

Energieopslag Brede School te Etten-Leur

Effectenstudie grondwatersysteem

Opsteller vergunningaanvraag

IF Technology bv
Velperweg 37
Postbus 605
6800 AP ARNHEM
T 026 - 35 35 555
F 026 - 35 35 599
E n.schuurman@iftechnology.nl
Contactpersonen: dhr. ir. J.N. Schuurman
dhr. drs. P. Wennekers

Samenvatting

Inleiding

Het voornemen bestaat om energieopslag in de bodem toe te passen voor een duurzame klimatisering van de nieuw te bouwen Brede School aan de Schipperstraat in nieuwbouwwijk Schoenmakershoek te Etten-Leur.

Energiebesparing en emissiereductie

Door het toepassen van energieopslag kan jaarlijks circa 23.000 m³ aardgasequivalenten worden bespaard. Deze energiebesparing leidt tot een jaarlijkse emissiereductie van 40 ton CO₂ en 50 kg NO_x.

Energieopslagsysteem

De bronnen van het energieopslagsysteem zijn beoogd in het tweede watervoerende pakket. Het systeem onttrekt en infiltreert maximaal 134.400 m³/a met een maximaal debiet van 32 m³/h.

Hydrologische effecten

Het berekende hydrologische invloedsgebied reikt tot 220 m van de bronnen. De maximale grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen bedragen respectievelijk nul en 1,70 m. Negatieve hydrologische invloed op de grondwatergebruikers en overige belanghebbenden is niet aan de orde.

Hydrothermische effecten

Het berekende hydrothermische invloedsgebied reikt tot 50 m van de bronnen. Negatieve thermische invloed op overige grondwatergebruikers treedt niet op.

Grondmechanische effecten

De maximaal berekende zetting bedraagt 2 mm. Deze geringe zetting en het daarmee gepaard gaande zettingsverhang zal geen schade aan gebouwen, funderingen, de nabijgelegen spoorbaan of wegen veroorzaken.

Effecten op de grondwaterkwaliteit

Het zoet-/brakgrensvlak wordt niet beïnvloed. Gezien de geringe temperatuurverschillen bij dit project worden hiervan geen significante effecten verwacht op de chemische en microbiologische samenstelling van het grondwater.

Symbolenlijst

symbolen	benaming	eenheid
c	weerstand scheidende bodemlaag	d
c_p	primaire zettingsconstante	-
c_s	secundaire zettingsconstante	-
c_{onein}	totale zettingsconstante	-
C	volumetrische warmtecapaciteit	MJ/(m ³ K)
d	diepte	m-mv of m±NAP
D	dikte bodemlaag	m
Δh	stijghoogteverandering	m
Δh_{max}^*	maximale freatische grondwaterstandverandering	m
$\Delta h_{x, \text{max}}$	maximale stijghoogteverandering watervoerend pakket x	m
h	stijghoogte	m-mv of m±NAP
h^*	freatische grondwaterstand	m-mv of m±NAP
h_x	stijghoogte watervoerend pakket x	m-mv of m±NAP
H	effectieve filterlengte	m
k_h	horizontale doorlatendheid bodemlaag	m/d
k_v	verticale doorlatendheid bodemlaag	m/d
$k_h D$	doorlaatvermogen watervoerende bodemlaag	m ² /d
λ	warmtegeleidingscoëfficiënt	W/(mK)
q_{max}	maximaal debiet	m ³ /h
q_i	totale infiltratiecapaciteit	m ³ /h
q_o	totale onttrekkingscapaciteit	m ³ /h
Q_{gem}	gemiddeld verplaatste hoeveelheid energie per jaar	MWh/a
ρ	(massa) dichtheid	kg/m ³
s	verhang	‰
σ_k	korrelspanning	N/m ²
$\Delta \sigma_k$	verandering korrelspanning	N/m ²
$T_{i, \text{gem}}$	gemiddelde infiltratietemperatuur	°C
$T_{i, \text{max}}$	maximale infiltratietemperatuur	°C
V	verplaatste hoeveelheid grondwater per jaar	m ³ /a
V_{max}	maximaal verplaatste hoeveelheid grondwater per jaar	m ³ /a
V_{gem}	gemiddeld verplaatste hoeveelheid grondwater per jaar	m ³ /a
Z	zetting	mm

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
Symbolenlijst	1
1 Inleiding	4
2 Systeembeschrijving	5
2.1 Uitgangspunten	5
2.2 Grondwatercircuit	7
2.3 Energiebesparing en emissiereductie	7
3 Geohydrologie	9
3.1 Bodemopbouw	9
3.2 Grondwaterstroming/grondwaterstand	10
3.3 Grondwaterkwaliteit en -temperatuur	10
3.4 Grondwatergebruikers	10
3.5 Andere belanghebbenden	10
3.6 Bodem- en grondwaterverontreinigingen	11
4 Hydrologische effecten	12
4.1 Uitgangspunten voor de berekeningen	12
4.1.1 Beschrijving computerprogramma	12
4.1.2 Schematisatie	12
4.2 Stijghoogteveranderingen	13
4.3 Invloed op grondwatergebruikers	14
4.4 Invloed op andere belanghebbenden	14
5 Hydrothermische effecten	15
5.1 Uitgangspunten voor de berekeningen	15
5.2 Temperatuurveranderingen	16
5.3 Invloed op overige grondwatergebruikers	16
6 Grondmechanische effecten	17
6.1 Uitgangspunten voor de berekeningen	17
6.2 Zettingen	18
7 Effecten op de grondwaterkwaliteit	19
7.1 Invloed van de temperatuur	19
7.2 Waterkwaliteitsveranderingen in grondwatercircuit	20
7.3 Invloed op het zoet-/brakgrensvlak	20
7.4 Invloed op bodem- en grondwaterverontreinigingen	20
Literatuur	21

Figuren:

2.1 Principeschema van het energieopslagsysteem

2.2 Locatie van de bronnen

3.1 Isohysenpatroon REGIS

4.1 Berekende stijghoogteveranderingen in het opslagpakket

5.1 Berekende temperaturen in het opslagpakket

Bijlagen:

1 Kadastrale kaart met bronlocaties

2 Berekening van de zetting

1 Inleiding

Het voornemen bestaat om de klimatisering van een nieuw te bouwen Brede School te Etten-Leur te verzorgen middels duurzame energieopslag in de bodem. De Brede School is gelegen aan de Schipperstraat in nieuwbouwwijk Schoenmakershoek te Etten-Leur en heeft de globale coördinaten $x=104.500$ en $y=400.300$.

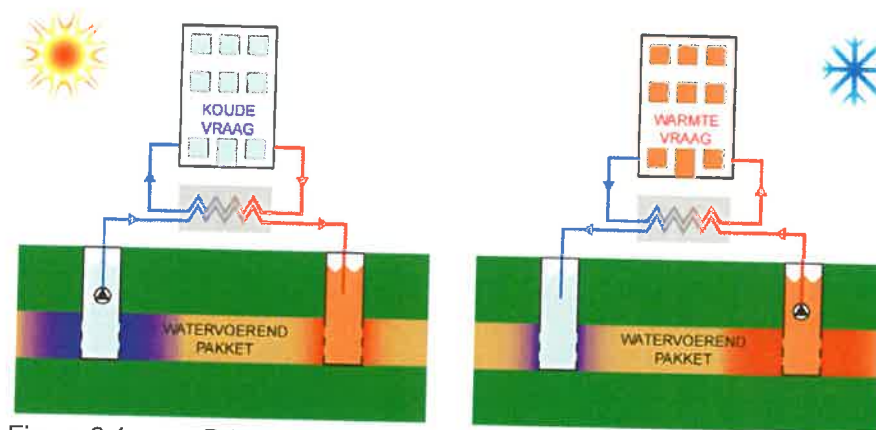
Het onttrekken en infiltreren van grondwater ten behoeve van de energieopslag is in het kader van de Grondwaterwet vergunningplichtig. De vergunning dient bij de Provincie te worden aangevraagd. De aanvraag dient voorzien te zijn van een studie naar de effecten van het energieopslagsysteem op de omgeving.

De voorliggende effectenstudie geeft een overzicht van de effecten van de energieopslag op de bodem en het grondwater. 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 is in hoofdstuk 3 de geohydrologie van de locatie en omgeving beschreven. De berekende hydrologische en hydrothermische effecten zijn beschreven in respectievelijk hoofdstuk 4 en 5. De berekende 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 in één of meerdere 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 de volgende bedrijfssituaties:



Figuur 2.1 Principeschema van het energieopslagsysteem

Verwarming van de school

Ten behoeve van de warmtelevering wordt grondwater uit de warme bron opgepompt. Het opgepompte grondwater staat zijn warmte af via één of meerdere warmtewisselaars 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 van de school

Als behoefte is aan koeling, wordt grondwater opgepompt uit de koude bron. Het opgepompte grondwater staat zijn koude via één of meerdere 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

Het grondwatersysteem zal gemiddeld per seizoen in de zomer en in de winter 44.800 m³ grondwater verplaatsen. De maximale grondwaterhoeveelheid die per seizoen wordt verpompt, bedraagt 's zomers en 's winters 67.200 m³. Deze 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 betreffende bron enige tijd grondwater onttrokken met het maximale debiet. Het onttrokken grondwater wordt niet in de bodem teruggebracht, maar geloosd (bijvoorbeeld op het riool of het oppervlaktewater). Voor toestemming voor het lozen van het grondwater zal contact worden opgenomen met de daarvoor bevoegde instantie. Onder normale omstandigheden zal per jaar niet meer dan 1.000 m³ grondwater worden gespuid. In het opstartjaar zal maximaal 2.000 m³ gespuid worden. Alleen in geval van calamiteiten kan het nodig zijn meer grondwater te spuien.

De belangrijkste ontwerpuitgangspunten voor het energieopslagsysteem zijn in tabel 2.1 samengevat.

Tabel 2.1 Ontwerpuitgangspunten voor de energieopslag			
parameter	eenheid	winter	zomer
V _{max}	[m ³ /a]	67.200	67.200
V _{gem}	[m ³ /a]	44.800	44.800
q _{max}	[m ³ /h]	32	32
T _{i, gem}	[°C]	9,5	12,5
T _{i, min/ max}	[°C]	5,0	25 ,0
Q _{gem}	[MWh/a]	152	152

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 80 m. De definitieve filterstelling is afhankelijk van de bodemopbouw ter plaatse van de bronnen. De filters zullen worden geplaatst in het tweede watervoerende pakket, in het traject van 20 tot 75 m-mv. De effectieve filterlengte is afhankelijk van het aantal slecht doorlatende lagen in het filtertraject en bedraagt circa 30 m. In de praktijk kan de werkelijk geplaatste filterlengte hiervan afwijken.

Voor de berekeningen in deze effectenstudie is een globale inschatting gemaakt van de boorgatdiameter van de bronnen (circa 430 mm). 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. De belangrijkste ontwerpgegevens van de bronnen zijn samengevat in tabel 2.2.

Tabel 2.2 Ontwerpgegevens van de bronnen			
parameter	eenheid	warme bron	koude bron
q _o	[m³/h]	32	32
q _i	[m³/h]	32	32
H	[m]	30	30

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.

Conventionele energievoorziening

De conventionele installatie bestaat uit warmtelevering met een gasgestookte Cv-ketel met een gemiddeld rendement van 85% op onderwaarde. De koude wordt geleverd met een elektrische compressiekoelmachine met een gemiddelde Coëfficiënt Of Performance (COP) van 3,5 (inclusief ventilator- en pompenergie van de koeltorens). Voor het rendement van de elektriciteitsopwekking wordt 41% op onderwaarde aangehouden.

Duurzame energievoorziening

In de duurzame energievoorziening wordt de warmtevraag geleverd door middel van warmtepompen, gekoppeld aan het grondwatersysteem. De koudevraag wordt volledig geleverd door het grondwatersysteem. Voor uitsluitend het grondwatersysteem

(bronpompen) van de energieopslag wordt een COP van 40 aangehouden.
De gemiddelde COP van de warmtepomp bedraagt 4.

Indien jaarlijks 152 MWh_t aan warmte en 152 MWh_c aan koude wordt onttrokken aan de bodem, bedraagt de besparing in het primair aardgasverbruik 23.000 m³ aardgas-equivalenten per jaar. Dit komt neer op een primaire energiebesparing van 59%. Deze energiebesparing resulteert in een jaarlijkse emissiereductie van 40 ton (55%) koolstofdioxide (CO₂) en 50 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.

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	geohydrologie	doorlaatvermogen [kD] of weerstand [c]
0 - 3	matig fijn tot grof zand	freatisch pakket	$kD = 30 \text{ m}^2/\text{d}$
3 - 8	klei, afgewisseld met matig grof zand	deklaag	$c = 500 \text{ d}$
8 - 11	fijn tot zeer fijn zand, mogelijk slibhoudend	eerste watervoe- rende pakket	$kD = 60 \text{ m}^2/\text{d}$
11 - 20	klei afwisselend met fijn tot zeer fijn zand	eerste scheidende laag	$c = 500 \text{ d}$
20 - 75	matig fijn tot matig grof zand, kleilagen kunnen voorkomen	tweede watervoe- rende pakket	$kD = 700 \text{ m}^2/\text{d}$
75 - 80	klei	tweede scheidende laag	$c = 2.500 \text{ d}$

* het maaiveld bevindt zich op circa 3,5 m-NAP

Met behulp van de formule van Shepherd [Lit. 1] is een gemiddeld doorlaatvermogen van het eerste en het tweede watervoerende pakket bepaald. Op basis van de boorbeschrijvingen is de weerstand (c in dagen) van de deklaag en de eerste en tweede scheidende laag ingeschat. Voor de weerstand is uitgegaan van een doorlaatfactor van gemiddeld 0,01 m/d voor klei, 0,015 voor leem en 0,005 voor veen.

Aquiferkeuze

Het energieopslagsysteem wordt beoogd in het tweede watervoerende pakket. Het eerste watervoerende pakket is vanwege haar geringe diepte en dikte technisch gezien niet geschikt voor de toepassing van energieopslag.

3.2 Grondwaterstroming/grondwaterstand

Grondwaterstand

De grondwaterstand op de locatie is gemiddeld 1,50 m-mv en varieert tussen 1,40 en 1,65 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 regionale horizontale grondwaterstroming in het tweede watervoerende pakket bedraagt 5 a 10 m/a. Uit het isohypsenbeeld (zie figuur 3.1) volgt dat het grondwater globaal in noordnoordwestelijke richting stroomt.

Oppervlaktewater

Op en in de omgeving van de projectlocatie is geen oppervlaktewater aanwezig.

3.3 Grondwaterkwaliteit en -temperatuur

Volgens de Grondwaterkaart en REGIS ligt het grensvlak tussen zoet en brak grondwater ter plaatse van de locatie op circa 190 m-mv. Het tweede watervoerende pakket is derhalve zoet.

De temperatuur van het grondwater in het tweede watervoerende pakket bedraagt circa 11 °C [Lit. 2].

3.4 Grondwatergebruikers

Binnen het berekende hydrologische invloedsgebied (zie tabel 4.2b) bevinden zich geen grondwatergebruikers.

3.5 Andere belanghebbenden

De locatie is niet gelegen in of nabij een beschermd natuurmonument, een grondwaterbeschermingsgebied of een Vogel-/Habitatrichtlijngebied. De locatie is niet gelegen binnen een gebied dat deel uitmaakt van de (Provinciaal) Ecologische Hoofdstructuur.

Via het Natuurloket (www.natuurloket.nl) is een inventarisatie gemaakt van de prioritaire soorten die voorkomen in het kilometerhok waarin de locatie gelegen is (tabel 3.2). Uit deze inventarisatie blijkt dat drie soortgroepen onder de Flora- en fauna wet vallen en twee soortgroepen op de Rode Lijst staan.

Tabel 3.2 Verspreiding prioritaire soorten in het kilometerhok x= 104/y=400*

Soortgroep	FF1*	FF23*	H/V*	RL*	Volledigheid*	Detail*	Actualiteit*
Vastplanten	2			1	goed	-	1991-2006
Mossen					niet		1996-2006
Korstmossen					niet		1991-2006
Paddestoelen					niet		1991-2006
Zoogdieren					niet		1996-2006
Broedvogels		5		3	slecht	0%	1995-2006
Watervogels		37			goed	0%	96/97-03/04
Reptielen					niet		1992-2006
Amfibieën					niet		1992-2006
Vissen					niet		1992-2006
Dagvlinders					slecht	51-100%	1995-2006
Nachtvlinders					niet		1980-2005
Libellen					niet		1992-2006
Sprinkhanen					redelijk		1992-2006
Overige ongewervelden					niet		1992-2006

* Bron: www.natuurloket.nl

De locatie is niet gelegen nabij een archeologisch en/of aardkundig waardevol gebied.

3.6 Bodem- en grondwaterverontreinigingen

Bij de gemeente Etten-Leur is een overzicht aangevraagd van de bodem- en grondwaterverontreinigingen in de onmiddellijke omgeving van de locatie. In het freatisch pakket zijn meerdere kleine grond- en grondwaterverontreinigingen aanwezig. De verontreinigingen zijn niet dieper doorgedrongen dan de freatische laag (maximaal 3 m-mv).

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 MLPU (Multi Layer Program Unsteady state). Met MLPU kunnen zowel stationaire als niet-stationaire berekeningen worden uitgevoerd. Het programma berekent analytisch de stroming in afgesloten, gedeeltelijk afgesloten en freatische watervoerende pakketten. In het model wordt de bodemopbouw geschematiseerd tot (isotrope) watervoerende pakketten en scheidende lagen. In MLPU is in een watervoerend pakket alleen horizontale stroming mogelijk en in een scheidende laag alleen verticale stroming. Met MLPU kunnen alleen stijghoogten in de watervoerende pakketten berekend worden. Een stijghoogteberekening in een scheidende laag is niet mogelijk. MLPU is een gevalideerd modelprogramma. Informatie over MLPU is te vinden op het internetadres:
http://ourworld.compuserve.com/homepages/philip_nienhuis/.

4.1.2 Schematisatie

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 4.1 is deze schematisatie weergegeven.

Tabel 4.1 Schematisatie bodemopbouw voor modellering

d [m-mv]	toelichting	$k_h D$ [m ² /d]	c [d]
1,5*	gesloten bovenrand	-	∞
1,5-3	freatisch watervoerend pakket	30	-
3 - 8	deklaag	-	500
8 - 11	1 ^o watervoerend pakket	60	-
11 - 20	1 ^o scheidende laag	-	500
20 - 25	deellaag 2 ^o watervoerend pakket boven bronfilter	64	-
25	fictieve scheidende laag	-	3
25 - 55	deellaag 2 ^o watervoerend pakket (opslagpakket)	382	-
55	fictieve scheidende laag	-	4
55 - 75	deellaag 2 ^o watervoerend pakket onder bronfilter	254	-

* Uit nabijgelegen peilbuis B44C0272 blijkt dat de grondwaterstand ongeveer op 1,5 m-mv ligt. Deze peilbuis ligt op het volgende x coördinaat: 103990 en y coördinaat: 400570.

Fictieve scheidende lagen

Uit tabel 4.1 blijkt dat bij de schematisatie gebruik wordt gemaakt van zogenaamde "fictieve" scheidende lagen. In werkelijkheid zijn deze lagen fysiek niet aanwezig.

Tweede watervoerende pakket

Met behulp van een fictieve scheidende laag kan een watervoerend pakket in een aantal sublagen worden onderverdeeld, bijvoorbeeld als de filters van de bronnen slechts een gedeelte van het watervoerende pakket beslaan. Door het onderverdelen van het tweede 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 lagen zijn berekend met de formule $c = D/k_{ver}$, waarbij D de som is van de helft van de dikten van de boven- en onderliggende lagen en k_{ver} de verticale doorlatendheid. De verticale doorlatendheid in het tweede watervoerende pakket bedraagt circa 50 % van de horizontale doorlatendheid.

Oppervlaktewater

In de omgeving van de locatie is geen oppervlaktewater aanwezig. In het grondwatermodel is daarom een gesloten bovenrand (oneindige weerstand) gedefinieerd.

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 32 m³/h. In de praktijk zal het energieopslagsysteem slechts gedurende een zekere periode op maximaal debiet draaien. De stationaire situatie met betrekking tot de freatische grondwaterstand wordt daardoor niet bereikt. De resultaten van de berekeningen aan de freatische grondwaterstand zijn daarom een overschatting van de werkelijk optredende effecten.

4.2 Stijghoogteveranderingen

De MLPU-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- c.q. stijghoogteveranderingen merkbaar zijn. Dit is het zogenaamde invloedsgebied, dat wordt gedefinieerd als het gebied waar de veranderingen groter zijn dan 0,05 m.

Effecten energieopslag

In figuur 4.1 zijn de stijghoogteveranderingen in het tweede watervoerende pakket (opslagpakket) in de zomersituatie gepresenteerd. De maximale grondwaterstand- respectievelijk stijghoogteveranderingen in de watervoerende pakketten zijn in tabel 4.2a weer gegeven. De grootte van de invloedsgebieden in de verschillende pakketten worden in tabel 4.2b vermeld. In de zomer- en wintersituatie zijn de grondwater- en stijghoogteveranderingen even groot, maar tegengesteld.

Tabel 4.2a Maximale grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen		
parameter	eenheid	zomer- en wintersituatie
$\Delta h_{\max}$	[m]	0
$\Delta h_{1, \max}$	[m]	0,02
$\Delta h_{2, \max}$	[m]	1,70

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

Tabel 4.2b Grootte invloedsgebieden [m]	
watervoerende laag	zomer- en wintersituatie
deklaag	-
1 ^e watervoerende pakket	-
2 ^e watervoerende pakket (opslagpakket)	220

4.3 Invloed op grondwatergebruikers

Binnen het berekende hydrologische invloedsgebied van het beoogde energie-opslagsysteem bevinden zich geen andere energieopslagsystemen of grondwateronttrekkingen. Van hydrologische invloed op andere grondwatergebruikers is derhalve geen sprake.

4.4 Invloed op andere belanghebbenden

De berekende grondwaterstandveranderingen zijn zodanig klein dat aan maaiveld levende flora en fauna niet nadelig wordt beïnvloed. Ook van schade aan monumenten, archeologie, infrastructuur, landbouwgewassen en natuurgebieden 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-2D. Met het programma HstWin-2D kan warmte- en stoftransport worden berekend in een verzadigd 2-dimensionaal grondwatersysteem.

De randvoorwaarden in het HstWin-2D-model zijn gebaseerd op de geohydrologische beschrijving in hoofdstuk 3. HstWin-2D simuleert de grondwaterstroming en het warmte-transport in één laag. De dikte van deze laag is gelijk gesteld aan de beoogde lengte van de bronfilters (30 m). Deze vereenvoudiging van de werkelijkheid is gerechtvaardigd, omdat uit 3-dimensionale berekeningen met HstWin-3D is gebleken dat het warmte- en koudetransport voornamelijk ter hoogte van het filtertraject plaatsvindt. In deze berekening is het watervoerende pakket als een afgesloten watervoerend pakket beschouwd (geen verticale voeding). Wel vindt warmte-uitwisseling met boven- en onderliggende lagen plaats door middel van geleiding. In tabel 5.1 zijn de belangrijkste geohydrologische en geothermische invoerparameters opgenomen die bij de berekeningen zijn gebruikt. De warmtegeleidingscoëfficiënten en de warmtecapaciteiten zijn ontleend aan de VDI 4640, Blatt 1/part 1 [Lit. 3].

Tabel 5.1 Modelschematisatie HstWin-2D

laagnaam	D [m]	k_h [m/d]	λ [W/(mK)]	C [MJ/(m ³ K)]
geleidende toplaag	-	-	2,1	2,5
opslagpakket	30	13	2,4	2,5
geleidende onderlaag	-	-	2,1	2,5

De thermische verliezen worden veroorzaakt door geleiding, dispersie en afstroming.

Op basis van het onttrekkings-/infiltratiepatroon weergegeven in tabel 5.2 is het grondwatersysteem thermisch doorerekend met het programma HstWin-2D.

Tabel 5.2 Onttrekkings-/infiltratiepatroon (maximale situatie)

seizoen	bedrijfstoestand	onttrekken uit	infiltreren in	V [m³/a]	T _i [°C]
winter	warmtelevering	W	K	67.200	9,5
lente	-	-	-	-	-
zomer	koudelevering	K	W	67.200	12,5
herfst	-	-	-	-	-

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 11 °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 50 m vanaf de bronnen.

5.3 Invloed op overige grondwatergebruikers

Binnen het berekende thermische invloedsgebied van het beoogde energieopslag-systeem bevinden zich geen andere grondwatergebruikers. Van thermische beïnvloeding is derhalve geen sprake.

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.

Om een ongewenst verlies aan bruikbaarheid, schade of hoge onderhoudskosten aan infrastructuur en constructies te voorkomen mag de zetting volgens NEN 6740 [Lit. 4] 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 MLPU 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.

6.2 Zettingen

Op basis van de bovengenoemde uitgangspunten is een eindzetting van circa 2 mm berekend voor het gebied direct naast de bronnen (zie bijlage 2). Aan de rand van het berekende hydrologisch invloedsgebied bedraagt de berekende eindzetting kleiner dan 1 mm.

Het zettingsverhang bedraagt in de directe nabijheid van de bronnen (binnen 10 m rondom de bronnen) maximaal 1 m per 25.000 m.

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

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 Waterkwaliteitsveranderingen in grondwatercircuit

Het grondwatercircuit zal van het gebouwcircuit door middel van warmtewisselaars volledig gescheiden worden gehouden. Het gebouwcircuit wordt gevuld met leidingwater. Indien door slijtage aan de warmtewisselaar een lekkage zou ontstaan waarbij water van het secundaire circuit naar het grondwatercircuit zou kunnen lekken, zal dit direct worden gesignaleerd door een drukdaling in het secundaire circuit.

Overigens komt het grondwater alleen in aanraking met leidingen, pompen en andere standaard componenten. Deze componenten bestaan uit HDPE, PVC, roestvast staal, brons, rubber en kunststof coatings. Deze materialen zullen geen significante verandering in de samenstelling van het grondwater teweeg brengen [Lit. 5]. Bovendien wordt het grondwatercircuit luchtdicht en onder overdruk gehouden, zodat contact van het grondwater met de atmosfeer is uitgesloten. Dit betekent dat het in het grondwater aanwezige ijzer in oplossing zal blijven. In het grondwatercircuit ontstaat derhalve geen verandering van de grondwaterkwaliteit.

7.3 Invloed op het zoet-/brakgrensvlak

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

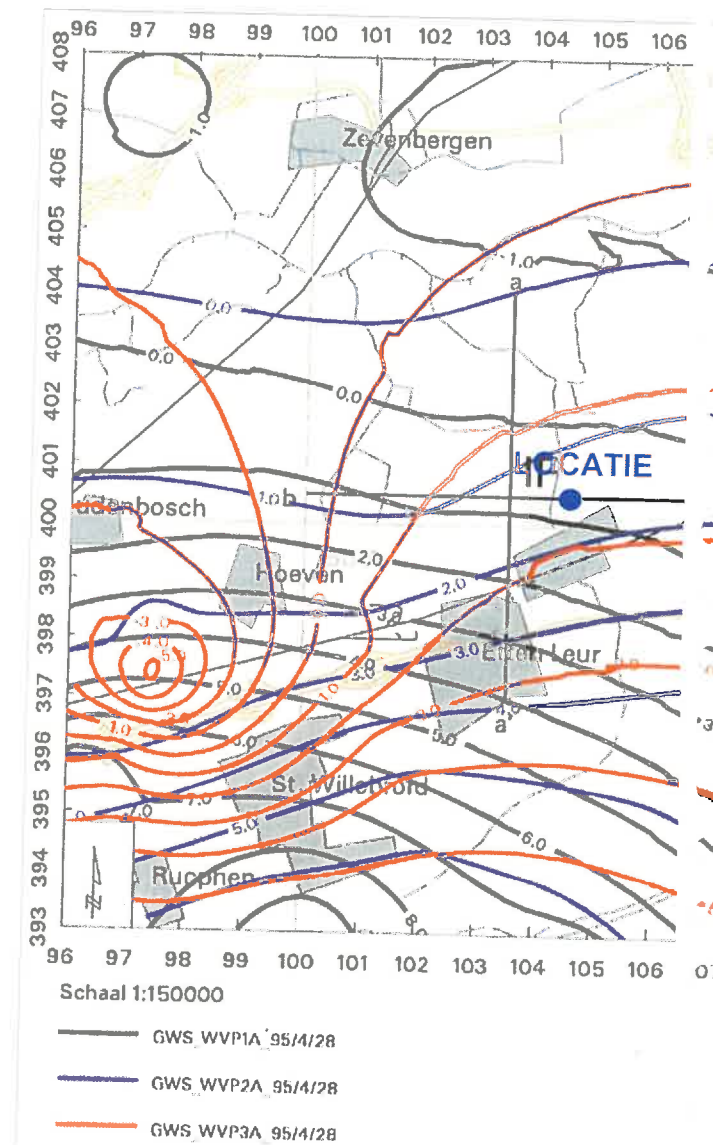
7.4 Invloed op bodem- en grondwaterverontreinigingen

Aangezien de beoogde energieopslag geen effecten genereert op de stijghoogte in het freatische watervoerende pakket zal geen van de in hoofdstuk 3 genoemde verontreinigingen 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] Adviesbureau, Heidemij, 1983 - Literatuurstudie micro-biologische aspecten van de toepassing van warmteopslag in aquifers. Arnhem.

Figuren

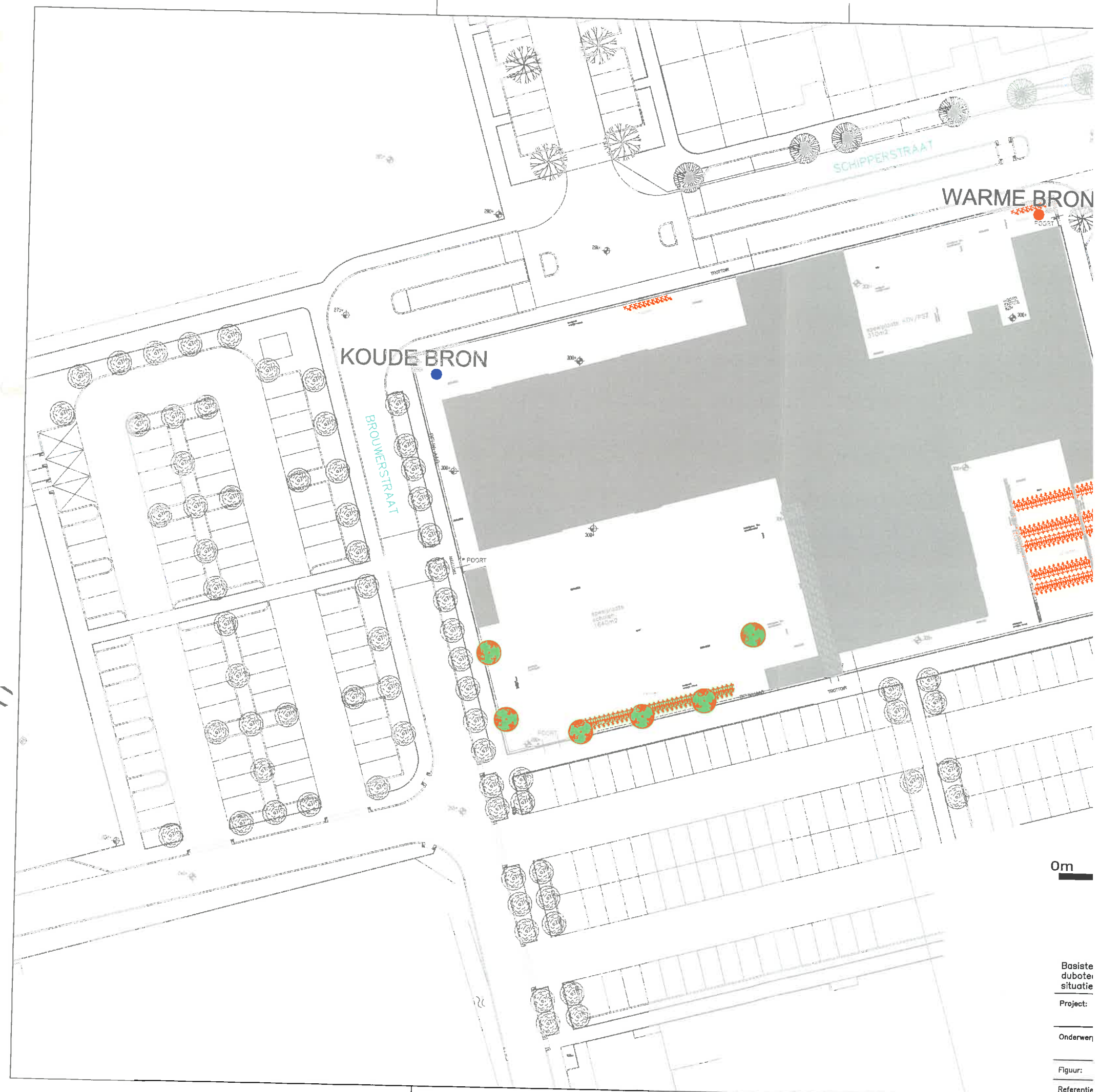


Project: Energieopslag Brede School te

Onderwerp: Isohypsenpatroon 1e, 2e en 3e Bron: Regis-nb

Figuur: 3.1 Status: definitief Stadium:

Referentie: 57527/PW Getek.: JU Schaal:



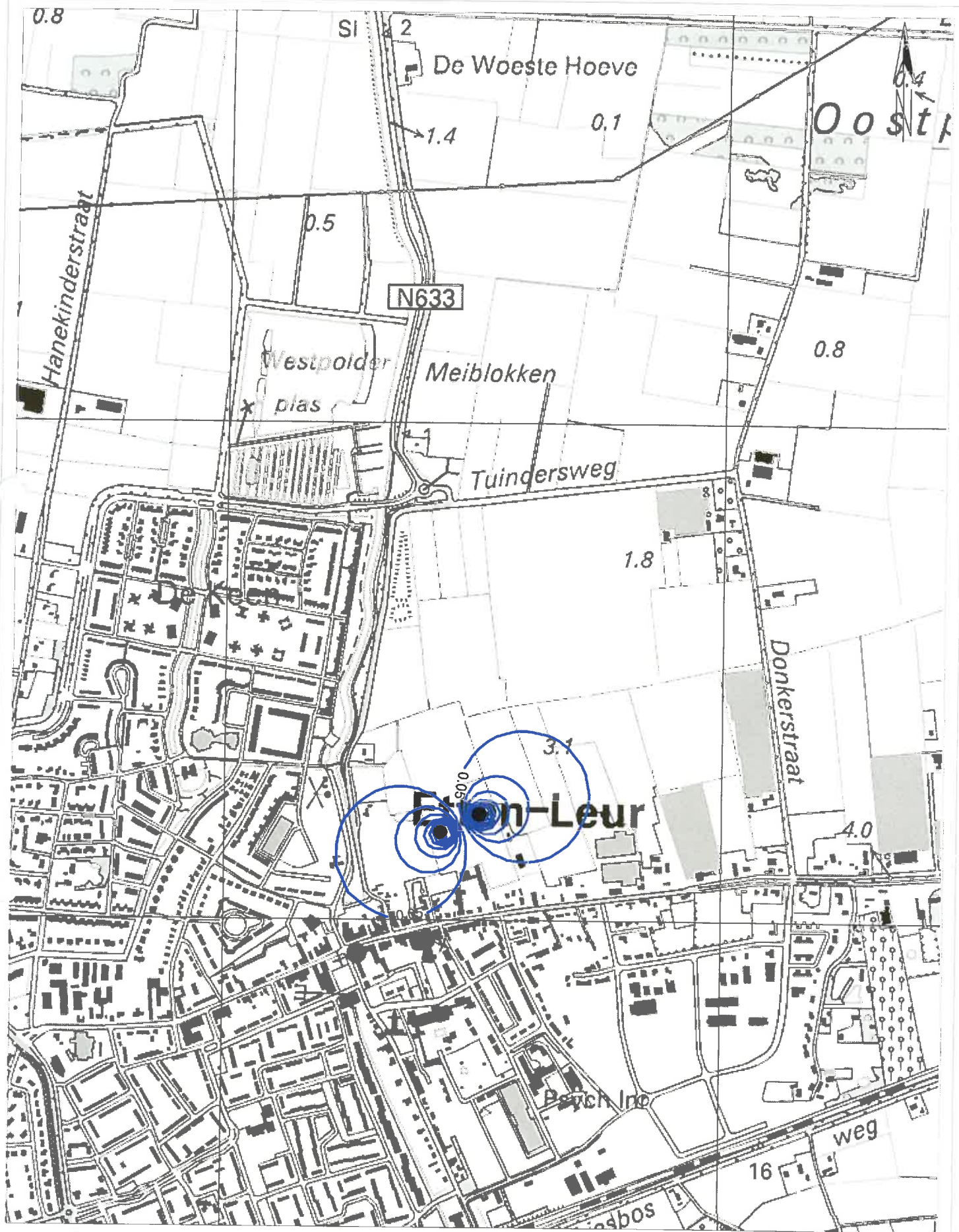
Basiste
dubote
situatie

Project:

Onderwerp:

Figuur:

Referentie:



© Topografische Dienst Kadaster, Emmen [2008]

Project: Energieopslag Brede School te Etten-Leur

Datum:
A: 30-03-2008
B: -

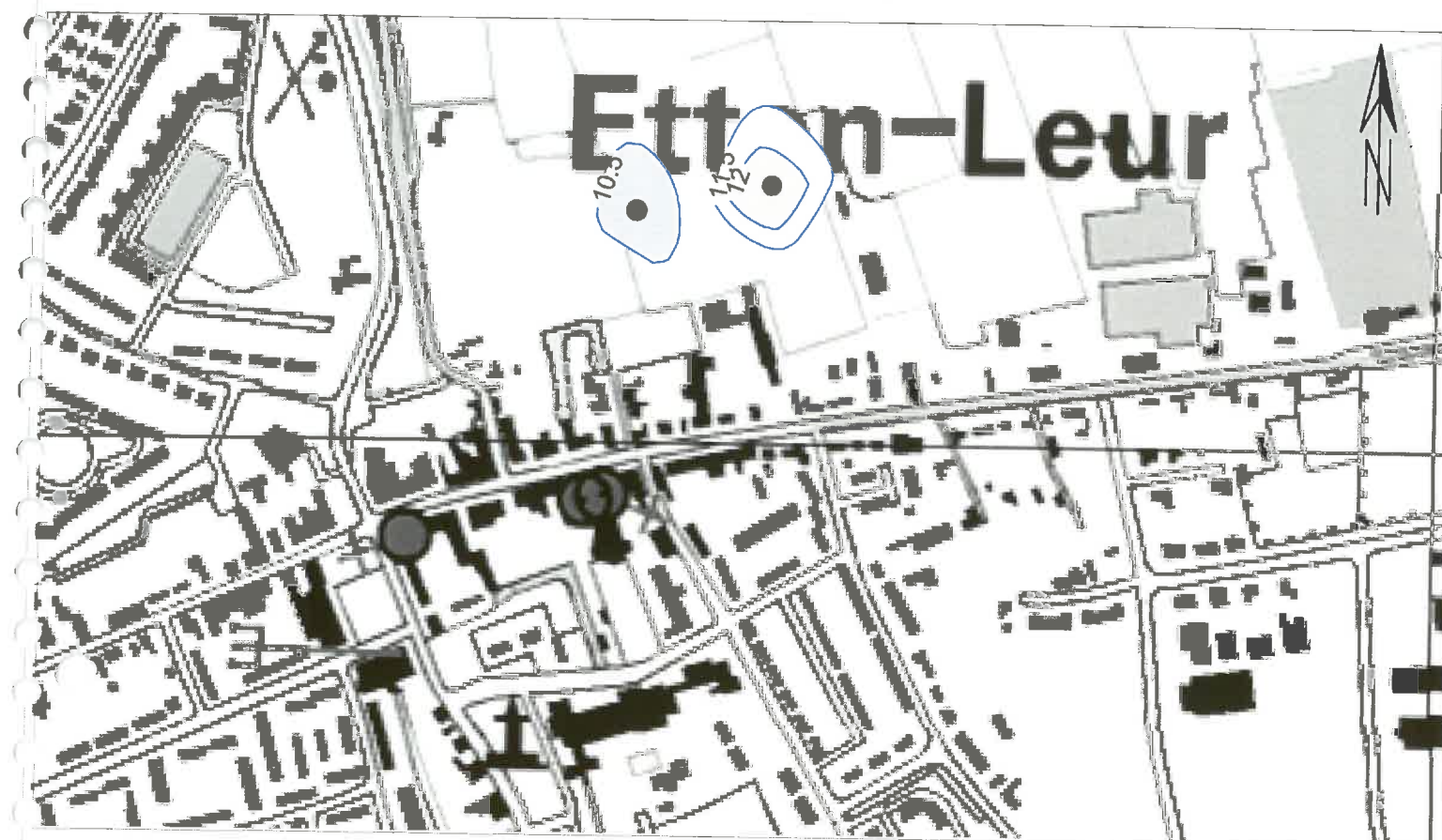
Onderwerp: Berekende stijghoogteveranderingen
in het opslagpakket [m].

Figuur: 4.1 Status: definitief Stadium: effectenstudie

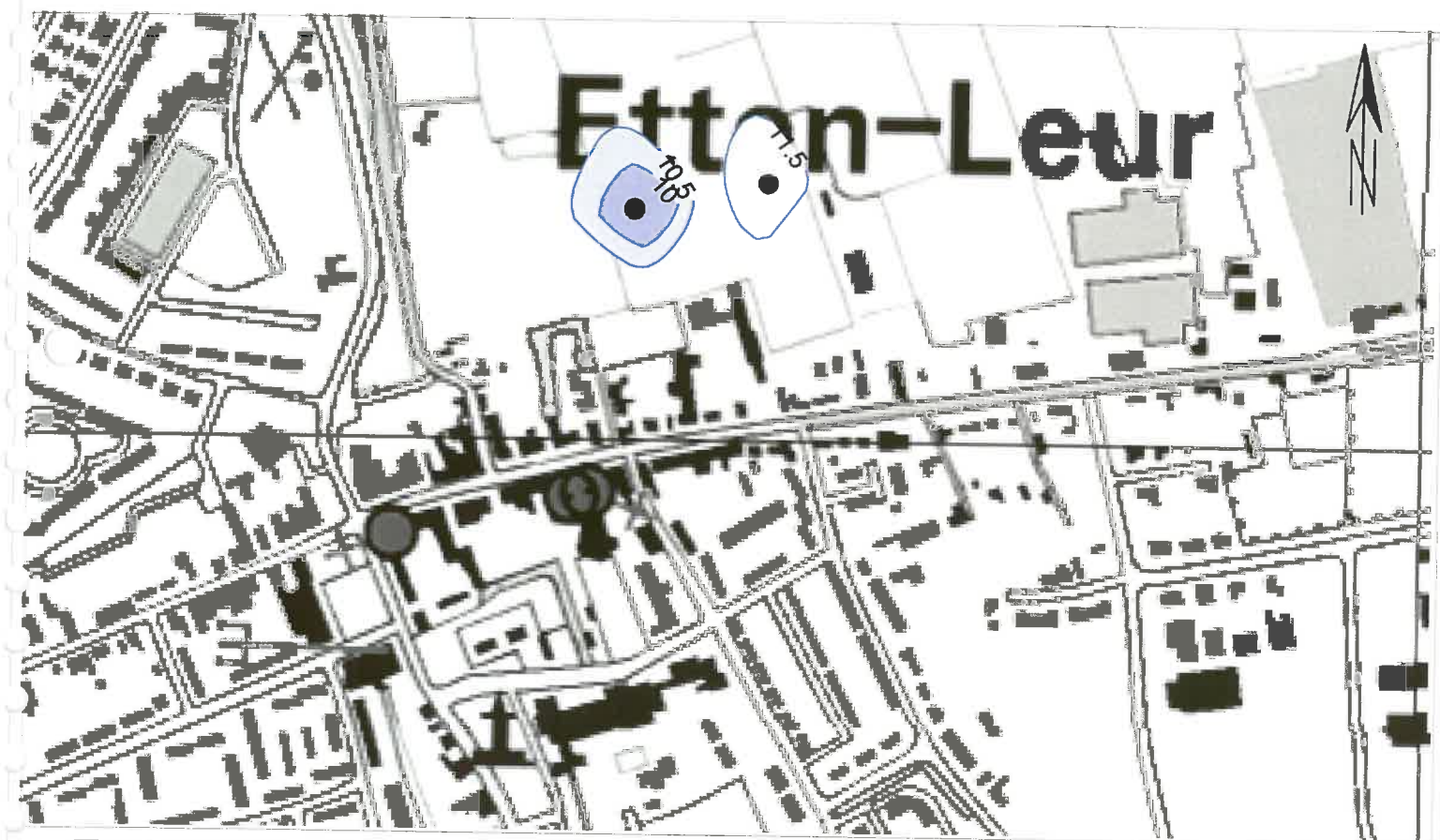
Referentie: 57527/PW Getek.: JU Schaal: - Maat: m Form.: A4



situatie einde zomer



situatie einde winter



0 50 100 150 200 250

© Topografische Dienst Kadaster, Emmen [2008]

Project: Energieopslag Brede School te Etten-Leur

Datum:
A: 30-03-2008
B: -

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

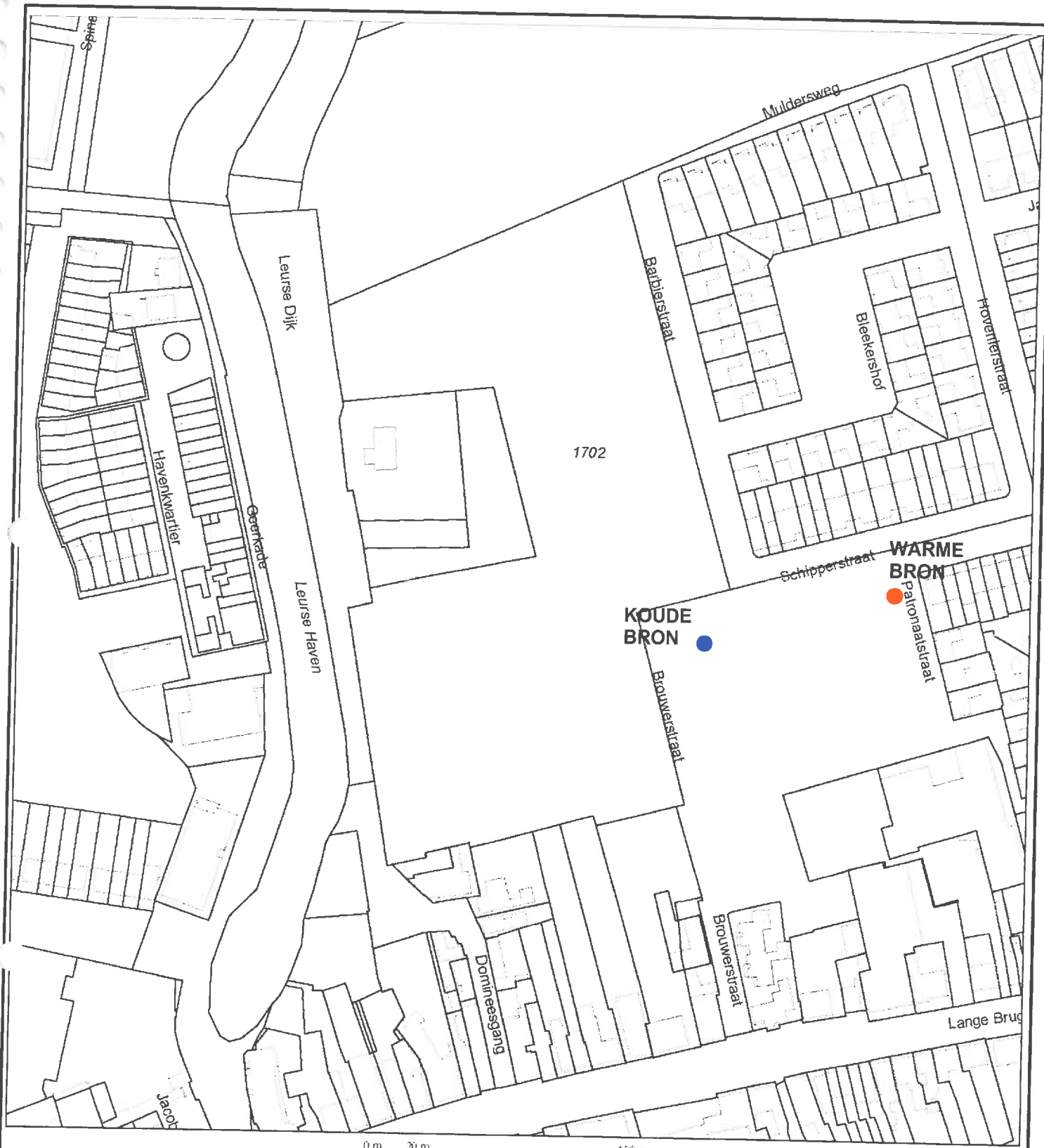
Figuur: 5.1 Status: definitief Stadium: effectenstudie

Referentie: 57527/PW Getek.: JU Schaal: - Maat: m Form.: A4



Bijlage 1

Kadastrale kaart met bronlocaties



Deze kaart is noordgericht

12345 Perceelnummer
Huisnummer

Kadastrale grens
Bebouwing
Overige topografie

Kadastrale gemeente
Sectie
Perceel

ETTEN-LEUR
D
1702

Voor een eensluidend uittreksel, BREDA, 21 maart 2008
De bewaarder van het kadaster en de openbare registers

Aan dit uittreksel kunnen geen betrouwbare maten worden ontleend.
De Dienst voor het kadaster en de openbare registers behoudt zich de intellectuele
eigendomsrechten voor, waaronder het auteursrecht en het databankrecht.

Project:	Energieopslag Brede School te Etten-Leur		Datum:	A: 30-03-2008 B: -	
Onderwerp:	Kadastrale kaart met bronlocaties				
Bijlage:	1	Status:	definitief	Stadium:	effectenstudie
Referentie:	57527/PW	Getek:	JU	Schaal:	-
		Maat:		Form:	A4

Bijlage 2

Berekening van de zetting

Zettingsberekening

Versie 29 september 2004

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



Projectnaam: De Brede School Schoenmakershoek
Projectnummer: 57527
Datum berekening: 28-3-2008
Rapport: Effectenstudie
Specialist: JU
Opmerking(en): eindzetting nabij grondwaterbronnen

Gebruikte formule van Terzaghi:

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

GLG: 1,65 m-mv

Materiaal	[m-mv] diepte	[m] Dikte	ΔH	[-] C_p	[-] C_s	[-] C_{onein}	[kg/m ³] ρ	[N/m ²] σ_k	[N/m ²] $\Delta \sigma_k$	[m] Z
	0									
Onverz. zone	1,65	1,65		-	-	-	1600	-		0,000
	1,65									
zand		1,35	0,005	600	1E+99	600	2000	32520,15	49,05	0,000
	3									
klei/zand		5		100	400	50	1900	61214,4	73,575	0,000
	8									
zand		3	0,01	600	1E+99	600	2000	98001,9	98,1	0,000
	11									
klei/zand		9		100	600	60	1900	152447,4	1976,72	0,002
	20									
zand		5	0,393	1000	1E+99	1000	2000	216702,9	3855,33	0,000
	25									
zand		30	1,694	1000	1E+99	1000	2000	388377,9	16618,1	0,000
	55									
zand		20	0,191	1000	1E+99	1000	2000	633627,9	1873,71	0,000
	75									

Verklaring van de parameters:

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

Totale zetting [mm] 2

