Behoort bij besluit van
het Dag. Bestuur d.d.

15 JULI 2013

Gemeente Amsterdam
Stadsdeel Zuid

Energieopslag NLR te Amsterdam

Effectenstudie grondwatersysteem

Vergunningaanvrager

Nationaal Lucht en Ruimtevaartcentrum
Anthony Fokkerweg 2
1059 CM AMSTERDAM
T 088 - 51 13 113
F 088 - 51 13 210
E www.nlr.nl
Contactpersoon:

Opsteller vergunningaanvraag

IF Technology
Velperweg 37
Postbus 605
6800 AP ARNHEM
T
F
E
Contactpersonen:

15 APR 2013

802451--2013

25.772/61237/HeM
27 december 2011

Samenvatting

Inleiding
Het voornemen bestaat om energieopslag in de bodem toe te passen voor de duurzame klimatisering van de renovatie van het Nationaal Lucht en Ruimtevaartcentrum (NLR) aan de Anthony Fokkerweg te Amsterdam.

Energieopslagsysteem
De bronnen van het energieopslagsysteem zijn beoogd in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket. Het systeem onttrekt en infiltreert maximaal 460.000 m³/jaar met een maximaal debiet van 150 m³/uur.

Energiebesparing en emissiereductie
Door het toepassen van energieopslag kan jaarlijks circa 133.000 m³ aardgasequivalenten worden bespaard. Deze energiebesparing leidt tot een jaarlijkse emissiereductie van 230 ton CO_2 en 300 kg NO_x.

Hydrologische effecten
Het berekende hydrologische invloedsgebied reikt tot 350 m van de bronnen. De maximale grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen bedragen respectievelijk 3,5 m en <0,01 m. Negatieve hydrologische invloed op de grondwatergebruikers en overige belanghebbenden is niet aan de orde.

Hydrothermische effecten
Het berekende hydrothermische invloedsgebied reikt tot 150 m van de bronnen. Negatieve thermische invloed op de overige grondwatergebruikers treedt niet op.

Grondmechanische effecten
De maximaal berekende zetting bedraagt 3 mm. Deze geringe zetting en het daarmee gepaard gaande zettingsverhang veroorzaken geen schade aan gebouwen, funderingen, of wegen.

Effecten op de grondwaterkwaliteit
Het zoet-/brakgrensvlak wordt niet negatief beïnvloed. Gezien de geringe temperatuurverschillen bij dit project worden hiervan geen significante effecten verwacht op de chemische en microbiologische samenstelling van het grondwater. De verontreinigingssituatie in de omgeving van de projectlocatie wordt niet negatief beïnvloed.

Inhoudsopgave

Samenvatting 3

1 Inleiding 7

2 Systeembeschrijving 9
2.1 Uitgangspunten 9
2.2 Grondwatercircuit 10
2.3 Energiebesparing en emissiereductie 11

3 Geohydrologie 13
3.1 Bodemopbouw 13
3.2 Grondwaterstand / grondwaterstroming 13
3.3 Grondwaterkwaliteit en -temperatuur 14
3.4 Grondwatergebruikers 14
3.5 Andere belanghebbenden 14
3.6 Bodem- en grondwaterverontreinigingen 15

4 Hydrologische effecten 17
4.1 Uitgangspunten voor de berekeningen 17
4.1.1 Beschrijving computerprogramma 17
4.1.2 Schematisatie 17
4.2 Stijghoogteveranderingen 18
4.3 Invloed op grondwatergebruikers 19

5 Hydrothermische effecten 21
5.1 Uitgangspunten voor de berekeningen 21
5.2 Temperatuurveranderingen 22
5.3 Invloed op overige grondwatergebruikers 22

6 Grondmechanische effecten 23
6.1 Uitgangspunten voor de berekeningen 23
6.2 Zettingen 24

7 Effecten op de grondwaterkwaliteit 25
7.1 Invloed van de temperatuur 25
7.2 Invloed op het zoet-/brakgrensvlak 26
7.3 Invloed op bodem- en grondwaterverontreinigingen 26

Literatuur 27

Figuren:

1.1 Projectlocatie

2.1 Principeschema van het energieopslagsysteem
2.2 Locatie van de bronnen

4.1 Berekende stijghoogteveranderingen in het opslagpakket
4.2 Berekende stijghoogteveranderingen in het opslagpakket in cumulatieve situatie

5.1 Berekenende temperaturen in het opslagpakket na 20 jaar
5.2 Berekenende temperaturen in het opslagpakket na 20 jaar in cumulatieve situatie

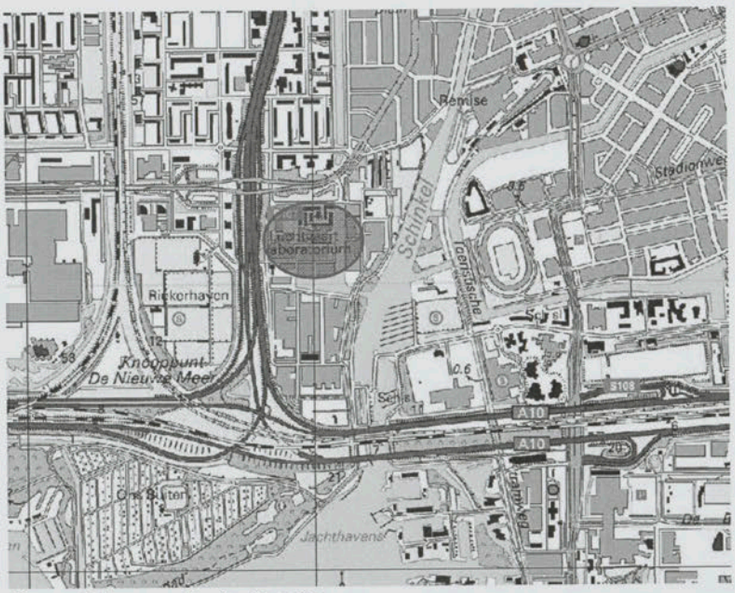
Bijlagen:

1 Kadastrale kaart met bronlocaties
2 Berekening van de zetting

if

1 Inleiding

Het voornemen bestaat om energieopslag in de bodem toe te passen voor de duurzame klimatisering van het Nederlands Lucht en Ruimtevaartlaboratorium te Amsterdam (NLR). NLR is gelegen aan de Anthony Fokkerweg en heeft de globale coördinaten x=118.000 en y=484.200. De projectlocatie is weergegeven in figuur 1.1.



Figuur 1.1 Projectlocatie

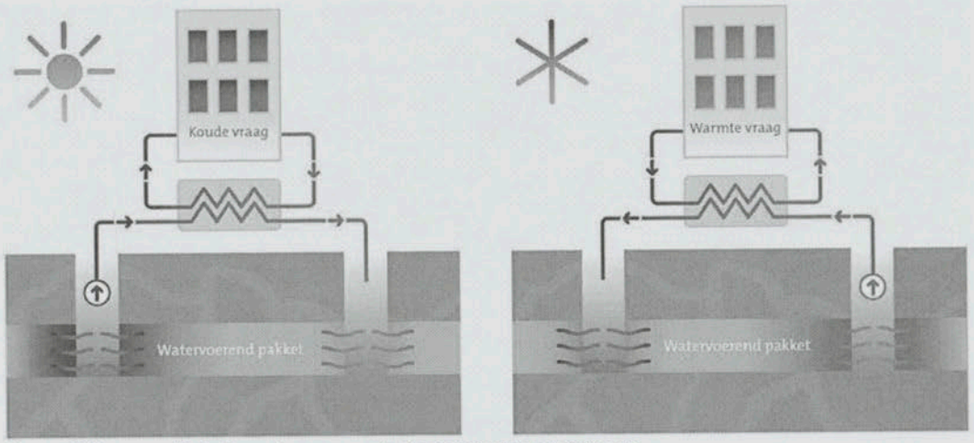
Het onttrekken en infiltreren van grondwater ten behoeve van de energieopslag is in het kader van de Waterwet vergunningplichtig. De vergunning dient bij de provincie te worden aangevraagd. De aanvraag dient voorzien te zijn van een studie naar de effecten van het energieopslagsysteem op de omgeving.

De voorliggende effectenstudie geeft een overzicht van de effecten van de energieopslag op de bodem en het grondwater en omgevingsbelangen. De kenmerken en dimensionering van de energieopslag zijn beschreven in hoofdstuk 2. Teneinde inschattingen en berekeningen te kunnen maken van de effecten van de energieopslag zijn in hoofdstuk 3 de geohydrologie van de locatie en de omgevingsbelangen beschreven. De berekende hydrologische en hydrothermische effecten zijn beschreven in respectievelijk hoofdstuk 4 en 5. De grondmechanische effecten en de effecten op de grondwaterkwaliteit komen in respectievelijk hoofdstuk 6 en 7 aan de orde.

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 waar grondwater aan kan worden onttrokken en in geïnfiltreerd. Tussen de warme en de koude bron wordt een transportleiding aangelegd, waardoor grondwater van de warme naar de koude bron kan worden gepompt en omgekeerd. De transportleiding wordt door de technische ruimte geleid, waar de warmte of koude via warmtewisselaars wordt overgedragen van het grondwatersysteem aan het secundaire systeem. De werking van de energieopslag is schematisch weergegeven in figuur 2.1 en kan worden beschreven aan de hand van onderstaande bedrijfssituaties.



Figuur 2.1 Principeschema van het energieopslagsysteem

Verwarming
Ten behoeve van de warmtelevering wordt grondwater uit de warme bron opgepompt. Het opgepompte grondwater staat zijn warmte via warmtewisselaars af aan het water in het secundaire circuit, waar het wordt gebruikt voor verwarming. Door de afgifte van warmte koelt het grondwater af. Het afgekoelde grondwater wordt vervolgens via de koude bron in de bodem geretourneerd en opgeslagen voor de zomerperiode.

Koeling
Als er behoefte is aan koeling, wordt grondwater opgepompt uit de koude bron. Het opgepompte grondwater staat zijn koude via warmtewisselaars af aan het water in het secundaire circuit, waar het wordt ingezet voor koeling. Het opgewarmde grondwater wordt vervolgens via de warme bron in de bodem geretourneerd en opgeslagen voor het winterseizoen.

Verplaatste grondwaterhoeveelheden
De maximale hoeveelheid grondwater die per jaar wordt verpompt bedraagt 460.000 m³; in de zomer en de winter 230.000 m³. Gemiddeld wordt per jaar 300.000 m³ grondwater verplaatst; in de zomer en de winter 150.000 m³. De maximale hoeveelheden kunnen voorkomen in de eerste paar jaar van de energieopslag. De bodem rond de bronnen is dan nog niet voldoende afgekoeld c.q. opgewarmd, zodat meer grondwater moet worden verplaatst om een bepaalde hoeveelheid koeling of verwarming te leveren Ook tijdens extreme klimatologische omstandigheden (zoals strenge winters en hete zomers) kan door een tijdelijk grotere energievraag meer grondwater worden verplaatst dan gemiddeld.

Spuien
In verband met preventief onderhoud van de bronnen worden deze een aantal keer per jaar gespuid. Bij deze actie wordt uit de bron enige tijd grondwater onttrokken met het maximale debiet. Per jaar zal niet meer dan 3.000 m³ grondwater worden gespuid. Indien het bevoegd gezag (Waternet) toestemming geeft om te lozen op oppervlaktewater, zal het gespuide water geloosd worden op het oppervlaktewater. Wanneer dit niet mogelijk is, wordt het gespuide water in de bodem teruggebracht.

De belangrijkste uitgangspunten voor de vergunningaanvraag van het energieopslagsysteem zijn in tabel 2.1 samengevat.

Tabel 2.1 Uitgangspunten voor de energieopslag

parameter	eenheid	winter	zomer
maximale waterhoeveelheid	[m³/jaar]	230.000	230.000
gemiddelde waterhoeveelheid	[m³/jaar]	150.000	150.000
maximaal debiet	[m³/uur]	150	150
gemiddelde infiltratietemperatuur	[°C]	7	15
minimale/maximale infiltratietemperatuur	[°C]	5	25
gemiddelde energiehoeveelheid	[MWh$_t$/jaar]	880	880

2.2 Grondwatercircuit

Het grondwatersysteem bestaat uit twee bronnen (één doublet). De locaties van de bronnen zijn weergegeven in figuur 2.2. In bijlage 1 zijn de bronlocaties ingetekend op de kadastrale kaart.

De afstand tussen de koude en warme bron bedraagt circa 135 m. De definitieve filterstelling is afhankelijk van de bodemopbouw ter plaatse van de bronnen.

De filters zullen worden geplaatst in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket, in het traject van 65 tot180 m-mv. De effectieve filterlengte is afhankelijk van het aantal slecht doorlatende lagen in het filtertraject.
In de praktijk kan de werkelijk geplaatste filterlengte hiervan afwijken. Voor het bepalen van de effecten is in deze studie uitgegaan van een filterlengte van 35 m.

Voor de berekeningen in deze effectenstudie is een globale inschatting gemaakt van de boorgatdiameter van de bronnen. Tijdens het ontwerp van het grondwatersysteem zal de boorgatdiameter nauwkeuriger bepaald worden. Een eventuele wijziging van de boorgatdiameter heeft geen invloed op de grootte van de effecten van de energieopslag op de omgeving.

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

2.3 Energiebesparing en emissiereductie

Voor het bepalen van de maximale energiebesparing en de maximale emissiereductie wordt de warmte- en koudelevering met energieopslag en warmtepompen vergeleken met een conventionele installatie voor koeling en verwarming, bestaande uit koelmachines (airconditioning) voor de koeling en een HR-ketel voor de verwarming.

Het verbruik van elektriciteit is omgerekend naar de hoeveelheid aardgas die nodig is voor de elektriciteitsopwekking. Hierdoor kan het totale primaire aardgasverbruik worden bepaald.

Indien jaarlijks 880 MWh_t aan warmte en 880 MWh_t aan koude wordt onttrokken aan de bodem en geleverd aan het gebouw, bedraagt de besparing in het primair aardgasverbruik 133.000 m^3 aardgasequivalenten per jaar. Dit komt neer op een energiebesparing van 59%. Deze energiebesparing resulteert in een jaarlijkse emissiereductie van 230 ton (55%) koolstofdioxide (CO_2) en 300 kg (86%) stikstofoxiden (NO_x).

3 Geohydrologie

3.1 Bodemopbouw

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

a. Grondwaterkaart van Nederland;
b. Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem (REGIS);
c. boorbeschrijvingen uit het archief van TNO Bouw en Ondergrond via DINOLoket;
   B25D0573 (X=119.010; Y=483.880)
   B25D0148 (X=117.147; Y=484.360)
   B25D0137 (X=116.981; Y=484.429)
   B25D0549 (X=118.870; Y=483.070)

Op basis van deze gegevens is de bodemopbouw geschematiseerd in een aantal watervoerende pakketten en scheidende lagen (tabel 3.1).

Tabel 3.1 Geohydrologische schematisatie

diepte [m-mv]*	lithologie	geohydrologische benaming	doorlaatvermogen [m²/d] of weerstand [d]
0-11	zand, veen en klei	deklaag	600 d
11-62	grof zand	1e watervoerende pakket	1.300 m²/d
62-64	klei	scheidende laag	200 d
64-180	grof zand	2e/3e watervoerende pakket	3.000 m²/d
> 180	klei en fijn zand	hydrologische basis	∞

* Het maaiveld bevindt zich op circa 0,5 m+NAP.

Met behulp van de formule van Shepherd [Lit. 1] is een gemiddelde doorlatendheid van het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket bepaald. Op basis van de boorbeschrijvingen is de weerstand van de deklaag en de eerste en gecombineerde tweede en derde scheidende laag ingeschat. Voor de weerstand is uitgegaan van gemiddeld 100 d/m voor klei en 200 d/m voor veen.

3.2 Grondwaterstand / grondwaterstroming

Grondwaterstand

De grondwaterstand op de locatie is gemiddeld 1,5 m-mv en varieert tussen 0,9 en 2,0 m-mv. Over het algemeen is de grondwaterstand aan het einde van de zomer laag en aan het einde van de winter hoog.

Horizontale stroming
De stijghoogte in het opslagpakket varieert tussen 2,9 en 3,6 m-NAP en bedraagt gemiddeld 3 m-NAP. De snelheid van de regionale horizontale grondwaterstroming in gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket bedraagt minder dan 5 m/jaar. Uit het isohypsenbeeld van REGIS volgt dat het grondwater in zuidwestelijke richting stroomt (figuur 3.1)

Oppervlaktewater
De projectlocatie ligt in stedelijk gebied. De stroming in het freatische pakket is in de richting van het dichtstbijzijnde oppervlaktewater (Nieuwe Meer).

3.3 Grondwaterkwaliteit en -temperatuur

Volgens de Grondwaterkaart is het grondwater in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket zout. Het zoet-/brakgrensvlak (chloridegehalte van 150 mg/l) bevindt zich op circa 25 m-mv.

De temperatuur van het grondwater in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket bedraagt circa 12°C [Lit. 2].

3.4 Grondwatergebruikers

Bij de provincie Noord-Holland is een overzicht opgevraagd van grondwatergebruikers. Op basis van dit overzicht zijn de energieopslagsystemen in de omgeving van de projectlocatie in kaart gebracht. Tabel 3.3 geeft een overzicht van de energieopslagsystemen binnen 500 m van de projectlocatie.

Tabel 3.3 Grondwatergebruikers binnen 500 m rond de projectlocatie

bedrijfsnaam	afstand en richting t.o.v. projectlocatie	debiet [m³/uur]	waterhoeveelheid [m³/jaar]
PDR Vastgoed (1)*	180 m ten zuidoosten	50	150.000
PDR Vastgoed (2)*	230 m ten zuidoosten	60	150.000
Maarsschinkel Vastgoed	270 m ten oosten	12	165.000
K.E.M. BV	400 m ten noorden	onbekend	280.000

* De systemen van PDR vastgoed (monobronnen) zijn gevestigd op de Generaal Vetterstraat op respectievelijk nummers 78-80 (1) en nummer 82 (2)

3.5 Andere belanghebbenden

Op circa 900 m ten zuiden van de projectlocatie liggen het Nieuwe Meer en het Amsterdamse bos. Deze gebieden behoren tot de Ecologische Hoofdstructuur. De projectlocatie is niet gelegen nabij een Habitatrichtlijn- of Vogelrichtlijn- of Natuurbeschermingswetgebied. Ook zijn geen archeologisch waardevolle gebieden aanwezig.

3.6 Bodem- en grondwaterverontreinigingen

Bij de gemeente Amsterdam zijn geen bodem- en grondwaterverontreinigngen op de projectlocatie bekend. Derhalve zal tijdens de realisatie niet door een verontreiniging geboord worden.

4 Hydrologische effecten

4.1 Uitgangspunten voor de berekeningen

4.1.1 Beschrijving computerprogramma

Om de hydrologische effecten van de energieopslag te berekenen, is gebruik gemaakt van het hydrologische softwarepakket MLU for Windows (Multi Layer Unsteady state). Het MLU programma berekent op basis van een analytische oplossingsmethode de effecten van putstroming in afgesloten, gedeeltelijk afgesloten en freatische watervoerende pakketten. In het model wordt de bodemopbouw geschematiseerd tot een aantal homogene watervoerende en scheidende lagen. In MLU wordt de horizontale stromingscomponent in de watervoerende lagen berekend en de verticale stromingscomponent in de scheidende lagen. Meer informatie over MLU is te vinden op: www.microfem.com.

4.1.2 Schematisatie

De bodemopbouw in het model is gebaseerd op de geohydrologische schematisatie in tabel 3.1. De scheidende laag op 180 m-mv heeft een dermate hoge weerstand dat deze wordt beschouwd als hydrologische basis. Uitgangspunt is dat de bodemopbouw geldt voor het totale gemodelleerde gebied. In tabel 4.1 is deze schematisatie weergegeven.

Tabel 4.1 Schematisatie bodemopbouw voor modellering met MLU

diepte [m-mv]	toelichting	doorlaat-vermogen [m²/d]	weerstand [d]
1,5*	drainage weerstand	-	250
	fictief freatisch watervoerende pakket	1	-
1,5-11	deklaag	-	600
11-62	1e watervoerende pakket	1.300	-
62-64	scheidende laag	-	200
64-65	deellaag 2e/3e watervoerende pakket boven bronfilter	25	-
65	fictief scheidende laag	-	1,44
65-100	deellaag 2e/3e watervoerende pakket (opslagpakket)	900	-
100	fictieve scheidende laag	-	4,6
100-180	deellaag 2e/3e watervoerende pakket onder bronfilter	2.075	-

* Uit stijghoogtemetingen in de nabijgelegen peilbuis B25D0574 blijkt dat de grondwaterstand gemiddeld op 1,5 m-mv ligt.

Deklaag
In de deklaag (een scheidende laag) kunnen met MLU geen grondwaterstandveranderingen worden berekend (zie paragraaf 4.1.1). De grondwaterstandveranderingen in de deklaag zijn berekend door voor de deklaag een doorlaatvermogen van 1 m²/d in te voeren. Het doorlaatvermogen is gelijk aan het geschatte doorlaatvermogen in de deklaag.

Gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket
Omdat de filters van de bronnen slechts een gedeelte van het tweede watervoerende pakket beslaan, is het pakket met behulp van fictieve scheidende lagen in een aantal sublagen onderverdeeld. In werkelijkheid zijn de fictieve lagen niet aanwezig. Door het onderverdelen van het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket in een aantal sublagen moet per sublaag een doorlaatvermogen worden ingevoerd. Deze is bepaald door de gemiddelde doorlatendheid van het totale watervoerende pakket te vermenigvuldigen met de dikte van de sublaag.

De weerstanden van de fictieve scheidende lagen zijn berekend met de formule: weerstand = D/k_v, waarbij D de som is van de helft van de dikten van de boven- en onderliggende lagen en k_v de verticale doorlatendheid. De verticale doorlatendheid in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket bedraagt circa 50 % van de horizontale doorlatendheid.

Oppervlaktewater
In de omgeving van de locatie is oppervlaktewater aanwezig. In het grondwatermodel is een bovenrand gedefinieerd met een drainageweerstand van 250 d.

Schematisatie in tijd
Om de stijghoogte- en grondwaterstandveranderingen te berekenen is een stationaire berekening uitgevoerd, waarbij het systeem op maximaal debiet draait. Het maximale debiet in de winter en de zomer is 150 m³/uur. In de praktijk zal het energieopslagsysteem slechts gedurende een zekere periode op maximaal debiet draaien. De stationaire situatie met betrekking tot de grondwaterstand wordt daardoor niet bereikt. De resultaten van de berekeningen zijn daarom een overschatting van de werkelijk optredende effecten.

De berekeningen zijn gebaseerd op het beginsel van superpositie, hetgeen inhoudt dat alleen de stijghoogteveranderingen ten gevolge van de energieopslag worden berekend. De werkelijke stijghoogte kan worden verkregen door de berekende stijghoogteveranderingen te superponeren op het stijghoogtepatroon van dat moment (zie paragraaf 3.2).

4.2 Stijghoogteveranderingen

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

Effecten energieopslag
In figuur 4.1 zijn de stijghoogteveranderingen in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket (opslagpakket) in de zomersituatie gepresenteerd. De maximale grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen in de watervoerende pakketten zijn in tabel 4.2 weergegeven. De grootte van de invloedsgebieden in de verschillende pakketten worden in tabel 4.3 vermeld. In de zomer- en wintersituatie zijn de grondwater- en stijghoogteveranderingen even groot, maar tegengesteld.

Tabel 4.2 Maximale grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen

watervoerende laag	eenheid	zomer- en wintersituatie
freatisch	[m]	<0,01
1e watervoerende pakket	[m]	<0,01
2e/3e watervoerende pakket	[m]	3,5

De maximale verandering van de grondwaterstand en in het eerste watervoerende pakket is kleiner dan 0,05 m. Derhalve is deze verandering niet in figuren weergegeven.

Tabel 4.3 Grootte invloedsgebieden

watervoerende laag	eenheid	zomer- en wintersituatie
deklaag	[m]	0
1e watervoerende pakket	[m]	0
2e/3e watervoerende pakket	[m]	350

Cumulatieve effecten
De cumulatieve grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen van de in paragraaf 3.5 genoemde grondwatergebruikers zijn gepresenteerd in figuur 4.2. De maximale cumulatieve effecten bij het opslagsysteem van NLR bedraagt 3,5 m. De maximale grondwaterstand verandert in de cumulatieve situatie niet.

4.3 Invloed op grondwatergebruikers

Binnen het berekende hydrologische invloedsgebied van het beoogde energieopslagsysteem bevinden zich de energieopslagsystemen van PDR Vastgoed. Voor de bepaling van de effecten op deze energieopslagsystemen zijn de vergunde uitgangspunten gebruikt. De maximale stijghoogteverandering ter plaatse van de bronnen van de energieopslagsystemen bedragen respectievelijk <0,01 en <0,05 m. Dit is dermate gering dat dit in de praktijk geen effect heeft op de bedrijfsvoering en het rendement van het energieopslagsysteem van deze energieopslagsystemen.

Invloed op andere belanghebbenden
De berekende grondwaterstandveranderingen zijn zodanig klein (maximaal 0,01 m) dat aan maaiveld levende flora en fauna niet nadelig wordt beïnvloed. Ook van schade aan monumenten, archeologie, infrastructuur, landbouwgewassen en natuurgebieden zoals beschreven in hoofdstuk 3.5 is geen sprake.

5 Hydrothermische effecten

5.1 Uitgangspunten voor de berekeningen

Het berekenen van de thermische effecten van de energieopslag is uitgevoerd met het programma HstWin-3D. Met het programma HstWin-3D kunnen warmte- en stoftransport worden berekend in een verzadigd 3-dimensionaal grondwatersysteem.

De randvoorwaarden in het HstWin-3D-model zijn gebaseerd op de geohydrologische beschrijving in hoofdstuk 3. HstWin-3D simuleert de grondwaterstroming en het warmtetransport in meerdere lagen. In tabel 5.1 zijn de belangrijkste geohydrologische en geothermische invoerparameters opgenomen die bij de b rekeningen zijn gebruikt. De warmtegeleidingscoëfficiënten en de warmtecapaciteiten zijn ontleend aan de VDI 4640, Blatt 1/part 1 [Lit. 3].

Tabel 5.1 Modelschematisatie HstWin-3D

diepte [m-mv]	hydrologische beschrijving	horizontale doorlatenheid [m/d]	verticale anisotropie [-]	warmtegeleidings-coëfficiënt [W/(m K)]	warmte-capaciteit [MJ/(m³ K)]
11 - 62	1e watervoerende pakket	25	4	2,4	2,5
62 - 64	scheidende laag	0,0001	-	1,7	2,5
64- 180	2e/3e watervoeren-de pakket	25	4	2,4	2,5

Op basis van het onttrekkings-/infiltratiepatroon weergegeven in tabel 5.2 is het grondwatersysteem thermisch doorgerekend met het programma HstWin-3D.

Tabel 5.2 Onttrekkings-/infiltratiepatroon

seizoen	bedrijfstoestand	waterhoeveelheid [m³/jaar]	infiltratie-temperatuur[°C]
winter	verwarming/koudeopslag	150.000	7
lente	rust	-	-
zomer	koeling/warmteopslag	150.000	15
herfst	rust	-	-

5.2 Temperatuurveranderingen

De koude bel is gedefinieerd als het gebied waarbinnen de grondwatertemperatuur in het opslagpakket minimaal 0,5 °C lager is dan de natuurlijke grondwatertemperatuur. De warme bel is gedefinieerd als het gebied waarbinnen de grondwatertemperatuur in het opslagpakket minimaal 0,5 °C hoger is dan de natuurlijke grondwatertemperatuur. De natuurlijke grondwatertemperatuur van het opslagpakket bedraagt 12 °C. De berekende temperaturen na 20 jaar energieopslag zijn weergegeven in figuur 5.1. Het contourinterval is 0,5 °C. Na 20 jaar is een temperatuurverandering van 0,5 °C in het opslagpakket mogelijk tot maximaal 150 m vanaf de bronnen.

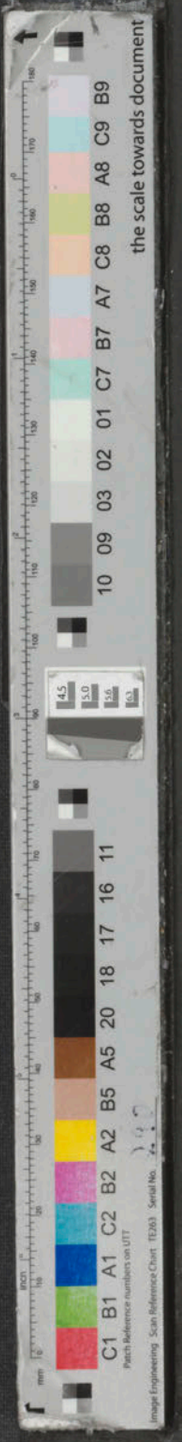
5.3 Invloed op overige grondwatergebruikers

Binnen het thermische invloedsgebied van de energieopslag van NLR zijn de twee energieopslagsystemen van PDR Vastgoed aanwezig. In figuur 5.2 zijn de thermische effecten aangegeven van de twee systemen van PDR Vastgoed. Voor de bepaling van de thermische effecten op deze energieopslagsystemen zijn de vergunde uitgangspunten gebruikt. De bellen van het energieopslagsysteem van NLR raken de warme en koude bellen van de systemen van PDR Vastgoed niet. Negatieve thermische interactie treedt niet op.

Daarnaast is de thermische invloed van het energieopslagsysteem van NLR op de bestaande energieopslagsystemen van PDR Vastgoed bepaald door twee situaties te vergelijken:

1. energieopslag alleen bij PDR Vastgoed (bestaand);
2. energieopslag bij PDR Vastgoed en NLR (bestaand en nieuw).

Uit de onttrekkingtemperaturen blijkt dat de beïnvloeding van PDR Vastgoed (1) door NLR maximaal 0,04 °C bedraagt. Voor PDR Vastgoed (2) bedraagt dit maximaal 0,03 °C. Geconcludeerd wordt dat het opslagsysteem van NLR geen significante thermische invloed heeft op de overige energieopslagsystemen in de omgeving.



6 Grondmechanische effecten

6.1 Uitgangspunten voor de berekeningen

De stijghoogteveranderingen als gevolg van de energieopslag kunnen een zekere zetting teweegbrengen. 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, maar ook door de massa van het landijs in de ijstijden.

In de Nederlandse Norm Geotechniek van 1990 (NEN 6740) [Lit. 4] zijn normen opgenomen om een ongewenst verlies aan bruikbaarheid, schade of hoge onderhoudskosten aan infrastructuur en constructies te voorkomen. Volgens deze NEN-norm mag de zetting niet groter zijn dan 150 mm en mag het zettingsverhang (rotatie) niet groter zijn dan 1:300. Bij de aanwezigheid van ondiepe zettingsgevoelige bodemlagen, zoals een deklaag, kunnen verschillen in de samenstelling van de betreffende laag aanleiding geven tot verschilzettingen aan maaiveld. Wanneer de veroorzaakte zetting in de deklaag groter is dan 15 mm, dan kunnen effecten van betekenis optreden [Lit. 5].

De mogelijke zetting van de bodem is berekend met de formule van Koppejan. Hiervoor is de bodem geschematiseerd conform de opbouw tabel 4.1. De zettingsconstanten zijn ontleend aan NEN-blad 6740 - bladzijde 20 [Lit. 4]. Via deze methode wordt een eindzetting berekend, dat wil zeggen een zetting die zal optreden bij een onttrekking van oneindig lange duur.

Om de eindzetting op een locatie te kunnen berekenen dienen de ter plaatse optredende grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen in de formule te worden ingevoerd. Deze zijn voor de verschillende lagen berekend met MLU bij het maximale debiet (zie hoofdstuk 4). De veranderingen zijn voor een stationaire situatie berekend. In werkelijkheid zal het systeem niet continu op maximaal debiet draaien. Bovendien zal een bron nooit langer dan een half jaar als onttrekkingsbron fungeren (in de andere helft van het jaar is het een infiltratiebron). De berekende eindzetting is daarom een overschatting van de werkelijk optredende zetting.

In de berekening is geen rekening gehouden met de uitdempende effecten die de lagen tussen 62 m-mv (= top scheidende laag) en het funderingsniveau hebben op de zettingen op funderingsniveau. Deze effecten zullen direct rond de bronnen de absolute grootte van de zetting op funderingsniveau en het zettingsverhang verminderen.

6.2 Zettingen

Op basis van de bovengenoemde uitgangspunten is een eindzetting van 3 mm berekend voor het gebied direct naast de bronnen (zie bijlage 2). Aan de rand van het berekende hydrologische invloedsgebied treedt geen zetting op. Het zettingsverhang bedraagt in de directe nabijheid van de bronnen (binnen 10 m rondom de bronnen) maximaal 1 m per 20.000 m.

Deze geringe zetting en de daarmee gepaard gaande verschilzetting veroorzaakt geen schade aan gebouwen, funderingen, wegen of constructies.

7 Effecten op de grondwaterkwaliteit

7.1 Invloed van de temperatuur

Een verandering van de temperatuur van het grondwater kan het chemisch evenwicht van reacties veranderen. In het kader van onderzoek 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 energieopslag (in het algemeen minder dan 10 °C) op de watersamenstelling veelal verwaarloosbaar klein is [Lit. 5, 6].

Een toename van de temperatuur kan een versnelde groei van micro-organismen veroorzaken, een daling van de temperatuur een vertraagde groei. Echter van groot belang voor de groei van micro-organismen is het voedselaanbod. Dit voedselaanbod bestaat uit het gedeelte van het organisch koolstof dat door micro-organismen afbreekbaar is (AOC-gehalte: Assimileerbaar Organisch Koolstof). De watervoerende pakketten die in Nederland gebruikt worden voor energieopslag zijn over het algemeen oligotroof (voedselarm) [Lit. 6]. Dit verklaart mede de lage microbiologische activiteit die geconstateerd is bij in Nederland uitgevoerde energieopslagprojecten. Ook komen in de Nederlandse ondergrond over het algemeen geen pathogenen voor, aangezien het zand in de Nederlandse ondergrond een filterende werking heeft voor deze organismen [Lit. 7].

In een rapport over de effecten van temperatuurveranderingen op de grondwaterkwaliteit [Lit. 6] zijn vier onderzoeken naar pathogene micro-organismen en vier onderzoeken naar de invloed op de natuurlijke grondwaterflora samengevat. Het temperatuurbereik waarvoor onderzoek is verricht ligt tussen 6 °C en meer dan 100 °C. Bij geen van de beschreven onderzoeken is een toename van pathogene micro-organismen gevonden, waarbij onder andere onderzoek is gedaan naar legionella, colibacteriën, thermotolerante bacteriën en faecale streptokokken. Wel blijkt dat de verstoring van de bodem tijdens het boren van de bronnen tijdelijk een sterk stimulerende werking kan hebben op de groei van micro-organismen doordat bij het boren voedsel beschikbaar komt. Na enige tijd zakt het aantal micro-organismen weer naar het oorspronkelijke niveau.

Uit de onderzoeken naar de gevolgen van temperatuurveranderingen op de chemische en microbiologische processen in het grondwater, blijkt dat het effect van temperatuurveranderingen op de grondwaterkwaliteit bij de meeste praktijkexperimenten kleiner is dan de variatie in de kwaliteit van het toestromende grondwater. Ook bij dit project zal de kwaliteit van het grondwater niet negatief worden beïnvloed door de temperatuurveranderingen.



7.2 Invloed op het zoet-/brakgrensvlak

Gezien de afstand tussen de bronfilters en het zoet-/brakgrensvlak zal deze niet worden beïnvloed door de energieopslag.

7.3 Invloed op bodem- en grondwaterverontreinigingen

Gezien de zeer geringe effecten op de stijghoogte in het ondiepe watervoerende pakket en de deklaag zullen eventuele verontreinigingen in de deklaag, die binnen het hydrologische invloedsgebied liggen, niet worden aangetrokken of verplaatst.

Literatuur

[1] Shepherd, R.G., 1989 - Correlations of permeability and grain size. Ground Water. Volume 27. Issue 5.

[2] Stolk, P., 2000 - Analyse van temperatuurmetingen in de Nederlandse ondergrond (20-300 m beneden maaiveld) in relatie tot hydrologische en meteorologische omstandigheden in heden en verleden. IF Technology/Vrije Universiteit. Arnhem en Amsterdam.

[3] VDI, 2000 - VDI-Richtlinien. Thermische Nutzung des Untergrundes. Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte. Düsseldorf.

[4] NEN, 1991 - Geotechniek 1990. Basiseisen en belastingen + Wijzigingsblad NEN 6740/A1 (1997). Nederlandse Norm.

[5] IF Technology en Krachtwerktuigen, 1992 - Koudeopslag in de bodem. Vergunningverlening in het kader van de Grondwaterwet. Arnhem, Amersfoort.

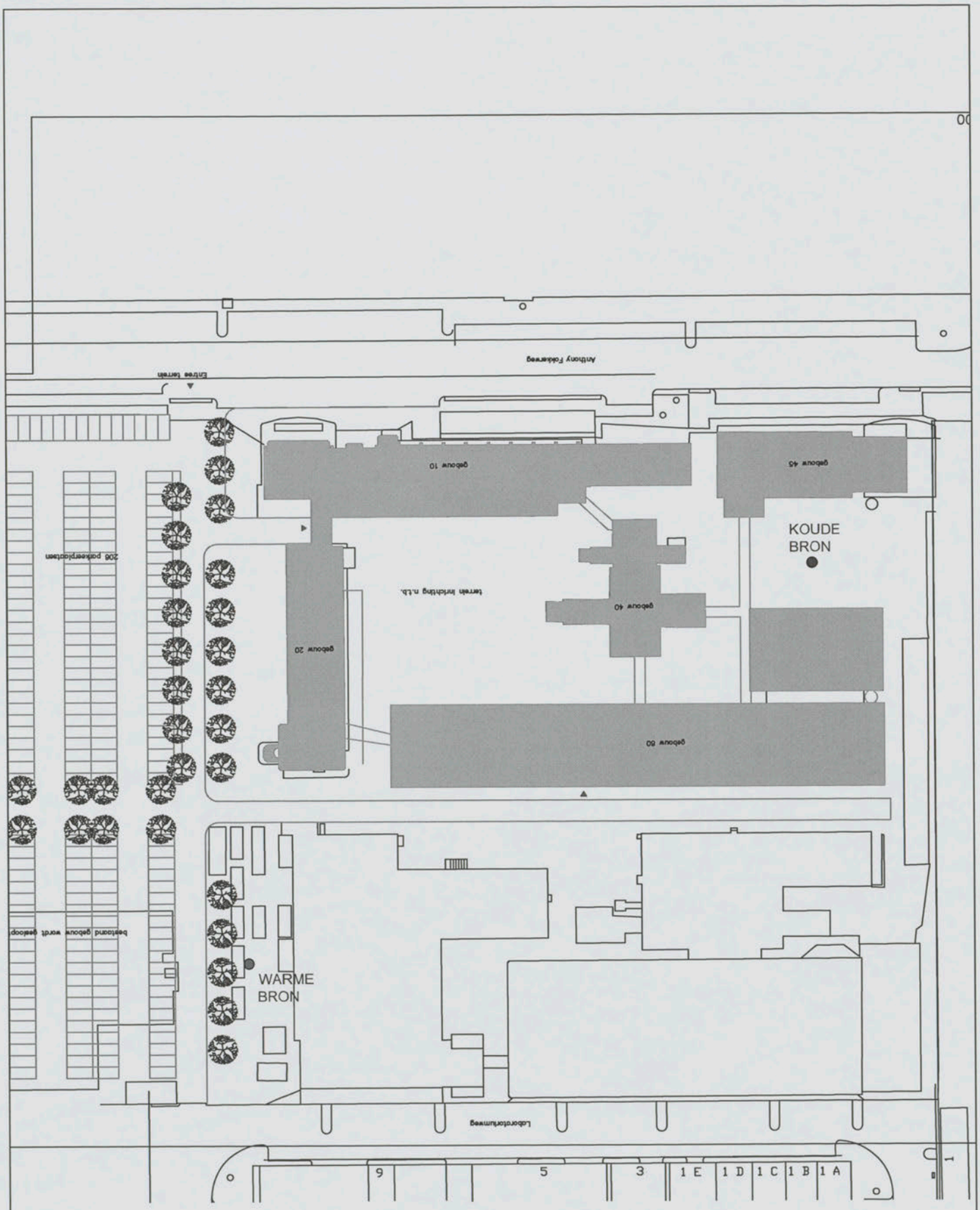
[6] IF Technology, 2004 - Temperatuureffecten op grondwaterkwaliteit. Samenvatting bestaande kennis. Rapport in opdracht van NOVEM. Arnhem.

[7] Heidemij Adviesbureau, 1983 - Literatuurstudie micro-biologische aspecten van de toepassing van warmteopslag in aquifers. Arnhem.

Figuren


the scale towards document
C1 B1 A1 C2 B2 A2 B5 A5 20 18 17 16 11
10 09 03 02 01 C7 B7 A7 C8 B8 A8 C9 B9
Image Engineering Scan Reference Chart TE263 Serial No.

if



basistekening: inbo, project 8037, tek B3.000 d.d. 24-06-2011

Project: Energieopslag hoofdkantoor NLR te Amsterdam

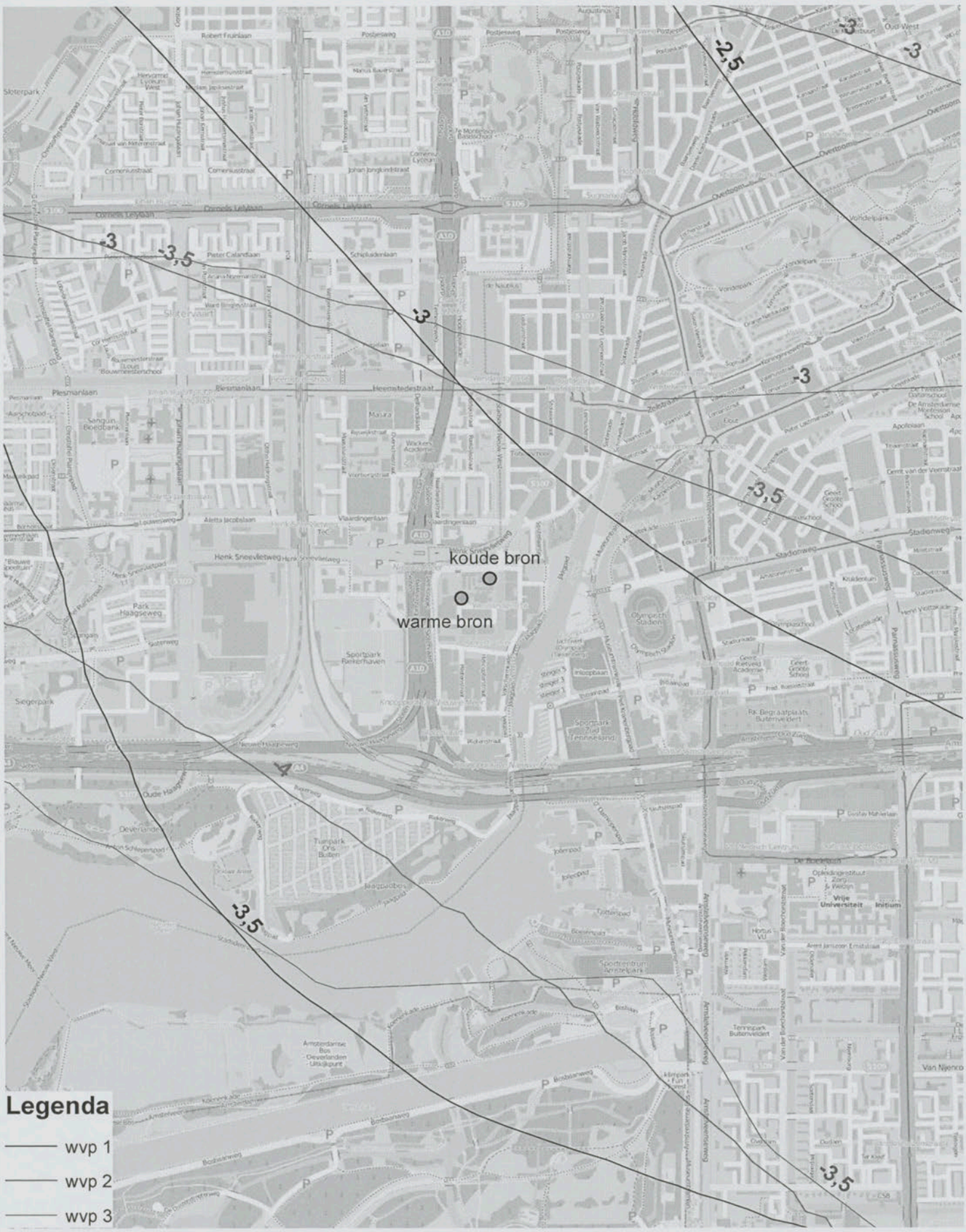
Onderwerp: Locaties van de bronnen

N

0 12,5 25 50 meter

Figuur:	2.2	**Datum:**	24-11-2011
Referentie:	61237/HeM	**Auteur:**	BC

if



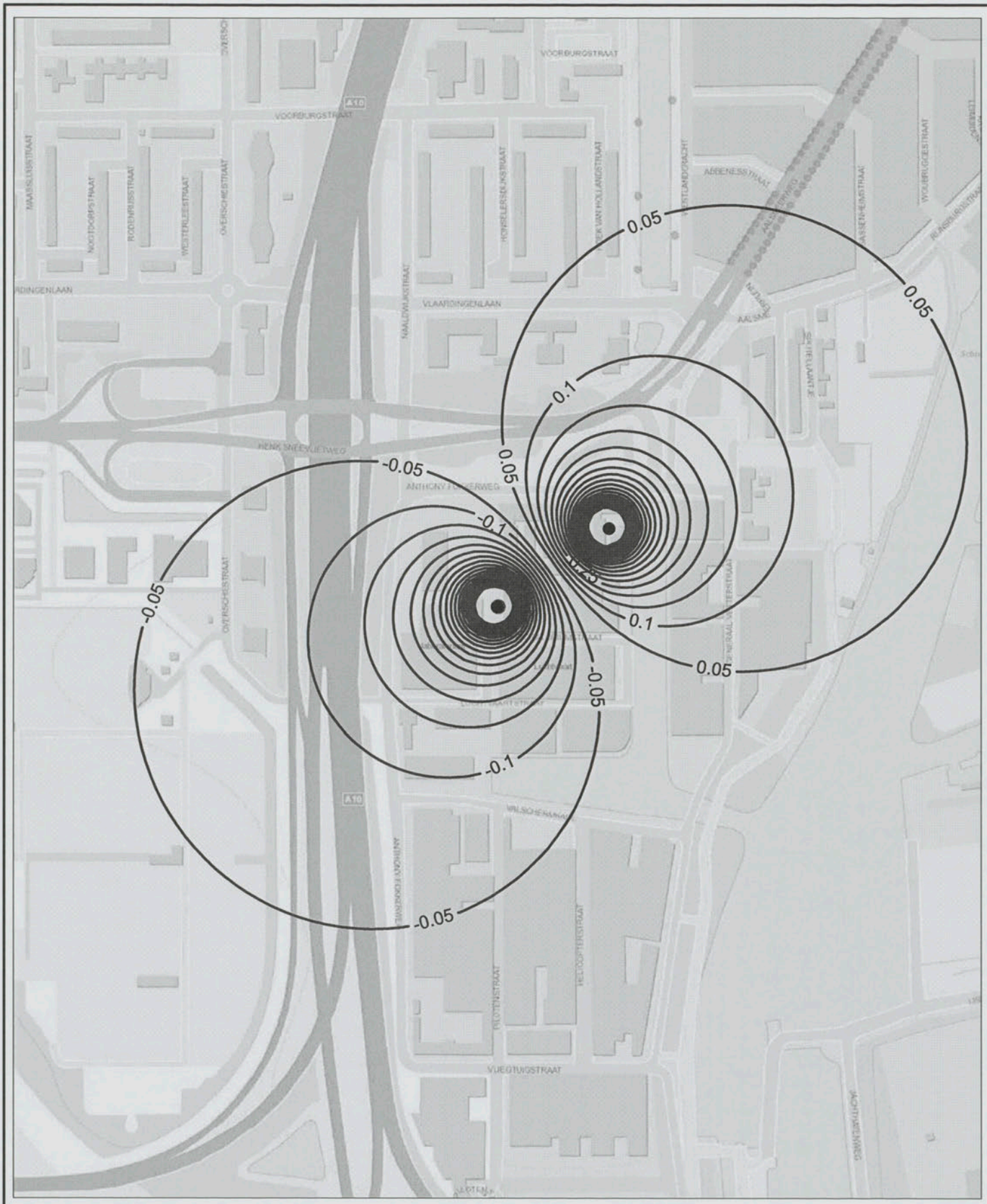
Project: Energieopslag NLR te Amsterdam

Onderwerp: Isohypsenpatroon REGIS

Figuur:	3.1	**Datum:**	28-11-2011
Referentie:	61237/HeM	**Auteur:**	BC

if

the scale towards document



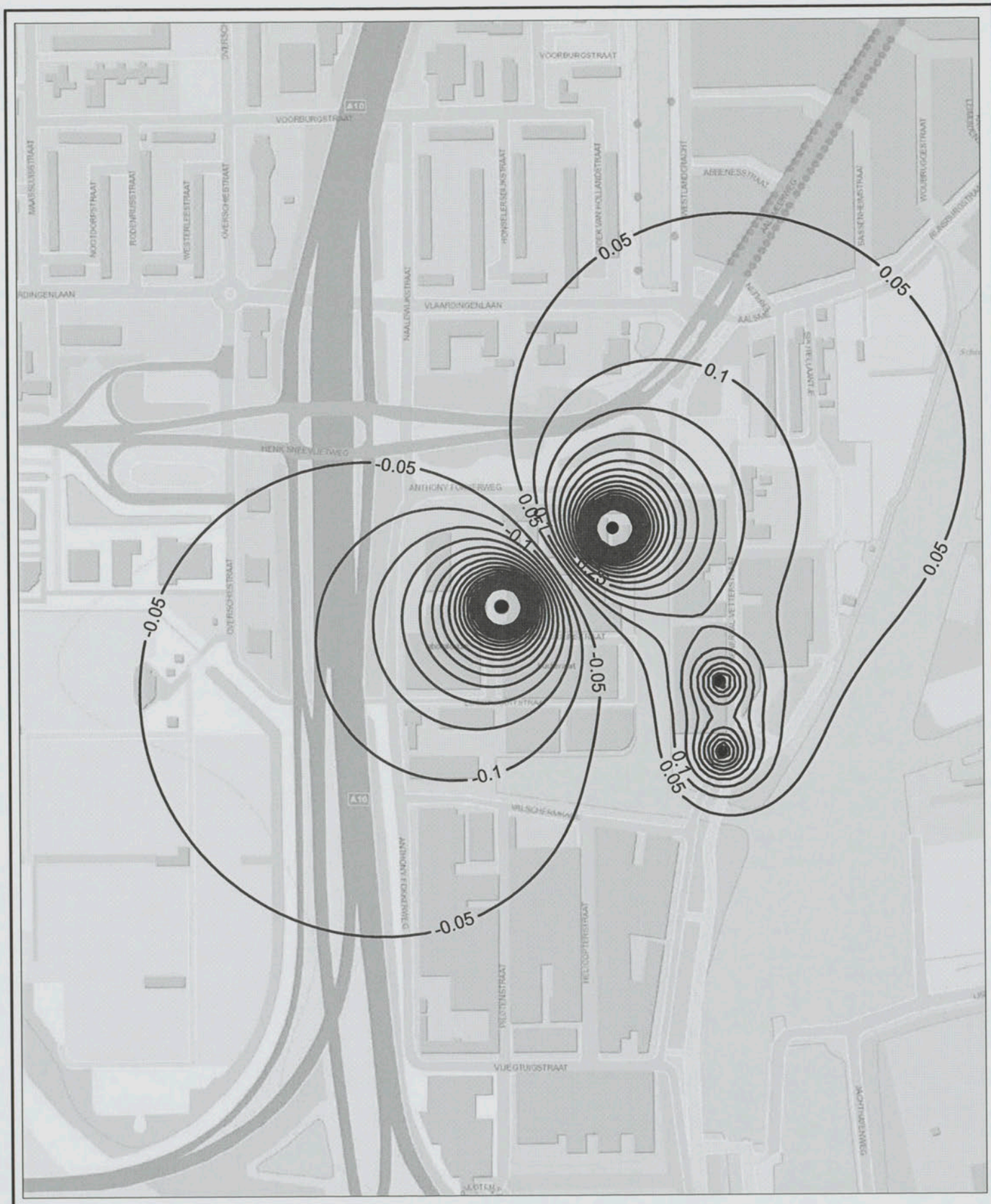
N

Project: Energieopslag NLR te Amsterdam

Onderwerp: Berekende stijhoogteveranderingen in het opslagpakket

Figuur:	4.1	**Datum:**	28-11-2011
Referentie:	61237/HeM	**Auteur:**	BC

if



N

0 50 100 150 200 250

Project: Energieopslag NLR te Amsterdam

Onderwerp: Berekende stijhoogteveranderingen in het opslagpakket in cumulatieve situatie

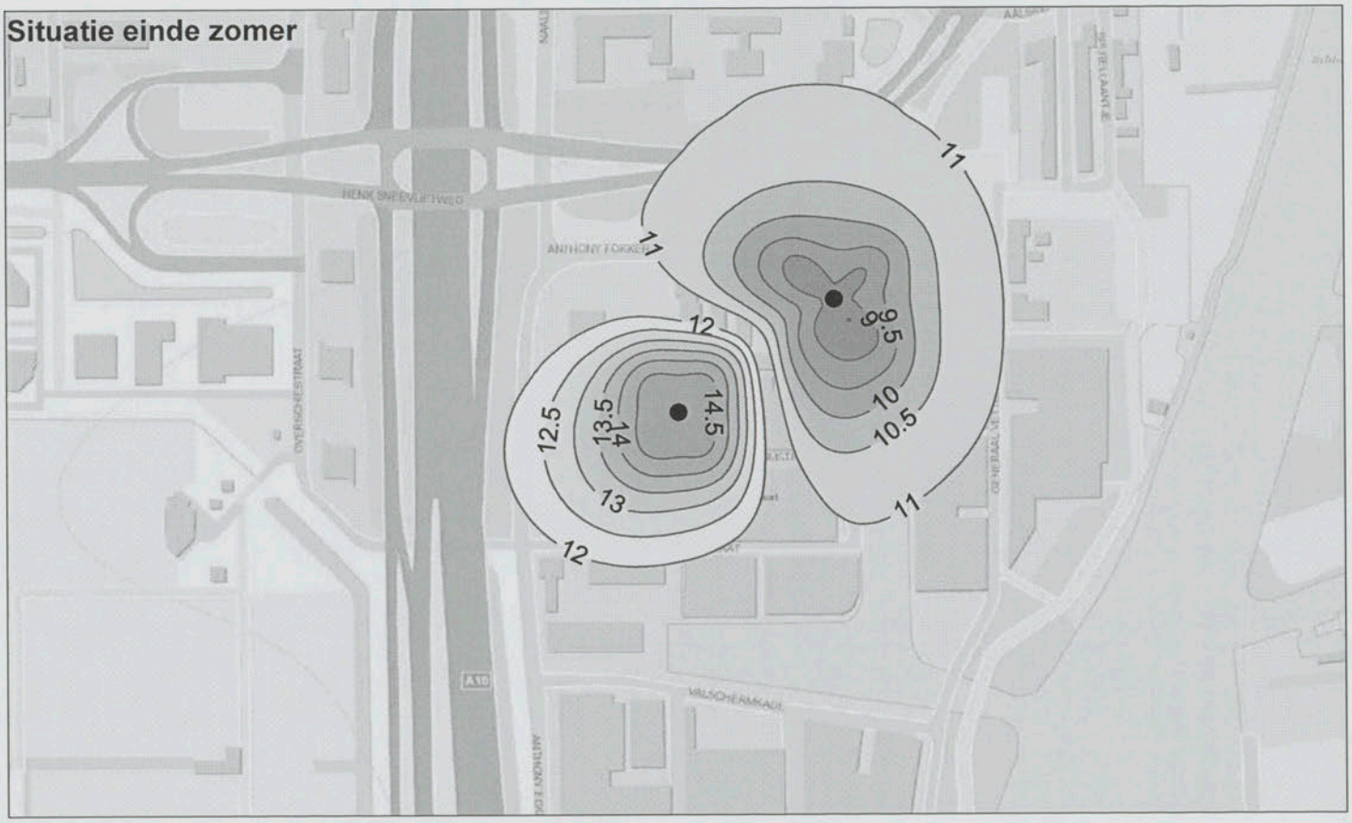
Figuur:	4.2	**Datum:**	28-11-2011
Referentie:	61237/HeM	**Auteur:**	BC

if

Situatie einde winter



Situatie einde zomer



N

0 50 100 150 200 250

Project:	Energieopslag NLR te Amsterdam		
Onderwerp:	Berekende temperaturen in het opslagpakket [°C] na 20 jaar		
Figuur:	5.1	**Datum:**	28-11-2011
Referentie:	61237/HeM	**Auteur:**	BC

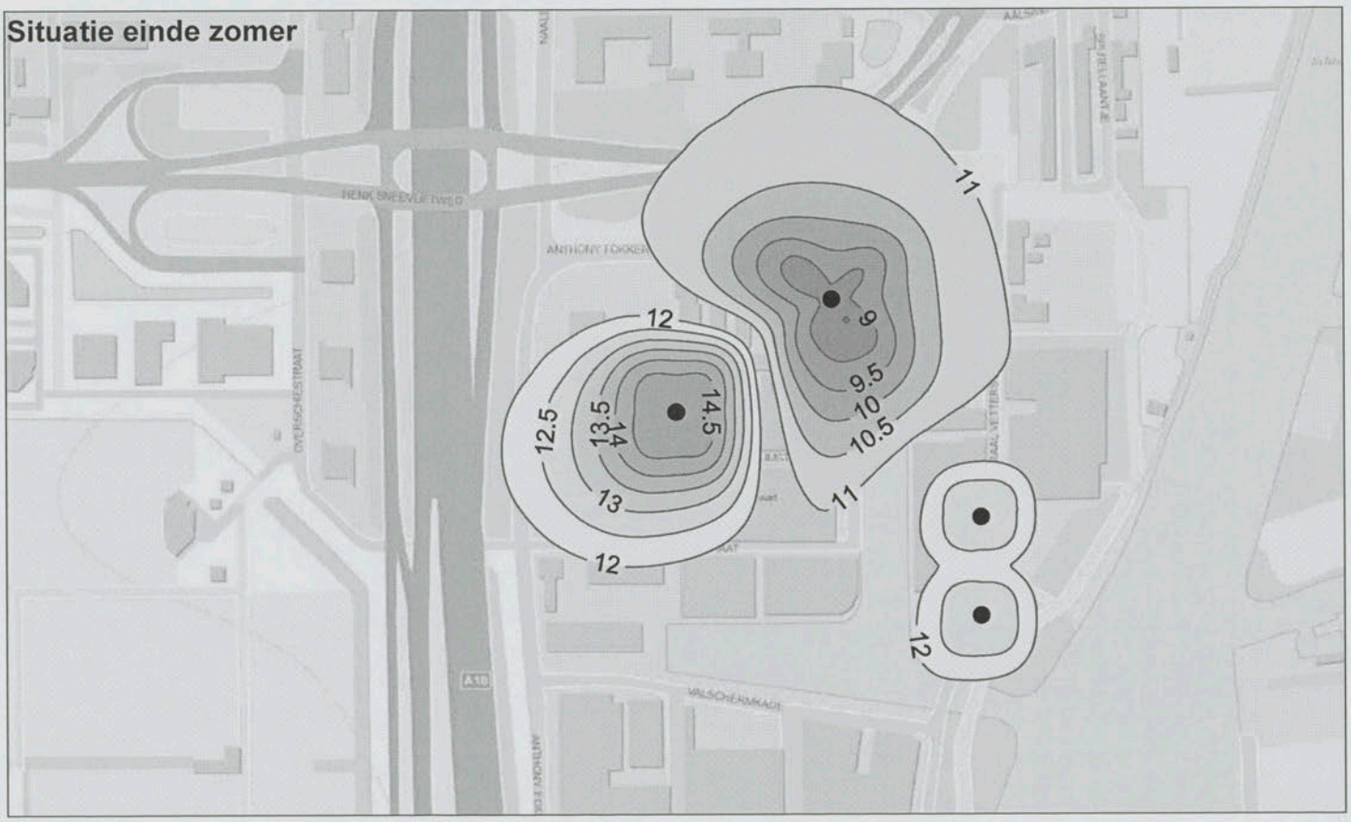
if

the scale towards document
Image Engineering Scan Reference Chart TE263 Serial No.

Situatie einde winter



Situatie einde zomer



N

0 50 100 150 200 250

Project: Energieopslag NLR te Amsterdam

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

Figuur: 5.2 **Datum:** 28-11-2011

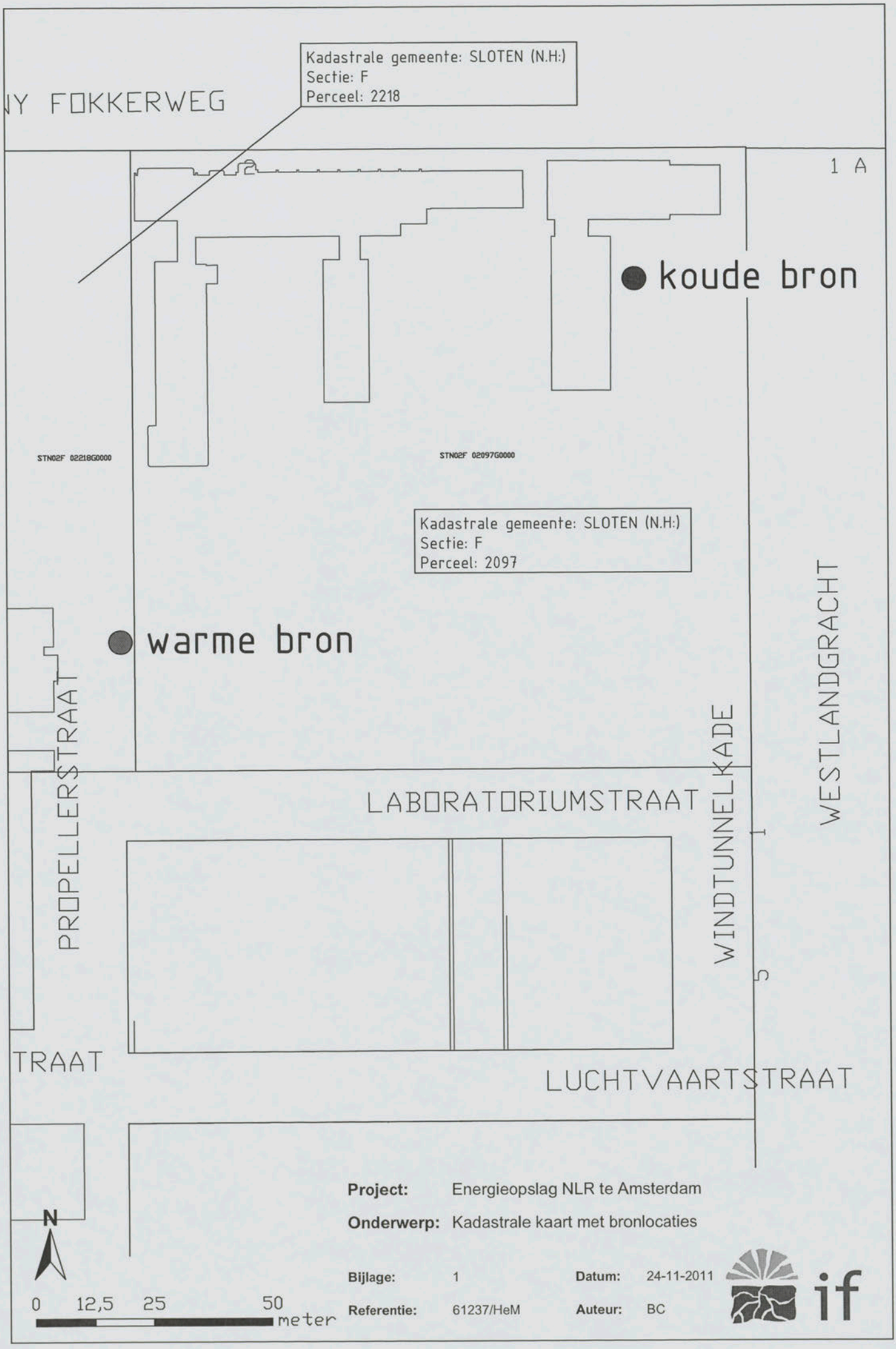
Referentie: 61237/HeM **Auteur:** BC

if

Bijlage 1

Kadastrale kaart met bronlocaties

if


NY FOKKERWEG
Kadastrale gemeente: SLOTEN (N.H:)
Sectie: F
Perceel: 2218
1 A
koude bron
STN02F 02218G0000
STN02F 02097G0000
Kadastrale gemeente: SLOTEN (N.H:)
Sectie: F
Perceel: 2097
warme bron
PROPELLERSTRAAT
LABORATORIUMSTRAAT
WINDTUNNELKADE
WESTLANDGRACHT
TRAAT
LUCHTVAARTSTRAAT
N
0 12,5 25 50 meter
Project: Energieopslag NLR te Amsterdam
Onderwerp: Kadastrale kaart met bronlocaties
Bijlage: 1
Datum: 24-11-2011
Referentie: 61237/HeM
Auteur: BC
if

Bijlage 2

Berekening van de zetting

Zettingsberekening

Versie 29 september 2004

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

Projectnaam:	NLR Amsterdam
Projectnummer:	61237
Datum berekening:	25-11-2011
Boring:	B25D0549
Rapport:	Effectenstudie
Specialist:	S.S. Hoogeveen, MSc
Opmerking(en):	Zetting nabij de bron

Gebruikte formule van Terzaghi:

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

GLG: 3 m-mv

Materiaal	[m-mv] diepte	[m] Dikte	ΔH	[-] C_p	[-] C_s	[-] C_{onein}	[kg/m3] ρ	[N/m²] σκ	[N/m²] Δσκ	[mm] Z
	0									
Onverz.zone		3	0,003	-	-	-	0	-		0
	3									
klei (deklaag)		8		15	160	10,9	1700	27468	68,67	2
	11									
Zand (wvp 1)		51	0,011	600	1,00E+99	600	2000	305091	107,91	0
	62									
Klei		2		50	600	37,5	2000	565056	7480,1	1
	64									
Zand (wvp 2)		1	1,514	600	1,00E+99	600	2000	579771	14852	0
	65									
Zand (opslagpakket)		35	3,519	600	1,00E+99	600	2000	756351	34521	0
	100									
Zand (wvp 2)		80	0,167	600	1,00E+99	600	2000	1320426	1638,3	0
	180									

Verklaring van de parameters:

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

Totale zetting [mm]	3