

# Werelderfgoedcentrum Waddenzee Lauwersoog

Effectenstudie open bodemenergiesysteem





**Datum** 14 december 2021

**Referentie** 71116/TvH/20211214

**Betreft** Effectenstudie open bodemenergiesysteem Werelderfgoedcentrum Waddenzee Lauwersoog

**Behandeld door** [REDACTED]

**Gecontroleerd door** [REDACTED]

**Versienummer** 1

#### **VERGUNNINGAANVRAGER**

Stichting Werelderfgoedcentrum Waddenzee

[REDACTED]

Hoofdstraat 94A

9968 AG Pieterburen

T [REDACTED]

E info@wec-waddenzee.nl

#### **ADVISEUR BODEMENERGIE**

IF Technology bv

[REDACTED]

Postbus 605

6800 AP Arnhem

T [REDACTED]

E [REDACTED]@iftechnology.nl

Dit document is uitsluitend opgesteld als onderbouwing voor de aanvraag van de vergunning in het kader van de Waterwet. Dit document is geen ontwerpdocument voor het open bodemenergiesysteem als benoemd in het BRL SIKB protocol 11001.

# Samenvatting

## Inleiding

Het voornemen bestaat om gebruik te maken van een open bodemenergiesysteem voor de duurzame koeling en verwarming van het Werelderfgoedcentrum Waddenzee in de buitendijkse haven van Lauwersoog.

## Bodemenergie

De twee bronnen van het open bodemenergiesysteem zijn beoogd in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket in het traject van 70 - 190 m-mv. Het systeem onttrekt en infiltreert maximaal 150.000 m<sup>3</sup>/jaar met een maximaal debiet van 75 m<sup>3</sup>/uur.

## Energiebesparing en emissiereductie

Door het toepassen van een open bodemenergiesysteem kan jaarlijks circa 1.400 GJ (66 %) aan primaire energie worden bespaard. Deze energiebesparing leidt tot een jaarlijkse emissiereductie van 66 ton CO<sub>2</sub> en 89 kg NO<sub>x</sub>. De SPF van het bodemenergiesysteem bedraagt 5,7.

## Hydrologische effecten

Het berekende hydrologische invloedsgebied reikt tot maximaal 160 m van de bronnen. De berekende maximale grondwaterstandsverandering bedraagt < 0,01 m. De berekende maximale stijghoogteverandering in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket bedraagt 2,07 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 75 m van de bronnen. De veroorzaakte temperatuurveranderingen hebben geen nadelige gevolgen voor andere grondwatergebruikers en overige belanghebbenden.

## Grondmechanische effecten

De berekende eindzetting bedraagt 4 mm. Deze geringe zetting en het daarmee gepaard gaande zettingsverhang (1 m per 9.200 m) veroorzaken geen schade aan gebouwen, funderingen, de nabijgelegen waterkering of wegen.

## Effecten op de grondwaterkwaliteit

Het zoet-/brakgrensvlak en het brak-/zoutgrensvlak worden niet beïnvloed zodat geen sprake is van verzilting van het grondwater. Bij dit project vinden geen significante effecten plaats op de chemische en microbiologische samenstelling van het grondwater. De verontreinigingssituatie in de omgeving van de projectlocatie wordt niet beïnvloed.

## INHOUDSOPGAVE

<b>1 Inleiding</b>	<b>5</b>
<b>2 Systeembeschrijving</b>	<b>6</b>
2.1 Uitgangspunten	6
2.2 Opzet open bodemenergiesysteem	7
2.3 Seasonal Performance Factor, energiebesparing en emissiereductie	7
<b>3 Geohydrologie en effectberekeningen</b>	<b>9</b>
3.1 Bodemopbouw	9
3.2 Geohydrologische kenmerken	9
3.3 Hydrologische effecten	10
3.4 Hydrothermische effecten	11
3.5 Grondmechanische effecten	12
<b>4 Invloed op de omgeving</b>	<b>13</b>
4.1 Grondwaterkwaliteit	13
4.2 Verzilting	13
4.3 Verontreinigingen	13
4.4 Grondwatergebruikers	14
4.5 Gesloten bodemenergiesystemen	14
4.6 Grondwaterbescherming	14
4.7 Bebouwing en infrastructuur	14
4.8 Natuur en openbaar groen	15
4.9 Cultuurhistorie en archeologische waarden	15

## Figuren

- 2.1 Principeschema van het open bodemenergiesysteem
- 2.2 Overzichtskaart met bronlocaties
- 3.1 Berekende stijghoogteveranderingen in het opslagpakket
- 3.2 Berekende temperaturen in het opslagpakket

## Bijlagen

- 1 Berekening van de SPF
- 2 Berekening van de eindzetting

# 1 Inleiding

Het voornemen bestaat om gebruik te maken van een open bodemenergiesysteem voor de duurzame klimatisering van het toekomstige Werelderfgoedcentrum Waddenzee (WEC). Het Werelderfgoedcentrum Waddenzee is gelegen in de buitendijkse haven van Lauwersoog.

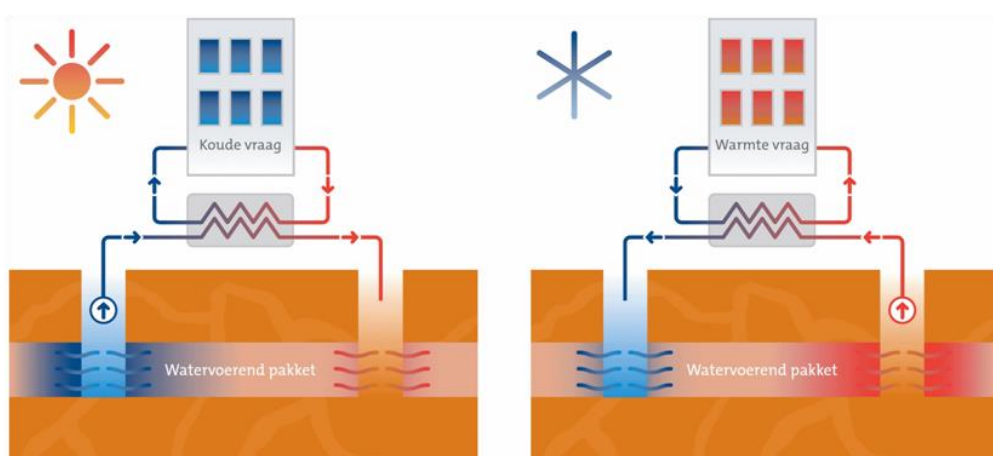
Het onttrekken en infiltreren van grondwater ten behoeve van het open bodemenergiesysteem is in het kader van de Waterwet vergunningplichtig. De provincie is bevoegd gezag. De aanvraag dient voorzien te zijn van een studie naar de effecten van het open bodemenergiesysteem en de invloed hiervan op de omgeving. Deze studie dient te voldoen aan de eisen die zijn opgenomen in de BRL SIKB protocol 11001 (versie 3.0) - Ontwerp, realisatie, beheer en onderhoud ondergronds deel van bodemenergiesystemen (hoofdstuk 4.5).

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

## 2 Systeembeschrijving

### 2.1 UITGANGSPUNTEN

Om lange termijn energieopslag in de bodem mogelijk te maken, wordt een grondwatersysteem aangelegd. Het grondwatersysteem bestaat uit één koude en één warme bron waarmee grondwater aan de bodem kan worden onttrokken en geïnfiltrated (zie Figuur 2.1).



Figuur 2.1 | Principeschema open bodemenergie

De grondwaterzijdige uitgangspunten voor de vergunningaanvraag zijn opgenomen in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 | Uitgangspunten open bodemenergiesysteem t.b.v. de vergunningaanvraag Waterwet

parameter	eenheid	winter	zomer
maximaal te verpompen waterhoeveelheid <sup>a</sup>	[m <sup>3</sup> /seizoen]	75.000	75.000
gemiddeld te verpompen waterhoeveelheid	[m <sup>3</sup> /seizoen]	60.000	60.000
maximaal debiet	[m <sup>3</sup> /uur]	75	75
maximale hoeveelheid ontwikkelwater <sup>b</sup>	[m <sup>3</sup> ]	6.000	
maximale spuihoeveelheid <sup>b</sup>	[m <sup>3</sup> /jaar]	600	
gemiddelde infiltratietemperatuur	[°C]	8	16
minimale/maximale infiltratietemperatuur	[°C]	5	25
gemiddeld verplaatste energiehoeveelheid	[MWh <sub>t</sub> /seizoen]	350	350

<sup>a</sup> Tijdens opstartjaar of extreme seizoenen

<sup>b</sup> Zie toelichting in onderstaande tekst

#### Ontwikkelen bronnen

Nadat een bron geboord is, het filter en de peilbuizen zijn ingebouwd en het boorgat is aangevuld, wordt de bron 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, in dit geval



75 tot 100 m<sup>3</sup>/uur/bron. Met dit maximale debiet wordt slechts gedurende korte tijd (maximaal 15 minuten) gepompt tijdens de laatste fase van het ontwikkelen. Per bron wordt totaal maximaal 3.000 m<sup>3</sup> grondwater onttrokken in een periode van ongeveer twee weken. Voor het ontwikkelen van de twee beoogde bronnen wordt in totaal maximaal 6.000 m<sup>3</sup> grondwater onttrokken en geloosd. De bronnen worden één voor één ontwikkeld waardoor het grondwater gefaseerd wordt onttrokken.

Het grondwater wordt geloosd op het oppervlaktewater of het gemeentelijk riool. Toestemming voor lozing op het oppervlaktewater of het riool wordt in een later stadium van het project aangevraagd bij de gemeente of 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 600 m<sup>3</sup> grondwater gespuid. Op dit moment is nog niet duidelijk of het spuiwater geloosd wordt op het oppervlaktewater of op het riool of dat het spuiwater wordt teruggebracht in de bodem via een onderhoudsfilter. Toestemming voor lozing op het riool of oppervlaktewater wordt in een later stadium van het project aangevraagd bij de gemeente of het waterschap.

## 2.2 OPZET OPEN BODEMENERGIESYSTEEM

Het grondwatersysteem bestaat uit één doublet. De locaties van de bronnen zijn weergegeven in Figuur 2.2. In Tabel 2.2 is de opzet van het bronsysteem beschreven.

Tabel 2.2 | Opzet bronsysteem

parameter	eenheid	waarde
filterdiepte	[m-mv]	70 - 190 (gecombineerd 2 <sup>e</sup> /3 <sup>e</sup> watervoerende pakket)
minimale lengte per bronfilter	[m]	28
afstand tussen koude en warme bron	[m]	90
RD coördinaten warme bron	[m]	X = 208.973 / Y = 602.717
RD coördinaten koude bron	[m]	X = 208.913 / Y = 602.783

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

## 2.3 SEASONAL PERFORMANCE FACTOR, ENERGIEBESPARING EN EMISSIEREDUCTIE

#### Seasonal Performance Factor

Het energierendement van het open bodemenergiesysteem 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, gedeeld door het jaarlijks elektraverbruik van het open bodemenergiesysteem in MWh<sub>e</sub> (Waterregeling art. 6.29 lid 2). Tot het bodemenergiesysteem behoren de bronpompen van de ondergrondse installatie, de warmtepompen, de regeneratievoorziening en de hulpenergie.

De voorlopige SPF van het open bodemenergiesysteem behorende bij deze vergunningaanvraag bedraagt 5,7. De berekening van de SPF is bijgevoegd in bijlage 1. De definitieve SPF berekening volgt als de installateur van de energiecentrale van het open bodemenergiesysteem is gecontracteerd.

#### **Energiebesparing en emissiereductie**

Voor het bepalen van de jaarlijkse primaire energiebesparing en de jaarlijkse emissiereductie is de warmte- en koudelevering met het open bodemenergiesysteem vergeleken met een referentie-installatie bestaande uit gasgestookte ketels voor verwarming en elektrisch aangedreven koelmachines voor koeling.

Vanaf 1 januari 2021 geldt dat alle nieuwbouw moet voldoen aan de eisen voor Bijna Energie Neutrale Gebouwen (BENG). Bij het berekenen van de jaarlijkse primaire energiebesparing en emissiereductie is dan ook gebruik gemaakt van de hierbij behorende kentallen uit de NTA8800.

De berekende besparing in het primair energiegebruik behorende bij deze vergunningaanvraag bedraagt 1.400 GJ per jaar en komt neer op een energiebesparing van 66%. Deze energiebesparing resulteert in een jaarlijkse emissiereductie van 66 ton (59%) koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) en 89 kg (81%) stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>). De berekening van de primaire energiebesparing en de jaarlijkse emissiereductie is bijgevoegd in bijlage 1. Hierin zijn ook de gehanteerde kentallen en rendementen opgenomen.



## 3 Geohydrologie en effectberekeningen

### 3.1 BODEMOPBOUW

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

- Grondwaterkaart van Nederland
- Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem (REGIS)
- Boorbeschrijvingen uit het archief van TNO Bouw en Ondergrond via DINOLoket
- Boorbeschrijving van omliggende open bodemenergiesystemen

Op basis van deze gegevens is de bodemopbouw geschematiseerd (Tabel 3.1).

Tabel 3.1 | Gehanteerde bodemopbouw

diepte [m-mv] <sup>a</sup>	lithologie	geohydrologische benaming	doorlaatvermogen of weerstand <sup>b</sup> [m <sup>2</sup> /d] of [d]
0 - 20	klei, veen, leem en fijn zand	deklaag	100 m <sup>2</sup> /d, 500 d
20 - 30	matig fijn tot uiterst grof zand	1 <sup>e</sup> watervoerend pakket	200 m <sup>2</sup> /d
30 - 43	klei, leem en zeer fijn zand	1 <sup>e</sup> scheidende laag	250 d
43 - 190	matig fijn tot zeer grof zand, op grotere diepte een verhoogde kans op kleilagen en kleibijmenging	gecombineerd 2 <sup>e</sup> /3 <sup>e</sup> watervoerend pakket	3.150 m <sup>2</sup> /d
> 190	klei en uiterst fijn zand	hydrologische basis	∞

<sup>a</sup> maaiveldhoogte: circa 3,7 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, 65 d/m voor leem en 200 d/m voor veen.

### 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-mv]

	bron	laagste	gemiddelde	hoogste
grondwaterstand	peilbuis B02G1824, B02G0447, B02H0106	4,9	4,2	3,8
1 <sup>e</sup> watervoerende pakket	REGIS	4,2	3,7	3,2
gecombineerd 2 <sup>e</sup> /3 <sup>e</sup> watervoerende pakket	REGIS	4,2	3,7	3,2

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]	< 5
grondwaterstroming opslagpakket (richting) <sup>a</sup>	[-]	-
grondwatertemperatuur (opslagpakket) <sup>b</sup>	[°C]	12
zoet-/brakgrensvlak (chloride 150 mg/l) <sup>c</sup>	[m-mv]	< 10 m-mv
brak-/zoutgrensvlak (chloride 1.000 mg/l) <sup>c</sup>	[m-mv]	< 10 m-mv

<sup>a</sup> bron: gebaseerd op het isohypsenpatroon uit REGIS

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

<sup>c</sup> bron: Grondwaterkaart van Nederland

### 3.3 HYDROLOGISCHE EFFECTEN

Om de hydrologische effecten van het beoogde 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.

Tabel 3.4 | Modelopbouw

diepte	toelichting	doorlaatvermogen	weerstand
[m-mv]		[m <sup>2</sup> /d]	[d]
4,2 <sup>a</sup>	gesloten bovenrand	-	∞
4,2 - 15	fictief freatisch watervoerend pakket	100 <sup>b</sup>	-
15 - 20	deklaag	-	500
20 - 30	1 <sup>e</sup> watervoerende pakket	200	-
30 - 43	1 <sup>e</sup> scheidende laag	-	250
43 - 70	gecombineerd 2 <sup>e</sup> /3 <sup>e</sup> watervoerende pakket	550	-
70	fictieve scheidende laag	-	2,65 <sup>c</sup>
70 - 98	gecombineerd 2 <sup>e</sup> /3 <sup>e</sup> watervoerende pakket (filter)	700	-
98	fictieve scheidende laag	-	8,91 <sup>c</sup>
98 - 190	gecombineerd 2 <sup>e</sup> /3 <sup>e</sup> watervoerende pakket	1.900	-
> 190	hydrologische basis	-	∞

<sup>a</sup> de gemiddelde grondwaterstand bedraagt circa 4,2 m-mv (zie Tabel 3.2)

<sup>b</sup> geschat doorlaatvermogen van de deklaag

<sup>c</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 (anisotropiefactor van 4 aangenomen).

#### Oppervlaktewater

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

#### Schematisatie in tijd

Om de stijghoogte- en grondwaterstandveranderingen te berekenen is een berekening uitgevoerd waarbij het open bodemenergiesysteem gedurende een seizoen op maximaal debiet (75 m<sup>3</sup>/uur)

draait. Aangezien het open bodemenergiesysteem in de praktijk slechts gedurende een zekere periode op maximaal debiet draait, zijn de berekende grondwaterstandveranderingen en stijghoogteveranderingen in het eerste watervoerende pakket een overschatting van de werkelijke optredende effecten.

### Hydrologische effecten

In Tabel 3.5 zijn de berekende maximale hydrologische effecten weergegeven.

Tabel 3.5 | Maximale berekende grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen

watervoerende laag	eenheid	zomer- en wintersituatie
freatisch	[m]	< 0,01
1 <sup>e</sup> watervoerende pakket	[m]	0,02
gecombineerd 2 <sup>e</sup> /3 <sup>e</sup> watervoerende pakket (opslagpakket)	[m]	2,07

De berekende maximale verandering van de grondwaterstand en de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket zijn kleiner dan 0,05 m. Derhalve zijn deze veranderingen niet in figuren weergegeven. In Figuur 3.1 zijn de berekende hydrologische effecten in het gecombineerd 2<sup>e</sup>/3<sup>e</sup> watervoerende pakket (opslagpakket) gepresenteerd.

Het hydrologische invloedsgebied is het gebied waarbinnen het effect van het open bodemenergiesysteem op de stijghoogte groter dan 0,05 m is. De berekende grootte van de invloedsgebieden in de verschillende pakketten zijn in Tabel 3.6 vermeld.

Tabel 3.6 | Grootte invloedsgebieden

watervoerende laag	eenheid	zomer- en wintersituatie
freatisch	[m]	-
1 <sup>e</sup> watervoerende pakket	[m]	-
gecombineerd 2 <sup>e</sup> /3 <sup>e</sup> watervoerende pakket (opslagpakket)	[m]	160

## 3.4

### HYDROTHERMISCHE EFFECTEN

De thermische effecten van het open bodemenergiesysteem zijn berekend met het programma HstWin-2D. Met het programma HstWin-2D worden warmte- en stoftransport berekend in een verzadigd tweedimensionaal grondwatersysteem.

De randvoorwaarden in het HstWin-2D-model zijn gebaseerd op de geohydrologische beschrijving in paragraaf 3.1. HstWin-2D simuleert de grondwaterstroming en het warmtetransport in één laag. De dikte van deze laag is gelijk gekozen aan de minimale effectieve filterlengte (28 m). 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-2D

laagnaam	dikte	doorlatendheid	warmtegeleiding-coëfficiënt	volumetrische warmtecapaciteit
	[m]	[m/d]	[W/(mK)]	[MJ/(m³K)]
geleidende toplaag	70	-	2,1	2,8
opslagpakket	28	25	2,4	2,8
geleidende onderlaag	-	-	2,1	2,8

In Tabel 3.8 is het aangehouden onttrekking-/infiltratiepatroon weergegeven.

Tabel 3.8 | Onttrekking-/infiltratiepatroon (maximale waterverplaatsing)

seizoen	bedrijfsttoestand	onttrekken uit	infiltreren in	waterhoeveelheid	infiltratietemperatuur
				[m³/seizoen]	[°C]
winter	warmtelevering	W	K	75.000	8
zomer	koudelevering	K	W	75.000	16

De berekende thermische effecten na 20 jaar energieopslag zijn weergegeven in Figuur 3.2. Het hydrothermische invloedsgebied is het gebied ter hoogte van de gemodelleerde bronfilters waarbinnen de berekende temperatuur na 20 jaar minimaal 0,5°C afwijkt van de natuurlijke grondwartertemperatuur (12°C). Het hydrothermische invloedsgebied van het bodemenergiesysteem reikt na 20 jaar tot maximaal 75 m van de bronnen.

### 3.5 GRONDMECHANISCHE EFFECTEN

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

De potentiële zetting is berekend met de formule van Koppejan. Hiervoor is de bodem geschematiseerd conform de opbouw in Tabel 3.4. De zettingconstanten zijn ontleend aan NEN-blad 6740 - bladzijde 20. Via deze methode is een maximale eindzetting van 4 mm berekend (zie Bijlage 2). Het berekende maximale zettingsverhang bedraagt in de directe nabijheid van de bronnen (binnen 10 m rondom de bronnen) maximaal 1 m per 9.200 m. Aan de rand van het berekende hydrologische invloedsgebied bedraagt de berekende eindzetting 1 mm.

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

De bronnen van het open bodemenergiesysteem liggen in de beschermingszone van een primaire waterkering. De maximale eindzetting ter plaatse van de waterkering bedraagt 3 mm. Het zettingsverhang bedraagt 1 m per 33.000 m.

## 4 Invloed op de omgeving

### 4.1 GRONDWATERKWALITEIT

#### **Invloed van de temperatuur**

Een verandering van de temperatuur van het grondwater kan de reactiesnelheid en daarmee het chemisch evenwicht van reacties veranderen. In het kader van het onderzoek Meer met Bodem-energie (zie Soilpedia.nl) naar warmteopslag in de bodem is veel onderzoek gedaan naar het gedrag van water en sediment bij verwarming. Uit deze onderzoeken is gebleken dat de invloed van de temperatuurverandering die optreedt bij bodemenergie (in het algemeen minder dan 10 °C) op de watersamenstelling vaak verwaarloosbaar klein is.

#### **Invloed van menging**

Bij menging van grondwater met een verschillende samenstelling wordt de grondwaterkwaliteit beïnvloed. Een belangrijke conclusie van MMB en het onderzoek door VU/KWR is dat menging bij lage temperatuursystemen het meest bepalende proces is voor de grondwaterkwaliteit. De temperatuureffecten zijn bij temperaturen onder de 25 °C ondergeschikt en worden pas bij hogere temperaturen belangrijker.

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.

Het grondwater dat bij dit beoogde project gemengd wordt, is volledig kalkverzadigd, zout en gereduceerd (ijzerhoudend, zuurstof- en nitraatloos). Nadelige effecten zijn dan ook niet te verwachten.

### 4.2 VERZILTING

Gezien de weerstand en de afstand tussen de bronfilters en het zoet-/brak- en het brak-/zout-grensvlak worden deze niet beïnvloed door het open bodemenergiesysteem.

### 4.3 VERONTREINIGINGEN

Bij de gemeente Het Hogeland is op 6 april 2021 een overzicht opgevraagd van de bodem- en grondwaterverontreinigingen in de onmiddellijke omgeving van de locatie. In de grond en het grondwater zijn enkele lichte verontreinigingen aangetroffen. De verontreinigingen zijn niet dieper waargenomen dan 4 m-mv en bevinden zich naar verwachting alleen in de deklaag.

#### *Invloed bodemenergie*

Gezien de zeer geringe effecten op de grondwaterstand en de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket wordt geen van de genoemde verontreinigingen aangetrokken of verplaatst.

Omdat het grondwater in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket zout is en het grondwater in de omgeving niet gebruikt wordt voor doeleinden waarvoor een hoge kwaliteit

grondwater nodig is (berekening of drinkwatervoorziening), wordt de kwaliteit van het grondwater bij de ingebruikname van het open bodemenergiesysteem alleen geanalyseerd op het chloridegehalte, de pH en het elektrisch geleidingsvermogen.

#### 4.4 GRONDWATERGEBRUIKERS

Binnen het berekende hydrologische en thermische invloedsgebied (zie paragraaf 3.3 en 3.4) bevinden zich geen overige grondwatergebruikers. Van beïnvloeding van overige grondwatergebruikers is daarom geen sprake.

#### 4.5 GESLOTEN BODEMENERGIESYSTEMEN

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

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

#### 4.7 BEBOUWING EN INFRASTRUCTUUR

De berekende grondwaterstandveranderingen zijn zeer gering ( $< 0,01$  m). Van grondwateroverlast en langdurige grondwaterstandverlaging is dan ook geen sprake. 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 bodemenergie

De berekende maximale eindzetting van 4 mm (zie paragraaf 3.5) en de daarmee gepaard gaande verschilzetting van 1 m per 9.200 m veroorzaken geen schade aan gebouwen, funderingen, wegen of constructies.

##### Primaire waterkering

De bronnen van het bodemenergiesysteem zijn beoogd in de beschermingszone van een primaire waterkering. Tijdens de realisatie van de bronnen is het van belang dat het boorgat stabiel blijft.



Hiervoor dient te allen tijde voldoende werkwater beschikbaar te zijn en moet gebruik gemaakt worden van de juiste boorspoeling. Om hier zicht op te houden, moet de bron in één werkgang geboord en ingebouwd worden. Bij het onjuist uitvoeren van de boorwerkzaamheden bestaat het risico dat het boorgat inklappt, wat kan leiden tot verzakkingen nabij de waterkering.

Tijdens de exploitatie van het open bodemenergiesysteem treden stijghoogteveranderingen op die zetting kunnen veroorzaken. De berekende maximale eindzetting ter hoogte van de primaire waterkering van 3 mm (zie hoofdstuk 3.5) en de daarmee gepaard gaande verschilzetting van 1 m per 33.000 m veroorzaken geen schade aan de waterkering. De waterkerende functie van de dijk komt niet in gevaar.

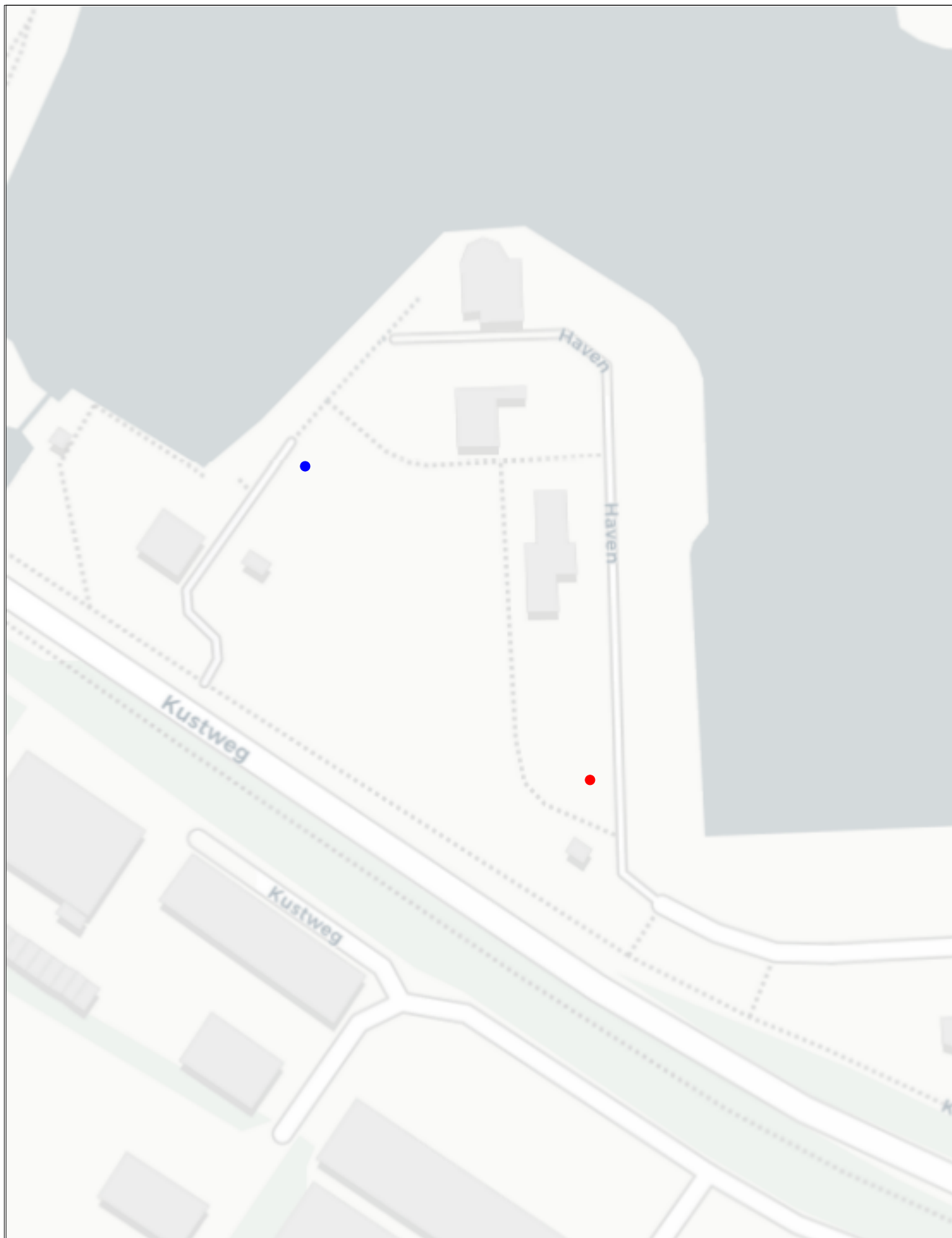
#### **4.8 NATUUR EN OPENBAAR GROEN**

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

#### **4.9 CULTUURHISTORIE EN ARCHEOLOGISCHE WAARDEN**

WEC Lauwersoog ligt in een gebied van lage archeologische waarde. Bij de aanleg van het open bodemenergiesysteem worden dus geen archeologische waarden geschaad. De invloed op de grondwaterstand (paragraaf 3.3) is zo gering ( $< 0,01$  m) dat het open bodemenergiesysteem tijdens de exploitatie geen invloed heeft op eventueel aanwezige cultuurhistorie en archeologische waarden in de omgeving. Het open bodemenergiesysteem ligt niet in een aardkundig waardevol gebied.

# Figuren



0 m 20 m 40 m 60 m

Project: Bodemenergie Werelderfgoedcentrum Waddenzee  
Lauwersoog

Datum: A: 20-9-2021  
B:

Onderwerp: Overzichtskaart met bronlocaties

Figuur: 2.2

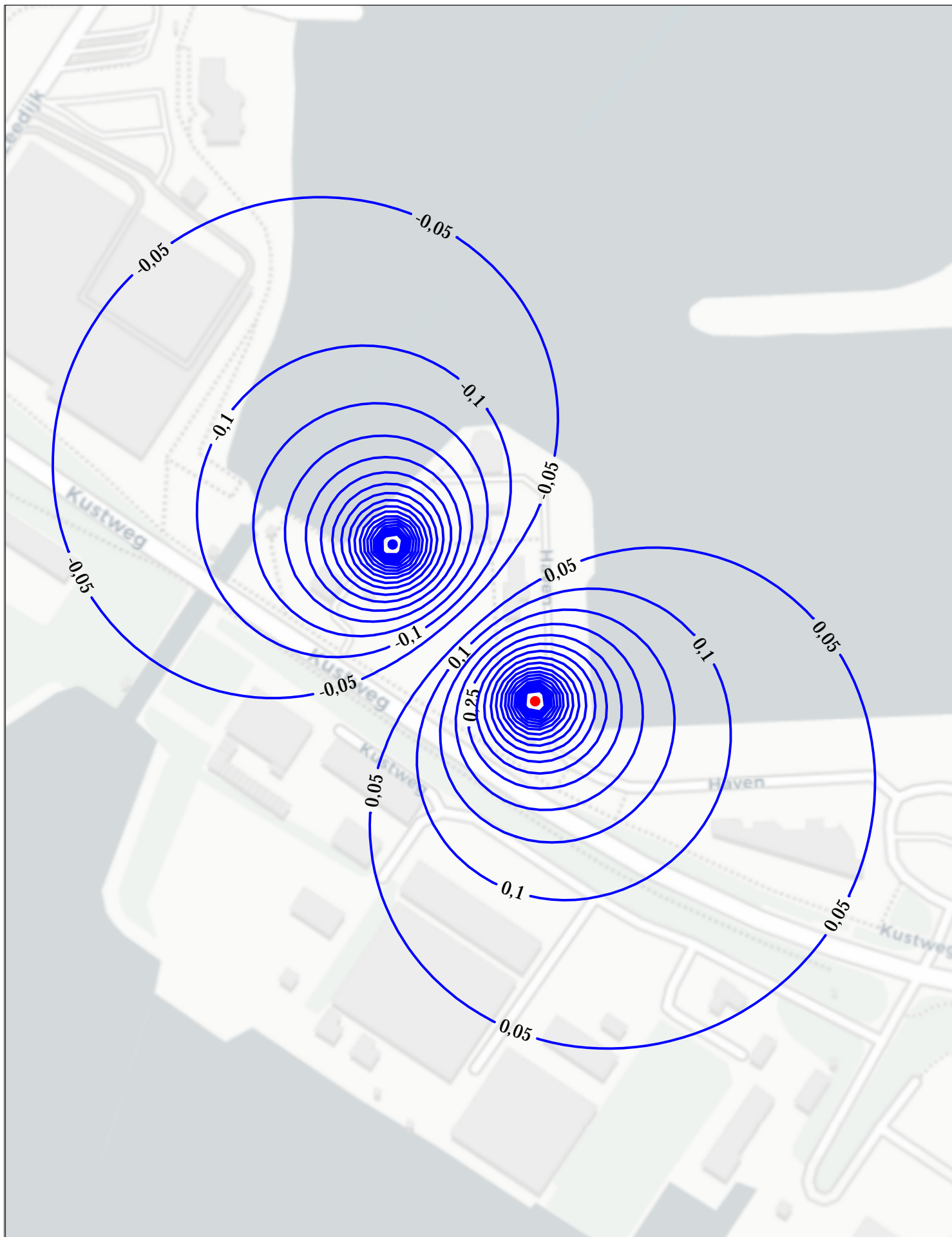
Stadium: effectenstudie

Referentie: 71116/

Getek.:

Form.: A4





0 m 50 m 100 m

Project: Bodemenergie Werelderfgoedcentrum Waddenzee  
Lauwersoog

Datum: A: 7-10-2021  
B:

Onderwerp: Berekende maximale stijghoogteverandering  
in het opslagpakket [m]

Figuur: 3.1

Stadium: effectenstudie

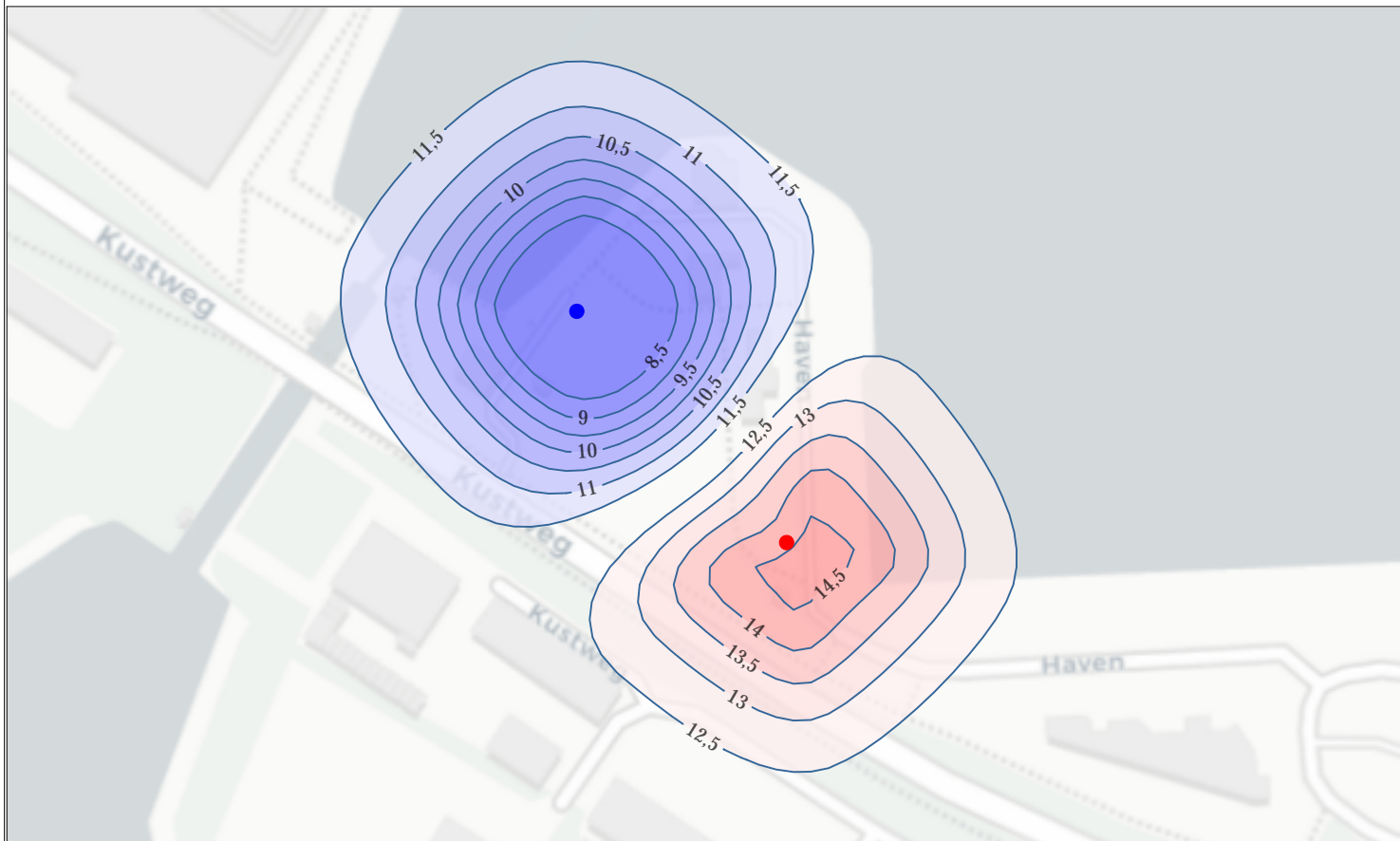
Referentie: 71116/

Getek.:

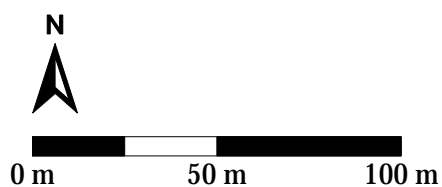
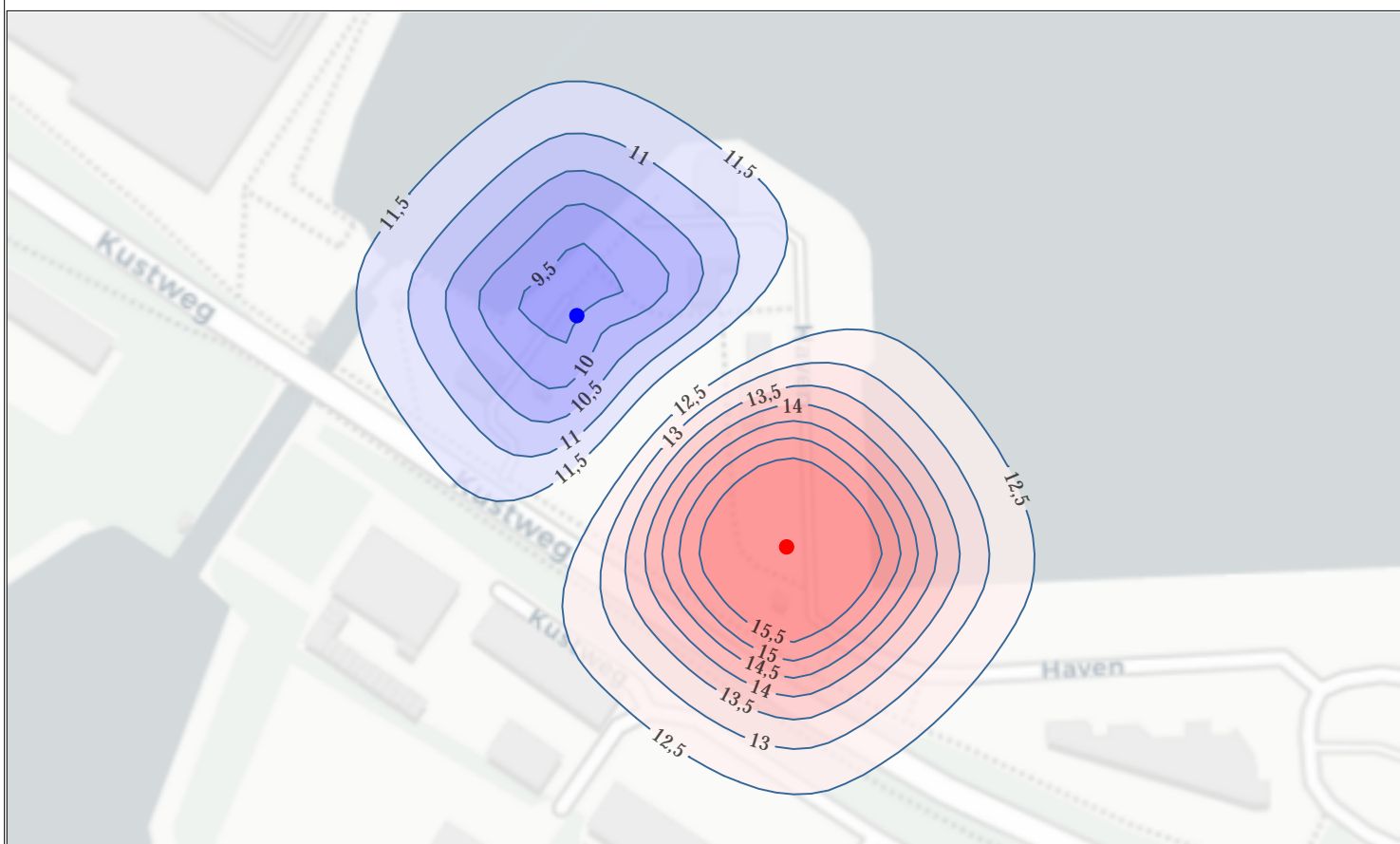
Form.: A4



situatie einde winter



situatie einde zomer



Project: Bodemenergie Werelderfgoedcentrum Waddenzee  
Lauwersoog

Datum: A: 5-10-2021  
B:

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

Figuur: 3.2

Stadium: effectenstudie

Referentie: 71116/

Getek.:

Form.: A4



# Bijlage 1

BEREKENING VAN DE SPF



**Project** Werelderfgoedcentrum Waddenzee te Lauwersoog  
**Onderwerp** Voorlopige SPF berekening t.b.v. aanvraag Vergunning Waterwet  
**Projectnummer** 71116/TH  
**Datum** 13 oktober 2021  
**Auteur** [REDACTED]

**Energiehoeveelheden van en naar bodem**

- Qgem. koude leveren / warmte laden: 350 MWht (zomer)  
- Qgem. warmte leveren / koude laden: 350 MWht (winter)

- Qgem. regeneratie: 0 MWht

**Systeemconcept**

- Aandeel directe koudelevering in zomer: 100%

**Kentallen componenten met WKO**

- SPF warmtepomp (warmtelevering): 5,0  
- SPF warmtepomp als koelmachine (koudefactor): 3,5  
- SPF bronnen WKO: 30  
- SPF regeneratie: 20  
- SPF hulpenergie (circulatiepompen, etc.): 30

**Kentallen referentie**

- Rendement HR ketel (op bovenwaarde): 90%  
- SPF koelmachine (koudefactor): 5,0

**Resultaten berekeningen met WKO**

- Aandeel directe koudelevering: 350 MWht  
- Aandeel koudelevering met warmtepomp (als KM): 0 MWht  
- Aandeel condensorwarmte warmtepomp (als KM): 0 MWht  
  
- Nuttig geleverde warmte: 438 MWht  
- Nuttig geleverde koude: 350 MWht +  
- Totaal nuttig geleverde warmte en koude: 788 MWht  
  
- Totaal elektraverbruik: 137 MWhe

**Seasonal Performance Factor (SPF)**

- Berekende SPF: 5,7

**Resultaten berekeningen referentie**

- Totaal aardgasverbruik: 49.758 m<sup>3</sup>  
- Totaal elektraverbruik: 70 MWhe

**Energiebesparing en emissiereductie**

- Primaire energiebesparing: 1.400 GJ primaire energie  
66 %  
- CO<sub>2</sub>-emissiereductie: 66 ton per jaar  
59 %  
- NO<sub>x</sub>-emissiereductie: 89 kg per jaar  
81 %

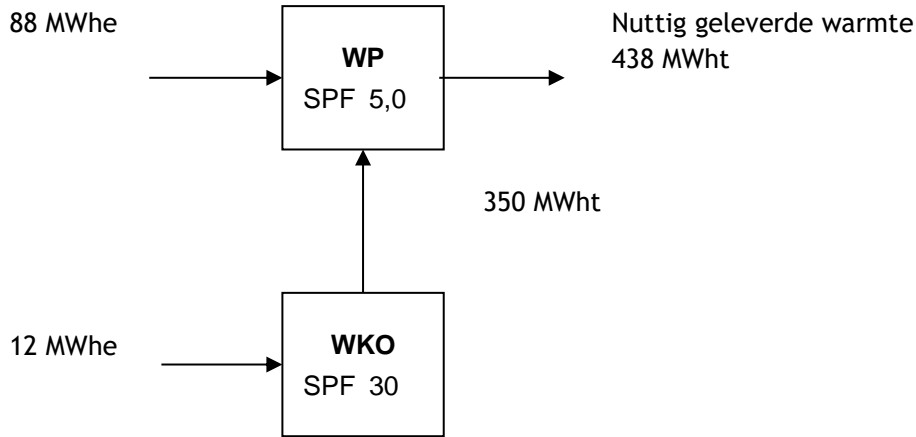
**Toegepaste kengetallen voor emissieberekening:**

Bron, methode (\*zie opmerking hieronder): NTA8800  
Verbrandingswaarde aardgas (b.w.): 35,17 MJ/m<sup>3</sup>  
Rendement elektriciteitsopwekking: 69%  
CO<sub>2</sub> emissiefactor aardgas: 1,79 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>  
CO<sub>2</sub> emissiefactor elektriciteit: 0,340 kg CO<sub>2</sub>/kWh<sub>e</sub>

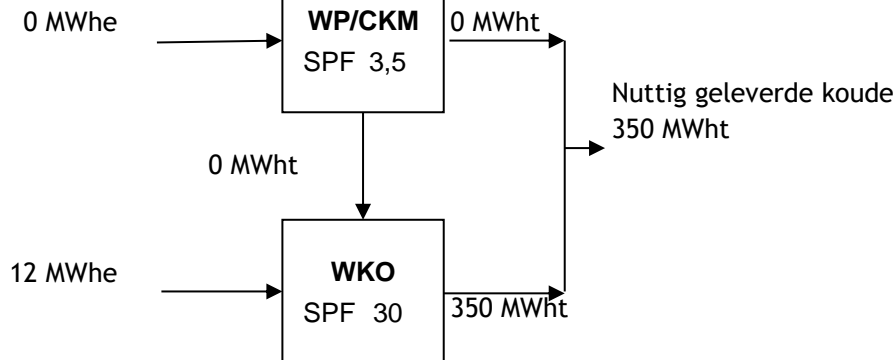
\* Op 1 januari 2021 zijn voor nieuwbouw de BENG (Bijna Energie Neutrale Gebouwen) eisen van kracht.  
Dit houdt in dat met ingang van 1 januari 2021 de kentallen uit de NTA8800 worden gehanteerd voor het berekenen van het primair energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie.

**Variant: WKO met warmtepomp**

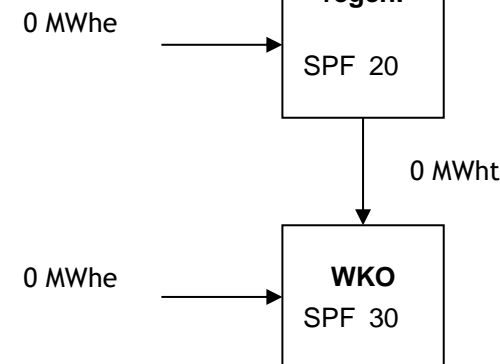
Winter



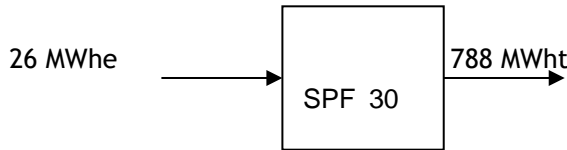
Zomer



Regeneratie

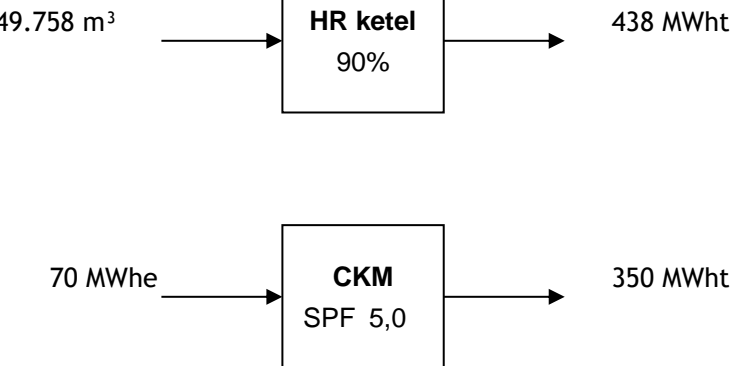


Hulpenergie



Elektraverbruik: 137 MWhe  
Totaal nuttige warmte en koude: 788 MWht

**Referentie**




# Bijlage 2

## BEREKENING VAN DE EINDZETTING

# Zettingsberekening

Versie 29 september 2004

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

	Projectnaam:	WEC Lauwersoog
	Projectnummer:	71116
	Datum berekening:	7-okt-21
	Bijlage:	2
	Rapport:	Effectenstudie
	Specialist:	DH
	Opmerking(en):	Berekende eindzetting in de bron

Gebruikte formule van Terzaghi:

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

GLG: 4,6 m-mv

Materiaal	[m-mv] diepte	[m] Dikte	$\Delta H$	[-] $C_p$	[-] $C_s$	[-] $C_{onein}$	[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		4,2	0	-	-	-	1700	-		0,0
	4,2									
Zand		10,8	0,004	450	1,00E+99	450	2000	126941,4	39,24	0,0
	15									
Klei		5		15	60	7,5	1600	194630,4	93,195	0,3
	20									
Zand		10	0,015	450	1,00E+99	450	2000	258395,4	147,15	0,0
	30									
Klei		13		20	240	15	1800	358457,4	1079,1	2,6
	43									
Zand		27	0,205	600	1,00E+99	600	2000	541904,4	2011,1	0,2
	70									
Zand		28	2,07	600	1,00E+99	600	2000	811679,4	20307	1,2
	98									
Zand		92	0,042	600	1,00E+99	600	2000	1400279,4	412,02	0,0
	190									

## Verklaring van de parameters:

symbolen	verklaring	eenheid
D	= Dikte	[m]
$\Delta H$	= Stijghoogteverandering	[m]
$C_p$	= Primaire zettingsconstante	[-]
$C_s$	= Seculaire zettingsconstante	[-]
$C_{onein}$	= 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] 4

IF Technology **Creating energy**



Velperweg 37  
6824 BE Arnhem  
Postbus 605  
6800 AP 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**