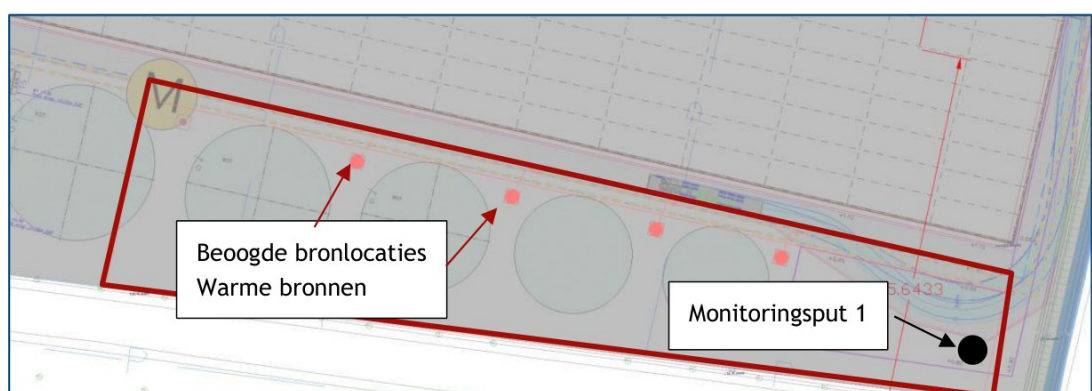




Figuur 2.2 | Overzichtskaart met daarop aangegeven de clusters van de bronnen (blauw = koude cluster; rood = warmte cluster) geplaatst op het terrein aan de Middenweg 8 te Andel. Het oranje blok geeft de technische ruimte aan.



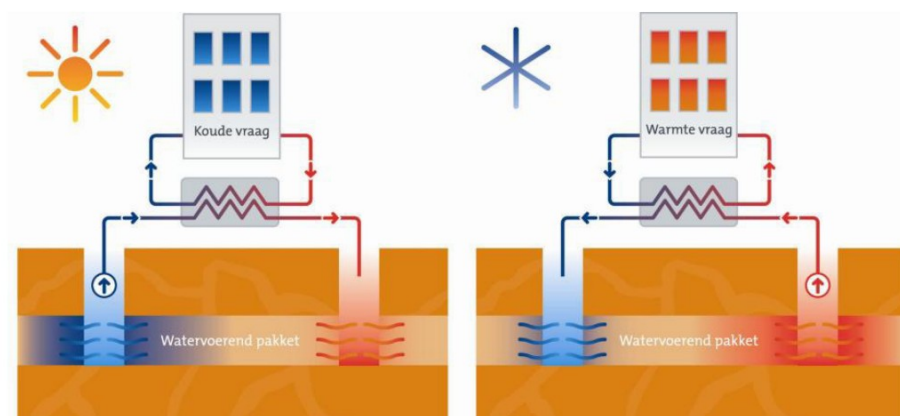
Figuur 2.3 | Overzichtskaart met daarop de beoogde locaties voor de koude bronnen (blauwe stippen) en de werkelijke locatie van de gerealiseerde monitoringsput 2 (zwarte stip). De bronzone is blauw omkaderd.



Figuur 2.4 | Overzichtskaart met daarop de beoogde locatie voor de warme bronnen (rode stippen) en de werkelijke locatie van de gerealiseerde monitoringsput 1 (zwarte stip). De bronzone is rood omkaderd.

## 2.2 UITGANGSPUNTEN OPEN BODEMENERGIESYSTEEM

Om lange termijn energieopslag in de bodem mogelijk te maken, wordt een grondwatersysteem aangelegd. Dit betreft een open bodemenergiesysteem (OBES) om grondwater met een temperatuur van maximaal 55 °C op te slaan in de bodem. In de bodemenergiesector wordt hiervoor ook wel de term Middelhoge Temperatuur Opslag (MTO) gebruikt. Het OBES bestaat uit maximaal vier warme en zes koude bronnen waarmee grondwater aan de bodem kan worden onttrokken en geïnfiltrerd.



Figuur 2.5 | Principeschema van een open bodemenergiesysteem

De grondwaterzijdige uitgangspunten voor deze aanvraag Omgevingsvergunning zijn opgenomen in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 | Uitgangspunten MTO-systeem t.b.v. de vergunningaanvraag Waterwet

parameter	eenheid	winter	zomer
maximaal te verpompen waterhoeveelheid <sup>a</sup>	[m <sup>3</sup> /seizoen]	750.000	620.000
gemiddeld te verpompen waterhoeveelheid	[m <sup>3</sup> /seizoen]	635.000	520.000
maximaal debiet	[m <sup>3</sup> /uur]	390	390
maximale hoeveelheid ontwikkelwater <sup>b</sup>	[m <sup>3</sup> ]		31.200
maximale spuihoeveelheid <sup>b</sup>	[m <sup>3</sup> /jaar]		3.120
gemiddelde infiltratietemperatuur	[°C]	13	50
minimale/maximale infiltratietemperatuur	[°C]	5	55
afkaptemperatuur <sup>c</sup>	[°C]		25
bodemzijdig vermogen	[kW]	7.400	7.600
gemiddeld verplaatste energiehoeveelheid	[MWh <sub>t</sub> /seizoen]	17.000	21.000
maximaal warmteoverschot <sup>d</sup>	[%]		250 (jaar 1-5) 170 (uiterlijk in jaar 10)

<sup>a</sup> tijdens opstartjaar of extreme seizoenen.

<sup>b</sup> zie toelichting in onderstaande tekst.

<sup>c</sup> de onttrekking van warmte uit de warme bronnen stopt wanneer de afkaptemperatuur bereikt wordt

<sup>d</sup> warmteoverschot in de ondergrond. Dit is gedefinieerd als de totale hoeveelheid warmte die door het MTO-systeem in de bodem is gebracht, gedeeld door de totale hoeveelheid warmte die er weer uit is gehaald. Warmteoverschot van 250% komt overeen met een gemiddeld rendement van 40%. Een warmteoverschot van 170% vanaf jaar 10 komt overeen met een gemiddeld rendement (over de gehele looptijd van het MTO-systeem) van circa 60%.



### **Lozen grondwater bij aanleg**

#### *Werkwater*

Bij het boren van de bron wordt werkwater gebruikt om het boorgat stabiel te houden. Direct na het inbouwen wordt het gebruikte werkwater met boorspoeling uit de bron onttrokken en geloosd. Per bron gaat dit om maximaal 90 m<sup>3</sup>. In totaal gaat het om maximaal 900 m<sup>3</sup>.

Werkwater kan additieven bevatten zoals PAC's (antisol/barasol) en soda ash.

- PAC's zijn natuurlijke polymeren. Deze additieven zijn biologisch afbreekbaar en hebben daarom geen negatief effect op het rioolstelsel. Deze additieven blijven aanwezig in het te lozen werkwater.
- Soda ash is pH-verhogend. Dit additief kan vóór de lozing geneutraliseerd worden zodat het te lozen water een neutrale pH-waarde heeft.

Het heeft de voorkeur om dit boorspoelwater op het maaiveld te lozen. Butterfly Orchids heeft hier de ruimte en mogelijkheden voor.

#### *Ontwikkelen bronnen*

Na het onttrekken van het werkwater wordt de bron verder ontwikkeld. Doel van het ontwikkelen is het schoonmaken van de bron. Hierbij wordt de verstopping op de boorgatwand, die bij het boren is ontstaan, zo goed mogelijk verwijderd door het schoonpompen van de bron.

Tijdens dit proces wordt grondwater (ontwikkelwater) onttrokken en geloosd. Het grondwater wordt onttrokken met een maximaal debiet van 100 tot 130% van het ontwerpdebiet. Voor het ontwikkelen wordt maximaal 97,5 tot 127 m<sup>3</sup>/uur onttrokken bij de warme bronnen en maximaal 65 tot 85 m<sup>3</sup>/h bij de koude bronnen. Met de maximale debieten wordt slechts gedurende korte tijd (maximaal 15 minuten) gepompt tijdens de laatste fase van het ontwikkelen. Per koude en warme bron wordt respectievelijk totaal maximaal 2.600 m<sup>3</sup> en 3.900 m<sup>3</sup> grondwater onttrokken in een periode van ongeveer twee weken. Voor het ontwikkelen van de tien beoogde bronnen wordt in totaal maximaal 31.200 m<sup>3</sup> grondwater onttrokken en geloosd. De bronnen worden één voor één ontwikkeld waardoor het grondwater gefaseerd wordt onttrokken en geloosd.

Het vrijgekomen grondwater wordt deels geloosd op het oppervlaktewater en deels op het maaiveld. De toestemming voor lozen op oppervlaktewater wordt separaat aangevraagd bij het Waterschap.

### **Spuihoeveelheid**

In verband met preventief onderhoud van de bronnen worden deze een aantal keer per jaar gespuid. Bij deze actie wordt uit de bronnen enige tijd grondwater onttrokken met het maximale debiet. Per jaar wordt niet meer dan 3.120 m<sup>3</sup> grondwater onttrokken voor onderhoud.

Het uitgangspunt is dat het spuiwater terug in de bodem gebracht wordt via een onderhoudsfilter. Bij een onderhoudsfilter wordt het vuil afgevangen met een zogenaamd kaarsenfilter met zeer kleine poriën. Het grondwater wordt uit de bronfilters opgepompt en wordt via het onderhoudsfilter in de bypass van het leidingcircuit in een andere bron geïnjecteerd. Hierbij komt geen grondwater vrij dat geloosd moet worden.

### Warmteoverschot

Het warmteoverschot in de bodem is de verhouding tussen de hoeveelheid warmte die aan de bodem is toegevoegd en er weer uit is onttrokken, gedurende de levensduur van de OBES, uitgedrukt in een percentage. Bij energiebalans is het warmteoverschot 100% (evenveel warmte toegevoegd als onttrokken) en als er meer warmte in de bodem achterblijft dan terug wordt gewonnen, is het warmteoverschot hoger (bijvoorbeeld 200%). Bij een MTO-systeem ligt de infiltratietemperatuur bij zowel de warme als de koude bron meestal boven de natuurlijke bodemtemperatuur en dat betekent dat er altijd enig warmteverlies naar de koudere omgeving optreedt. Een MTO-systeem wordt dan ook gekenmerkt door een warmteoverschot van meer dan 100%. Vanuit de gebruiker van het MTO-systeem wordt vooral gekeken naar het rendement: hoeveel van de opgeslagen warmte kan ik weer terugwinnen? Dat is omgekeerd evenredig met het warmteoverschot van dat jaar: als een MTO-systeem in een jaar een rendement heeft van 50%, dan is het warmteoverschot dat jaar 200%.

Doordat de bodem met name in de opstartjaren nog relatief koud is, zijn de warmteverliezen in de eerste jaren relatief groot. Daardoor is het rendement in de eerste jaren relatief laag en het warmteoverschot in de bodem relatief hoog. De warmte die in de eerste jaren in de bodem achterblijft, zal in de latere jaren functioneren als een soort 'jasje' rondom de hete bel. Dat betekent dat de opwarming van de eerste jaren ervoor zorgt dat de warmteverliezen in opeenvolgende jaren afnemen en per jaar meer warmte teruggewonnen kan worden uit de MTO. Het werkelijke warmteoverschot zal daarom in de beginjaren relatief groot zijn en gedurende de bedrijfsvoering van het open bodemenergiesysteem verder dalen.

Voor het MTO-systeem in Andel is een thermische simulatie uitgevoerd om te kijken welk warmteoverschot verwacht wordt, en dus aangevraagd moet worden. De simulatie levert een naar verwachting worst-case rendement en/of warmteoverschot in de ondergrond op. Op basis daarvan lijkt in jaar 1 t/m 5 een gemiddeld rendement van minimaal 40% haalbaar te zijn, wat overeenkomt met een warmteoverschot van maximaal 250%. In jaar 6 t/m 10 groeit het rendement verder door, en duikt het warmteoverschot onder de 170%.

Op basis van deze resultaten worden de volgende warmte-overschotten aangevraagd:

- In jaar 1 t/m 5 (na ingebruikname) bereikt het MTO-systeem een moment waarop het warmteoverschot maximaal 250% is. Dit relatief hoge percentage is nodig vanwege de relatief grote warmteverliezen in de eerste jaren van bedrijf.
- Uiterlijk in jaar 10 (na ingebruikname) wordt het warmteschot teruggebracht naar maximaal 170%. Op basis van thermische simulaties lijkt dit haalbaar.
- Binnen 5 jaar nadat het warmteoverschot onder de 170% is gekomen, wordt wederom een warmteoverschot van 170% of lager bereikt.

## 2.3 OPZET OPEN BODEMENERGIESYSTEEM

Het systeemconcept is beschreven in bijlage 4. Het grondwatersysteem bestaat uit vier warme en zes koude bronnen. Het debiet wordt evenredig verdeeld over de bronnen, dus 97,5 m<sup>3</sup>/h per warme bron en 65 m<sup>3</sup>/h per koude bron. Dit verschil in aantal bronnen komt door een verschil in de maximale capaciteit die kan worden behaald in het opslagpakket ter plaatse van de zoekgebieden van de warme bronnen en de koude bronnen. Uit de twee proefboringen die zijn uitgevoerd (één in elk zoekgebied), blijkt namelijk dat ter plaatse van de koude bronnen minder bronfilter geplaatst kan worden dan bij de warme bronnen. Ook het temperatuurverschil speelt mee, want warm water heeft een lagere viscositeit (weerstand tegen stroming).

Alle bronnen worden op eigen terrein gerealiseerd. De zes koude bronnen worden nabij de Middenweg geplaatst en de vier warme bronnen nabij de N267. Alle koude bronnen worden binnen de koude bronzone aangelegd en alle warme bronnen binnen de warme bronzone (zie Tabel 2.2 voor resp. de koude en warme zone). De precieze bronlocaties kunnen afwijken van wat is aangegeven in figuur 2.3 en 2.4, maar de bronnen zullen altijd allemaal binnen de zone komen te liggen. Zolang de totale waterverplaatsing en het totale debiet van de bronnen hetzelfde is, zullen ook de thermische en hydrologische effecten hetzelfde blijven. In Tabel 2.2 is de opzet van het bronsysteem beschreven.



Tabel 2.2 | Opzet bronnensysteem

parameter	eenheid	waarde
aantal warme bronnen	-	4
aantal koude bronnen	-	6
RD-coördinaten hoekpunten warme bronzone	[m]	X = 132.586 / Y = 420.391 X = 132.708 / Y = 420.364 X = 132.705 / Y = 420.349 X = 132.581 / Y = 420.365
RD-coördinaten hoekpunten koude bronzone	[m]	X = 132.323 / Y = 420.840 X = 132.339 / Y = 420.836 X = 132.325 / Y = 420.774 X = 132.309 / Y = 420.778
afstand tussen middelpunten koude en warme zones <sup>a</sup>	[m]	545
minimale afstand tussen bronnen binnen een bronzone <sup>b</sup>	[m]	10
bronfilterdiepte <sup>c</sup>	[m-mv]	67 - 85 (tweede watervoerende pakket)
minimale lengte per bronfilter	[m]	3

<sup>a</sup> dit is de afstand tussen het midden van de bronclusters (zie Figuur 2.2). De afstand tussen de individuele warme en koude bronnen kan groter of kleiner zijn.

<sup>b</sup> dit is de minimale afstand tussen twee bronnen van hetzelfde type (warm danwel koud). Als de afstand groter wordt, wordt de onderlinge beïnvloeding kleiner en zal de stijghoogteverandering in de put (zoals berekend in Tabel 3.5) lager zijn. Dat betekent dat met deze minimale afstand tussen bronnen een worst-case hydrologisch effect in de bronnen wordt berekend.

<sup>c</sup> de bronfilters worden geplaatst in het tweede watervoerende pakket, in het dieptetraject van  $\pm 72 - 84$  m-mv. Vanwege een mogelijk afwijkende bodemopbouw in de praktijk, is in deze aanvraag een wat groter dieptebereik voor de bronfilters opgenomen. Het uitgangspunt is dat de bronfilters altijd in het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket geplaatst worden, tussen de 1<sup>e</sup> scheidende laag aan de bovenkant en de 2<sup>e</sup> scheidende laag (op ca. 84 m-mv) aan de onderkant. Daarmee blijft de opgeslagen warmte goed op zijn plek en worden effecten op ondiepere en diepere lagen beperkt.

Het grondwatercircuit wordt luchtdicht en onder een overdruk ten opzichte van de atmosfeer gehouden, zodat geen lucht in het grondwatercircuit kan toetreden.

## 2.4 AFWIJKING DIEPTEBELEID

### Beleid Noord-Brabant: Maximale diepte OBES is 80 m-mv

In de provincie Noord-Brabant geldt een dieptebeperking voor de toepassing van bodemenergiesystemen. Dit beleid is vastgelegd in de Omgevingsverordening en het Regionaal Water en Bodemprogramma en heeft als doel om de drinkwatervoorraad in de diepere watervoerende pakketten te beschermen. De drinkwatervoorraad wordt aan de bovenkant beschermd door een regionaal aanwezige afsluitende kleilaag die voorkomt dat verontreinigingen in het drinkwater doordringen. Deze kleilaag moet intact blijven, waardoor boringen door de kleilaag heen zo veel mogelijk beperkt worden.

### Proefboringen tonen noodzaak van afwijking aan

Op de projectlocatie geldt een dieptebeperking van 80 m-mv. Het aangevraagde filtertraject voor dit MTO-systeem gaat tot een diepte van 85 m-mv, waarmee in beperkte mate van het beleid wordt afgeweken. Twee proefboringen, uitgevoerd in januari 2025, tonen aan dat het niet een keuze maar een noodzaak is om de maximale diepte te verleggen naar 85 m-mv, voor een succesvol MTO-systeem. De dikte en diepte van de aangetroffen zand- en kleilagen én hun eigenschappen (zoals doorlatendheid en afsluitende werking) zijn nauwkeurig in kaart gebracht en laten zien dat

het noodzakelijk is om filters ook dieper dan 80 m-mv te plaatsen, en dus af te wijken van het beleid. Dat lichten we hieronder verder toe.

#### **Welke bodemcriteria gelden voor MTO?**

De volgende twee bodemeigenschappen zijn absoluut noodzakelijk, om een succesvol en goed presterend MTO-systeem te kunnen realiseren met een voldoende hoog debiet en rendement, en met relatief beperkte thermische effecten op de omgeving:

- 1 Opslagpakket: dit is een zandlaag met een voldoende hoog doorlaatvermogen. Dit is nodig om voldoende debiet per bron mogelijk te maken.
- 2 Goed afsluitende kleilaag boven het opslagpakket: een goed afsluitende kleilaag boven het opslagpakket is een absolute vereiste voor MTO. Deze zorgt ervoor dat het geïnfiltreerde water niet naar ondiepere lagen kan stromen en zo blijft het rendement voldoende hoog, en worden effecten naar ondiepere lagen beperkt.

Daarnaast is het wenselijk, maar niet absoluut noodzakelijk, dat het opslagpakket ook aan de onderzijde wordt afgesloten door een kleilaag.

#### **Opslagpakket in Andel**

Figuur 3.1 toont schematisch de bodemopbouw zoals die in de proefboringen in Andel is aangetroffen. In Tabel 3.1 zijn de geohydrologische eigenschappen zoals geïnterpreteerd uit de proefboring opgenomen. Daaruit komt duidelijk naar voren dat het tweede watervoerende pakket (wvp) vanuit technisch oogpunt zeer geschikt is voor toepassing van MTO, wanneer bovengenoemde criteria worden toegepast. In het kort wordt de bodemopbouw als volgt beschreven en beoordeeld op MTO-kansen:

- Het eerste watervoerende pakket is niet geschikt voor een MTO-systeem, omdat het ondiep ligt en omdat de kleilaag erboven een beperkte dikte heeft.
- Uit de proefboringen blijkt dat daaronder een dikke en goed afsluitende kleilaag aanwezig is: de tweede scheidende laag. Op basis van pompproeven sluit deze kleilaag zeer goed af.
- Onder die dikke kleilaag ligt het tweede watervoerende pakket (wvp). Vanuit technisch oogpunt is dit een zeer geschikt pakket voor succesvolle warmteopslag met MTO, omdat het voldoet aan de criteria voor MTO. De dikte ervan is weliswaar beperkt, maar de doorlatendheid is hoog waardoor per bron toch een aanzienlijk debiet kan worden behaald (criterium 1). En erboven is een dikke en goed afsluitende kleilaag aanwezig die warmteverliezen en effecten naar ondiepere lagen beperkt.
- Onder dit opslagpakket ligt weer een goed afsluitende kleilaag, zo blijkt uit de pomptesten van de proefboringen. Dat betekent dat het verpompte (warme) water ook niet naar diepere lagen kan stromen.

Om die reden is het tweede watervoerende pakket vanuit technisch oogpunt een zeer geschikte laag voor MTO, en kan het technisch gezien dienen als opslagpakket.

#### **Waarom is afwijken van beleid nodig?**

Dit opslagpakket begint op 72 en 79 m-mv bij de warme en koude proefboring respectievelijk. De onderkant van deze zandlaag ligt bij beide boringen op 84 m-mv. Hoewel de dikte dus beperkt is (12 en 5 m bij resp. de warme en koude bronzone), heeft het zand een dusdanig hoge doorlatendheid dat per bron toch een aanzienlijk debiet haalbaar is, mits zoveel mogelijk bronfilter wordt gesteld.

Volgens het beleid van de provincie zou in het tweede watervoerend pakket bronfilter geplaatst mogen worden tot maximaal 80 m-mv. Bij de zone van de koude bronnen (zie proefboring 2) is dan maar 1 m zand beschikbaar in het tweede watervoerende pakket boven de 80 m-mv, waardoor daar



geen bron gerealiseerd kan worden. In beide proefboringen is vanaf 84 m-mv weer een kleilaag aangetroffen, die het opslagpakket aan de onderkant afsluit van het dieper gelegen derde watervoerende pakket. Uit de pompproef in de warme proefbron blijkt dat na 2 uur onttrekken in het tweede watervoerende pakket met 40 m<sup>3</sup>/h geen verlaging optreedt onder deze kleilaag, wat aan toont dat deze een goede scheidende werking heeft. Daarmee lijkt de zandlaag tussen de 72 en 84 m-mv geschikt voor een MTO-systeem en zijn de effecten op het diepere watervoerende pakket beperkt. Omdat een deel van deze zandlaag al toegestaan is volgens het huidige beleid vragen wij een afwijking aan om tot de onderkant van de zandlaag op maximaal 85 m-mv filters te mogen plaatsen. Daarmee wordt dit MTO-systeem mogelijk, inclusief de bijbehorende energiebesparing en emissiereductie.

## 2.5 SEASONAL PERFORMANCE FACTOR, ENERGIEBESPARING EN EMISSIEREDUCTIE

### Seasonal Performance Factor

Het energierendement van het MTO systeem wordt uitgedrukt als de Seasonal Performance Factor (SPF). Deze Seasonal Performance Factor is gedefinieerd als de totaal door het open bodemenergiesysteem geleverde hoeveelheden aan warmte en koude per jaar in MWh<sub>t</sub>, gedeeld door het jaarlijks elektraverbruik van het open bodemenergiesysteem in MWh<sub>e</sub> (Waterregeling art. 6.29 lid 2). Tot het open bodemenergiesysteem behoren, in het geval van MTO, de bronpompen van de ondergrondse installatie, warmtepompen voor levering, hulpenergie en de energie die nodig is om bronwarmte op te slaan.

De SPF van het open bodemenergiesysteem fluctueert gedurende de jaren doordat de omvang variabel is. In de eerste 5 jaar is er 6 hectare aan kassen. Vanaf jaar 6 is er 12 hectare aan kassen. Het is de bedoeling om in de eerste 5 jaar extra warmte op te slaan in de ondergrond, om zodoende de bodem op te warmen en het terugwinrendement in latere jaren te verbeteren. Vanaf het zesde jaar wordt de opgeslagen hoeveelheid warmte afgestemd op de verwachte warmtevraag in de winter. Door deze aanpak zal de SPF van het MTO systeem in de eerste jaar relatief laag zijn en zal deze vanaf jaar 6 hoger zijn. De berekende SPF voor jaar 5 bedraagt 3,0. De berekende SPF vanaf jaar 10 bedraagt 4,2. De berekening is opgenomen in Bijlage 4.

De berekende SPF's ligt in de eerste jaren relatief laag, maar dit dient wel in perspectief geplaatst te worden. In de eerste jaren wordt extra warmte opgeslagen zodat in de jaren daarna het rendement van de opslagsysteem toeneemt. Daarnaast wordt in dit energieconcept in de zomer warmte opgeslagen via power-to-heat. Een overproductie aan elektriciteit van de zonnepanelen wordt via een warmtepomp en aquathermie opgeslagen als warmte in de bodem. Dit elektriciteitsverbruik is meegenomen, waardoor de SPF relatief laag ligt. Wel is het zo dat het hier om duurzame elektriciteit gaat en dat deze oplossing enerzijds bijdraagt aan een lager elektriciteitsverbruik in de winter en anderzijds nuttig gebruik maakt van elektriciteit-overschotten in de zomer. Daardoor levert dit project een positieve bijdrage aan het beperken van de netcongestie-problematiek. De elektriciteitsvraag wordt voor een deel van de winter naar de zomer verplaatst. Vanaf 2027 koopt Butterfly volledig duurzame elektriciteit in. Omdat het om duurzame elektriciteit gaat, is de CO<sub>2</sub>-besparing zeer hoog, en omdat het om hoge temperaturen gaat is de productiviteit ook heel hoog (zie volgende alinea's).



### **Productiviteit van het MTO-systeem**

Het temperatuurverschil tussen de bronnen is altijd minimaal 10 °C (volgens de thermische berekeningen). Daarmee komt de productiviteit een factor 2,5 hoger uit dan bij een normaal WKO-systeem (waarvoor meestal met een temperatuurverschil van 4 °C wordt gerekend tussen de bronnen). De minimale productiviteit die bij dit systeem verwacht mag worden komt daarmee ook een factor 2,5 hoger uit, namelijk op 0,011625 MWh/m<sup>3</sup>.

Door deze hogere productiviteitseis in de vergunning op te nemen, wordt geborgd dat het MTO-systeem doelmatig gebruikt maakt van bodemenergie.

### **Energiebesparing en emissiereductie**

Voor het bepalen van de jaarlijkse primaire energiebesparing en de jaarlijkse emissiereductie zijn de opslag en het leveren van warmte met het open bodemenergiesysteem (inclusief warmtepompen, warmtebronnen en hulpenergie) vergeleken met een referentie-installatie bestaande uit gasgestookte ketels voor verwarming.

Vanaf 2027 wordt volledig duurzame stroom ingekocht. De energieleverancier garandeert 100% elektriciteitslevering zonder CO<sub>2</sub>-uitstoot. In principe is de CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-reductie hiermee 100%. Mogelijk zal in geval van nood tijdelijk een back-upvoorziening moeten worden ingezet, maar de reductie zal in ieder geval boven de 97% liggen.

Hieronder zijn voor jaar 5 en jaar 10 de berekende energiebesparingen en emissiereducties gegeven. Hierbij is uitgegaan van een CO<sub>2</sub>-besparing van 100% vanwege de inzet van volledig duurzame elektriciteit. De eventuele, beperkte inzet van de backup voorziening zijn hierin niet meegenomen. De effecten daarvan zijn zeer gering.

De berekende besparing in het primair energiegebruik bedraagt in jaar 5 circa 20.000 GJ en komt neer op een energiebesparing van 49%. Deze energiebesparing resulteert in een emissiereductie van circa 2.100 ton (100%) koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) en 2.300 kg (100%) stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) ten opzichte van warmte die geleverd wordt met gasketels.

De berekende besparing in het primair energiegebruik bedraagt in jaar 10 (en daarna) circa 49.000 GJ per jaar en komt neer op een energiebesparing van 66%. Deze energiebesparing resulteert in een jaarlijkse emissiereductie van circa 3.800 ton (100%) koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) en 4.200 kg (100%) stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) ten opzichte van warmte die geleverd wordt met gasketels.

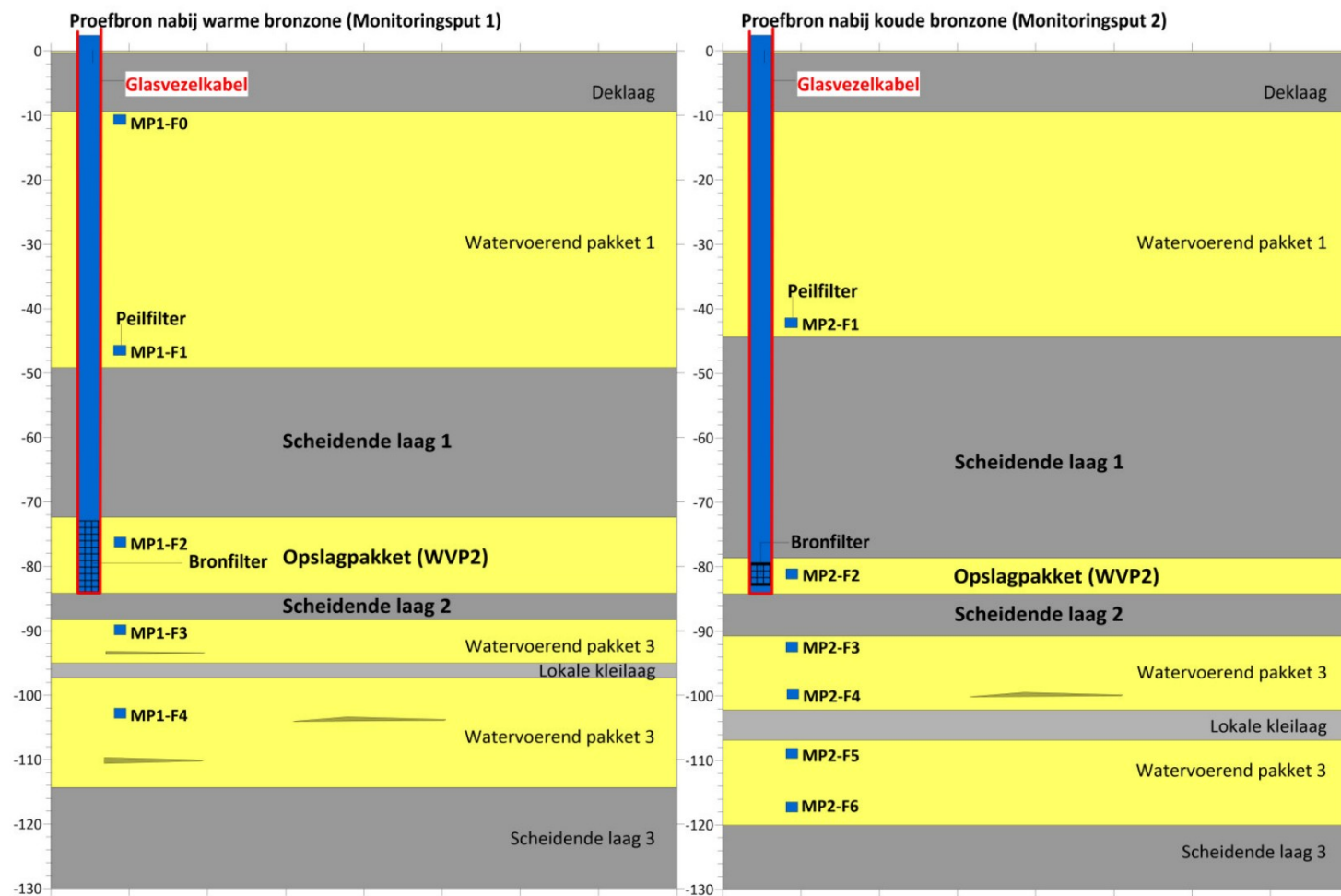
## 3 Geohydrologie en effectberekeningen

### 3.1 BODEMOPBOUW

Op het terrein van Butterfly Orchids zijn twee proefboringen uitgevoerd om de potentie van MTO te onderzoeken. De bodemopbouw die bij beide boringen is aangetroffen is schematisch weergegeven in Figuur 3.1. Op basis van de proefboringen is het tweede watervoerende pakket als enige technische mogelijkheid voor de toepassing van een MTO-systeem naar voren gekomen (zie paragraaf 2.4 voor toelichting). Daarom is in Figuur 3.1 ook de beoogde filterstelling van de MTO-bronnen weergegeven, zoals deze bij zowel de warme zone (links) als de koude zone (rechts) verwacht wordt.

De boringen laten zien dat het opslagpakket bij de warme zone begint op ca. 72 m-mv, en bij de koude zone pas op 79 m-mv. In beide boringen ligt de onderkant van het opslagpakket op 84 m-mv.

Om rekening te houden met eventuele laterale variatie in de diepte van het opslagpakket bij de MTO-bronnen, is in deze aanvraag het dieptebereik van de bronfilters iets ruimer (namelijk 67 - 85 m-mv, zie Tabel 2.2) dan is aangetroffen bij de proefboringen.



Figuur 3.1 | Filterstelling van de monitoringsput in de warme zone (links) en de koude zone (rechts).



De geohydrologische eigenschappen zoals die in werkelijkheid verwacht worden en, zijn weergegeven in Tabel 3.1. Deze waarden zijn een goede representatie van de werkelijke eigenschappen op deze specifieke locatie, omdat ze uitvoerig onderzocht en getest zijn via de proefboringen en de tests die daarbij zijn uitgevoerd. NB: in de input voor effectberekeningen wordt vaak een andere set bodemeigenschappen gekozen, om daarmee een worst-case beeld te geven van de effecten ten opzichte van wat in werkelijkheid verwacht wordt.

Behalve de proefboringen, is deze informatie ook gebaseerd op basis van andere gegevens die ook het regionale beeld meenemen, zoals de grondwaterkaart van Nederland, Regionaal Geohydrologisch Informatiesysteem (REGIS) en boorbeschrijvingen uit het archief van TNO via Dinoloket.

Vanwege de afstand van de bronfilters tot en met de derde scheidende laag, is deze derde scheidende laag als hydrologische basis aangehouden in deze effectenstudie. Hydrologische, hydrothermische en grondmechanische effecten reiken niet dieper dan deze laag.

Tabel 3.1 | Gemiddelde bodemopbouw

diepte	lithologie	geohydrologische benaming	doorlaatvermogen of weerstand <sup>b</sup>
[m-mv] <sup>a</sup>			[m <sup>2</sup> /d] of [d]
0 - 8	klei	deklaag	800 d
8 - 49	matig tot zeer grof zand	1 <sup>e</sup> watervoerend pakket	2.050 m <sup>2</sup> /d
49 - 75	klei, zeer vast	1 <sup>e</sup> scheidende laag	26.000 d
75 - 84	matig tot zeer grof zand	2 <sup>e</sup> watervoerend pakket	500 m <sup>2</sup> /d
84 - 88	klei	2 <sup>e</sup> scheidende laag	4.000 d
88 - 120	afwisseling tussen klei en zeer fijn tot matig grof zand	3 <sup>e</sup> watervoerend pakket	400 m <sup>2</sup> /d en 600 d
> 120	zandige klei	hydrologische basis	∞

<sup>a</sup> maaiveldhoogte varieert tussen de +0,5 en +0,9 m NAP, uitgangspunt maaiveldhoogte is +0,6 m NAP

<sup>b</sup> doorlaatvermogen: bepaald op basis van beschikbare informatie zoals pomp- en putproeven en korrelgroottes / gemiddelde weerstand: 100 d/m voor klei.

### 3.2 GEOHYDROLOGISCHE KENMERKEN

De laagste, gemiddelde en hoogste grondwaterstand en de stijghoogte in de watervoerende pakketten zijn weergegeven in Tabel 3.2.

Tabel 3.2 | Grondwaterstand en stijghoogte [m NAP]

	bron	laagste	gemiddelde	hoogste
grondwaterstand	peilbuis B44F0351	-0,8	-0,6	-0,4
1 <sup>e</sup> watervoerende pakket	peilbuis B44E0119	-0,5	-0,3	0,0
2 <sup>e</sup> watervoerende pakket	peilbuis B44E0119	-0,5	-0,4	-0,1
3 <sup>e</sup> watervoerende pakket	peilbuis B44E0119	-0,7	-0,5	-0,3

\* de diepte van de grondwaterstand kan beïnvloed worden door de maaiveldhoogte en maatregelen aan maaiveld (zoals op-hogen terrein en wijze van afwatering). Hierdoor kan de grondwaterstand anders zijn dan op basis van historische gegevens bepaald.

De lokale en regionale geohydrologische kenmerken zijn opgenomen in Tabel 3.3.

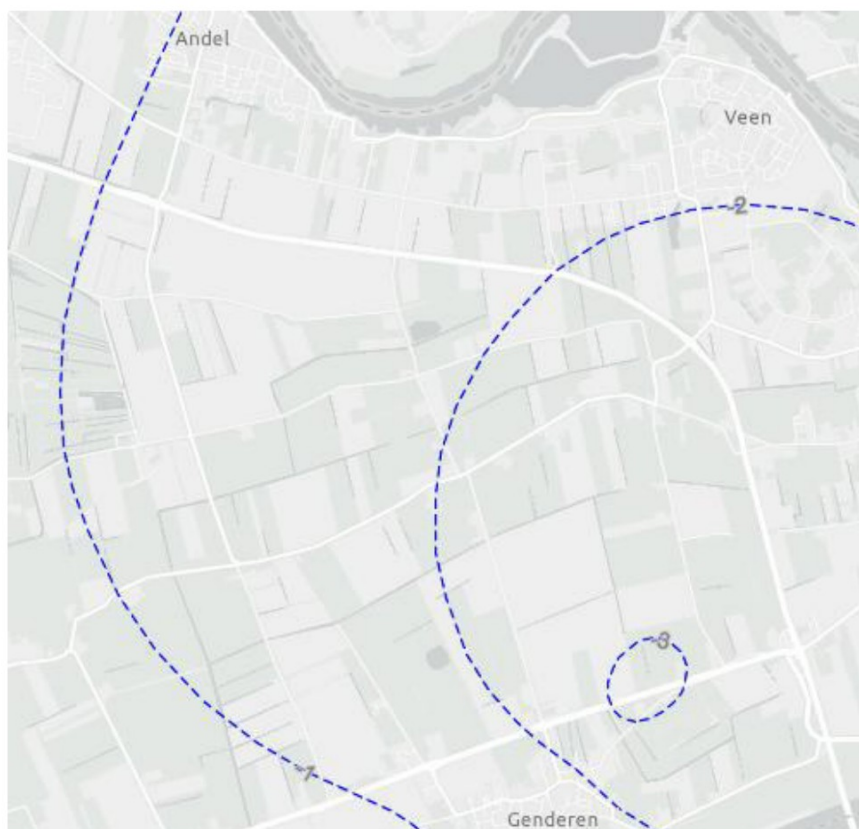
Tabel 3.3 | Lokale en regionale geohydrologische kenmerken

parameter	eenheid	
grondwaterstroming opslagpakket (snelheid) <sup>a</sup>	[m/jaar]	18
grondwaterstroming opslagpakket (richting) <sup>a</sup>	[-]	zuidoostelijk
grondwatertemperatuur (opslagpakket) <sup>b</sup>	[°C]	12
zoet-/brakgrensvlak (chloride 150 mg/l) <sup>c</sup>	[m-mv]	ca. 125 (in 3 <sup>e</sup> scheidende laag)
brak-/zoutgrensvlak (chloride 1.000 mg/l) <sup>c</sup>	[m-mv]	ca. 175

<sup>a</sup> bron: gebaseerd op het isohypsenpatroon uit REGIS, zie figuur 3.2

<sup>b</sup> bron: Database bodemtemperatuurprofielmetingen TNO en IF Technology

<sup>c</sup> bron: wateranalyses uitgevoerd bij proefboringen, DINOloket en informatie van omliggende bodemenergiesystemen



Figuur 3.2 | Isohypsenpatroon 2<sup>e</sup> watervoerende pakket

### 3.3 HYDROLOGISCHE EFFECTEN

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](http://www.microfem.com).

De bodemopbouw in het model is gebaseerd op de geohydrologische schematisatie in Tabel 3.1. Uitgangspunt is dat de bodemopbouw geldt voor het totale gemodelleerde gebied. In Tabel 3.4 is de modelopbouw weergegeven.

#### Aannames worst-case berekening

Er is gekozen om de bronfilters zo ondiep mogelijk te modelleren zodat worst-case effecten naar de oppervlakte berekend worden. Het opslagpakket is slechts 5 m dik gekozen, zoals aangetroffen in de proefboring bij de koude bronnen. Hiermee worden de effecten van de warme bronnen overdreven, omdat in de proefboring bij de warme bronlocaties een pakketdikte van 12 m is aangetroffen. Niet alleen de dikte is worst-case gekozen, ook het doorlaatvermogen van het opslagpakket: op basis van de proefboringen is deze minimaal  $500 \text{ m}^2/\text{d}$ , maar in het model wordt een worst-case waarde van slechts  $400 \text{ m}^2/\text{d}$  gehanteerd.

De koude en warme bronnen zijn in de hydrologische berekening zo ver mogelijk uit elkaar geplaatst (wel binnen de zoekgebieden), zodat een worst-case beeld ontstaat van de veroorzaakte stijghoogteveranderingen op de omgeving. De onderlinge afstand tussen bronnen binnen een cluster is ook worst-case gekozen (10 m tussen bronnen) zodat de stijghoogteveranderingen in de putten zelf worst-case berekend worden.

Voor zowel de eerste scheidende laag als de tweede scheidende laag is een hoge weerstand aangehouden. Deze hoge weerstandswaarden volgen uit de resultaten van de uitgevoerde putproeven in de proefboringen. Boven de eerste scheidende laag is bij de putproeven in beide proefboringen geen reactie van de stijghoogte gemeten na 2 uur onttrekken. Bij proefboring 1 (warme zone) was een pomptest mogelijk waaruit blijkt dat ook onder de tweede scheidende laag geen stijghoogte-reactie plaatsvindt.



Tabel 3.4 | Modelopbouw

diepte [m-mv]	toelichting	doorlaatvermogen [m <sup>2</sup> /d]	weerstand [d]
1,2 <sup>a</sup> - 2	fictief freatisch pakket	40	-
2 - 8	deklaag	-	680
8 - 49	1 <sup>e</sup> watervoerend pakket	2.050	-
49 - 67	1 <sup>e</sup> scheidende laag	-	18.000
67 - 68	2 <sup>e</sup> watervoerend pakket	80	-
68	fictieve scheidende laag	-	0,025 <sup>c</sup>
68 - 71	2 <sup>e</sup> watervoerend pakket (filter)	240	-
71	fictieve scheidende laag	-	0,025 <sup>c</sup>
71 - 72	2 <sup>e</sup> watervoerend pakket	80	-
72 - 76	2 <sup>e</sup> scheidende laag	-	4.000
76 - 88	3 <sup>e</sup> watervoerend pakket	144	-
88 - 90	lokale scheidende laag	-	200
90 - 107	3 <sup>e</sup> watervoerend pakket	204	-
107 - 130	3 <sup>e</sup> scheidende laag	-	2.300
> 130	hydrologische basis	-	∞

<sup>a</sup> de gemiddelde grondwaterstand bedraagt circa 1,2 m-mv (zie Tabel 3.2)

<sup>b</sup> Voor de weerstand is uitgegaan van de weerstand als gevolg van de gelaagdheid van het pakket (anisotropie). De weerstand is berekend met de formule:  $\frac{1}{2} \times \text{dikte laag boven dan wel onder het filtertraject} / \text{verticale doorlatendheid}$ . Verticale doorlatendheid = horizontale doorlatendheid / 4 (verticale anisotropie van 4 aangenomen).

### Oppervlaktewater

In de omgeving van de locatie is oppervlaktewater aanwezig. In het grondwatermodel is een gesloten bovenrand gedefinieerd. Dit is een worst-case benadering.

### Schematisatie in tijd

Om de stijghoogte- en grondwaterstandveranderingen te berekenen is een berekening uitgevoerd waarbij het systeem gedurende een seizoen op maximaal debiet (390 m<sup>3</sup>/uur) draait. Aangezien het open bodemenergiesysteem in de praktijk niet het hele seizoen op maximaal debiet draait, zijn de berekende grondwaterstandveranderingen een overschatting van de werkelijke optredende effecten op de grondwaterstand.

### Skin

Tijdens de realisatie van een bron wordt gebruik gemaakt van een boorspoeling die een (tijdelijke) verstopping op de boorgatwand (skin) creëert. Deze helpt bij het in stand houden van het boorgat en beperkt verlies van werkwater in de bodem. Na het inbouwen wordt de bron ontwikkeld om deze verstopping zo goed mogelijk te verwijderen. In de praktijk blijkt het vrijwel onmogelijk om de skin volledig te verwijderen zonder aanvullende chemische reinigingsacties.

Een veelgebruikte norm voor het goedkeuren van de bron is wanneer deze 80% van het theoretisch haalbare specifieke debiet haalt. Dit houdt in dat de afpompings in de bron en het boorgat hierdoor 25% hoger kan uitvallen dan in modelberekeningen voor volledig schone bronnen is berekend.

Om het effect van een achtergebleven verstopping op de boorgatwand te simuleren, is op de berekende stijghoogteverandering in de bron een factor 1,25 toegepast. Dat betekent dat de

stijghoogteveranderingen in de bron met 25% zijn verhoogd ten opzichte van een bron zonder verstopping. De hydrologische effecten buiten de boorgatwand, dus ook op de omgeving, blijven gelijk aan een scenario zonder verstopping op de boorgatwand. Door het meenemen van de invloed van enige mate van verstopping wordt zowel een worst case effect berekend in de bron als op de omgeving.

### Hydrologische effecten

In Tabel 3.5 zijn de berekende maximale verandering van de stijghoogte en grondwaterstand weergegeven.

Tabel 3.5 | Maximale grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen

watervoerende laag	eenheid	zomer- en wintersituatie	inclusief skin
freatisch watervoerend pakket	[m]	0,01	
1 <sup>e</sup> watervoerend pakket	[m]	0,02	
2 <sup>e</sup> watervoerend pakket (opslagpakket)	[m]	20,0	25,0
3 <sup>e</sup> watervoerend pakket	[m]	0,51	

In de Figuren 3.3 en 3.4 zijn respectievelijk de berekende stijghoogteveranderingen in het tweede watervoerende pakket en het derde watervoerende pakket weergegeven.

Het hydrologische invloedsgebied is het gebied waarbinnen het berekende maximale effect van het open bodemenergiesysteem op de stijghoogte groter dan 0,05 m is. De berekende maximale afstanden tussen de bronnen en de rand van het hydrologische invloedsgebied zijn in Tabel 3.6 vermeld.

Tabel 3.6 | Grootte invloedsgebieden

watervoerende laag	eenheid	zomer- en wintersituatie
freatisch watervoerend pakket	[m]	-
1 <sup>e</sup> watervoerende pakket	[m]	-
2 <sup>e</sup> watervoerende pakket (opslagpakket)	[m]	6.700
3 <sup>e</sup> watervoerende pakket	[m]	7.000

## 3.4 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 conform

Tabel 3.4. De zettingsconstanten zijn ontleend aan NEN-blad 6740 - bladzijde 20. Via deze methode wordt een eindzetting berekend, dat wil zeggen een zetting die zal optreden bij een onttrekking van oneindig lange duur met het maximale debiet (zie bijlage 1). Voor de eerste en tweede scheidende laag is een tijdsafhankelijke berekening van de zetting uitgevoerd, omdat deze lagen het grootste aandeel in de totale zetting hebben (zie bijlage 2). Aangezien de berekende stijghoogteveranderingen een overschatting zijn van de werkelijke effecten (vanwege de worst-case uitgangspunten), is de berekende zetting eveneens een overschatting van de werkelijk optredende zetting.

Voor het gebied direct naast de bronnen is een maximale totaalzetting van 39 mm berekend (zie bijlage 1). Het zettingsverhang bedraagt in de directe nabijheid van de bronnen (binnen 10 m rondom de bronnen) maximaal 1 m per 1.000 m. Aan de rand van het berekende hydrologische invloedsgebied bedraagt de berekende maximale totaalzetting 4 mm.

In de zettingsberekening wordt de aanname gemaakt dat de zetting van alle individuele lagen bij elkaar opgeteld mogen worden om de zetting aan maaiveld te verkrijgen. In werkelijkheid zal de zetting die op een bepaalde locatie en diepte optreedt aan maaiveld lager zijn, omdat de zetting wordt verdeeld over een gebied met een straal die ongeveer even groot is als de diepte waarop de zetting optreedt. Dit betekent dat de zetting die op grotere diepte wordt berekend aan maaiveld sterk uitgedempt wordt. In het geval van het MTO-systeem van Butterfly Orchids worden de voorname zettingen berekend in de eerste scheidende laag op een diepte van 49 - 67 m-mv (16 mm) en in de tweede scheidende laag op een diepte van 72 - 76 m-mv (17 mm). Vanwege de diepte van deze scheidende lagen zal de werkelijk optredende zetting aan maaiveld significant minder groot zijn.

### 3.5 HYDROTHERMISCHE EFFECTEN

De berekeningen van de thermische effecten van het open bodemenergiesysteem 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 in paragraaf 3.1. Omdat met name de effecten van de warme bronnen relevant zijn is de modelopbouw gebaseerd op de bodemopbouw die is aangetroffen bij de proefboring bij de warme bronnen. Zo zijn de berekende effecten voor de warme bronnen zo accuraat mogelijk. Bij de koude bronnen wordt geïnfiltrerd met een temperatuur die zeer dicht bij de natuurlijke grondwatertemperatuur ligt, waardoor de effecten hier klein zijn.

#### Aannames worst-case berekening

##### Scheidende laag boven opslagpakket

Hoewel de eerste scheidende laag in de proefboring is aangetroffen tot 72 m-mv, wordt deze gemodelleerd tot slechts 67 m-mv. De kleilaag wordt in het model dus dunner gemaakt dan werkelijk verwacht wordt. Daarmee zijn de berekende effecten op het eerste watervoerende pakket groter (worst-case) en komt de filterdiepte overeen met het aangevraagde filtertraject.

##### Opslagpakket



Het opslagpakket was in de proefboring 12 m dik, maar is in het model slechts 10 m dik gemaakt zodat de thermische straal van de warme bel groter is dan werkelijk verwacht wordt, en dus ook een worst-case situatie representeert.

Het doorlaatvermogen van het opslagpakket dat werkelijk verwacht wordt (circa 500 m<sup>2</sup>/d, zie ) is verdeeld over de 10 m dikke zandlaag in het model, waardoor een doorlatendheid van 50 m/d naar voren komt. Dit is (voor de omgeving van de warme bronnen) hoger dan werkelijk verwacht, maar ook dat geeft een worst-case beeld van de thermische effecten naar ondiepere lagen. Immers, een hogere doorlatendheid leidt tot meer oprijving van warmte in het opslagpakket, waardoor de bovengelegen kleilaag en het 1<sup>e</sup> wvp ook meer opwarmt dan werkelijk mag worden verwacht.

### Modelopbouw

HstWin-3D simuleert de grondwaterstroming en het warmtetransport in meerdere lagen. In Tabel 3.7 zijn de belangrijkste geohydrologische en geothermische invoerparameters opgenomen die bij de berekeningen zijn gebruikt. De warmtegeleidingscoëfficiënten zijn ontleend aan de VDI 4640, Blatt 1/part 1. De warmtecapaciteit is bepaald met de methode van de Vries (1963), waarbij een porositeit van 35% is aangehouden.

Tabel 3.7 | Modelopbouw HstWin-3D

diepte [m-mv]	hydrologische beschrijving	horizontale doorlatendheid [m/d]	verticale anisotropie [-]	warmtegeleiding- coëfficiënt [W/(mK)]	volumetrische warmtecapaciteit [MJ/(m <sup>3</sup> K)]
1 - 8	deklaag	0,1	10	1,7	2,8
8 - 49	1 <sup>e</sup> watervoerend pakket	50	4	2,4	2,8
49 - 67	1 <sup>e</sup> scheidende laag	0,1	10	1,7	2,8
67 - 77	2 <sup>e</sup> watervoerend pakket (filter)	50	4	2,4	2,8
77 - 81	2 <sup>e</sup> scheidende laag	0,1	10	1,8	2,8
81 - 88	3 <sup>e</sup> watervoerend pakket	12	4	2,3	2,8
88 - 89	lokale scheidende laag	0,1	10	1,9	2,8
89 - 103	3 <sup>e</sup> watervoerend pakket	12	4	2,3	2,8
103 - 108	lokale scheidende laag	0,1	10	1,9	2,8
108 - 123	3 <sup>e</sup> watervoerend pakket	12	4	2,3	2,8
123 - 140	3 <sup>e</sup> scheidende laag	0,1	10	1,9	2,8

In Tabel 3.8 is het onttrekking-/infiltratiepatroon weergegeven. De exacte waterhoeveelheden in de winter worden bepaald door het moment waarop de afkaptemperatuur bereikt wordt. In de opstartjaren wordt de afkaptemperatuur sneller bereikt waardoor minder water verplaatst kan worden gedurende het ontladen van warmte.

Tabel 3.8 | Onttrekking-/infiltratiepatroon

seizoen	bedrijfstoestand	onttrekken uit	infiltreren in	verpompte wa- terhoeveelheid gemiddeld [m <sup>3</sup> /seizoen]	infiltratietem- peratuur [°C]
zomer	warmte opslaan	K	W	520.000	50
winter	warmte leveren	W	K	635.000	13

Het hydrothermische invloedsgebied is het gebied waarbinnen de temperatuur  $0,5^{\circ}\text{C}$  afwijkt van de natuurlijke grondwatertemperatuur ter hoogte van de bronfilters in het model ( $12^{\circ}\text{C}$ ).

### Resultaten

De berekende thermische effecten in het opslagpakket en in het eerste (op 44 m-mv) en derde watervoerende pakket (op 83 m-mv) na 20 jaar energieopslag in het horizontale vlak zijn respectievelijk in figuur 3.5, 3.6 en 3.7 weergegeven. Het hydrothermische invloedsgebied van het open bodemenergiesysteem reikt in het opslagpakket na 20 jaar tot maximaal 310 m van de bronnen en in het eerste en derde watervoerende pakket tot maximaal 290 en 300 m respectievelijk.

In Figuur 3.8 is een dwarsdoorsnede opgenomen van de ondergrond, met daarin het hydrothermische invloedsgebied na 20 jaar energieopslag in de MTO. Daarin is te zien dat de grootste temperatuurveranderingen plaatsvinden in het tweede watervoerend pakket. Ter plaatse van de warme bronnen worden ook temperaturen van boven de  $25^{\circ}\text{C}$  bereikt in het onderste deel van het eerste watervoerende pakket en in het bovenste deel van het derde watervoerende pakket.

## 4 Invloed op de omgeving

### 4.1 GRONDWATERKWALITEIT

#### Invloed van menging

Als het grondwater langs de bronfilters op verschillende dieptes een verschillende samenstelling heeft, zal het grondwater na onttrekking in de put met elkaar worden vermengd. Bij menging van grondwater met een verschillende samenstelling wordt de grondwaterkwaliteit beïnvloed. Een belangrijke conclusie van onderzoeksprogramma 'Meer met Bodemenergie' (MMB) en het onderzoek door VU/KWR is dat menging bij lage temperatuursystemen het meest bepalende proces is voor de grondwaterkwaliteit.

Menging heeft alleen effect op de grondwaterkwaliteit als de samenstelling van het gemengde water verschilt. Hierbij kan worden gedacht aan verschillen in zoutgehalte, hardheid en de redoxtoestand van het grondwater. De invloed van menging treedt alleen op in het gebied waar het mengwater zich bevindt: direct rond de bronnen en stroomafwaarts daarvan.

In dit project wordt grondwater onttrokken uit één zandlaag waarvan de samenstelling over de gehele dikte van de laag hetzelfde is (resultaten proefboring). Het grondwater dat bij dit beoogde project onttrokken en weer geïnfilterd wordt, is volledig kalkverzadigd en gereduceerd (ijzerhoudend, zuurstof- en nitraatloos). Nadelige effecten zijn dan ook niet te verwachten.

#### Invloed van de temperatuur op chemie en microbiologie

Opwarming van de ondergrond kan leiden tot een verschuiving van de chemische evenwichten in het grondwater en het bodemmateriaal. De mate waarin de opwarming leidt tot verandering van de grondwaterkwaliteit hangt sterk af van de mate van opwarming en van de natuurlijke samenstelling van de bodem en het grondwater.

Verschillende onderzoeken hebben aangetoond dat effecten van opwarming tot een temperatuur van 25°C zeer beperkt zijn. Bij opwarming boven de 25°C komen arseen en opgelost organisch materiaal (Dissolved Organic Carbon, DOC) naar voren als parameters waarvan de concentratie kan toenemen, mits deze stoffen zich van nature in het grondwater of het bodemmateriaal bevinden<sup>1,2</sup>. Bij opwarming tot 60°C en hoger vinden meer aanzienlijke veranderingen in de grondwatersamenstelling plaats en kan kalkneerslag optreden. Opwarming tot deze temperaturen is bij het MTO-systeem van Butterfly Orchids niet aan de orde.

Uit onderzoeken komt ook naar voren dat veranderingen kunnen optreden in de microbiologische samenstelling van het grondwater bij een verandering van de temperatuur. Deze veranderingen hebben met name impact op de technische prestatie van het systeem. De impact van microbiologie op de grondwaterkwaliteit is beperkt, omdat de nadelige ondergrondse omstandigheden (gereduceerd, nutriëntenarm en zuurstofloos grondwater) de groei van pathogene microben sterk beperken.

<sup>1</sup>KWR, 2019. Prestaties en effecten van ondergrondse warmteopslag: een verkenning voor het P2X-project

<sup>2</sup>WINDOW fase 1, 2020. Rapport C3 - Effecten van hoge temperatuur warmteopslag op grondwaterkwaliteit



<sup>3</sup> KWR, 2013. Grondwaterbescherming en Hoge Temperatuur Opslagssystemen (rapport KWR 2013.085).

Nabij de warme bronnen van het MTO-systeem bevindt zich een zone die tot boven de 25 °C wordt opgewarmd. In de directe omgeving van de warme bronnen neemt de temperatuur toe tot maximaal 55 °C. Gemiddeld worden temperaturen van 50 °C in de warme bron geïnfiltreerd. In deze zone worden beperkte veranderingen in de grondwatersamenstelling verwacht (mogelijke toename van arseen en DOC). Veranderingen in de microbiologische populatie door de opwarming leveren op basis van de bestaande onderzoeken geen risico op voor de grondwaterkwaliteit (geen groei van pathogenen), omdat het grondwater zuurstofloos is en blijft.

Het natuurlijke grondwater op de diepte van de bronfilters van de MTO is zoet. In de omgeving en in de zone waar een opwarming tot boven de 25 °C optreedt (maximaal 150 m van de warme bronnen), zijn geen andere grondwatersystemen of grondwateronttrekkingen aanwezig. Een negatieve beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit door het MTO-systeem ter plaatse van andere belanghebbenden wordt daarom niet verwacht.

#### **Kalkneerslag**

Het risico op carbonaatneerslag is afhankelijk van de kalkverzadigingsgraad van het oorspronkelijke grondwater, de mate waarin de temperatuur wordt verhoogd en de aanwezigheid en concentraties van stoffen die de neerslagreacties vertragen. Ook de zuurgraad (pH) van het grondwater is van belang. Bij opslag van hoge temperaturen kan het nodig zijn om waterbehandeling toe te passen om problemen door kalkneerslag te voorkomen. Bij het enige operationele hoge temperatuur warmteopslag systeem in Nederland wordt CO<sub>2</sub> toegevoegd aan het grondwater voordat het wordt opgewarmd.

Zowel uit onderzoek als uit de praktijk blijkt dat bij toepassing van warmteopslag tot gemiddeld 50 °C (maximaal 55 °C) geen noemenswaardige kalkneerslag optreedt. Daarom wordt bij Butterfly Orchids geen waterbehandeling voorzien. Dat betekent ook dat er geen nadelige effecten door kalkneerslag, of nadelige effecten door acties gericht tegen kalkneerslag, worden verwacht bij dit systeem.

#### **Monitoring van grondwater**

Op basis van bovenstaande is met name de parameter arseen een temperatuurgevoelige parameter die invloed kan hebben op de grondwaterkwaliteit nabij de MTO putten. Om die reden ligt het voor de hand om arseen mee te nemen in de standaard grondwatermonitoring van dit MTO-systeem. Als de BUM BE deel 1 wordt gehanteerd als basis voor de aangevraagde vergunning, wordt al een uitgebreide lijst met monitoringsparameters voor grondwaterkwaliteit opgenomen in de vergunning Waterwet (zie bijlage 2.3 van de modelvergunning van de BUM BE deel 1), omdat het om OBES in zoet grondwater gaat. Het ligt voor de hand om arseen aan deze lijst toe te voegen zodat zicht wordt gehouden op veranderingen in concentratie van deze parameter nabij de putten.

Gelijktijdig met het opstellen van deze effectenstudie is ook een Monitoringsplan opgesteld voor het MTO-systeem van Andel, waarin een voorstel is gedaan voor de meetopstelling en het meetprogramma dat bij het MTO-systeem in Andel kan worden toegepast. Dit plan is opgesteld op basis van de laatste stand van kennis over de effecten, en de lokale situatie in Andel en maakt het mogelijk inzicht te krijgen in de effecten van MTO op de grondwatersamenstelling. Dit biedt unieke data en inzichten die als basis kunnen dienen voor verdere beleidsvorming op het gebied van warmteopslag.

#### 4.2 VERZILTING

Het opslagpakket ligt op een diepte van circa 72 - 84 m-mv en bevat zoet grondwater. Ook het dieper gelegen 3<sup>e</sup> watervoerende pakket (circa 88 - 120 m-mv) bevat zoet grondwater. Dat is wat de grondwateranalyses van de proefboringen hebben laten zien (bijlage 5). Kijkend naar publieke databases met grondwaterkwaliteitsgegevens in de omgeving van Andel is in dieper gelegen bodemlagen (dus vanaf de kleilaag die onder het 3<sup>e</sup> watervoerende pakket ligt) een toename van chloridegehalte te verwachten met brak grondwater vanaf circa 125 m-mv waarna het grondwater vanaf circa 175 m-mv overwegend zout is.

De bronfilters van het MTO-systeem worden in het tweede watervoerende pakket geplaatst. Aan de onderkant is een goed afsluitende kleilaag aanwezig op circa 84 - 88 m-mv, zoals de proefboringen hebben aangetoond. Het zandpakket daaronder (3<sup>e</sup> watervoerende pakket) bevat ook zoet grondwater over de gehele diepte. Pas in of onder de kleilaag die op circa 120 m-mv begint, begint het chloridegehalte toe te nemen. Vanwege de afstand van de bronfilters en de hydraulische weerstand van de scheidende kleilagen tussen de bronfilters en de grensvlakken wordt verplaatsing van de grensvlakken niet verwacht.

In Figuur 4.1 is de verticale stroming als gevolg van het MTO-systeem in de tweede scheidende laag (84 - 88 m-mv) weergegeven. Ter plekke van de bronnen is dit 1,3 m/seizoen. De tweede scheidende laag is 4 m dik, waardoor er met deze verticale stroming geen grondwater uit het derde watervoerende pakket wordt aangetrokken. In het volgende seizoen wordt de pomprichting omgedraaid en zal de verticale stroming ook in tegengestelde richting gaan. Hiermee is de netto verticale stroming door de scheidende laag nul.

Richting het noorden ligt de zoet-brakgrens ondieper, en volgens de grondwaterkaarten van TNO komt op zo'n 2 km ten noorden van de bronnen de zoet-brakgrens in het opslagpakket. Hier is de verticale stroming door de tweede scheidende laag nog maar 0,01 m/seizoen en is de invloed op het zoet-brakgrens nog kleiner. De zoet-brakgrens kan wel in horizontale richting verplaatst worden. Op 2 km ten noorden van de bronnen is de extra horizontale stroming als gevolg van het MTO-systeem in het tweede watervoerende pakket 6,7 m. Ook deze stroming keert elk seizoen om, zodat de netto horizontale verplaatsing nul is.

Op zo'n 400 m ten noorden is de zoet-brakgrens aanwezig in het derde watervoerende pakket (<120 m-mv). Ook hier is invloed van het MTO-systeem berekend en kan horizontale stroming optreden. De maximale horizontale stroming die hier optreedt als gevolg van het MTO-systeem is 1,6 m/seizoen. Ook deze stromingsrichting draait elk seizoen om waardoor de netto verplaatsing nul is.

#### 4.3 VERONTREINIGINGEN

Op de locatie worden geen grootschalige grondwaterverontreinigingen verwacht. Van beïnvloeding van verontreinigingen is dan ook geen sprake.

Ten behoeve van het boren van de bronnen dient de booraannemer zich te houden aan het SIKB BRL protocol 2101, Mechanisch boren. Hierin is opgenomen hoe de aannemer dient om te gaan met eventuele verontreinigingen in de te doorboren grond om verspreiding van deze verontreinigingen tijdens het boren te voorkomen.



#### 4.4 GRONDWATERGEBRUIKERS

Binnen het berekende hydrologische en thermische invloedsgebied (zie paragraaf 3.3 en 3.5) bevinden zich geen andere grondwatergebruikers. Het enige nabijgelegen open bodemenergiesysteem is het eigen systeem dat zich in het eerste watervoerende pakket bevindt. De berekende invloed op de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket ter plaatse van dit systeem is maximaal 0,02 m. Het systeem is gelegen nabij de koude MTO-bronnen. De thermische invloed van de koude MTO-bronnen blijft beperkt tot het tweede watervoerende pakket en beïnvloedt de WKO in het eerste watervoerende pakket niet. De hydrologische invloed is dermate gering dat dit ook geen negatief effect heeft op het functioneren van het bodemenergiesysteem.

#### 4.5 GESLOTEN BODEMENERGIESYSTEMEN

Uit het overzicht van de WKOtool ([wkotool.nl](http://wkotool.nl), d.d. 29-04-2025) blijkt dat geen gesloten bodemenergiesystemen aanwezig zijn binnen een straal van 700 meter vanaf de bronlocaties.

Conform de beslisbomen uit bijlage 4 van de BUM BE deel 1 is negatieve beïnvloeding van een gesloten bodemenergiesysteem mogelijk wanneer deze binnen het thermische invloedsgebied van een open bodemenergiesysteem ligt. Binnen het berekende thermische invloedsgebied (zie paragraaf 3.4) bevinden zich geen gesloten bodemenergiesystemen. Van negatieve beïnvloeding van gesloten bodemenergiesystemen is daarom geen sprake.

#### 4.6 GRONDWATERBESCHERMING / DIEPTEBEPERKING

De locatie is niet gelegen in een waterwingebied, grondwaterbeschermingsgebied of boringsvrije zone.

In Noord-Brabant geldt wel een dieptebeperking voor het plaatsen van bronfilters van open bodemenergiesystemen. Op de projectlocatie is dit 80 m-mv. De aangevraagde diepte voor de bronfilters reikt tot maximaal 85 m-mv, waarmee in beperkte mate afgeweken wordt van dit beleid. Het beleid heeft als doel de drinkwatervoorraad op grotere diepte te beschermen. Voor een succesvol MTO-systeem is een afsluitende kleilaag boven de bronfilters essentieel (en in mindere mate een afsluitende kleilaag aan de onderzijde). Middels twee proefboringen nabij de gewenste warme en koude bronlocaties is de bodemopbouw op locatie in kaart gebracht en zijn tests uitgevoerd om de scheidende werking van de kleilagen te testen. Daaruit blijkt dat de tweede scheidende laag (direct onder het filtertraject) een zeer hoge weerstand heeft. De effecten op het derde watervoerende pakket en daarmee op de drinkwatervoorraad zijn daarmee beperkt.

Op zo'n 4 km ten zuidoosten bevindt zich de drinkwaterwinning van Genderen. De bronnen van de drinkwaterwinning hebben filters tussen de 55 en 160 m-mv en overlappen daarmee met het filtertraject van de bronnen van dit systeem. De invloed op de bronnen van de drinkwaterwinning is maximaal 0,15 m. Deze invloed is berekend in het tweede en het derde watervoerende pakket, tussen 65 en 130 m-mv. De invloed is het grootst in het noordwesten van het winveld. Brabant Water heeft aangegeven dat het winveld binnenkort naar het oosten verplaatst wordt, verder weg van het MTO-systeem. Richting het oosten is de invloed van het MTO-systeem kleiner.

De drinkwaterwinning bevindt zich in het invloedsgebied van de hete bronnen. Dat betekent dat de MTO-bronnen in de winter voor extra verlaging bij de winning zorgen en in de zomer voor extra verhoging. Gemiddeld is de natuurlijke stijghoogte ter plaatse van de drinkwaterwinning in de winter



0,8 m hoger dan in de zomer. De natuurlijke stijghoogteverandering zal door de MTO-bronnen enigszins uitgedempt worden, waardoor de stijghoogte in de winter minder hoog is en in de zomer minder laag. Omdat de extra verlaging als gevolg van het MTO-systeem alleen optreedt in de winter, wanneer de natuurlijke stijghoogte het hoogst is, worden geen nadelige effecten op de drinkwaterwinning verwacht. In de zomer kan de geringe invloed als positief gezien worden.

#### 4.7 BEBOUWING EN INFRASTRUCTUUR

De berekende grondwaterstandveranderingen zijn gering (0,01 m). De natuurlijke grondwaterstand bevindt zich op circa 1 - 1,4 m-mv. Een grondwaterstandverandering van maximaal 0,01 heeft geen grondwateroverlast of langdurige grondwaterstandverlaging tot gevolg. De optredende stijghoogteveranderingen kunnen van invloed zijn op bestaande bebouwing en infrastructuur via zettingen.

##### **Zettingen**

In de Nederlandse Norm voor Geotechniek ontwerp (NEN-EN 1997-1+C1+A1, Eurocode 7) zijn normen opgenomen om een ongewenst verlies aan bruikbaarheid, schade of hoge onderhoudskosten aan infrastructuur en constructies te voorkomen.

Volgens deze NEN-norm kan verlies van bruikbaarheid optreden wanneer de zetting groter is dan 50 mm en het zettingsverhang (rotatie) groter is dan 1:500. 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, kunnen effecten van betekenis optreden (Krachtwerktuigen en IF Technology, 1992).

##### *Invloed MTO*

De berekende maximale totaalzetting van 39 mm (zie paragraaf 3.4) en de daarmee gepaard gaande verschilzetting van 1 m per 1.000 m veroorzaakt geen schade aan gebouwen en funderingen.

##### *Cumulatieve invloed MTO en WKO*

Het MTO-systeem en het bestaande WKO-systeem van Butterfly Orchids beïnvloeden elkaar hydrologisch niet omdat er voldoende weerstand tussen de twee opslagpakketten zit. De zetting werkt echter wel door naar maaiveld, waardoor wel een cumulatieve zetting op kan treden als gevolg van de verlaging van beide systemen. Daarvoor is gekeken naar de verlaging van het WKO-systeem ter plaatse van de MTO-bronnen. Met deze extra verlaging in met name het eerste watervoerende pakket is de cumulatieve zetting uitgerekend. Omdat een significante zetting in de deklaag is berekend voor het WKO-systeem is ook de zetting in de deklaag tijdsafhankelijk doorgerekend. Daarmee komt de cumulatieve totaalzetting ter plaatse van de koude MTO-bronnen uit op 41 mm. Deze totaalzetting en de daarmee gepaard gaande verschilzetting van 1 m per 900 m veroorzaken geen schade aan gebouwen en funderingen. Ter plaatse van de hete MTO-bronnen is geen significante invloed van de WKO-bronnen berekend, dus hier blijft de totaalzetting onveranderd.

#### 4.8 NATUUR EN OPENBAAR GROEN

De invloed op de grondwaterstand (paragraaf 3.3) is zo gering (maximaal 0,01 m) dat het open bodemenergiesysteem geen invloed heeft op natuurwaarden (zoals Brabant Beschermde Gebieden Waterhuishouding/ Attentiegebieden, Vogel- en Habitatrichtlijngebieden, Natuurbeschermingswetgebieden, Natuurnetwerk Nederland of ecologische beschermingszones) en openbaar groen.

Op 1.300 m ten zuidwesten van de bronnen ligt een Natura2000-gebied. De berekende grondwaterstandsverandering aan de rand van het gebied is maximaal 0,004 m. Daarmee vallen de effecten binnen de norm van 0,01 m.

Dunea heeft op zo'n 2 km ten noorden van de bronnen een innamepunt voor drinkwater (Innamepunt Brakel). Dit gaat vermoedelijk om oppervlaktewater van de Afgedamde Maas. De invloed op de grondwaterstand en oppervlaktewater is maximaal 0,01 m. Daarnaast heeft het oppervlaktewater een dempende werking. Het MTO-systeem heeft daarmee geen invloed op het innamepunt.

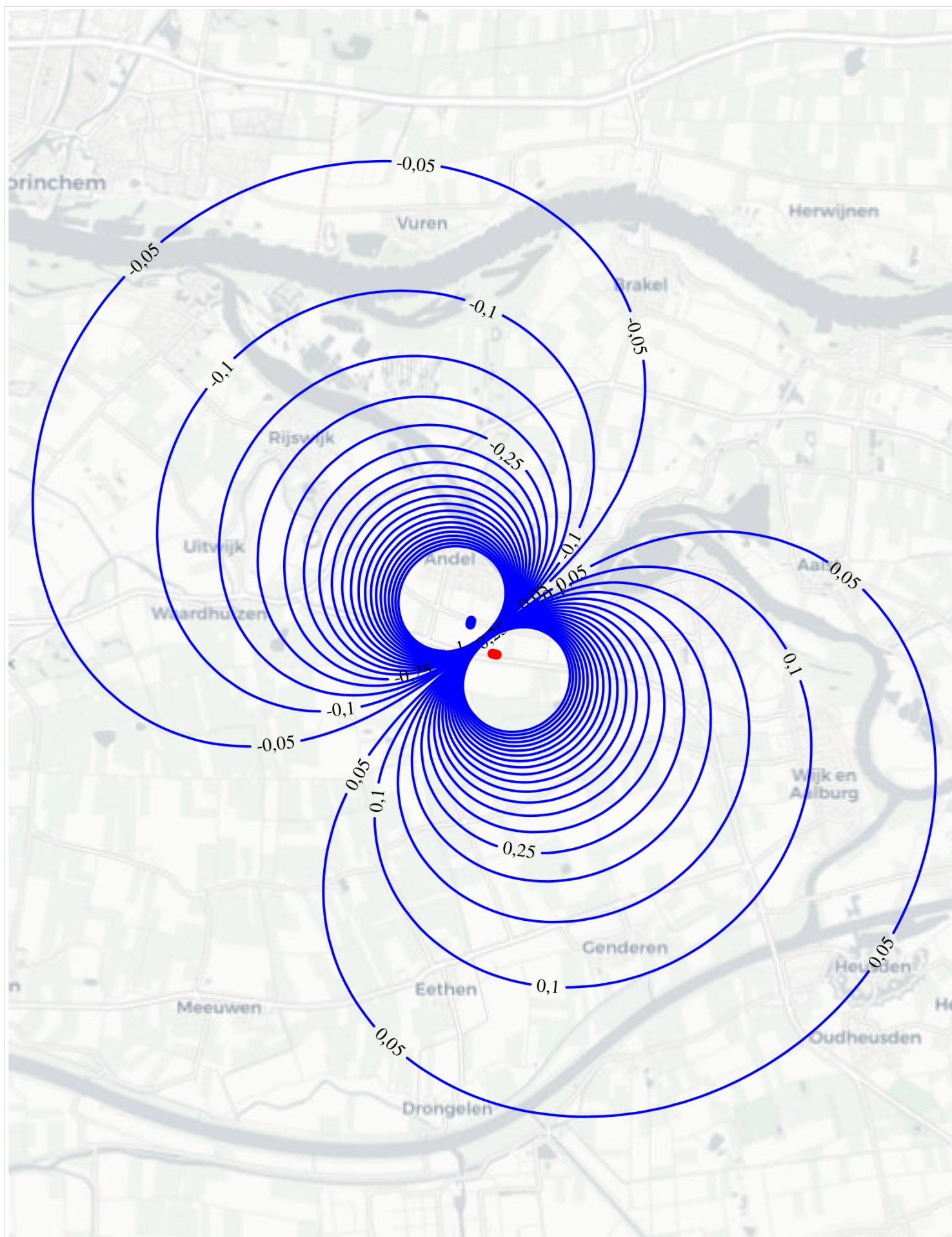
#### 4.9 CULTUURHISTORIE EN ARCHEOLOGISCHE WAARDEN

De invloed op de grondwaterstand (paragraaf 3.3) is zo gering (maximaal 0,01 m) dat het open bodemenergiesysteem geen invloed heeft op eventueel aanwezige cultuurhistorie en archeologische waarden.

Het open bodemenergiesysteem ligt niet in een aardkundig waardevol gebied.

# Figuren





- Warme bron
- Koude bron

Project: MTO Butterfly Orchids Andel

Datum: A: 09-10-2025  
B:

Onderwerp: Berekende maximale stijghoogteverandering  
in het opslagpakket [m]

Figuur: 3.3

Stadium: effectenstudie

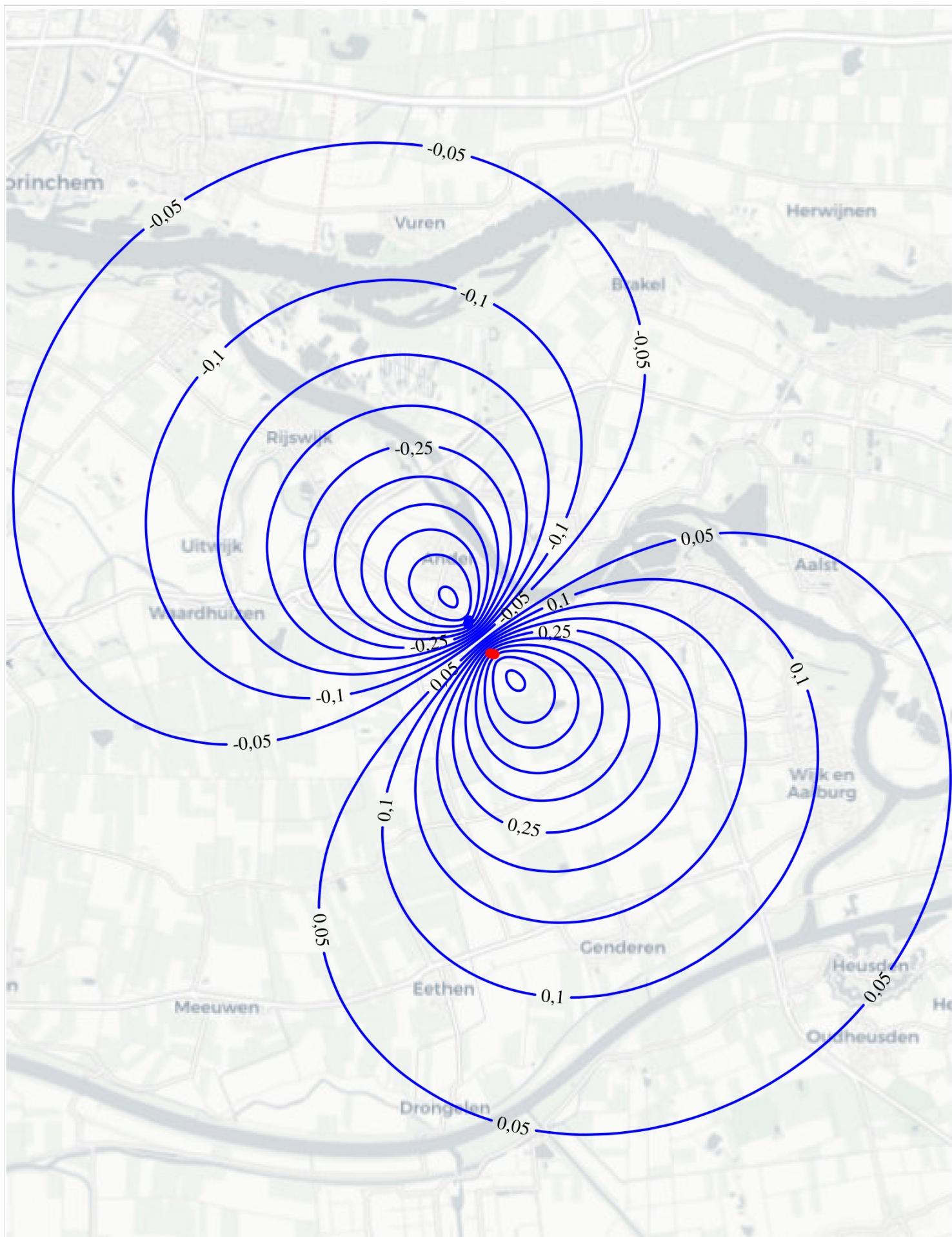
Referentie: 100354/PO Getek.: YR

Form.: A4



0 m 1000 m 2000 m 3000 m 4000 m





- Warme bron
- Koude bron

0 m 1000 m 2000 m 3000 m 4000 m

Project: MTO Butterfly Orchids Andel

Datum: A: 09-10-2025  
B:

Onderwerp: Berekende maximale stijghoogteverandering  
in het derde watervoerende pakket [m]

Figuur: 3.4

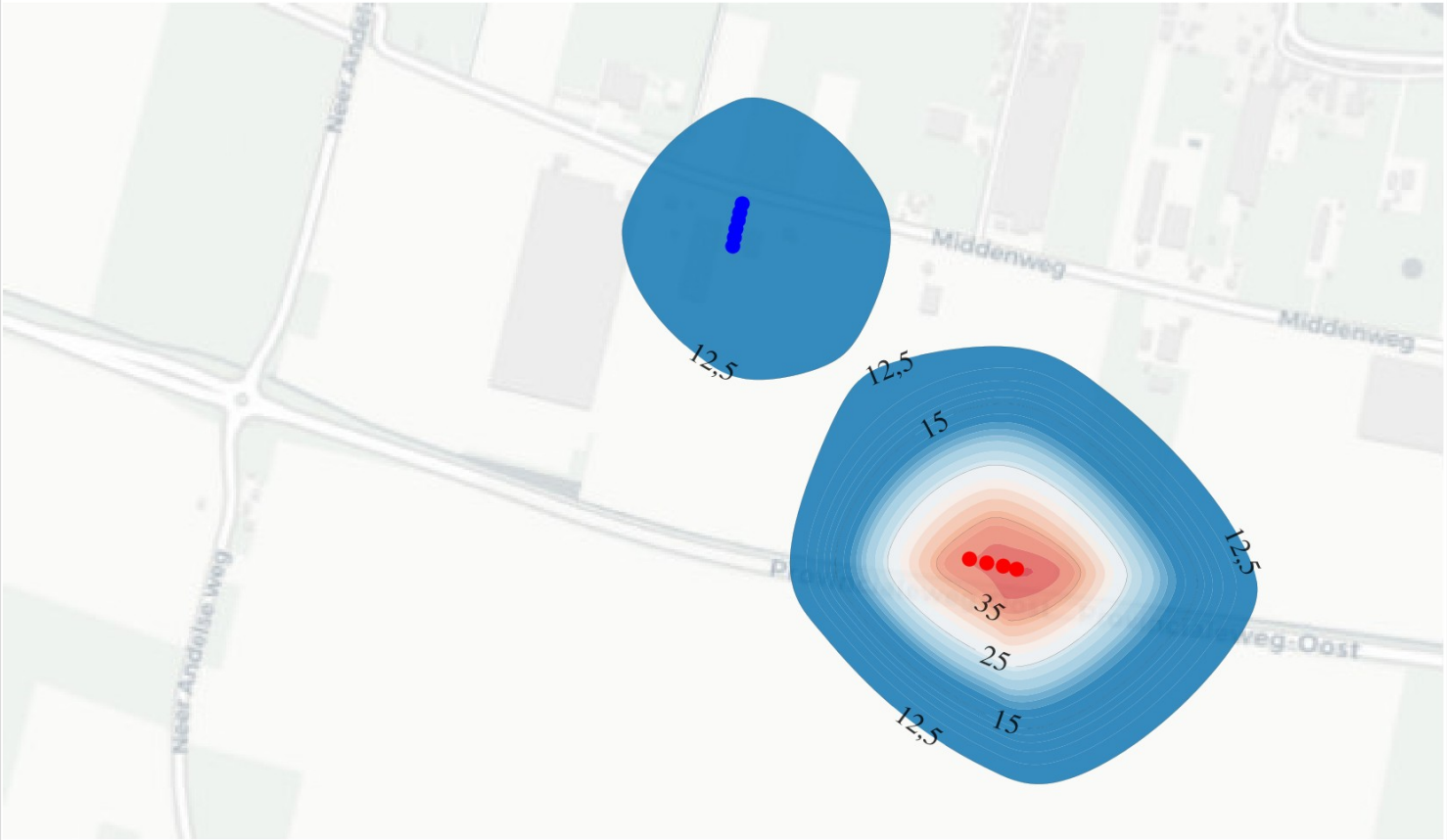
Stadium: effectenstudie

Referentie: 100354/PO Getek.: YR

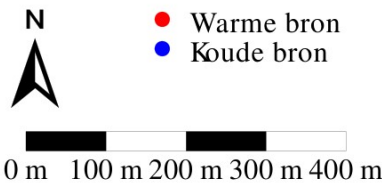
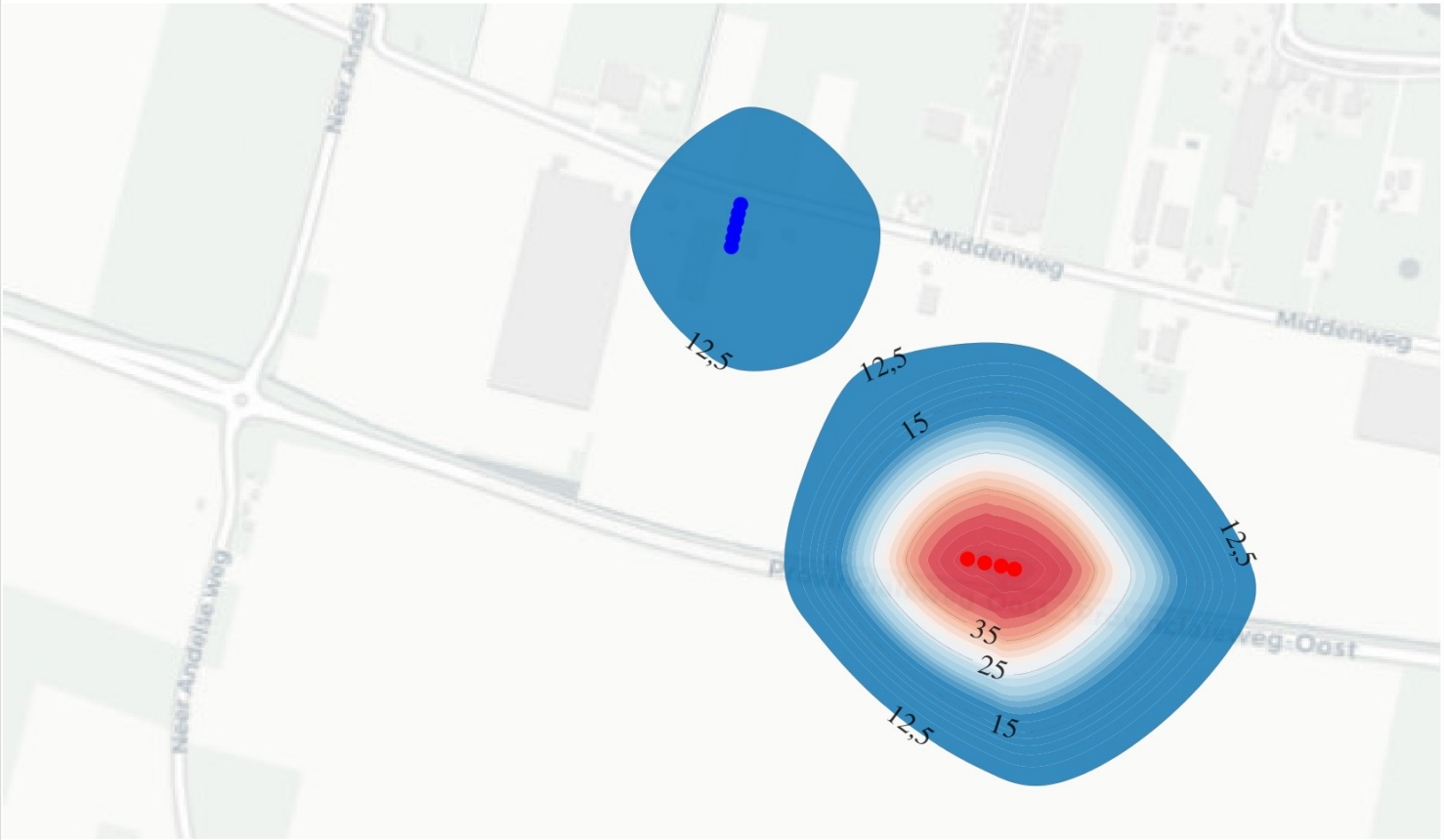
Form.: A4



situatie einde winter



situatie einde zomer

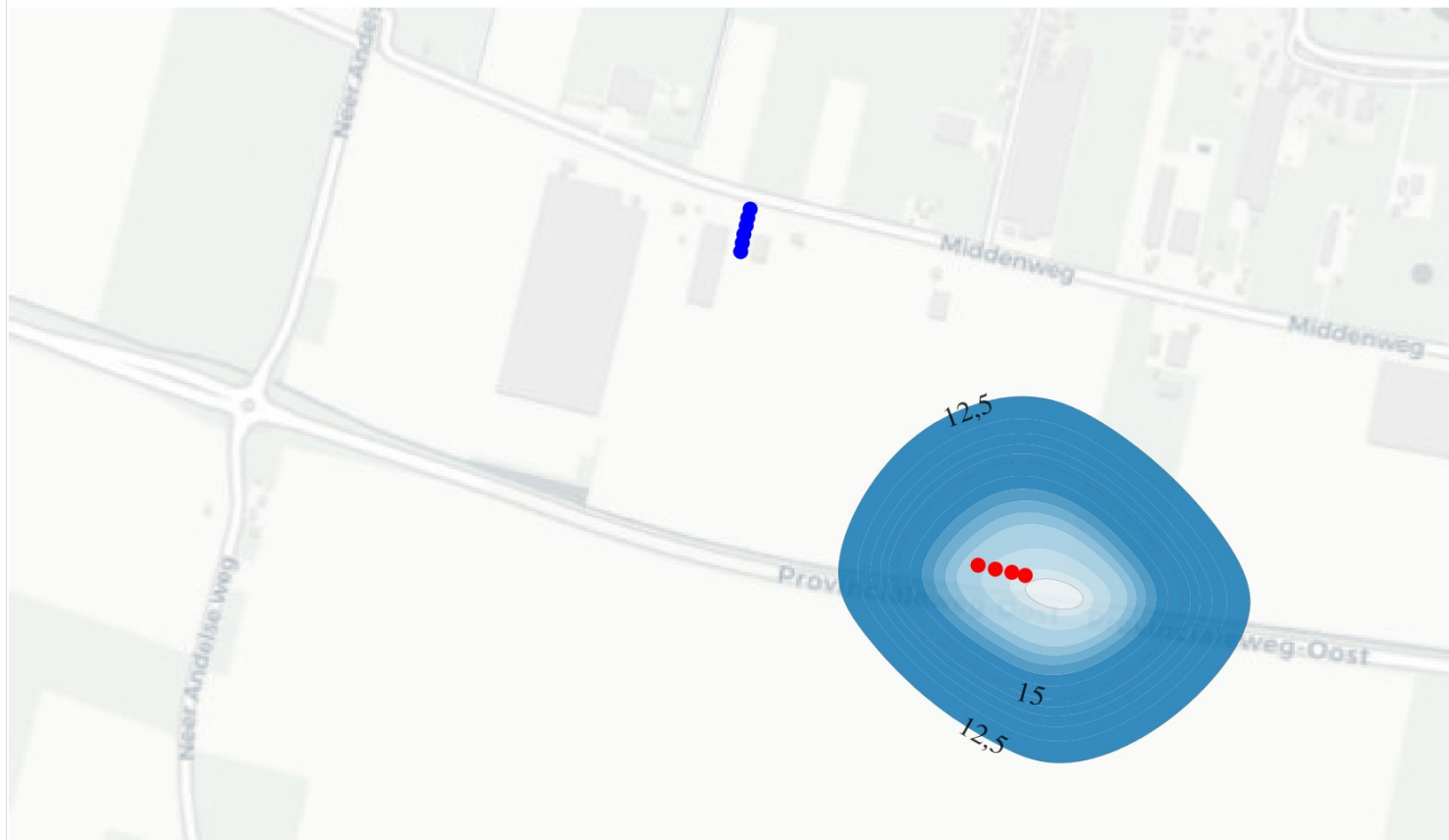


● Warme bron  
● Koude bron

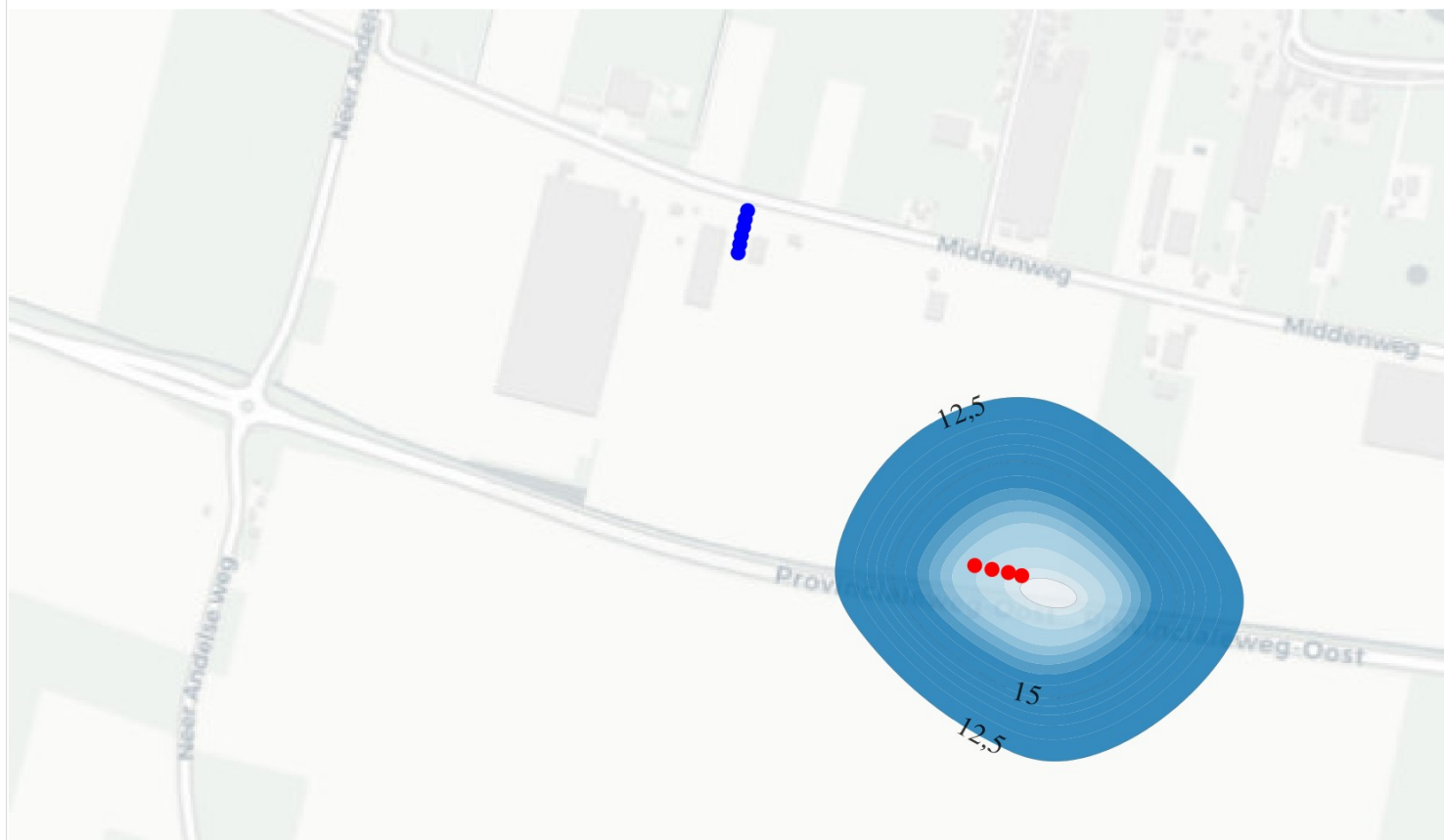




situatie einde winter



situatie einde zomer



● Warme bron  
● Koude bron

0 m 100 m 200 m 300 m 400 m

Project: MTO Butterfly Orchids Andel

Datum: A: 09-10-2025  
B:

Onderwerp: Berekende temperaturen in het eerste watervoerend pakket  
na 20 jaar energieopslag [°C]

Figuur: 3.6

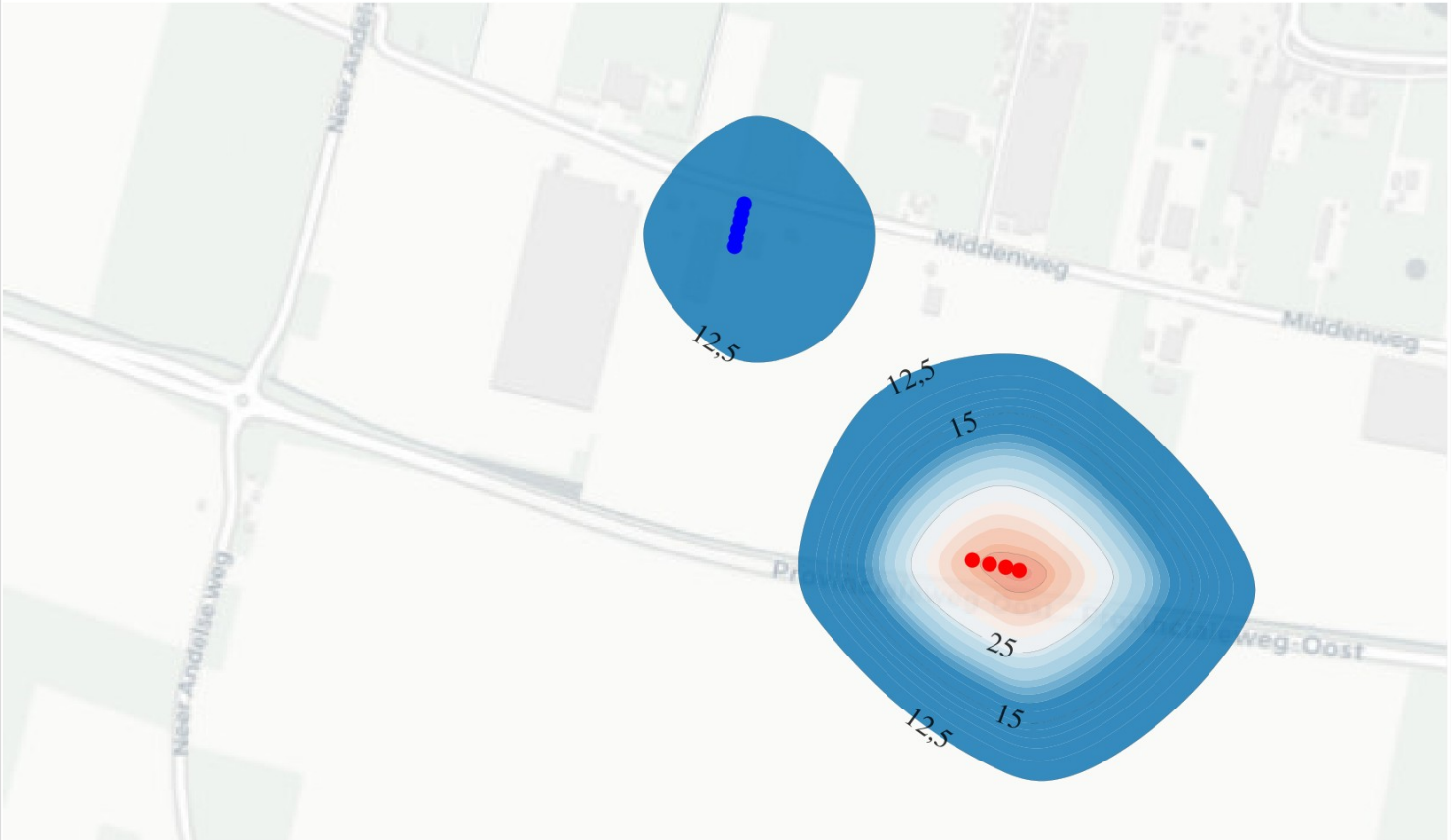
Stadium: effectenstudie

Referentie: 100354/PO Getek.: YR

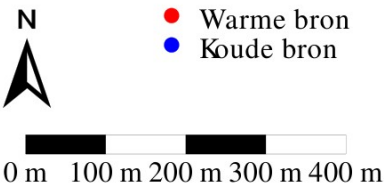
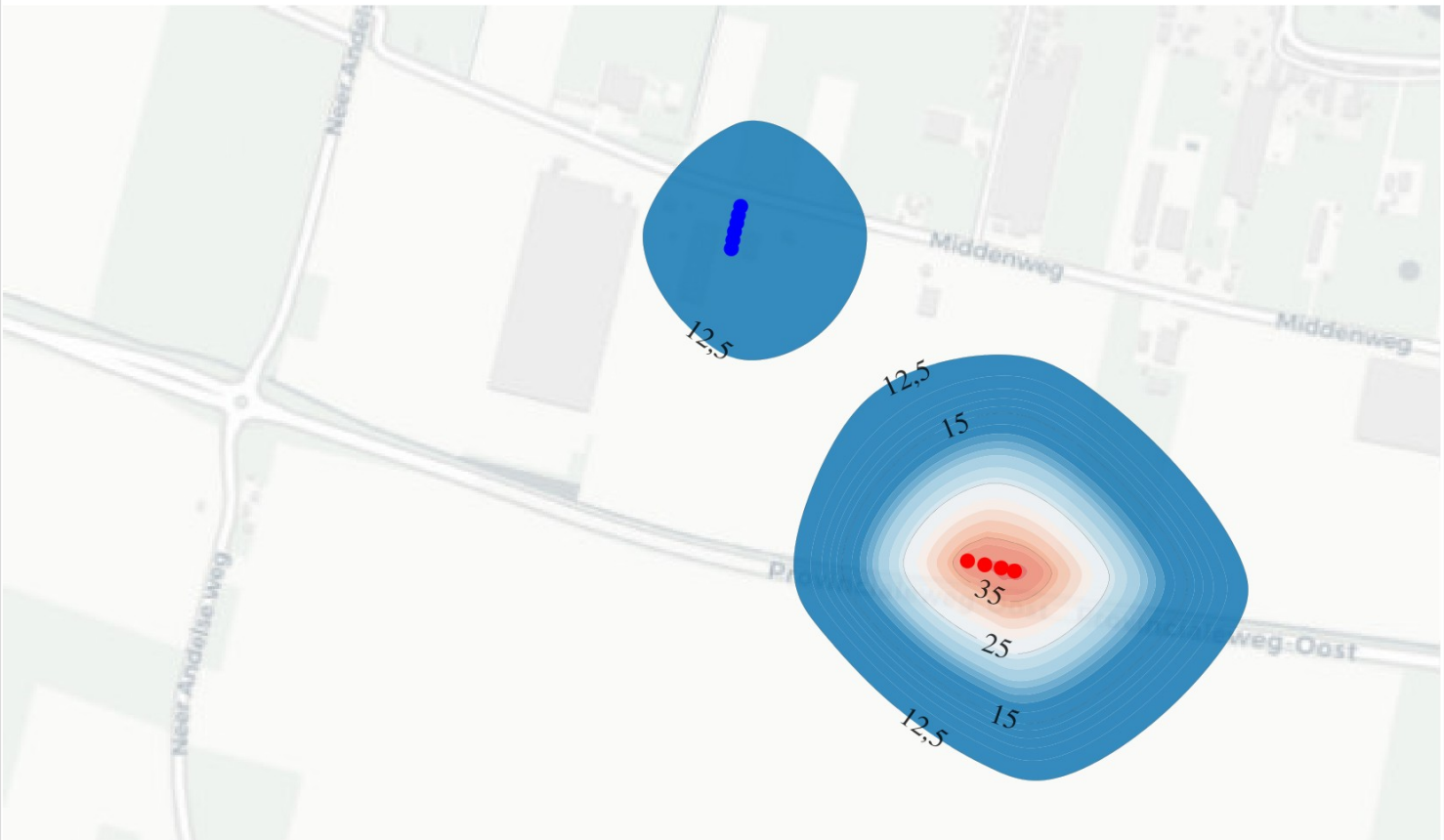
Form.: A4



situatie einde winter



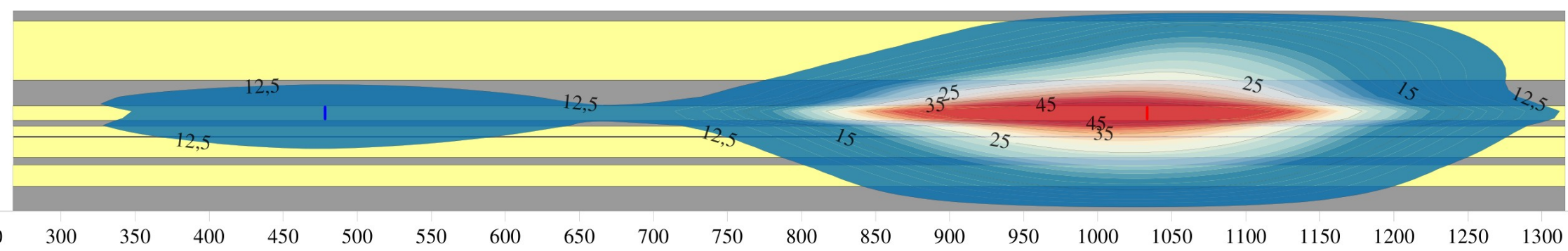
situatie einde zomer



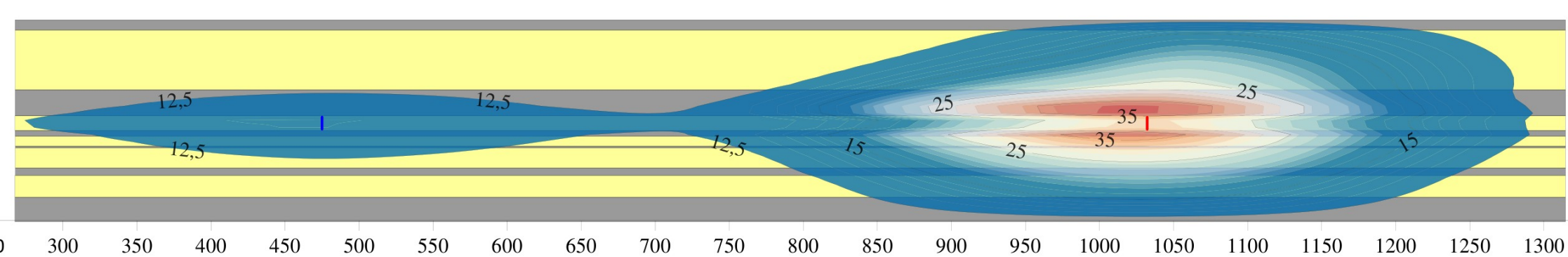
● Warme bron  
● Koude bron



Temperatuurverdeling na 20 jaar (einde warmte laden)



Temperatuurverdeling na 20 jaar (einde warmte leveren)



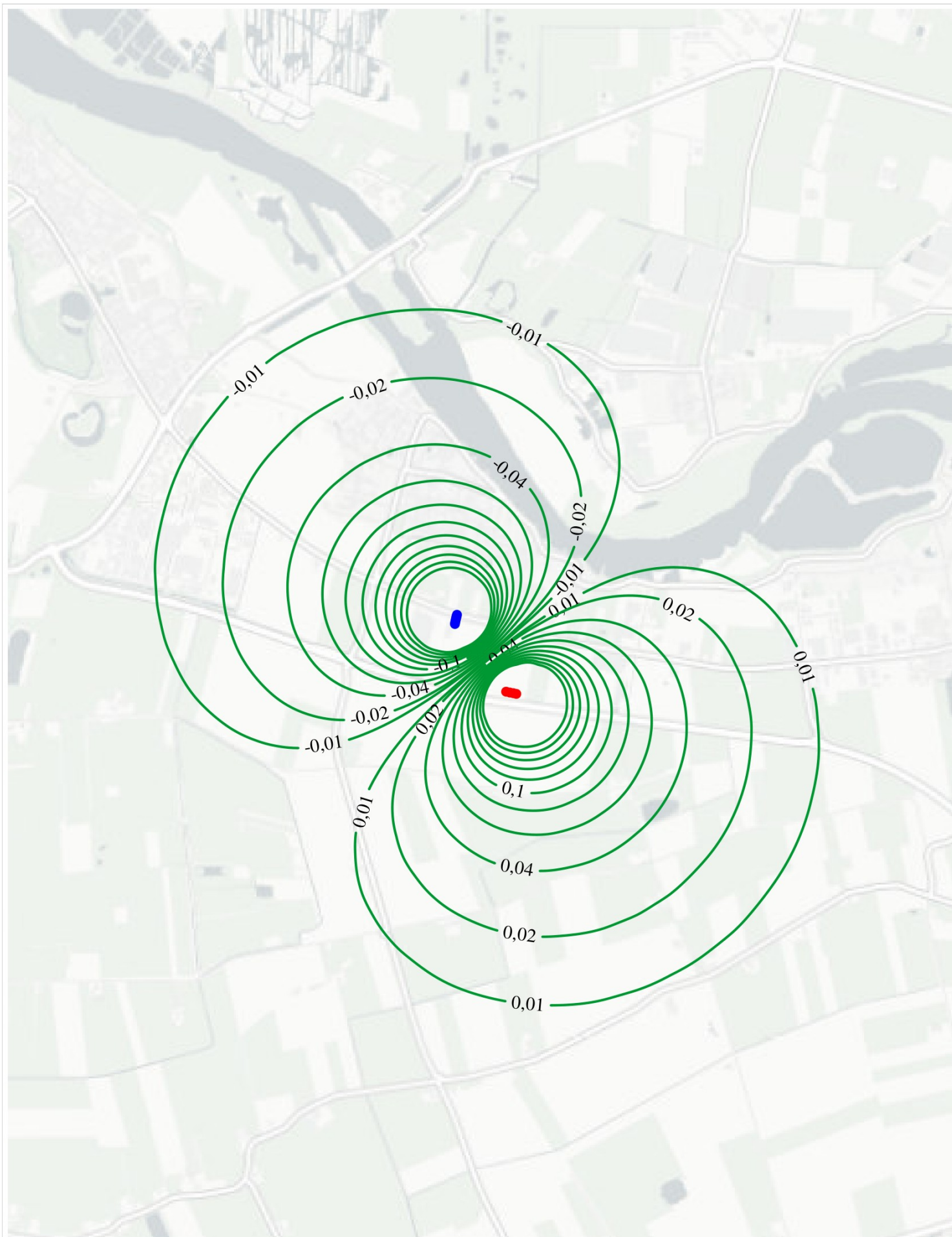
Project: MTO Butterfly Orchids Andel Datum: A: 09-10-2025  
B:

Onderwerp: Berekende temperatuurverdeling na 20 jaar  
toepassing van MTO [°C]

Figuur: 3.8 Stadium: effectenstudie  
Referentie: 100354/PO Getek.: YR Form.: A4







● Warme bron  
● Koude bron

Project: MTO Butterfly Orchids Andel

Datum: A: 09-10-2025  
B:

Onderwerp: Verticale stroming [m/seizoen] door de 2e scheidende laag

Figuur: 4.1

Stadium: effectenstudie

Referentie: 100354/PO Getek.: YR

Form.: A4



0 m 500 m 1000 m 1500 m

# Bijlage 1

BOORBESCHRIJVING VAN DE PROEFBORINGEN

## Grondlagenstaat boring

Projectnummer: PW202410082 Datum: 9 Januari 2024  
 Adres, plaats: Middenweg og Boormeester(s): [REDACTED]  
 Plaats: Andel Beschrijver(s): [REDACTED], [REDACTED]  
 ID boring: MP1 Zuid Warm Methode beschrijver NEN 5104  
 Diameter boring: 450 mm RD XY Coördinaten: 420356,1 132704,6  
 Boormethode: Zuigboren/luchtliften  
 Kleurovergang (redox): Hele diepteprofiel lijkt gereduceerd (grijsachtig), hooguit in de bovenste meters wat bruintinten

De werkzaamheden zijn uitgevoerd conform BRL SIKB 2100 en BRL SIKB 11000




Grondlagen [m -mv] van tot		Hoofdbestanddeel	M50 [µm]	Klasse	Kleur	Bijmenging
0	1	Klei,slap				Zwak zandig
1	5	Klei, slap				
5	7	Klei, matig vast			Zwartig	Zeer humeus
7	8	Klei, matig vast				
8	9	Zand		Matig grof		Zwak kleiig
9	10	Zand		Matig grof		Grind tot 3 cm
9	16	Zand		Zeer/uiteerst grof		
16	20	Zand		Zeer/uiteerst grof		Grind tot 1 cm
20	33	Zand		Matig fijn/matig grof		
33	34	Zand		Matig fijn/matig grof		Grind tot 1 cm
34	41	Zand		Matig fijn/matig grof		
41	48	Zand		Zeer grof/uiteerst grof		
48	49	Zand		Matig grof		Stenen tot 5 cm
49	52	Klei, zeer vast				Zeer vast
52	58	Klei, zeer vast			Donker	Humeus
58	72	Klei, zeer vast				
72	73	Zand		Uiters fijn		Zwak kleeig, sterk siltig
73	74	Zand	380			Zwak siltig
74	75	Zand	420			Zwak siltig
75	76	Zand	380			Zwak siltig
76	77	Zand	300			Zwak siltig
77	78	Zand	300			Zwak siltig
78	79	Zand	380			Zwak siltig
79	80	Zand	300			Zwak siltig
80	81	Zand	300			Zwak siltig
81	82	Zand	320			Sterk siltig
82	83	Zand	420			Zwak siltig
83	84	Zand	450			Zwak siltig





## Grondlagenstaat boring

Projectnummer: PW202410082  
Adres, plaats: Middenweg og  
Plaats: Andel  
ID boring: MP1 Zuid Warm  
Diameter boring: 450 mm  
Boormethode: Zuigboren/luchtliften

Datum: 9 Januari 2024  
Boormeester(s):   
Beschrijver(s): ,   
Methode beschrijver NEN 5104  
RD XY Coördinaten: 420356,1 132704,6

De werkzaamheden zijn uitgevoerd conform BRL SIKB 2100 en BRL SIKB 11000

[illegible]

## Grondlagenstaat boring

Projectnummer:	PW202410082	Datum:	22 Januari 2025
Adres, plaats:	Middenweg og	Boormeester(s):	[REDACTED]
Plaats:	Andel	Beschrijver(s):	[REDACTED]
ID boring:	MP2 Noord Koud	Methode beschrijver	NEN 5104
Diameter boring:	450 mm	RD XY Coördinaten:	420817,3 132325,7
Boormethode:	Zuigboren/luchtliften	Maaiveld:	0,85 [m] NAP

Kleurovergang (redox): Hele diepteprofiel lijkt gereduceerd (grijsachtig), hooguit in de bovenste meters wat bruintinten

De werkzaamheden zijn uitgevoerd conform BRL SIKB 2100 en BRL SIKB 11000

Grondlagen [m -mv] van tot		Hoofdbestanddeel	M50 [µm]	Klasse	Kleur	Bijmenging
0	1	Klei, matig vast				Zwak zandig
1	6	Klei, matig vast				
5	6	Klei, matig vast				
6	7	Klei, matig vast			Zwartig	Zeer humeus
7	9	Klei, slap			Zwart	Matig humeus
9	12	Zand		Uiterst grof		Grind tot 1 cm
12	20	Zand		Zeer grof/uiterst grof		
20	21	Zand		Matig grof		Zwak kleiig
22	25	Zand		Matig grof		
25	26	Zand				Uiters kleiig
26	28	Zand		Matig fijn/matig grof		Zwak kleiig
28	30	Zand		Matig fijn/matig grof		
30	33	Zand		Matig grof		
33	34	Zand		Matig grof		Grind tot 1 cm
34	35	Zand		Matig grof		
35	36	Zand		Zeer grof		
36	38	Zand		Uiterst grof		
38	39	Zand		Matig grof		Zwak kleiig
39	44	Zand		Zeer grof		
44	45	Klei, stevig				Matig zandig
45	46	Klei, stevig				
46	49	Zand, matig grof				
49	53	Klei, zeer vast				
53	55	Klei, zeer vast			Donker	Matig humeus
55	57	Klei, zeer vast				
57	59	Klei, zeer vast				Zwak zandig
59	60	Klei, zeer vast				
60	61	Klei, zeer vast				Zwak zandig

## Grondlagenstaat boring

Projectnummer: PW202410082  
 Adres, plaats: Middenweg og  
 Plaats: Andel  
 ID boring: MP2 Noord Koud  
 Diameter boring: 450 mm  
 Boormethode: Zuigboren/luchtliften

Datum: 22 Januari 2025  
 Boormeester(s): [REDACTED]  
 Beschrijver(s): [REDACTED], [REDACTED]  
 Methode beschrijver NEN 5104  
 RD XY Coördinaten: 420817,3 132325,7  
 Maaiveldhoogte 0,85 [m] NAP

De werkzaamheden zijn uitgevoerd conform BRL SIKB 2100 en BRL SIKB 11000




Grondlagen [m -mv]		Hoofdbestanddeel	M50 [μm]	Klasse	Kleur	Bijmenging
61	64	Klei, zeer vast				
64	65	Klei, zeer vast				Zwak zandig
65	68	Klei, zeer vast				
68	69	Klei, zeer vast				Zwak zandig
69	79	Klei, zeer vast				
79	80	Zand	300			Matig siltig
80	81	Zand	320			Zwak siltig
81	82	Zand	400			Zwak siltig
82	83	Zand	500			Zwak siltig
83	84	Zand	550			Zwak siltig
84	85	Klei, zeer vast				
85	87	Zand		Uiterst fijn/zeer fijn		
87	90	Klei, zeer vast			Blauwig	
90	91	Klei, zeer vast			Blauwig	Zwak zandig
91	92	Zand	150			Sterk kleiig, sterk siltig
92	94	Zand	200			Matig kleiig, sterk siltig
94	95	Zand	200			Geen tot zwak kleiig, zwak ziltig
95	96	Zand	300			Geen tot zwak kleiig, zwak ziltig
96	97	Zand	210			Geen tot zwak kleiig, zwak ziltig
97	98	Zand	300			Geen tot zwak kleiig, zwak ziltig
98	99	Zand	280			Geen tot zwak kleiig, zwak ziltig
99	100	Zand	300			Zwak tot matig kleiig, matig siltig
100	101	Zand	220			Zwak tot matig kleiig, sterk siltig
101	102	Zand	300			Zwak kleiig, matig siltig
102	105	Klei, stevig				Zwak zandig
105	106	Klei, stevig				Matig zandig
106	107	Klei, stevig				
107	108	Zand	380			Zwak kleiig





## Grondlagenstaat boring

Projectnummer: PW202410082  
Adres, plaats: Middenweg og  
Plaats: Andel  
ID boring: MP2 Noord Koud  
Diameter boring: 450 mm  
Boormethode: Zuigboren/luchtliften

Datum: 22 Januari 2025  
 Boormeester(s):   
 Beschrijver(s): ,   
 Methode beschrijver NEN 5104  
 RD XY Coördinaten: 420817,3 132325,7  
 Maaiveld: 0,85 [m] NAP

De werkzaamheden zijn uitgevoerd conform BRL SIKB 2100 en BRL SIKB 11000

[illegible]

# Bijlage 2

BEREKENING VAN DE TOTAALZETTING

# Zettingsberekening

Versie 29 september 2004

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



Projectnaam: MTO Butterfly Orchids Andel  
 Projectnummer: 100354  
 Datum berekening: 2-5-2025  
 Boring: ...  
 Rapport: Effectenstudie  
 Specialist: YR  
 Opmerking(en): ...

Gebruikte formule van Terzaghi:

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

GLG: 1,4 m-mv

Materiaal	[m-mv] diepte	[m] Dikte	$\Delta H$ bron	[-] $C_p$	[-] $C_s$	[-] Conein	[kg/m <sup>3</sup> ] $\rho$	[N/m <sup>2</sup> ] $\sigma_k$	[N/m <sup>2</sup> ] $\Delta\sigma_k$	[mm] Z
	0									
Onverz.zone		1,4	0,01	-	-	-	1700	-		0
	1,4									
Zand		2	0,01	15	160	10,909	1700	25407,9	98,1	1
	2									
Klei		6		15	160	10,909	1700	43065,9	147,15	2
	8									
Zand		41	0,02	1000	1,00E+99	1000	2100	279879,3	196,2	0
	49									
Klei		18		30	500	24,194	2000	589384,8	78970,5	16
	67									
Zand		1	16,08	650	1,00E+99	650	2100	683070,3	157745	0
	68									
Zand		3	20,03	650	1,00E+99	650	2100	704652,3	196494	1
	71									
Zand		1	16,08	650	1,00E+99	650	2100	726234,3	157745	0
	72									
Klei		4		20	240	15	1800	747325,8	81374	17
	76									
Zand		12	0,51	450	1,00E+99	450	2000	821881,8	5003,1	0
	88									
Klei		2		30	500	24,194	2000	890551,8	4757,85	0
	90									
Zand		17	0,46	650	1,00E+99	650	2100	992085,3	4512,6	0
	107									
Klei		23		50	600	37,5	2100	970993,8	2256,3	1
	130									

## Verklaring van de parameters:

symbolen	verklaring	eenheid
D	= Dikte	[m]
$\Delta H$	= Stijghoogteverandering	[m]
$C_p$	= Primaire zettingsconstante	[-]
$C_s$	= Seculaire zettingsconstante	[-]
Conein	= Totale zettingsconstante	[-]
$\rho$	= Bulkdichtheid	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\sigma_k$	= Korrelspanning	[N/m <sup>2</sup> ]
$\Delta\sigma_k$	= Verandering korrelspanning	[N/m <sup>2</sup> ]
Z	= Zetting	[mm]
GLG	= Gemiddelde laagste grondwaterstand	[m-mv]

Totale zetting [mm] 39

Zettingsverhang 1 m / 1000

Gele cellen zijn tijdsafhankelijk berekend



# Bijlage 3

BEREKENING VAN DE TIJDSAFHANKELIJKE ZETTING

## Zettingsberekening

Tijdsafhankelijke berekening van de maximale zetting; versie datum: 29 september 2004

	Projectnaam:	MTO Butterfly Orchids Andel
	Projectnummer:	100354
	Datum:	2-mei-25
	Boring:	
	Rapport:	Effectenstudie
	Bijlage:	
	Specialist:	YR
	Opmerking(en):	Eerste scheidende laag

### Parameters

bovenzijde scheidende laag		49 m-mv	
onderzijde scheidende laag		67 m-mv	
GLG		1,4 m-mv	
verlaging aan bovenzijde		0,02 mwk	
verlaging aan onderzijde		16,08 mwk	
primaire zettingsconstante	Cp	30	
seculaire zettingsconstante	Cs	500	
samendrukkingsconst.	C_oneindig	24,19	
doorlatendheid (vert.)	kv	1,16E-10 m/s	= 0,00001 m/d
volumegewicht van water	$\gamma_w$	1000 kg/m <sup>3</sup>	
verzadigd volumegewicht bovenliggende lagen	$\gamma_{\tau}$	1955 kg/m <sup>3</sup>	
tijdstip	ti	80 d	= 0,22 j

### Enkelzijdig gedeelte

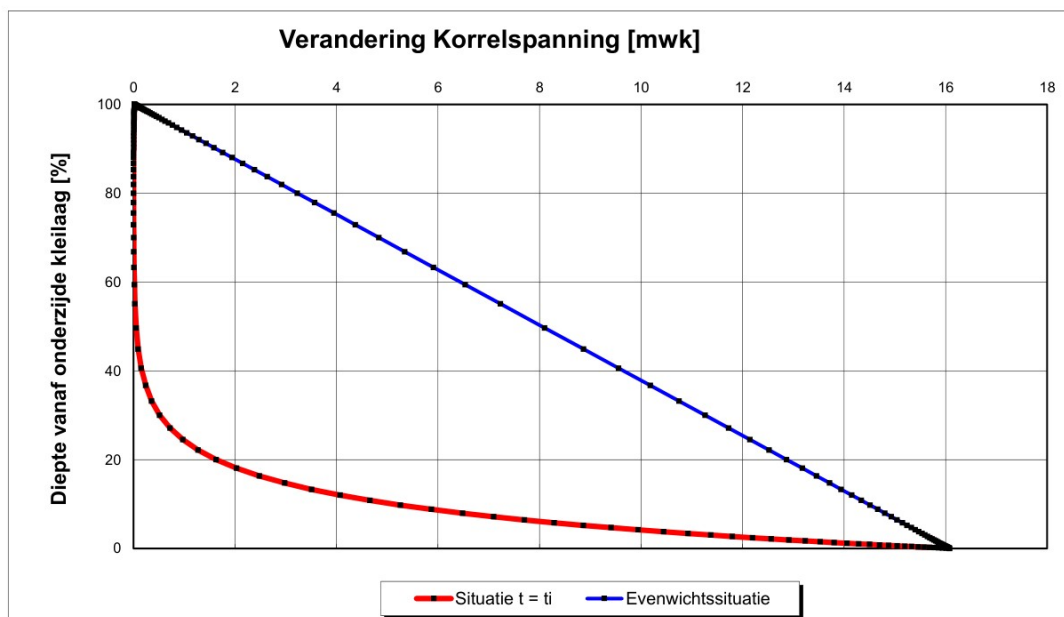
eindzetting		93,66 mm	
hydrodynamische periode		2,10E+04 d	= 57,52 j
zetting op t=ti		17 % van eindzetting	
zetting op t=ti		15,58 mm	

### Dubbelzijdig gedeelte

eindzetting		0,27 mm	
hydrodynamische Periode	Th	1,20E+04 d	= 32,84 j
zetting op t=ti		13 % van eindzetting	
zetting op t=ti	zt =	0,04 mm	


### Berekening

zetting na oneindig lange belasting	93,93 mm
zetting op t = ti	15,62 mm



## Zettingsberekening

Tijdsafhankelijke berekening van de maximale zetting; versie datum: 29 september 2004

	Projectnaam:	MTO Butterfly Orchids Andel
	Projectnummer:	100354
	Datum:	2-mei-25
	Boring:	
	Rapport:	Effectenstudie
	Bijlage:	
	Specialist:	YR
	Opmerking(en):	Tweede scheidende laag

### Parameters

bovenzijde scheidende laag		72 m-mv	
onderzijde scheidende laag		76 m-mv	
GLG		1,4 m-mv	
verlaging aan onderzijde		0,51 mwk	
verlaging aan bovenzijde		16,08 mwk	
primaire zettingsconstante	Cp	20	
seculaire zettingsconstante	Cs	240	
samendrukkingsconst.	C_oneindig	15,00	
doorlatendheid (vert.)	kv	1,16E-10 m/s	= 0,00001 m/d
volumegewicht van water	$\gamma_w$	1000 kg/m <sup>3</sup>	
verzadigd volumegewicht bovenliggende lagen	$\gamma_{\tau}$	2000 kg/m <sup>3</sup>	
tijdstip	ti	80 d	= 0,22 j

### Enkelzijdig gedeelte

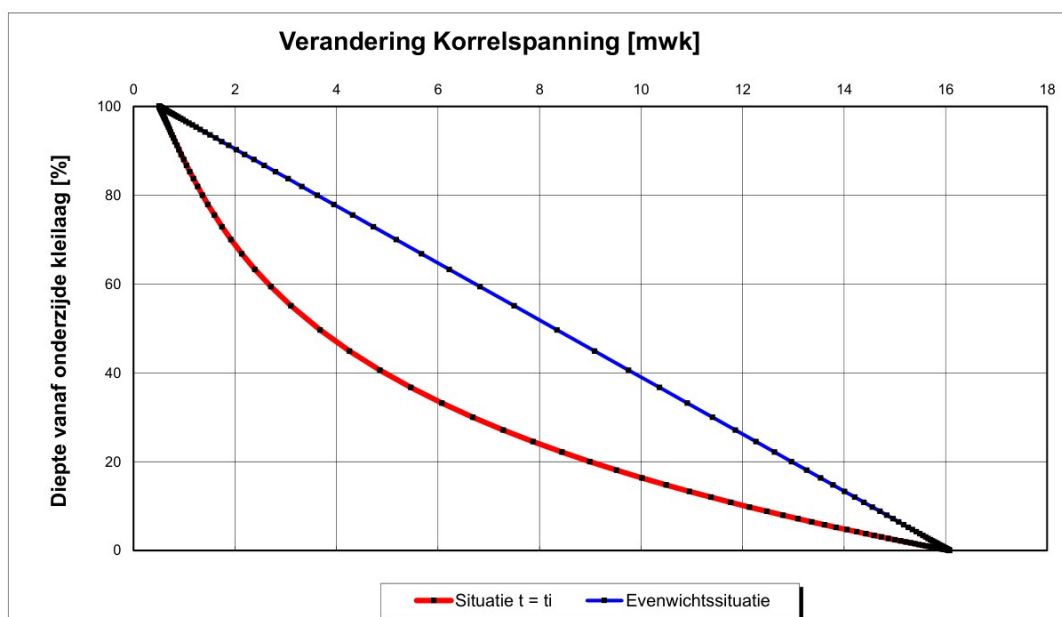
eindzetting		25,77 mm	
hydrodynamische periode		1,32E+03 d	= 3,63 j
zetting op t=ti		63 % van eindzetting	
zetting op t=ti		16,16 mm	

### Dubbelzijdig gedeelte

eindzetting		1,81 mm	
hydrodynamische Periode	Th	7,10E+02 d	= 1,94 j
zetting op t=ti		53 % van eindzetting	
zetting op t=ti	zt =	0,96 mm	

### Berekening

zetting na oneindig lange belasting	27,58 mm
zetting op t = ti	17,12 mm



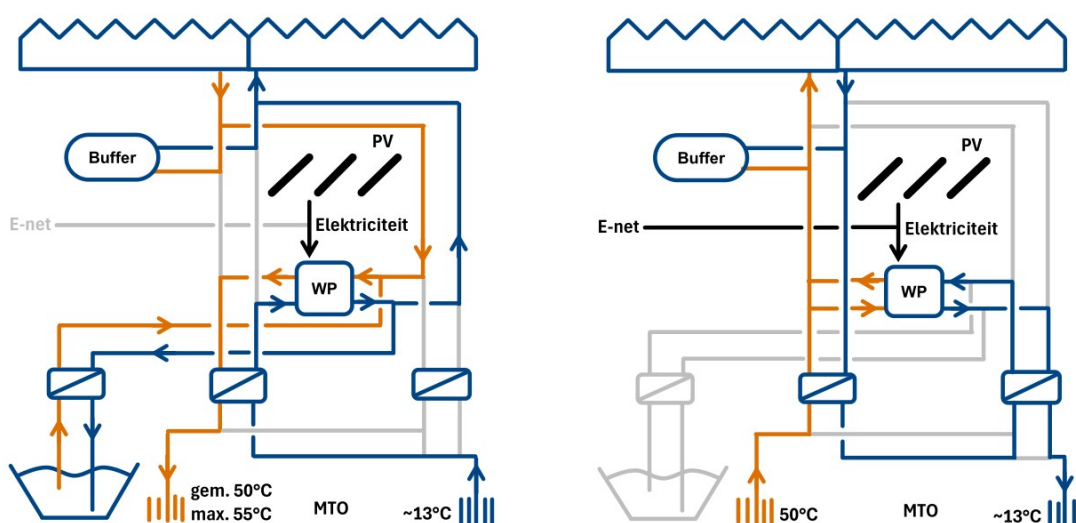


# Bijlage 4

SYSTEEMCONCEPT EN BEREKENING SPF

### SYSTEEMCONCEPT

Op basis van input vanuit Butterfly Orchids heeft IF Technology een systeemconcept voor MTO uitgewerkt. Dit is besproken met [REDACTED] (Climeco) en [REDACTED] en goedgekeurd. Het energieconcept is schematisch weergegeven in Figuur B3.4.1. Er is grofweg onderscheid te maken in twee bedrijfssituaties, namelijk “koelen en warmte laden” en “warmte leveren”. Een korte toelichting is onder het figuur gegeven.



Figuur B3.4.1 | Schematische weergave energieconcept met MTO. Links: 'Koelen en warmte laden' Rechts: 'Warmte leveren'

#### Koelen en warmte laden

Wanneer de kassen koeling nodig hebben, wordt koude geleverd vanuit de MTO en wordt aanvullend gekoeld met de warmtepompen. De warmte die hierbij vrijkomt, wordt opgeslagen in de bodem. Aanvullend kan warmte vanuit het oppervlaktewater via de warmtepomp worden opgeslagen in de bodem. Warmte opslaan vanuit het oppervlaktewatersysteem kan in de periode van 1 mei tot 1 november. Dit is de periode waarin het oppervlaktewater warm genoeg is om warmte te winnen. Warmtepompen waarden warmte op naar gemiddeld 50°C. Af en toe kan de temperatuur hoger liggen, met een max. van 55°C. De warmtepompen worden van elektriciteit voorzien vanuit de PV-panelen. Door middel van een buffer kunnen sterke fluctuaties in de productie worden uitgevlakt. De warmte die door de warmtepompen wordt geproduceerd, wordt deels geleverd aan de kassen en deels opgeslagen in de MTO. De warmte wordt in de MTO opgeslagen op een temperatuur van gemiddeld 50°C.

#### Warmte leveren

De kassen hebben het hele jaar door een warmtevraag, maar de warmtevraag is het grootste in de winterperiode. De winterperiode loopt van 1 november tot 1 mei. Het aquathermiesysteem is in deze periode niet meer actief. Alle warmte wordt geleverd vanuit de MTO. In eerste instantie wordt zoveel mogelijk warmte op directe wijze via de warmtewisselaar aan de kassen geleverd. Het temperatuurverlies over de warmtewisselaar is 1°C. Bij een retourtemperatuur van de kassen tussen de 20 en 25°C is de injectietemperatuur dan tussen de 21 en 26°C. Deels wordt de warmte uit de MTO opgewaardeerd met een warmtepomp. De injectietemperatuur is dan minimaal 5°C of hoger. De gemiddelde injectietemperatuur is 13°C. Voor zover mogelijk, wordt gebruik gemaakt

van elektriciteit uit de PV-panelen. Aanvullend wordt elektriciteit uit het net onttrokken. Butterfly Orchids koopt met ingang van 2027 volledig groene elektriciteit in.

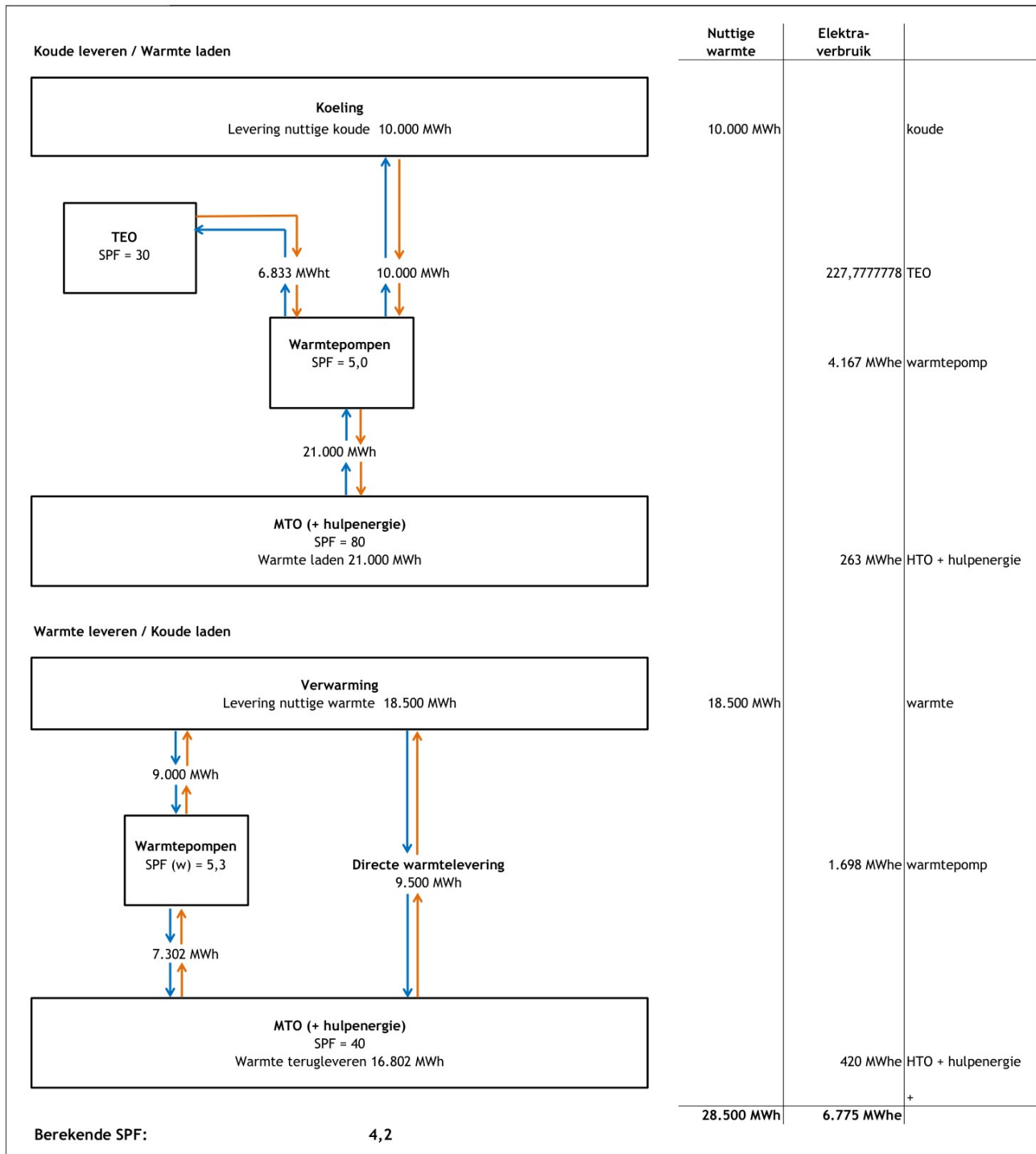


## BEREKENING SPF

Jaar 5

Koude leveren / Warmte laden	Nuttige warmte	Elektra-verbruik	
<div data-bbox="183 577 954 1205"> <p><b>Koeling</b> Levering nuttige koude 7.000 MWh</p> <p>TEO SPF = 30</p> <p>Warmtepompen SPF = 5,0</p> <p>MTO (+ hulpenergie) SPF = 80 Warmte laden 21.000 MWh</p> <p>9.833 MWh</p> <p>7.000 MWh</p> <p>21.000 MWh</p> </div>	7.000 MWh		koude
		327,777778	TEO
		4.167 MWhe	warmtepomp
		263 MWhe	HTO + hulpenergie
Warmte leveren / Koude laden			
<div data-bbox="183 1294 954 1832"> <p><b>Verwarming</b> Levering nuttige warmte 10.300 MWh</p> <p>Warmtepompen SPF (w) = 5,3</p> <p>MTO (+ hulpenergie) SPF = 60 Warmte terugleveren 9.469 MWh</p> <p>4.400 MWh</p> <p>3.569 MWh</p> <p>Directe warmtelevering 5.900 MWh</p> </div>	10.300 MWh		warmte
		831 MWhe	warmtepomp
		158 MWhe	HTO + hulpenergie
		+	
Berekende SPF:	3,0	17.300 MWh	5.746 MWhe

Jaar 10



# Bijlage 5

ANALYSE WATERKWALITEIT PROEFBORING

# Analyserapport

Blad 2 van 5

IF Technology

Projectnaam MTO Andel  
Projectnummer PR10639  
Rapportnummer 14252947 - 1

Orderdatum 04-03-2025  
Startdatum 04-03-2025  
Rapportagedatum 11-03-2025

Nummer	Monstersoort	Monsterspecificatie					
001	Grondwater	MP2-F1 (80-82)					
002	Grondwater	MP2-F2 (92-94)					
003	Grondwater	MP2-F3 (99-101)					
004	Grondwater	MP2-F4 (108-110)					
005	Grondwater	MP2-F5 (115-117)					
Analyse	Eenheid	Q	001	002	003	004	005
DOC	mg/l		6.2	2.9	3.4		
pH		Q	7.7	7.6	7.6		
temperatuur t.b.v. pH	°C		19.0	18.6	18.9		
<b>METALEN</b>							
arseen	µg/l	Q	1.2	1.1	1.5		
barium	µg/l	Q	49	42	43		
Borium	µg/l	Q	160	170	190		
cadmium	µg/l	Q	<0.2	<0.2	<0.2		
calcium	µg/l	Q	50000	52000	48000		
chromium	µg/l	Q	<1	<1	<1		
kobalt	µg/l	Q	<2	<2	<2		
kaliüm	µg/l	Q	6800	7700	7400		
koper	µg/l	Q	<2	<2	<2		
lood	µg/l	Q	<2	<2	<2		
magnesium	µg/l	Q	4500	4400	4600		
mangaan	µg/l	Q	58	74	59		
molybdeen	µg/l	Q	<2	<2	<2		
natrium	µg/l	Q	43000	41000	45000		
nikkel	µg/l	Q	<3	<3	<3		
Silicium	µg/l		8400	8200	8200		
vanadium	µg/l	Q	<2	<2	<2		
ijzer	µg/l	Q	1000	850	1000		
zink	µg/l	Q	<10	<10	<10		
<b>ANORGANISCHE VERBINDINGEN</b>							
ammonium	mg/l	Q	1.3	1.7	1.5		
fosfor (totaal)	mgP/l	Q	0.26	0.21	0.24		
bicarbonaat	mg/l	Q	270	230	270		
<b>DIVERSE NATCHEMISCHE BEPALINGEN</b>							
chloride	mg/l	Q				79	33
chloride	mg/l	Q	40	40	40		
nitraat	mgN/l	Q	<0.05	<0.05	<0.05		
nitraat	mg/l	Q	<0.2	<0.2	<0.2		
sulfaat	mg/l	Q	0.29	0.18	0.15		
(ortho) fosfaat	mgP/l	Q	<0.1	<0.1	<0.1		
Alkaliteit (als CaCO3)	mg CaCO3/l		<1700 <sup>1)</sup>	<1700 <sup>1)</sup>	<1700 <sup>1)</sup>		
Alkaliteit	mmol/l		<33 <sup>1)</sup>	<33 <sup>1)</sup>	<33 <sup>1)</sup>		

De met Q gemerkte analyses zijn geaccrediteerd door de RvA.

Paraaf :





## Analyserapport

IF Technology



Projectnaam MTO Andel  
 Projectnummer PR10639  
 Rapportnummer 14252947 - 1

Orderdatum 04-03-2025  
 Startdatum 04-03-2025  
 Rapportagedatum 11-03-2025

### Voetnoten

1 De rapportagegrens is verhoogd i.v.m. noodzakelijke verdunning.

Paraaf :



# Analyserapport

IF Technology

Projectnaam MTO Andel  
Projectnummer PR10639  
Rapportnummer 14252947 - 1

Orderdatum 04-03-2025  
Startdatum 04-03-2025  
Rapportagedatum 11-03-2025

Analyse	Monstersoort	Relatie tot norm
DOC	Grondwater	NEN-EN 1484
pH	Grondwater	NEN-EN-ISO 10523
arseen	Grondwater	NEN-EN-ISO 17294-2
barium	Grondwater	Idem
Borium	Grondwater	NEN 6966 en NEN-EN-ISO 11885
cadmium	Grondwater	NEN-EN-ISO 17294-2
calcium	Grondwater	Idem
chromium	Grondwater	Idem
kobalt	Grondwater	Idem
kalium	Grondwater	Idem
koper	Grondwater	Idem
lood	Grondwater	Idem
magnesium	Grondwater	Idem
mangaan	Grondwater	Idem
molybdeen	Grondwater	Idem
natrium	Grondwater	Idem
nikkel	Grondwater	Idem
Silicium	Grondwater	Eigen methode
vanadium	Grondwater	NEN-EN-ISO 17294-2
ijzer	Grondwater	Idem
zink	Grondwater	Idem
ammonium	Grondwater	NEN-ISO 15923-1
fosfor (totaal)	Grondwater	eigen methode (ontsluiting eigen methode, meting NEN-EN-ISO 15681-2)
bicarbonaat	Grondwater	Eigen methode
chloride	Grondwater	NEN-EN-ISO 10304-1
nitraat	Grondwater	Idem
nitraat	Grondwater	Idem
sulfaat	Grondwater	Idem
(ortho) fosfaat	Grondwater	NEN-ISO 15923-1
Alkaliteit (als CaCO <sub>3</sub> )	Grondwater	NEN-EN-ISO 9963-1
Alkaliteit	Grondwater	Idem
chloride	Grondwater	NEN-ISO 15923-1

Monster	Barcode	Aanlevering	Monstername	Verpakking
001	B6496690	04-03-2025	04-03-2025	ALC207
001	Q2027555	04-03-2025	04-03-2025	ALC330
001	B6496683	04-03-2025	04-03-2025	ALC207
001	B6496682	04-03-2025	04-03-2025	ALC207
001	B2223458	04-03-2025	04-03-2025	ALC204
001	B6496691	04-03-2025	04-03-2025	ALC207
001	H7614097	04-03-2025	04-03-2025	ALC281
001	H0788721	04-03-2025	04-03-2025	SGS208
001	T0335266	04-03-2025	04-03-2025	ALC244
002	Q2027547	04-03-2025	04-03-2025	ALC330

Paraaf :



# Analyserapport

IF Technology



Projectnaam MTO Andel  
Projectnummer PR10639  
Rapportnummer 14252947 - 1

Orderdatum 04-03-2025  
Startdatum 04-03-2025  
Rapportagedatum 11-03-2025

Monster	Barcode	Aanlevering	Monstername	Verpakking
002	B6496685	04-03-2025	04-03-2025	ALC207
002	B6496686	04-03-2025	04-03-2025	ALC207
002	T0335257	04-03-2025	04-03-2025	ALC244
002	B6496687	04-03-2025	04-03-2025	ALC207
002	H7640883	04-03-2025	04-03-2025	ALC281
002	B2223474	04-03-2025	04-03-2025	ALC204
002	H0788723	04-03-2025	04-03-2025	SGS208
002	B6496684	04-03-2025	04-03-2025	ALC207
003	B6496674	04-03-2025	04-03-2025	ALC207
003	B2223475	04-03-2025	04-03-2025	ALC204
003	H0788719	04-03-2025	04-03-2025	SGS208
003	B6496678	04-03-2025	04-03-2025	ALC207
003	H7640882	04-03-2025	04-03-2025	ALC281
003	B6496679	04-03-2025	04-03-2025	ALC207
003	B6496675	04-03-2025	04-03-2025	ALC207
003	T0335261	04-03-2025	04-03-2025	ALC244
003	Q2027560	04-03-2025	04-03-2025	ALC330
004	B6496715	04-03-2025	04-03-2025	ALC207
005	B6496707	04-03-2025	04-03-2025	ALC207

Paraaf :



IF Technology **Creating energy**



Velperweg 35  
6824 BE Arnhem

T 026 35 35 555  
E [info@iftechnology.nl](mailto:info@iftechnology.nl)  
I [www.iftechnology.nl](http://www.iftechnology.nl)

NL60 RABO 0383 9420 47  
KvK Arnhem 09065422  
BTW nr. NL801045599B01

IF Technology **Creating energy**