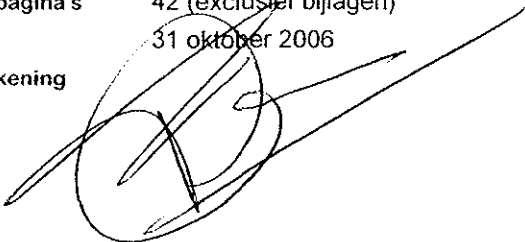


2055-14

**Warmte-/koudeopslag
Stationsgebied Utrecht**

31 oktober 2006

Verantwoording

Titel	Warmte-/koudeopslag Stationsgebied Utrecht
Opdrachtgever	Gemeente Utrecht
Projectleider	Ferry van den Oever
Auteur(s)	Willem Capel, Liesbeth van Doorn en Twan Gielen
Projectnummer	4447268
Aantal pagina's	42 (exclusief bijlagen)
Datum	31 oktober 2006
Handtekening	

Colofon

Tauw bv
afdeling Water, Ruimte & Riolering
Australiëlaan 5
Postbus 3015
3502 GA Utrecht
Telefoon (030) 282 48 24
Fax (030) 288 94 84

Dit document is eigendom van de opdrachtgever en mag door hem worden gebruikt voor het doel waarvoor het is vervaardigd met inachtneming van de rechten die voortvloeien uit de wetgeving op het gebied van het intellectuele eigendom. De auteursrechten van dit document blijven berusten bij Tauw. Kwaliteit en verbetering van product en proces hebben bij Tauw hoge prioriteit. Tauw hanteert daartoe een managementsysteem dat is gecertificeerd dan wel geaccrediteerd volgens:

- NEN-EN-ISO 9001

Kenmerk R001-4447268HWC-ber-V03-NL

Inhoud

Verantwoording en colofon	5
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Doel	9
1.3 Leeswijzer	10
2 Uitgangspunten	11
2.1 Beschikbare informatie	11
2.2 Energetische uitgangspunten	12
2.3 Bestaande WKO-systemen	13
3 Geohydrologie	19
3.1 Bodemopbouw	19
3.2 Grondwaterstroming	20
3.3 Grondwaterkwaliteit	21
3.4 Oppervlaktewater	21
3.5 Grondwaterwinningen	22
3.6 Beleid provincie	22
3.7 Conclusie	22
4 Voorontwerp I: bepaling aantal doublets	23
4.1 Algemeen	23
4.2 Berekening ontwerpsnelheid op de boorgatwand	23
4.3 Berekening filterlengte en aantal doublets	24
5 Voorontwerp II: bepaling locatie bronnen	27
5.1 Algemeen	27
5.1.1 Algemene uitgangspunten	27
5.2 Basisscenario	28
5.2.1 Optimalisatie voor thermische situatie	29
5.2.2 Optimalisatie voor bodemverontreinigingen	31
6 Voorontwerp III: Ondergronds ruimtebeslag WKO	35
6.1 Randvoorwaarden en uitgangspunten	35
6.2 Optimalisatie thermische situatie	36

6.3	Optimalisatie voor grondwaterstanden	36
6.3.1	Drooglegging.....	36
6.3.2	Verandering grondwaterstand.....	37
6.4	Zettingen	37
6.5	Inpassing alternatief ontwerp bronnen NS.....	38
6.5.1	Additionele uitgangspunten.....	38
6.5.2	Resultaten	39
7	Conclusies en aanbevelingen.....	41
7.1	Conclusies	41
7.2	Aanbevelingen	42

Bijlage(n)

1. Uitgangspunten energiebehoeften projectdelen (Techniplan)
2. Kaartbeelden geohydrologie en randvoorwaarden
3. Berekeningsmethode effecten op grondwaterstanden, thermische beïnvloeding en effecten op bodemverontreiniging
4. Resultaten basisscenario
5. Resultaten optimalisatie voor thermische situatie
6. Resultaten optimalisatie conceptscenario
7. Scenario 5 bij gebruik factor 1
8. Inplaatsing alternatief ontwerp bronnen NS

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Op initiatief van Gemeente Utrecht, Corio, NS Vastgoed en Jaarbeurs wordt het gebied rond het Centraal Station Utrecht de komende jaren ingrijpend geherstructureerd. De 'Aanpak van het Stationsgebied' bestaat onder andere uit uitbreiden van de voorzieningen van het centrum, zoals wonen, werken, winkels en vrijetijdsbesteding. Daarnaast is het Utrechts Stationsgebied benoemd tot Nieuw Sleutelproject (hogesnelheidslijn) en onderdeel van de Deltametropool (hoogwaardig openbaar vervoer).

Voor de bouw van voorgenomen voorzieningen is, vanwege de steeds scherper wordende EPC-eisen, efficiënt verwarmen en koelen van gebouwen noodzakelijk. Er bestaan verschillende methoden om dat te doen, waaronder energieopslag in bodem.

In een, in opdracht van de gemeente Utrecht, door TNO uitgevoerde 'Quickscan ondergrond Stationsgebied Utrecht' (NITG 03-183-B d.d. 24 oktober 2003) wordt aangegeven dat de aanleg van warmte-koudeopslag systemen ten zeerste aan te bevelen is.

Vanwege de herstructurering van het Stationsgebied hebben de Gemeente Utrecht, Corio en NS Vastgoed aan Tauw bv de opdracht verleend om de mogelijkheden te onderzoeken voor de aanleg van warmte-koudeopslag systemen binnen het Stationsgebied.

Warmte-koudeopslag heeft als voordeel dat het een duurzaam energiesysteem is ('brandstof' is oneindig, reductie CO₂-uitstoot en fijnstof, geen milieuschade voor ontginning) en strategisch-economisch systeem is (economische investeringswaarde, risicobeperking energieprijspeil wijzigingen).

1.2 Doel

Het beoogde resultaat van dit onderzoek is een vorm van een ondergrondsbestemmingsplan die aangeeft binnen welke plangrenzen partijen warmte-koudeopslag systemen (WKO-systemen) kunnen aanleggen, inclusief het bijbehorende debiet van de bronnen (gerelateerd aan het gewenste vermogen) opdat de WKO-systemen naar behoren kunnen functioneren, zonder elkaar negatief te beïnvloeden.

Het uiteindelijke resultaat moet voldoende basis bieden om in een later stadium daadwerkelijk een vergunning aan te kunnen vragen bij het bevoegd gezag.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de uitgangspunten van deze studie opgenomen. Hierin is ook de gevraagde energiebehoefte voor de ondergrond weergegeven. Hoofdstuk 3 bevat de geohydrologische situatie ter plaatse. Vervolgens is in hoofdstuk 4 en 5 een voorontwerp voor het WKO-systeem opgenomen. Hoofdstuk 6 bevat vervolgens de effecten van het WKO-systeem op de omgeving (grondwaterstandsveranderingen/temperatuurveranderingen et cetera).

2 Uitgangspunten

2.1 Beschikbare informatie

Onderstaand is een opsomming gegeven van de aangeleverde informatie door de opdrachtgever en verzameld door Tauw. Het onderzoeksgebied loopt grofweg van x-coördinaat 134.000 bij y-coördinaat 454.000 tot x-coördinaat 138.000 bij y-coördinaat 458.000.

Bodemopbouw

- Grondwaterkaart van Nederland, 31 Oost, 32 West, 38 Oost, 39 West (Gun, J.A.M. van de, 1978 TNO)
- Grondwaterplan van Provincie Utrecht
- Gegevens, bodemopbouw en grondwaterstanden, uit Dino-loket (TNO-NITG)
- Bodemonderzoek Stationsgebied d.d. mei 2006
- Sonderingen ter plaatse van Muziekpaleis en parkeergarage Vredenburg

Bodemverontreinigingen

- Notitie IF (Bodemsanering NS terrein) d.d. 21 februari 2002
- Aanvullende informatie geleverd door de gemeente Utrecht (de heer Minten)
- Bodemonderzoek Stationsgebied d.d. mei 2006

Verleende vergunningen (info Provincie Utrecht)

Rabobank

- Koudeopslag hoofdkantoor Rabobank Utrecht, geohydrologische studie d.d. februari 1998, IF
- Grondwateronderzoek d.d. april 1999, IF
- Effectenstudie grondwatersysteem d.d. maart 2001, IF
- Vergunning (nr. 2002WEM000117i) d.d. 15 januari 2002

Jaarbeurs

- Koudeopslag Jaarbeurs Utrecht, Effectenstudie grondwatersysteem Clusters I, II en III d.d. augustus 1998, IF
- Vergunning (nr. 1999WEM000630i) d.d. 16 maart 1999
- Meetrapportage 2001 d.d. juni 2002 IF

Politiebureau Paardenveld

- Effectenstudie Warmte-koudeopslag d.d. januari 2005 Technisch adviesburo Becks
- Vergunning (nr. 2005WEM002877i) 12 juli 2005

Grand hotel Karel V

- Vergunning (nr. 2000WEM000092i) 12 januari 2000

Plangegevens

- Masterplan Stationsgebied def. september 2004
- Situering huidige ligging kabels en leidingen, riolering, duiker, warmte, HS, water en gas d.d. 1 november 2005
- Voorstel nieuwe kabels en leidingen tracé d.d. 1 november 2005

Energetische uitgangspunten

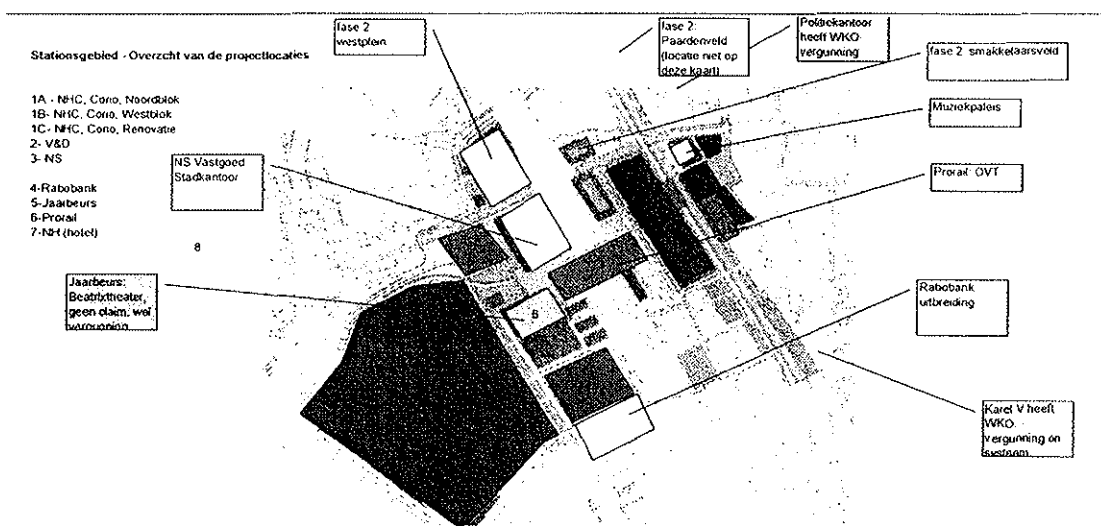
- Energiestudie Masterplan Stationsgebied Utrecht d.d. 15 augustus 2005, Ecofys en Deerns raadgevende ingenieurs b.v.
- Concept Energiegegevens Stationsgebied d.d. 18 juli 2006, Techniplan adviseurs b.v.
- Energiegegevens Stationsgebied d.d. 5 oktober 2006, Techniplan adviseurs b.v.

Archeologie

- Digitale ondergrond bekende archeologische gegevens rondom Vredenburg

2.2 Energetische uitgangspunten

In figuur 2.1 is de situering van de bestaande als geplande nieuwbouwwerken weergegeven.



Figuur 2.1 Overzicht van de projectlocaties (bron: Techniplan adviseurs b.v.)

Een tabel met uitgangspunten van de energiebehoeften van de projectdelen, opgesteld door Techniplan is opgenomen als bijlage 1.

In overleg met de betrokken partijen is besloten om voor deze studie uit te gaan van afzonderlijke WKO-systemen per deelnemende partij. Dit betekent dat er minimaal vier individuele WKO-systemen zullen worden bekeken.

2.3 Bestaande WKO-systemen

Binnen het plangebied bevinden zich een viertal bestaande WKO-systemen. Deze dienen te worden meegenomen in de studie om eventuele nadelige effecten te voorkomen. De capaciteiten van de vergunde systemen zijn weergegeven in tabel 2.1.

Tabel 2.1 Gegevens bestaande WKO-systemen (vergunning)

Gebouw	Maximale capaciteit (m ³ /uur)	Gemiddelde capaciteit (m ³ /jaar)	Maximaal capaciteit (m ³ /jaar)
Rabobank	280	1.200.000	1.400.000
Jaarbeurs	1.700	?	774.000
Karel V	?	30	?
Paardenveld	180	?	520.000

In tabel 2.2 zijn de details weergegeven van de bestaande WKO-systemen

Kenmerk R001-4447268HWC-ber-V03-NL

Kenmerk R001-4447268HWC-ber-V03-NL

Tabel 2.2 Detail gegevens bestaande systemen (effecten-studies)

Uitgangspunten	Jaarbeurs I winter	Jaarbeurs I zomer	Jaarbeurs II winter	Jaarbeurs II zomer	Jaarbeurs III winter	Jaarbeurs III zomer	Rabobank winter	Rabobank zomer	Paardenveld winter	Paardenveld zomer	Karel V winter	Karel V zomer
Maximaal capaciteit (m ³ /jaar)							700.000	700.000	520.000	520.000		
Gemiddelde capaciteit (m ³ /jaar)	138.000	120.000	138.000	120.000	138.000	120.000	600.000	600.000	350.000	350.000		
Maximale capaciteit (m ³ /uur)	210	380	200	600	150	720	265	265	120	180	30	30
Maximale hoeveelheid te spuien water (m ³ /jaar)							550	550				
Gemiddelde injectie temperatuur (°C)	7	14	7	17	7	17	7	14	8	16		
Gemiddelde verplaatste hoeveelheid energie (MWh _a)	1.000	800	1.400	1.200	1.400	1.200	4.100	4.100				
Jaarbeurs I: cluster Prins Van Oranjehal												
Jaarbeurs II: cluster Margriethal												
Jaarbeurs III: cluster Bernhardhal III												

Kenmerk R001-4447268HWC-ber-V03-NL

Rabobank en Jaarbeurs hebben het voornemen om in de toekomst te gaan uitbreiden. Rabobank naar het zuidoosten en Jaarbeurs naar het zuidwesten (zie figuur 2.1).

Door de projectgroep is besloten om in deze studie geen rekening te houden met de geplande toekomstige uitbreiding van de Jaarbeurs. Met de uitbreiding van de Rabobank zal wel rekening worden gehouden.

Het maximale waterbezwaar van de uitbreiding van de Rabobank bedraagt 716 000 m³/seizoen (398 000 m³ in de zomer en 318 000 m³ in de winter). Het maximale uurdebiet bedraagt 140 m³/uur. De gegevens zijn ook opgenomen in tabel 4.1.

Kenmerk R001-4447268HWC-ber-V03-NL

3 Geohydrologie

3.1 Bodemopbouw

De regionale bodemopbouw is afgeleid uit de Grondwaterkaart van Nederland en de in paragraaf 2.1 genoemde documentatie.

In tabel 3.1 is een schematisatie gegeven van de regionale bodemopbouw.

Tabel 3.1 Regionale bodemopbouw

Diepte (m –mv)	Samenstelling	Formatie	Geohydrologische eenheid
Ca. 0 – 4*	Klei, soms veen	Betuwe	Deklaag
Ca. 4 – 45 à 50	Fijn tot grof zand, soms grindig	Twente, Krefteheye, Urk en Sterksel	1° WVP
Ca. 45 à 50 - 70	Klei, veen en slibhoudend fijn zand	Kedichem	1° scheidende laag
Ca. 70 - 100	Fijn tot grof zand, soms grindig	Kedichem, Tegelen en Harderwijk	2° WVP
Ca. 100 - 105	Klei, fijn zandig	Tegelen	2° scheidendelaag
Ca. 105 - 160	Fijn tot grof zand, afgewisseld met dunne kleilaagjes	Tegelen en Maassluis	3° WVP
Ca. > 160**	Klei	Maassluis	Hydrologische basis

* De dikte van de deklaag varieert per locatie, soms is de kleilaag afwezig/vervangen door een zandlaag

** Als gevolg van het voorkomen van verschillende kleilaagjes in het 3° WVP is het niet exact aan te geven vanaf welke diepte de hydrologische begint. In het Grondwaterplan van Provincie Utrecht is aangegeven (kaart 1) dat de hydrologische basis begint op 160 m –mv

Doorlatendheid

De doorlatendheid van het 1° watervoerend pakket is in 1994 (IF) middels een pompproef ter plaatse van het Jaarbeursterrein bepaald op 2.100 m²/d. Uitgaande van een dikte van het pakket van 45 meter betekent dit een horizontale doorlaatfactor van circa 45 m/d. In de Grondwaterkaart van Nederland is een doorlaatvermogen van 2.300 m²/d weergegeven. Dit wordt eveneens bevestigd door het Grondwaterplan (Provincie Utrecht).

Van de doorlatendheid van het 2^e watervoerendpakket zijn relatief weinig gegevens bekend; het doorlaatvermogen zal tussen de 2.000 à 4.000 m²/d liggen. Waarschijnlijk zal dit een combinatie zijn van het doorlaatvermogen van het 2^e en 3^e watervoerend pakket.

Weerstand

De weerstand van de deklaag (afgeleid uit de pompproef Jaarbeurs 1994, IF) is berekend op tien dagen. Deze zal van plaats tot plaats kunnen verschillen als gevolg van variatie in de deklaagdikte. De weerstand van de 1^e scheidende laag (Grondwaterplan) bedraagt circa 2.000 dagen. De weerstand van de 2^e scheidende laag is niet bekend.

3.2 Grondwaterstroming

De regionale richting van de grondwaterstroming van het 1^e WVP ter plaatse van het Stationsgebied is west-noordwestelijk.

Tabel 3.2 Grondwaterstromingsparameters

Geohydrologische eenheid	Stromingsrichting	k (m/d)	i (m/m)	v (m/j)	c (d)	S	Stijghoogte
Deklaag	Variabel	-	-	-	10	0,1	-
WVP* 1	West-Noordwest	45	1/5.000	10	-	0,005	Ca. NAP -0,30 m (Grondwaterplan)
SL** 1	-	-	-	-	4000	-	-
WVP 2	West	65	1/3.300	20	-	0,005	Ca. NAP -1,0 m (Grondwaterplan)

k: Doorlaatvermogen

i: Verhang

v: Grondwaterstromingssnelheid

c: Conductiviteit

S: Bergingsfactor (van het 1^e WVP afkomstig van de pompproef Jaarbeurs en van het 2^e en 3^e WVP ingeschat op basis van ervaring)

*: Watervoerend pakket

**: Scheidende laag

De maximale grondwaterstand is circa 0,9 m +NAP in het zuidoosten, afnemend tot 0,5 m +NAP ten het noorden van het Stationsgebied. GHG varieert van 0,7 m +NAP in het zuidoosten tot 0,3 m +NAP ten noorden van het Stationsgebied. Een kaart met de gemiddelde en maximale grondwaterstand is opgenomen in bijlage 2, kaart 5. Geconcludeerd kan worden dat de maximale grondwaterstand circa 0,3 à 0,4 m hoger ligt dan de gemiddelde grondwaterstand.

De onderzoekslocatie bevindt zich in een boringsvrije zone. De locatie ligt niet in een milieubeschermingsgebied voor grondwateronttrekking (literatuur 4).

3.3 Grondwaterkwaliteit

Er zijn niet of nauwelijks gegevens beschikbaar gesteld omtrent macroparameters. De verwachting is echter wel dat er in de top van het watervoerend pakket een redox-overgang aanwezig is.

Om de aanwezigheid van grondwaterverontreinigingen en hun mogelijke invloed op de uiteindelijke positionering van systemen inzichtelijk te maken zijn de bekende verontreinigingen globaal op kaart weergegeven. Inzicht hierin is gewenst omdat het uiteindelijke ontwerp zodanig dient te zijn, dat het huidig bekende patroon van separate verontreinigingsgevallen niet wordt beïnvloed door de verschillende systemen. De natuurlijke grondwaterstroming, bestaande onttrekkingen, natuurlijke afbraak en lopende of geplande saneringen zijn buiten beschouwing gelaten. Gezamenlijk met de opdrachtgever (IBU, gemeente Utrecht) is op basis van het rapport: *Verkennd bodemonderzoek Stationsomgeving te Utrecht (doss. nummer 402.30311.017)* een kaart met de grondwaterverontreinigingen ter plaatse van het POS-gebied opgesteld. Hierbij is gebruik gemaakt van de concentraties weergegeven in bijlage 5 van het bovengenoemde rapport. Deze kaart betreft een zeer indicatieve weergave van de verontreinigingen. De ten behoeve van het verkennend bodemonderzoeksrapport gebruikte gegevens zijn in overleg geïnterpreteerd wat betreft globale omvang, diepte en overlap van verontreinigingen. Als bron heeft enkel bovengenoemd rapport gediend, en niet-afgeperkte verontreinigingen zijn zeer globaal begrensd. Opgemerkt wordt dat aan deze kaart geen rechten mogen worden ontleend wat betreft exacte omvang, afperking, overlap et cetera van de diverse verontreinigingen. De kaart dient enkel ter oriëntatie en pretendeert niet volledig te zijn. De kaart is opgenomen in bijlage 2.

3.4 Oppervlaktewater

In de directe omgeving van het Stationsgebied zijn een aantal waterlopen aanwezig te weten:

- Catharijnesingel (doorkruist het plangebied van zuidoost naar noordoost)
- Oude gracht (ten oosten)
- Leidsche Vaart (doorkruist het plangebied van west naar noordoost)
- Kruisvaart (ten zuidwesten)
- Merwedekanaal (ten westen)
- Amsterdam Rijnkanaal (ten westen)

Het oppervlaktewaterstelsel in het centrum van Utrecht heeft een peil van +0,6 NAP. Het Merwedekanaal en Amsterdam Rijnkanaal zijn mogelijk anders van peil.

Een gedeelte van de Catharijnesingel (het gedempte deel tussen Mariaplaats en Vredenburg) zal in de toekomst weer worden aangesloten op het oppervlaktewater systeem. Dat deel van de Catharijnesingel zal worden verbonden middels een betonnen bakconstructie. Hiermee staat dat deel van de watergang niet in verbinding met het grondwatersysteem.

3.5 Grondwaterwinningen

In bijlage 2 is een kaart opgenomen met hierin aangegeven de winningen, zoals die in 2005 zijn geregistreerd bij de Provincie Utrecht. In tabel 3.3 is een overzicht van de onttrokken hoeveelheden gegeven.

Tabel 3.3 Geregistreerde onttrekkingen in 2005 Provincie Utrecht

Naam inrichting	X-coördinaat	Y-coördinaat	Onttrokken uit watervoerend pakket	Totaal onttrokken per jaar (m ³)	Totaal geïnfilteerd per jaar (m ³)
Grand Hotel Karel V.	136550	455550	1	19.890	0
RTV UTRECHT	137500	457100	2	21.130	12.953
WKO Jaarbeurs (cluster1)	135600	455300	1	46.076	45.885
WKO Jaarbeurs (cluster 2)	135600	455300	1	69.225	68.265
WKO Jaarbeurs (cluster 3)	135600	455300	1	179.785	179.097

3.6 Beleid provincie

Energieopslag in de bodem is in het kader van de Grondwaterwet vergunningsplichtig. Onder de volgende voorwaarden mag in de provincie Utrecht koude-/warmteopslag plaatsvinden:

- Voor koude- en warmteopslag mag alleen het 1^e WVP worden gebruikt
- Er moet sprake zijn van een gesloten water en/of energiekringloop

De provincie is momenteel met de afweging bezig om eventueel het 2^e watervoerend pakket ook vrij te geven voor WKO-systemen. Vanaf januari 2007 zal dit dan het geval zijn. In deze studie wordt hier echter niet van uitgegaan.

3.7 Conclusie

Het 1^e watervoerend pakket in principe geschikt voor WKO, mits grondwaterstandsverhogingen en daarmee effecten op de omgeving toelaatbaar zijn en mits er geen menging optreedt van ondiep (freatisch) grondwater en diep (> 10 m –mv) grondwater.

4 Voorontwerp I: bepaling aantal doublets

4.1 Algemeen

Het te berekenen aantal doublets is afhankelijk van:

1. Het debiet en maximale waterbezwaar (en het hieruit volgend aantal vollasturen)
2. De (ontwerp)snelheid op de boorgatwand
3. De effectieve filterlengte

Het waterbezwaar en maximale debiet per projectlocatie is aangeleverd door de opdrachtgever, zie bijlage 1 (tabel 'Energiegegevens Stationsgebied' Techniplan d.d. 12 juli 2006). De (ontwerp)snelheid op de boorgatwand en de benodigde filterlengte zijn berekend en in respectievelijk paragraaf 4.2 en 4.3 gerapporteerd.

4.2 Berekening ontwerpsnelheid op de boorgatwand

De maximaal toelaatbare snelheid op de boorgatwand wordt onder andere bepaald door:

- het maximale debiet
- de doorlatendheid van de bodem
- de verstoppingspotentie van het grondwater
- de dikte van het opslagpakket

Maximale debiet

Het maximale debiet per projectlocatie is aangeleverd door de opdrachtgever, zie bijlage 1 (tabel 'Energiegegevens Stationsgebied' Techniplan d.d. 12 juli 2006). Deze zijn tevens opgenomen in tabel 4.1.

Doorlatendheid van de bodem en dikte opslag pakket

Gegevens hiervoor zijn verkregen uit het geohydrologisch onderzoek (zie paragraaf 3.1).

Verstoppingspotentie

Onder invloed van de toegenomen snelheid van grondwaterstroming rond de put kunnen minuscule deeltjes meegevoerd door het grondwater op de boorwand accumuleren. De snelheid van verstopping door deeltjes neemt kwadratisch toe met het debiet. Om het risico van verstopping zo klein mogelijk te houden dient bij het ontwerp van de injectieput de vuistregel (uit de praktijk) aangehouden te worden, dat de snelheid op de overgang tussen filteromstorting en boorgatwand minder dan 1,5 m/uur bedraagt.

Daarnaast heeft de Nederlandse Vereniging voor Ondergrondse Energieopslag (NVOE) voor infiltratie- en onttrekkingsbronnen een tweetal formules gedefinieerd waarmee de locatiespecifieke normen voor de ontwerpsnelheid op de boorgatwand kunnen worden berekend.

De berekende locatiespecifieke normen voor de projectonderdelen van het Stationsgebied liggen hoger dan de in de praktijk gehanteerde waarde van 1,5 m/uur. Om deze reden is voor alle onderdelen gerekend met een maximale boorgatsnelheid van 1,5 m/uur.

4.3 Berekening filterlengte en aantal doublets

Uitgaande van de maximale ontwerpsnelheid van circa 1,5 m/uur voor de onttrekkingsbron kan afhankelijk van de diameter van de bron de benodigde filterlengte en het aantal bronnen worden afgeleid. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$v = \frac{Q}{2\pi r h}$$

waarin	v	= snelheid op de boorgatwand (m/uur)
	Q	= debiet (m ³ /uur)
	r	= straal boorgatwand (m)
	h	= filterlengte (m)

Uitgangspunten berekening

In deze studie wordt uitgegaan van een standaard boorgatdiameter van 800 mm. Bij de detailuitwerking kan hiervan worden afgeweken. Daarnaast is gerekend met een effectieve filterlengte van 25 meter in het 1^e WVP van 20 tot 45 m –mv. Opgemerkt wordt dat de definitieve filterlengte afhankelijk is van lokaal aanwezige kleilagen en dus ter plaatse van de bronnen dient te worden bepaald.

In tabel 4.1 is de filterlengte en het aantal benodigde doublets van de projectdelen weergegeven.

Tabel 4.1 Filterlengte en benodigd aantal doublets per projectdeel

Projectdeel	Debiet zomer (m ³ /uur)*	Debiet winter (m ³ /uur)*	Waterbezwaar (m ³ /jaar)*	Ontwerp snelheid op de boorgatwand (m/uur)	Benodigde filterlengte (m)	Aantal doublets**
1A (NHC)	70	70	168 000	1,5	19	1
1B (NHC)	210	140	520 000	1,5	56	3
1C (NHC)	280	280	1 164 000	1,5	75	3
2 (Muziekpaleis)	110	110	339 000	1,5	30	2
3 (V&D)	70	70	214 000	1,5	19	1
4A (Stationsplein west)	10	10	26 000	1,5	3	1
4B (Ov-terminal)	50	50	102 000	1,5	14	1
4C (Stationsplein oost)	110	110	318 000	1,5	30	2
5 (Rabobank II)	140	140	716 000	1,5	38	2
7 (NS)	360	360	987 000	1,5	96	4
8 (NH)	150	150	531 000	1,5	40	2
Smakkelaarsveld	20	20	62 000	1,5	6	1
Paardenveld	90	90	211 000	1,5	24	1
Westplein	80	80	224 000	1,5	22	1

* Gegevens afkomstig uit de tabel met daarin de energiegegevens per projectdeel van Techniplan adviseurs bv d.d. 18 juli 2006, zie bijlage 1

** Aantal doublets bij een effectieve filterlengte van 25 meter

Samenvattend betekent tabel 4.1 dat er in totaal 25 doublets nodig zijn met een debiet van maximaal 1.750 m³/uur. Het aantal bronnen kan worden gereduceerd door te werken met collectieve systemen. Samenwerking tussen Stationsplein-west en OV-terminal ligt erg voor de hand gezien de debieten.

Indien gewerkt wordt met een collectief systeem kan het aantal doublets worden teruggebracht tot circa 20 uitgaande van een maximale broncapaciteit van ruim 90 m³/uur. Dit betekent in totaal 10 bronnen minder.

In tabel 4.1 zijn Nieuw Hoog-Catharijne A en NS opgenomen zoals in de uitgangspunten die in juli 2006 zijn aangeleverd door Techniplan. In de uitgangspunten die gehanteerd zijn voor de analyse in hoofdstuk 6 zijn Nieuw Hoog-Catharijne A en Nieuw Hoog-Catharijne B samengevoegd. Dit levert een besparing op van 1 doublet.

In paragraaf 6.5 wordt gekeken of nieuwe uitgangspunten van de NS haalbaar zijn. Deze uitgangspunten leiden tot de installatie van zeven in plaats van vier doublets voor de NS. Dit is in de betreffende paragraaf onderzocht.

5 Voorontwerp II: bepaling locatie bronnen

5.1 Algemeen

Het al dan niet kunnen realiseren van de WKO-systemen met maximale capaciteit hangt af van de volgende factoren:

1. Maximaal toelaatbare grondwaterstandsveranderingen
2. Geen negatieve thermische beïnvloeding
3. Geen negatieve beïnvloeding van de aanwezige grondwaterverontreinigingen

Er zijn in deze fase van het project drie scenario's bekeken:

- A. Basisscenario
- B. Scenario optimalisatie thermische situatie
- C. Scenario optimalisatie bodemverontreinigingen

Het basisscenario is gericht op de randvoorwaarde betreffende de grondwaterstand. Vanuit dit scenario wordt eerst de thermische situatie geoptimaliseerd voordat er gekeken wordt naar de optimalisatie van het effect op bodemverontreinigingen. Het scenario met de optimalisatie van de bodemverontreinigingen is dan gebaseerd op de optimale thermische situatie.

Voor de wijze van berekening van effecten op grondwaterstanden, thermische beïnvloeding en het effect op bodemverontreinigingen wordt verwezen naar bijlage 3. Dit hoofdstuk bevat alleen de resultaten.

Samengevat zijn de randvoorwaarden:

1. Grondwaterstand is maximaal 0,8 m –mv
2. Thermische stralen mogen niet overlappen
3. Bodemverontreiniging mag niet verplaatst worden

5.1.1 Algemene uitgangspunten

1. Bronnen worden geplaatst per projectdeel
2. Bronnen liggen niet in een gebouw
3. Afstand tussen warme en koude bron in een doublet is gegeven door tweemaal de thermische straal R_{th}
4. In alle gevallen wordt uitgegaan van de zomersituatie. Met uitzondering van projectdeel NHC_1B, zijn het waterbezwaar en de debieten in de zomersituatie groter dan het waterbezwaar in de wintersituatie

5. Er wordt geen rekening gehouden met toename van thermische straal wanneer twee (of meer) bronnen van hetzelfde type, maar van verschillende projectdelen bij elkaar geplaatst worden
6. Wanneer twee (of meer) bronnen van hetzelfde type van hetzelfde projectdeel bij elkaar geplaatst worden, wordt de toename van de thermische straal wel meegenomen. Het totale waterbezwaar (per seizoen) van de bronnen wordt bij elkaar opgeteld en uitgezet vanuit het middelpunt van de bronnen
7. Wanneer twee (of meer) bronnen van hetzelfde type van hetzelfde projectdeel bij elkaar geplaatst worden, bedraagt de afstand tussen deze bronnen minstens 25 m
8. Geohydrologische uitgangswaarden zijn gegeven in tabellen 4.1 en 5.1

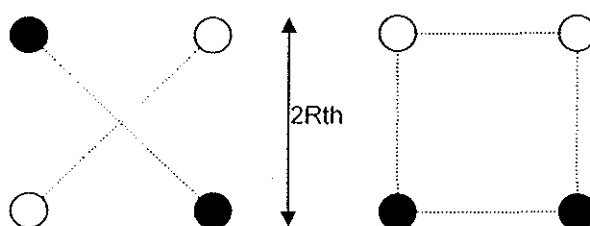
Tabel 5.1 Additionele geohydrologische en thermische parameters

Parameter	Waarde	Eenheid
Warmtecapaciteit water	4,2	MJ/(m ³ K)
Warmtecapaciteit aquifer	2,5	MJ/(m ³ K)
Porositeit	0,35	-
Effectieve filterlengte	25	M

5.2 Basisscenario

Additionele uitgangspunten

1. Bronnen worden zoveel mogelijk kruislings geplaatst (zie figuur 5.1)
2. Bronnen worden in principe zo dicht mogelijk bij het betreffende projectdeel geplaatst
3. Uitbreidingen Paardenveld en Rabobank blijven in lijn met de vergunde configuratie



Figuur 5.1 Kruislingse plaatsing en lijnplaatsing van warme bronnen (zwart) en koude bronnen (wit)

Resultaten

De resultaten van dit basisscenario zijn gegeven in bijlage 4, kaart 1 tot en met 3. In kaart 1 zijn de voorgestelde bronlocaties, de bestaande bronlocaties en interventiecontouren van bekende grondwaterverontreinigingen weergegeven. Ook zijn de thermische contouren van de bestaande WKO-systemen in beeld gebracht. Kaart 2 toont de thermische stralen rond iedere bron. Kaart 3 t/m NN laat de effecten van de onttrekkingen en injecties zien op de grondwaterstand.

Uit kaart 2 blijkt, dat de thermische stralen rond koude en warme bronnen op veel plaatsen overlappen. Dit is met name het geval bij rond het NH hotel (NH01, NH03) en bij het NS-gebouw (dubbel-doubles NS05/06, NS07/08). NS01/02 en NS07/08 hebben enige overlap. NS01/02 en NH02 ook.

In het centrum van het Stationsgebied leidt de kruislingse opzet tot problemen bij de koude bron van Stationsplein Oost (SPO02). De koude thermische straal rond deze bron ligt vrijwel geheel binnen de warme thermische straal van het dubbel-doublet NHC_C3/C4 (Nieuw Hoog-Catharijne C).

Rond het Muziekpaleis, Nieuw Hoog-Catharijne A en Nieuw Hoog-Catharijne B is er niet direct overlap qua thermische straal, maar vooral rond het Muziekpaleis bestaat het risico dat het uiteindelijk thermisch effect onderschat wordt omdat een aantal thermische stralen overlappen.

Uit kaart 3 tot en met 6 blijkt, dat er geen problemen te verwachten zijn met de grondwaterstandsverandering als gevolg van injectie en onttrekking. De kaarten zijn gemaakt voor de zomer- en de wintersituatie. Voor de berekening van de verandering van de grondwaterstand in het freatisch pakket als gevolg van een stijghoogteverandering in het eerste watervoerend pakket is een factor gebruikt. Deze factor geeft aan hoeveel van de stijghoogteverandering in het eerste watervoerend pakket doorwerkt naar de freatische grondwaterstand (zie bijlage 3). Voor de effecten is gerekend met factor 0,3 en factor 1,0. Geconcludeerd kan worden, dat de drooglegging in het hele Stationsgebied onder de 0,8 m –mv blijft.

Conclusie

De plaatsing van de bronnen in het basisscenario geeft geen problemen met de grondwaterstand in het Stationsgebied. De thermische situatie rond de bronnen levert aanzienlijke problemen op. Optimalisatie voor de thermische situatie is noodzakelijk.

5.2.1 Optimalisatie voor thermische situatie

Bij deze variant worden de koude en warme bronnen zo veel mogelijk op een lijn geplaatst (zie figuur 5.1). Op deze manier kunnen de thermische knelpunten van paragraaf 5.5.3 aangepakt worden.

Additionele uitgangspunten

1. Bronnen worden zo veel mogelijk in lijnen parallel aan de grondwaterstroming geplaatst
2. De afstand tussen bronnen van hetzelfde type in een lijn bedraagt minstens 25 m
3. Rabobank uitbreiding blijft kruislings in verband met de vergunde configuratie

Resultaten

De resultaten van dit scenario zijn gegeven in bijlage 5, kaart 7 tot en met 13. In kaart 7 zijn de voorgestelde bronlocaties, de bestaande bronlocaties en interventiecontouren van bekende grondwaterverontreinigingen weergegeven. Ook zijn de thermische contouren van de bestaande WKO-systemen weergegeven.

Uit kaart 8 blijkt, dat de afstand tussen de koude en warme bronnen groot genoeg is om overlapping van koud en warm water te voorkomen.

Kaarten 9 en 10 laten zien, dat het effect van de gekozen bronlocaties op de grondwaterstand ten opzichte van het basisscenario iets ongunstiger is. Bij gebruik van factor 0,3 (die aangeeft in welke mate een stijghoogteverandering in het eerste watervoerend pakket doorwerkt in het freatisch pakket, zie bijlage 3) wordt echter nog steeds in het hele Stationsgebied voldaan aan de eis, dat de grondwaterstand niet boven 0,8 m-mv uit mag komen. Dit geldt zowel voor de zomer- als voor de wintersituatie.

In kaart 11 en 12 zijn de resultaten weergegeven voor de zomer- en wintersituatie bij gebruik van factor 1. Kaart 11 laat zien, dat de grondwaterstand boven 0,8 m –mv uitkomt bij NS-dubbeldoublet NS03/04. Kaart 12 laat zien, dat de grootste problemen zich voordoen in de wintersituatie bij het NS-dubbeldoublet NS07/NS08. Hier komt het grondwater boven het maaiveld. Een mogelijke oplossing is het splitsen van de twee NS-dubbeldoublets in vier enkele doublets. Dit moet nog nader onderzocht worden.

Uit kaart 11 blijkt ook, dat vlak bij twee andere bronlocaties (bij Stationsplein West (SPW01) en Nieuw Hoog-Catharijne C (NHC_C4) het grondwater net boven de 0,8 m –mv komt. Omdat de plaatsen waar dit gebeurt niet overeenkomen met de bronlocaties, is het raadzaam om kritisch te kijken naar de gebruikte maaiveldhoogtekaart. Mocht dat geen verheldering bieden is er ruimte om de bronnen te verplaatsen om zo het effect van de stijghoogteveranderingen te verkleinen.

In kaart 13 is de straal van het volume waterbezwaar dat per seizoen wordt onttrokken dan wel geïnjecteerd per bron weergegeven. Deze straal geeft aan tot hoever van de bron er water wordt verplaatst. Uit deze kaart blijkt duidelijk, dat de interventiecontour voor bodemverontreinigingen door verschillende doublets loopt. Zodoende worden bodemverontreinigingen verplaatst, en wordt schoon grondwater gemengd met verontreinigd grondwater. Dit is niet wenselijk.

Conclusie

De thermische knelpunten uit het basisscenario zijn met deze situering van bronlocaties opgelost. De gekozen bronlocaties zorgen weliswaar voor een ongunstiger effect op de grondwaterstand dan de configuratie van het basisscenario. Veelal levert dit geen problemen op, met uitzondering van de locatie NS. Nader onderzoek is hiervoor nodig. Er wordt echter niet voldaan aan de eis dat bodemverontreinigingen niet mogen worden verplaatst.

5.2.2 Optimalisatie voor bodemverontreinigingen

Bij deze variant worden de bronlocaties waar nodig aangepast ten opzichte van het tweede scenario. In deze paragraaf zullen de nodige aanpassingen behandeld worden zonder de effecten door te rekenen.

Additionele uitgangspunten

1. Schoon grondwater wordt niet gemengd met verontreinigd grondwater
2. Verontreinigingen worden niet gemengd

Deze additionele uitgangspunten houden in, dat de straal van volume waterbezwaar voor beide bronnen in het doublet volledig in de verontreinigde zone, of volledig erbuiten ligt. De vergunde WKO-systemen van de Jaarbeurs en de Rabobank voldoen niet aan deze criteria.

Resultaten

Uit kaart 13 (bijlage 5) blijkt, dat er een aantal doublets geen hinder zullen ondervinden van bodemverontreinigingen. Deze doublets liggen in het oostelijk en noordoostelijk deel van het Stationsgebied, en horen bij de volgende projectdelen:

- Muziekpaleis
- Nieuw Hoog-Catharijne A
- Nieuw Hoog-Catharijne B
- Vroom & Dreesman
- Paardenveld (fase 2)
- Smakkelaarsveld (fase 2)

De contour met interventiewaarde grondwaterverontreiniging valt bij een of meer doublets van de andere projectdelen binnen de straal van het volume waterbezwaar. De mate waarin dit gebeurt varieert nogal.

Enkele bronnen hoeven slechts weinig verplaatst te worden om aan additionele uitgangspunt 1 te voldoen. Dit geldt voor bronnen bij Stationsplein Oost (SPO01 en SP004), de OV-terminal (OVT02), het NH hotel (NH02, NH04) en Nieuw Hoog-Catharijne C (NHC_C3, NHC_C4).

De situatie bij NS, Stationsplein West en Westplein (fase 2) is complexer. Per projectdeel zijn hieronder het probleem en mogelijke oplossingen aangegeven.

Stationsplein West

In het scenario met thermische optimalisatie is het doublet bij projectdeel Stationsplein West aan de westzijde van de OV-terminal gepland. Hier liggen echter drie verontreinigingen op korte afstand van elkaar. De verontreinigingen overlappen elkaar zelfs deels. Het doublet van Stationsplein West ligt binnen twee verschillende verontreinigingscontouren, en wel zodanig, dat de twee verontreinigingen verder met elkaar mengen. Wanneer het doublet volledig in een van de verontreinigingen wordt geplaatst, ontstaan er problemen met de thermische situatie.

Een mogelijke oplossing voor de locatie van het doublet bij Stationsplein West, is om deze aan te laten sluiten bij Stationsplein Oost, aan de overzijde van het spoor. Hier kan het doublet opgenomen worden in de rij koude en warme bronnen zonder interactie met bodemverontreinigingen. Vanwege het kleine waterbezwaar van het doublet is de verwachting dat er geen extra complicaties optreden bij de grondwaterstand.

Westplein

De doublets van projectdeel Westplein liggen deels binnen en deels buiten de interventiecontour van een grondwaterverontreiniging. In deze situatie wordt schoon grondwater gemengd met vervuild grondwater. Om aan het uitgangspunt te voldoen dat schoon water niet met verontreinigd grondwater gemengd mag worden, is een mogelijke oplossing dat het doublet in zijn geheel verplaatst wordt binnen de verontreinigingscontour die er naast ligt.

Als alternatief kan de koude bron (WP02) verplaatst worden naar de oostzijde van het spoor. De warme bron moet dan ook verplaatst worden (circa 10 m) om uit de verontreinigingscontour te komen.

In plaats van de oplossing te zoeken in verplaatsing van de bronnen, kan ook gedacht worden aan een verkleining van de capaciteit van het doublet. Dit komt neer op een reducering van de warmtevraag. Wanneer de bronnen op hun huidige geplande locatie blijven liggen, zou het waterbezwaar moeten afnemen van 146 000 m³ tot circa 25 000m³. Dit is een reductie van circa 83 %. Dit lijkt geen realistische optie.

NS

De doublets van projectdeel NS liggen deels binnen en deels buiten de interventiecontour van een grondwaterverontreiniging. De cirkels die het volume waterbezwaar aangeven rond de bronnen van de NS overlappen alle vijf interventiecontouren die oostelijk van de Catharijnesingel liggen. In deze situatie wordt schoon grondwater gemengd met vervuild grondwater. De bronnen zijn in de eerste twee scenario's per twee geplaatst, zodat er vier dubbel-doublets ontstaan. Deze kunnen opgesplitst worden tot normale doublets. Dit geeft kleinere invloedssferen rond de

bronnen. Desondanks zullen er problemen blijven met de verontreiniging onder de Jaarbeurs, en met de verontreinigingen aan de westzijde van de OV-terminal. Plaatsing van bronnen in de omgeving van het NS-gebouw kan met de gehanteerde randvoorwaarden en uitgangspunten niet worden gerealiseerd. Een capaciteitsvermindering leidt niet tot de gewenste oplossing.

Conclusie

In het oostelijk en noordoostelijk deel van het Stationsgebied zijn geen problemen met grondwaterverontreinigingen te verwachten. Direct aan de oostzijde aangrenzend aan het spoor is er ruimte om met de bronlocaties te schuiven. Aan de westzijde van het spoor is deze ruimte er alleen voor de doublets rond het NH hotel. Voor de doublets van het Westplein en Stationsplein Oost zijn alternatieve locaties mogelijk. De doublets van NS kunnen niet geplaatst worden zonder verontreinigd grondwater met schoon grondwater te mengen.

Kenmerk R001-4447268HWC-ber-V03-NL

6 Voorontwerp III: Ondergronds ruimtebeslag WKO

6.1 Randvoorwaarden en uitgangspunten

Binnen het plangebied is de beschikbare ruimte voor de bronnen schaars. In overleg met de opdrachtgevers zijn de gebieden aangewezen waar eventueel bronnen kunnen worden geplaatst. Vervolgens zijn tevens de meest logische locaties voor de bronnen vastgesteld, afgestemd op de vooralsnog bekende situering van technische ruimtes, etc.

De beperking van de ruimteclaims zijn divers. Hieronder worden de belangrijkste genoemd.

- Archeologie. Rondom Vredenburg
- Geplande nieuwbouw
- Kabels en leidingentracés
- Parkeergarages
- HOV-banen
- Spuikokers

In het overleg met de projectpartners zijn zones in het plangebied aangewezen die voor het plaatsen van bronnen meer of minder geschikt zijn. Deze zones zijn weergegeven in bijlage 6, in kaartbeeld 14. In verschillende kleuren is de geschiktheid voor bronlocaties weergegeven. De kleurcodering wordt in tabel 1 uitgelegd.

Tabel 6.1 Uitleg geschiktheid bronlocaties

Kleur	Status	Uitleg
Oranje	Mogelijk geschikt	bronnen kunnen hier geplaatst worden er is ruimte
Geel	Minder geschikt	liever geen bronnen plaatsen vanwege andere ruimtelijke functies
Groen	Onderzoeksgebied	noodzakelijk om in deze zone bronnen te plaatsen, echter nader onderzoek is noodzakelijk om te kijken of dit kan in verband met vele kabels en leidingen
Paars	Status onduidelijk	mogelijk geschikt voor bronnen, maar is niet zeker

Nieuwe uitgangspunten ten opzichte van de uitgangspunten in paragraaf 5.1 zijn verder:

- De bronnen van NHC_A met de bronnen van NHC_B zijn samengevoegd. Dit levert een besparing op van een doublet
- De grondwaterstand mag ter hoogte van de Oude Gracht niet omhoog komen in verband met aanwezige werfkelders en monumentale bomen

De bronlocaties worden in eerste instantie geplaatst in zones die mogelijk geschikt zijn. De bronconfiguratie zoals voorgesteld tijdens de workshops alsmede de bijbehorende effecten zijn opgenomen in bijlage 6.

6.2 Optimalisatie thermische situatie

Een kaart met de thermische stralen behorende bij de in de workshops overeengekomen ligging van de bronnen is opgenomen in bijlage 6, als kaartbeeld 15.

Ten opzichte van scenario 5 (zie bijlage 5) zijn op hoofdlijnen de volgende wijzigingen doorgevoerd:

- Aan de noordoostzijde van het spoor is gekozen voor een lijn van koud en een lijn van warm die zuidwest-noordoost georiënteerd is. Hierdoor kan beter worden aangesloten op de reeds geplande technische ruimten. De bronlocaties zijn dusdanig gekozen dat de thermische contouren van koud en warm elkaar niet overlappen. Nadeel is echter dat er de koude bron van Vroom & Dreesman (VD01) is verplaatst richting het zuidoosten
- Aan de westzijde van het spoor is de lijn van koud en lijn van warm gehandhaafd in de zuidoost-noordwest richting. Er is met name geschoven met de bronnen van de NS om deze beter aan te sluiten bij de gebouwen. De thermische contouren overlappen elkaar nauwelijks. Alleen de koude contour rond bron NS06 overlapt met de warme contour rond onder andere NS04 en NS02. Dit is een punt van aandacht voor de verdere uitwerking (mogelijk kleine efficiëntievermindering)

Geconcludeerd kan worden dat thermisch geen problemen zijn te verwachten.

6.3 Optimalisatie voor grondwaterstanden

6.3.1 Drooglegging

In bijlage 6, kaartbeeld 16 t/m 17 is de berekende drooglegging bij de zomer- en wintersituatie voor factor 0,3 (zie paragraaf 5.2) weergegeven. In kaart 16 is de drooglegging in de zomersituatie weergegeven bij factor 0,3. Kaart 17 laat de drooglegging zien in de wintersituatie met factor 0,3. Uit deze kaart 16 en 17 blijkt, dat er geen probleem is met de drooglegging wanneer alle WKO-systemen operationeel zijn en de factor 0,3 bedraagt.

De resultaten van de analyse met factor 1 zijn aangegeven in bijlage 7, kaarten 18 en 19. Deze kaarten geven een worst-case scenario. In de zomersituatie (kaart 18) is een knelpunt te zien rond de warme bronnen bij Stationsplein Oost. Het effect op de drooglegging zal minder negatief zijn wanneer de twee warme bronnen verder uit elkaar geplaatst worden. Of dit nodig is dient nader onderzocht te worden. Aanbevolen wordt om eerst kritisch naar de

maaiveldhoogtegegevens te kijken, voordat aanpassing aan de bronlocaties worden doorgevoerd.

In kaart 19 is de drooglegging in de winter weergegeven bij factor 1. Enkele knelpunten zijn zichtbaar rond de koude bron van Westplein, en bij enkele koude bronnen van het NS/NH blok. Deze knelpunten zijn minder prominent aanwezig dan het knelpunt in kaart 18. Een kritische beschouwing van het maaiveld kan ook hierbij opheldering bieden. Daarnaast wordt verwacht dat gezien de beperkte omvang er geen schade zal optreden.

6.3.2 Verandering grondwaterstand

Naast een analyse van de drooglegging bij de zomer- en wintersituatie voor verschillende factoren is er gekeken naar de effecten van de injectie en onttrekking in de bronnen. Het effect van de grondwaterinjecties en onttrekkingen mag niet merkbaar zijn bij de Oude Gracht.

In bijlage 6, resp. 7, kaarten 20 resp. 21 is de grondwaterstandsverandering aangegeven als gevolg van de WKO-systemen. In kaart 20 is de analyse van de zomersituatie met factor 0,3 aangegeven. Kaart 20 laat zien, dat ter hoogte van de Oude Gracht de grondwaterstand 10 tot 20 cm toeneemt. Er wordt dus niet voldaan aan de eis dat de grondwaterstand ter hoogte van de Oude Gracht niet mag variëren.

In kaart 21 zijn de resultaten van de analyse van de zomersituatie met factor 1 aangegeven. Dit is dus een worst-case benadering. Bij dit scenario neemt de grondwaterspiegel ter hoogte van de Oude Gracht met maximaal een halve meter toe.

Een methode om de effecten van de bronnen op de grondwaterstand bij de Oude Gracht te kunnen verkleinen is om de warme en koude bronnen van Nieuw Hoog-Catharijne C om te wisselen. Dit scenario is niet doorgerekend, omdat in dat geval thermische overlap zal ontstaan in de noordoosthoek van het onderzoeksgebied. Daarnaast zullen de grondwaterstandsveranderingen bij de Oude Gracht ook met dit scenario niet volledig kunnen worden opgeheven.

Geconcludeerd moet worden dat aan de randvoorwaarde van “geen grondwaterstandsverandering bij de Oude Gracht” niet kan worden voldaan.

6.4 Zettingen

Als gevolg van de onttrekkingen en injecties van grondwater kunnen eventueel zettingen ontstaan in het onderzoeksgebied. Tauw heeft een indicatieve zettingsberekening uitgevoerd. Bij NITG-TNO zijn boringsgegevens opgevraagd. Hieruit zijn de dikte van de deklaag en bijbehorende zettingsconstanten afgeleid. De dikte van de deklaag is opgenomen in bijlage 6, kaartbeeld 22.

In bijlage 6 resp. 7, kaartbeeld 23 resp. 24 zijn de resultaten van de zettingsberekeningen weergegeven. De weergegeven zetting is een combinatie van de zetting in de zomer en de winter, waardoor de kaarten de situatie over een heel jaar weergegeven. Uit de indicatieve zettingsanalyse blijkt, dat de maximale zetting bij factor 0,3 circa 6 mm bedraagt. In het worst-case scenario (factor 1) bedraagt de maximale zetting circa 19 mm.

6.5 Inpassing alternatief ontwerp bronnen NS

6.5.1 Additionele uitgangspunten

De NS wil graag de mogelijkheid open houden om elk van haar geplande panden (kantoren en woningen) te voorzien van een individueel WKO-systeem. In eerdere scenario's werd uitgegaan van een maximaal debiet van 360 m³/uur voor alle gebouwen tezamen, hetgeen gerealiseerd kan worden door het plaatsen van 4 doublets van ieder 90 m³/uur. In het nieuwe scenario met voor elk pand een individueel WKO-systeem, blijft het totaaldebiet 360 m³/uur. Echter om aan de koude- en warmte vraag per pand te voldoen zijn in totaal zeven doublets nodig. Een en ander is gebaseerd op de uitgangspunten van Techniplan, d.d. 5 oktober zoals aangegeven in tabel 6.2 en bijlage 8.

Tabel 6.2 Filterlengte en benodigd aantal doublets per NS-pand

NS-pand	Debiet zomer (m ³ /uur)*	Debiet winter (m ³ /uur)*	Waterbezwaar (m ³ /jaar)*	Ontwerp snelheid op de boorgatwand (m/uur)	Benodigde filterlengte (m)	Aantal doublets**
Zuidelijke kantoorgebouwen	110	110	287 000	1,5	30	2
Kop Beatrixgebouw	30	30	94 000	1,5	8	1
Stadskantoor	140	140	364 000	1,5	38	2
Kantoren ten noorden van Stadskantoor	40	40	117 000	1,5	11	1
Woningen Sijpestein	40	40	109 000	1,5	11	1
Totaal	360	360	971 000			7

* Gegevens afkomstig uit de tabel met daarin de energiegegevens per projectdeel van Techniplan adviseurs bv d.d. 5 oktober 2006, zie bijlage 8

** Aantal doublets bij een effectieve filterlengte van 25 meter

6.5.2 Resultaten

Bij het inplaatsen van bronnen op basis van de nieuwe uitgangspunten van de NS ligt het voor de hand om de WKO-systemen zo dicht mogelijk bij de geplande gebouwen te installeren. Uit de gegevens in bijlage 8 blijkt, dat de grootste debieten van het nieuwe systeem dan bij de zuidelijke NS-panden gerealiseerd moeten worden. In dit gedeelte van het onderzoeksgebied is erg weinig ruimte. Thermisch gezien zal dit problemen opleveren met de bronnen van de OV Terminal en Stationsplein West. Dit is weergegeven in bijlage 8, kaart 25.

Als alternatief is het mogelijk om de bronnen met grotere debieten te verplaatsen naar de noordelijke NS-panden. Dit biedt echter geen duidelijk voordeel boven de huidige opzet met 4 dublets.

Kenmerk R001-4447268HWC-ber-V03-NL

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Er zijn aan de hand van gegevens van projectpartners bronlocaties aangewezen waar WKO-systemen kunnen worden. De resultaten van het eindscenario zijn opgenomen in hoofdstuk 6 en bijlage 6 en 7. Hieruit kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

De koude en warme bronnen zullen elkaar naar verwachting thermisch niet negatief beïnvloeden. Er vindt nagenoeg geen overlap plaats van de thermische contouren (warm en koud).

De gevraagde debieten in de bronnen zullen de grondwaterstand verhogen en verlagen, zowel in de bempte laag als de freatische grondwaterstand. Voor de berekening van de verlaging van de freatische grondwaterstand zijn twee scenario's aangehouden, te weten:

- Factor 0,3: freatische grondwaterstandsverlaging is een factor 0,3 kleiner dan de verlaging in de bempte laag
- Factor 1,0 (worst-case): freatische grondwaterstandsverlaging is gelijk aan verlaging in bempte laag

Bij een factor van 0,3 treden geen negatieve effecten op ten aanzien van de drooglegging. De freatische grondwaterstand blijft in het hele onderzoeksgebied onder de gestelde 0,8 m –mv. Bij factor 1 kan de grondwaterspiegel op enkele locaties stijgen tot boven 0,8 m –mv. Het is aan te bevelen om de maaiveldhoogtes kritisch te analyseren.

Geconcludeerd kan worden dat er grondwaterstandsveranderingen optreden ter plaatse van de Oude Gracht. Bij factor 0,3 neemt de grondwaterstand in de zomer naar verwachting met 0,1 à 0,2 m toe, bij factor 1 is dit maximaal 0,5 m. Nader onderzoek/afstemming is nodig om oplossingen voor dit probleem te vinden.

Er is indicatief gekeken naar zettingen in het onderzoeksgebied als gevolg van de onttrekkingen en injecties. Bij factor 0,3 bedraagt de maximale zetting 6 mm, bij factor 1 is dit maximaal 19 mm.

Het inpassen van het alternatief ontwerp voor bronlocaties van de NS, waarbij elk NS-pand zijn eigen WKO-systeem krijgt, is niet mogelijk wanneer de WKO-systemen dicht bij de betreffende panden worden geplaatst. Er is thermisch gezien geen ruimte voor de grote onttrekkingen en injecties bij het Stads kantoor en ten zuiden daarvan.

7.2 Aanbevelingen

Voor de WKO-systemen dient ruimte gereserveerd te worden. Dit geldt zowel voor de bronlocaties als voor het bijbehorende leidingentracé. Een aantal bronlocaties is gepland op een locatie met veel kabels en leidingen. Nader onderzoek is gewenst of bronnen daadwerkelijk geplaatst kunnen worden.

In verband met de grondwaterstandsverhogingen dient op een aantal locaties kritisch gekeken te worden naar de maaiveldhoogtes. Tevens dient afstemming plaats te vinden in verband met de grondwaterstandsveranderingen nabij de Oude Gracht.

Verplaatsing van bodemverontreinigingen aan de westkant van het spoot is niet te voorkomen. Gezien de onzekerheid omtrent de exacte omvang van de verontreinigingen wordt aanbevolen hiervoor een gebiedsgerichte aanpak te formuleren, waarmee geaccepteerd/vastgelegd wordt dat er enige verspreiding plaats mag vinden.

Een punt van aandacht bij WKO-systemen is het risico van putverstopping. Om inzicht te krijgen in het risico verdient het aanbeveling om een zuurstofprofiel van de ondergrond te maken om te zien welk deel van het 1^e watervoerend pakket aëroob dan wel anaëroob is. Immers mening van deze twee typen water in de onttrekkingsputten dient voorkomen te worden. Vervolgens kan op basis van stroombaanberekeningen gecontroleerd worden of de aërobe zone wel of niet in de put terecht komt.

1

Bijlage

Uitgangspunten energiebehoeften projectdelen (Techniplan)



Project : Nieuw Hoog Catharijne Energievoorziening warmte + koude (KWO)
Onderwerp : Energiegegevens stationsgebied

....

FASE I												
projectdeel	1A NHC	1B NHC	1C NHC	2 Muziekpaleis	3 V&D	4A stationsplein west	4B OV-terminal	4C stationsplein oost	5 Rabobank	6 Jaarbeurs	7 NS	8 NH-blok
1 Oppervlakte [m²]												
-winkels	6.000	26.800	53.800		14.400	2200	8.700	5800				2.000
-woningen (nieuw)	8.000	9.300	6		9.000			16000		63.500	41000	15.000
-woningen (bestaand)	0	0	0									
-kantoren	0	0	42.700					20000	56.000	10.000	150000	66.300
-logies										12.000		4.700
-leisure								7.300		43.000		
-overige gebruiksfuncties				28.000			750	4000		2000		
totaal	14.000	36.100	76.500	28.000	23.400	2.950	8.700	53.100	56.000	130.500	191.000	87.000
2 Verwarming												
[kW]	720	2.750	5.000	1.650	1.100	200	737	2.300	8.000		7.400	3.500
[GJ/jr]	2.520	8.748	17.820	6.300	2.600	700	2.646	8.600	25.900		24.600	14.200
3 Koeling												
[kW]	630	2.600	4.950	2.300	1.440	200	1.060	2.300	7.200		7.700	3.200
[GJ/jr]	2.020	7.560	14.940	4.860	3.200	600	2.520	7.500	20.500		25.000	12.700
4 Bodem (warmte)												
[kW]	600	1.400	2.700	1.200	850	100	530	1.150	1.500		3.850	1.600
[GJ/jr]	2.000	6.100	11.800	4.300	2.500	500	1.800	5.800	12.200		16.600	9.600
Bodem (koude)												
basislast (dT=8K) [kW]	700	1.400	2.700	1.200	850	100	530	1.150	1.500		3.850	1.600
pieklast (dT=16K) [kW]	700	3.000	5.600		1.180				3.000			
[GJ/jr]	2.000	6.100	11.800	8.700	2.500	500	2.100	6.400	15.300		21.300	10.800
5 Bodem (warmte)												
[m³/h]	70	210	280	110	70	10	50	110	140		360	150
[haeq/jaar]	1.100	1.110	1.700		1.520							
[m³/jr]	84.000	260.000	503.000	112.000	107.000	13.000	47.000	151.000	318.000		432.000	250.000
Bodem (koude)												
[m³/h]	70	140	280	110	70	10	50	110	140		360	150
[haeq/jaar]	1.100	1.670	2.361		1.520							
[m³/jr]	84.000	260.000	661.000	227.000	107.000	13.000	55.000	167.000	398.000		555.000	281.000

FASE II		
smakkelaarsveld	paardenveld	lombokplein
		5.000
15.000	5.000	50.000
1.000		
	23.000	
16.000	30.000	55.000
400	1.700	1.400
1.300	4.900	4.500
400	2.000	1.500
1.400	5.800	5.220
200	1.000	800
900	3.500	3.000
200	1.000	800
1.500	4.600	5.600
20	90	80
23.000	91.000	78.000
20	90	80
39.000	120.000	146.000

Bronvermelding:

- getallen TPA
- getallen gemeente utrecht
- getallen ecofys (kantoren NH blok)
- ingenieursbureau lissens
- ontbrekende informatie, inschatting TPA
- getallen proraail
- * aangepaste oppervlakten d.d. 10-7-2006

opmerkingen:

- getallen ecofys zijn gebaseerd op een kantoor van 30.000m²

toelichting bij de tabel:

-in de kolommen is aangegeven op welk project de gegevens betrekking hebben. In de sheet 'locatie' zijn de locaties van de diverse projecten aangegeven

-in de rijen 1 t/m 5 zijn verschillende onderwerpen aangegeven waarover informatie benodigd is.

1: gebruiksoppervlakte van het project, opgesplitst naar gebruiksfunctie.

2: het totale verwarmingsvermogen benodigd voor het project in kW en de warmtevraag per jaar in GJ/jr

3: het totale koelvermogen benodigd voor het project in kW en de koudevraag per jaar in GJ/jr

4: het vermogen dat door het KWO-systeem geleverd dient te worden in kW en de jaarlijkse hoeveelheid energie die door het KWO-systeem geleverd dient te worden GJ/jr.

5: het bronwaterdebiet dat per uur en jaarlijks door het KWO-systeem verpompt dient te worden. Voor de afstemming en effecten bronlocaties dient Tauw per locatie uit te gaan van het hoogste jaarlijkse debiet voor beide bronnen.

-voor de projectdelen 2, 4A, 4B, 4C, 7, 8 en de projectdelen uit fase II geldt:

50% van het benodigde koelvermogen wordt rechtstreeks uit de bron gehaald aangezien het koelvermogen even groot is als of groter dan het benodigde verwarmingsvermogen

hierdoor wordt, rekening gehouden met de cop van een warmtepomp van 4, 90% van de warmtevraag via de bodem geleverd en 85% van de koudevraag

de resterende koudevraag wordt door middel van een compressiekoelmachine op lucht geleverd (in verband met energiebalans in de bodem)

de resterende warmtevraag wordt door middel van stadsverwarming of een ketel geleverd

-voor projectdeel 5 geldt:

25% van het benodigde verwarmingsvermogen wordt door een warmtepomp geleverd aangezien het benodigde verwarmingsvermogen groter is dan het koelvermogen

met de hiervoor benodigde bron kan 20% van het koelvermogen rechtstreeks uit de bron geleverd worden

vanwege de gunstige verhouding tussen warmte en koude, kan een warmtepomp in zomerbedrijf nog eens 15% van het koelvermogen leveren

rekening houdend met de cop van een warmtepomp van 4, wordt 65% van de warmtevraag via de bodem geleverd en 70% van de koudevraag

de resterende koudevraag wordt door middel van een compressiekoelmachine op lucht geleverd (in verband met energiebalans in de bodem)

de resterende warmtevraag wordt door middel van stadsverwarming of een ketel geleverd

-voor projectdeel 3 geldt:

energiebehoefte winkels is buiten beschouwing gelaten, omdat nog onbekend is wie deze woningen gaat ontwikkelen

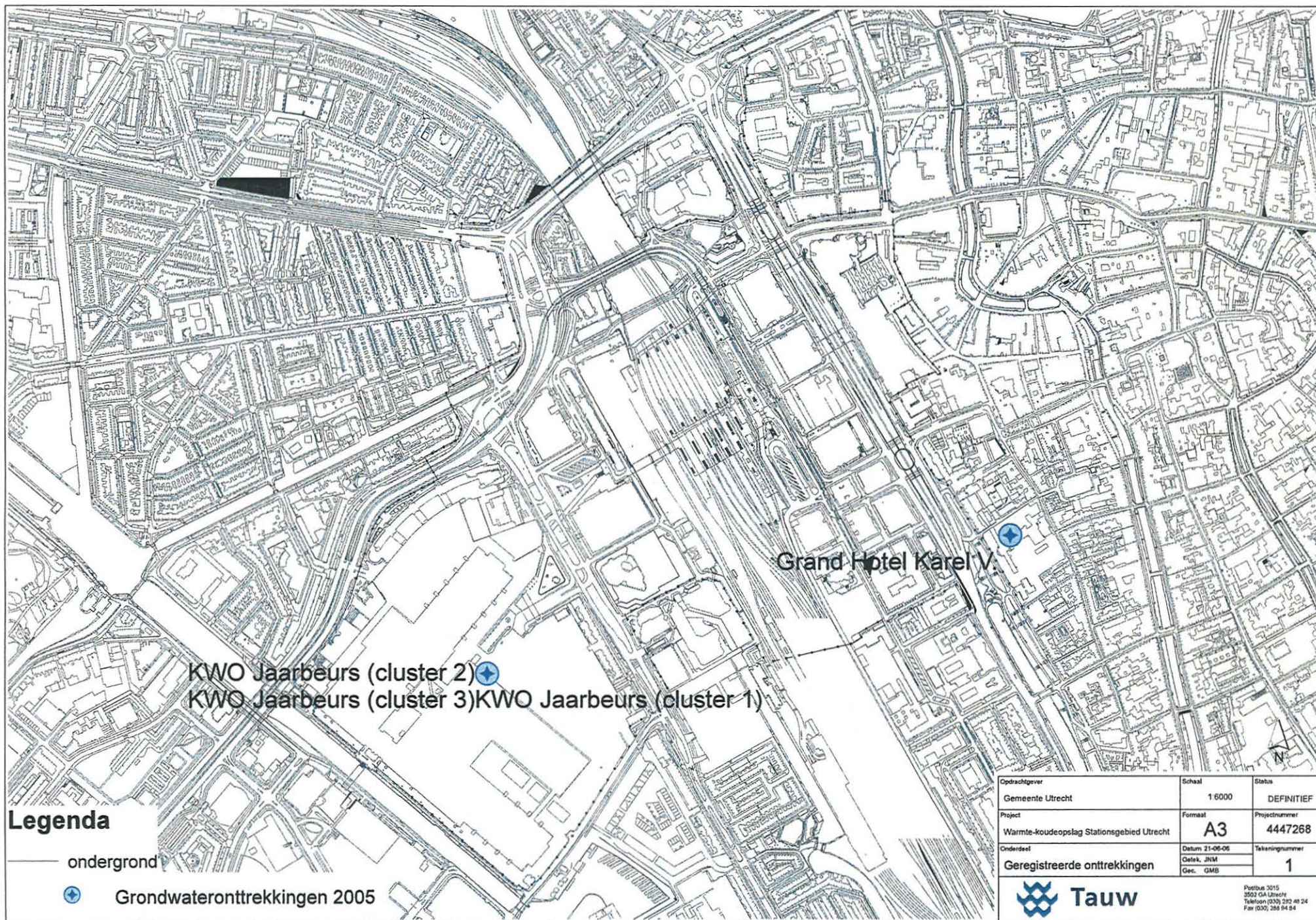
2

Bijlage

Kaartbeelden geohydrologie en randvoorwaarden

In deze bijlage zijn de volgende kaartbeelden geohydrologie en randvoorwaarden gegeven:

1. Geregistreerde onttrekkingen Provincie Utrecht
2. Maaiveldhoogte plangebied (top 1:10.000)
3. Stijghoogtepatroon plangebied
4. Mobiele grondwaterverontreinigingen



Legenda

— ondergrond



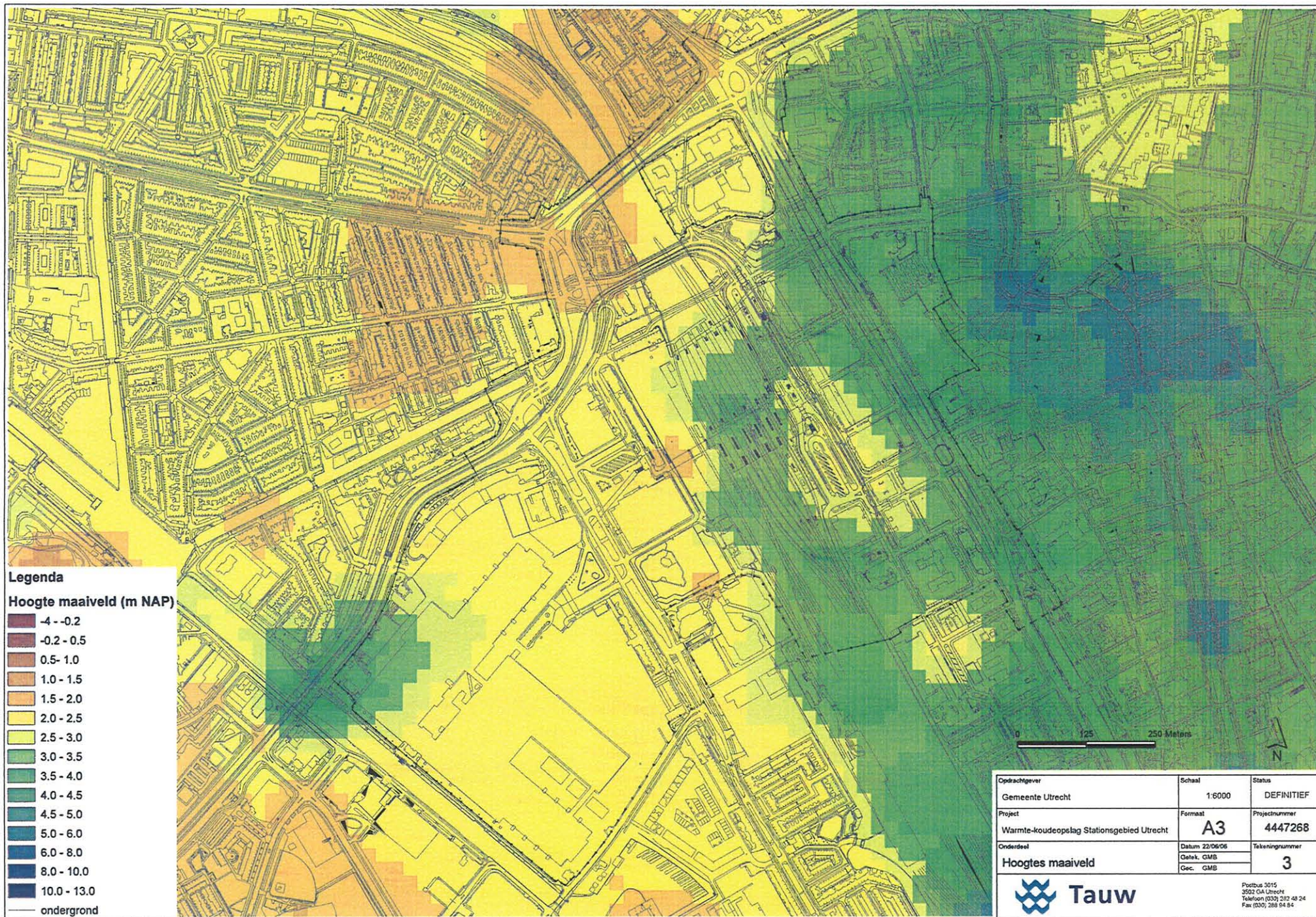
Grondwateronttrekkingen 2005

Opdrachtgever	Schaal	Status
Gemeente Utrecht	1:6000	DEFINITIEF
Project	Formaat	Projectnummer
Warmte-koudeopslag Stationsgebied Utrecht	A3	4447268
Onderdeel	Datum	Tekeningnummer
Geregistreerde onttrekkingen	21-05-06	1
	Oetelk. JNM	
	Gec. GMB	



Tauw

Postbus 3015
3503 GA Utrecht
Telefoon (030) 282 48 24
Fax (030) 288 94 94

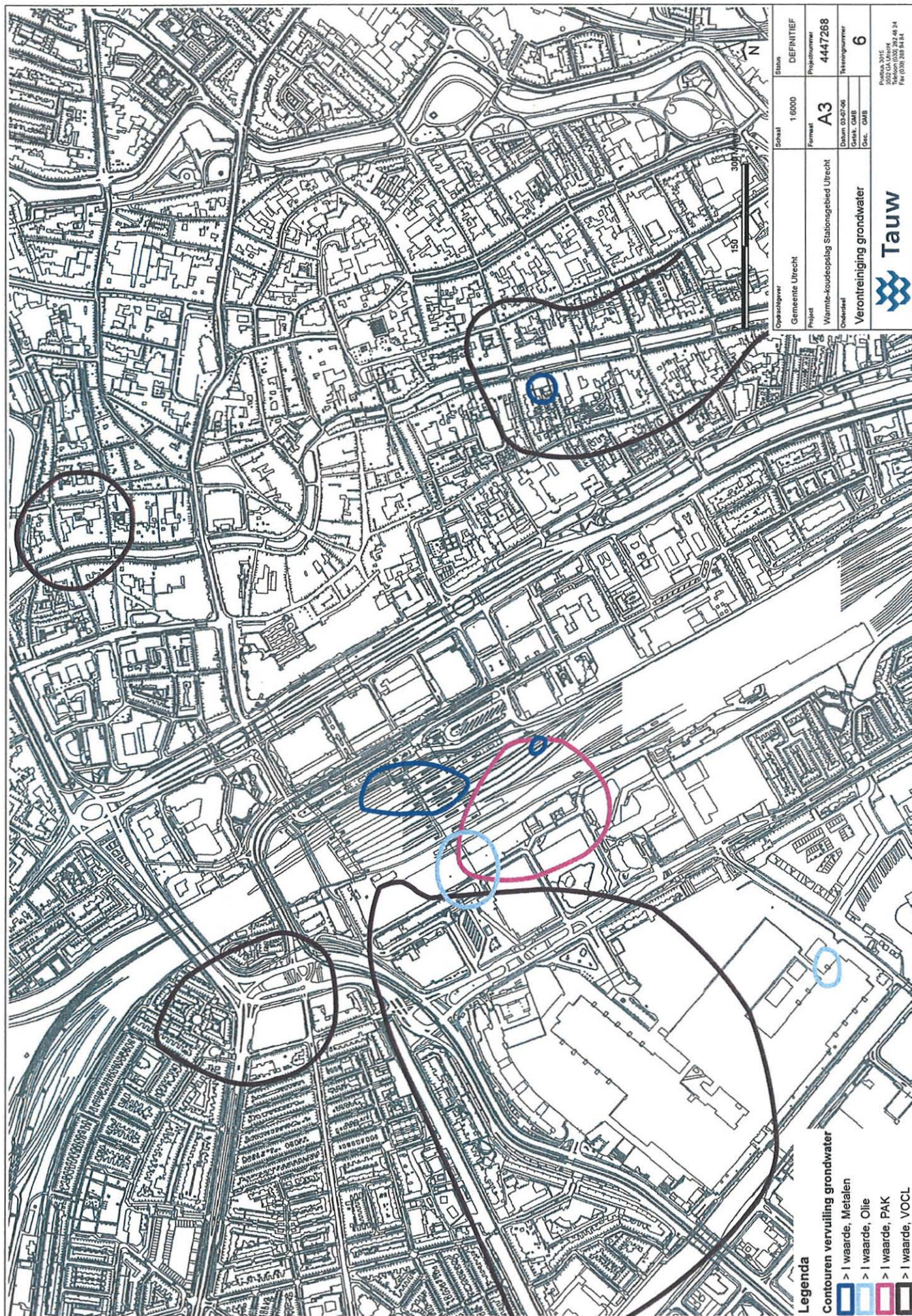


Opdrachtgever	Schaal	Status
Gemeente Utrecht	1:6000	DEFINITIEF
Project	Formaat	Projectnummer
Warmte-koudeopslag Stationsgebied Utrecht	A3	4447268
Onderdeel	Datum	Tekeningnummer
Hoogtes maaiveld	22/06/06	3
	Getek. GMB	Gec. GMB



Postbus 3015
3502 GA Utrecht
Telefoon (030) 282 49 24
Fax (030) 288 94 84





Legenda

Contouren vervuiling grondwater

- > 1 waarde, Metalen
- > 1 waarde, Olie
- > 1 waarde, PAK
- > 1 waarde, VOCL

Opdrachtgever	Gemeente Utrecht	Schaal	1:6000	Status	DEFINITIEF
Project	Warmte-koudeopslag Stationsgebied Utrecht	Formaat	A3	Projectnummer	4447268
Ontwerper	Verontreiniging grondwater	Datum	03-07-06	Tekeningnummer	6
		Gesk.	GMB		
		Overz.	GMB		



Postbus 3015
3500 GB Utrecht
Telefoon (030) 281 48 34
Fax (030) 288 84 84

3

Bijlage

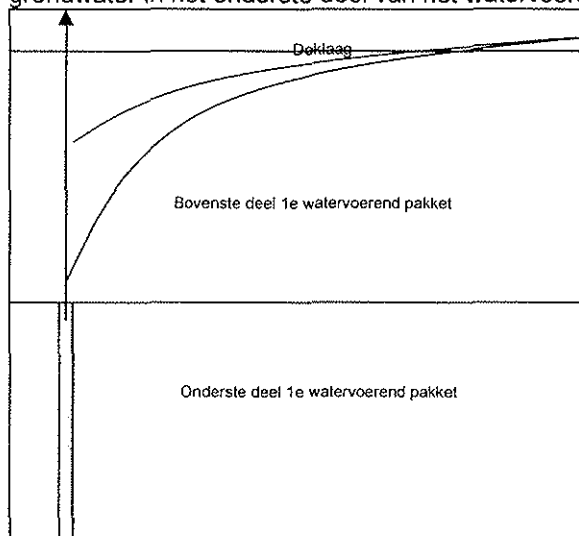
Berekeningsmethode effecten op grondwaterstanden, thermische
beïnvloeding en effecten op bodemverontreiniging

Voor het project Utrecht WKO zijn de freatische grondwaterstandsveranderingen in beeld gebracht.

De onttrekking en infiltratie vinden plaats in het onderste deel van het 1^e watervoerend pakket op een diepte vanaf circa 20 m -mv tot circa 50 m -mv. Als gevolg van de onttrekkingen en infiltraties zullen er stijghoogteveranderingen van het grondwater in het onderste deel van het 1^e watervoerend pakket. Deze effecten zijn berekend met een eenvoudig analytische programma Contour.

B3.1 Dempingsfactor

De freatische grondwaterstand gaat reageren op de stijghoogteverandering van het grondwater in het onderste deel van het 1^e watervoerend pakket. Nabij de bron is de zogenaamde demping van de freatische grondwaterstand het grootst. Voor deze studie is de factor nabij de bron gelijk gesteld aan 0,3. Dat wil zeggen dat de grootte van de freatische grondwaterstandsverandering 30% bedraagt van de stijghoogteverandering van het grondwater in het onderste deel van het 1^e watervoerend pakket. Op afstand van de bron wordt deze factor steeds minder en zal de freatische grondwaterstandsverandering gelijk zijn aan de stijghoogteverandering van het grondwater in het onderste deel van het 1^e watervoerend pakket. Om deze reden is de factor 1 gebruikt. In figuur 1 is dit schematisch weergegeven. Met de rode kleur is de freatische grondwaterstandsverlaging weergegeven en met de blauwe kleur de stijghoogteverlaging van het grondwater in het onderste deel van het watervoerend pakket.



De mate waarin de freatische grondwaterstand wordt gedempt is afhankelijk van de heterogeniteit van de bodemopbouw. Op afstand van de bron zal deze naar verwachting tussen de factor 0,3 en 1,0 in liggen. De factor 0,3 is op afstand een best-case-scenario en de factor 1,0 een worst-case.

De factor 0,3 nabij de bron is berekend met een eenvoudige Modflowberekening waarbij is uitgegaan van de volgende bodemschematisatie en geohydrologische parameters

(overeenkomend met de schematisatie behorend bij de vergunningsaanvraag van het WKO-systeem van de Rabobank)

Tabel 3.1: bodemschematisatie

Diepte (m –mv)	Toelichting	kD (m ² /dag)	C (dagen)
	Fictieve freatische laag	1	
1 -2	deklaag		10
2 - 8	Bovenste deel A 1° watervoerend pakket	270	
8	Fictieve scheidende laag		1
8 - 22	Bovenste deel B 1° watervoerend pakket	630	
22	Fictieve scheidende laag		1
22 - 47	Onderste deel 1° watervoerend pakket (opslagpakket)	1125	

B3.2 Bepaling grondwaterstandsverandering

Met Contour zijn de stijghoogteveranderingen van het grondwater in de bodem berekend als gevolg van injectie en onttrekking. Contour berekent op analytische wijze grondwaterstijghoogtes of veranderingen van grondwaterstijghoogtes in een freatische, geheel afgesloten of een gedeeltelijk afgesloten aquifer (watervoerend pakket). Het programma rekent stationair.

Verandering ter plaatse van de bron

Voor de berekening van het effect van onttrekking dan wel injectie van iedere bron is in Contour een grid aangemaakt van 2000x2000 m (gridafmeting 2x2 m). In het centrum is een onttrekkings- dan wel injectieput geplaatst. Voor ieder van de opgegeven debieten in tabel 4.1 is de stijghoogteverandering per bron in het grid bepaald. Deze stijghoogteverandering vindt plaats in het 1° watervoerend pakket.

Netto verandering Stationsgebied

Wanneer alle bronlocaties bekend zijn, kan in Gis de netto grondwaterstandsverandering in het Stationsgebied bepaald worden door de effecten van onttrekking en injectie in alle bronnen bij elkaar op te tellen. Door middel van superpositie kan op iedere plek in het Stationsgebied het netto effect op stijghoogte in het 1° watervoerend van alle injecties en onttrekkingen worden bepaald.

Nabij de bron treedt demping van een stijghoogteverandering tussen het 1° watervoerend pakket en het freatisch pakket op. Voor deze studie is de factor nabij de bron gelijk aan 0,3. Dat wil zeggen, dat de grootte van de grondwaterstandsverandering 30% bedraagt van de stijghoogteverandering in het 1° watervoerend pakket. Op afstand van de bron is de stijghoogteverandering in het 1° watervoerend pakket en het freatisch pakket bijna gelijk,

afhankelijk van de weerstand van het topsysteem en aanwezig oppervlaktewater. Vooral nog is uitgegaan van een worst-case factor 1, dat wil zeggen geen damping. In deze studie worden de effecten van de onttrekkingen en injecties in het 1^e watervoerend pakket zowel met factor 0,3 als met 1 doorgerekend.

Door het effect van de onttrekkingen en injecties op te tellen bij de maximale grondwaterstand wordt de nieuwe maximale grondwaterstand in het Stationsgebied berekend. Hierbij is rekening gehouden met de factor. De maximale (freatische) grondwaterstand in het gebied is 0,3 à 0,4 hoger dan de gemiddelde grondwaterstand. De afstand tussen deze nieuwe maximale grondwaterstand en het maaiveld moet voldoen aan de opgelegde randvoorwaarde. Het eindresultaat is in een kaart weergegeven.

Injectiedruk

Als voorwaarde voor injectiedruk in een bron geldt dat de maximale injectiedruk in meters waterkolom niet groter mag zijn dan $0,2 \cdot \text{diepte van top van het filter}$.

De afstand van maaiveld tot de bovenzijde van het filter bedraagt circa 20 m. De maximale injectiedruk komt hiermee op een equivalent van een waterkolom van circa 4 m. De grootste stijghoogteverandering in een bron is 1,8 m (bij 90 m³/uur). De injectiedruk blijft dus onder de maximaal toegestane waarde.

B3.3 Berekening thermische straal R_{th}

De thermische straal R_{th} is afhankelijk van de warmtecapaciteit van water en bodem, de (effectieve) filterlengte en het totale waterbezwaar per seizoen. R_{th} is gedefinieerd als:

$$R_{th} = \sqrt{\frac{c_w Q_{tot}}{c_a h \pi}}$$

waarin	c_w	= warmtecapaciteit van water (MJ/(m ³ K))
	c_a	= warmtecapaciteit van water (MJ/(m ³ K))
	Q_{tot}	= waterbezwaar per seizoen (m ³)
	h	= filterlengte (m)

In tabel B3.1 is de thermische straal in de zomersituatie per projectdeel weergegeven. Wanneer een doublet volstaat, wordt er gerekend met een thermische straal per bron.

Wanneer er meer dan een doublet nodig is, zijn er verschillende mogelijkheden om de bronnen te plaatsen. Wanneer de bronnen individueel geplaatst worden zoals bij enkele doublets, wordt er gerekend met een thermische straal per bron. De bronnen kunnen echter ook geclusterd worden in zogenaamde dubbel-doublets. In dat geval worden de waterbezwaren van de twee bronnen bij elkaar opgeteld om een thermische straal te berekenen. Deze straal wordt gerekend vanuit het middelpunt tussen de geclusterde bronnen.

Dit principe geldt ook voor clusters van drie en vier bronnen.

Tabel B3.2 Thermische straal in zomersituatie per bron en cluster van bronnen per projectdeel