Energieopslag TU Delft

Milieu Effect Rapportage

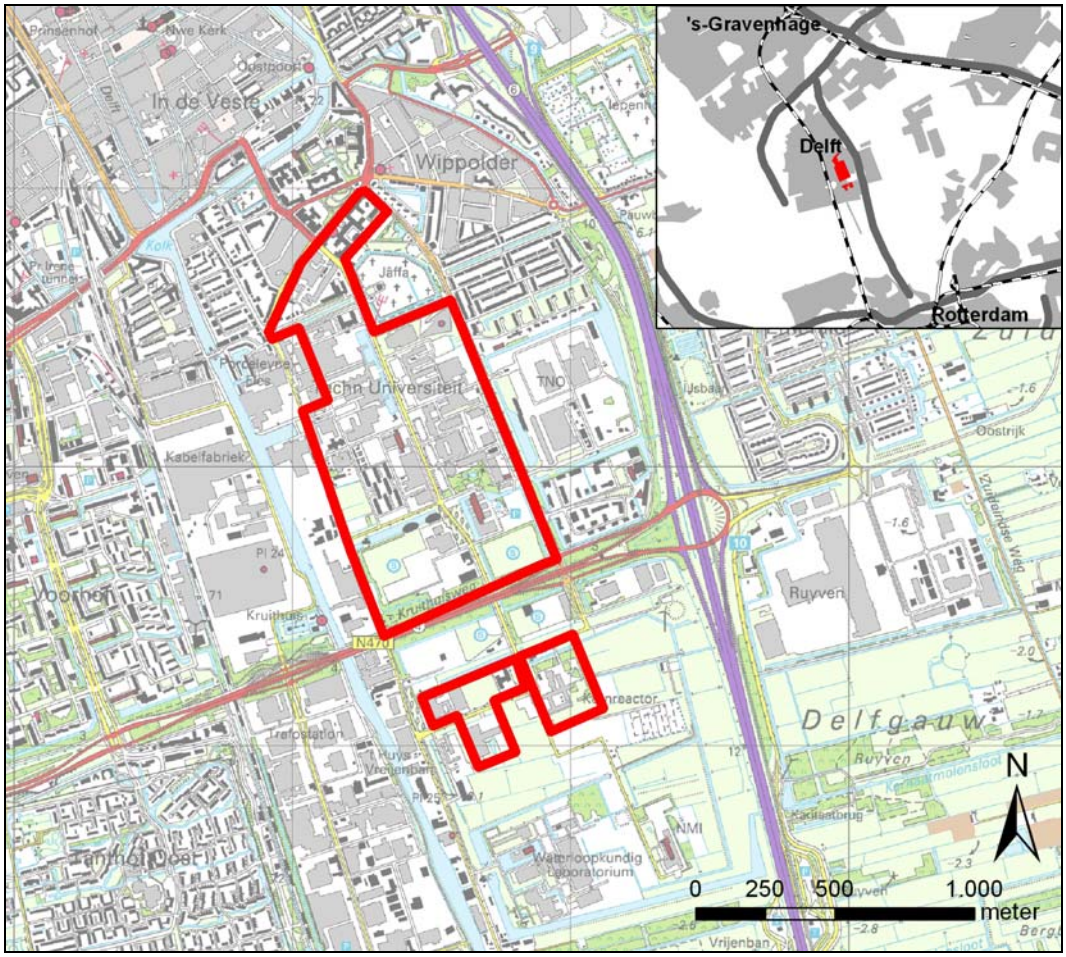
Opdrachtgever	TU Delft Directie facilitair Management & Vastgoed Kluyverweg 6 2629 HT DELFT T 015 - 27 88 000 F 015 - 27 86 198 Contactpersoon: dhr. N.V.J. Prenen
Adviseur	IF Technology bv Velperweg 37 Postbus 605 6800 AP ARNHEM T 026 - 35 35 555 F 026 - 35 35 599 E h.dejonge@iftechnology.nl Contactpersonen: ing. H. de Jonge ir. J.C. Dijxhoorn

25.479/57466/CD
1 november 2011

Samenvatting

Technische Universiteit Delft

Op het terrein van de Technische Universiteit in Delft (TUD) wordt in de toekomst een aantal gebouwen gerenoveerd en vindt nieuwbouw plaats. Voor de klimatisering van deze gebouwen wordt gestreefd naar een zo hoog mogelijke duurzaamheid en naar de toepassing van innovatieve oplossingen. Op dit moment wordt voor de verwarming gebruik gemaakt van stadswarmte welke geleverd wordt door de warmtekrachtcentrale van de TUD. De koeling van een beperkt aantal ruimtes vindt plaats met behulp van koelunits.



Figuur S1 Het terrein van de TU Delft.

Het voornemen

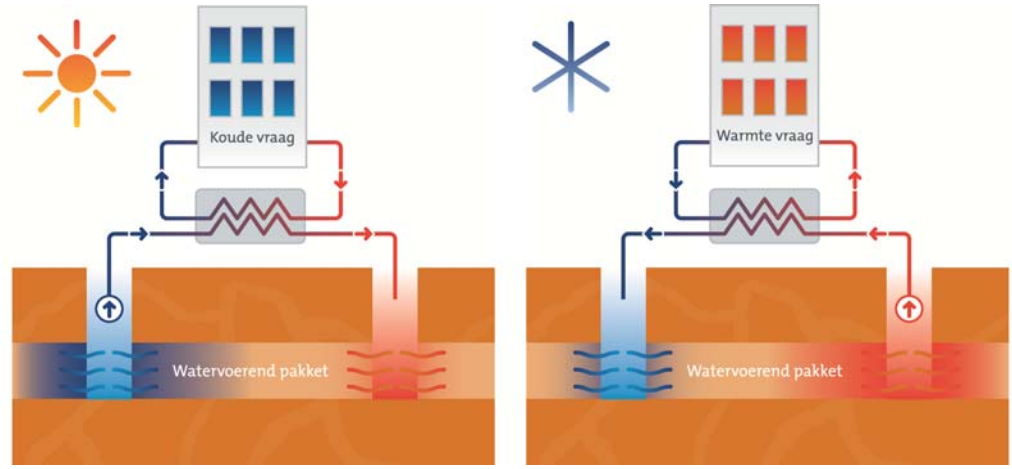
Het voornemen bestaat om de warmte- en koudelevering voor alle gebouwen van de TUD op termijn te gaan verzorgen met stadswarmte in combinatie met een ondergronds energieopslagsysteem (koude-/warmteopslag). Voor drie gebouwen zijn reeds afzonderlijke energieopslagsystemen aangelegd.

Het betreft de systemen voor de Bibliotheek, 3mE (Faculteit Werktuigbouwkunde, Maritieme Techniek & Technische Materiaalwetenschappen) en EWI (Faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica).

Koeling en verwarming
Op het terrein van de TUD staan voornamelijk universiteitsgebouwen. Op dit moment wordt voor ruimteverwarming van de gebouwen warmte geleverd door het centrale warmtenet. De warmte wordt door TUD zelf met hoge temperatuur ketels opgewekt in een centraal ketelhuis.

Een beperkt aantal gebouwen heeft in de huidige situatie comfortkoeling of alleen koeling voor de collegezalen en/of vergaderruimten. Deze koeling vindt op conventionele wijze plaats met behulp van koelmachines.

Naar aanleiding van een aantal warme zomers de afgelopen jaren, is onder het personeel en de studenten van de TUD grote onvrede ontstaan over het binnenklimaat in de faculteiten. Het College van Bestuur van de TUD heeft daarom besloten, om de komende jaren alle gebouwen te voorzien van comfortkoeling. Daarnaast streeft de TUD naar een zo hoog mogelijke duurzaamheid van de comfortkoeling en de verwarming van de gebouwen. Daarom heeft de TUD het voornemen om ondergrondse energieopslag, ook wel koude-/warmteopslag genoemd (KWO), toe te passen.



Figuur S2 Schematische weergave ondergrondse energieopslag

Energieopslag maakt het mogelijk om het overschot aan warmte uit de zomerperiode te gebruiken in de winter door de warmte ondergronds op te slaan. De warmte wordt opgeslagen door de gebouwen te koelen met grondwater en het opgewarmde grondwater in de bodem te infiltreren. Omgekeerd wordt in de winter koude opgeslagen door warmte te onttrekken aan het warme grondwater dat in de zomer is opgeslagen. In de zomer wordt dus gekoeld met winterkoude en wordt tegelijkertijd warmte opgeslagen. In de winter wordt verwarmd met zomerwarmte en wordt tegelijkertijd koude opgeslagen.

Uitgangspunten grondwateronttrekkingen

Voor de TUD is de energievraag berekend en is bepaald welk deel hiervan vanuit de ondergrond geleverd moet worden. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de gehanteerde uitgangspunten voor de eindsituatie.

Tabel S1 Uitgangspunten energieopslag

Parameter	winter	zomer
maximale waterverplaatsing	5.000.000 m^3	5.000.000 m^3
gemiddelde waterverplaatsing	3.250.000 m^3	3.250.000 m^3
maximaal debiet	2.800 m^3/uur	2.800 m^3/uur
gemiddelde infiltratietemperatuur	8 °C	17 °C
minimale/maximale infiltratietemperatuur	5 °C	30 °C
gemiddeld verplaatste hoeveelheid energie	25.650 MWh_t	25.650 MWh_t
maximaal verplaatste hoeveelheid energie	38.450 MWh_t	38.450 MWh_t

m.e.r. procedure

De grondwateronttrekking die nodig is voor de energieopslag is groter dan 3 miljoen m^3 per jaar. Ten tijde van aanvang van de procedure betekende dit dat voor het verkrijgen van een vergunning Waterwet een m.e.r.-procedure moet worden doorlopen. Sinds 1 april 2011 geldt voor energieopslag een m.e.r.-plicht vanaf 10 miljoen m^3 per jaar.

Via het doorlopen van de m.e.r.-procedure worden besluitvormers, wettelijke adviseurs en andere betrokkenen (insprekers) op systematische en zorgvuldige wijze voorzien van zo objectief mogelijke informatie over de gevolgen van het voornemen voor het milieu. Deze informatie wordt gegeven in dit milieueffectrapport (MER). In het MER worden geen besluiten voorgesteld, maar wordt slechts de milieu-informatie verschaft, waardoor de besluitvormers het milieu op een evenwichtige wijze kunnen meenemen in hun besluitvorming.

Alternatieven

In het kader van het MER zijn voor de klimaatvoorziening drie alternatieven en een referentie-alternatief vastgesteld. De bodem bestaat uit verschillende (klei-, veen- en leemhoudende) scheidende lagen en (zandhoudende) watervoerende pakketten. In watervoerende pakketten kan warmte en koude opgeslagen worden. De belangrijkste variabele in deze alternatieven is de diepte van de opslag en het systeemconcept van de energieopslag. Uitgangspunt voor alle alternatieven is dat wordt voldaan aan de energievraag vanuit de gebouwen, dat ze praktisch uitvoerbaar zijn en kunnen worden ingepast in het gebied. De volgende alternatieven zijn in dit MER uitgewerkt:

Referentiesituatie voor de klimaatvoorziening

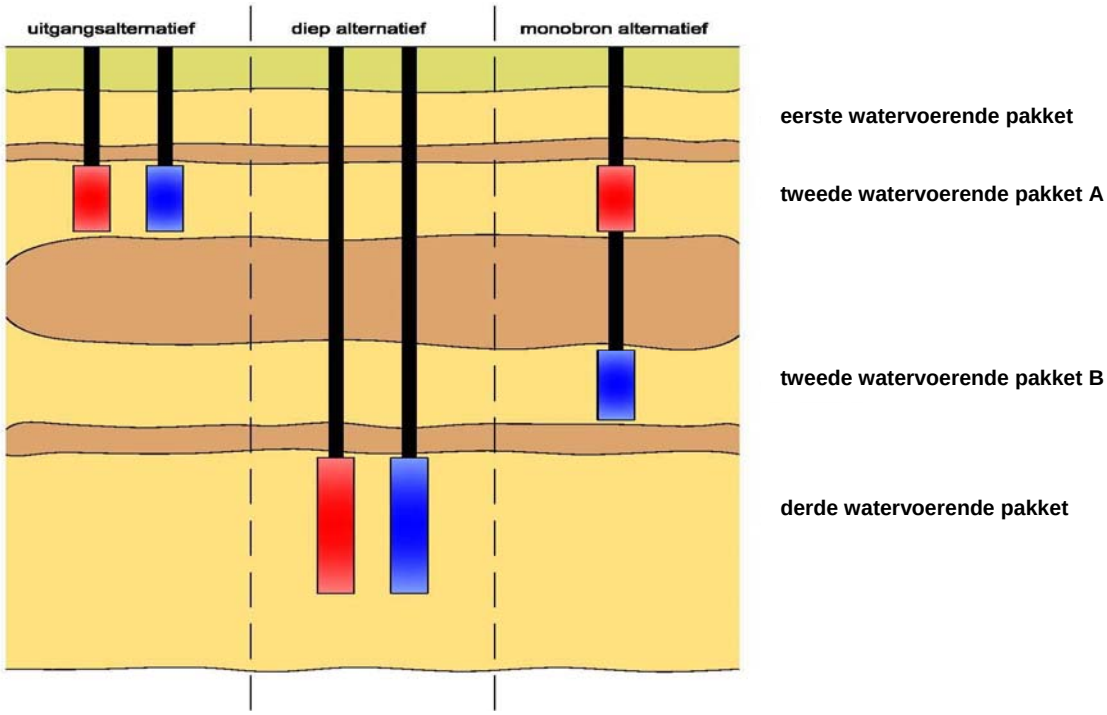
De referentiesituatie is voor de bestaande bebouwing en de eventuele toekomstige nieuwbouw een uitbreiding van het huidig systeemconcept. Dit huidige systeemconcept bestaat uit koeling met koelunits (compressiekoelmachines). De verwarming vindt plaats met warmte afkomstig uit het eigen warmtenet van de TUD. Het warmtenet wordt gevoed door een warmtekrachtcentrale die staat opgesteld in een centraal ketelhuis.

Uitzonderingen zijn de bestaande gebouwen die reeds zijn voorzien van energieopslag in de bodem.

Uitgangsalternatief
In het uitgangsalternatief wordt de warmte en de koude in het tweede watervoerende pakket A opgeslagen. De capaciteit die per bron uit dit pakket kan worden onttrokken bedraagt circa 90 m³/uur. De reeds gerealiseerde energieopslagsystemen zijn ook in dit pakket gerealiseerd. Door het zo ondiep mogelijk plaatsen van de bronfilters, zijn de investeringskosten voor de aanleg van de energieopslagsystemen het laagst.

Diep alternatief
Dit alternatief heeft dezelfde configuratie als het uitgangsalternatief, alleen wordt de warmte en koude in het derde watervoerende pakket opgeslagen. De capaciteit die per bron uit dit pakket kan worden onttrokken bedraagt circa 90 m³/uur. Doordat alle omgevingsbelangen zich aan maaiveld, in het eerste en in het tweede watervoerende pakket A bevinden, zal de invloed op belangen kleiner zijn dan in het uitgangsalternatief. Door het dieper positioneren van de bronfilters zijn de kosten voor de aanleg van de energieopslagsystemen echter hoger dan bij het uitgangsalternatief.

Monobronalternatief
Bij dit alternatief wordt gebruik gemaakt van monobronnen. Bij een monobron wordt het warme en het koude filter boven elkaar in één boorgat geplaatst. Het bovenste filter van de monobron wordt gerealiseerd in het tweede watervoerende pakket A en het onderste filter in het tweede watervoerende pakket B. De capaciteit die per monobron kan worden onttrokken bedraagt circa 50 m³/uur. Door gebruik te maken van monobronnen is er meer vrijheid in de keuze van de locaties van de bronnen. De bronnen kunnen namelijk zonder problemen dicht bij elkaar worden geplaatst, omdat de warmte en de koude op verschillend dieptes worden opgeslagen. Hierdoor kan beter gebruik gemaakt worden van de ruimte die aan maaiveld beschikbaar is. De koude en warme filters worden in grote clusters geplaatst om thermische verliezen te beperken.



Figuur S3 Schematische weergave alternatieven

Onderstaand zijn de locaties van de putten van respectievelijk uitgangs-, diep en mono-bronalternatief. Een rode stip is een warme put en een blauwe stip een koude put. Bij het monobronalternatief betekend een rode stip dat het bovenste filter warm is en bij een blauwe stip dat het bovenste filter koud is.

Figuur S4 Bronlocaties in uitgangs-, diep en monobronalternatief

Beoordeling alternatieven

Voor de verschillende alternatieven zijn de milieueffecten bepaald en is een beoordeling gegeven van de invloed op milieuaspecten in vergelijking met de referentie. Hierbij is gekeken naar de invloed op verschillende milieuaspecten:

- grondwaterkwantiteit: grondwater- en stijghoogteveranderingen en grondwaterstroming in de bodem;
- grondwaterkwaliteit: grondwatertemperatuur, stofconcentraties in de bodem en het oppervlaktewater en verontreinigingen;
- natuur: gebieds- en soortenbescherming;
- omgevingsbelangen: landbouw, cultuurhistorie en archeologie, bebouwing en infrastructuur, grondwatergebruikers en ondergronds ruimtegebruik;
- energie: energiebesparing en emissiereductie;
- ruimtebeslag van de energieopslagsystemen.

Tabel S2 Beoordeling invloed milieuaspecten per alternatief

milieuaspect	**alternatieven**		
	uitgangs	**diep**	**monobron**
kwantiteit	0	0	0
kwaliteit	0	0	0
natuur	0	0	0
omgevingsbelangen	-0,5	0	-0,5
energie	+1	+1	+1
ruimtebeslag	-0,5	-0,5	-0,5

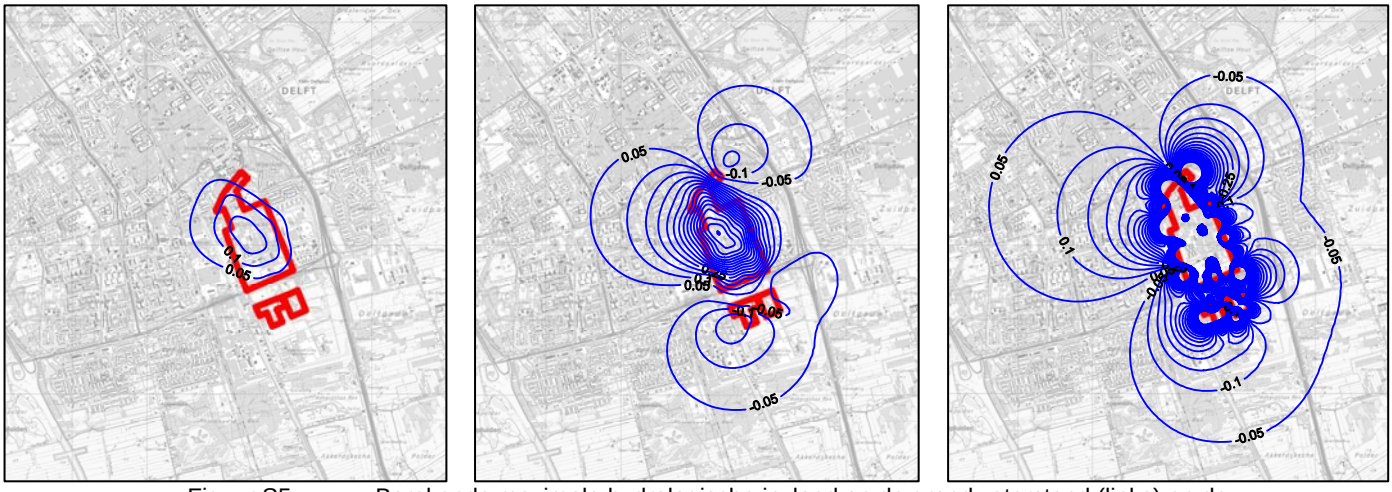
-1 = negatief, 0 = neutraal, +1= positief

De invloed op kwantiteit, kwaliteit en natuur wordt bij alle alternatieven als neutraal beoordeeld. De invloed op het ruimtebeslag is bij alle alternatieven gelijk en wordt als licht negatief beschouwd. Het energievoordeel is bij alle alternatieven positief ten opzichte van de referentie. Bij het uitgangs- en monobronalternatief is de invloed op andere grondwatergebruikers groter dan bij het diepe alternatief en wordt als licht negatief beoordeeld.

Het diepe alternatief wordt op basis van de invloed op milieuaspecten als beste beoordeeld. Er is echter onzekerheid wat betreft de exacte opbouw en de capaciteit van het tweede watervoerende pakket B en het derde watervoerende pakket. Daarnaast zijn de investeringskosten voor de realisatie van de energieopslagsystemen in het derde pakket in vergelijking met de andere alternatieven het hoogst. De investeringskosten van het monobronalternatief zijn ook hoger dan het uitgangsalternatief. Bij het monobronalternatief wordt slechts een gedeelte van de beschikbare capaciteit van het tweede watervoerende pakket A gebruikt. De TUD heeft goede ervaring met de toepassing van energieopslag in het tweede watervoerende pakket A. Derhalve gaat de voorkeur van de TUD uit naar toepassing van energieopslag in het tweede watervoerende pakket A (uitgangsalternatief). Het combineren van de alternatieven (naast bronnen in het tweede watervoerende pakket A ook bronnen in het derde watervoerende pakket en/of monobronnen) heeft geen grote voordelen ten opzichte van het toepassen van alleen het uitgangsalternatief. Derhalve wordt niet gekozen voor een combinatie of mengvorm van alternatieven.

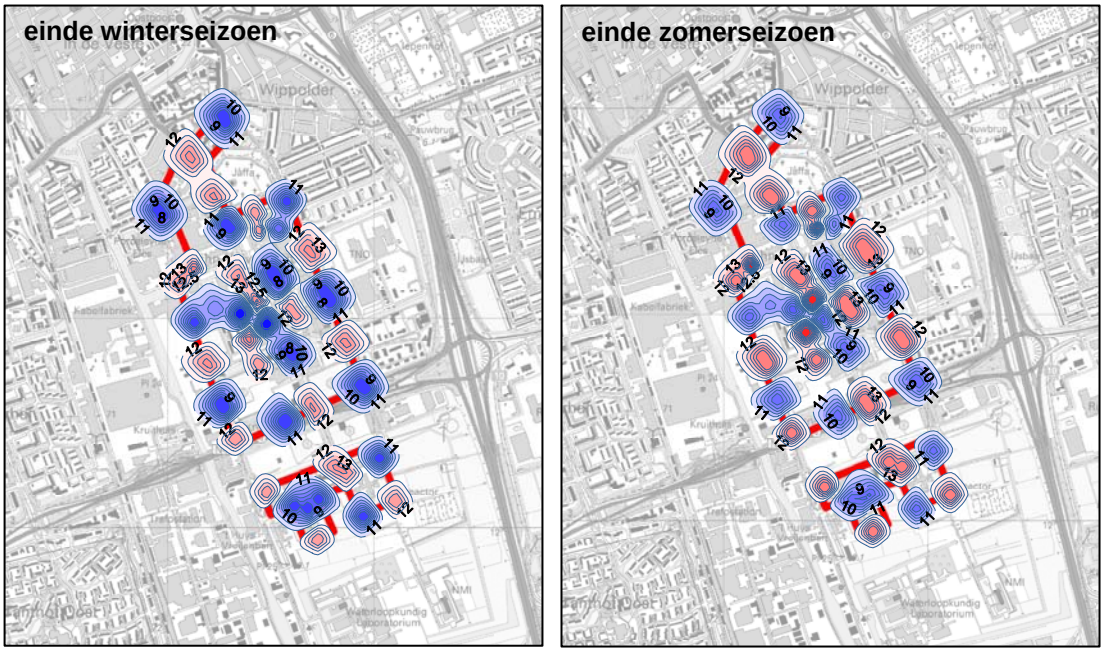
Effecten uitgangsalternatief

Als gevolg van de energieopslag treden hydrologische effecten (grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen) en thermische effecten (grondwatertemperatuurveranderingen) op. In dit MER zijn de effecten van de alternatieven bepaald en is de invloed op milieuaspecten beschreven. De beschreven effecten kunnen in de toekomst optreden als het voornemen voor de volle 100% wordt uitgevoerd. Onderstaand figuur toont de worst-case hydrologische effecten van het uitgangsalternatief.



Figuur S5 Berekende maximale hydrologische invloed op de grondwaterstand (links) en de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket (midden) en het tweede watervoerende pakket A (rechts).

Door de energieopslag wordt warmte en koude opgeslagen in de bodem. De levensduur van een energieopslagsysteem bedraagt circa 30 jaar. In onderstaande figuren is de berekende temperatuur van de bodem weergegeven na 30 jaar energieopslag. De natuurlijke temperatuur van de bodem in het opslagpakket bedraagt 11,5 °C. In de figuren zijn de temperatuurveranderingen groter dan 0,5 °C ten opzichte van de natuurlijke temperatuur weergegeven.



Figuur S6 Berekende temperatuur van de bodem in het opslagpakket na 30 jaar energieopslag.

In het kader van het MER is de invloed op de volgende aspecten/belangen beoordeeld:
- grondwaterstand, stijghoogte en grondwaterstroming;
- kwaliteit van grond- en oppervlaktewater;
- bodem- en grondwaterverontreinigingen;
- natuurwaarden;
- landbouw;
- cultuurhistorie en archeologische waarden;
- bebouwing en infrastructuur;
- andere grondwateronttrekkingen;
- gevolgen voor ondergronds ruimtegebruik;
- energieverbruik en CO_2-emissies.

De beoordeling is gedaan op basis van de berekende invloed onder de meest ongunstige omstandigheden die mogen worden verwacht (worst-case situatie). Over het algemeen is de invloed van de gekozen alternatieven gering (zie ook beoordeling). De belangrijkste specifieke onderdelen zijn hieronder nader toegelicht.

Invloed op de grondwaterstand en stijghoogte
De maximaal berekende grondwaterstandverandering bedraagt 0,17 m en treedt op het TUD terrein op. Op basis van een meer reële inschatting van de bodem bedraagt de grondwaterstandverandering 0,02 m. Het betreft een verhoging in de zomer en een verlaging in de winter. De maximale verandering treedt op het TUD terrein op. Buiten het TUD terrein bedraagt de maximale grondwaterstandverandering 0,10 m.

Het hydrologische invloedsgebied, dat wordt gedefinieerd als de afstand buiten het TUD terrein waarbinnen de berekende veranderingen groter zijn dan 0,05 m, bedraagt in de deklaag maximaal 600 m. Het hydrologische invloedsgebied reikt in het opslagpakket tot maximaal 2.300 m.

Invloed op de grondwatertemperatuur
Gemiddeld over een seizoen bedraagt de infiltratietemperatuur in de koude bronnen 8 °C en de warme bronnen 17 °C. Na 30 jaar energieopslag reikt de thermische invloed, gedefinieerd als een verandering van de temperatuur groter dan 0,5 °C, tot maximaal 135 m buiten het TUD terrein.

Invloed op zoetwatervoorraad
Ter hoogte van het TUD terrein bevindt zich in de deklaag een geringe hoeveelheid zoet grondwater. Het grondwater in het eerste, tweede en derde watervoerende pakket is zout. Beïnvloeding van het zoete grondwater is niet aan de orde. In de opslagpakketten vindt menging van grondwater plaats, waardoor ter plaatse van het TUD terrein in het opslag sprake kan zijn van een toename van het chloridegehalte. Hiervan worden geen negatieve gevolgen verwacht.

Invloed op de landbouw en natuur
In de omgeving van het TUD terrein bevinden zich landbouw- en natuurgebieden (zoals Delftse Hout en Ackerdijkse Plassen). Er bevinden zich meerdere beschermde dier- en plantsoorten in de omgeving van het TUD terrein, waarvan enkele grondwaterstandafhankelijk zijn. De maximale grondwaterstandverandering bedraagt 0,17 m. Het betreft een verhoging in de zomer en een verlaging in de winter. Gezien de grootte en tijdelijkheid van de grondwaterstandverandering is negatieve beïnvloeding van beschermde soorten niet te verwachten. Ter hoogte van landbouw- en natuurgebieden bedraagt de berekende maximale grondwaterstandverandering 0,01 m. De verticale stroming door de deklaag wordt niet beïnvloed door de beoogde energieopslag. Derhalve heeft de energieopslag geen invloed op landbouw en natuur.

Invloed op bebouwing en infrastructuur
Invloed op bebouwing en infrastructuur kan optreden wanneer de grondwaterstand te hoog (onderlopen kelders, opdrijven tunnels) of te laag (rotten houten paalfunderingen) is of wanneer zettingen optreden. De verandering van de grondwaterstand is dermate gering dat deze geen invloed heeft de bebouwing en infrastructuur.

De berekende totaalzetting (zetting die optreedt wanneer het systeem gedurende het totale aantal vollastdagen (74 dagen) op maximaal debiet aan staat) bedraagt maximaal 2,6 cm. De zetting in de deklaag bedraagt maximaal 1,2 cm. Deze maximale zettingen treden direct bij de bronnen op. Of schade optreedt heeft ook te maken met het zettingsverhang, ookwel de helling van de zetting. Bij een grote helling is eerder schade te verwachten dan bij een kleine helling. Het berekende maximale zettingsverhang is echter beperkt. De berekende maximale zettingen en het zettingsverhang blijven onder de norm (NEN 6740). De beperkte zettingen en het bijbehorende zettingsverhang zal geen schade aan bebouwing of infrastructuur veroorzaken.

Invloed op grondwatergebruikers
De invloed van de beoogde energieopslag op de grondwaterstand ter plaatse van grondwatergebruikers in de deklaag is maximaal 0,1 m. De stijghoogteverandering in het eerste watervoerende pakket bedraagt maximaal 0,8 m. Ter hoogte van grondwatergebruikers in het eerste watervoerende pakket is de maximale verandering 0,2 m. Deze veranderingen zijn dermate gering dat deze geen invloed heeft op aanwezige grondwatergebruikers in de deklaag en het eerste watervoerende pakket.
Binnen het tweede watervoerende pakket A bevinden zich meerdere grondwatergebruikers. Bij Haagse Hogeschool en bij Technopolis wordt op basis van de worst-case berekeningen een maximale stijghoogteverandering van groter dan 0,5 m berekend. Afhankelijk van de veiligheidsruimte die beschikbaar is bij de andere systemen om extra stijghoogteveranderingen te kunnen opvangen, kan dit mogelijk tot problemen leiden. Middels technische aanpassingen kan dit probleem verholpen worden. Hierbij moet gedacht worden aan het aanpassen van de onderhouds- en alarmniveaus in de software van het gebouwbeheerssysteem of het dieper plaatsen van de bronpompen (indien mogelijk). In het MER is uitgegaan van worst-case bronlocaties. Er kan derhalve ook voor gekozen worden om de in dit MER opgenomen bronlocaties te verplaatsen om de invloed op de andere gebruikers te beperken.

Invloed op energieverbruik en CO_2-emissie
Door de toepassing van energieopslag in de bodem bij de TUD wordt in vergelijking met de referentie minder elektriciteit en gas verbruikt. De energiebesparing en emissiereductie is bepaald op basis van de besparing op primair energieverbruik. Hierbij is het verbruik van elektriciteit omgerekend naar de hoeveelheid energie die nodig is voor de elektriciteitsopwekking. Jaarlijks kan de TUD tot 90% op primaire energie besparen. De bijbehorende verlaging van de CO_2-emissies bedraagt 90% (circa 7.650 ton). De besparing is gedefinieerd ten opzichte van de referentie met het warmtenet voor de verwarming en koelmachines voor de koeling. De verhouding van de geleverde energie versus de benodigde primaire energie voor de energieopslag is 15,1.

Conclusie
Het voornemen bestaat om de warmte- en koudelevering voor alle gebouwen van de TUD op termijn te gaan verzorgen met stadswarmte in combinatie met een ondergronds energieopslagsysteem. De voorkeur bestaat voor het toepassen van de energieopslag in het tweede watervoerende pakket A (uitgangsalternatief). De invloed van de beoogde energieopslag op milieuaspecten en omgevingsbelangen is beperkt. Door het toepassen van de energieopslag wordt het energieverbruik en daarmee de CO_2-emissies, ten opzichte van de referentie, met 90% verlaagd.

Inhoudsopgave

1 Inleiding 17
1.1 Algemeen 17
1.2 Plan- en studiegebied 18
1.3 m.e.r.-procedure en besluitvorming 19
1.4 Betrokken partijen 19
1.5 Reageren? 20
1.6 Wat kunt u vinden in dit MER? 20

2 Achtergrond en besluitvorming 21
2.1 Achtergrond en doel 21
2.1.1 Aanleiding 21
2.1.2 Warmte- en koudelevering huidige situatie 21
2.1.3 Toekomstig koelvermogen bestaande bebouwing 21
2.2 Beleidskader en te nemen besluiten 23
2.2.1 Europees beleid 23
2.2.2 Nationaal beleid 23
2.2.3 Provinciaal beleid 24
2.2.4 Beleid gemeente Delft 25
2.2.5 Taken Hoogheemraadschap van Delfland 26
2.2.6 Beleid TU Delft 26
2.3 Te nemen besluiten 27

3 Voorgenomen activiteit en alternatieven 29
3.1 Algemeen 29
3.1.1 Totaal grondwaterdebiet energieopslag 29
3.1.2 Ervaring bestaande energieopslagsystemen TU Delft 29
3.1.3 Systeemconcept met energieopslag 31
3.1.4 Energieverbruik 34
3.1.5 Aanlegfase 34
3.1.6 Onderhoud 39
3.2 Alternatieven 41
3.2.1 Uitgangsalternatief 43
3.2.2 Diep alternatief 43
3.2.3 Monobronalternatief 44
3.3 Referentie 45

4 Bestaande milieusituatie en milieugevolgen 47
4.1 Bodem 47
4.1.1 Ontstaansgeschiedenis 47
4.1.2 Bodemopbouw 48
4.1.3 Grondwaterstand en grondwaterstroming 50
4.1.4 Oppervlaktewater 52
4.2 Invloed op waterkwantiteit 53
4.2.1 Hydrologisch model 53
4.2.2 Hydrologische effecten 54

4.2.3 Gevoeligheidsanalyse hydrologische effecten 55
4.2.4 Invloed op grondwaterstand en grondwaterstroming 57
4.3 Invloed op waterkwaliteit 57
4.3.1 Invloed op de grondwatertemperatuur 57
4.3.2 Invloed op de chlorideconcentratie 60
4.3.3 Invloed op de sulfaatconcentratie 61
4.3.4 Invloed op verontreinigingen 61
4.4 Natuur 62
4.4.1 Gebiedsbescherming 62
4.4.2 Soortenbescherming 63
4.5 Overige milieueffecten 64
4.5.1 Landbouw 64
4.5.2 Cultuurhistorie en archeologische waarden 64
4.5.3 Bebouwing en infrastructuur 65
4.5.4 Grondwatergebruikers 67
4.5.5 Invloed op ondergronds ruimtegebruik 70
4.6 Energie 72

5 Beoordeling van de alternatieven 75
5.1 Beoordeling milieuaspecten 75
5.2 Hydrologische effecten (fasering) 78
5.3 Hersteltijd van de energieopslagsystemen 79

6 Overige aspecten 81
6.1 Leemten in milieu-informatie 81
6.2 Evaluatieprogramma 82

Figuren:

Figuur 1.1 Het terrein van de TU Delft

Figuur 3.1 Principeschema algemeen systeemconcept
Figuur 3.2 Principeschema systeemconcept met uitgangspunten totaal TUD terrein
Figuur 3.3 Gemiddelde pompcapaciteit per maand (indicatief)
Figuur 3.4 Schematische doorsnede bron
Figuur 3.5 Principetekening half bovengrondse en ondergrondse putbehuizing
Figuur 3.6 Afwerking putdeksel half bovengrondse en ondergrondse put
Figuur 3.7 Schematische weergave alternatieven
Figuur 3.8 Bronnenplan uitgangsalternatief
Figuur 3.9 Bronnenplan diep alternatief
Figuur 3.10 Bronnenplan monobronalternatief
Figuur 3.11 Algemeen principeschema referentie

Figuur 4.1 Geulstructuren in de omgeving van het TUD terrein
Figuur 4.2 Bodemprofielen TUD terrein
Figuur 4.3 Verbreiding en weerstand (in dagen) van de scheidende laag binnen het tweede watervoerende pakket

Figuur 4.4 Isohypsenkaart
Figuur 4.5 Poldergebieden in de omgeving van Delft
Figuur 4.6 Peilvakken TUD terrein
Figuur 4.7 Maximale hydrologische effecten uitgangsalternatief
Figuur 4.8 Maximale hydrologische effecten diep alternatief
Figuur 4.9 Maximale hydrologische effecten monobronalternatief
Figuur 4.10 Maximale hydrologische effecten gevoeligheidsanalyse (uitgangsalternatief)
Figuur 4.11 Maximale hydrologische effecten gevoeligheidsanalyse (diep alternatief)
Figuur 4.12 Maximale hydrologische effecten gevoeligheidsanalyse (monobronalternatief)
Figuur 4.13 Berekende temperatuurcontouren na 30 jaar energieopslag, uitgangsalternatief
Figuur 4.14 Berekende temperatuurcontouren na 30 jaar energieopslag, diep alternatief
Figuur 4.15 Berekende temperatuurcontouren na 30 jaar energieopslag, monobronalternatief
Figuur 4.16 Berekende temperatuurcontouren na 30 jaar energieopslag, uitgangsalternatief (bij stopzetting DSM)
Figuur 4.17 Omgevingsbelangen
Figuur 4.18 Overzicht gebieden ecologische hoofdstructuur
Figuur 4.19 Archeologische monumenten en trefkans op archeologische sporen
Figuur 4.20 Principeschema met uitgangspunten energieopslag in de bodem
Figuur 4.21 Principeschema met uitgangspunten referentievariant

Figuur 5.1 Maximale hydrologische effecten fase 1
Figuur 5.2 Maximale hydrologische effecten fase 2
Figuur 5.3 Maximale hydrologische effecten eindsituatie

Bijlagen:

1 Overzicht gebouwen TUD terrein
2 Toelichting grondwatermodel
3 Uitgangspunten en resultaten worst-case berekeningen
4 Beschrijving thermisch model
5 Rode Lijstsoorten en beschermde Flora- en Faunawetsoorten in het plangebied
6 Archeologische monumenten
7 Berekening van de zetting
8 Energetische en milieutechnische uitgangspunten en kengetallen

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Op het terrein van de Technische Universiteit in Delft (TUD) wordt in de toekomst een aantal gebouwen gerenoveerd en vindt nieuwbouw plaats. Voor de klimatisering van deze gebouwen wordt gestreefd naar een zo hoog mogelijke duurzaamheid en naar de toepassing van innovatieve oplossingen. Op dit moment wordt voor de verwarming gebruik gemaakt van stadswarmte welke geleverd wordt door de warmtekrachtcentrale van de TUD. De koeling van een beperkt aantal ruimtes vindt plaats met behulp van koelunits.

Het voornemen bestaat om de warmte- en koudelevering voor alle gebouwen van de TUD op termijn te gaan verzorgen met stadswarmte in combinatie met een ondergronds energieopslagsysteem (koude-/warmteopslag). Voor drie gebouwen zijn reeds afzonderlijke energieopslagsystemen aangelegd. Het betreft de systemen voor de Bibliotheek, 3mE (Faculteit Werktuigbouwkunde, Maritieme Techniek & Technische Materiaalwetenschappen) en EWI (Faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica). Voor de bestaande energieopslagsystemen op het TUD terrein zijn losse vergunningen aangevraagd. Dit MER beschrijft de invloed van de bestaande en de beoogde toekomstige energieopslagsystemen op het TUD terrein. Het MER wordt gebruikt als onderbouwing van de vergunningaanvragen Waterwet, welke na het doorlopen van de m.e.r. per systeem aangevraagd zullen worden. Het MER vormt ook het uitgangspunt voor het Masterplan voor het TUD terrein en de omgeving.

Voor de energieopslagsystemen wordt gelijktijdig grondwater onttrokken en geïnfiltreerd. Het onttrekken en infiltreren van grondwater is vergunningplichtig in het kader van de Waterwet. Ten tijde van aanvang van de procedure voor dit project gold dat wanneer per jaar meer dan 3 miljoen m³ grondwater wordt onttrokken en geïnfiltreerd, in het kader van de Wet Milieubeheer, naast de vergunningaanvraag Waterwet, een m.e.r. dient te worden doorlopen[1]. Omdat voor dit project in de eindsituatie meer dan 3 miljoen m³ grondwater wordt onttrokken en geïnfiltreerd wordt een m.e.r. doorlopen. Sinds 1 april 2011 geldt een m.e.r.-plicht voor energieopslag bij een onttrekking en infiltratie vanaf 10 miljoen m³ per jaar.

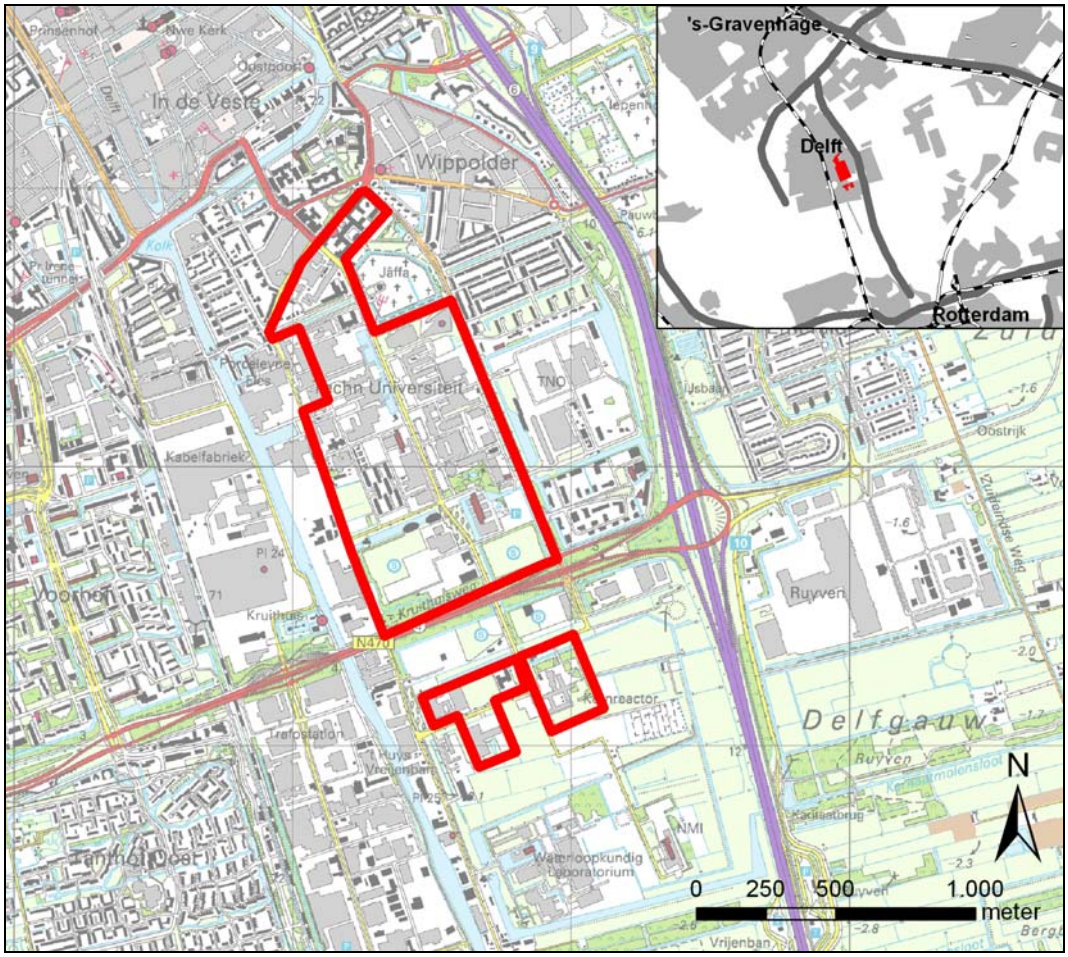
De m.e.r. wordt uitgevoerd in het kader van de Wet Milieubeheer en is bedoeld om de milieueffecten ten gevolge van energieopslagsystemen in beeld te brengen. De rapportage behandelt het grondwaterzijdige deel van het systeem en de daaraan gerelateerde (milieu)effecten, zoals energiebesparing en emissiereductie.

[1] m.e.r. = de procedure van de milieueffectrapportage; MER = het milieueffectrapport

1.2 Plan- en studiegebied

Plangebied

Figuur 1.1 toont de ligging van het TUD terrein. Het terrein van de TUD is gelegen in het zuidoostelijke deel van Delft. Het totale terrein heeft een oppervlakte van circa 90 hectare.



Figuur 1.1 Het terrein van de TU Delft.

Studiegebied

Het studiegebied omvat het terrein van de TUD en omgeving, voor zover daar effecten kunnen optreden als gevolg van de voorgenomen grondwateronttrekking en -infiltratie. Hydrologische berekeningen geven aan dat het invloedsgebied in het eerste, tweede en derde watervoerende pakket tot respectievelijk maximaal 1,4 km, 2,3 km en 4,0 km afstand reikt. Hierbij is voor elke locatie en diepte uitgegaan van de maximale effecten van alle drie de alternatieven. In de deklaag reikt het invloedsgebied tot maximaal 0,6 km vanaf de rand van het TUD terrein. Voor de inventarisatie van belangen in de omgeving is beoordeeld welk invloedsgebied relevant is. Voor grondwaterstandafhankelijke belangen is uitgegaan van het invloedsgebied in de deklaag en voor de overige belangen van het invloedsgebied in het watervoerende pakket waarin het belang zich bevindt.

1.3 m.e.r.-procedure en besluitvorming

Op basis van de Waterwet is voor de beoogde energieopslag een vergunning nodig. Ten tijde van aanvang van de procedure voor dit project gold op basis van het Besluit m.e.r. een m.e.r.-plicht, wanneer het een vergunningplichtige activiteit in het kader van de Waterwet artikel 6.4 en 6.5 betreft en per jaar meer dan 3 miljoen m^3 grondwater wordt verplaatst en het geen bronbemaling bij een bouwput, een bodemsanering of een proefproject voor een waterwinning betreft. De beoogde energieopslag betreft een onttrekking en infiltratie van meer dan 3 miljoen m^3 per jaar (maximaal 10 miljoen m^3 per jaar) en is daarom m.e.r.-plichtig.

Sinds 1 april 2011 geldt een m.e.r.-plicht voor energieopslag bij een onttrekking en infiltratie vanaf 10 miljoen m^3 per jaar.

Via het doorlopen van de m.e.r.-procedure worden besluitvormers, wettelijke adviseurs en andere betrokkenen (insprekers) op systematische en zorgvuldige wijze voorzien van zo objectief mogelijke informatie over de gevolgen van het voornemen voor het milieu. Deze informatie wordt gegeven in dit milieueffectrapport (MER). In het MER worden geen besluiten voorgesteld, maar wordt slechts de milieu-informatie verschaft waardoor de besluitvormers het milieu op een evenwichtige wijze kunnen meenemen in hun besluitvorming.

1.4 Betrokken partijen

Bij milieueffectrapportages zijn verschillende partijen betrokken, met ieder een eigen invalshoek. In het geval van de m.e.r. Waterwet voor de TUD gaat het om de volgende partijen:

1. Initiatiefnemers

De initiatiefnemer van de m.e.r.-plichtige activiteit is:

TU Delft
Directie facilitair Management & Vastgoed
Kluyverweg 6
2629 HT DELFT
T 015 - 27 88 000
F 015 - 27 86 198
Contactpersoon: dhr. N.V.J. Prenen

2. Bevoegd gezag

De provincie Zuid-Holland (Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland) is bevoegd om over het voornemen waarvoor het MER wordt opgesteld (=in het kader van de Waterwet vergunningplichtige activiteit) een besluit te nemen en zijn daarmee het bevoegd gezag.

3. Insprekers

Insprekers zijn personen of organisaties die op bepaalde momenten in de procedure (zie bijlage 1) hun mening over de gewenste inhoud van het milieueffectrapport en/of over de juistheid en volledigheid van het opgestelde milieueffectrapport kenbaar maken. Het staat een ieder vrij als inspreker op te treden.

Tijdens de inzagetermijn van de Startnotitie zijn inspraakreacties ontvangen van de Gemeente Midden-Delfland, het Hoogheemraadschap van Delfland, de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed en de Commissie m.e.r. De provincie heeft kennis genomen van deze inspraakreacties en deze betrokken bij het opstellen het advies voor de reikwijdte en het detailniveau voor het MER. Hiermee dient het MER te voldoen aan het advies voor reikwijdte en detailniveau.

1.5 Reageren?

Na bekendmaking van dit MER wordt deze voor een periode van 6 weken ter inzage gelegd door de provincie. Tijdens de inzageperiode kunnen inspraakreacties worden ingebracht bij:

Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland
T.a.v. dhr. H.P.M. Wachelder
Postbus 90602
2509 LP Den Haag

Bij de inspraak kunt u reageren op de uitkomsten van het Milieu Effect Rapport.

1.6 Wat kunt u vinden in dit MER?

In het voorliggende Milieu Effect Rapport (MER) zijn de milieueffecten van de voorgenomen activiteit en de gevolgen daarvan beschreven. Het MER geeft een onderbouwing vanuit de milieueffecten voor (de keuze van) de alternatieven waarvoor een vergunning Waterwet wordt aangevraagd.

Het rapport is onderverdeeld in een aantal hoofdstukken. In hoofdstuk 2 is achtergrondinformatie over het project en de bijbehorende besluitvorming opgenomen. Hoofdstuk 3 beschrijft de voorgenomen activiteit en de alternatieven. De bestaande milieusituatie en de milieugevolgen van het project zijn uitgewerkt in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden de alternatieven beoordeeld op basis van hun invloed op belangen. Tot slot gaat hoofdstuk 6 in op de belangrijkste leemten in informatie en wordt een voorstel gedaan voor een evaluatieprogramma.

De verwijzing in het rapport naar figuren die zijn opgenomen in de bijlage wordt gekenmerkt door de letter ‘B’ voor het figuurnummer.

2 Achtergrond en besluitvorming

2.1 Achtergrond en doel

2.1.1 Aanleiding

Naar aanleiding van een aantal warme zomers de afgelopen jaren, is onder het personeel en de studenten van de TUD grote onvrede ontstaan over het binnenklimaat in de faculteiten. Het College van Bestuur van de TUD heeft daarom besloten, om de komende jaren alle gebouwen te voorzien van comfortkoeling. Daarnaast streeft de TUD naar een zo hoog mogelijke duurzaamheid van de comfortkoeling en de verwarming van de gebouwen.

Energieopslag in de bodem is een duurzaam alternatief voor koeling van de gebouwen in plaats van de nu toegepaste conventionele koeling met koelmachines. Voor het leveren van het maximaal toekomstig koelvermogen van de bestaande bebouwing van circa 21 MW_t, is bij conventionele koeling met koelmachines sprake van een veel grotere elektriciteitsaansluiting en -verbruik dan bij koeling met energieopslag in de bodem. Daarnaast heeft de TUD goede ervaringen met bestaande energieopslagsystemen bij enkele bestaande gebouwen. Daarom wil de TUD ook voor de andere gebouwen gebruik gaan maken van energieopslag in de bodem.

2.1.2 Warmte- en koudelevering huidige situatie

Op het terrein van de TUD staan voornamelijk universiteitsgebouwen. Op dit moment wordt voor ruimteverwarming van de gebouwen warmte geleverd door het centrale warmtenet. De warmte wordt door TUD zelf met warmte-krachtkoppeling opgewekt in een centraal ketelhuis.

Een beperkt aantal gebouwen heeft in de huidige situatie comfortkoeling of alleen koeling voor de collegezalen en/of vergaderruimten. Deze koeling vindt op conventionele wijze plaats met behulp van koelmachines. Voor een aantal gebouwen is een energieopslagsysteem gerealiseerd. Het betreft de Bibliotheek, de faculteit 3mE en de faculteit EWI. Het totale koelvermogen van de bestaande energieopslagsystemen bedraagt circa 3,5 MW_t.

2.1.3 Toekomstig koelvermogen bestaande bebouwing

Door TUD is per bestaand gebouw dat in de toekomst wordt voorzien van een energieopslagsysteem het benodigde koelvermogen bepaald. Het totale koelvermogen in de toekomst van de bestaande bebouwing bedraagt 21 MW_t. Op basis van 1.000 equivalente vollasturen is de koudevraag op jaarbasis gekwantificeerd.

Een overzicht van deze bestaande gebouwen met koelvermogens en koudevragen is in tabellen 2.1 t/m 2.3 weergegeven. In bijlage 1 is een overzicht van de gebouwen op het TUD terrein weergegeven met daarbij per bestaand gebouw het gebouwnummer, het vloeroppervlak en het benodigde koelvermogen in de toekomst.

De gegevens in tabel 2.1 zijn inclusief de bestaande energieopslagsystemen van de bibliotheek (21), 3mE + IO (34+32) en EWI (36). Het gebouw van Bouwkunde (08) is het voormalig hoofdgebouw en bevindt zich in TU-wijk Noord.

Tabel 2.1 Koelvermogens en koudevragen gebouwen TU-wijk Noord/Midden

gebouw-nummer	**gebouwnaam**	**koelvermogen [kW_t]**	**koudevraag [MWh_t]**
(08)	Bouwkunde	2.000	2.000
(12)	TNW + DCT	2.500	2.500
(20)	Aula	700	700
(21)	Bibliotheek	750	750
(22)	TNW	2.500	2.500
(23)	CITG	3.500	3.500
(31)	TBM	500	500
(34+32)	3mE + IO	2.200	2.200
(36)	EWI	3.000	3.000
(37)	Sportcentrum	300	300
(38)	Cultuurcentrum	150	150
(46)	P&E LAB	250	250
	TU-wijk Noord/Midden	**18.350**	**18.350**

Tabel 2.2 Koelvermogens en koudevragen gebouwen TU-wijk Zuid

gebouw-nummer	**gebouwnaam**	**koelvermogen [kW_t]**	**koudevraag [MWh_t]**
(50)	RID	700	700
(60)	L&M	50	50
(62)	L&R	1.200	1.200
(65)	Kluyverweg 4-6	700	700
	TU-wijk Zuid	**2.650**	**2.650**

Tabel 2.3 Koelvermogens en koudevragen gebouwen TUD terrein

	koelvermogen [kW_t]	**koudevraag [MWh_t]**
TU-wijk Noord en Midden	18.350	18.350
TU-wijk Zuid	2.650	2.650
totaal TUD terrein	**21.000**	**21.000**

De eisen met betrekking tot de energieprestatie en hoe deze te realiseren zijn beschreven in paragraaf 2.2.4.

2.2 Beleidskader en te nemen besluiten

Voor de realisatie van de voorgenomen grondwateronttrekkingen gelden randvoorwaarden en uitgangspunten. Deze vloeien voort uit wettelijke bepalingen en beleid op Europees, nationaal en provinciaal niveau.

Hieronder zijn de hoofdlijnen weergegeven van het beleidskader voor de TUD.

2.2.1 Europees beleid

Kaderrichtlijn Water
Eind 2000 is de Europese Kaderrichtlijn Water in werking getreden. Deze richtlijn richt zich op de bescherming van alle oppervlaktewateren, kustwateren en grondwatersystemen. Voor de TUD betekent dit onder andere dat duurzaam moet worden omgegaan met de beschikbare waterbronnen en dat uitputting van (grond)watervoorraden in het studiegebied dient te worden voorkomen.

Flora- en Faunawet en Natuurbeschermingswet
De Vogelrichtlijn en de Habitatrichtlijn zijn richtlijnen van de Europese Unie waarin aangegeven wordt welke soorten en natuurgebieden (habitats) beschermd moeten worden door de lidstaten. De Vogel- en Habitatrichtlijn zijn in Nederland vertaald naar de Natuurbeschermingswet en Flora- en faunawet. De Natuurbeschermingswet is bestemd voor gebiedsbescherming, terwijl de Flora- en faunawet bedoeld is voor de soortbeschermingsaspecten van de Nederlandse natuur. Dit betekent voor de TUD dat de toepassing van de voorgenomen energieopslag geen nadelige invloed mag hebben op aanwezige beschermde soorten en gebieden.

Verdrag van Malta
Archeologische waarde en monumenten zijn beschermd door middel van het Europese Verdrag van Valetta, ook wel bekend als het Verdrag van Malta (1992). Uitgangspunt van het verdrag is dat het archeologische erfgoed integrale bescherming nodig heeft en krijgt. Nederland heeft dit verdrag mede ondertekend. De uitgangspunten van het verdrag zijn per 1 september 2007 geïmplementeerd in de Nederlandse wetgeving met de inwerkingtreding van de wet op de archeologische monumentenzorg. Voor de TUD betekent dit dat eventuele aanwezige archeologische waarden door het voornemen niet aangetast mogen worden.

2.2.2 Nationaal beleid

Waterwet
De Waterwet reguleert de verdeling van grondwater met het oog op een optimaal gebruik door de verschillende belangen die daaraan verbonden zijn. De wet is een zogenaamde raamwet: het geeft hoofdpunten en handvatten voor uitwerking in provinciale regelingen of via een Algemene Maatregel van Bestuur.
De Waterwet is voornamelijk gericht op de waterkwantiteit en niet op waterkwaliteit. Alleen als ook wordt geïnfiltreerd (zoals bij energieopslag) is de waterkwaliteit van belang.

De Waterwet geeft de mogelijkheid om een evenwichtige afweging te maken tussen alle bij het grondwaterbeheer betrokken belangen, zoals de drinkwatervoorziening, land- en tuinbouw, industrie en ondergrondse energieopslag. De wet weegt de noodzaak om te onttrekken af tegen de optredende effecten op de omgeving.

De Waterwet stelt voorwaarden aan de onttrekking en infiltratie van grondwater in het grondwatersysteem. Dergelijke activiteiten kunnen doorgang vinden indien een vergunning wordt verleend. Afhankelijk van het doel en de omvang van de onttrekking is de provincie of het waterschap het bevoegd gezag. In dit geval gaat het om energieopslag en is de provincie bevoegd gezag.

Wet Milieubeheer
Bij het ontwikkelen en het onderhoud van de bronnen van een energieopslagsysteem komt grondwater vrij. Dit grondwater moet worden afgevoerd. Bij lozing van het grondwater op het riool dient een ontheffing of een vergunning te worden aangevraagd in het kader van de Wet Milieubeheer, omdat het te lozen grondwater wordt gezien als bedrijfsafvalwater. Het bevoegd gezag is de gemeente.

Bouwbesluit
Nationaal geldt het vigerend Bouwbesluit en de EPC-normering. Voor onderstaande gebouwfuncties gelden de volgende Energieprestatiecoëfficiënten (status 2011):

- bijeenkomstgebouw: 2,0
- kantoorgebouw: 1,1
- onderwijsgebouw: 1,3
- sportgebouw: 1,8

2.2.3 Provinciaal beleid

Provinciaal Waterplan
Het provinciaal beleid ten aanzien van ondergrondse energieopslag is vastgelegd in Provinciaal Waterplan Zuid-Holland 2010-2015 [Lit. 1]. De hoofdpunten uit het beleid van de provincie zijn hieronder samengevat.

- De provincie stimuleert (verantwoord) gebruik van het grondwater voor ondergrondse energieopslag.
- Het gebruik van collectieve in plaats van individuele systemen heeft de voorkeur om daarmee een maximale energiebesparing te bereiken.
- Netto opwarming van het grondwater mag niet worden afgewenteld op de omgeving of in de tijd.
- Er mag geen verontreiniging optreden van grondwater.
- Er mogen geen ongewenste beperkingen ontstaan voor bestaande en toekomstige gebruikers van de bodem, zoals ondergronds bouwen.
- Om interactie met functies in het eerste watervoerende pakket te voorkomen moeten energieopslagsystemen in het stedelijk gebied en in glastuinbouwgebieden in principe uitwijken naar een dieper gelegen watervoerend pakket.
- Er mag geen menging van verschillende waterkwaliteiten (bijvoorbeeld zoet en zout grondwater) optreden.

Op basis van het provinciale beleid kan voor het voornemen van de TUD geen gebruik gemaakt worden van het eerste watervoerende pakket voor de realisatie van de bronnen.

Daarnaast dienen de bronnen van elk energieopslagsysteem gerealiseerd te worden in één watervoerende laag om menging van verschillende waterkwaliteiten te voorkomen. Als gebruik wordt gemaakt van meerdere watervoerende lagen, dient het grondwater uit de verschillende lagen gescheiden gehouden te worden. Ter voorkoming van een netto opwarming van de bodem dient het energieopslagsysteem energetisch in balans te zijn.

Nota Regioprofielen Cultuurhistorie
In de provinciale Structuurvisie van Zuid-Holland zijn de verschillende provinciale belangen samenhangend weergegeven. Cultuurhistorie is een van de aspecten die van provinciaal belang zijn. Het 'provinciaal belang cultuurhistorie' is verbonden aan enerzijds het behoud van de cultuurhistorische hoofdstructuur en anderzijds de ontwikkeling en het behoud van waardevolle landschappen in Zuid-Holland. In de Regioprofielen Cultuurhistorie is dit belang voor een zestiental gebieden (waaronder Midden-Delfland) verder uitgewerkt.

De Regioprofielen Cultuurhistorie zijn bedoeld:
- als een handreiking/kompas voor planvormers, met name bij gemeenten en voor de provincie zelf, om cultuurhistorische waarden te respecteren en te benutten bij het ontwikkelen van de ruimte in Zuid-Holland. Communicatie, vroegtijdig overleg en planbegeleiding worden ingezet om die inspirerende functie verder te versterken.
- ter (bij)sturing van (lokale) ruimtelijke plannen. Hiertoe is het provinciaal belang van de Regioprofielen opgenomen in de Provinciale Structuurvisie en in de Verordening Ruimte. Via dit formele kader kan zo nodig met een 'zienswijze' of 'reactieve aanwijzing' worden bijgestuurd als het provinciaal cultuurhistorisch belang daarom vraagt.

2.2.4 Beleid gemeente Delft

De gemeente Delft heeft relevant beleid op het gebied van water, ecologie en energie. Met de Waterstructuurvisie is een visie voor de realisatie van de wateropgave neergelegd voor de gehele gemeente, vanuit de principes van duurzaam integraal waterbeheer. In het Ecologieplan Delft 2004 – 2015 beschrijft de gemeente Delft hoe zij de komende jaren, in samenhang met sociale en economische ontwikkelingen, de diversiteit van de natuur behoudt en verder ontwikkelt en daarmee de leefbaarheid voor burgers waarborgt. In het Duurzaamheidsplan Delft 2008-2012 en de Actualisatie Klimaatplan Delft 2008 – 2012 is de ambitie geformuleerd om in 2030 de CO_2 emissies tot de helft te reduceren ten opzichte van 1990, het aandeel duurzame energie te hebben verhoogd naar 25% van het totale Delftse energiegebruik en 50% minder energie te gebruiken.

De gemeente Delft is bevoegd gezag met betrekking tot lozingen op het riool. Toestemming voor het lozen van grondwater op het riool, tijdens de aanleg en het onderhoud van een energieopslagsysteem, dient bij de gemeente aangevraagd te worden. In deze toestemming stelt zij eisen aan de wijze, capaciteit en kwaliteit van de lozing.

Met betrekking de kwaliteit van het te lozen water zal de gemeente advies inwinnen bij het Hoogheemraadschap van Delfland (als eigenaar van de rioolwaterzuivering).

2.2.5 Taken Hoogheemraadschap van Delfland

Het Hoogheemraadschap van Delfland is verantwoordelijk voor het zuiveren van het afvalwater, het waterbeheer in het beheersgebied en is bevoegd gezag met betrekking tot kleinschalige grondwateronttrekkingen en –infiltraties. Energieopslagsystemen vallen onder de bevoegdheid van de provincie. Voor het lozen van grondwater op het oppervlaktewater dient toestemming bij het Hoogheemraadschap aangevraagd te worden.

2.2.6 Beleid TU Delft

Op het gebied van duurzaamheid en duurzame klimatisering van de gebouwen gelden landelijke eisen en eisen die de TU Delft FM & Vastgoed zelf aan nieuwbouw en renovatie projecten oplegt. Hieronder zijn de relevante documenten weergegeven waarin eisen op het gebied van duurzame klimatisering van de gebouwen zijn omschreven.

Meerjarenafspraak Nederlandse Universiteiten (MJA3)
De TU Delft heeft met betrekking tot duurzaamheid en energiegebruik een convenant met de overheid afgesloten met als doel de hoeveelheid benodigde energie te verminderen (MJA3). In de MJA3 is opgenomen dat partijen zich inspannen om gemiddeld voor de gezamenlijke Ondernemingen voor hun betrokken inrichtingen 30 procent energie-efficiëntieverbetering te bereiken in de periode 2005-2020. Een onderneming verplicht zich om voor haar betrokken inrichting(en) een Energie-efficiëntieplan op te stellen, uit te voeren en daarover jaarlijks te rapporteren.

In het kader van deze meerjarenafspraak heeft de TU Delft het Energie-Efficiencyplan 2009-2012 (EEP) opgesteld.

Energie-Efficiencyplan 2009-2012 (EEP)
Het EEP 2009-2012, d.d. 3 december 2008 is door de TU Delft opgesteld in het kader van de deelname van de TU Delft aan de MJA3 Nederlandse Universiteiten.

In de energiebeleidsverklaring is onder andere de volgende doelstelling opgenomen: Het realiseren van een zo hoog mogelijke energie-efficiencygraad met waar mogelijk toepassing van duurzame energiebronnen (blz. 32).

Met betrekking tot (bestaande) energieopslagsystemen in de bodem zijn de volgende maatregelen opgenomen:
- Het verbeteren van de werking van het bestaande energieopslagsysteem van EWI en 3mE die sinds 1999 in gebruik zijn (blz. 42).

Handboek projecten
TU Delft FM & Vastgoed heeft in het Handboek Projecten eisen opgesteld, waaraan nieuwbouw en renovatieprojecten moeten voldoen. De eisen met betrekking tot duurzaamheid en energiebesparing zijn omschreven in:
- Bijlage 03: Technisch Programma van Eisen
- Bijlage 04: Visiedocument Duurzaam Huisvesten

Bijlage 03: In het Technisch Programma van Eisen staat onder andere vermeld dat aan de EPC norm uit het Bouwbesluit moet worden voldaan en dat de meerinvestering van de duurzame maatregel na zeven jaar financieel gezien moet gaan renderen (blz. 7). Bij de gebouwsimulaties dient rekening gehouden te worden met energieopslag in de bodem (blz. 21).

Bijlage 04: In het Visiedocument Duurzaam Huisvesten staan de speerpunten omschreven. Met betrekking tot energieopslag in de bodem wordt medegedeeld, dat zoveel mogelijk gebruik moet worden gemaakt van duurzame bronnen (blz. 9) met onder andere als doel het terugdringen van het gebruik van fossiele brandstoffen voor verwarming en elektriciteit.

Het terugdringen van het elektriciteitsverbruik voor koeling is te bewerkstelligen met energieopslag in de bodem in vergelijking met elektrisch aangedreven compressie koelmachines (blz. 13). Tevens wordt het principe van Trias Energetica als speerpunt genoemd (blz. 14) en wordt het gebruik van energieopslag in de bodem voorgeschreven als één van de mogelijkheden (niet dwingend) (blz. 29).

2.3 Te nemen besluiten

Ten aanzien van de voorgenomen activiteit moeten er diverse besluiten genomen worden, voordat de activiteit uitgevoerd kan worden.

Dit MER zal bij de Commissie voor de m.e.r. worden voorgelegd. Zij zal richting de provincie een toetsingsadvies geven. Voorafgaand aan de toetsing van de Commissie voor de m.e.r. zal het MER (zes weken) ter visie worden gelegd en kan eenieder zienswijzen indienen bij de provincie.

Na een positief toetsingsadvies zal per energieopslagsysteem een vergunning Waterwet bij de provincie Zuid-Holland aangevraagd worden. Het MER vormt, samen met een onderbouwing dat de losse energieopslag binnen het MER past, de onderbouwing van de vergunningaanvraag. De aanvraag zal, samen met de MER en de ontwerpbeschikking, gedurende zes weken, ter visie liggen. Tijdens de ter visie ligging kan eenieder zienswijzen indienen bij de provincie op de aanvraag. Binnen zes maanden zal de provincie het definitieve besluit uitbrengen en nogmaals zes weken ter visie leggen. Met het uitbrengen van het definitieve besluit is deze van kracht.

Naast de aanvraag Waterwet voor de energieopslag zal mogelijk (afhankelijk van de wijze van lozing) in overleg met de gemeente Delft en/of het hoogheemraadschap van Delfland toestemming gevraagd worden voor het lozen van grondwater op het oppervlaktewater of riool.

Indien de bronlocaties en het leidingwerk op gemeentegrond geplaatst moeten worden, zal hiervoor toestemming gevraagd worden bij de gemeente Delft.

Voor het TUD terrein en omgeving wordt voor de TU Delft en de gemeente Delft een Masterplan opgesteld. Dit Masterplan zal juridisch vastgelegd worden. Op provinciaal niveau kan dit gebeuren middels een beleidsregel en op gemeentelijk niveau middels een beleidsregel en/of te koppelen aan een bestemmingsplan. Wanneer het Masterplan vastgesteld wordt kan eenieder zienswijzen indienen bij het bevoegd gezag.

3 Voorgenomen activiteit en alternatieven

3.1 Algemeen

3.1.1 Totaal grondwaterdebiet energieopslag

Op basis van de huidige grondwatersystemen, het totaal toekomstig koelvermogen van de bestaande bebouwing, de nieuwbouw en de potentie van de bodem onder het TUD terrein bedraagt het totaal maximaal grondwaterdebiet 2.800 m³/h. De jaarlijks te verpompen grondwaterhoeveelheid bedraagt gemiddeld 6,5 miljoen m³ en maximaal 10,0 miljoen m³. Op basis van ervaringen bij andere projecten is 50% extra capaciteit voldoende om tijdens klimatologisch extreme jaren voldoende koeling of verwarming te kunnen leveren. Op basis van deze grondwaterhoeveelheden is dit MER opgesteld. In tabel 3.1 is het totaaloverzicht van bovenstaande opgenomen.

Tabel 3.1 Overzicht gegevens totale TU-wijk

	koel-vermogen [kW_t]	**koude-vraag [MWh_t]**	**grondwater-debiet [m³/h]**	**gem. jaarlijkse waterverplaatsing [m³/jaar]**	**max. jaarlijkse waterverplaatsing [m³/jaar]**
TU-wijk Noord/Midden	18.350	18.350	2.000	4.650.000	7.200.000
TU-wijk Zuid	2.650	2.650	300	650.000	1.000.000
eventuele nieuw-bouw	4.650	4.650	500	1.200.000	1.800.000
totaal TUD terrein	**25.650**	**25.650**	**2.800**	**6.500.000**	**10.000.000**

Een overzicht van de vergunde grondwaterdebieten en -hoeveelheden voor de bestaande energieopslagsystemen is in tabel 3.2 weergegeven.

Tabel 3.2 Overzicht van bestaande energieopslagsystemen

gebouwnummer en -naam		**grondwaterdebiet [m³/h]**	**gem. jaarlijkse waterverplaatsing [m³/jaar]**	**max. jaarlijkse waterverplaatsing [m³/jaar]**
(21)	Bibliotheek	80	110.000	165.000
(36)	EWI	216	281.000	422.500
(34+32)	3mE + IO	80	123.500	200.000
totaal		**376**	**514.500**	**787.500**

3.1.2 Ervaring bestaande energieopslagsystemen TU Delft

Op het TU Delft terrein zijn drie bestaande energieopslagsystemen aanwezig. Het systeem van de Bibliotheek is in 1996 in gebruik genomen, het systeem van EWI in 2000 en het systeem van 3mE in 2001. In 2006 en 2007 zijn voor het systeem van 3mE en EWI enkele optimalisaties uitgevoerd. Hieronder volgt een korte toelichting op de problemen die optraden en de oorzaak van de problemen.

Te grote waterverplaatsing
In het verleden heeft er regelmatig een overschrijding plaatsgevonden van de toegestane waterverplaatsing. De grote waterverplaatsing wordt met name veroorzaakt door een beperkt temperatuurverschil tussen de bronnen. Er zijn meerdere oorzaken die het beperkte temperatuurverschil verklaren:

- Door een grotere koudevraag dan warmtevraag is er onvoldoende koud water in de bodem beschikbaar. De onttrekkingstemperatuur uit de koude bron wordt dan relatief hoog. De infiltratietemperatuur in de warme bron ligt nagenoeg vast vanwege de aangesloten klimaatinstallaties. Hierdoor blijft het temperatuurverschil tussen de bronnen beperkt.
- Bij het beheer van installaties worden de instellingen hiervan met enige regelmaat gewijzigd. Het wijzigen van setpoints heeft consequenties voor de energieopslag.
- Door hydraulische fouten in de koelwatercircuits van het gebouw worden aanvoer- en retourleidingen van deze circuits soms kortgesloten.

Energetische onbalans
De koudelevering van de systemen was groter dan de warmtelevering.

Voor de ontstane energieonbalans zijn een aantal oorzaken gevonden:

- Het laden van koude is beperkt doordat het warmtenet de energieopslag voor de warmtelevering (deels) verdrongen heeft.
- De warme winters van de laatste jaren beperken de mogelijkheid om koude op te slaan.
- De vraag naar koude is groter omdat de zomers warmer zijn geweest.
- Door storingen in de gebouwinstallatie werd er geen koude opgeslagen.
- De koude werd met een laag debiet opgeslagen.

Om de problemen op te lossen zijn een aantal optimalisaties doorgevoerd:

- Alle temperatuursinstellingen van de installaties zijn doorgenomen en waar nodig aangepast.
- Het gehele leidingsysteem is gecontroleerd op kortsluitingen in het circuit en waar aanwezig zijn de kortsluitingen verwijderd/afgesloten.
- De koude wordt met een hoger luchtdebiet opgeslagen.
- De koude in de koude bron wordt opgeslagen door warmte te leveren aan de luchtbehandelingskasten en door met behulp van droge koelers extra koude in te vangen. Om te zorgen dat deze installaties gedurende meer uren koude invangen is het moment waarop deze installaties in bedrijf komen vervroegd. De luchtbehandelingskast komt nu in bedrijf wanneer de buitentemperatuur lager is dan 7 °C (oorspronkelijk was dit 5 °C) de droge koelers worden nu onder 5 °C vrijgegeven voor koudeopslag (oorspronkelijk was dit 2 °C).
- Meer gebruik maken van het opslaan van koude gedurende de nacht.
- Het verkorten van de bedrijfstijd voor het leveren van koude door de luchtbehandeling ’s avond eerder uit te schakelen.

Door de optimalisatie van de systemen, kunnen de systemen optimaler ingezet worden en worden problemen voorkomen. Vanwege de ontwikkeling en daarmee verbetering van de techniek rond energieopslagsystemen en de kennis en toenemende aandacht voor het beheer van energieopslagsystemen bij de TU Delft functioneren de huidige opslagsystemen beter. Eén van de verbeteringen is bijvoorbeeld verbeterde beheerssoftware, waardoor een energieopslagsysteem sneller en adequater bijgestuurd kan worden. In het verleden lag het beheer van een energieopslagsysteem bij de beheerder van het betreffende gebouw. Nu wordt dit aangestuurd door de Directie Facilitair Management & Vastgoed van de TU Delft. Ook in de toekomst zal het beheer van de energieopslagsystemen centraal aangestuurd worden.

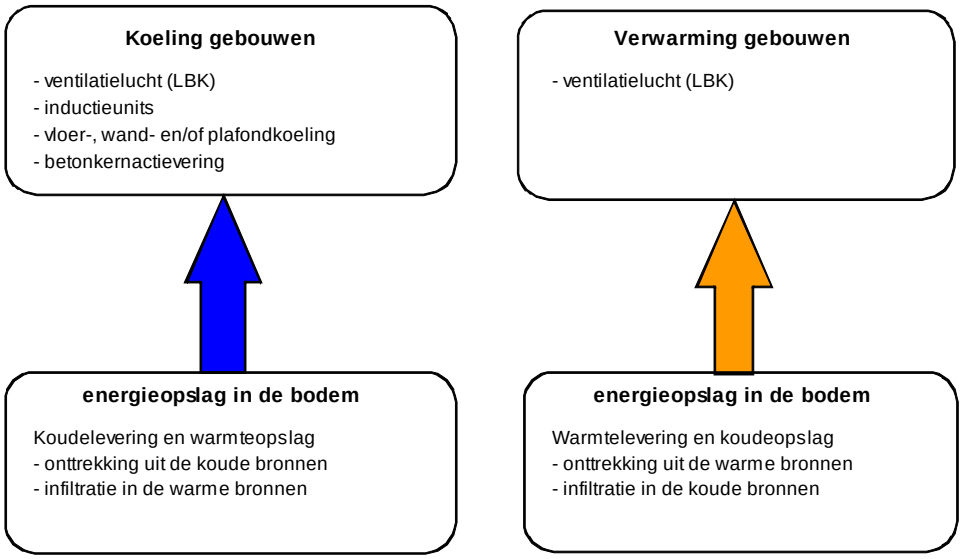
3.1.3 Systeemconcept met energieopslag

Het systeemconcept met energieopslag in de bodem dat in aanmerking komt voor klimatisering van de gebouwen bestaat uit koeling met grondwater in de zomer en verwarming met grondwater in de winter. Dit concept van koeling en verwarming is gelijk aan het systeemconcept van de reeds gerealiseerde energieopslagsystemen op het TUD terrein.
In de gebouwen zijn onder andere de volgende afgiftesystemen voor koudelevering mogelijk:

- koeling van de ventilatielucht in de luchtbehandelingskast;
- koeling met (inductie)units;
- vloerkoeling;
- wandkoeling;
- plafondkoeling;
- betonkernactivering.

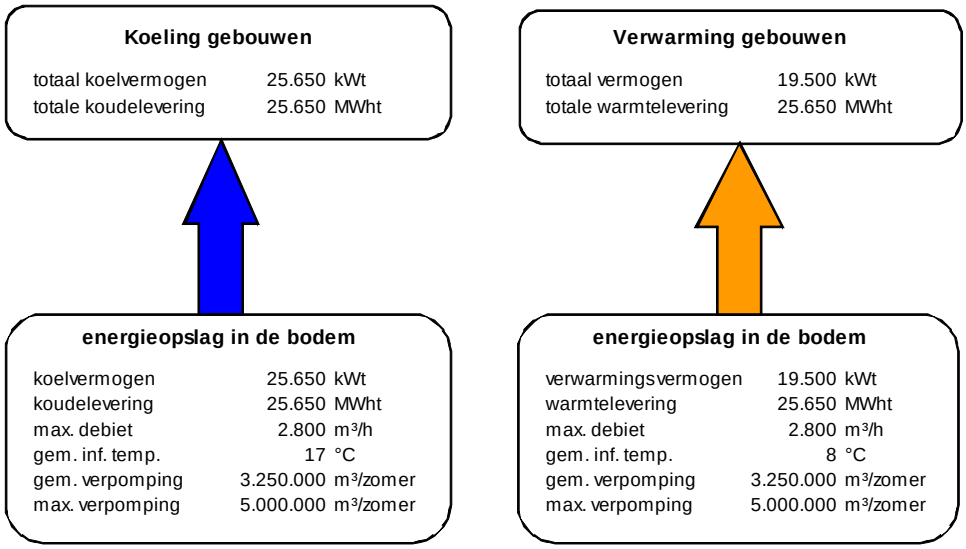
Warmtelevering in de gebouwen voor (voor)verwarming van de ventilatielucht kan met luchtbehandelingskasten worden verzorgd. Met de energieopslag kan de temperatuur van de ventilatielucht niet op een voldoende hoog temperatuurniveau worden gebracht. Daarom wordt de voorverwarmde ventilatielucht met behulp van het eigen warmtenet naverwarmd tot het benodigde niveau.

Op basis van de ervaringen bij de aanwezige energieopslagsystemen bij de TU Delft en ervaringen met energieopslagsystemen in het algemeen is het systeemconcept en de energetische uitgangspunten bepaald. In figuur 3.1 is in een principeschema het algemeen systeemconcept van verwarming en koeling met energieopslag in de bodem weergegeven.



Figuur 3.1 Principeschema algemeen systeemconcept

In figuur 3.2 zijn zowel het energieconcept als de energetische uitgangspunten van de situatie bij 2.800 m³/h in een principeschema weergegeven.



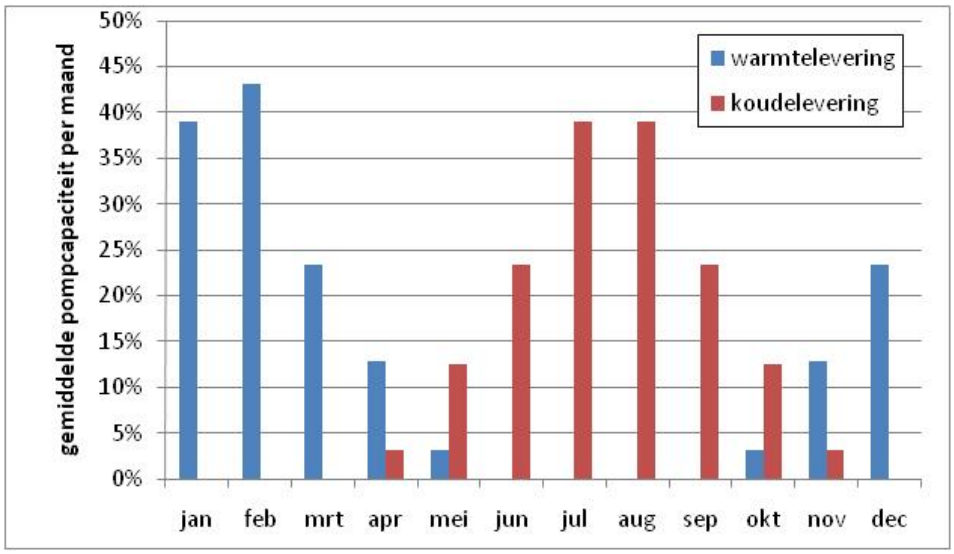
Figuur 3.2 Principeschema systeemconcept met uitgangspunten totaal TUD terrein

Het koel- en verwarmingsvermogen geven de koel- en verwarmingscapaciteit op een bepaald moment aan. De koude- en warmtelevering geeft de totale levering aan koude en warmte in een seizoen weer. Het koelvermogen van de gebouwen wordt geleverd door de energieopslag.

Het verwarmingsvermogen wordt geleverd door de energieopslag en het warmtenet. Derhalve is het verwarmingsvermogen van de energieopslag lager dan het koelvermogen.

De belangrijkste aspecten, uitgangspunten en randvoorwaarden voor het energieopslagsysteem zijn:

- De maximale capaciteit bedraagt 90 m³/h per doublet (één koude en één warme bron). Het aantal doubletten dat nog geplaatst kan worden bedraagt 27. Inclusief het huidig vergund grondwaterdebiet van de bestaande energieopslagsystemen bedraagt het totaal grondwaterdebiet 2.800 m³/h.
- De TUD streeft naar het realiseren van bronnen met een maximale capaciteit. Gebouwen met een kleine energievraag worden zoveel mogelijk aan elkaar gekoppeld om met zo min mogelijk bronnen de benodigde energie te kunnen leveren.
- Aangehouden wordt een (gesloten) energie- en waterbalans in de bodem. Dus de te verpompen grondwaterhoeveelheden in de winter en in de zomer zijn gelijk.
- Om rekening te houden met de gevolgen van warme zomers, koude winters, onzekerheden in de warmte- en koudevraag van de gebouwen, of onvoorziene warmte- en koudevragers, afwijkingen in afgiftetemperaturen en niet optimaal functionerende systemen, is gesteld dat de maximale op jaarbasis te verpompen grondwaterhoeveelheid 50% hoger is dan de jaarlijks gemiddelde grondwaterhoeveelheid waarmee nu rekening is gehouden. De verhoging van 50% is gebaseerd op ervaringen bij andere energieopslagsystemen.
- Op dit moment is het idee elk afzonderlijk gebouw separaat te voorzien van een energieopslagsysteem. Het voordeel hiervan is ook dat de energieopslagsystemen per gebouw gefaseerd gerealiseerd kunnen worden en geen kostbare collectieve leidingnetten nodig zijn. Kleinere gebouwen kunnen eventueel worden geclusterd en worden aangesloten op één gezamenlijk energieopslagsysteem.
- De warmte wordt geleverd door de energieopslag in de bodem (voorverwarming van de ventilatielucht) en het eigen warmtenet van de TUD (naverwarming van de ventilatielucht).
- De grootte van de koude- en warmtelevering van de energieopslagsystemen aan de gebouwen en derhalve ook het onttrekkings- en infiltratiepatroon, is voor het grootste deel direct afhankelijk van de klimatologische omstandigheden (buitentemperatuur, zoninstraling, etc.). Een indicatie van de gemiddelde pompcapaciteit per maand in percentage van de maximale pompcapaciteit is weergegeven in figuur 3.3.
- Deze indicatie is gebaseerd op de waterverplaatsing per maand van de bestaande energieopslag van 3mE en ervaringen bij andere gerealiseerde energieopslagsystemen.



Figuur 3.3 Gemiddelde pompcapaciteit per maand (indicatief)

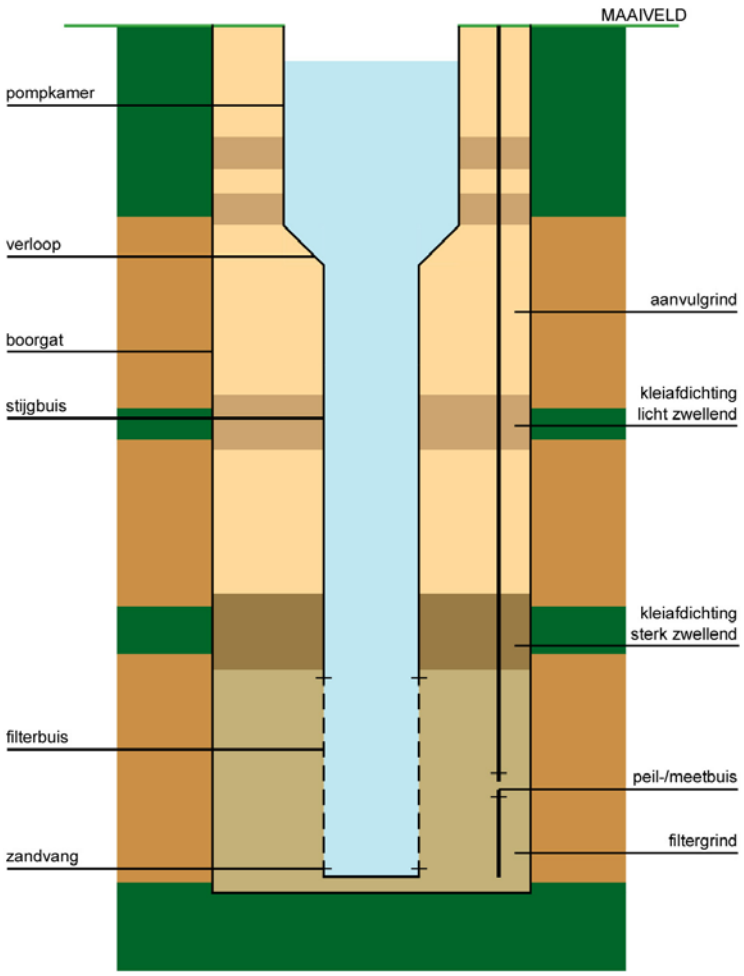
3.1.4 Energieverbruik

Het energieverbruik van de bronpompen voor het leveren van warmte en koude met het energieopslagsysteem in de bodem is gekwantificeerd in paragraaf 4.6.

3.1.5 Aanlegfase

Algemeen

De bronnen worden geboord door middel van een zuigboor/luchtlift methode met een diameter van circa 0,8 m. Na het boren van het boorgat wordt een kunststof (PVC) filter geplaatst ter hoogte van de gewenste zandlagen in het opslagpakket. Daarboven worden blinde kunststof stijgbuizen gelijmd. Het bovenste deel van deze buizen, die worden uitgevoerd in een grotere diameter, doet dienst als pompkamer. De pompkamer biedt plaats aan de bronpomp, de pers- en injectieleiding en de meetbuis. Na het plaatsen van de buizen wordt de ruimte tussen de buizen en de boorgatwand aangevuld met speciaal hiervoor geselecteerd grind en klei. Ter hoogte van de scheidende lagen in de bodem wordt het boorgat afgedicht met een sterk zwellende klei. Hierdoor wordt de natuurlijke situatie van scheidende lagen hersteld. In figuur 3.4 is een schematische doorsnede van een bron weergegeven.

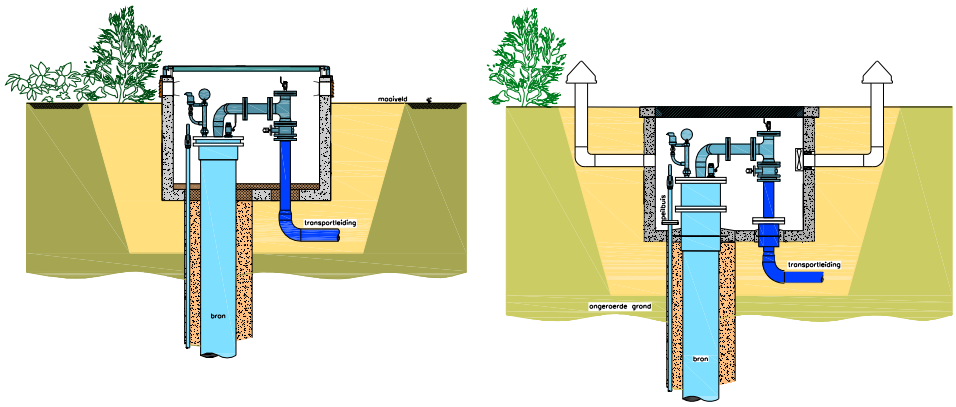


Figuur 3.4 Schematische doorsnede bron

Elke bron wordt afgewerkt in een putbehuizing, welke ter bescherming dient van de bron en de installatieonderdelen die zich direct bij de bron bevinden. De bronnen worden doorgaands afgewerkt in een ondergrondse of een halfbovengrondse putbehuizingen.

De putbehuizing dient aan een aantal randvoorwaarden te voldoen:
- voldoende ruimte om al het leidingwerk en de appendages in te bouwen;
- waterdicht;
- eenvoudig toegankelijk voor klein en groot onderhoud;
- ruimte en toegang in de put dient arbotechnisch verantwoord te zijn;
- putten worden geventileerd;
- de putten dienen te allen tijde vorstvrij te zijn.

Een principetekening van het ontwerp van een halfbovengrondse en ondergrondse putbehuizing is in figuur 3.5 weergegeven. Een foto van een afwerking met een putdeksel boven maaiveld en een putdeksel gelijk aan maaiveld is in figuur 3.6 weergegeven.



Figuur 3.5 Principetekening half bovengrondse en ondergrondse putbehuizing

Figuur 3.6 Afwerking putdeksel half bovengrondse en ondergrondse put

Nadat de bron geboord en afgewerkt is, worden de benodigde pompen, injectieleidingen en appendages ingebouwd. Door middel van een onderwaterpomp kan grondwater aan de bodem worden onttrokken. Het toerental van de bronpomp kan door middel van een frequentieregelaar worden gevarieerd, waarmee het brondebiet traploos of in een aantal debietstappen kan worden geregeld.

Het injecteren van het grondwater vindt plaats door middel van injectieleidingen en/of injectiekleppen. De injectieleidingen en/of de injectiekleppen worden zodanig gedimensioneerd of ingesteld dat de druk in het grondwatersysteem, zowel tijdens bedrijf als tijdens stilstand, onder een overdruk ten opzichte van de atmosferische druk blijft. Hiermee wordt voorkomen dat zuurstof of andere vreemde stoffen kunnen toetreden in het grondwater. Daarnaast blijven opgeloste gassen in het grondwater in oplossing. Grondwater bevat van nature opgeloste gassen. Door de hoge statische druk in het opslagpakket zijn deze gassen opgelost in het water. Om te voorkomen dat de opgeloste gassen in het grondwater vrijkomen bij het oppompen van het water, moet er altijd een bepaalde overdruk in het systeem gehandhaafd blijven. Op deze manier wordt verstopping door ontgassing (bronnen en componenten) voorkomen.

Boren bronnen
In de aanlegfase worden de bronnen geboord, het filter, de stijgbuis en peilbuizen geplaatst en wordt het boorgat aangevuld met filtergrind, zand en zwelklei (om scheidende lagen af te dichten). Tijdens het boren wordt het boorgat op overdruk gehouden om het instorten van het boorgat te voorkomen. Het op overdruk houden van het boorgat wordt verkregen door tijdens het boren water in het boorgat te pompen. Afhankelijk van de beschikbaarheid wordt hierbij gebruik gemaakt van drinkwater of oppervlaktewater. De capaciteit en de waterhoeveelheid die in het boorgat wordt gebracht is afhankelijk van de bodemgesteldheid en de duur van de boring. Over het algemeen is de capaciteit lager dan 10 m^3/uur en wordt niet meer dan 200 m^3 water in het boorgat gebracht.

Ontwikkelen
Na het boren van de bronnen dienen de bronnen ontwikkeld (schoongepompt) te worden. Tijdens dit proces wordt grondwater onttrokken en geloosd. Het grondwater komt vrij met een maximaal debiet van 90 m^3/uur. Het gemiddelde debiet zal echter lager liggen. De maximaal te lozen hoeveelheid water per bron bedraagt ca. 4.000 m^3 en komt binnen een termijn van ongeveer vier weken vrij.

Het ontwikkelen van een bron kan worden opgedeeld in vier verschillende fasen. Elk van deze fasen vraagt een andere handeling wat betekent dat de hoeveelheid vrijkomend grondwater per fase verschilt. Hieronder is elke fase apart beschreven:

a. Schoonpompen
   Hierbij wordt met een gering debiet (bijvoorbeeld 25% van het ontwerpdebiet) water opgepompt totdat dit helder, slib-, silt- en zandvrij is.
b. Jutteren
   Hier wordt door middel van perslucht een druk van 1,5 bar op de bron gezet, waardoor de vrije waterspiegel in de bron ongeveer 15 m daalt. Vervolgens wordt de druk losgelaten, waardoor de vrije waterspiegel in de put snel stijgt. Dit zorgt voor een kortdurende zeer hoge volumestroom door het filter.
   Dit wordt een aantal maal achter elkaar gedaan en vervolgens wordt het water opgepompt. Dit proces wordt vervolgens een aantal malen herhaald.
c. Sectiegewijs rondpompen
   Hierbij wordt met behulp van een sectieapparaat intensief water onttrokken en geïnfiltreerd uit een klein deel (sectie van bijvoorbeeld 1 m) van het filter.
   Hierbij wordt het water met relatief hoge snelheid in de omstorting rondgepompt, waarbij met tussenpozen het water wordt afgevoerd.
d. Intermitterend pompen
   Bij deze actie wordt een onderwaterpomp in de bron herhaaldelijk 10 minuten aan en vervolgens vijf minuten uit gezet.

Het doel van al deze acties is om verstoppend materiaal dat tijdens het boorproces op de boorgatwand is achtergebleven zo veel mogelijk te verwijderen. Dit is van groot belang voor het naar behoren functioneren van de bron op de lange termijn.

Lozen grondwater
Er zijn verschillende manieren om het grondwater dat vrijkomt tijdens het ontwikkelen van de bronnen te lozen; oppervlaktewater, riool of in de bodem.

Oppervlaktewater
Aangezien het grondwater zout is en gezien de hoeveelheid grondwater dat geloosd moet worden, wordt het lozen op oppervlaktewater door het hoogheemraadschap niet als reële optie gezien.

Riool
Het grondwater kan ook op het riool geloosd worden. Het lozen van het water gebeurt bij voorkeur middels tijdelijke leidingen aan maaiveld op het riool. Hierbij zal gebruik worden gemaakt van een bezinkbak om zand en slib af te vangen. Wanneer de capaciteit van het riool niet toereikend is, kan er ook een waterbuffer toegepast worden, zodat de te lozen capaciteit beperkt kan worden. Toestemming voor het lozen van grondwater op het riool dient bij de gemeente Delft aangevraagd te worden. Het Hoogheemraadschap van Delfland heeft een adviserende rol bij het opstellen van deze toestemming. Delfland is verantwoordelijk voor de zuivering van het water uit het riool. De gemeente Delft stelt eisen aan de wijze, de kwaliteit en de hoeveelheid te lozen grondwater. Deze eisen zijn mede gebaseerd op de capaciteit van het riool en de invloed op het functioneren van de waterzuivering.

Op basis van ervaringen bij andere projecten in Delft stelt de gemeente de volgende eisen aan het lozen van grondwater op het riool:
- Het grondwater dient onder vrij verval geloosd te worden.
- Het chloridegehalte van het water dat geloosd wordt dient zoveel mogelijk beperkt te worden. De streefwaarde bedraagt 300 mg/l.
- De temperatuur van het te lozen grondwater mag niet hoger dan 30 ^{o}C zijn.
- Lozing is niet toegestaan tijdens regentijd.

Er is met de gemeente contact geweest over de beschikbare capaciteit voor het lozen van grondwater op het riool. De gemeente geeft aan dat het rioolstelsel in de TU-wijk bestaat uit verschillende delen en iedere sector verschillende karakteristieken heeft. Tevens wordt binnenkort het stelsel omgebouwd, waardoor er voor TU-midden een duidelijk knip komt tussen de riolering in beheer bij de TU en het riool in beheer bij de gemeente Delft. Om een inschatting van de beschikbare capaciteit te kunnen geven dienen de exacte locaties van de bronnen en de bijbehorende debieten bekend te zijn.

Op dit moment zijn de exacte locaties van de bronnen niet bekend en zullen de energieopslagsystemen gefaseerd aangelegd worden. Per aan te leggen systeem zal overleg met de gemeente moeten plaatsvinden om de mogelijkheden voor het lozen van het grondwater te bespreken.

Het hoogheemraadschap heeft aangegeven dat zij niet positief tegenover de lozing van zout grondwater op het riool staat. Zij staat echter wel positief tegenover de toepassing van grootschalige energieopslag en ziet in dat het lozen van dit water op het riool wellicht de meest duurzame methode is.

Het lozen van het zoute grondwater dient echter niet ten koste te gaan van de duurzaamheid van de zuivering. Daarom wil zij graag in overleg met de TU Delft en de gemeente Delft kijken welke mogelijkheden er zijn en op welke wijze op zo duurzaam mogelijke manier het grondwater geloosd kan worden.

Zij geeft wel aan dat naast het chloridegehalte er meerdere parameters zijn die van invloed kunnen zijn op de processen in de waterzuivering. Hierbij dient onder andere gedacht te worden aan sulfaat, nitraat en bodemvreemde stoffen (verontreinigingen).

In de bodem
Tijdens het ontwikkelen van de bronnen kan het onttrokken water ook weer geïnfiltreerd worden in de bodem middels een retourbron of in een andere bron van de energieopslag. Om verstopping van de retourbron of een reeds geboorde bron te voorkomen dient er een filter tussen de onttrekking en infiltratie geplaatst te worden om de zanddeeltjes uit het water te filteren. Met name wanneer weer geïnfiltreerd wordt in één van de bronnen van de energieopslag is deze filtering zeer belangrijk. Indien het water wordt geïnfiltreerd in de bodem zal ervoor gezorgd worden dat de totale onttrekking en infiltratie in het eerste jaar niet de vergunde hoeveelheid overschrijd.

Op welke wijze geloosd gaat worden is op dit moment niet bekend. De voorkeur bestaat voor het lozen van het water op het riool, omdat hierbij de kosten beperkt blijven en er geen risico's zijn met betrekking tot het verstoppen van bronnen als gevolg van de infiltratie van het water. Bij elk nieuw aan te leggen energieopslagsysteem zal gekeken moeten worden, op basis van de gestelde eisen en in overleg met de gemeente en het hoogheemraadschap, of lozing van het water mogelijk is op het riool.

Aangezien de verschillende gebouwen en daarmee de energieopslagsystemen over een periode van tientallen jaren aangelegd worden, zal ook het grondwater gefaseerd geloosd worden.

3.1.6 Onderhoud

Regulier onderhoud
Na ingebruikname van de energieopslag vindt periodiek onderhoud plaats om verstopping van de bronnen door fijne zanddeeltjes te minimaliseren. Tijdens dit onderhoud wordt tweemaal per jaar gedurende circa 1 uur op maximale capaciteit grondwater onttrokken en geloosd. Per bron zal per jaar 180 m³ grondwater onttrokken en geloosd worden. In totaal moet rekening gehouden worden met een totale jaarlijkse spuihoeveelheid van circa 10.000 m³. Deze totale spuihoeveelheid treedt op in de eindsituatie, wanneer alle energieopslagsystemen zijn gerealiseerd.

De lozing van het grondwater tijdens onderhoud kan plaatsvinden op het riool of teruggebracht worden in de bodem. In het tweede geval wordt een onderhoudsfilter tussen de bronnen geplaatst die de fijne zanddeeltjes uit het grondwater haalt. De voorkeur bestaat voor het lozen van het water op het riool, omdat hierbij de kosten beperkt blijven (geen aanschaf onderhoudsfilter en kosten voor onderhoud van het filter). Net als bij de lozing tijdens het ontwikkelen van de bronnen zal bij elk project in overleg met de gemeente en het hoogheemraadschap gekeken worden of lozing op het riool mogelijk is.

Calamiteiten
Tijdens calamiteiten kan het ook nodig zijn om grondwater te onttrekken en te lozen. Bijvoorbeeld wanneer een bron toch verstopt raakt, kan het nodig zijn om extra onderhoud te plegen.
In eerste instantie wordt middels mechanische regeneratie geprobeerd de verstopping op te heffen. Hierbij wordt doorgaans gebruik gemaakt van spuien en jutteren. Wanneer dit niet het gewenste resultaat heeft, wordt gebruik gemaakt van intimiterend of sectiegewijs pompen. Indien de verstopping met mechanische regeneratie niet voldoende verwijderd kan worden, kan als laatste gebruik gemaakt worden van chemische regeneratie. Hierbij worden chemicaliën in de bron gebracht om verstoppingen op te heffen. Afhankelijk van de soort verstopping wordt hierbij gebruik gemaakt van zuren, chloorbevattende middelen, waterperoxide en/of polyfosfaten. De chemicaliën worden na de regeneratie volledig opgepompt en afgevoerd.

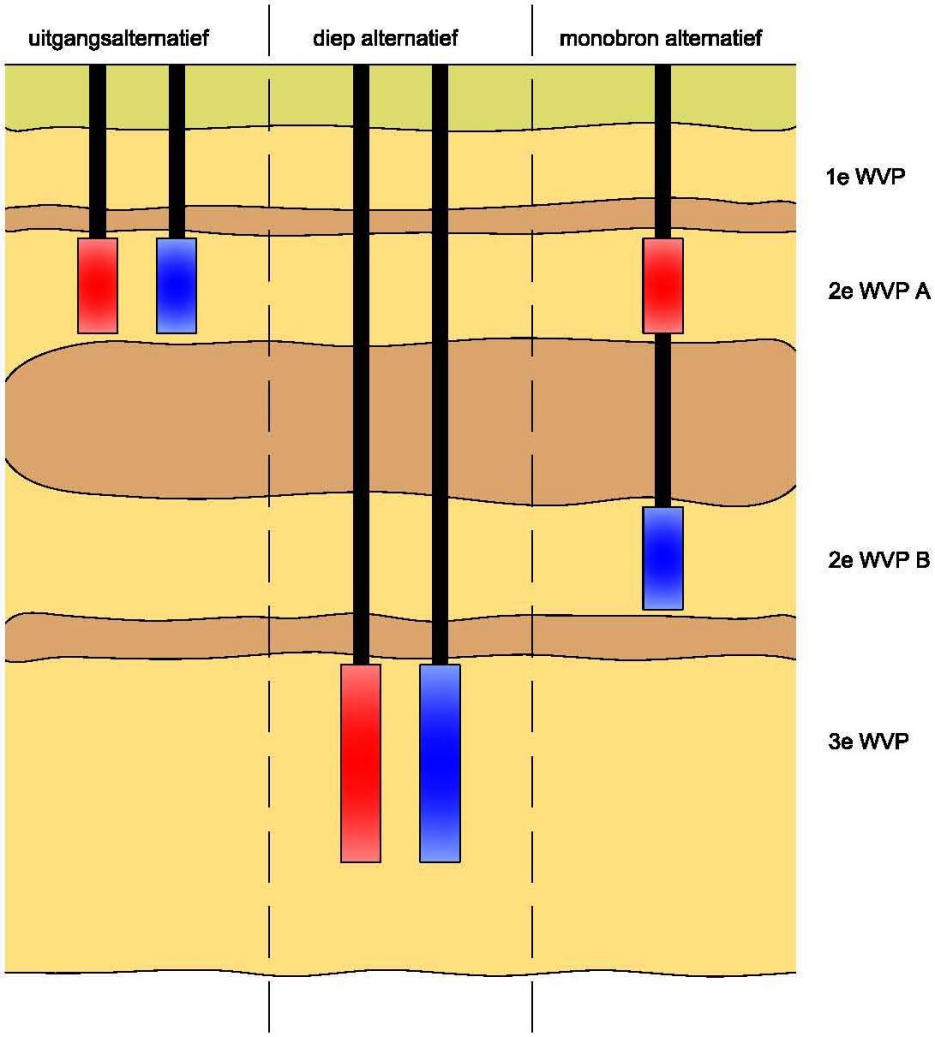
Na circa 10 jaar wordt geadviseerd “groot” onderhoud uit te voeren. Met behulp van het jaarlijks onderhoud wordt verstopping van de bronnen geminimaliseerd. Er kan echter toch een ophoping van deeltjes optreden, waardoor de bronnen verstopt raken en minder goed functioneren. Tijdens het grote onderhoud wordt er intensiever geregenereerd om alle verstoppingen te verwijderen. Hierbij wordt, zoals hierboven beschreven, eerst gebruik gemaakt van mechanische regeneratie. Bij dit grote onderhoud kan meer grondwater onttrokken en geloosd worden dan bij het reguliere onderhoud, afhankelijk van de mate van verstopping. Over het algemeen zal dit niet meer dan 2.000 m^3 per bron zijn.

Wanneer met mechanische regeneratie de verstoppingen onvoldoende verwijderd kunnen worden, wordt gebruik gemaakt van chemische regeneratie. Bij de energieopslagsystemen van EWI en 3mE heeft dit grote onderhoud circa 8 jaar na ingebruikname plaatsgevonden. Middels mechanische regeneratie werd niet het beoogde resultaat gehaald. Een oorzaak kan zijn geweest dat regulier onderhoud niet altijd heeft plaatsgevonden, waardoor een ophoping van deeltjes heeft opgetreden. Derhalve is er bij deze systemen voor gekozen gebruik te maken van chemische regeneratie met behulp van waterstofperoxide (10%) en zoutzuur (1%). Met behulp van deze methode kunnen organische deeltjes en neergeslagen deeltjes verwijderd worden. Voor beide systemen gaf deze methode het gewenste resultaat. De chemicaliën zijn na de regeneratie volledig opgepompt en afgevoerd.

Chemische regeneratie wordt als laatste middel gebruikt om verstoppingen op te verwijderen. Door het uitvoeren van regulier onderhoud wordt ophoping van verstoppingen zoveel mogelijk tegen gegaan.

3.2 Alternatieven

Het accent bij het bepalen van alternatieven ligt in de keuze van de watervoerende pakketten. Er worden geen inrichtingsalternatieven met strooksgewijze of kruislings geplaatste bronnen vergeleken. Uit eerder uitgevoerde MER-studies [Lit. 2, 3] (te vinden op www.commissiemer.nl) blijkt dat het rendementsverlies als gevolg van thermische interactie tussen de bronnen bij de verschillende inrichtingsmogelijkheden nagenoeg gelijk is. In beide MER-studies is zowel een strooksgewijze als een kruislingse variant doorgerekend en is bepaald welke thermische verliezen in deze varianten optreden. Hieruit bleek dat de verliezen in de strooksgewijze en kruislingse variant niet noemenswaardig van elkaar verschillen. Aangezien het aantal bronlocaties niet beïnvloed wordt door de keuze van inrichtingsvarianten heeft dit ook geen invloed op het bovengrondse ruimtebeslag.
Er zijn in dit MER, naast de referentie, drie alternatieven uitgewerkt. Alle alternatieven gaan uit van een benodigde totale capaciteit van de grondwateronttrekking van 2.800 m³/uur en de bijbehorende jaarlijkse (gemiddelde) waterverplaatsing van 6,5 miljoen m³. Het uitgangsalternatief gaat uit van plaatsing van bronfilters in het tweede watervoerende pakket A. Het diepe alternatief gaat uit van plaatsing van de bronfilters in het derde watervoerende pakket. Het monobronalternatief gaat uit van plaatsing van de bronfilters in het tweede watervoerende pakket A en B. Voor meer informatie over de indeling van de ondergrond in watervoerende pakketten wordt verwezen naar hoofdstuk 4. In figuur 3.7 is een schematische weergave van de alternatieven weergegeven.



Figuur 3.7 Schematische weergave alternatieven

Naast bovenstaande alternatieven zijn nog meer opties denkbaar, maar deze zijn financieel niet aantrekkelijk of juridisch niet haalbaar:

- Bronfilters tweede watervoerende pakket B
  Dit pakket heeft in vergelijking met het tweede watervoerende pakket A een lagere capaciteit, waardoor bijna twee keer zoveel bronnen geplaatst moeten worden. Daarnaast moeten de bronnen dieper gerealiseerd worden, waardoor deze optie financieel niet interessant is.
- Monobronnen met bronfilters in zowel het tweede watervoerende pakket A als het derde watervoerende pakket.
  Deze optie is, vanwege het mengen van water uit verschillende watervoerende pakketten, juridisch niet toegestaan.

- Monobronnen in het derde watervoerende pakket
  Vanwege de beperkte capaciteit die per monobron gerealiseerd kan worden en de diepte waarop de bronnen gerealiseerd moeten worden, is deze optie financieel niet aantrekkelijk.

In de volgende paragrafen zijn de drie alternatieven nader toegelicht.

3.2.1 Uitgangsalternatief

In het uitgangsalternatief worden de bronfilters in het tweede watervoerende pakket A geplaatst. In dit pakket kunnen bronnen gerealiseerd worden met een capaciteit van 90 m³/uur. Naast de bestaande 8 bronnen (4 doubletten) op het TUD terrein worden er nog 54 bronnen (27 doubletten) gerealiseerd met een capaciteit van 90 m³/uur per bron. In dit alternatief is gekozen voor het kruislings plaatsen van (geclusterde) bronnen. Door het kruislings plaatsen van de bronnen worden de hydrologische effecten en daarmee ook de invloed op de omgeving beperkt. Hierbij moet gedacht worden aan de invloed op ondiepe belangen (natuur, grondwaterstand e.d.) en de invloed op bestaande energieopslagsystemen.

Voor de berekening wordt er vanuit gegaan dat het gehele tweede watervoerende pakket A gebruikt wordt voor het plaatsen van het bronfilter. In de praktijk kan het voorkomen dat er binnen het pakket lagen aanwezig zijn die niet geschikt zijn voor het plaatsen van filter. Er zal dan minder filter worden geplaatst dan de totale dikte van het pakket. Dit zal echter geen invloed hebben op de effecten naar de omgeving toe, omdat deze bepaald worden door het doorlaatvermogen van het gehele pakket. Wel zal mogelijk de invloed in de bron kunnen toenemen. Aangezien dit MER de invloed op omgevingsbelangen beschrijft en deze belangen zich niet direct bij de beoogde bronnen bevinden, is de aanname van het plaatsen van het filter over het hele pakket gerechtvaardigd.

In figuur B3.8 is het bronnenplan voor het uitgangsalternatief weergegeven. In dit plan staan de bronnen zoals deze zijn meegenomen in de berekening. Voor de positionering van de bronnen is rekening gehouden met de energievraag van de gebouwen. In de TU-wijk Midden en Noord zijn de bronnen zoveel mogelijk in tweetallen geclusterd. Bij gebouwen met een grote energievraag zijn drie bronnen geclusterd geplaatst en bij gebouwen met een kleine vraag zijn enkele bronnen geplaatst. In de TU-wijk Zuid is gekozen voor het plaatsen van enkele bronnen.

3.2.2 Diep alternatief

Dit alternatief heeft dezelfde configuratie als het uitgangsalternatief, alleen worden de bronfilters in het derde watervoerende pakket gerealiseerd. De maximale capaciteit per bron bedraagt 90 m³/uur. Doordat alle belangen zich aan maaiveld, in het eerste en in het tweede watervoerende pakket A bevinden, zal de invloed op belangen kleiner zijn dan in het uitgangsalternatief. Door het dieper positioneren van de bronfilters zijn de kosten voor de aanleg van de energieopslagsystemen echter hoger dan bij het uitgangsalternatief.

Daarnaast bestaat er bij het gebruik van het derde watervoerende pakket meer onzekerheid over de bodemopbouw, waardoor bijvoorbeeld het maximale debiet dat per bron gehaald kan worden niet zeker is.

Voor de berekeningen wordt er vanuit gegaan dat er 50 meter filter in het derde watervoerende pakket geplaatst wordt. Om de worst-case effecten te berekenen is er vanuit gegaan dat het gehele filter bovenin het pakket geplaatst wordt.

In figuur B3.9 is het bronnenplan voor het diepe alternatief weergegeven. In het bronnenplan zijn de bronlocaties opgenomen, zoals deze in de berekeningen zijn gebruikt.

3.2.3 Monobronalternatief

Bij dit alternatief wordt gebruik gemaakt van monobronnen. Bij een monobron wordt het warme en het koude filter boven elkaar in één boorgat geplaatst. De filters van de monobron worden in het tweede watervoerende pakket geplaatst. Om thermische interactie tussen de warme en de koude bel te minimaliseren wordt het bovenste filter gerealiseerd in het tweede watervoerende pakket A en het onderste filter in het tweede watervoerende pakket B. Vanwege de beperktere capaciteit van het tweede watervoerende pakket B bedraagt de maximale capaciteit per monobron 50 m³/uur.

In totaal zullen er in dit alternatief, naast de bestaande 8 bronnen (4 doubletten) op het TUD terrein, nog 49 monobronnen gerealiseerd worden met een capaciteit van 50 m³/uur per monobron.

Voor de berekeningen wordt er vanuit gegaan dat het gehele tweede watervoerende pakket A en B gebruikt wordt voor het plaatsen van de bronfilters.

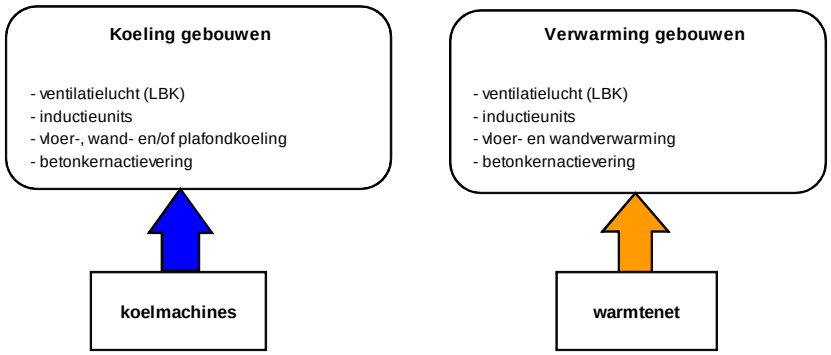
Door gebruik te maken van monobronnen is er meer vrijheid in de keuze van de locaties van de bronnen. De bronnen kunnen namelijk zonder problemen dicht bij elkaar worden geplaatst, omdat de warmte en de koude op verschillend dieptes worden opgeslagen. Hierdoor kan beter gebruik gemaakt worden van de ruimte die aan maaiveld beschikbaar is. De koude en warme filters worden in grote clusters geplaatst om thermische verliezen te beperken. Om de invloed op belangen te beperken zullen de clusters kruislings geplaatst worden. Voorwaarde is wel dat het aantal monobronnen met het koude filter boven niet veel mag afwijken (circa 25%) van het aantal monobronnen met het warme filter boven.

In figuur B3.10 is het bronnenplan van het monobronalternatief weergegeven. In het bronnenplan zijn de bronlocaties opgenomen, zoals deze in de berekeningen zijn gebruikt. Hierbij zijn de monobronnen zo geplaatst dat de meest worst-case effecten berekend worden. In werkelijkheid zullen de bronnen bij dit alternatief dicht bij de gebouwen geplaatst worden. Het aantal monobronnen dat geclusterd is, is afhankelijk van de verwachte energievraag van de gebouwen en bedraagt maximaal zes monobronnen.

3.3 Referentie

De referentiesituatie is voor de bestaande bebouwing en de eventuele toekomstige nieuwbouw een uitbreiding van het huidig systeemconcept. Dit huidige systeemconcept bestaat uit koeling met koelunits (compressiekoelmachines). De verwarming vindt plaats met warmte afkomstig uit het eigen warmtenet van de TUD. Het warmtenet wordt gevoed door een warmte-krachtkoppelingsinstallatie die staat opgesteld in een centraal ketelhuis. De aanvoertemperatuur van de ketels ligt tussen 90 en 130°C. Het algemeen principe-schema van de referentiesituatie is weergegeven in figuur 3.8.

Uitzonderingen zijn de bestaande gebouwen die reeds zijn voorzien van energieopslag in de bodem. In de vergelijking tussen de referentie en de alternatieven met energieopslag worden met het primair energieverbruik en de emissie van CO_2 van deze gebouwen buiten beschouwing gelaten, omdat hier geen verbetering of verslechtering optreedt ten opzichte van de huidige situatie.



Figuur 3.11 Algemeen principeschema referentie

4 Bestaande milieusituatie en milieugevolgen

4.1 Bodem

4.1.1 Ontstaansgeschiedenis

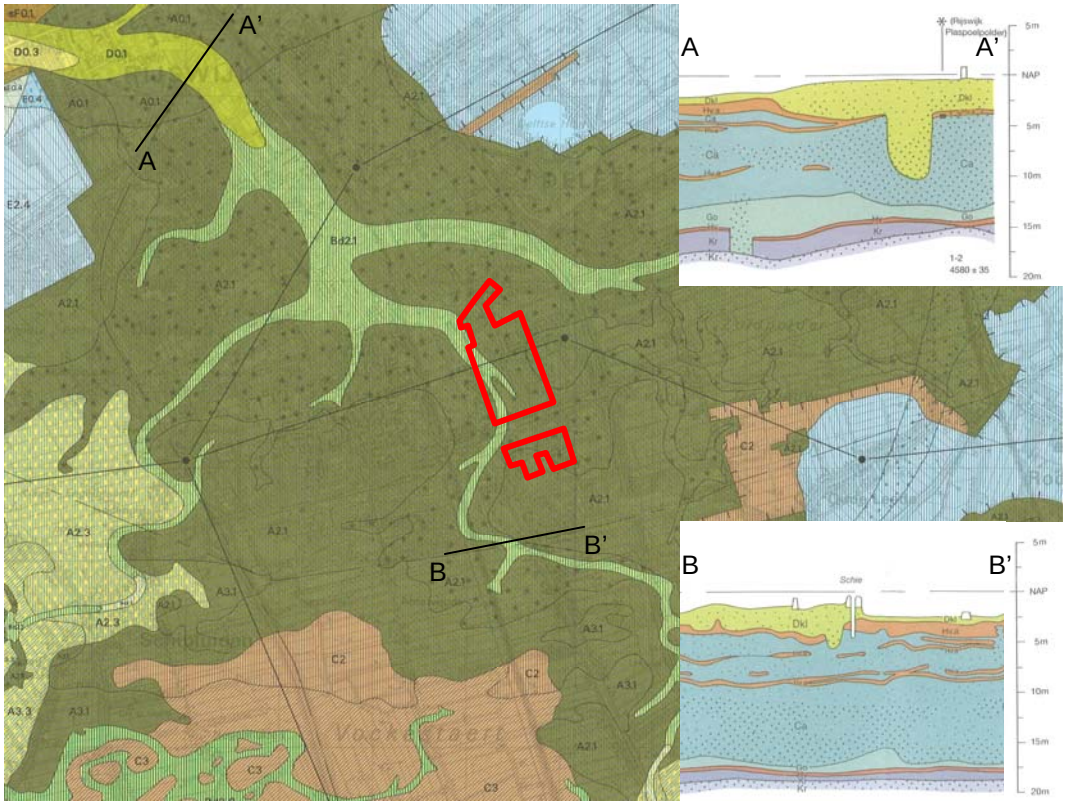
De voor deze studie relevante geohydrologische geschiedenis van het gebied start in het laatste deel van het Tertiair en het begin van het Kwartair (Mioceen, Plioceen en Oud Pleistoceen: tussen 23 en 2 miljoen jaar geleden). In deze periode was het gebied door zee bedekt en zijn de Formaties van Breda, Oosterhout en Maassluis afgezet. De formatie van Maassluis bevindt zich nu vanaf een diepte van circa 110 m-mv en vormt een gedeelte van het tweede watervoerende pakket B, de tweede scheidende laag en het derde watervoerende pakket.

Tijdens het oud Pleistoceen (eerste deel van het Kwartair: 2 tot 0,4 miljoen jaar geleden) trok de zee zich geleidelijk terug en kregen rivierafzettingen de overhand. Deze afzettingen bestaan uit zanden (bij vroegere stroomruggen) en kleien (bij vroegere komgronden of meren). Sedimentaire structuren laten zien dat er soms sprake was van getijdewerking, dat wil zeggen dat de rivier een estuarium vormde. Uit deze periode stammen de Formaties Peize/Waalre, Stamproy, Appelscha en Urk, die nu een gedeelte van het eerste watervoerende pakket, de eerste scheidende laag, het tweede watervoerende pakket A en de scheidende laag binnen het tweede watervoerende pakket vormen (gelegen tussen 35 en 110 m-mv).

In het Laat-Saalien, Eemien, Weichselien en Vroeg-Holoceen (ongeveer van 150.000 tot 10.000 jaar geleden) is de Formatie van Kreftenheye (rivierafzettingen) gevormd. De grove zandafzettingen van de Formatie van Kreftenheye vormen het grootste gedeelte van het eerste watervoerende pakket (15 tot 35 m-mv).

De periode na afloop van de laatste ijstijd wordt het Holoceen genoemd (11.500 jaar geleden tot nu). Door het stijgen van de zeespiegel werd in het vlakke dekzandgebied en ook in het fluviatiele gebied de afvoer van het grondwater geleidelijk slechter. Omstreeks 8.000 jaar geleden leidde dit tot het ontstaan van moerassen en zoetwatermeren, waarin veenvorming plaats vond. Met het hoger worden van het zeeniveau breidde dit Basisveen zich geleidelijk uit. Deze afzetting behoren tot de formatie van Nieuwkoop. Door de voortgaande stijging van het zeeniveau breidde de zee zich steeds verder oostwaarts uit (transgressie) en verdronk het Basisveenlandschap. In dit gebied kwamen zavel en klei tot afzetting (Formatie van Naaldwijk). Deze afzettingen zijn tussen 8.000 en 3.750 jaar geleden ontstaan.

De transgressiefasen werden onderbroken door perioden waarin de zee-invloed sterk afnam. In die tijden werd op de zavel en klei dikwijls veen gevormd. Door de voortdurende zandaanvoer ontstonden in westelijke richting strandwallen. Toen de strandwallen omstreeks 4.800 jaar geleden hun meest oostelijke positie hadden bereikt, kwam een einde aan de afzetting van mariene sedimenten en vond er weer veenvorming plaats. Deze veenafzetting en de tussengeschakelde veenlagen in de Formatie van Naaldwijk worden tot het Hollandveen gerekend. Door de aanzienlijke erosie in de monding van de Rijn en het Maasestuarium zijn geulstructuren ontstaan die zijn opgevuld met zandige geulafzettingen (zie figuur 4.1). In de gebieden eromheen is een compacte, kalkloze klei op het Hollandveen afgezet (afzettingen van Duinkerke). [Lit. 4, 5]



Figuur 4.1 Geulstructuren in de omgeving van het TUD terrein [Lit. 4, 5]

4.1.2 Bodemopbouw

De bodemopbouw in de directe omgeving van het TUD terrein is beschreven op basis van de volgende gegevens:

a. Geohydrologisch onderzoek grondwaterwinning Gist - Brocades Delft [Lit. 6];
b. Rapportage “Effecten van stopzetten grootschalige onttrekkingen in de provincie Zuid-Holland.” [Lit. 7];
c. Rapportage “Grondwatereffecten aan de oppervlakte (gebracht). Onderzoek naar effecten stopzetting grondwateronttrekking DSM Delft” [Lit. 8];
d. Grondwaterkaart van Nederland, blad 37 West, 37 Oost en 30 Oost [Lit. 9, 10];
e. Geologische kaart, blad 37 Oost [Lit. 5];

f. Boorbeschrijvingen uit het archief van TNO Bouw en Ondergrond via DINOLoket;
g. REGIS-kaarten;
h. Informatie van de gerealiseerde energieopslagsystemen op het TUD terrein (Bibliotheek, EWI en 3mE);
i. Informatie van de proefboring bij Technopolis;
j. Informatie van gerealiseerde energieopslagsystemen in de directe omgeving van het TUD terrein.

De boorbeschrijvingen van de energieopslagsystemen op het TUD terrein, van Technopolis en de andere gerealiseerde energieopslagsystemen zijn weergegeven in de bodemprofielen in figuur B4.2a, b en c.

Op basis van deze gegevens is de bodemopbouw geschematiseerd in een aantal watervoerende pakketten en scheidende lagen (tabel 4.1). Figuur B4.2 toont twee geohydrologische profielen over het plangebied en omgeving, waarbij de naamgeving van de watervoerende pakketten is gebaseerd op REGIS.

Tabel 4.1 Geohydrologische schematisatie

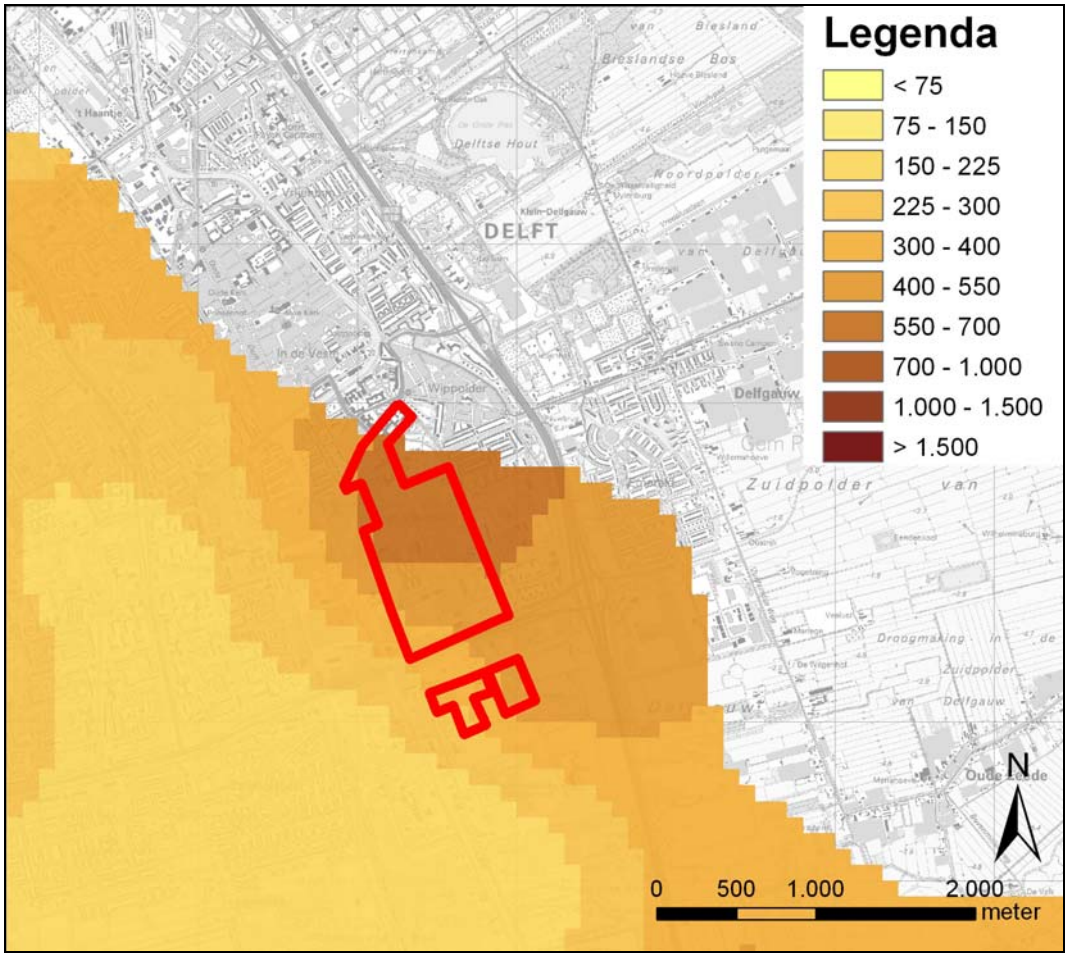
diepte [m-mv]*	**lithologie**	**formatie**	**geohydrologische benaming**
0 - 16	veen, klei en fijn zand	Westland	deklaag
16 - 36	matig grof tot uiterst grof zand	Kreftenheye, Urk	1e watervoerende pakket
36 - 42	klei	Waalre	1e scheidende laag
42 - 70	overwegend matig grof zand	Waalre	2e watervoerende pakket A
70 - 110	afwisseling van klei- en zandlagen	Waarle	scheidende laag binnen het 2e watervoerende pakket
110 - 140	matig fijn tot matig grof, schelphoudend zand	Maassluis	2e watervoerende pakket B
140 - 150	klei en kleiig fijn zand	Maassluis	2e scheidende laag
150 - 230	zeer fijn tot matig fijn zand met kleilagen	Maassluis	3e watervoerende pakket
> 230	klei	Maassluis	hydrologische basis

* Het maaiveld bevindt zich op circa -1 m t.o.v. NAP.

Deklaag
In de deklaag zijn afzettingen van veen en klei aanwezig. Hierdoor is de deklaag gevoelig voor zettingen. De geulstructuren (zie figuur 4.1) bevinden zich tot maximaal 5 à 10 m diepte en doorsnijden de deklaag niet.

Scheidende laag binnen het tweede watervoerende pakket
Op de locatie wordt een scheidende laag aangetroffen op een diepte van circa 70 tot 110 m-mv. Het betreffen afzetting van de formatie van Waalre. Deze scheidende laag is niet regionaal verbreid als gevolg van de wijze van afzetting (zie ontstaansgeschiedenis). Dit is ook terug te zien in de dwarsprofielen. Direct ten noorden van het TUD terrein ontbreekt de scheidende laag. Figuur 4.3 toont de verbreiding en de weerstand van de scheidende laag. Hoe hoger de weerstand hoe moeilijker grondwater door de scheidende laag kan stromen.

Doordat regionaal gezien de scheidende laag niet aanwezig is kan het tweede watervoerende pakket ter plaatse van het TUD terrein onderverdeeld worden in twee delen (hier tweede watervoerende pakket A en B genoemd).



Figuur 4.3 Verbreiding en weerstand (in dagen) van de scheidende laag binnen het tweede watervoerende pakket (REGIS II.1)

4.1.3 Grondwaterstand en grondwaterstroming

Grondwaterstand

Het TUD terrein ligt in een polder. In het peilgebied waarin het TUD terrein ligt, wordt een peil gehandhaafd van circa -3 m t.o.v. NAP. Op basis van informatie van peilbuizen in het peilgebied varieert de grondwaterstand op het TUD terrein tussen de -2,0 en -3,0 m t.o.v. NAP (circa 1 tot 2 m-mv).

Horizontale grondwaterstroming

De regionale horizontale grondwaterstroming volgt uit het isohypsenbeeld afkomstig uit het Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem (REGIS) en is weergegeven in figuur B4.4.

De stroming in het eerste en tweede watervoerende pakket wordt beïnvloed door de onttrekking van DSM Gist in het eerste watervoerende pakket. Uit het isohypsenbeeld volgt dat het grondwater in het eerste en tweede watervoerende pakket in noordnoordwestelijke richting stroomt (richting de grondwateronttrekking van DSM Gist) met een snelheid van respectievelijk 35 meter per jaar en minder dan 5 meter per jaar. De regionale grondwaterstroming in het derde watervoerende pakket is oostelijk gericht met een snelheid van minder dan 5 meter per jaar.

Wanneer de onttrekking van DSM Gist geheel stopgezet wordt, zal de horizontale grondwaterstroming veranderen [Lit. 11]. Bij stopzetting zal het grondwater in het eerste watervoerende pakket in oostelijke richting stromen met een snelheid van circa 10 meter per jaar. In het tweede watervoerende pakket zal het grondwater ook in oostelijke richting stromen met een snelheid van circa 5 meter per jaar. De grondwaterstroming in het derde pakket staat niet onder invloed van de onttrekking van DSM en zal derhalve niet wijzigen.

Verticale grondwaterstroming

De verticale grondwaterstroming ter plaatse van de TUD wordt met name bepaald door de onttrekking van DSM Gist. De verticale grondwaterstroming is bepaald met behulp van grondwaterstand- en stijghoogtemetingen en isohypsenbeelden uit REGIS. In de omgeving van het TUD terrein zijn geen stijghoogtemetingen in het tweede en het derde watervoerende pakket beschikbaar. Derhalve is voor het bepalen van stijghoogte en de variatie van de stijghoogte binnen het tweede watervoerende pakket gebruik gemaakt van de metingen in peilbuis B37E0382 (4 km ten oosten van het TUD terrein) en REGIS. Binnen een afstand van 10 km van het TUD terrein zijn geen beschikbare stijghoogtemetingen. Derhalve is voor het bepalen van de stijghoogte in het derde watervoerende pakket gebruik gemaakt van de isohypsenkaarten uit REGIS en kan geen variatie in de stijghoogte gegeven worden. In tabel 4.2 is de grondwaterstand en stijghoogte in de watervoerende pakketten weergegeven.

Tabel 4.2 Stijghoogte watervoerende pakket [m NAP]

pakket	bron	laagste	gemiddeld	hoogste
deklaag	B37E0677	-3,0	-2,5	-2,0
eerste watervoerende pakket	B37E0631	-6,0	-5,1	-4,3
tweede watervoerende pakket	REGIS	-5,2	-4,7	-4,3
derde watervoerende pakket	REGIS	n.b.	-3,2	n.b.

Uit de stijghoogtegegevens blijkt dat op de locatie sprake is van een neerwaarts gerichte stroming door de deklaag. De verticale stroomsnelheid bedraagt circa 2 mm/dag. De verticale stroming door de eerste scheidende laag is opwaarts gericht en bedraagt circa 2 mm/dag. De stroming door de tweede scheidende laag is eveneens opwaarts gericht en bedraagt circa 1 mm/dag.

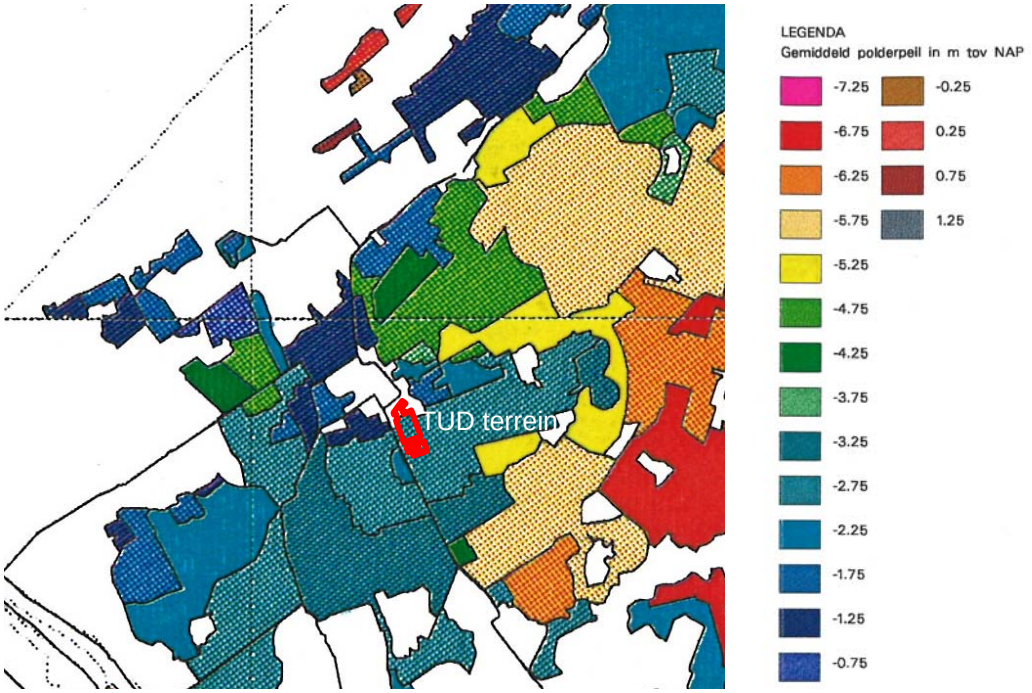
Wanneer de onttrekking van DSM Gist geheel wordt stopgezet heeft dit invloed op de verticale stroming. Ter plaatse van het TUD terrein zal hierdoor nagenoeg geen verticale stroming door de deklaag meer zijn.

De verticale stroming door de eerste scheidende laag zal neerwaarts gericht zijn en bedraagt circa 13 mm/dag. De stroming door de tweede scheidende laag zal circa 1 mm/dag bedragen en is opwaarts gericht zijn.

4.1.4 Oppervlaktewater

Een afwateringssysteem is gedefinieerd als een gebied, dat een stelsel van oppervlaktewateren en/of riolen met de erop lozende gronden omvat en rechtstreeks op het buitenwater loost. De afwatering van de bebouwde omgeving van Delft vindt plaats op de Noordzee. De afwatering van de omgeving van Delft vindt plaats op de Nieuwe Waterweg, de Nieuwe Maas en de Noordzee. [Lit. 12]

In figuur 4.5 zijn de poldergebieden in de omgeving van Delft weergegeven met het bijbehorende gemiddelde polderpeil. De figuur maakt duidelijk dat ten oosten van de TUD polders liggen waar zeer lage peilen gehandhaafd worden. Deze polders hebben een belangrijke invloed op de regionale grondwaterstroming en verklaren de oostelijke stromingsrichting in de situatie dat de onttrekking van DSM Gist is stopgezet.



Figuur 4.5 Poldergebieden in de omgeving van Delft [Lit. 12]

Het TUD terrein bevindt zich in een polder. In figuur B4.6 zijn de peilgebieden, watergangen en cultuurtechnische werken op het TUD terrein weergegeven. Op het TUD terrein wordt een peil gehandhaafd van -2,9 tot -1,3 m NAP. De peilgebieden met de hoogste peilen (het zuidelijke en oostelijke deel van het TUD terrein) hebben de meest ondiepe grondwaterstanden en zijn daarom het meest gevoelig voor veranderingen in de grondwaterstand. Het terrein wordt aan de westkant begrensd door de Delftse Schie.

Middels een gemaal aan de Balthasar van der Polweg wordt het water uit de polder op de Delftse Schie gepompt.

De grondwaterstand en –stroming in de deklaag wordt met name bepaald door het aanwezige oppervlaktewater. Het oppervlaktewater heeft een drainerende werking. Hierdoor zullen eventuele optredende grondwaterstandsveranderingen als gevolg van de energieopslag worden uitgedempt en zal er in geval van grondwaterstandsverlagingen een lagere en in het geval van grondwaterstandsverhogingen en hogere afvoer door het oppervlaktewater zijn.

4.2 Invloed op waterkwantiteit

4.2.1 Hydrologisch model

Hydrologische schematisatie
Om de hydrologische effecten van de energieopslag te berekenen, is gebruik gemaakt van het hydrologische softwarepakket MLU for Windows (Multi Layer Unsteady state). Het programma berekent op basis van een analytische oplossingsmethode de niet-stationaire effecten van putstroming in afgesloten, gedeeltelijk afgesloten en freatische watervoerende pakketten. In het model wordt de bodemopbouw geschematiseerd tot een aantal homogene watervoerende en scheidende lagen. Dit betekent dat de pakketten en lagen in het hele model dezelfde eigenschappen hebben.

In bijlage 2 is dit nader toegelicht en is deze keuze onderbouwd. In MLU wordt de horizontale stromingscomponent in de watervoerende lagen berekend en de verticale stromingscomponent in de scheidende lagen. Meer informatie over MLU for Windows is te vinden op www.microfem.com.

Op basis van de geologische opbouw, beschreven in paragraaf 4.1, is de schematisatie voor de hydrologische berekeningen bepaald. In tabel 4.3 is de hydrologische schematisatie weergegeven.

Tabel 4.3 Schematisatie bodemopbouw voor modellering

diepte [m-mv]	toelichting	doorlaat-vermogen [m²/d]	weerstand [d]	bergings-coëfficiënt[-]
1,5*	drainageweerstand	-	500	-
1,5 - 3	fictief freatisch watervoerend pakket	10	-	0,15
3 - 16	deklaag	-	5.000	-
16 - 36	1e watervoerend pakket	1.000	-	0,00058
36 - 42	1e scheidende laag	-	600	-
42 - 70	2e watervoerend pakket A	500	-	0,00049
70 - 110	lokale scheidende laag	-	2.000	-
110 - 140	2e watervoerend pakket B	300	-	0,00032
140 - 150	2e scheidende laag	-	5.000	-
150 - 200	3e watervoerend pakket	500	-	0,00044
200 - 230	3e watervoerend pakket	250	-	0,00023

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

De parameterwaarden zijn bepaald aan de hand van beschikbare informatie. Het doorlaatvermogen is de maat voor het vermogen van een watervoerend pakket om water door te laten. De bergingscoëfficiënt geeft het volume water dat door een watervoerend pakket opgenomen of afgegeven kan worden per oppervlakte-eenheid en per verandering van stijghoogte aan. De onderbouwing van de gekozen parameters is opgenomen in bijlage 3.

Schematisatie in tijd
Om de stijghoogte- en grondwaterstandveranderingen te berekenen is een niet-stationaire berekening uitgevoerd, waarbij het alle energieopslagsystemen op maximaal debiet draaien gedurende het aantal vollastdagen. Het maximale debiet in de winter en de zomer is 2.800 m³/uur. Het aantal vollastdagen is de tijd die verstrijkt als het systeem op maximaal debiet de maximale waterhoeveelheid van het betreffende seizoen verpompt (5.000.000 m³ / 2.800 m³/uur = 1.786 uur = 74 d).

In de praktijk zullen alle energieopslagsystemen niet tegelijk 148 dagen aaneengesloten op maximaal debiet draaien. Uit figuur 3.3 blijkt dat het gemiddelde maanddebiet normaalgesproken niet groter zal zijn dan circa 1.200 m³/uur (43% van 2.800 m³/uur). De resultaten van de berekeningen aangaande de grondwaterstandveranderingen zijn daarom een overschatting van de werkelijk optredende effecten (worst-case benadering).

De berekeningen zijn gebaseerd op het beginsel van superpositie, wat inhoudt dat alleen de stijghoogteveranderingen ten gevolge van de energieopslag worden berekend. De werkelijke stijghoogte kan worden verkregen door de berekende stijghoogteveranderingen te superponeren op het stijghoogtepatroon van dat moment (tabel 4.2).

4.2.2 Hydrologische effecten

De hydrologische berekeningen zijn uitgevoerd om inzicht te krijgen in de veranderingen van de grondwaterstand en de stijghoogten in de verschillende watervoerende pakketten ten gevolge van de energieopslag in de eindsituatie. 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 berekende veranderingen groter zijn dan 0,05 m. De grens van 0,05 m wordt aangehouden, omdat dit een algemeen geaccepteerde grens is. Veranderingen kleiner dan 0,05 m kunnen niet meetbaar toegeschreven worden aan een activiteit, aangezien andere invloeden als andere onttrekkingen, neerslag, verdamping, oppervlaktewater en meetfouten van de meetapparatuur invloed hebben op de waarneming.

In figuur B4.7 t/m B4.9 zijn de berekende maximale effecten voor alle alternatieven weergegeven. De grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen zijn in de zomer- en wintersituatie even groot, maar tegengesteld. In tabel 4.4 zijn de grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen voor alle alternatieven samengevat.

Tabel 4.4 Maximale grondwater- en stijghoogteverandering per alternatief [m]

watervoerende laag	uitgangs	diep	monobron
freatisch	0,02	<0,01	0,01
1e watervoerende pakket	0,32	0,05	0,21
2e watervoerende pakket A	7,00	4,74*	7,00
2e watervoerende pakket B	0,30	0,13	11,52
3e watervoerende pakket	0,03	5,81	0,12

* de stijghoogteverandering wordt veroorzaakt door de reeds aanwezige energieopslagsystemen op het TUD terrein.

In tabel 4.5 is de maximale straal van het hydrologisch invloedsgebied weergegeven, gerekend vanaf de rand van het TUD terrein. Voor de ligging van het hydrologisch invloedsgebied wordt verwezen naar figuur B4.7 t/m B4.9.

Tabel 4.5 Hydrologisch invloedsgebied per alternatief [m]

watervoerende laag	uitgangs	diep	monobron
freatisch	-	-	-
1e watervoerende pakket	1.300	-	900
2e watervoerende pakket A	1.400	750	1.000
2e watervoerende pakket B	1.200	1.250	1.500
3e watervoerende pakket	-	4.000	1.100

4.2.3 Gevoeligheidsanalyse hydrologische effecten

De hydrologische berekeningen zijn uitgevoerd met een grondwatermodel waarin parameterwaarden zijn aangenomen. Deze zijn bepaald op basis van de beschikbare informatie. Uit deze informatie blijkt dat de parameters tot op zekere hoogte onzeker zijn. In het model zijn de meest waarschijnlijke waarden aangenomen.

Bijlage 2 geeft een beschrijving van de geohydrologie. Hierin is op basis van diverse bronnen aangegeven welke variatie in doorlaatvermogens en weerstanden te verwachten is voor de verschillende watervoerende pakketten en scheidende lagen. Het aanpassen van het doorlaatvermogen of weerstand kan invloed hebben op de berekende hydrologische effecten.

Het verhogen van weerstandswaarden en/of doorlaatvermogens van het opslagpakket en de bovenliggende lagen zal enerzijds leiden tot kleinere hydrologische effecten aan maaiveld, maar anderzijds tot een groter hydrologisch invloedsgebied in het gebruikte watervoerende pakket. Omgekeerd leidt een verlaging van weerstandswaarden en/of doorlaatvermogens tot grotere hydrologische effecten aan maaiveld en een kleiner hydrologisch invloedsgebied in het gebruikte watervoerende pakket.

Om de gevoeligheid van de parameters in beeld te brengen zijn aanvullende berekeningen gedaan, waarbij de weerstanden en doorlaatvermogens zo aangepast zijn dat worst-case effecten bepaald kunnen worden. Hierbij is gekeken naar de worst-case effecten naar maaiveld, naar de omgeving en in de diepte voor alle alternatieven.

Voor en toelichting op de gekozen parameters voor het bepalen van de worst-case effecten wordt verwezen naar bijlage 3.

Op basis van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse is in tabel 4.6 per alternatief de maximale grondwaterstand- en stijghoogteverandering weergegeven. In tabel 4.7 is het maximale invloedsgebied van de verschillende alternatieven opgenomen. In de tabellen is tussen haakjes de verandering en het invloedsgebied bij de best guess aanname weergegeven. In figuur B4.10 t/m B4.12 zijn de maximale grondwaterstand- en stijghoogtevanderingvan de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse weergegeven.

Tabel 4.6 Maximale grondwaterstand- en stijghoogteverandering voor berekeningen gevoeligheidsanalyse [m]

watervoerende laag	**uitgangs**	**diep**	**monobron**
freatisch	0,17 (0,02)	0,03 (<0,01)	0,13 (0,01)
1e watervoerende pakket	0,81 (0,32)	0,13 (0,05)	0,62 (0,21)
2e watervoerende pakket A	7,00 (7,00)	5,87 (4,74)	7,00 (7,00)
2e watervoerende pakket B	2,91 (0,30)	0,33 (0,13)	17,27 (11,52)
3e watervoerende pakket	0,40 (0,03)	5,84 (5,81)	0,65 (0,12)

Tabel 4.7 Hydrologisch invloedsgebied vanaf de rand van het TUD terrein voor berekeningen gevoeligheidsanalyse [m]

watervoerende laag	**uitgangs**	**diep**	**monobron**
freatisch	600 (-)	- (-)	375 (-)
1e watervoerende pakket	1.350 (1.300)	500 (-)	1.100 (900)
2e watervoerende pakket A	2.300 (1.400)	1.050 (750)	1.350 (1.000)
2e watervoerende pakket B	2.150 (1.500)	2.300 (1.250)	1.650 (1.500)
3e watervoerende pakket	2.150 (-)	4.000 (4.000)	1.850 (1.100)

De extra berekeningen in het kader van de gevoeligheidsanalyse geven aan dat de onzekerheden in de weerstandswaarden en doorlaatvermogens resulteren is grotere grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen en invloedsgebieden. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de meest worst-case effecten in de tabellen zijn gepresenteerd. In werkelijkheid is er een zeer geringe kans dat deze worst-case effecten zullen optreden.

De invloed van de fasering van de realisatie van de systemen op de hydrologische effecten voor het uitgangs- en diepe alternatief is beperkt (zie paragraaf 5.2). Bij het monobronalternatief kan de fasering wel invloed hebben op de hydrologische effecten, doordat het aantal warme en koude filters in één laag kan verschillen. Hierdoor wordt netto grondwater verpompt van het tweede watervoerende pakket A naar het tweede watervoerende pakket B of omgekeerd.

Bij de beschrijving van de indirecte gevolgen van de hydrologische effecten wordt uitgegaan van de worst-case grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen en hydrologische invloedsgebieden zoals opgenomen in tabel 4.6 en 4.7.

4.2.4 Invloed op grondwaterstand en grondwaterstroming

Invloed op de grondwaterstand
De maximale invloed op de grondwaterstand is op basis van een reële inschatting van de bodem bij alle alternatieven beperkt (maximaal 0,02 m). Op basis van de worst-case berekeningen bedraagt de maximale grondwaterstandsverandering 0,17 m (zie figuur B4.10). Het betreft een verhoging in de zomer en een verlaging in de winter. De maximale verandering treedt op in het centrum van TU-wijk Noord ter plaatse van het bestaande energieopslagsysteem van EWI.

Invloed op de verticale grondwaterstroming
In paragraaf 4.1.3 is de verticale grondwaterstroming beschreven die van nature aanwezig is op de locatie. De beoogde energieopslag heeft invloed op de van nature aanwezige verticale grondwaterstroming.

Voor alle alternatieven geldt dat op jaarbasis in een watervoerend pakket net zoveel grondwater wordt onttrokken als geïnfiltreerd. De grootte van de verticale stroming door een onttrekking is daarom gelijk aan de grootte van de verticale stroming door een infiltratie, alleen de richting is tegengesteld. De totale invloed op de kwel en infiltratie op het TUD terrein en de omgeving is derhalve op jaarbasis nihil.

Daarnaast geldt dat bij alle alternatieven de maximale grondwaterstandverandering en stijghoogteverandering in het eerste watervoerende pakket dermate gering zijn dat geen extra verticale stroming door de deklaag berekend wordt.

In onderstaande tabel is de maximale verticale stroming door de scheidende lagen weergegeven.

Tabel 4.8 Maximale verticale stroming door scheidende lagen [m/seizoen]

scheidende laag	uitgangs	diep	monobron
deklaag	-	-	-
eerste scheidende laag	3,8	2,8	3,9
tweede scheidende laag	0,4	0,8	2,7

De grootte van de veroorzaakte verticale stroming is in de zomer gelijk aan de winter, alleen de richting is tegengesteld. Op jaarbasis is de verticale stroming daarom nihil.

4.3 Invloed op waterkwaliteit

4.3.1 Invloed op de grondwatertemperatuur

Natuurlijke grondwatertemperatuur
Uit temperatuurmetingen in de proefboringen bij de Bibliotheek en Technopolis blijkt dat de temperatuur van het grondwatertemperatuur in het tweede watervoerende pakket A van nature circa 11,5 °C bedraagt. De grondwatertemperatuur in het tweede watervoerende pakket B bedraagt circa 12 °C en in het derde watervoerende pakket circa 12,5 °C. [Lit. 13]

Uitgangspunten voor de berekeningen
Met behulp van programma HstWin-2D zijn de thermische effecten als gevolg van de beoogde energieopslagsystemen berekend. Voor een nadere toelichting op HstWin-2D wordt verwezen naar bijlage 4.

De randvoorwaarden in het HstWin-2D-model zijn gebaseerd op de geohydrologische beschrijving in hoofdstuk 4.1.2. De dikte van de laag waarin het warmtetransport gesimuleerd wordt, verschilt per alternatief. Voor het uitgangs- en het monobronalternatief is de dikte van de laag gelijk gekozen aan de dikte van het gebruikte watervoerende pakket. Voor het diepe alternatief is de dikte van de laag waarin het warmtetransport wordt gesimuleerd gelijk gekozen aan de effectieve filterlengte (50 m). Voor het monobronalternatief is het warmtetransport in twee HstWin-2D-modellen gesimuleerd; één voor het bovenste filter en één voor het onderste filter.

In de berekeningen 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 4.9 tot 4.11 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. 14].

Tabel 4.9 Modelschematisatie HstWin-2D uitgangs- en monobronalternatief (bovenste filter)

laagnaam	**dikte [m]**	**horizontale doorlatendheid [m/d]**	**verhang natuurlijke stijghoogte [‰]**	**warmtegeleidingcoëfficiënt [W/(mK)]**	**warmte capaciteit [MJ/(m³K)]**
geleidende toplaag	-	-	-	2,1	2,5
opslagpakket	28	18	0,2	2,4	2,5
geleidende onderlaag	-	-	-	1,7	2,5

Tabel 4.10 Modelschematisatie HstWin-2D monobronalternatief (onderste filter)

laagnaam	**dikte [m]**	**horizontale doorlatendheid [m/d]**	**verhang natuurlijke stijghoogte [‰]**	**warmtegeleidingcoëfficiënt [W/(mK)]**	**warmte capaciteit [MJ/(m³K)]**
geleidende toplaag	-	-	-	1,7	2,5
opslagpakket	30	10	0,2	2,4	2,5
geleidende onderlaag	-	-	-	2,1	2,5

Tabel 4.11 Modelschematisatie HstWin-2D diep alternatief

laagnaam	**dikte [m]**	**horizontale doorlatendheid [m/d]**	**verhang natuurlijke stijghoogte [‰]**	**warmtegeleidingcoëfficiënt [W/(mK)]**	**warmte capaciteit [MJ/(m³K)]**
geleidende toplaag	-	-	-	2,1	2,5
opslagpakket	50	13	0,2	2,4	2,5
geleidende onderlaag	-	-	-	1,9	2,5

Op basis van het gemiddelde onttrekkings-/infiltratiepatroon weergegeven in tabel 4.12 zijn de drie alternatieven voor energieopslag thermisch doorgerekend met het programma HstWin-2D.

Tabel 4.12 Onttrekkings-/infiltratiepatroon (gemiddelde situatie)

seizoen	bedrijfstoestand	onttrekken uit	infiltreren in	water-verplaatsing [m³]	infiltratie temperatuur [°C]
zomer	warmtelevering	koud	warm	3.250.000	8
winter	koudelevering	warm	koud	3.250.000	17

Thermische effecten

De thermische effecten beschrijft de mate waarin de temperatuur in de bodem afneemt danwel toeneemt ten opzichte van de natuurlijke temperatuur als gevolg van het infiltreren van koud en warm grondwater met de energieopslag. Zoals in tabel 4.12 is aangegeven wordt er gemiddeld 8 °C geïnfiltreerd in de koude bronnen en wordt er gemiddeld 17 °C geïnfiltreerd in de warme bronnen. De thermische effecten treden alleen op in het opslagpakket. Als gevolg van dichtheidsstroming en geleiding kan er ook warmtetransport optreden naar onder- en bovenliggende lagen. Het aandeel van dichtheidsstroming en geleiding is echter zeer beperkt (zie bijlage 4).

De berekende temperaturen na 30 jaar energieopslag zijn weergegeven in figuur B4.13 t/m B4.15. In de koude bel is de temperatuur minimaal 0,5 °C lager dan de natuurlijke grondwatertemperatuur en in de warme bel minimaal 0,5 °C hoger. Het contourinterval is 0,5 °C.

Voor alle alternatieven geldt dat na 30 jaar een temperatuurverandering van 0,5 °C in het opslagpakket mogelijk is tot maximaal 135 meter vanaf de grens van het TUD terrein.

De mogelijke stopzetting van de onttrekking van DSM Gist heeft invloed op het stromingspatroon in de watervoerende pakketten (zie paragraaf 4.1.3). In figuur B4.16 zijn de berekende temperaturen weergegeven voor het uitgangsalternatief wanneer de onttrekking van DSM Gist helemaal stopgezet wordt. Uit de berekening blijkt dat een temperatuurverandering van 0,5 °C in het opslagpakket mogelijk is tot maximaal 155 meter vanaf de grens van het TUD terrein. Uit de berekeningen volgt dat de stopzetting van de onttrekking bij DSM Gist geen negatieve invloed heeft op het thermisch functioneren en rendement van de energieopslag bij de TUD.

In de directe omgeving van het TUD terrein zijn twee vergunde energieopslagsystemen aanwezig. Het betreft het systeem van de Haagse Hogeschool, het systeem van Technopolis en het systeem van Deltares. In de bronnenplannen van de alternatieven is rekening gehouden met deze systemen door warme en koude bronnen zoveel mogelijk te clusteren. Derhalve zal er geen thermische beïnvloeding van de vergunde energieopslagsystemen zijn als gevolg van de beoogde energieopslag op het TUD terrein.

4.3.2 Invloed op de chlorideconcentratie

Natuurlijke chlorideconcentratie
Uit REGIS en waterkwaliteitsgegevens van de bestaande energieopslagsystemen op het TUD terrein blijkt dat het zoet-/brakgrensvlak (chloridegehalte is 150 mg/l) en het brak-/zoutgrensvlak (chloridegehalte is 1.000 mg/l) zich beide in de deklaag bevinden. Het grondwater in het eerste, tweede en derde watervoerende pakket is zout.
Op basis van kwaliteitsmetingen uit het archief van DINOLoket, metingen bij de bestaande systemen op het TUD terrein en informatie van energieopslagsystemen in de omgeving bevat het grondwater in het eerste watervoerende pakket een chloridegehalte van circa 1.200 mg/l bovenin tot circa 1.700 mg/l onderin het pakket. Het chloridegehalte in het tweede watervoerende pakket varieert van circa 1.800 mg/l bovenin het pakket tot circa 2.500 mg/l onderin het pakket.

Het chloridegehalte in het derde watervoerende pakket varieert van circa 2.500 mg/l boven tot 8.000 mg/l onderin het pakket.

Effecten op de chlorideconcentratie
Effecten op de chlorideconcentratie worden veroorzaakt door verticale stroming tussen de verschillende pakketten en door menging van het grondwater als gevolg van het onttrekken en infiltreren van het grondwater.

De overgang van zoet naar brak en van brak naar zout bevinden zich beide in de deklaag. Als gevolg van de energieopslag treedt geen extra verticale stroming op door de deklaag (zie paragraaf 4.2.3). Derhalve zal de ligging van deze grensvlakken niet beïnvloed worden.

Op het TUD terrein is geen sprake van een kwelsituatie en daarmee toestroming van brak tot zout grondwater naar het oppervlaktewater. Als gevolg van de beoogde energieopslag zal de stroming door de deklaag niet veranderen en zal er derhalve ook geen kwelsituatie ontstaan. De energieopslag heeft daarom geen invloed op de chlorideconcentratie in het oppervlaktewater.

Door de eerste scheidende laag treedt een extra verticale stroming op van maximaal 3 meter per seizoen. De grootte van de stroming is in de zomer en winter gelijk, alleen de richting is tegengesteld. Op jaarbasis is de invloed daarom nihil. Geconcludeerd wordt dat de invloed op de chlorideconcentratie wordt veroorzaakt door menging binnen het opslagpakket als gevolg van het onttrekken en infiltreren van grondwater.

Het grondwater wordt onttrokken ter hoogte van het filtertraject. In de natuurlijke situatie varieert de chlorideconcentratie over dit filtertraject. Als gevolg van het onttrekken en infiltreren van grondwater zal het grondwater gemengd worden. In het tweede watervoerende pakket is de gradiënt van de chlorideconcentratie echter beperkt en worden derhalve geen negatieve effecten verwacht als gevolg van de menging.

Bij het monobronalternatief wordt grondwater uit het tweede watervoerende pakket A en B gemengd. Door deze menging zal het grondwater in het tweede watervoerende pakket A en B op den duur een chlorideconcentratie bevatten van circa 2.150 mg/l.

In het tweede watervoerende pakket A zal hierdoor de concentratie toenemen met maximaal 350 mg/l en in het tweede watervoerende pakket B afnemen met maximaal 350 mg/l.

Bij gebruik van het derde watervoerende pakket zijn de verschillen in chlorideconcentraties op de verschillende dieptes groter. Het grondwater is echter op alle dieptes zout en niet bruikbaar voor drinkwaterwinning en andere hoogwaardige gebruiksdoeleinden. Het mengen van het grondwater in het derde watervoerende pakket wordt daarom niet als nadelig beschouwd.

Wanneer tijdens aanleg en onderhoud van de bronnen grondwater geloosd moet worden op het riool, zal bij de gemeente en het waterschap de voorkeur bestaan voor het lozen van grondwater met een zo laag mogelijke chloridegehalte. Hoge chloridegehaltes kunnen het zuiveringsproces in de waterzuivering verstoren.

4.3.3 Invloed op de sulfaatconcentratie

Op basis van uitgevoerde grondwaterkwaliteitsmetingen op het TUD terrein bij de bestaande energieopslagsystemen zijn de sulfaatconcentraties in het grondwater in de verschillende watervoerende pakketten bepaald. In tabel 4.13 zijn de maximaal gemeten sulfaatconcentraties per watervoerend pakket weergegeven.

Tabel 4.13 Sulfaatconcentraties in het grondwater [mg/l]

pakket	**sulfaatconcentratie [mg/l]**
eerste watervoerende pakket	8
tweede watervoerende pakket	10
derde watervoerende pakket	85

Uit de verhouding tussen de sulfaatconcentratie en het chloridegehalte kan worden afgeleid dat de relatief lage sulfaatconcentraties het gevolg zijn van sulfaatreducerende omstandigheden.

De hydrologische invloed van de beoogde energieopslag is dermate gering dat er geen menging optreedt van grondwater uit verschillende watervoerende pakketten. Ook ontstaat er geen kwelsituatie, waardoor er geen invloed is op de sulfaatconcentratie in het oppervlaktewater.

4.3.4 Invloed op verontreinigingen

In het rapport “Trajectnota / MER A4 Delft-Schiedam” [Lit. 15] zijn ernstige bodemverontreinigingen in Delft en omgeving weergegeven. Uit informatie van Bodemloket.nl blijkt dat diverse verontreinigingen inmiddels gesaneerd zijn. In figuur B4.17 zijn de ernstige verontreinigingen weergegeven. Alle verontreinigingslocaties liggen buiten het worst-case hydrologisch invloedsgebied in de deklaag en het eerste watervoerende pakket. Gezien de beperkte invloed op de grondwaterstand en stijghoogte in het eerste watervoerende pakket ter hoogte van de verontreinigingslocaties (kleiner dan 0,05 m), worden de verontreinigingen niet negatief beïnvloed.

4.4 Natuur

4.4.1 Gebiedsbescherming

Op de Ecologische Hoofdstructuurkaart van de provincie Zuid-Holland zijn de belangrijke EHS- en natuurgebieden aangegeven. In figuur 4.18 zijn alle gebieden weergegeven.

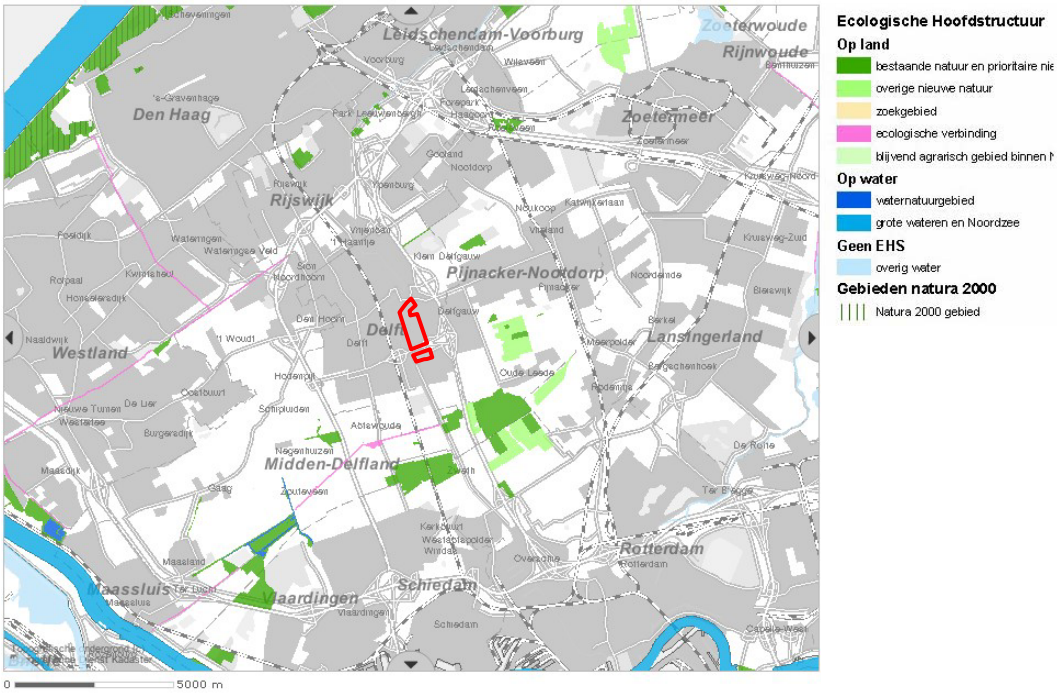
Ten noordoosten van het TUD terrein ligt De Delftse Hout. De Delftse Hout is aangelegd in de jaren zeventig van de vorige eeuw en maakt samen met het Bieslandse Bos, het Balijbos en het Floriadebos onderdeel uit van een samenhangende groenstructuur die vanuit Delft reikt tot aan Zoetermeer.

Ten zuidoosten liggen de Ackerdijkse Plassen. Door de diversiteit aan natuurtypes zoals rietland, bosjes, plassen en grasland biedt dit natuurgebied ruimte aan vele soorten broedvogels.

In het gebied broeden onder andere de velduil, lepelaar, ooievaar, smient, kemphaan, snor en kleine bonte specht. Tevens is het de enige locatie in de regio waar de zeldzame waterspitsmuis voorkomt.

Tussen Delft en Vlaardingen en ten oosten van het TUD terrein bevinden zich uitgestrekte weidevogelgebieden. Deze gebieden zijn weergegeven in figuur B4.17.

De locatie is niet gelegen in een Natura 2000 gebied. Ook zijn er binnen een afstand van 2 km van het TUD terrein geen Natura 2000 gebieden aanwezig.



Figuur 4.18 Overzicht gebieden ecologische hoofdstructuur (Ecologische Hoofdstructuurkaart Zuid-Holland)

Voor de EHS-gebieden geldt volgens de Nota Ruimte een ‘nee-tenzij’ regime. Ruimtelijke ingrepen in de EHS met significant negatieve effecten op de wezenlijke kenmerken en waarden van het gebied zijn in beginsel niet toegestaan. Zo’n project kan alleen doorgaan, als er geen reële alternatieven mogelijk zijn èn er sprake is van redenen van groot openbaar belang. Een initiatiefnemer is in dit geval verplicht om de negatieve effecten te mitigeren. Dit houdt in dat het optreden van negatieve effecten wordt voorkomen of beperkt door aanvullende maatregelen te treffen. Bij overblijvende negatieve effecten is compensatie de laatste stap om de optredende schade te herstellen.

Het ‘nee-tenzij’ regime is provinciaal uitgewerkt in een gezamenlijke uitwerking van het rijk en de provincies van de Nota Ruimte in het rapport “Spelregels EHS”.

De maximaal berekende grondwaterstandverandering bedraagt 0,17 m (zie figuur B4.10). Ter plaatse van de EHS-gebieden bedraagt de maximale grondwaterstandverandering 0,01 m. Als gevolg van de beoogde energieopslag treedt geen beïnvloeding van de verticale stroming door de deklaag op. Gezien de geringe invloed van de beoogde energieopslag wordt geconcludeerd dat geen negatieve effecten op de kenmerken en waarden van de EHS-gebieden zullen optreden.

Als gevolg van grondwaterstandverlagingen kan veenoxidatie optreden in de veenweidegebieden rond Delft. De veroorzaakte worst-case grondwaterstandverandering ter plaatse van deze gebieden is kleiner dan 0,05 m (zie figuur B4.10). Daarnaast zijn in deze gebieden veel watergangen aanwezig en vindt intensief peilbeheer plaatst. Hierdoor zal de berekende invloed van de energieopslag in de praktijk kleiner zijn. Derhalve wordt veenoxidatie niet verwacht.

4.4.2 Soortenbescherming

In de “Trajectnota / MER A4 Delft-Schiedam” [Lit. 15] is een inventarisatie van de Rode Lijstsoorten en de door de Flora- en faunawet beschermde soorten binnen een afstand van circa 1 km van de A4, A13 en A20 gemaakt, welke te verwachten zijn in de omgeving van Delft. In de Projectmer Bestemmingsplannen Delft Zuidoost [Lit. 16] is een inventarisatie van beschermde soorten in Delft Zuidoost gemaakt. De studiegebieden van beide inventarisaties en de inventarisaties zelf zijn in bijlage 5 weergegeven. Naast de genoemde beschermde soorten is ook nog de in paragraaf 4.4.1 genoemde zeldzame waterspitsmuis aanwezig. Van de opgenomen soorten zijn een aantal grondwaterstandafhankelijk, te weten de Zwanenbloem, Rietorchis, Dotterbloem, Grote kaardenbol, Bruine kikker, Groene kikker, Vroege glazenmaker, Daslook, Gevlekte orchis en de Rugstreeppad. Het betreft soorten die voorkomen in een natte of vochtige omgeving.

De invloed op de grondwaterstand als gevolg van de beoogde energieopslag is maximaal 0,17 m (zie figuur B4.10). Op basis van een reële inschatting van de bodem bedraagt de maximale grondwaterstandverandering 0,02 m. De verandering van 0,17 m treedt op het TUD terrein op. Direct buiten het TUD terrein bedraagt de worst-case grondwaterstandverandering maximaal 0,10 m. Het betreft een verlaging in de winter en een verhoging in de zomer. Derhalve wordt de van nature aanwezige fluctuatie van de grondwaterstand (het verschil tussen hoogste en laagste grondwaterstand) kleiner. De gemiddelde grondwaterstand blijft gelijk.

De berekende worst-case grondwaterstandverandering treedt op wanneer het totale systeem op maximale capaciteit gedurende het hele seizoen draait. Uit figuur 3.3 blijkt dat gemiddeld per maand de maximale capaciteit circa 1.200 m³/uur bedraagt. Derhalve zal de grondwaterstandverandering in de praktijk lager zijn dan berekend.

Ook de invloed op de kwel en infiltratie in het gebied is verwaarloosbaar (zie paragraaf 4.2.3).

De gemiddelde grondwaterstand in een jaar verandert niet. Er kan tijdelijk een grondwaterstandsverhoging of -verlaging optreden. Ook bij de worst-case berekende grondwaterstandverandering wordt, gezien de grootte en de tijdelijkheid, negatieve beïnvloeding van de grondwaterstandafhankelijke soorten en de overige in bijlage 5 beschreven beschermde soorten, alsook eventueel andere aanwezige beschermde soorten, niet verwacht en wordt de invloed als beperkt beschouwd.

4.5 Overige milieueffecten

4.5.1 Landbouw

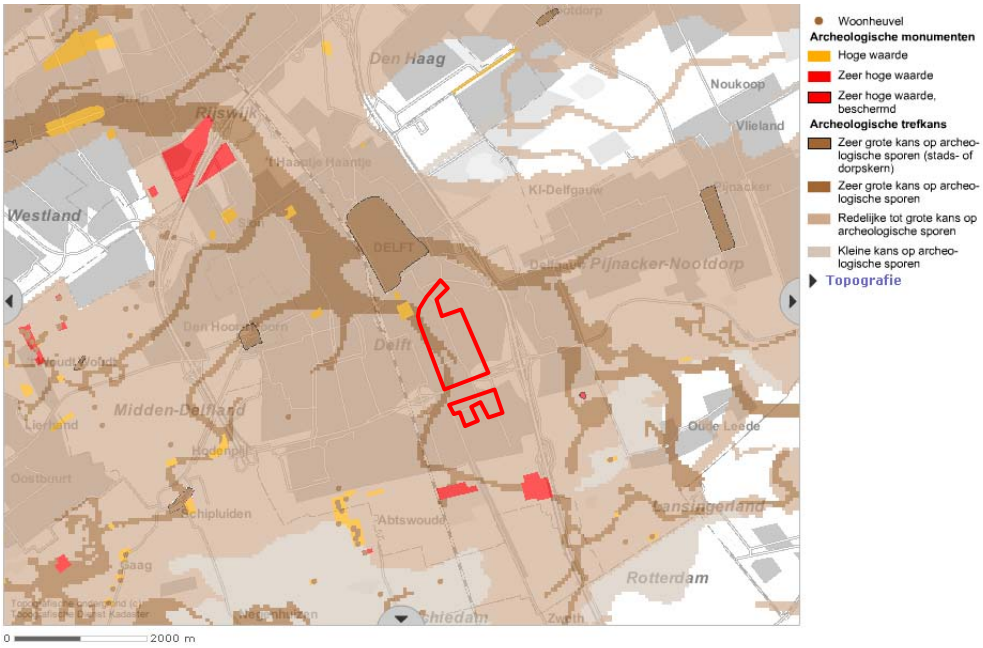
Ten oosten en ten zuiden van het TUD terrein zijn landbouwgebieden aanwezig. De maximale grondwaterstandverandering die kan optreden ter plaatse van deze landbouwgebieden bedraagt 0,01 m in de worst-case situatie. Deze verandering is dermate gering dat dit geen invloed zal hebben op de landbouwopbrengst.

4.5.2 Cultuurhistorie en archeologische waarden

In figuur 4.19 is een uitdraai van de Cultuurhistorische Waardenkaart van de provincie Zuid-Holland weergegeven. Op het TUD terrein zijn geen archeologische monumenten aanwezig. Op het terrein is een redelijk tot zeer grote kans op het aantreffen van archeologische sporen. Direct ten noorden van het TUD terrein ligt de stadskern van Delft met een zeer hoge trefkans.

Binnen het studiegebied van de beoogde energieopslag zijn diverse archeologische monumenten aanwezig. Meer informatie over deze archeologische monumenten is opgenomen in bijlage 6.

Archeologische waarden die gevoelig zijn voor oxidatie (met name organische stoffen, zoals hout, leer, etc.) blijven beter behouden als ze zich onder de grondwaterspiegel bevinden. Onder de grondwaterspiegel kan het zuurstof uit de atmosfeer de archeologische waarden nog maar nauwelijks bereiken en wordt de afbraak sterk vertraagd. Een verlaging van de grondwaterstand kan de blootstelling van de archeologische waarden aan zuurstof verhogen, wat nadelig kan zijn voor de aanwezige archeologische waarden. Ook de duur van de grondwaterstandverlaging is hierbij van belang.



Figuur 4.19 Archeologische monumenten en trefkans op archeologische sporen (Cultuurhistorische Waardenkaart Zuid-Holland)

Over het algemeen is de grondwaterstand in de zomer laag en in de winter hoog. Derhalve zal schade aan archeologie kunnen optreden wanneer in de zomer de grondwaterstand wordt verlaagd. De maximale grondwaterstandverlaging van 0,17 m (zie figuur B4.10) treedt op in de winter, wanneer de grondwaterstand over het algemeen hoog is. Dit zal geen schade aan archeologie veroorzaken. De maximale worst-case grondwaterstandverlaging in de zomer bedraagt maximaal 0,04 m. Uit figuur 3.3 blijkt dat gemiddeld per maand de maximale capaciteit circa 1.200 m³/uur bedraagt. Derhalve zal de grondwaterstandverandering in de praktijk lager zijn dan berekend. Aantasting van aanwezige archeologische waarden en monumenten als gevolg van de beoogde energieopslag wordt niet verwacht.

4.5.3 Bebouwing en infrastructuur

Grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen kunnen van invloed zijn op bestaande bebouwing en infrastructuur via grondwateroverlast, grondwateronderlast en zettingen.

Grondwateroverlast

De invloed op de grondwaterstand als gevolg van de beoogde energieopslag bedraagt maximaal 0,17 m. De drooglegging op het TUD terrein bedraagt circa 1 tot 2 m. Ook in de omliggende gebieden bedraagt de minimale drooglegging circa 1 m. Gezien de beperkte invloed op de grondwaterstand zal dit niet leiden tot grondwateroverlast.

Grondwateronderlast
Grondwateronderlast (te lage grondwaterstand) is met name van belang bij aanwezigheid van houten paalfunderingen. Bij te lage grondwaterstanden kan paalrot optreden, waardoor de fundering aangetast wordt. Volgens het rapport “Grondwatereffecten aan de oppervlakte (gebracht)” [Lit. 8] zijn er in Delft gebouwen aanwezig die gefundeerd zijn op houten palen. De houten paalfunderingen zullen met name voorkomen in de binnenstad.

Paalrot treedt versneld op als het grondwaterpeil tot onder de paalkop daalt. Als de grondwaterstand tot 0,2 m onder de paalkop daalt, verloopt het aantastingsproces zeer langzaam (schade kan optreden na circa 50 jaar). Bij een daling van 0,2 tot 0,5 m onder de paalkop kan, afhankelijk van de omstandigheden, schade optreden tussen 10-30 jaar.

Als de grondwaterstand tot meer dan 0,5 m onder de paalkop wordt verlaagd kan schade ontstaan na enkele jaren bij onbeperkte zuurstoftoetreding [Lit. 17]. Het gaat hierbij om de totale droogstandtijd [Lit. 18], aangezien bij een stijging van de grondwaterstand tot boven de paalkop de aanvoer van zuurstof weer wegvalt.

Bij de bouw van woningen op houten palen (zonder betonnen opzetters) werd de bovenkant van het funderingshout op minimaal 0,25 tot 0,30 m onder de van nature laagst voorkomende grondwaterstand gelegd [Lit. 19]. Als gevolg van de grootschalige onttrekking bij DSM Gist treden er grondwaterstandverlagingen op van maximaal 0,20 m (in de directe omgeving van DSM Gist) [Lit. 6].

Als gevolg van de beoogde energieopslag kunnen er grondwaterstandverlagingen optreden van maximaal 0,17 m (zie figuur B4.10). In het centrum van Delft is de verlaging kleiner dan 0,05 m. Uitgaande van bovenstaande gegevens zou de grondwaterstand tot maximaal 0,12 m onder de paalkop kunnen dalen. Hierdoor zou de paalfundering aangetast kunnen worden.

Gezien de beperkte verlaging is het aantastingsproces zeer langzaam. Daarnaast zal de aantasting alleen plaatsvinden wanneer de grondwaterstand langdurig op zijn laagst is en op dat moment ook langdurig de maximale verlaging als gevolg van de energieopslag optreedt. Zowel de laagste grondwaterstand als de maximale verlagingen zijn echter tijdelijk van aard. Derhalve wordt schade aan houten paalfunderingen als gevolg van de energieopslag niet verwacht.

Zettingen
Een verlaging van de stijghoogte en grondwaterstand kan een zekere zetting teweegbrengen. In welke mate deze zetting daadwerkelijk optreedt, hangt af van de zettingsgevoeligheid van de aanwezige bodemlagen, de grootte van de stijghoogte en grondwaterstandverlagingen en de eerder opgetreden bodembelastingen (voorbelastingen). In de bebouwde omgeving van Delft komt veen voor in de bodem. Deze veenlagen bevinden zich echter ruim een meter onder de laagste grondwaterstand. Derhalve is hier geen oxidatie van veen te verwachten.

Per alternatief is een berekening van de zetting uitgevoerd. De zetting in de deklaag en de scheidende lagen is tijdsafhankelijk berekend. In de tijdsafhankelijke berekeningen van de zetting is aangenomen dat de berekende maximale verlagingen gedurende het totale aantal vollastdagen (74 dagen) optreden. Dit is een worst-case aanname, omdat in de praktijk slechts gedurende een korte periode de energieopslag op maximaal debiet zal draaien.

Zo blijkt uit figuur 3.3 dat het gemiddelde maanddebiet normaalgesproken niet meer dan 1.200 m³/uur zal zijn. Een lager gemiddelde debiet betekent ook dat het effect op de grondwaterstand en stijghoogte kleiner zal zijn.

De berekeningen van de zetting zijn opgenomen in bijlage 7. In tabel 4.14 is de maximaal te verwachten zetting in de deklaag en totaal per alternatief weergegeven. Voor het bepalen van de maximale zetting is voor alle alternatieven gebruik gemaakt van het model waarin de maximale effecten naar maaiveld berekend zijn, aangezien de ondiepste lagen het meest zettingsgevoelig zijn. Voor het uitgangs- en het monobronalternatief is de zetting berekend ter plaatse van de bron waar de grootste verlagingen in het opslagpakket optreden. Voor het diepe alternatief is de zetting berekend ter plaatse van een bron van 3mE, omdat hier de verlagingen in het tweede watervoerende pakket A het grootst zijn en daar de grootste zetting op zal treden.

4.14 Maximaal te verwachten zetting per alternatief

alternatief	zetting in de deklaag [mm]	totale zetting [mm]
uitgangsalternatief	12	26
diep alternatief	1	12
monobronalternatief	11	31

Om een ongewenst verlies aan bruikbaarheid, schade of hoge onderhoudskosten aan infrastructuur en constructies te voorkomen mag de zetting volgens NEN 6740 [Lit. 20] 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 kunnen effecten van betekenis optreden [Lit. 21].

De zetting van de deklaag is bij alle alternatieven kleiner dan 15 mm en de totale zetting blijft in alle gevallen ruim onder de maximale waarde van 150 mm. Het zettingsverhang bedraagt maximaal 1:2.000. Deze beperkte zettingen en de bijbehorende verschilzettingen van alle alternatieven zullen geen schade aan bebouwing of infrastructuur (zoals wegen, sporen, tunnels en ondergrondse leidingen) veroorzaken.

4.5.4 Grondwatergebruikers

Door de provincie Zuid-Holland is een overzicht aangeleverd van grondwateronttrekkingen die aanwezig zijn binnen 4.000 m van het terrein van de TUD. Binnen deze afstand zijn diverse vergunde energieopslagsystemen en grondwateronttrekkingen aanwezig. Deze zijn weergegeven in tabel 4.15.

Tabel 4.15 Grondwatergebruikers binnen 4.000 m van de projectlocatie

bedrijfsnaam	afstand en richting	watervoerend pakket	omvang vergunning m³/uur	m³/jaar
TU Delft OCP & CW / 3mE[1]	op de locatie	2A	80	200.000
TU Delft Elektrotechniek / EWI[1]	op de locatie	2A	216	422.500
TU Delft Bibliotheek[1]	op de locatie	2A	80	165.000
TU Delft Techn. Natuurkunde[2]	direct ten W	1	175	515.500
Haagse Hogeschool[1]	direct ten NW	2A	80	200.000
Technopolis[1]	direct ten ZO	2A	350	1.860.000
Freecom Europe[1]	250 m ten O	1	27	220.000
Deltares[1,3]	300 m ten Z	2A	80	480.000
Catena Micro Electronics[1]	300 m ten O	1	17	148.920
Zuidpoort[1]	550 m ten N	2A	110	294.000
IKEA[1]	900 m ten NO	2A	225	700.000
Markeur Beheer[1]	1.250 m ten O	2A	40	180.000
GGZ Delfland[1]	1.800 m ten N	2/3	60	320.000
Van den Berg Roses[1]	1.800 m ten O	1	200	1.200.000
De Buytenweye[1]	2.000 m ten W	2A	30	80.000
Reinier de Graaf Gasthuis[1]	2.000 m ten W	2/3	302	1.238.000
DSM Gist[2]	2.300 m ten NW	1	1.600	13.800.000

[1] Energieopslagsysteem, [2] Onttrekking ten behoeve van proceskoeling, [3] In behandeling

Naast de vergunde onttrekkingen zijn er nog meerdere meldingsplichtige onttrekkingen (zie figuur B4.17). Het betreft onttrekkingen ten behoeve van blusvoorzieningen, beregening, bronbemaling en (grondwater)sanering. Deze onttrekkingen bevinden zich in de deklaag of in het eerste watervoerende pakket.

De invloed van de beoogde energieopslag op de grondwaterstand is gering en zal geen invloed hebben op de onttrekkingen in de deklaag.

De stijghoogteverandering in het eerste watervoerende pakket is in het uitgangsalternatief het grootst en bedraagt maximaal 0,8 m. De maximale stijghoogteverandering ter plaatse van de meldingsplichtige onttrekkingen bedraagt 0,2 m.
Beïnvloeding van deze onttrekkingen kan optreden wanneer verlagingen dermate groot zijn dat de pomp(en) droog komen te liggen. Gezien de grootte van de maximale verlaging ter hoogte van de onttrekkingen wordt dit echter niet verwacht.

Binnen het maximale hydrologisch invloedsgebied in het eerste en het tweede watervoerende pakket A bevinden zich diverse grondwateronttrekkingen. Deze onttrekkingen zijn allemaal vergund nadat de reeds gerealiseerde systemen op het TUD terrein zijn vergund. Dit betekent dat bij het ontwerp van de systemen rekening gehouden moet zijn met de invloed van de reeds gerealiseerde energieopslagsystemen van TUD. In tabel 4.16 is daarom de maximale invloed ter plaatse van de grondwatergebruikers als gevolg van de beoogde nieuwe energieopslagsystemen van TUD weergegeven.

Tabel 4.16 Maximale stijghoogteverandering op grondwatergebruikers binnen hydrologisch invloedsgebied [m]

bedrijfsnaam	watervoerend pakket	uitgangs	alternatieven diep	monobron
TU Delft Techn. Natuurkunde	1	0,10	<0,05	0,06
Freecom Europe	1	<0,05	<0,05	0,20
Catena Micro Electronics	1	<0,05	<0,05	<0,05
Haagse Hogeschool	2A	0,90	<0,05	0,63
Technopolis	2A	0,56	<0,05	1,70
Deltares	2A	0,16	<0,05	0,17
Zuidpoort	2A	0,06	<0,05	<0,05
Ikea	2A	0,13	<0,05	0,05
Markeur Beheer	2A	<0,05	<0,05	<0,05

Bij het diepe alternatief treedt in vergelijking met de initiële stijghoogteverandering geen extra stijghoogteverandering op ter plaatse van de overige grondwatergebruikers.

In het uitgangs- en monobronalternatief treedt er met name invloed op bij de energieopslagsystemen van Haagse Hogeschool en Technopolis. Te grote verlagingen kunnen leiden tot het droogvallen van de bronpompen. Afhankelijk van de veiligheidsruimte die beschikbaar is bij de andere systemen om extra stijghoogteveranderingen te kunnen opvangen, kan dit mogelijk tot problemen leiden. Over het algemeen wordt een veiligheidsruimte van minimaal 1 m aangehouden. In het MER is gerekend met worst-case bronlocaties in de eindsituatie. De systemen worden echter gefaseerd aangelegd. Mogelijk kan hierdoor de invloed op de andere grondwatergebruikers iets groter zijn dan berekend. Bij het ontwerp van elk individueel systeem zal gekeken worden naar het zoveel mogelijk beperken van de invloed op andere gebruikers. Dit kan gedaan worden door hiermee rekening te houden bij de positionering van de bronnen. Bij een grotere verlaging dan 0,5 m in de bronnen van een andere systeem zal in overleg met de betrokken partij(en) worden bepaald of aanpassingen nodig zijn of dat er voldoende veiligheidsruimte in het andere systeem aanwezig is om de grotere verlaging op te kunnen vangen.

Naast de grondwatergebruikers die grondwater onttrekken zijn er ook twee gesloten energieopslagsystemen met bodemwarmtewisselaars aanwezig. Aan de Ezelsveldlaan, 500 m ten N, is een systeem voor 129 woningen aanwezig. Dit systeem ligt op voldoende afstand van de TUD en zal derhalve niet beïnvloed worden.

Op het TNO Zuidpoldergebied, direct ten oosten van het TUD terrein, is een systeem voor 72 appartementen en een kinderdagverblijf aanwezig. De exacte ligging en de diepte van de bodemlussen is niet bekend. Het appartementencomplex bevindt zich binnen een warme bel van de beoogde energieopslag van de TUD. Mogelijk dat ook (een deel van) de bodemlussen van het gesloten systeem op basis van de uitgevoerde berekeningen in dit MER binnen de warme bel van de beoogde energieopslag ligt. In hoeverre beïnvloeding optreedt is afhankelijk van de diepte en locatie van de bodemlussen en het energieconcept van het gesloten systeem. Dit is echter op dit moment niet bekend.

Opgemerkt moet worden dat in het MER voor het worst-case berekenen van de thermische effecten de bronnen op de rand van het TUD terrein zijn geplaatst. Tijdens het ontwerp van de beoogde energieopslagsystemen van de TUD zal nader gekeken worden naar de locaties van de bronnen en zal ter plaatse van het gesloten systeem van TNO Zuidpolder rekening gehouden worden met dit systeem.

4.5.5 Invloed op ondergronds ruimtegebruik

Dit MER beschrijft het voornemen van de TUD voor het toepassen van grootschalige energieopslag op het TUD terrein. Het voornemen zal, samen met omliggende gebieden, verwerkt worden in een Masterplan, welke juridisch verankerd zal worden. Voor elk nieuw energieopslagsysteem op het TUD terrein wordt een losse vergunning Waterwet aangevraagd.

Nadat het Masterplan juridisch is verankerd, krijgt het voornemen de status van een belanghebbende. Dit betekent dat andere initiatieven in de omgeving rekening moeten houden met deze belanghebbende en hier in principe geen nadelige invloed op mogen hebben. Uitzonderingen blijven mogelijk als hierover overeenstemming bereikt wordt met de betrokken vergunninghouder(s). Nieuwe initiatieven kunnen zodoende toch doorgang vinden, ondanks eventuele nadelige invloed op het functioneren van de grondwateronttrekking en -infiltratie van de TUD.

Eventuele initiatieven op het gebied van ondergronds ruimtegebruik in de omgeving zullen naar verwachting vooral bestaan uit grondwateronttrekkingen. Tussen deze grondwateronttrekkingen en de KWO uit dit voornemen kan interactie optreden op twee vlakken, namelijk hydrologisch en thermisch.

Hydrologische interactie

Invloed nieuwe onttrekking op het voornemen

Het technisch functioneren van de KWO is slechts in beperkte mate afhankelijk de stijghoogte. Veelal wordt de stijghoogte in de put gemonitoord en zijn daaraan onderhouds- en alarmniveaus gekoppeld. Dit is bedoeld om een eventuele putverstopping te constateren, zodat (tijdig) maatregelen getroffen kunnen worden. Een andere onttrekking kan de stijghoogte zodanig beïnvloeden dat het onderhouds- of alarmniveau wordt aangesproken. Als vooraf bekend is wat de invloed van de andere onttrekking is, dan kunnen de onderhouds- en alarmniveaus daarop worden aangepast. Deze aanpassingen moeten in de software van het gebouwbeheersysteem worden doorgevoerd en kunnen kosten met zich meebrengen.

Een andere onttrekking zou ook van invloed kunnen zijn op de grondwaterstroming, die op zijn beurt weer van invloed is op de KWO. Alleen onttrekkingen op korte afstand van de locatie of zeer grootschalige onttrekkingen zouden een significante invloed op de grondwaterstroming kunnen hebben.

Nieuwe onttrekkingen van enige omvang zijn vergunningplichtig in het kader van de Waterwet. Onderdeel van de vergunningprocedure is het beoordelen of de invloed van de nieuwe onttrekking op de bestaande onttrekkingen acceptabel is.

Als nadelige gevolgen mogelijk zijn, dan zal de Provincie de vergunninghouder daarvan op de hoogte stellen en kan eventueel een regeling getroffen worden. De bescherming van de KWO is op deze manier voldoende gewaarborgd. Het is dan ook niet nodig om een “beschermingszone of boringsvrije zone” op te nemen rond de KWO.

Invloed voornemen op nieuwe onttrekking
De invloed van de voorgenomen grondwateronttrekking- en infiltratie treedt vooral op in het eerste, tweede en derde watervoerende pakket. De grootste veranderingen treden vooral op binnen het TUD terrein. De veroorzaakte stijghoogteveranderingen vormen geen belemmering voor eventuele nieuwe grondwateronttrekkingen in de omgeving, zolang rekening wordt gehouden met de veroorzaakte fluctuatie.

Het voornemen heeft ook invloed op de grondwaterstroming in de omgeving. Omdat deze invloed in de zomer en de winter gelijk zijn qua omvang, maar tegengesteld van richting, is deze invloed op jaarbasis nihil. Daarnaast treedt er alleen op korte afstand (<250 m) van de energieopslag van de TUD een noemenswaardige seizoensmatige invloed op. Door een goed ontwerp van een KWO-systeem kan deze seizoensmatige invloed ondervangen worden.

Thermische interactie
Invloed nieuwe onttrekking op het voornemen
De temperatuur van het onttrokken grondwater is belangrijk voor het functioneren van de KWO. Als er een nieuwe KWO op korte afstand van de TUD komt, kan deze van invloed zijn op de temperatuur bij de KWO aan de rand van de TUD. Beïnvloeding van de temperatuur hoeft niet direct te leiden tot beïnvloeding van het functioneren van een energieopslagsysteem. Wanneer de onttrekkingstemperatuur ongunstiger wordt, zal het gemiddelde debiet en de benodigde waterverplaatsing enigszins toenemen en daarmee ook het energieverbruik voor het verpompen van het grondwater. Doordat het energieverbruik voor het verpompen van het grondwater slecht een fractie is van de totale geleverde energie, zijn de consequenties voor de totale energiebesparing meestal beperkt.

Een nieuwe KWO kan alleen vergund worden als de beïnvloeding beperkt is en geen negatieve invloed op het functioneren veroorzaakt.

Invloed voornemen op nieuwe onttrekking
Door de KWO van de TUD zal de temperatuur van het grondwater in het opslagpakket worden beïnvloed. De invloed op de grondwatertemperatuur blijft echter beperkt tot de directe omgeving (maximaal 150 m buiten de rand van het TUD terrein). Alleen op zeer korte afstand van de TUD zou daardoor sprake kunnen zijn van beperkingen voor nieuwe KWO-systemen. Door aan te sluiten op de ordening uit het Masterplan kan echter ook sprake zijn van wederzijds voordeel.

Gevolgen voor nieuwe infrastructuur
Ondergrondse infrastructuur zal met name gerealiseerd worden in de deklaag en mogelijk ook in het eerste watervoerende pakket. De invloed in de deklaag is beperkt (maximaal 0,17 m) en zal geen belemmeringen vormen voor eventuele nieuwe ondergrondse infrastructuur.

De invloed in het eerste watervoerende pakket bedraagt in de worst-case situatie maximaal 0,81 m. Op basis van een meer reële inschatting bedraagt de invloed maximaal 0,32 m. De maximale invloed treedt op direct bij de bronnen van de TUD. Voor eventuele nieuwe ondergrondse infrastructuur dient, met name op het TUD terrein, rekening gehouden te worden met de invloed van de energieopslag, maar zal geen belemmeringen vormen voor eventuele nieuwe ondergrondse infrastructuur.

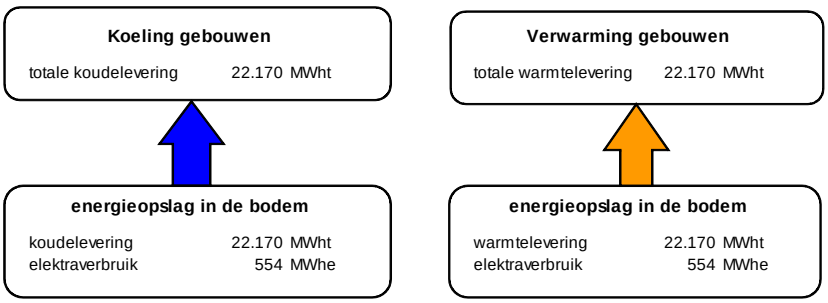
Bij de keuze voor half bovengrondse putafwerking van de bronnen (zie paragraaf 3.1.4) kan de aanleg van de putten een belemmering vormen voor toekomstige bovengrondse infrastructuur. Bij een ondergrondse putafwerking kan de put aan maaiveld geïntegreerd worden in het straatwerk. Bij het ontwerp van de energieopslagsystemen zal de keuze van bronlocaties en de putafwerking gebaseerd worden op het huidige en verwachte toekomstige gebruik van het maaiveld.

4.6 Energie

Voor het bepalen van de energiebesparing en de emissiereductie wordt de warmte- en koudelevering met energieopslag vergeleken met de conventionele wijze van koelen met koelmachines en de huidige wijze van verwarming op het TUD terrein met het warmtenet.

Van de opwekkingsystemen - en bij het warmtenet ook de distributiesystemen - zijn voor zowel de variant met energieopslag in de bodem als de referentievariant - op basis van kengetallen - het jaarlijks aardgas- en het elektriciteitsverbruik en de hierbij behorende uitstoot in CO_2 berekend. Tevens zijn de absolute en relatieve energiebesparing, de CO_2 emissiereductie en de energieprestatie van de opwekkingsystemen gekwantificeerd.
De energieprestatie van het systeem is gedefinieerd als de verhouding tussen de jaarlijks geleverde warmte en koude in GJ (thermisch) en het jaarlijks gebruik van primaire energie in GJ (primair). De voor de berekeningen gehanteerde kengetallen en uitgangspunten zijn weergegeven in bijlage 8.

Het principeschema met energiegegevens van de duurzame variant met energieopslag en van de referentievariant zijn weergegeven in figuur 4.20 en 4.21. Het principe van energieopslag is voor alle alternatieven gelijk. Uitgangspunt van de energiehoeveelheden is de situatie zoals deze omschreven is in paragraaf 3.1.2 en paragraaf 3.3. Tabel 4.17 geeft het overzicht van het energieverbruik, de CO_2-uitstoot en de energieprestatie.



Figuur 4.20 Principeschema met uitgangspunten energieopslag in de bodem

Figuur 4.21 Principeschema met uitgangspunten referentievariant

Tabel 4.17 Overzicht energieverbruik, uitstoot en energieprestatie

	energieopslag	referentie	eenheid
Levering			
totale warmte- en koudelevering	44.340	44.340	MWht/jaar
totale warmte- en koudelevering	159.624	159.624	GJ/jaar
Energieverbruik			
elektriciteitsverbruik	1.109	5.543	MWhe/jaar
aardgasverbruik	0	2.914.191	m³/jaar
CO_2 emissie			
CO_2 uitstoot	627	8.324	ton/jaar
absolute reductie	7.697	-	ton/jaar
procentuele reductie	92,5	-	%
Primaire energie			
primair energieverbruik	10.599	155.485	GJ prim./jaar
absolute besparing	144.887	-	GJ prim./jaar
procentuele besparing	93,2	-	%
Energieprestatie			
energieprestatie	15,1	1,0	GJ_t/GJ prim.

5 Beoordeling van de alternatieven

5.1 Beoordeling milieuaspecten

In de voorgaande hoofdstukken zijn de alternatieven en de invloed van de alternatieven op milieuaspecten beschreven. Wat betreft het energievoordeel zijn er geen verschillen tussen de drie alternatieven. Wanneer gekeken wordt naar de invloed op de waterkwantiteit-, kwaliteit, de natuur, overige milieueffecten en ruimtebeslag zijn er wel kleine verschillen tussen de alternatieven.

In onderstaande tabel is per alternatief een beoordeling weergegeven van de invloed van de alternatieven op de milieuaspecten in vergelijking met de referentie.

Tabel 5.1 Beoordeling invloed milieuaspecten per alternatief

milieuaspect	**alternatieven**		
	uitgangs	**diep**	**monobron**
kwantiteit	0	0	0
kwaliteit	0	0	0
natuur	0	0	0
omgevingsbelangen	-0,5	0	-0,5
energie	+1	+1	+1
ruimtebeslag	-0,5	-0,5	-0,5

-1 = negatief, 0 = neutraal, +1= positief

Kwantiteit
Bij energieopslag wordt het onttrokken grondwater ook weer geïnfiltreerd. Derhalve heeft het geen directe invloed op de waterkwantiteit (hoeveelheid grondwater in de bodem). Uitzondering is het grondwater dat gespuid wordt bij aanleg en tijdens onderhoud. De te spuien hoeveelheid grondwater is echter beperkt ten opzichte van de hoeveelheid aanwezig grondwater in de bodem, waardoor dit als neutraal wordt beoordeeld.

Als gevolg van kwel en infiltratie kan grondwater van of naar het oppervlaktewater of tussen verschillende watervoerende pakketten verplaatst worden. De invloed op de verticale stroming (kwel en infiltratie) is bij alle alternatieven gering. De veroorzaakte verticale stroming door de deklaag is bij alle alternatieven nihil. De veroorzaakte extra verticale stroming door de eerste scheidende laag is bij het diepe alternatief het lager (2,8 m/seizoen) dan bij het uitgangs- en monobronalternatief (3,8 en 3,9 m/seizoen). De stroming door de tweede scheidende laag is bij het monobronalternatief het hoogst.

De grootte van de stroming is in de winter gelijk aan de zomer, alleen de richting is tegengesteld. Op jaarbasis is de verticale stroming nihil. Derhalve wordt de invloed op de kwantiteit voor alle alternatieven als neutraal beoordeeld.

Kwaliteit
De invloed op de grondwatertemperatuur blijft bij alle alternatieven beperkt tot het opslagpakket. Het thermisch invloedsgebied bedraagt bij alle alternatieven maximaal 135 m. Daarnaast is bij het plaatsen van de bronnen (figuur B3.5 t/m B3.7) rekening gehouden met andere vergunde energieopslagsystemen, zodat interactie wordt voorkomen.

Bij alle alternatieven wordt de chlorideconcentratie van het grondwater in het opslagpakket gemengd. Bij het monobronalternatief wordt grondwater onttrokken en geïnfiltreerd in het tweede watervoerende pakket A en B. Derhalve vindt menging van grondwater van beide pakketten plaatst. De toename in chloridegehalte in de diepte is in het derde watervoerende pakket het grootst. Menging van grondwater van verschillende dieptes binnen die pakket kan daarom het meeste effect hebben op het chloridegehalte. Omdat het grondwater in alle watervoerende pakketten zout is, is het niet bruikbaar voor drinkwaterwinning en andere hoogwaardige gebruiksdoeleinden. Het mengen van het grondwater wordt derhalve bij alle alternatieven niet als nadelig beschouwd.

Wat betreft de sulfaatconcentratie wordt geconcludeerd dat de van nature in het grondwater aanwezige sulfaatconcentratie beperkt is. Daarnaast is de verticale stroming door de scheidende lagen als gevolg van de energieopslag bij alle alternatieven beperkt en treedt geen menging van grondwater van verschillende pakketten op. Ook treedt er geen kwel naar het oppervlaktewater op. Negatieve effecten als gevolg van beïnvloeding van de sulfaatconcentratie in de bodem en het oppervlaktewater treden niet op.

Bij alle alternatieven is de invloed op de horizontale en verticale stroming in de deklaag en het eerste watervoerende pakket beperkt, waardoor geen extra verplaatsing van verontreinigingen optreedt.

Geconcludeerd wordt dat voor alle alternatieven de invloed op de waterkwaliteit als neutraal beoordeeld kan worden.

Natuur
Ter plaatse van de EHS-gebieden is bij alle alternatieven de maximale grondwaterstandverandering kleiner dan 0,05 m en treedt geen beïnvloeding van de verticale stroming door de deklaag op. Derhalve heeft de beoogde energieopslag bij alle alternatieven geen negatieve invloed op de kenmerken en waarden van de EHS-gebieden.

De maximale invloed op de grondwaterstand is bij het uitgangsalternatief het grootst (0,17 m) en bij het diepe alternatief het kleinst (0,03 m). Bij het monobronalternatief bedraagt de maximale grondwaterstandverandering 0,13 m. De maximale verandering treedt op het TUD terrein op. De maximale verandering betreft een verlaging in winter en een verhoging in de zomer. Derhalve wordt de van nature aanwezige fluctuatie van de grondwaterstand (het verschil tussen hoogste en laagste grondwaterstand) als gevolg van de energieopslag kleiner.

Daarnaast zal het totale systeem niet gedurende het hele seizoen op maximale capaciteit aan staan. In de praktijk zal de optredende grondwaterstandverandering kleiner zijn dan berekend. Ook de invloed op de kwel en infiltratie in het gebied is verwaarloosbaar. Negatieve beïnvloeding van beschermde soorten wordt niet verwacht.

Op basis van bovenstaande wordt de invloed op natuur bij alle alternatieven als neutraal beoordeeld.

Omgevingsbelangen
Landbouw, cultuurhistorie en archeologie en bebouwing en infrastructuur worden, vanwege de beperkte grondwaterstandveranderingen en verticale stroming, bij alle alternatieven niet beïnvloed. Wat betreft de invloed op grondwatergebruikers kan gesteld worden dat bij het diepe alternatief geen sprake is van negatieve beïnvloeding van grondwatergebruikers. Bij het uitgangs- en monobronalternatief is de invloed op grondwatergebruikers dermate groot, dat mogelijk technische aanpassingen nodig zijn. Als eerste kan bij het ontwerp van de beoogde systemen de invloed beperkt worden door de keuze van bronlocaties. Wanneer beïnvloeding niet uitgesloten kan worden, kan gekeken worden naar het aanpassen van de onderhouds- en alarmniveaus in de software van het gebouwbeheerssysteem of het dieper plaatsen van de bronpompen (indien mogelijk). Omdat in het MER gerekend is met worst-case bronlocaties, zal door het verplaatsen van bronnen de effecten op belangen kleiner worden. Het uitgangs- en het monobronalternatief wordt derhalve als licht negatief beoordeeld en het diepe alternatief als neutraal.

Energie
In vergelijking met de referentiesituatie is het primair energieverbruik bij de toepassing van energieopslag veel lager en daarmee ook de uitstoot van CO_2. De besparing is voor alle alternatieven gelijk. De invloed op milieu wordt derhalve als positief beoordeeld.

Ruimtebeslag
Voor de aanleg van de energieopslagsystemen worden putbehuizingen en ondergronds leidingwerk aangelegd. Het aantal bronlocaties is bij alle alternatieven nagenoeg gelijk. Het voordeel van het monobronalternatief is dat de bronnen dicht bij het gebouw geplaatst kunnen worden, waardoor er minder ondergronds leidingwerk nodig is. Bij voorkeur worden bij alle alternatieven de bronlocaties zo dicht bij mogelijk bij het gebouw gekozen en het leidingwerk beperkt. Daarnaast zijn de bronnen in het terrein in te passen. Omdat openbaar gebied gebruikt kan worden voor het realiseren van de bronnen en het leidingwerk wordt het ruimtebeslag van alle alternatieven als licht negatief beoordeeld.

Keuze alternatief
Het diepe alternatief wordt op basis van de invloed op milieuaspecten als beste beoordeeld. Er is echter onzekerheid wat betreft de exacte opbouw en de capaciteit van het derde watervoerende pakket. Daarnaast zijn de investeringskosten voor de realisatie van de energieopslagsystemen in het derde pakket in vergelijking met de andere alternatieven het hoogst. De investeringskosten van het monobronalternatief zijn ook hoger dan het uitgangsalternatief. Daarnaast wordt bij het monobronalternatief slechts een gedeelte van de beschikbare capaciteit van het tweede watervoerende pakket A gebruikt.

De TUD heeft goede ervaring met de toepassing van energieopslag in het tweede watervoerende pakket A.

Derhalve gaat de voorkeur van de TUD uit naar toepassing van energieopslag in het tweede watervoerende pakket A (uitgangsalternatief). Het combineren van de alternatieven (naast bronnen in het tweede watervoerende pakket A ook bronnen in het derde watervoerende pakket en/of monobronnen) heeft geen grote voordelen ten opzichte van het toepassen van alleen het uitgangsalternatief. Derhalve wordt niet gekozen voor een combinatie of mengvorm van alternatieven.

5.2 Hydrologische effecten (fasering)

In dit MER is bij de berekeningen en het beschrijven van de invloed op belangen uitgegaan van de eindsituatie. In de praktijk zullen de energieopslagsystemen gefaseerd aangelegd worden. Op dit moment is nog niet exact bekend hoe deze fasering eruit ziet. Voor een aantal gebouwen is wel een globale planning bekend. Het betreft de gebouwen van Bouwkunde, TNW en CITG welke in de periode van 2011 t/m 2015 gebouwd dan wel gerenoveerd worden. Om een beeld te krijgen van de hydrologische effecten bij een gefaseerde aanleg zijn drie berekeningen uitgevoerd met de modelschematisatie uit tabel 4.3 voor het uitgangsalternatief. In de eerste berekening zijn de reeds gerealiseerde systemen van 3mE, EWI en de Bibliotheek en de toekomstige systemen van Bouwkunde, TNW en CITG meegenomen (in totaal 1.276 m³/uur). In de tweede berekening worden ook de toekomstige systemen van TNW + DCT, L&R en Kluyverweg 4-6 en de uitbreiding van het systeem van 3mE en EWI meegenomen (in totaal 1.996 m³/uur). In de derde berekening is de totaal aangevraagde capaciteit meegenomen. De resultaten van de berekeningen zijn opgenomen in tabel 5.2 en 5.3 en in de figuren B5.1 (fase 1), B5.2 (fase 2) en B5.3 (eindsituatie).

Tabel 5.2 Maximale grondwater- en stijghoogteverandering per fase [m]

watervoerende laag	**fase 1 (1.276 m³/uur)**	**fase 2 (1.996 m³/uur)**	**eindsituatie (2.800 m³/uur)**
freatisch	0,01	0,01	0,02
1e watervoerende pakket	0,12	0,21	0,32
2e watervoerende pakket A	7,00	7,00	7,00
2e watervoerende pakket B	0,11	0,20	0,30
3e watervoerende pakket	0,01	0,02	0,03

Tabel 5.3 Hydrologisch invloedsgebied per fase [m]

watervoerende laag	**fase 1 (1.276 m³/uur)**	**fase 2 (1.996 m³/uur)**	**eindsituatie (2.800 m³/uur)**
freatisch	-	-	-
1e watervoerende pakket	1.700	750	1.300
2e watervoerende pakket A	1.850	1.100	1.400
2e watervoerende pakket B	1.400	750	1.200
3e watervoerende pakket	-	-	-

Uit de berekeningen volgt dat de maximale grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen optreden in de eindsituatie. Het hydrologische invloedsgebied is na realisatie van fase 1 iets groter dan in de eindsituatie. Het hydrologisch invloedsgebied wordt bepaald door de som van de effecten van alle losse onttrekkingen en infiltraties samen. Een verhoging in een infiltratiebron wordt (deels) gedempt door een verlaging in een onttrekkingsbron en andersom. De positionering van de gerealiseerde bronnen is daarom bepalend voor het totale invloedsgebied.

Aangezien de maximale stijghoogteverandering binnen het hydrologisch invloedsgebied gering is, zal dit geen invloed hebben op omgevingsbelangen.

Ook voor het diepe alternatief zal gelden dat de maximale grondwaterstand- en stijghoogteverandering in een gefaseerde situatie niet zal toenemen, omdat ook hier de onttrekkings- en infiltratiebronnen in hetzelfde watervoerende pakket geplaatst worden. Bij het monobronalternatief kan de fasering wel een toename van de grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen veroorzaken. Dit kan voorkomen wanneer het aantal monobronnen met het koude filter boven afwijkt van het aantal monobronnen met het warme filter boven. Daarom is een voorwaarde bij dit alternatief dat het aantal monobronnen met het koude filter boven niet veel mag afwijken (circa 25%) van het aantal monobronnen met het warme filter boven. Wanneer uitgegaan wordt van bovenstaande fasering zal hierdoor de invloed op de grondwaterstand niet groter worden dan maximaal 0,20 m (uitgaande van een worst-case bodemopbouw).

Geconcludeerd wordt dat de fasering van de aanleg van de systemen bij het uitgangs- en diepe alternatief niet zal leiden tot vergroting van de hydrologische effecten en bij het monobronalternatief kan leiden tot een beperkte toename van de hydrologische effecten. De in deze MER beschreven invloed op omgevingsbelangen en de beoordeling van de alternatieven zal derhalve niet wijzigen.

5.3 Hersteltijd van de energieopslagsystemen

Wanneer de energieopslag op een bepaald moment beëindigd wordt, is alleen de thermische invloed nog merkbaar. In de bodem blijven koude en warme bellen achter. Als gevolg van grondwaterstroming, geleiding, diffusie en dispersie zullen temperaturen in de loop van de tijd weer langzaam richting de omgevingstemperatuur opschuiven. De af- en toename van de temperatuur ten opzichte van de natuurlijke temperatuur is echter beperkt. Gemiddeld zal er met een temperatuur van 8 °C en 17 °C worden geïnfiltreerd. Uit onderzoek naar het gedrag van water en sediment bij verwarming bij warmteopslag in de bodem is gebleken dat de invloed van de temperatuurverandering (t.o.v. de natuurlijke temperatuur) die optreedt bij energieopslag (in het algemeen minder dan 10 °C) op de watersamenstelling veelal verwaarloosbaar klein is [Lit. 21, 22]. Een lichte af- en toename van de temperatuur heeft geen negatieve invloed op de bodem en op omgevingsbelangen. Bij alle alternatieven wordt met dezelfde temperatuur geïnfiltreerd. De hersteltijd zal daarom bij alle alternatieven nagenoeg gelijk zijn.

Op basis van berekeningen voor het uitgangsalternatief blijkt dat wanneer de totale energieopslag na 30 jaar wordt stopgezet er na 100 jaar na stopzetting temperaturen worden berekend van minimaal 10 °C en maximaal 12,3 °C. Ten opzichte van de natuurlijke temperatuur van 11,5 °C wordt een temperatuurverandering van maximaal 1,5 °C berekend.

6 Overige aspecten

6.1 Leemten in milieu-informatie

Over het algemeen zijn bij het tot stand komen van dit MER geen grote leemten in informatie geconstateerd. De belangrijkste leemten zijn:

Bodemopbouw
Over de geohydrologie van de bodemlagen is uit de omgeving voldoende informatie beschikbaar. Uit de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse blijkt dat de onzekerheid in de weerstand van de eerste scheidende laag, de deklaag en de drainageweerstand geen grote onzekerheid in de effecten oplevert.

Voor de dieper gelegen bodemlagen (met name het derde watervoerende pakket) is sprake van onzekerheden in de exacte geohydrologische situatie op locatie (exacte dikte en opbouw van bodemlagen en bijbehorende parameters). Dit is met name van belang voor de toepassing van energieopslag in het derde watervoerende pakket (diep alternatief). De capaciteit die per bron gehaald kan worden in dit pakket is daardoor tot op zekere hoogte onzeker.

Toepassingsgraad energieopslag
In dit MER is uitgegaan van 100% toepassing van energieopslag. In hoofdstuk 5 zijn ook berekeningen uitgevoerd voor de aan te vragen alternatieven waarbij rekening is gehouden met een gefaseerde realisatie. De fasering is gebaseerd op een globale planning van enkele gebouwen. Voor de overige gebouwen is geen planning bekend en is een aanname gedaan. In hoeverre en wanneer de gebouwen daadwerkelijk gebruik gaan maken van energieopslag is onzeker.

Bij een lagere toepassingsgraad van de energieopslag neemt de omvang van de grondwateronttrekking en -infiltratie af en zullen de hydrologische effecten meestal afnemen. De uitgevoerde berekeningen met de verschillende stadia in de fasering geven een indruk van de bandbreedte van effecten die verwacht mag worden.

Uitgangspunten energieopslag
De nu gehanteerde uitgangspunten voor de koude-/warmteopslag zijn een zo goed mogelijke inschatting. Tot op zekere hoogte kan de gemiddelde waterverplaatsing per seizoen en de gemiddelde infiltratietemperatuur per seizoen afwijken van de aangehouden waarden. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn doordat de energievraag van de gebouwen in de toekomstige situatie niet nauwkeurig kan worden ingeschat en/of dat de klimatologische omstandigheden afwijken van de verwachting.

In dit MER is uitgegaan van relatief grote energielevering met energieopslag, zodat sprake is van een worst-case benadering.

6.2 Evaluatieprogramma

Voor elk energieopslagsysteem zal een losse vergunning Waterwet aangevraagd worden. Hierbij dient het MER als onderbouwing van de invloed van de energieopslag op omgevingsbelangen. Daarnaast zal per energieopslagsysteem berekend worden wat de invloed van het systeem zal zijn en aangetoond dat deze effecten kleiner zijn dan de in het MER gepresenteerde effecten.

Bij het verlenen van een vergunning Waterwet voor een energieopslagsysteem verbindt de provincie Zuid-Holland voorschriften aan de vergunning ter bescherming van de bij het grondwaterbeheer betrokken belangen. De volgende voorschriften hebben betrekking op het vergelijken van de berekende effecten met de werkelijk optredende effecten:

- Het uitvoeren van een onttrekkings- en infiltratieproef op maximale capaciteit voor ingebruikname van de bronnen, waarbij in een filter ter hoogte van het filtertraject van zowel de koude als de warme bron metingen van de stijghoogte worden verricht.
- Het dagelijks meten van de temperatuur van het onttrokken en te retourneren grondwater;
- Het meten en registreren van de onttrokken en geretourneerde hoeveelheden grondwater;
- Tweemaal per jaar, aan het einde van de winter- en zomerperiode, bepalen van het chloridegehalte van het water uit het filter waaruit dat seizoen is onttrokken;
- Per kwartaal berekenen en registreren van de onttrokken en toegevoegde energiehoeveelheid.

Bovenstaande monitoring vindt plaats na realisatie van het systeem. Tijdens de realisatie van de bronnen vindt geen monitoring plaatst.

Ten behoeve van de monitoring van de grondwaterstand wordt voorgesteld om een vijftal peilbuizen te monitoring, verspreid over het TUD terrein. Ter plaatse van deze locaties wordt zowel de grondwaterstand als de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket gemonitoord. De berekende invloed op de grondwaterstand is immers klein. Daarnaast wordt de grondwaterstand beïnvloed door meerdere factoren als neerslag, tijdelijke onttrekkingen/bemalingen, oppervlaktewater en dergelijke. De invloed in het eerste watervoerende pakket als gevolg van de energieopslag is groter dan in de deklaag. Ook staat de stijghoogte in dit pakket minder onder invloed van andere factoren. Door de stijghoogteverandering in het eerste watervoerende pakket en de grondwaterstandverandering met elkaar te vergelijken kan een beter beeld met betrekking tot de invloed van de energieopslag op de grondwaterstand worden verkregen.

Literatuurlijst

[1] Provincie Zuid-Holland, 2006 - Nota van Beantwoording zienswijzen. Grondwaterplan Zuid-Holland 2007-2013.

[2] IF Technology, 2008 - Grondwateronttrekking voor de klimaat- en gietwatervoorziening van Agriport A7 (Wieringermeer) Milieu Effect Rapportage - Figuren en Bijlagen. Arnhem.

[3] IF Technology, 2008 - Grondwateronttrekking voor de klimaat-en gietwatervoorziening Het Grootslag - Gemeente Wervershof/Andijk-. Arnhem.

[4] H.J.A. Berendsen, 1997 - De vorming van het land. Inleiding in de geologie en de geomorfologie. ISBN-nummer: 90-232-3102-3. Uitgever: Van Gorcum.

[5] Rijks Geologische Dienst, 1998 - Rotterdam 37 Oost. Haarlem.

[6] IWACO, 1986 - Geohydrologisch onderzoek grondwaterwinning Gist - brocades Delft. Bijlage III. IWACO. Rotterdam.

[7] IWACO, 1999 - Effecten van stopzetten grootschalige onttrekkingen in de provincie Zuid-Holland. Eindrapportage. Rotterdam.

[8] Deltares, 2008 - Grondwatereffecten aan de oppervlakte (gebracht). Onderzoek naar effecten van stopzetting grondwateronttrekking DSM Delft - Hoofdrapport. Utrecht.

[9] Boswinkel, ir. J.A. en Ritsema, drs. I.L., 1984 - Grondwaterkaart van Nederland. Rotterdam 37 West, 37 Oost. Inventarisatierapport. Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft/Oosterwolde.

[10] Boswinkel, ir. J.A. en Cornelissen, ing. C.M.L., 1980 - Grondwaterkaart van Nederland 's-Gravenhage 30D, 30 Oost, Utrecht 31 West. Inventarisatierapport. Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.

[11] Auteur onbekend, 2001 - Effectenberekeningen stopzetting winning DSM-Gist op de freatische grondwaterstand in Den Haag. Definitief. Amsterdam ZO.

[12] TNO, 1996 - Landelijke hydrologische systeemanalyse. Deelrapport 3. Deelgebied Noord- en Zuid-Holland ten zuiden van het Noordzeekanaal. Delft.

[13] 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.

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

[15] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007 - Trajectnota/MER A4 Delft-Schiedam.

[16] Arcadis, 2011 - ProjectMer Bestemmingsplannen Delft Zuidoost.

[17] Provincie Fryslan, 2007 - Aard en omvang van de funderingsproblematiek in Friese veenweidegebieden. Leeuwarden.

[18] Min. VROM, 2000 - Aantasting houten paalfunderingen van woningen. Min. VROM. Nieuwegein.

[19] Dordrecht, Belangenvereniging Funderingsproblematiek, 2005 - Publicatie BVFP. Verhoging grondwater in infiltratiegebieden. Dordrecht.

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

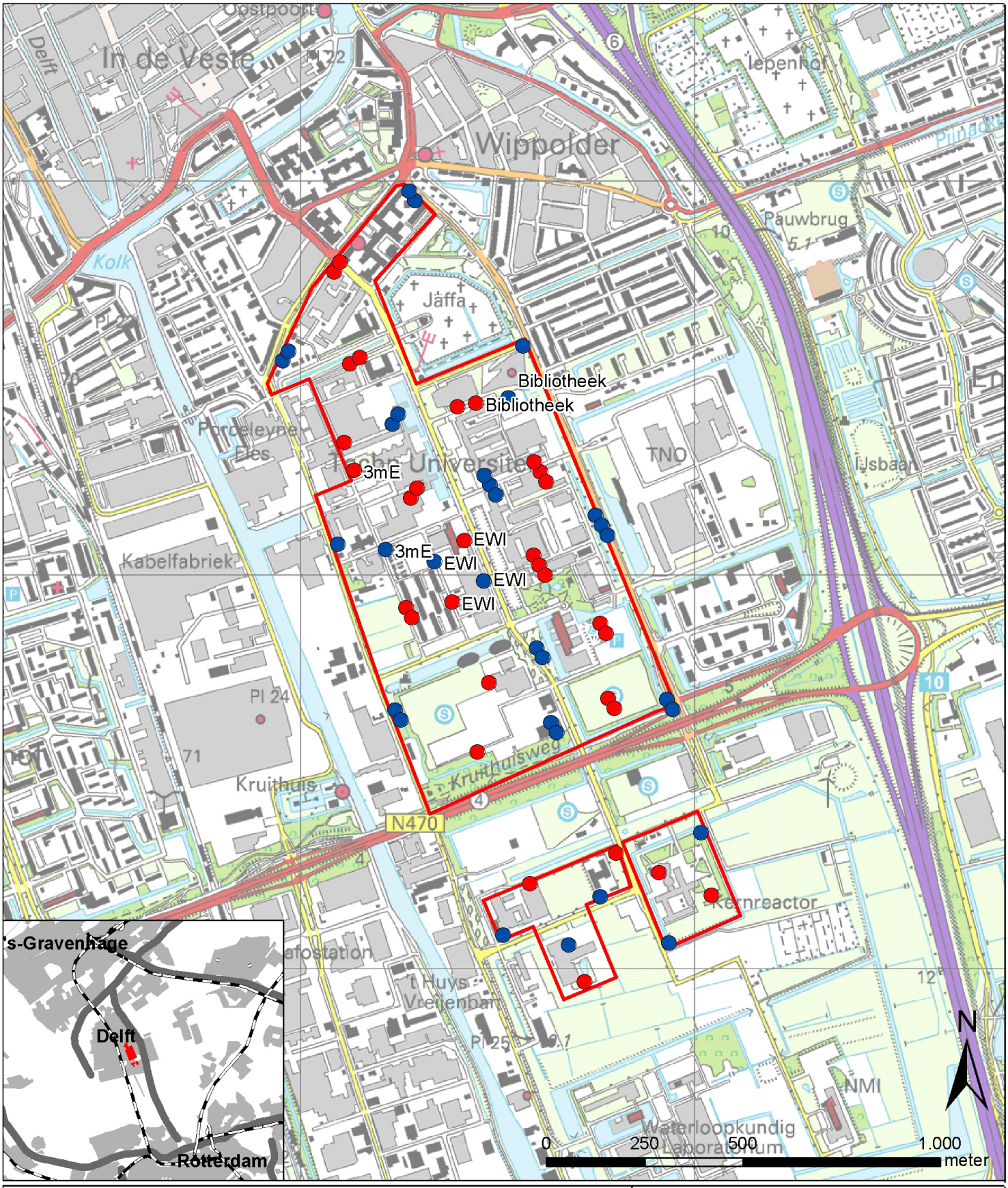
[21] IF Technology en Krachtwerktuigen, 1992 - Koudeopslag in de bodem. Vergunningverlening in het kader van de Grondwaterwet. Arnhem, Amersfoort.

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

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

[24] Gun, ir. J.A.M. van der, 1979 - Schatting van de elastische bergingscoëfficiënt van zandige watervoerende pakketten. Dienst Grondwaterverkenning TNO. Delft.

Figuren



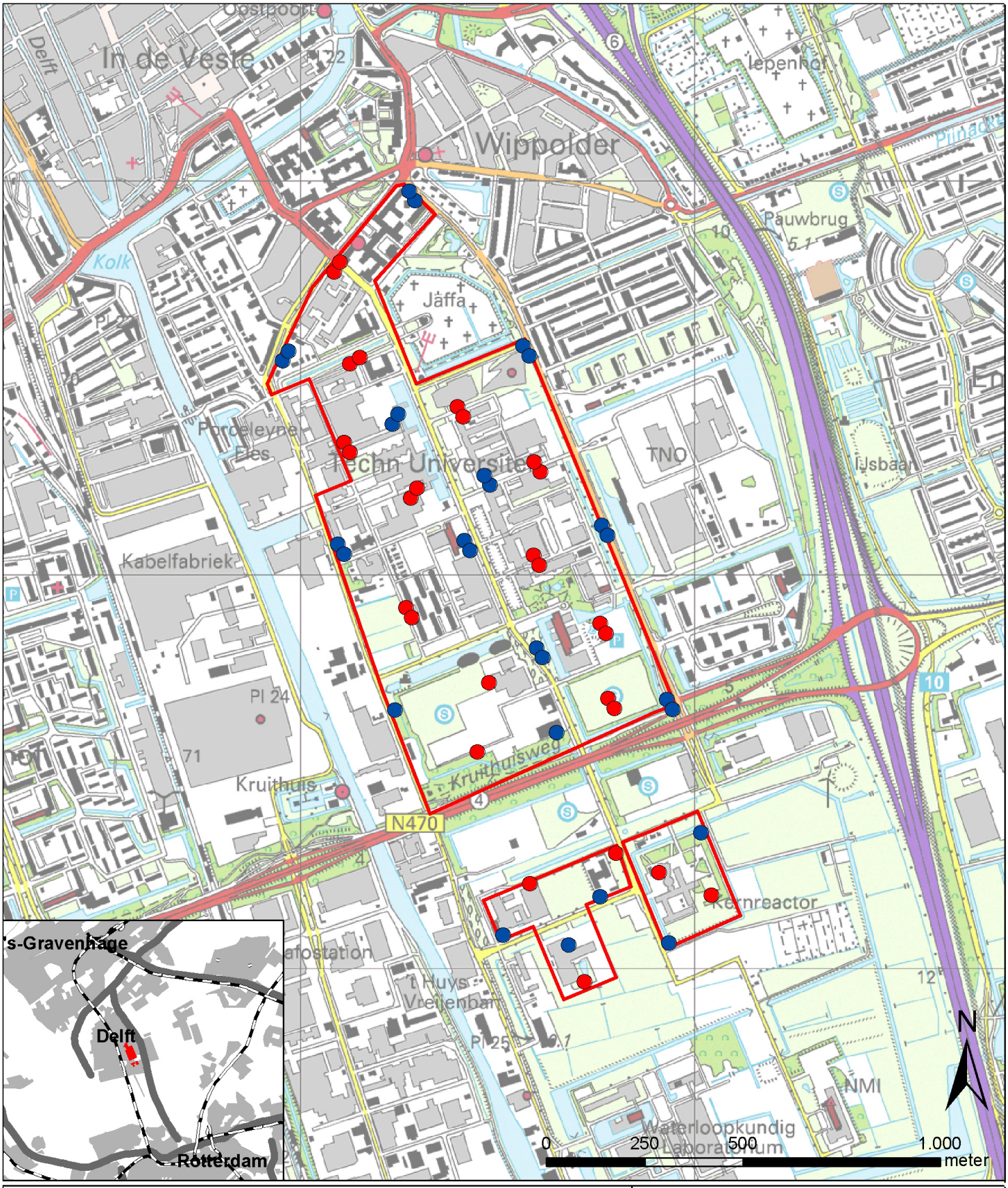
Legenda

bronlocaties

- koude bron
- warme bron

Bronnenplan uitgangs-alternatief

Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	1-7-2011
Auteur:	WN
Status:	definitief
Figuur:	3.8



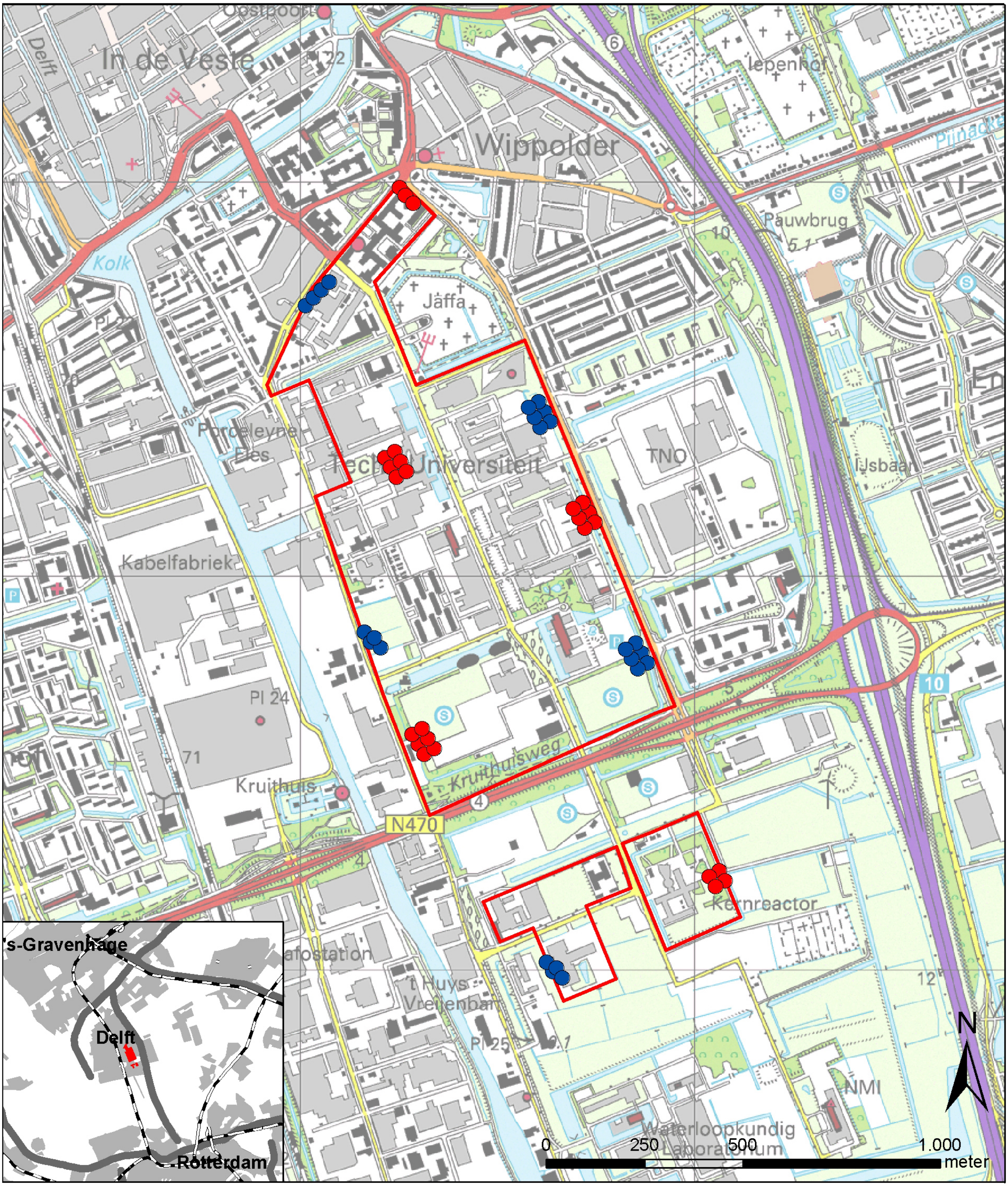
Legenda

bronlocaties

- koude bron
- warme bron

Bronnenplan diep alternatief

Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	1-7-2011
Auteur:	WN
Status:	definitief
Figuur:	3.9



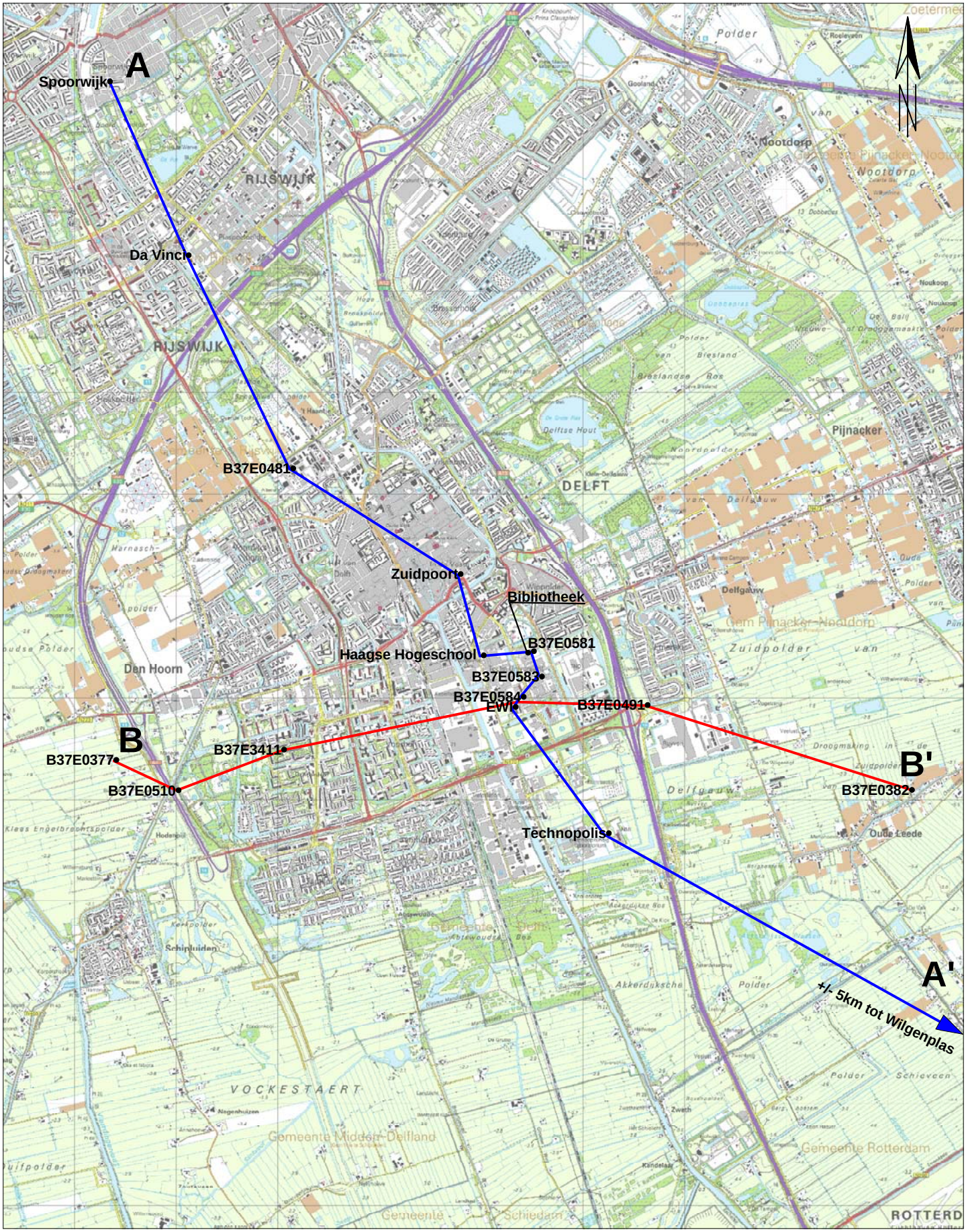
Legenda

bronlocaties

- koude bron
- warme bron

Bronnenplan monobron alternatief

Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	1-7-2011
Auteur:	WN
Status:	definitief
Figuur:	3.10



Project:	MER TU Delft					Datum: A: 29-06-2011 B:	
Onderwerp:	locatie profielen A-A'en B-B'						
Figuur:	4.2a	Status:	definitief	Stadium:	MER		
Referentie:	57466/CD	Getek.:	BC	Schaal:	-	Maat: m	Form.: A4

A — A'

locatie

diepte (m–mv)

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250

Spoorwijk | Da Vincie | B37E0481 | Zuidpoort | Haagse Hogeschool | B37E0581 | Bibliotheek | B37E0583 | B37E0584 | EWI | Technopolis | Wilgenplas

deklaag

1e watervoerende pakket

1e scheidende laag

2e watervoerende pakket

lokale scheidende laag

2e watervoerende pakket A

2e watervoerende pakket B

2e scheidende laag

3e watervoerende pakket

klei
leem
zand
fijn zand
grind
veen
grond

Project:	MER TU Delft					Datum: A: 29–06–2011 B:	
Onderwerp:	Profiel A–A'						
Fig:	4.2b	Status:	definitief	Stadium:	MER		
Referentie:	57466/CD	Getek.:	BC	Schaal:	n.v.t.	Maat: m	Form.: A3

if

B — B'

locatie

diepte (m–mv)

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250

B37E0377 B37E0510 B37E3411 EWI B37E0584 B37E0491 B37E0382

deklaag

1e watervoerende pakket

1e scheidende laag

2e watervoerende pakket A

lokale scheidende laag

2e scheidende laag

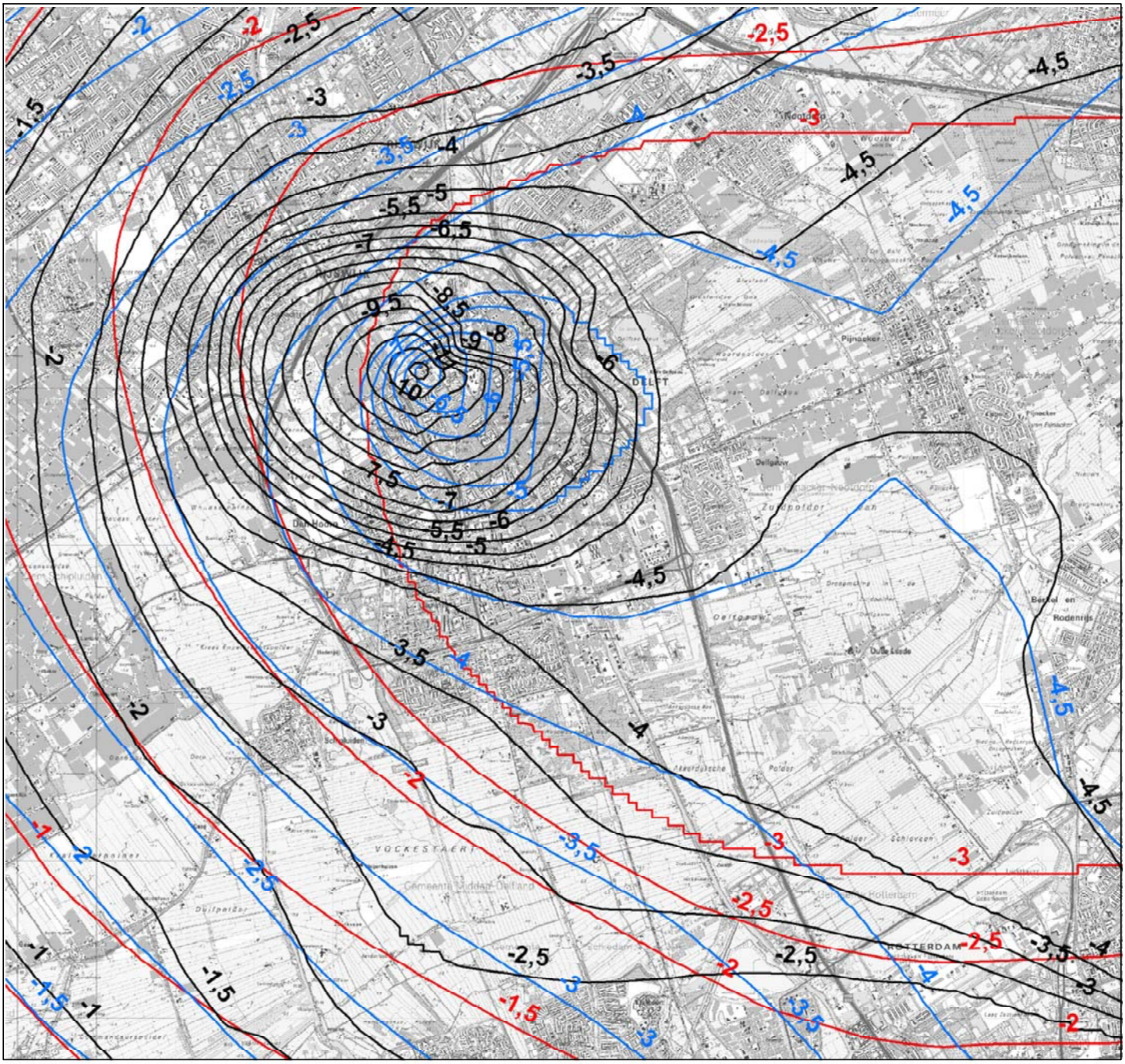
3e watervoerende pakket

klei
leem
zand
fijn zand
grind
veen
grond

Project:	MER TU Delft					Datum: A: 29–06–2011 B:	
Onderwerp:	Profiel B–B'						
Fig:	4.2c	Status:	definitief	Stadium:	MER		
Referentie:	57466/CD	Getek.:	BC	Schaal:	n.v.t.	Maat: m	Form.: A3

if

Isohypsenkaart NL (REGIS I)

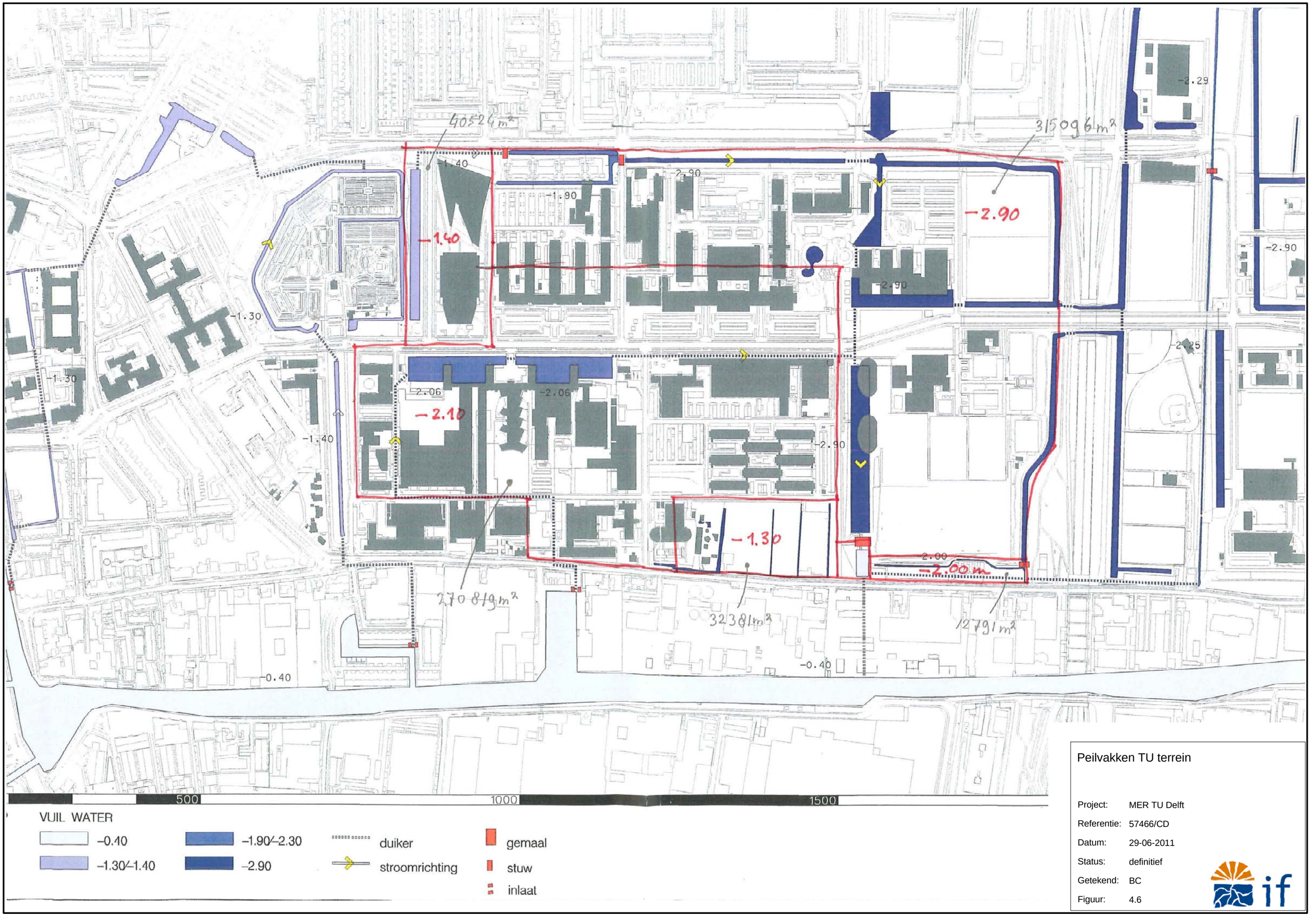


LEGENDA:

- WVP 1
- WVP 2
- WVP 3

Isohypsenpatroon 1e, 2e en 3e water-voerende pakket Bron: Regis-I

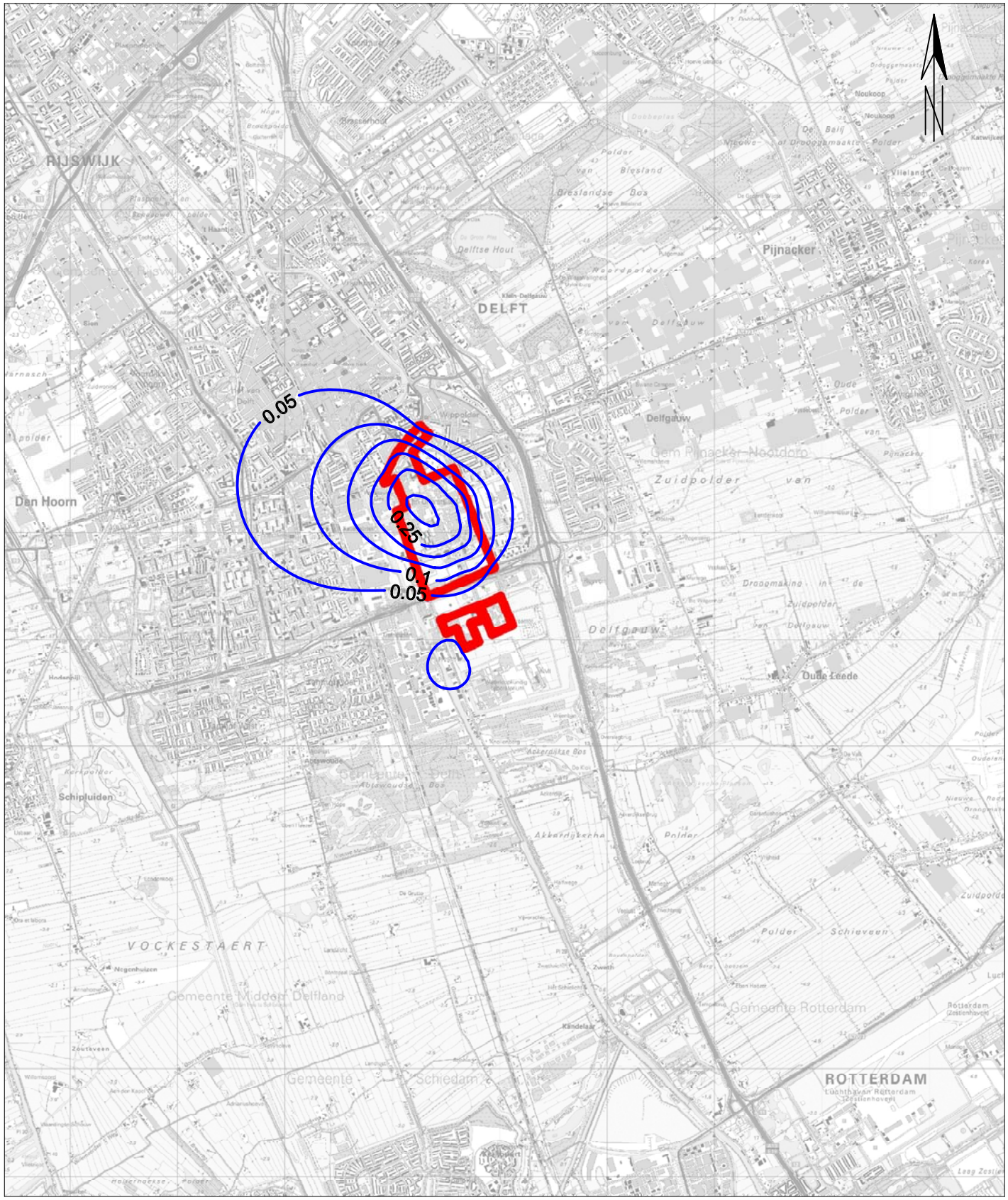
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.4



Peilvakken TU terrein

Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.6

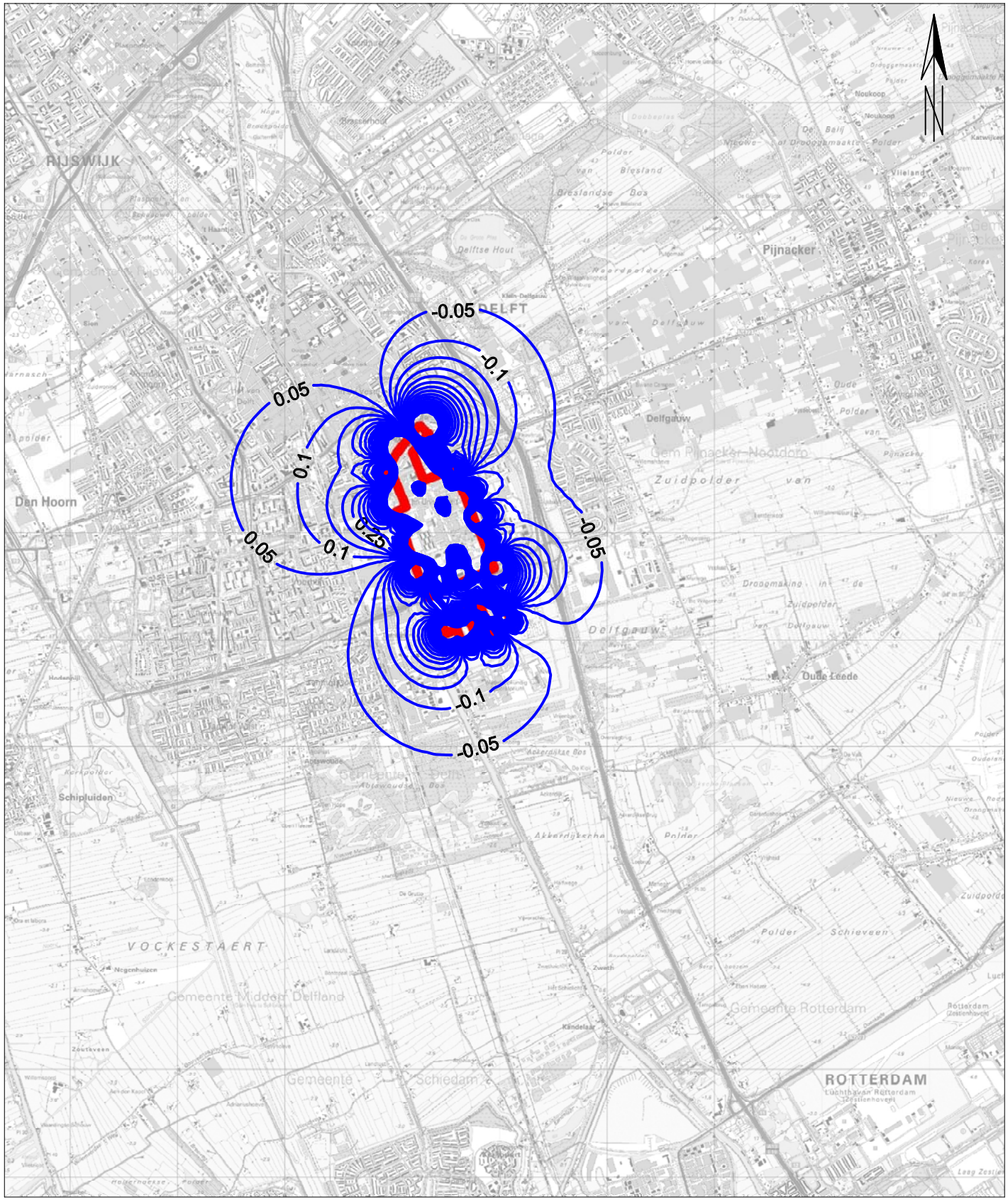
if



0 500 1000 1500 2000 2500

Maximale hydrologische effecten uitgangsalternatief, WVP 1

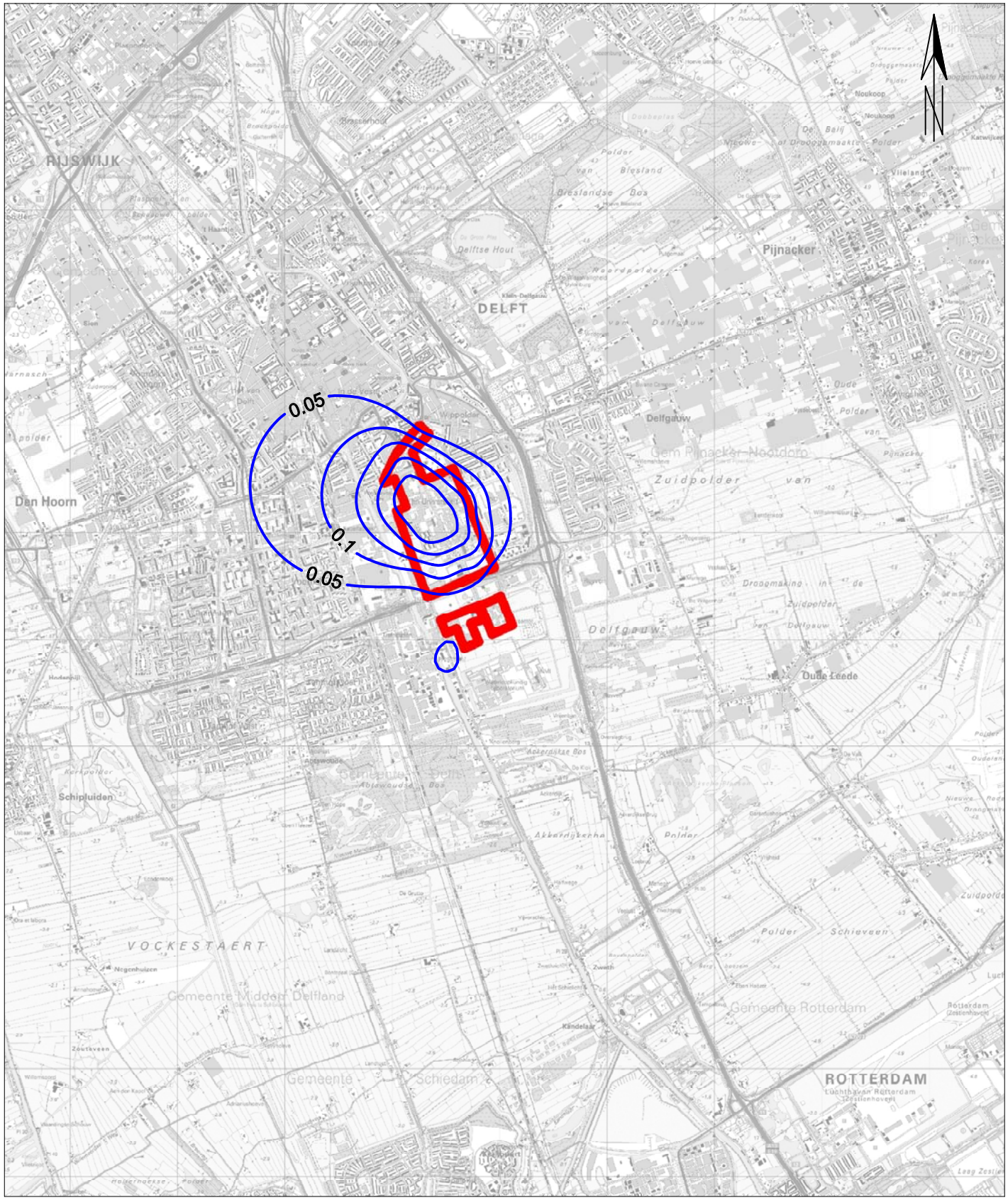
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.7a



0 500 1000 1500 2000 2500

Maximale hydrologische effecten uitgangsalternatief, WVP 2A

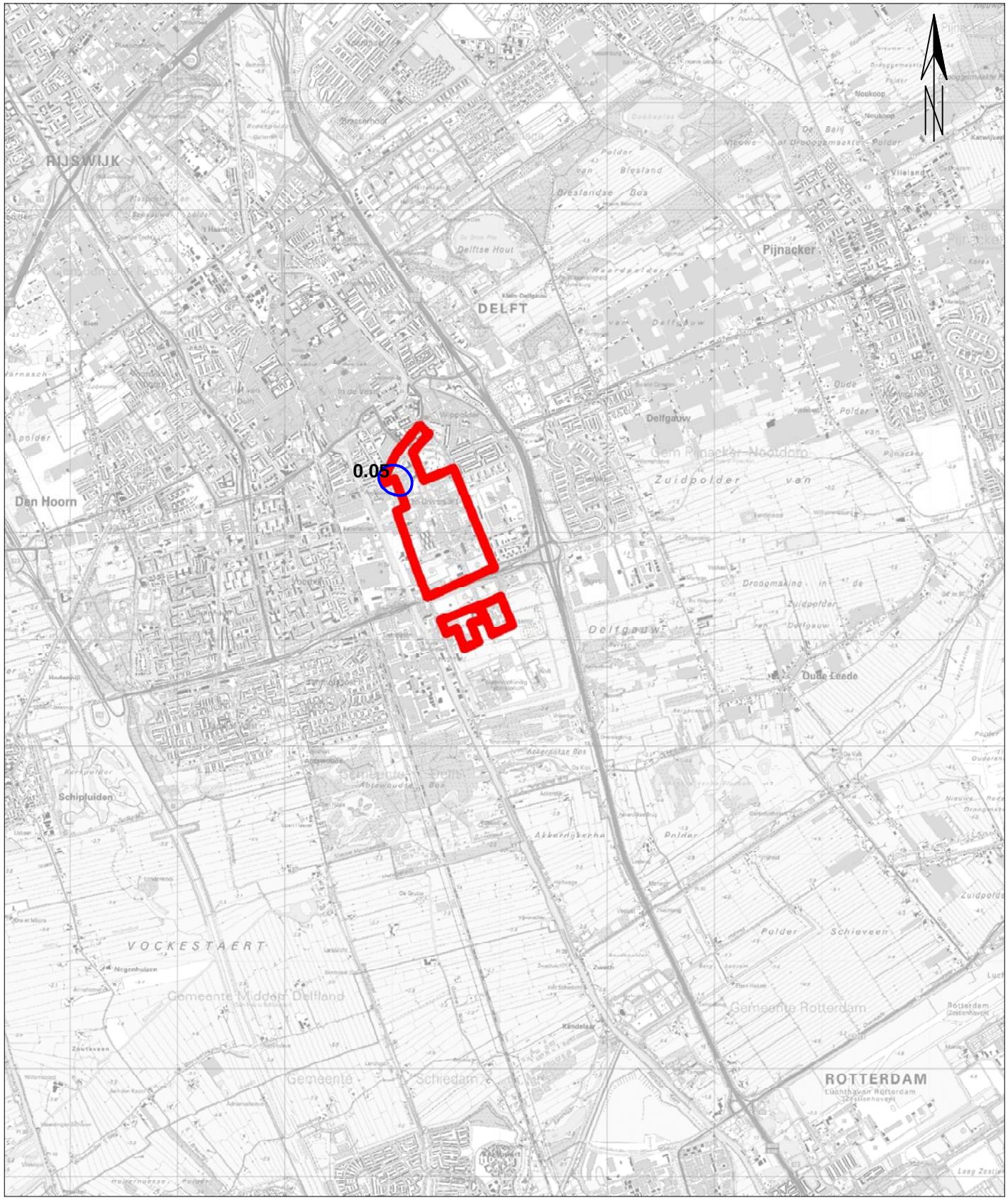
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.7b



0 500 1000 1500 2000 2500

Maximale hydrologische effecten uitgangsalternatief, WVP 2B

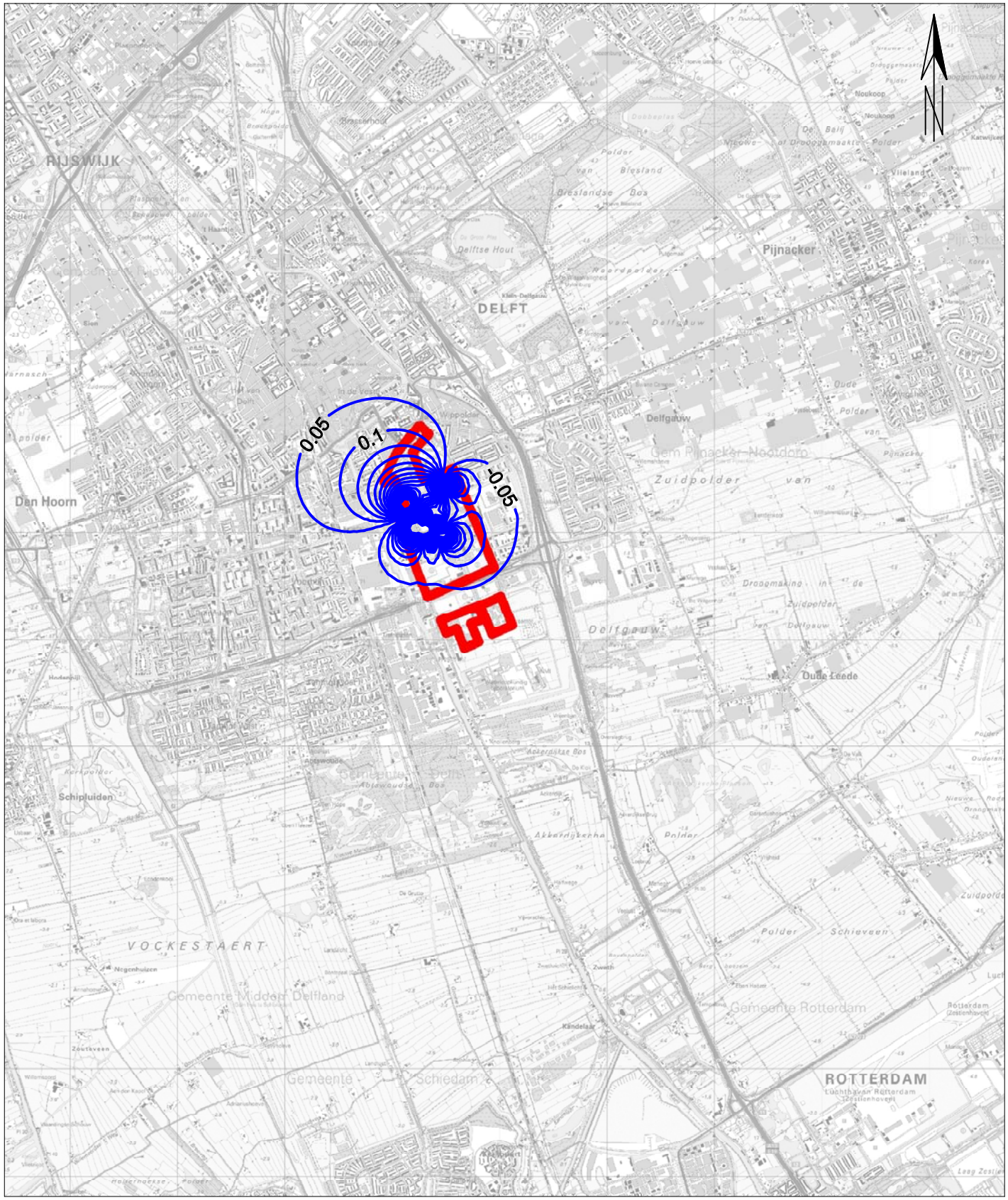
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.7c



0 500 1000 1500 2000 2500

Maximale hydrologische effecten diep alternatief, WVP 1

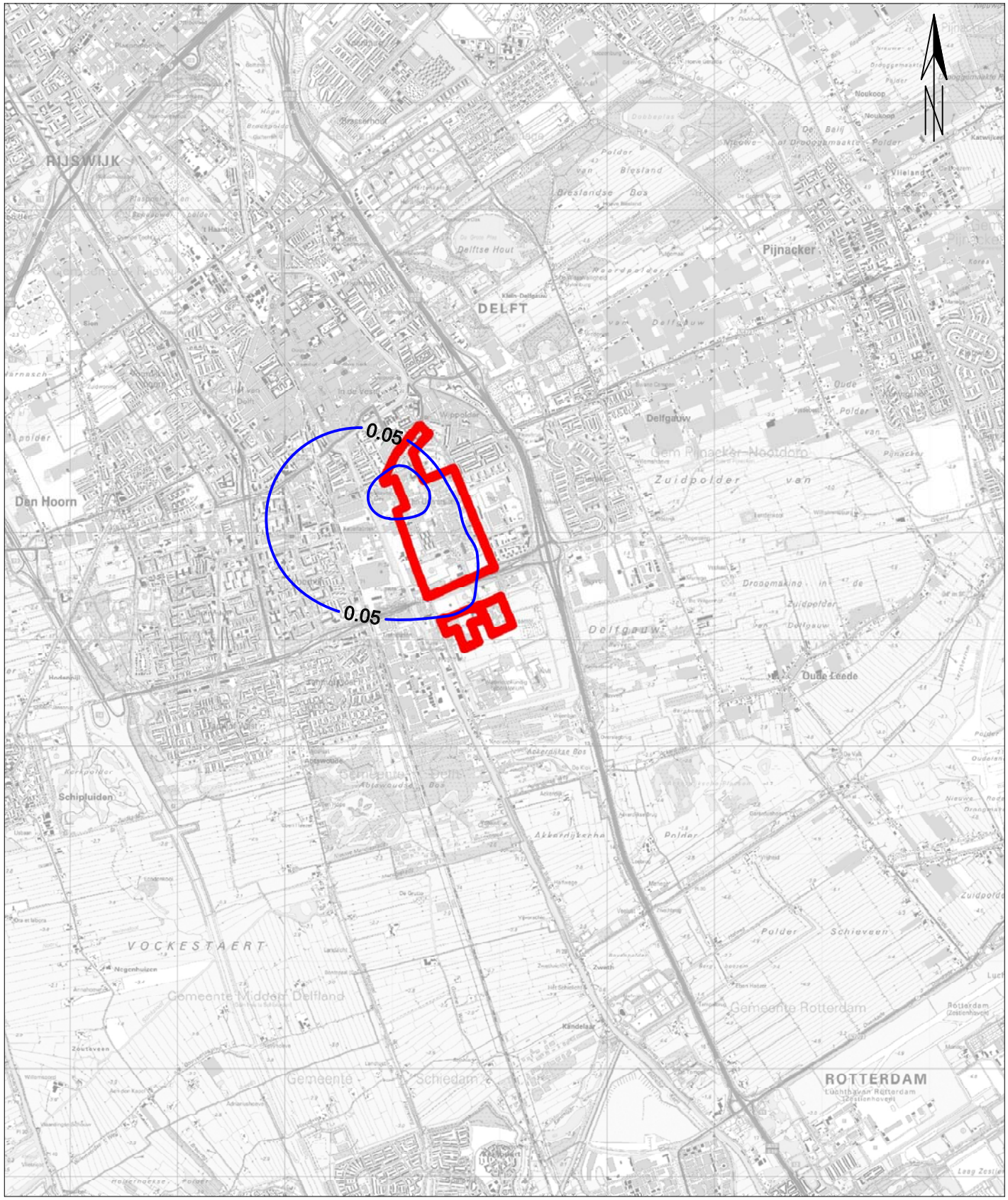
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.8a



0 500 1000 1500 2000 2500

Maximale hydrologische effecten diep alternatief, WVP 2A

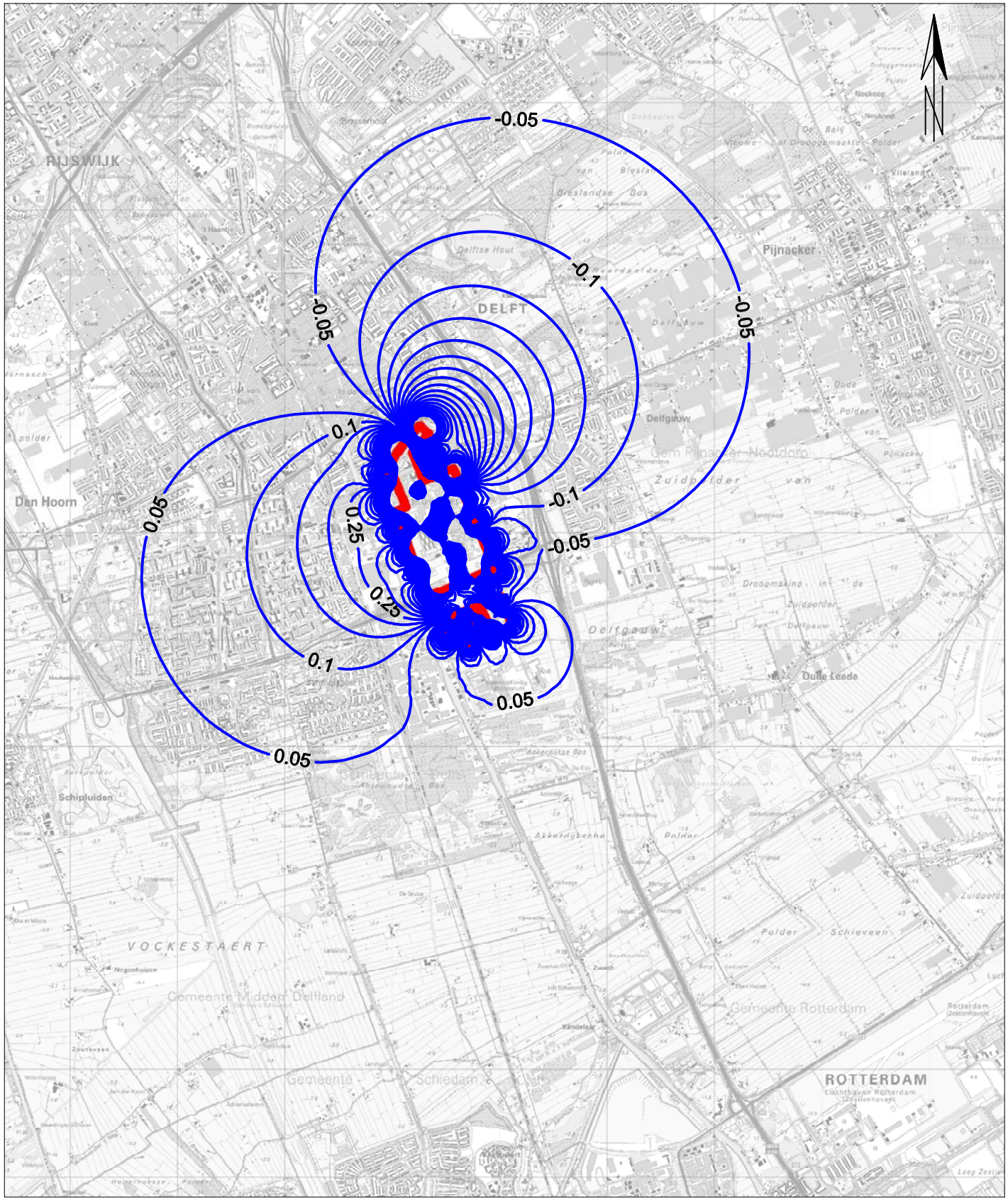
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.8b



0 500 1000 1500 2000 2500

Maximale hydrologische effecten diep alternatief, WVP 2B

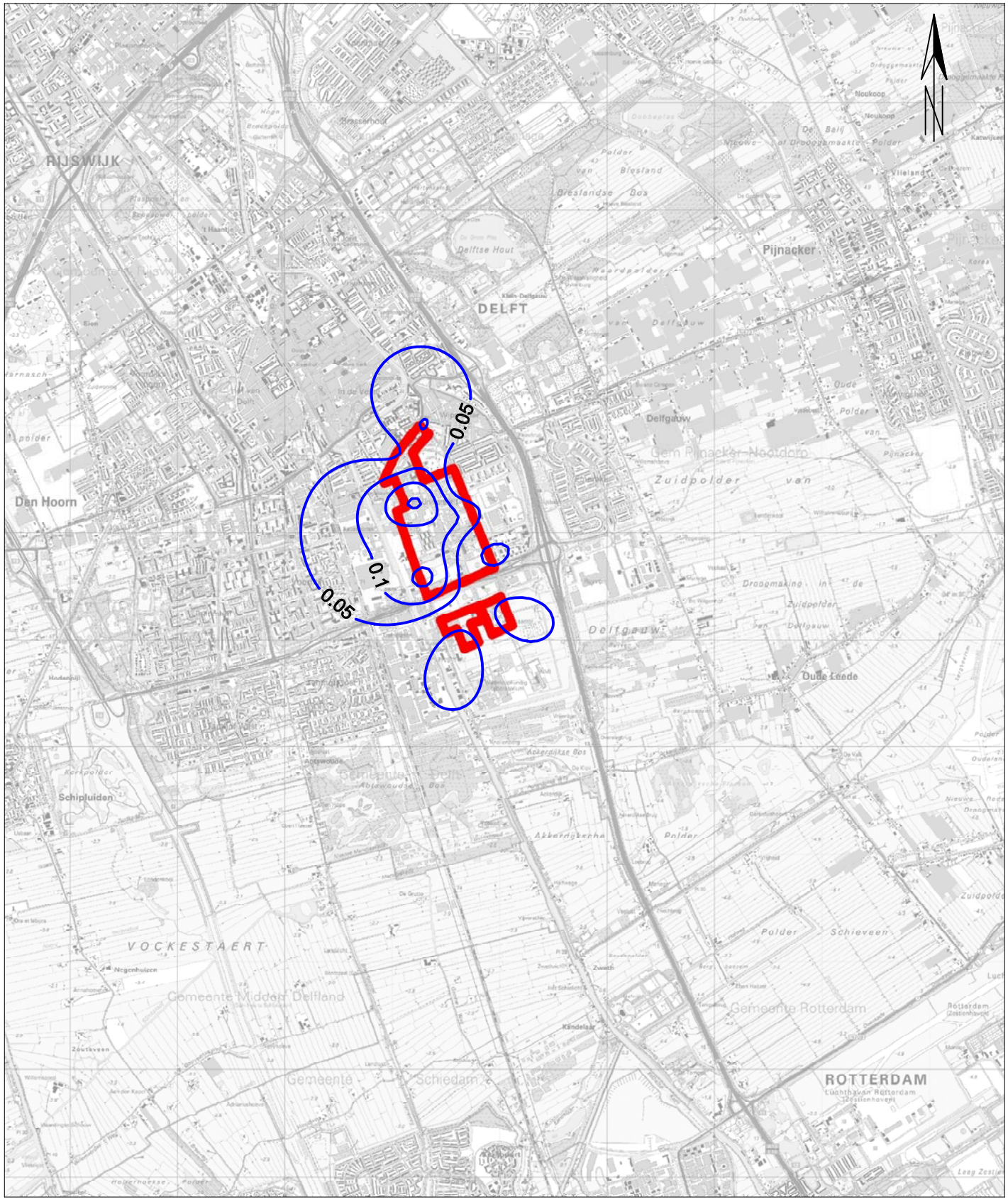
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.8c



0 500 1000 1500 2000 2500

Maximale hydrologische effecten diep alternatief, WVP 3

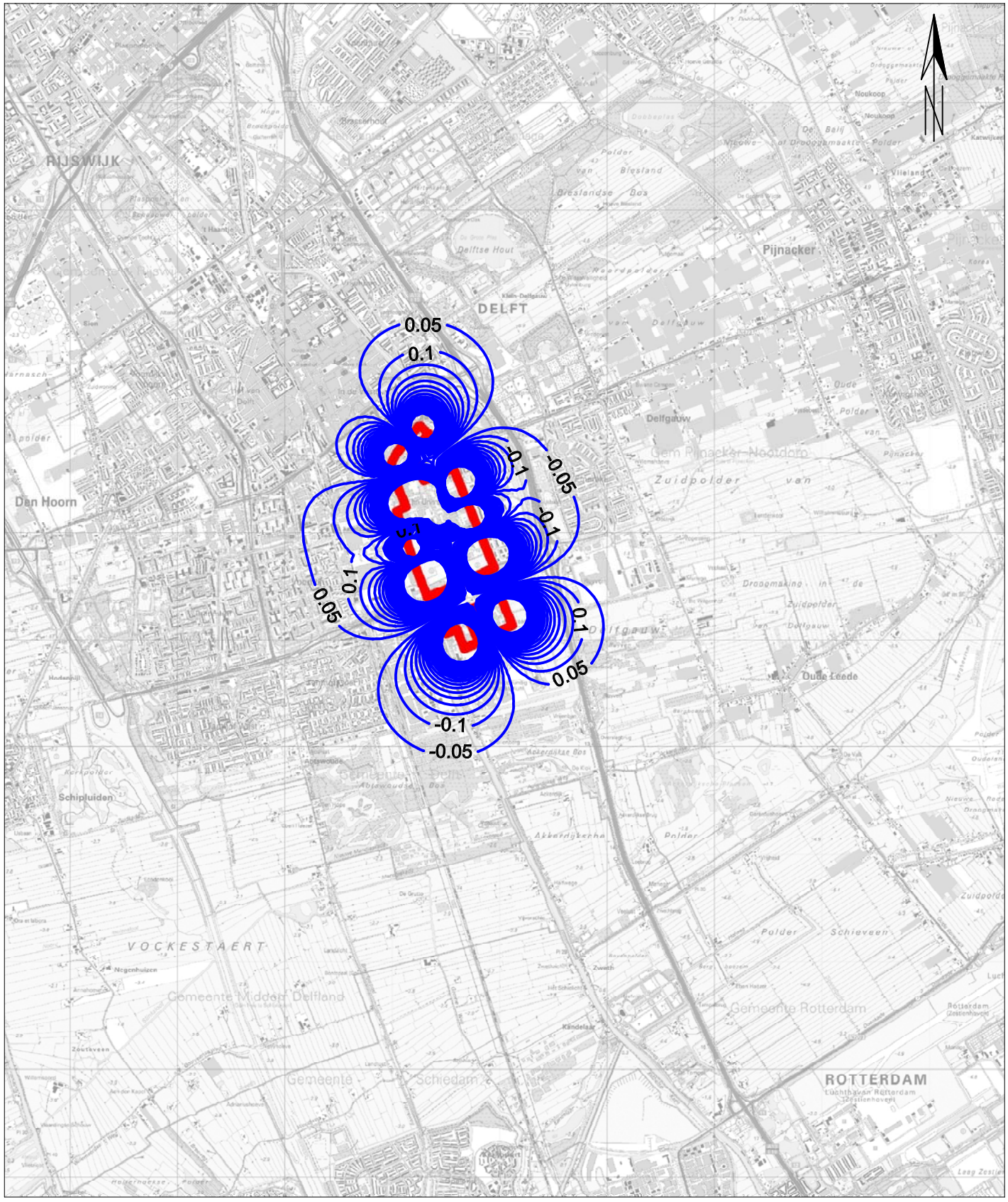
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.8d



0 500 1000 1500 2000 2500

Maximale hydrologische effecten monobron alternatief, WVP 1

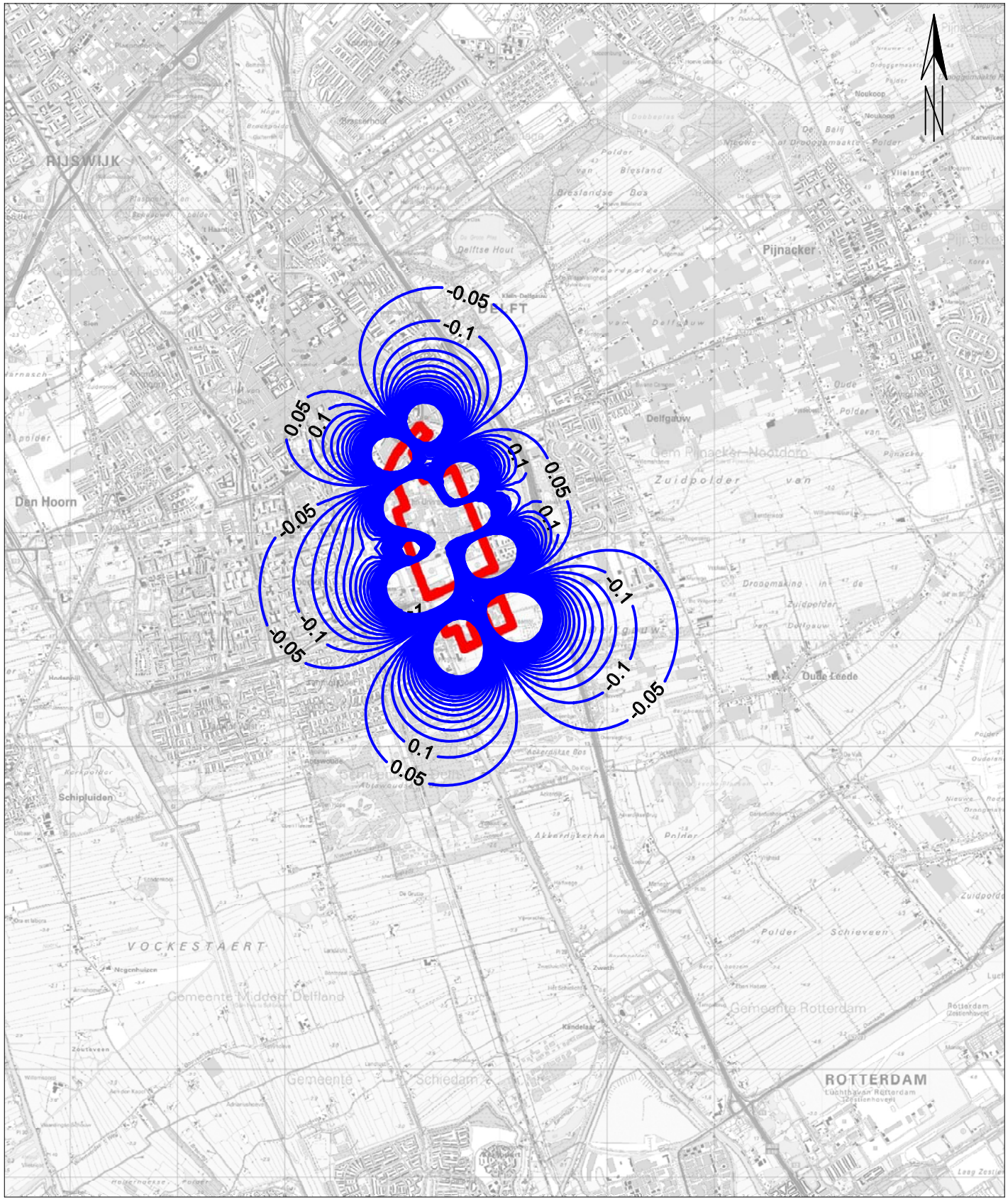
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.9a



0 500 1000 1500 2000 2500

Maximale hydrologische effecten monobron alternatief, WVP 2A

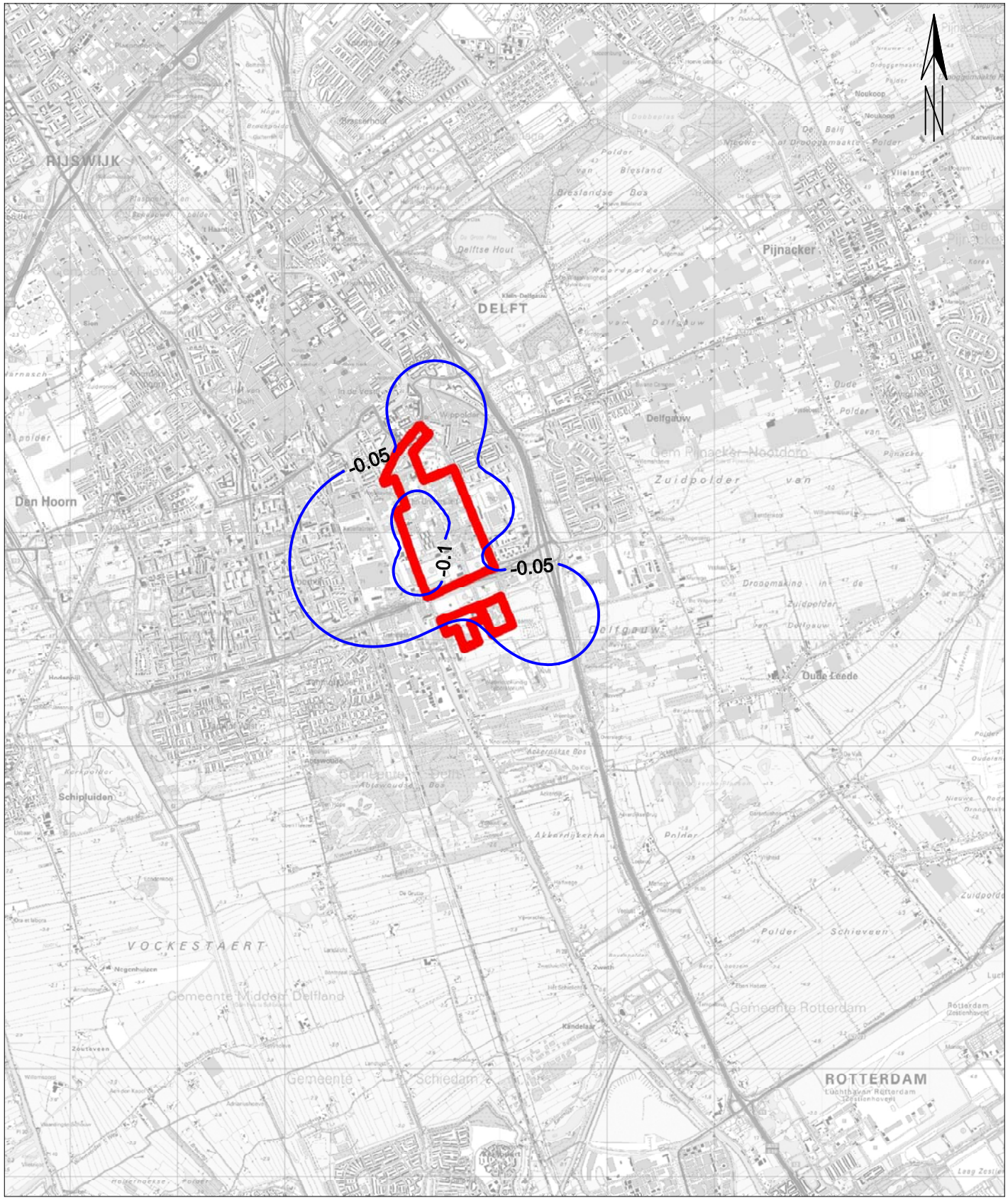
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.9b



0 500 1000 1500 2000 2500

Maximale hydrologische effecten monobron alternatief, WVP 2B

Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.9c



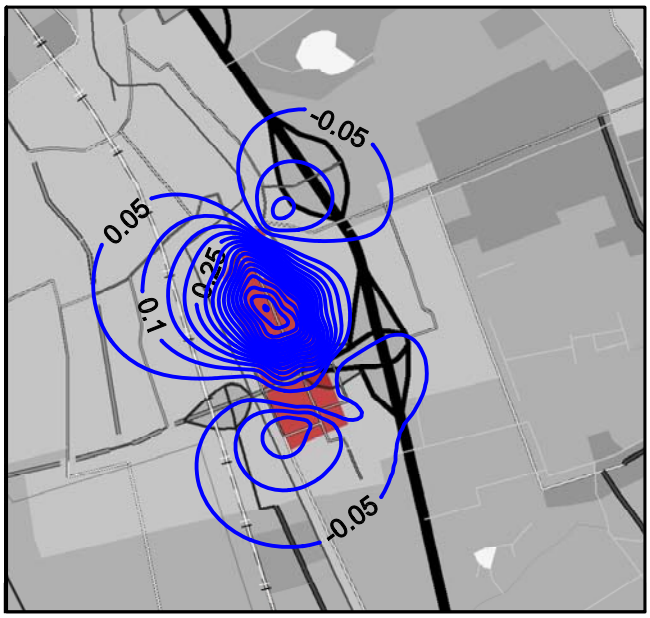
0 500 1000 1500 2000 2500

Maximale hydrologische effecten monobron alternatief, WVP 3

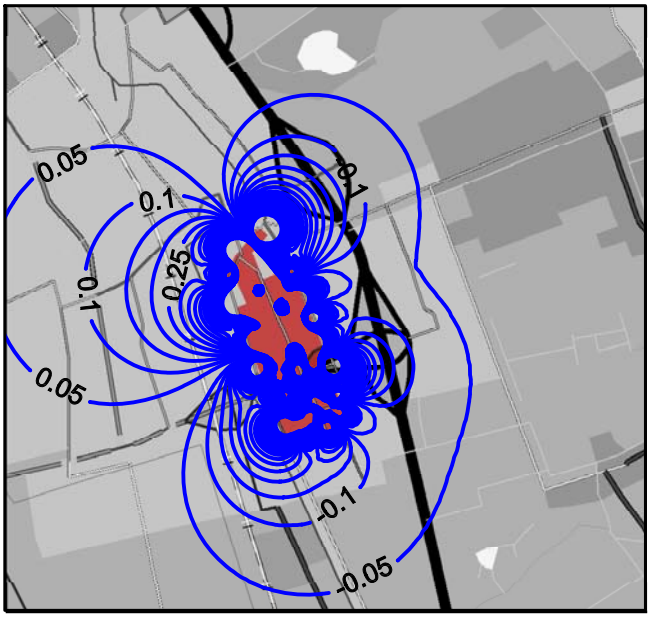
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.9d

freatisch

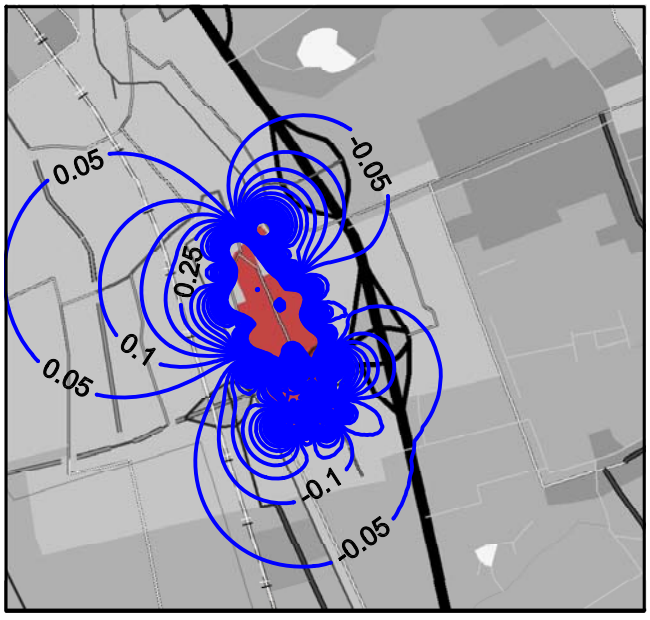
1e WVP



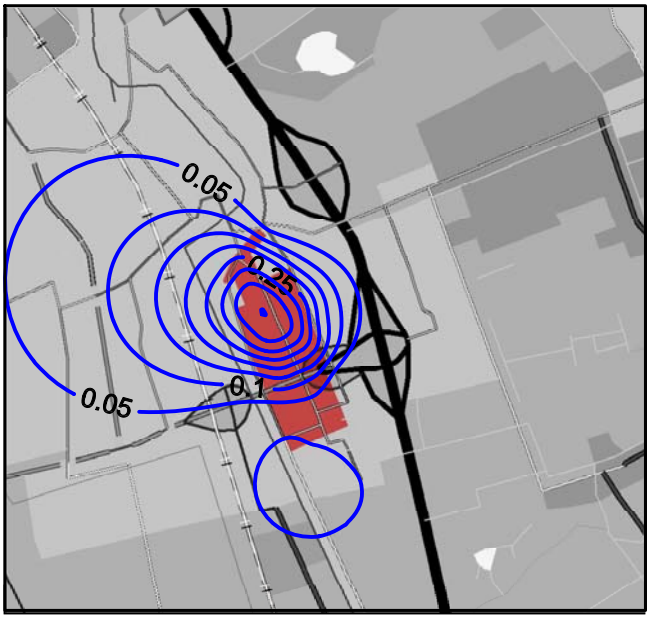
2e WVP A

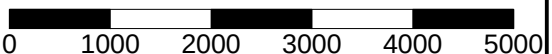


2e WVP B



3e WVP





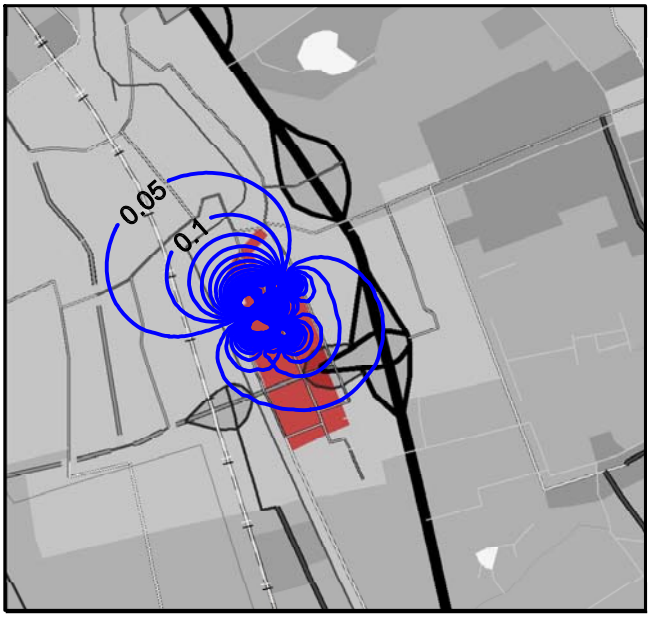
Maximale hydrologische effecten gevoeligheidsanalyse (uitgangsalternatief)

Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.10

freatisch

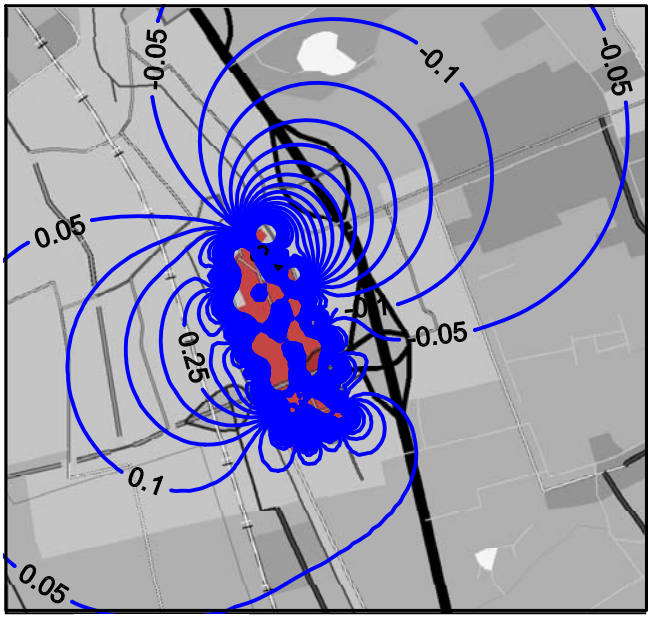
1e WVP

2e WVP A



2e WVP B

3e WVP



0 1000 2000 3000 4000 5000

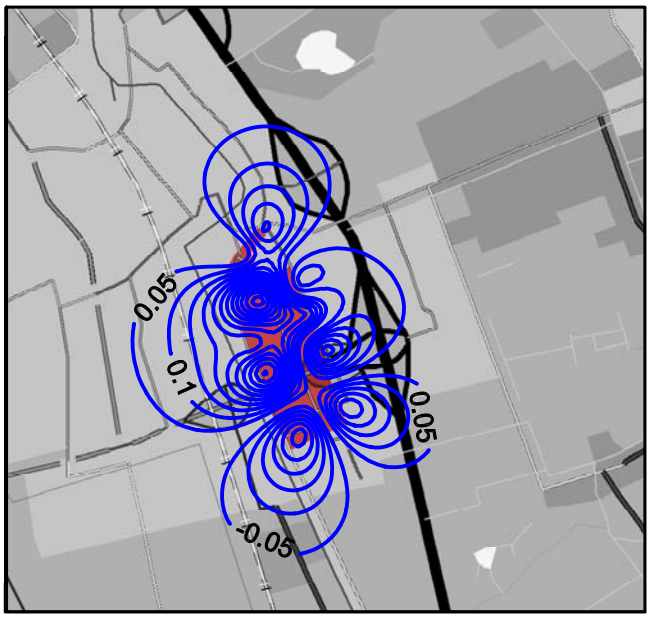
Maximale hydrologische effecten gevoeligheidsanalyse (diep alternatief)

Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.11

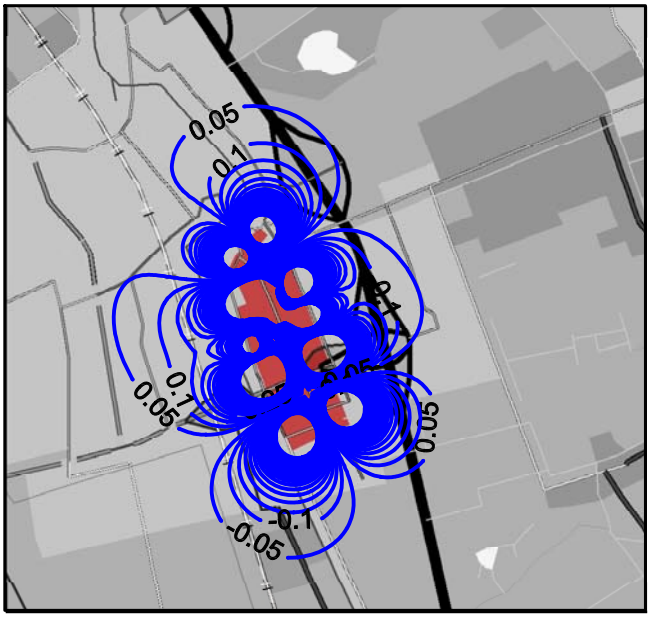
if

freatisch

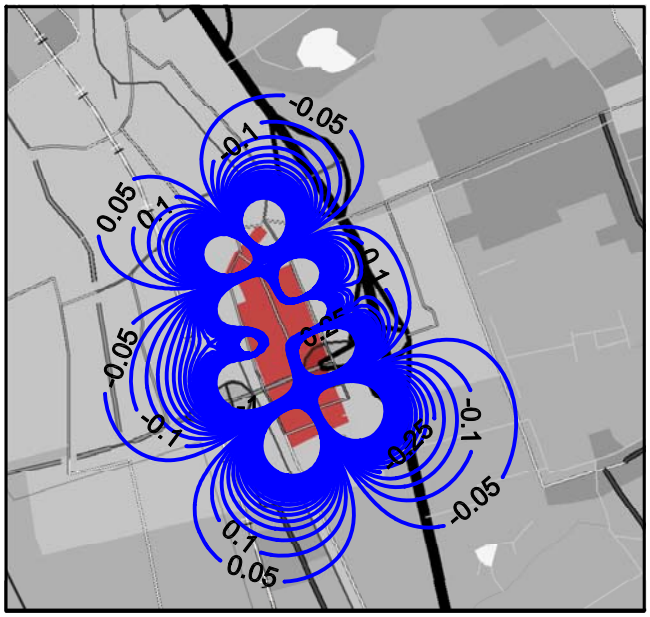
1e WVP



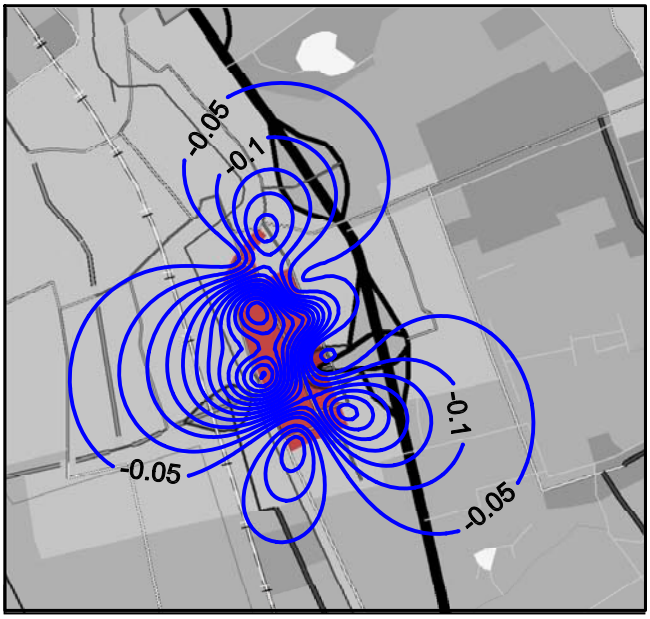
2e WVP A



2e WVP B



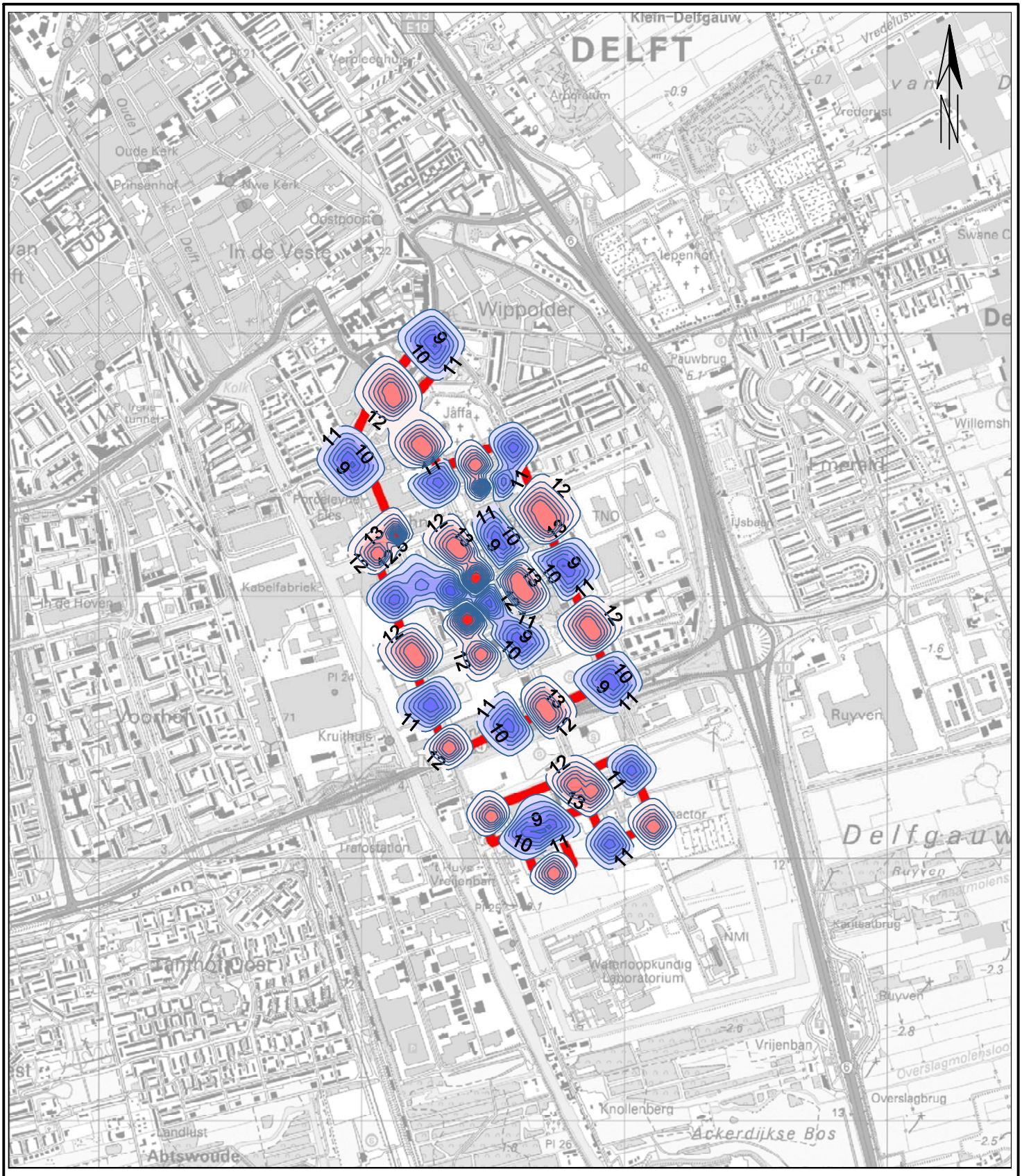
3e WVP



0 1000 2000 3000 4000 5000

Maximale hydrologische effecten
gevoeligheidsanalyse
(monobron alternatief)

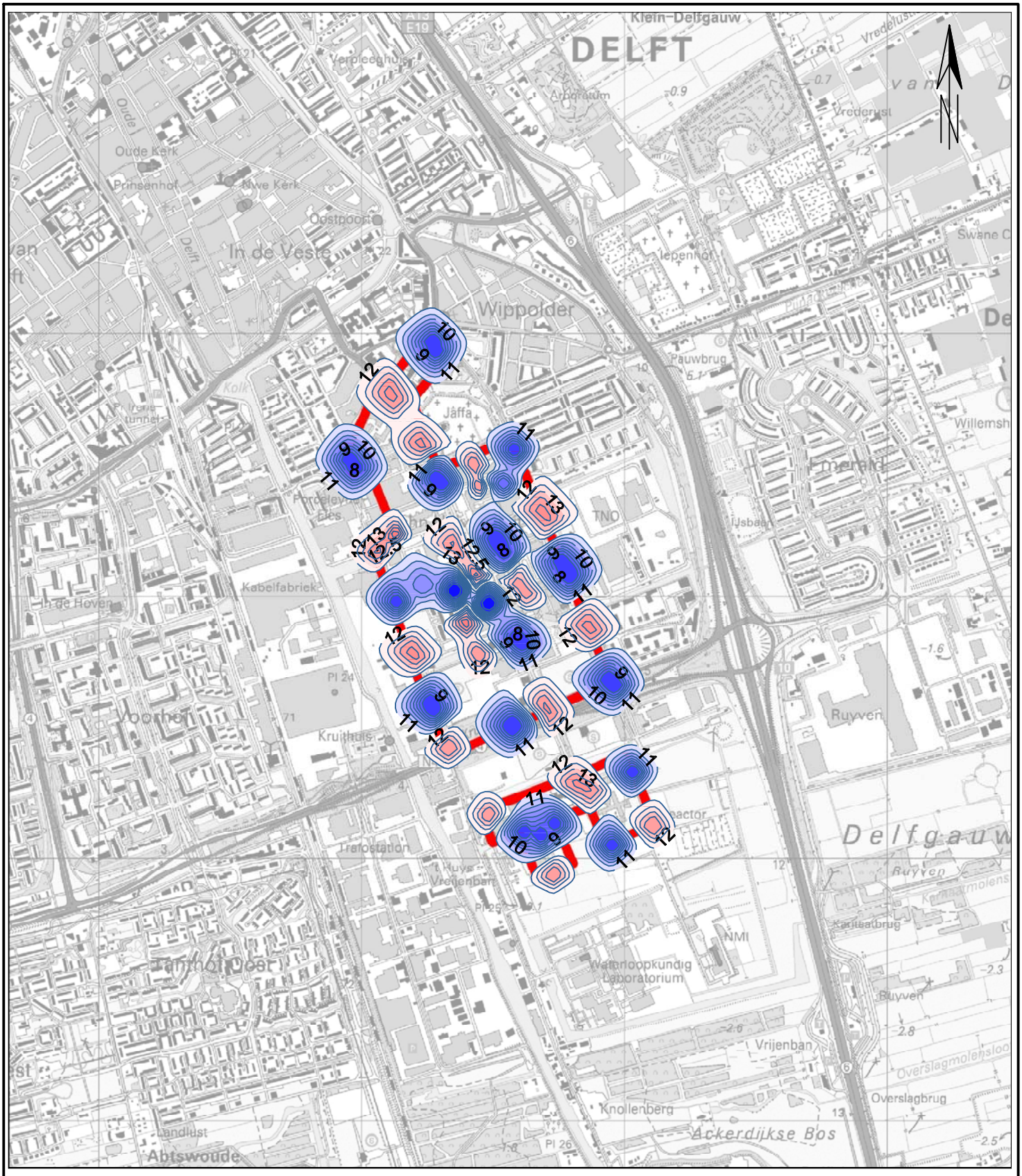
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.12



0 250 500 750 1000

Berekende temperatuurcontouren na 30 jaar energieopslag [°C], uitgangsalternatief, zomersituatie

Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.13a



0 250 500 750 1000

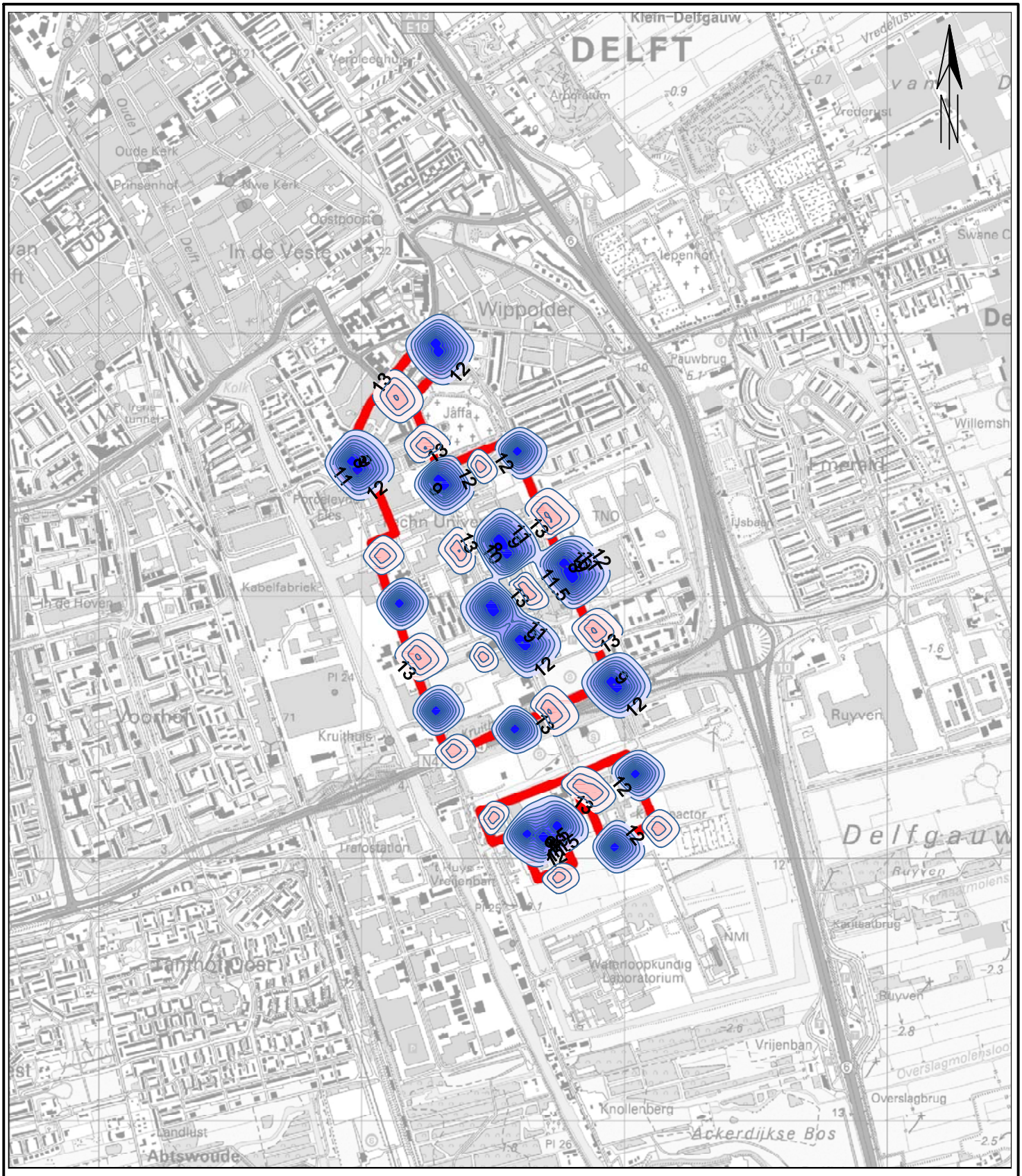
Berekende temperatuurcontouren na 30 jaar energieopslag [°C], uitgangsalternatief, wintersituatie

Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.13b

0 250 500 750 1000

Berekende temperatuurcontouren na 30 jaar energieopslag [°C], diep alternatief, zomersituatie

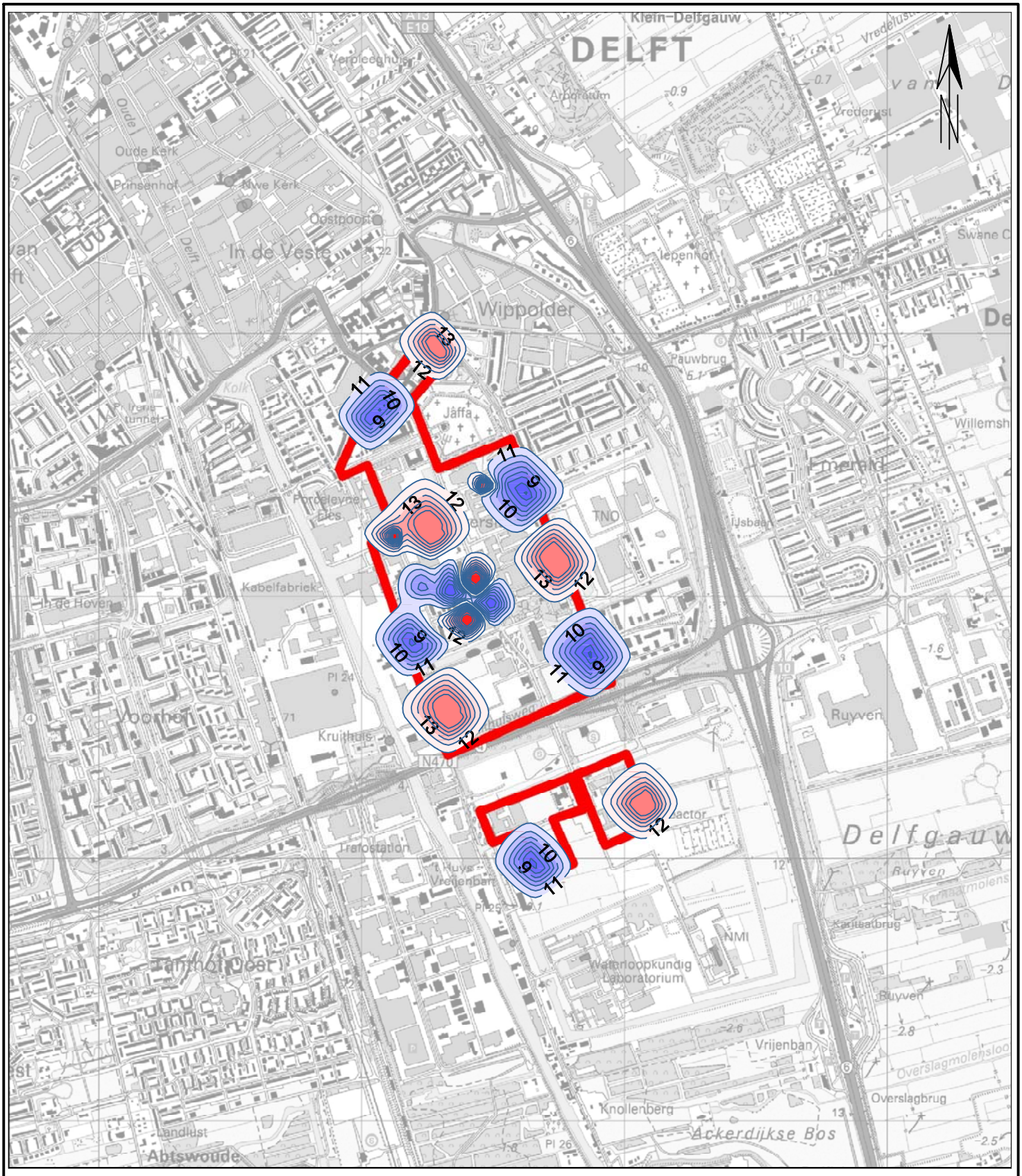
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.14a



0 250 500 750 1000

Berekende temperatuurcontouren na 30 jaar energieopslag [°C], diep alternatief, wintersituatie

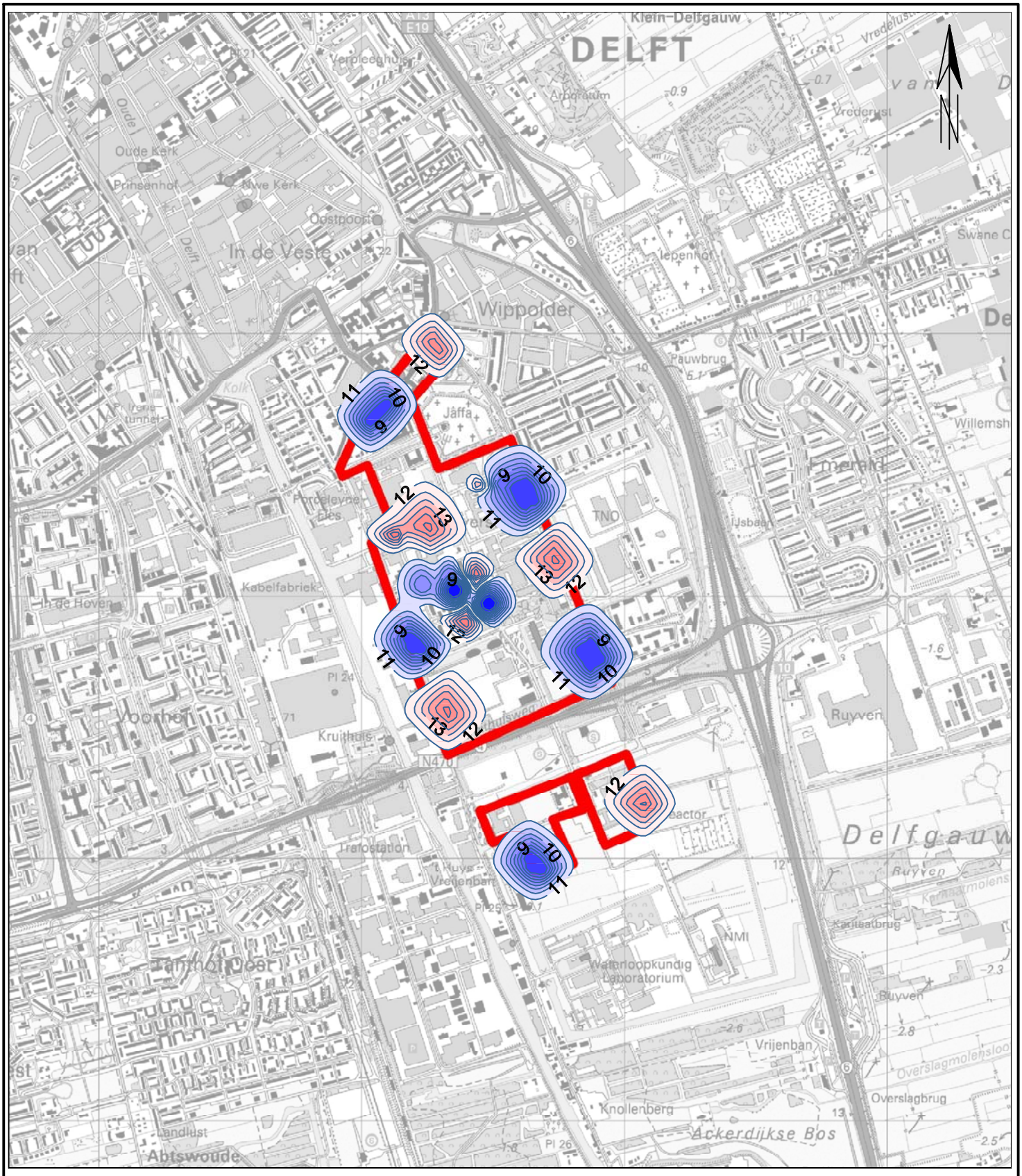
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.14b



0 250 500 750 1000

Berekende temperatuurcontouren na 30 jaar energieopslag [°C], monobron alternatief (WVP 2A), zomersituatie

Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.15a



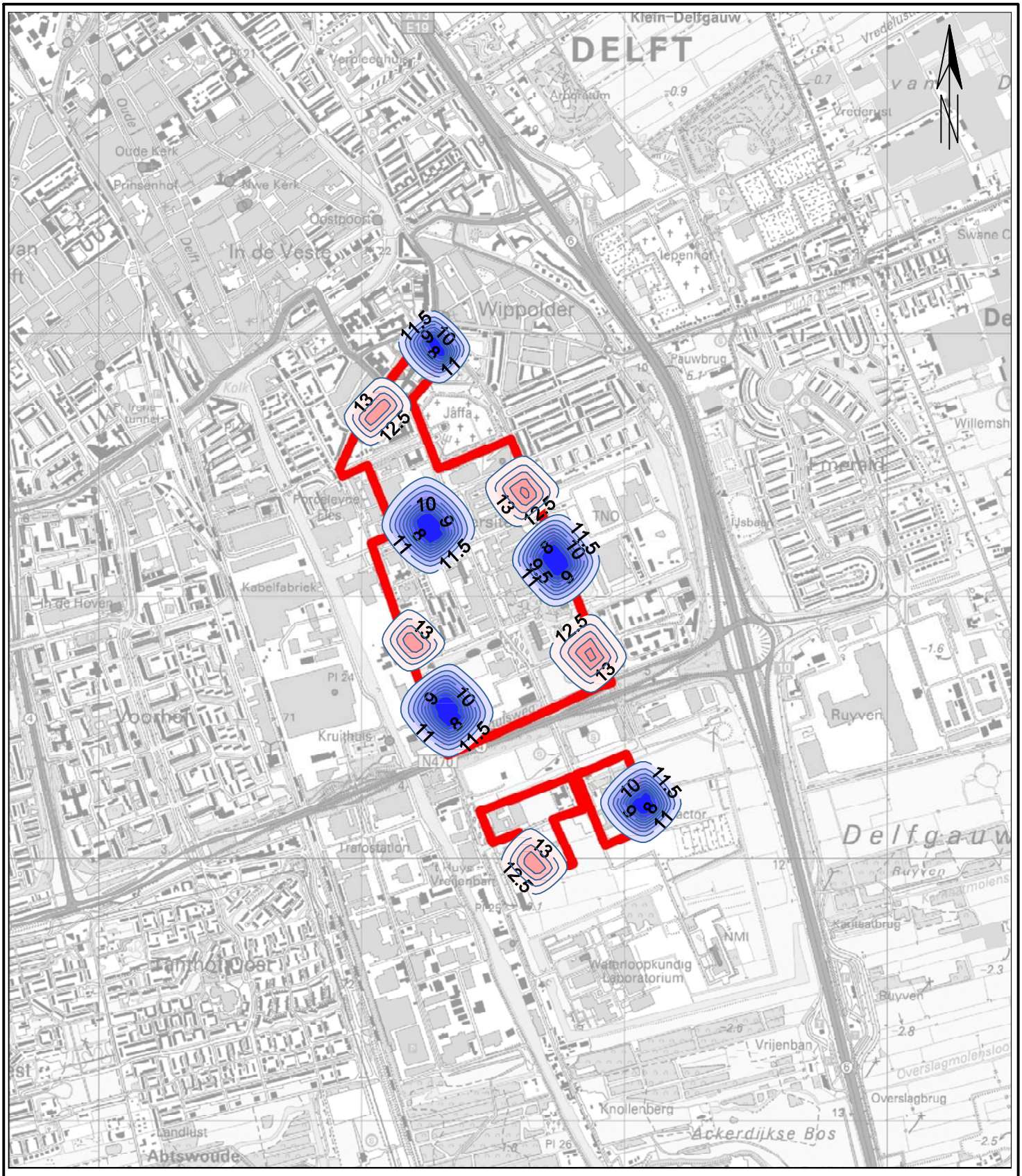
Berekende temperatuurcontouren na 30 jaar energieopslag [°C], monobron alternatief (WVP 2A), wintersituatie

Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.15b

0 250 500 750 1000

Berekende temperatuurcontouren na 30 jaar energieopslag [°C], monobron alternatief (WVP 2B), zomersituatie

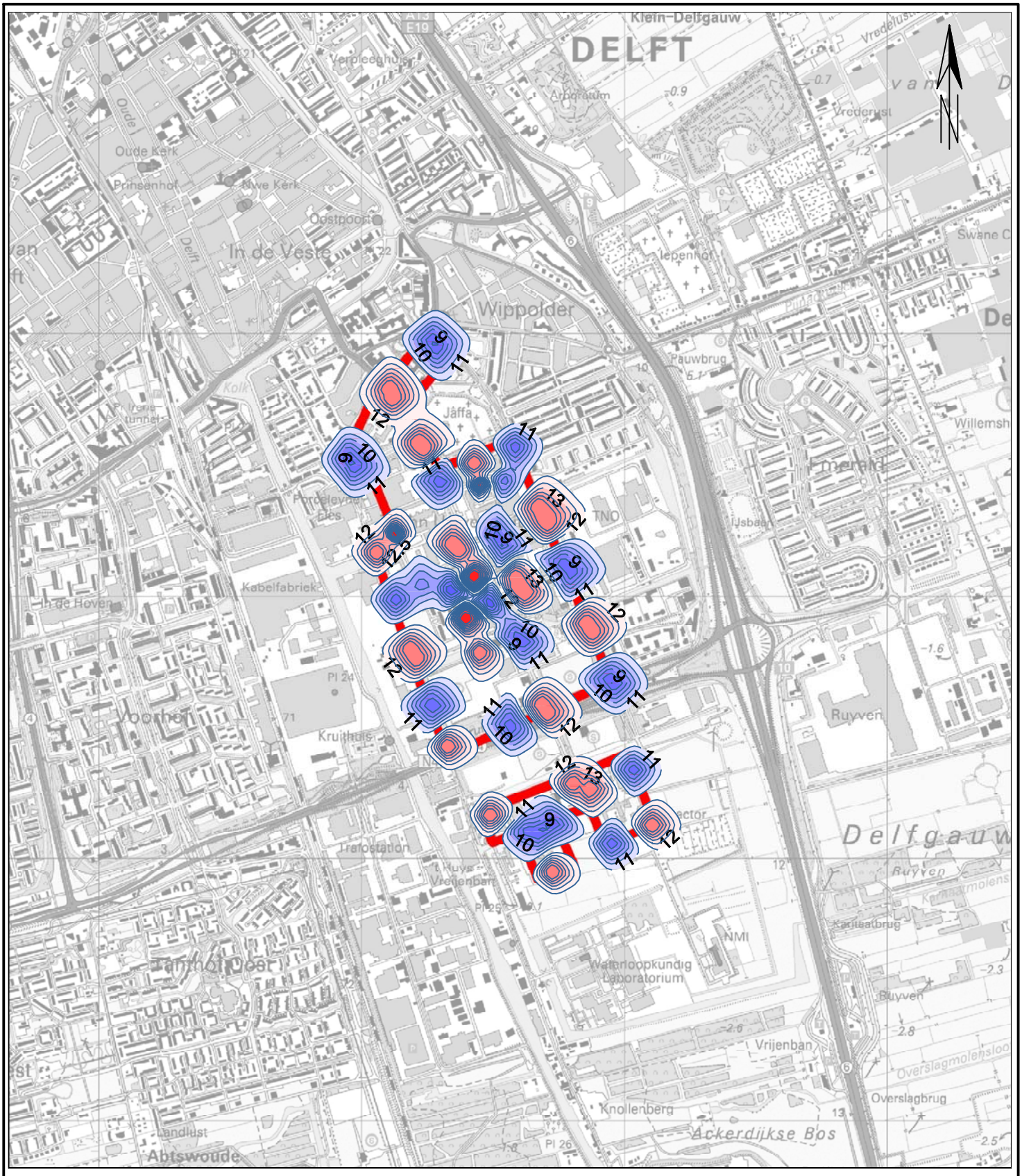
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.15c



0 250 500 750 1000

Berekende temperatuurcontouren na 30 jaar energieopslag [°C], monobron alternatief (WVP 2B), wintersituatie

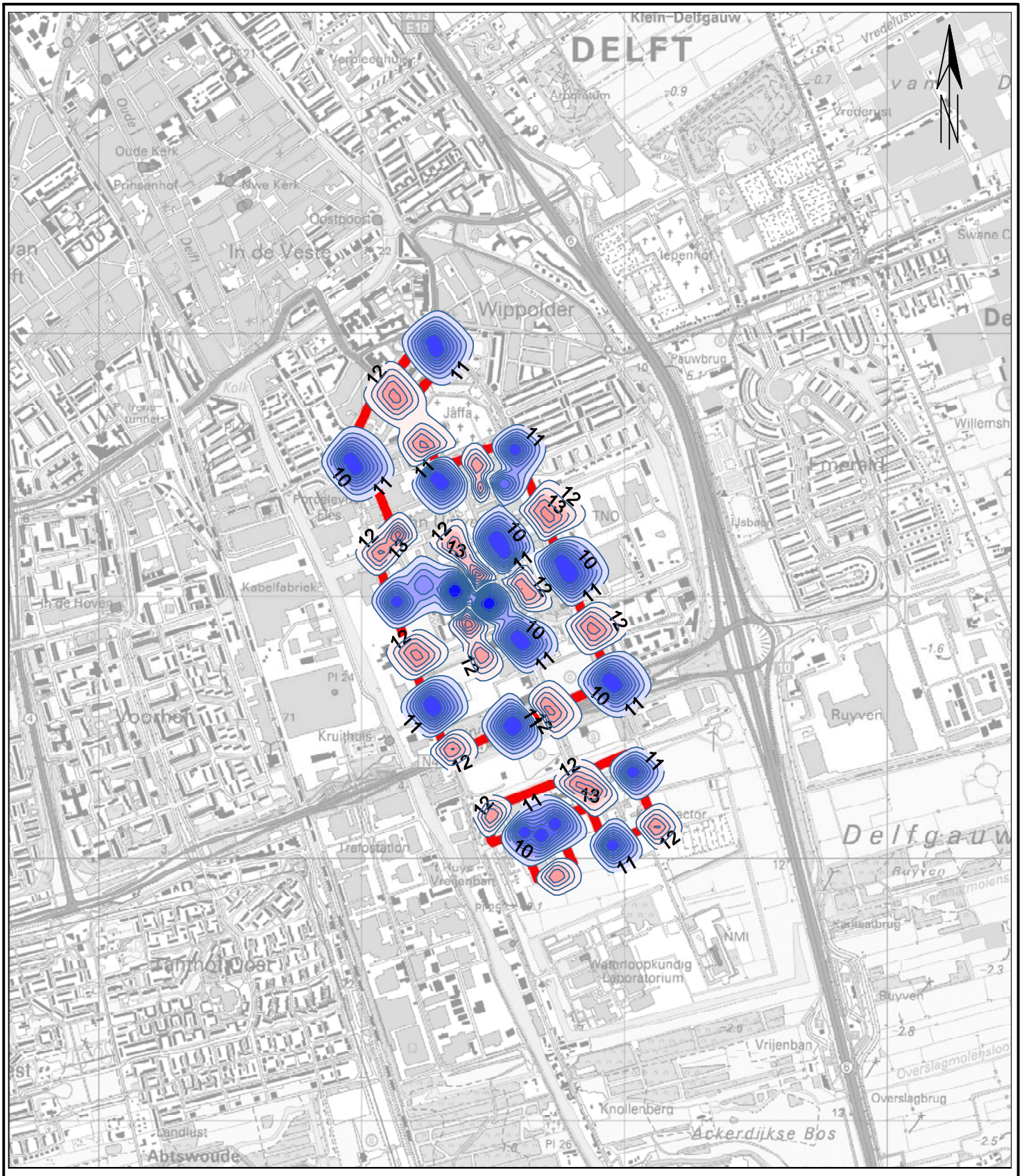
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.15d



0 250 500 750 1000

Berekende temperatuurcontouren na 30 jaar energieopslag [°C], uitgangsalt. (bij stopzetting DSM), zomersituatie

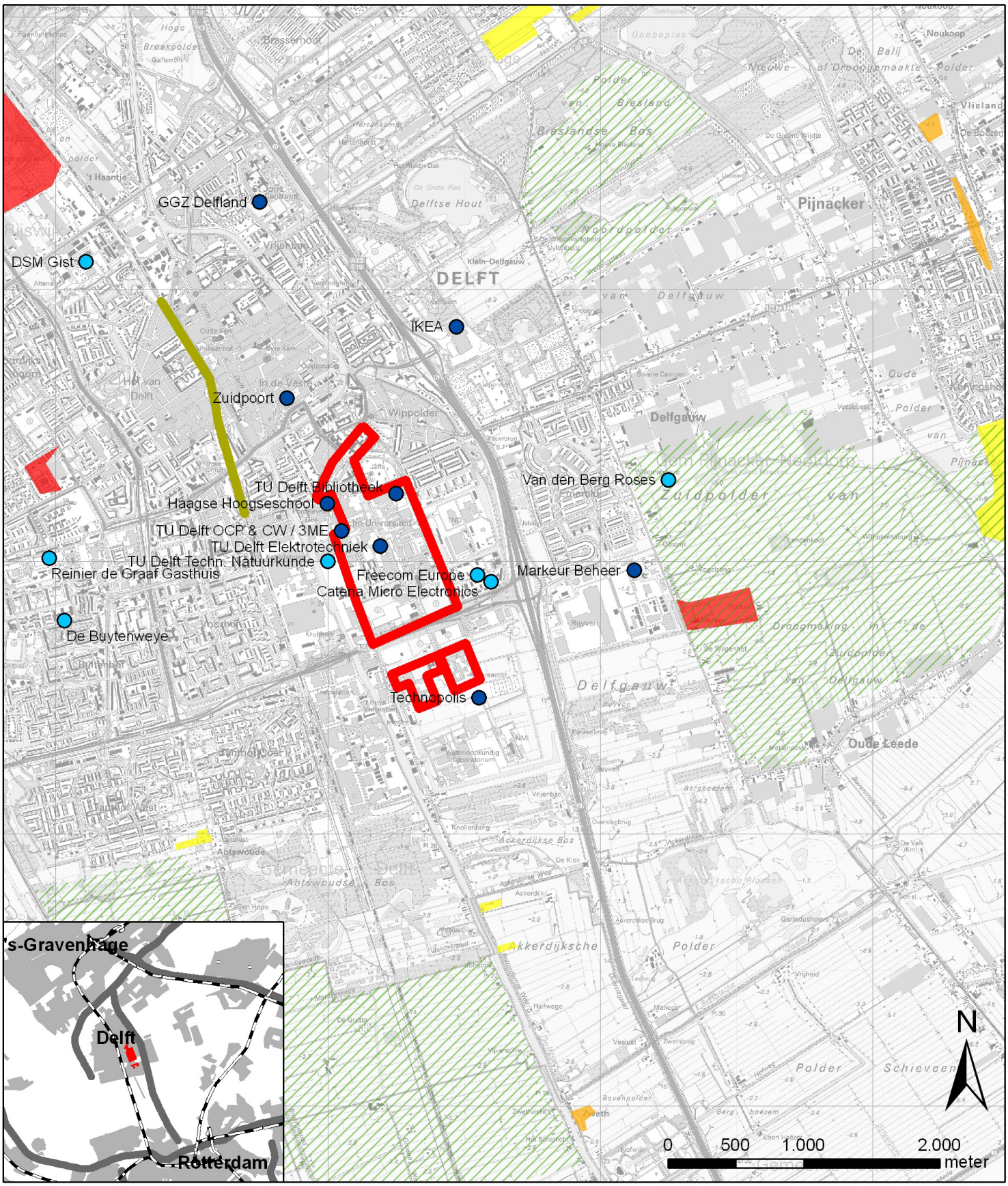
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.16a



0 250 500 750 1000

Berekende temperatuurcontouren na 30 jaar energieopslag [°C], uitgangsalt. (bij stopzetting DSM), wintersituatie

Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	4.16b



Legenda

- toekomstig tunneltracé
- weidevogelgebied

grondwatergebruikers

- watervoerende pakket 1
- watervoerende pakket 2

bodemsaneringslocaties

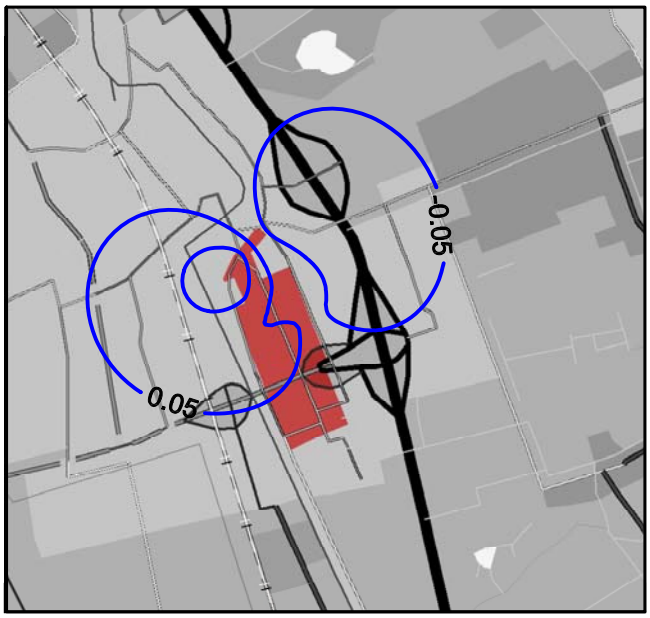
- Ernstig verontreinigd, onderzoek gewenst
- Ernstig verontreinigd, sanering gewenst
- Ernstig verontreinigd, sanering in behandeling

Omgevingsbelangen

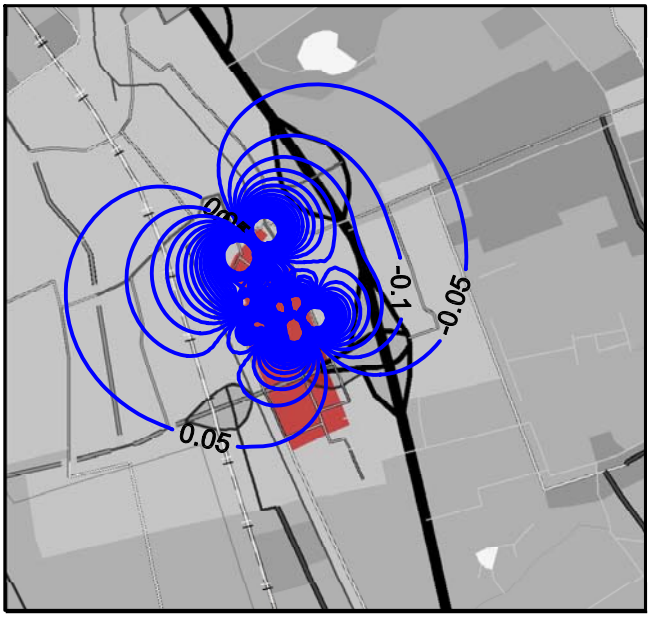
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	1-11-2010
Auteur:	WN
Status:	definitief
Figuur:	4.17

freatisch

1e WVP



2e WVP A



2e WVP B

3e WVP

0 1000 2000 3000 4000 5000

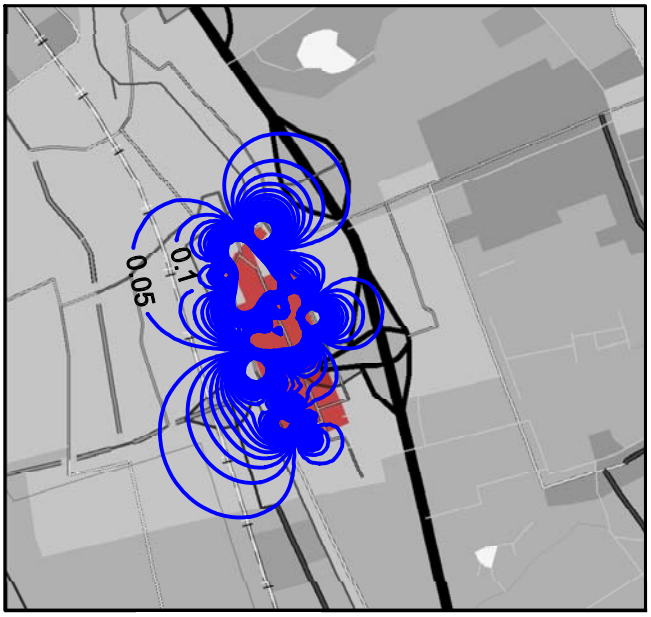
Maximale hydrologische effecten fase 1

Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	5.1

freatisch

1e WVP

2e WVP A



2e WVP B

3e WVP

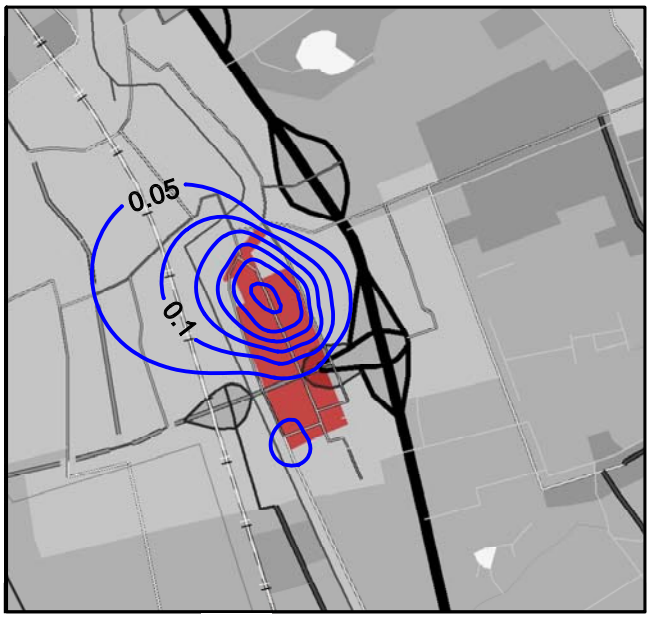
0 1000 2000 3000 4000 5000

Maximale hydrologische effecten fase 2

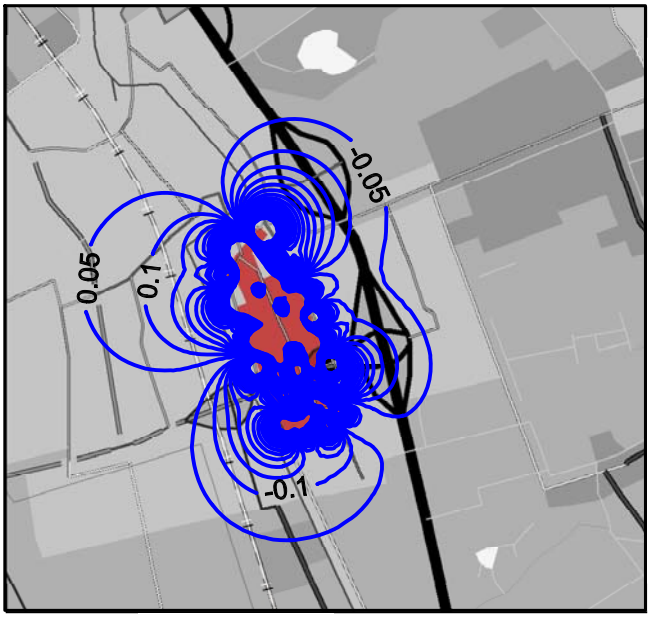
Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	5.2

freatisch

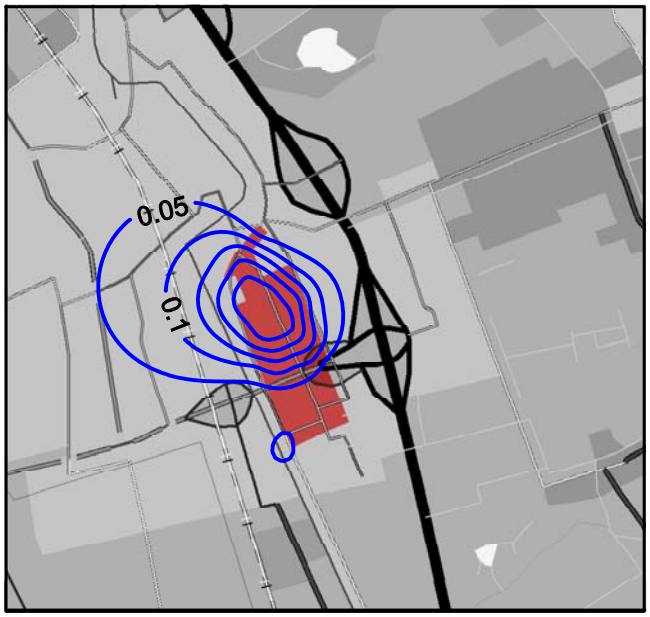
1e WVP



2e WVP A



2e WVP B



3e WVP

0 1000 2000 3000 4000 5000

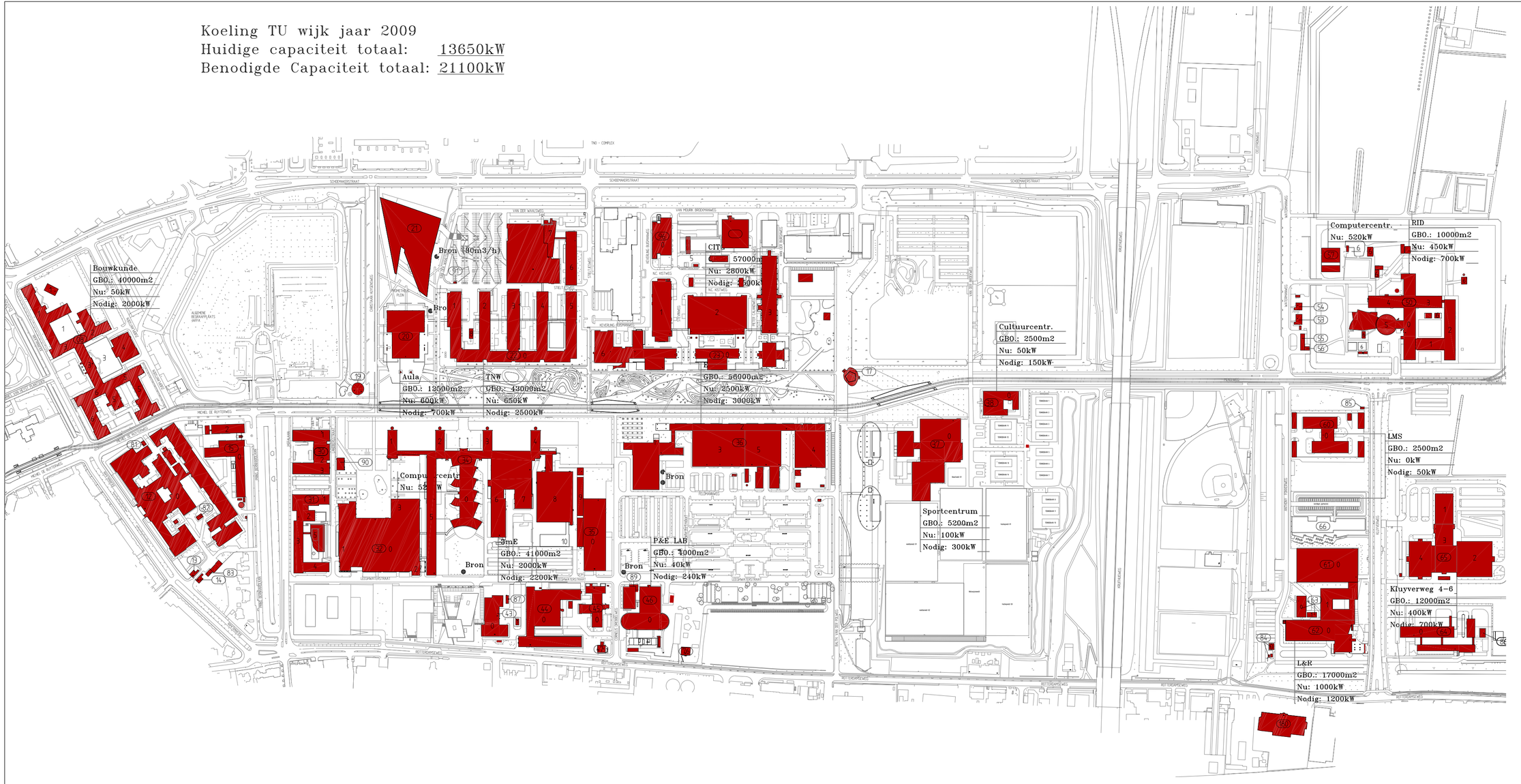
Maximale hydrologische effecten eindsituatie

Project:	MER TU Delft
Referentie:	57466/CD
Datum:	29-06-2011
Status:	definitief
Getekend:	BC
Figuur:	5.3

Bijlage 1

Overzicht gebouwen TUD terrein

Koeling TU wijk jaar 2009
Huidige capaciteit totaal: 13650kW
Benodigde Capaciteit totaal: 21100kW



03	GEBOUW MUNDUMSTRAAT 120	MUNDUMSTRAAT 120	CITG
04	GEBOUWING JULIANALAAN 65	JULIANALAAN 65	
05	TNW - KLUYVERLAB VOOR BIOTECHNOLOGIE	JULIANALAAN 67	TNW
06	TNW - POORTLANDPLEIN 6	POORTLANDPLEIN 6	
08	BEHEARDE	JULIANALAAN 132-134	BK
12	TNW - DELFT CHEM TECH	JULIANALAAN 136	TNW
13	KANTOOR/ADMINISTRATIE JULIANALAAN 138	JULIANALAAN 138	TNW
14	WONING JULIANALAAN 140	JULIANALAAN 140	
15	TNW - PYSISCHE EN CHEMISCHE TECHNOLOGIE	PHNC BERWAKKE 6	TNW
17	IWEB	BERLAGEWEG	
19	STUD	MEKELWEG 3	
20	AULA CONGRESCENTRUM	MEKELWEG 5	
21	BIBLIOTHEEK-GEBOUW	PROMETHEUSPLEIN 1	
22	TNW - TECHNISCHE WATERKUNDE	LEEGHWATERSTRAAT 1	TNW
23	CHEC TECHNICA EN GEINSTRUCTIONHAMMEN	STEVINWEG 1	CITG
28	TNO BOUW & ONDERGROND	VAN MOURIK BROEKMANWEG 6	
30	GEBOUW JAFFALAAN 9	JAFFALAAN 9	OCP
31	TECHNISCH BESTUUR EN MANAGEMENT	JAFFALAAN 5	TBM
32	INDUSTRIEEL ONTWERPEN	LANDBERGSTRAAT 15	IDE
34	IME	MEKELWEG 2	
35	COLLEGE V BESTUUR TUD	CORNELIS DREBBELWEG 9	OCP
35	GEBOUW CORNELIS DREBBELWEG 5	CORNELIS DREBBELWEG 5	OCP
36	EWI	MEKELWEG 4	ITS
36	EWI-GEBOUW EMPEO	FELDMANWEG 17	
36	EWI-GEBOUW 17WI	MEKELWEG 4	ITS
36	EWI-GEBOUW KEO	MEKELWEG 4	
37	SPORTCENTRUM	MEKELWEG 6	
38	CULTUREEL CENTRUM	MEKELWEG 10	
43	WARMTE-KRACHTCENTRALE	ROTTERDAMSEWEG 145	
44	YCO DELFT	ROTTERDAMSEWEG 148	OCP
45	LAB LAGE SNELHEDEN LAB + VOZO	LEEGHWATERSTRAAT 42	LR
46	P&E LAB	LEEGHWATERSTRAAT 44	
47	GEBOUWING CORNELIS DREBBELWEG 3A	CORNELIS DREBBELWEG 3A	
48	VLIEGTUIGBAU DUDELAANMOLENGOOT	BALTHASAR VG POLWEG	
50	TNW - REACTOR INSTITUUT DELFT	MEKELWEG 15	
53	GEBOUWING WATERPARKWEG 6	WATERPARKWEG 6	
54	GEBOUWING WATERPARKWEG 8	WATERPARKWEG 8	
55	TRANSFORMATIE ZE 10 KV STATION	WATERPARKWEG 4	
56	BIBLIOTHEEK	WATERPARKWEG 2	
57	DATACENTER + RID		
60	LOGISTIEK & MILIEU	ANTHONY FOKKERWEG 5	
61	LAB - VLIEGTUIGBAU	KLUYVERWEG 3	LR
62	LUCHTVAART- & RUIMTEVAARTTECHNIEK	KLUYVERWEG 1	LR
63	LAB - SPRONG	ANTHONY FOKKERWEG 1	LR
64	LAB - HOGE SNELHEDEN LAB	KLUYVERWEG 2	LR
65	GEBOUW KLUYVERWEG 4-6	KLUYVERWEG 4 + 6	
67	BOTANLOOS	ROTTERDAMSEWEG 99	
68	MANEGE PROMETHEUS	ROTTERDAMSEWEG 99	
76	WOMAG HAMMENBURG	ROTTERDAMSEWEG 155	
80	TRANSFORMATIE BOTANISCHE TUIN	JULIANALAAN 67	
81	TRANSFORMATIE B 3ET	MEKELWEG 2/ ROTTERWEG	
82	TRANSFORMATIE C 3ET	JULIANALAAN 136	
83	VOORMALIG TRANSFORMATIE 3ET	JULIANALAAN 136	
84	LAB TRANSFORMATIE 1 EN NOODSTROOMAGGREGAAT	KLUYVERWEG 1	
85	GASVERDEELSTATION	KLUYVERWEG	
86	LAB TRANSFORMATIE 2	KLUYVERWEG 2	
87	WATERKRAMER + GAS EN WATERMETERGEBOUW	LEEGHWATERSTRAAT 36	
89	TRANSFORMATIE P&E LAB	LEEGHWATERSTRAAT 44	
90	TRANSFORMATIE 15 KV STATION	LANDBERGSTRAAT	
91	TRANSFORMATIE BIBLIOTHEEK	V.D. WAALSWEG	
96	DELTARES	KEVERLING BUISMANWEG 5	
97	TNO - INDUSTRIE & TECHNIEK	STELTJESWEG 1	
980	GEBOUW ROTTERDAMSEWEG 380	ROTTERDAMSEWEG 380	

TU Delft			Project	TU-WIJK		
Technische Universiteit Delft			TR	Terrein		
Facilitair Management Vastgoed			Onderwerp	Algemeen		
				Koeling TU wijk		
Wijzigingen	Getekend	Datum	Formaat	A0L		
A Eerste opzet	EPG	19-05-2009	Schaal	n.v.t.		
B Toevoeging Bouwkunde	TUD	19-08-2009	Datum	19-05-2009		
			Getekend	EPG		
			Tekeningnummer	TR-NN-TR-9000-P03		

Bijlage 2

Toelichting grondwatermodel

Op basis van de geologische opbouw, beschreven in paragraaf 4.1, is de schematisatie voor de hydrologische berekeningen bepaald. De parameterwaarden zijn bepaald aan de hand van de volgende informatie:

a. Geohydrologisch onderzoek grondwaterwinning Gist - Brocades Delft [Lit. 6];
b. Rapportage “Effecten van stopzetten grootschalige onttrekkingen in de provincie Zuid-Holland.” [Lit. 7];
c. Onderzoek naar effecten stopzetting grondwateronttrekking DSM Delft [Lit. 8];
d. Grondwaterkaart van Nederland, blad 37 West, 37 Oost en 30 Oost [Lit. 9, 10];
e. Geologische kaart, blad 37 Oost [Lit. 5];
f. Boorbeschrijvingen uit het archief van TNO Bouw en Ondergrond via DINOLoket;
g. REGIS-kaarten;
h. Informatie van de gerealiseerde energieopslagsystemen op het TUD terrein (Bibliotheek, EWI en 3mE);
i. Informatie van de proefboring bij Technopolis;
j. Informatie van gerealiseerde energieopslagsystemen in de directe omgeving van het TUD terrein (Haagse Hogeschool, Zuidpoort en Exact).

Fictief freatisch watervoerend pakket

Het definiëren van een fictief watervoerend pakket is een gebruikelijke methode in grondwatermodellen om grondwaterstandveranderingen in de deklaag te kunnen berekenen. In de deklaag (een scheidende laag) kunnen met MLU immers geen grondwaterstandveranderingen worden berekend. De grondwaterstandveranderingen in de deklaag zijn berekend door voor de fictieve freatische laag een doorlaatvermogen van 10 m²/d in te voeren. Het doorlaatvermogen is gelijk aan het geschatte doorlaatvermogen in de deklaag.

Deklaag

In het geohydrologisch onderzoek grondwaterwinning Gist- brocades [Lit. 6] wordt uitgegaan van een weerstand van de deklaag op en rondom het TUD terrein van 32.000 d. In de rapportage over de stopzetting van grootschalige onttrekkingen [Lit. 7] wordt uitgegaan van een weerstand van 5.000 tot 15.000 d. De Grondwaterkaart [Lit. 9, 10] gaat uit van een weerstand van 5.000 d.

Aan de hand van de dikte en de verticale doorlatendheid van de veen- en kleilagen uit de beschikbare boorbeschrijvingen kan ook een inschatting gemaakt worden van de weerstand van de deklaag. Voor de veen- en kleilagen zijn verticale doorlatendheden aangehouden van respectievelijk 200 en 100 dagen per meter. Op basis van boorbeschrijvingen van de gerealiseerde energieopslagsystemen op het TUD terrein, de Haagse Hogeschool en boorbeschrijvingen uit DINOLoket wordt de weerstand van de deklaag geschat op circa 1.500 d.

In de berekeningen wordt voor de deklaag uitgegaan van een weerstand van 5.000 d. Voor de minimale waarde wordt uitgegaan van 2.500 d en voor de maximale waarde van 15.000 d.

Eerste watervoerende pakket
In het geohydrologisch onderzoek grondwaterwinning Gist- brocades [Lit. 6] wordt uitgegaan van een doorlaatvermogen op en rondom het TUD terrein van 1.000 m²/d. In de rapportage over de stopzetting van grootschalige onttrekkingen [Lit. 7] wordt uitgegaan van een doorlaatvermogen van 600 m²/d. De Grondwaterkaart [Lit. 9, 10] gaat uit van 600 - 1.800 m²/d. REGIS geeft een doorlaatvermogen van 100 - 400 m²/d.

Met behulp van de formule van Shepherd [Lit. 23] is een gemiddelde doorlatendheid van het eerste watervoerende pakket op basis van beschikbare boorbeschrijvingen op en rondom het TUD terrein bepaald van 750 - 1.000 m²/d.

In de berekeningen wordt voor het eerste watervoerende pakket uitgegaan van een doorlaatvermogen van 1.000 m²/d. Voor de minimale waarde wordt uitgegaan van 400 m²/d en voor de maximale waarde van 1.800 m²/d.

Eerste scheidende laag
In het geohydrologisch onderzoek grondwaterwinning Gist- brocades [Lit. 6] en de rapportage over de stopzetting van grootschalige onttrekkingen [Lit. 7] wordt uitgegaan van een weerstand van de eerste scheidende laag op en rondom het TUD terrein van 1.000 d. De Grondwaterkaart [Lit. 9, 10] gaat uit van een weerstand van 600 d. REGIS geeft een weerstand van 0 - 1.000 d.

Op basis van boorbeschrijvingen van de gerealiseerde energieopslagsystemen op het TUD terrein, de Haagse Hogeschool en boorbeschrijvingen uit DINOLoket wordt de weerstand van de eerste scheidende laag geschat op circa 600 d.

In de berekeningen wordt voor de eerste scheidende laag uitgegaan van een weerstand van 600 d. Voor de minimale waarde wordt eveneens uitgegaan van 600 d en voor de maximale waarde van 1.000 d.

Tweede watervoerende pakket A
In het geohydrologisch onderzoek grondwaterwinning Gist- brocades [Lit. 6] wordt uitgegaan van een doorlaatvermogen van het tweede watervoerende pakket A en B op en rondom het TUD terrein van 1.000 m²/d. Op basis van de dikte en de grofheid van beide pakket, afgeleid van boorbeschrijvingen, wordt een doorlaatvermogen van het tweede watervoerende pakket A van 600 m²/d bepaald. In de rapportage over de stopzetting van grootschalige onttrekkingen [Lit. 7] wordt uitgegaan van een doorlaatvermogen van 400 - 500 m²/d. REGIS geeft een doorlaatvermogen van 100 - 400 m²/d.

Op basis van uitgevoerde capaciteitstesten bedraagt het doorlaatvermogen bij EWI 770 m²/d, bij 3mE 415 m²/d, bij Zuidpoort 420 - 700 m²/d, bij de Haagse Hogeschool 620 - 750 m²/d en bij Exact 525 m²/d.

In de berekeningen wordt voor het tweede watervoerende pakket A uitgegaan van een doorlaatvermogen van 500 m²/d. Voor de minimale waarde wordt uitgegaan van 400 m²/d en voor de maximale waarde van 700 m²/d.

Lokale scheidende laag binnen het tweede watervoerende pakket
Op de locatie wordt een scheidende laag aangetroffen op een diepte van circa 70 tot 110 m-mv. Deze scheidende laag is niet regionaal verbreid. Direct ten oosten van het TUD terrein ontbreekt de scheidende laag (zie figuur 4.2).

REGIS geeft een weerstand voor de lokale scheidende laag van 400 - 700 d.

Op basis van de boorbeschrijvingen van de bronnen van de energieopslag van Zuidpoort en de proefboring bij Technopolis bedraagt de weerstand van deze scheidende laag 2.500 d. Op basis van boorbeschrijvingen uit DINOLoket bedraagt de weerstand van de lokale scheidende laag circa 2.000 d.

In de berekeningen wordt voor de lokale scheidende laag uitgegaan van een weerstand van 2.000 d. Voor de minimale waarde wordt uitgegaan van het ontbreken van deze scheidende laag en voor de maximale waarde van 2.500 d.

Tweede watervoerende pakket B
Op basis van het geohydrologisch onderzoek grondwaterwinning Gist- brocades [Lit. 6] bedraagt het doorlaatvermogen van het tweede watervoerende pakket B op en rondom het TUD terrein 400 m²/d. REGIS geeft een doorlaatvermogen van 100 - 200 m²/d.

Met behulp van de formule van Shepherd [Lit. 23] is een gemiddelde doorlatendheid van het tweede watervoerende pakket B op basis van beschikbare boorbeschrijvingen op en rondom het TUD terrein bepaald van 250 m²/d.

In de berekeningen wordt voor het tweede watervoerende pakket B uitgegaan van een doorlaatvermogen van 300 m²/d. Voor de minimale waarde wordt uitgegaan van 200 m²/d en voor de maximale waarde van 400 m²/d.

Tweede scheidende laag
In het geohydrologisch onderzoek grondwaterwinning Gist- brocades [Lit. 6] wordt uitgegaan van een weerstand van de tweede scheidende laag op en rondom het TUD terrein van 10.000 d. REGIS geeft een weerstand van 7.500 - 12.500 d.

Op basis van de proefboring bij Technopolis bedraagt de weerstand van de tweede scheidende laag 1.500 d.

In de berekeningen wordt voor de tweede scheidende laag een weerstand aangenomen van 5.000 d. Voor de minimale waarde wordt uitgegaan van 1.500 d en voor de maximale waarde van 12.500 d.

Derde watervoerende pakket
Op basis van het geohydrologisch onderzoek grondwaterwinning Gist- brocades [Lit. 6] bedraagt het doorlaatvermogen van het derde watervoerende pakket op en rondom het TUD terrein 1.000 m²/d. REGIS geeft een doorlaatvermogen van 200 - 500 m²/d.

Met behulp van de formule van Shepherd [Lit. 23] is een gemiddelde doorlatendheid van het derde watervoerende pakket op basis van beschikbare boorbeschrijvingen op en rondom het TUD terrein bepaald van 750 m²/d.

In de berekeningen wordt voor het derde watervoerende pakket uitgegaan van een doorlaatvermogen van 600 m²/d. Voor de minimale waarde wordt uitgegaan van 300 m²/d en voor de maximale waarde van 1.000 m²/d.

Bergingscoefficiënten
Voor de deklaag is voorzichtigheidshalve een relatief lage bergingscoëfficiënt van 0,15 aangehouden, waardoor de grondwaterstand relatief snel zal reageren. De bergingscoëfficiënt voor de watervoerende pakketten is berekend met de formule van Van der Gun [Lit. 24].

Oppervlaktewater
Het TUD terrein ligt in een polder. Op en rondom de projectlocatie zijn diverse watergangen aanwezig. Deze watergangen hebben een drainerende werking.

In het geohydrologisch onderzoek grondwaterwinning Gist- brocades [Lit. 6] is het oppervlaktewater meegenomen in de modellering door een drainageweerstand in te voeren. Op en rondom het TUD terrein wordt uitgegaan van een drainageweerstand van 500 d. In de rapportage over de stopzetting van grootschalige onttrekkingen [Lit. 7] wordt uitgegaan van een weerstand van 250 - 750 d.

In de berekeningen wordt het oppervlaktewater gemodelleerd door middel van het aannemen van een drainageweerstand. Dit is een gebruikelijke methode in grondwatermodellen om de invloed van oppervlaktewater te bepalen. Gezien de geringe effecten op de grondwaterstand en de resultaten van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse (paragraaf 4.2.3) is dit gerechtvaardigd.

In de berekeningen wordt voor de drainageweerstand uitgegaan van 500 d. Voor de minimale waarde wordt uitgegaan van 250 d en voor de maximale waarde van 1.000 d.

Hydrologische schematisatie
Om de hydrologische effecten van de energieopslag te berekenen, is gebruik gemaakt van het hydrologische softwarepakket MLU for Windows (Multi Layer Unsteady state). Het programma berekent op basis van een analytische oplossingsmethode de niet-stationaire effecten van putstroming in afgesloten, gedeeltelijk afgesloten en freatische watervoerende pakketten. In het model wordt de bodemopbouw geschematiseerd tot een aantal homogene watervoerende en scheidende lagen. Dit betekent dat de pakketten en lagen in het hele model dezelfde eigenschappen hebben. In werkelijkheid is dit niet het geval, omdat de doorlaatvermogens en weerstanden van de lagen in de ruimte variëren. Aangezien de hydrologische effecten van de beoogde energieopslag beperkt zijn, is het gerechtvaardigd om voor het hele model dezelfde parameterwaarden aan te houden. Daarnaast kan op basis van de gevoeligheidsanalyse (paragraaf 4.2.3) geconcludeerd worden dat het aanpassen van de parameters slechts beperkte invloed heeft op de berekende effecten.

De lokale scheidende laag binnen het tweede watervoerende pakket is niet regionaal verbreid (paragraaf 4.1.2). In het model is deze scheidende laag wel als homogene laag meegenomen. Hierdoor wordt in de berekening van de effecten minder rekening gehouden met de onderliggende pakketten en de uitdempende invloed die deze lagen hebben op de stijghoogteveranderingen, waardoor de invloed op belangen (welke zich met name in de deklaag, maar ook in het eerste en het tweede watervoerende pakket A bevinden) worst-case wordt ingeschat.

Voor alle alternatieven zijn de bronnen zo worst-case mogelijk gesitueerd. Bij het uitgangs- en diepe alternatief zijn de koude bronnen zoveel mogelijk aan de rand van het TUD terrein geplaatst en de warme bronnen zoveel mogelijk van de rand af. Hierdoor wordt de uitdemping van hydrologische effecten door de koude en warme bronnen onderling beperkt. Voor het monobronalternatief zijn alle monobronnen aan de rand van het TUD terrein geplaatst. Bij de plaatsing van de bronnen is ook rekening gehouden met de reeds bestaande energieopslagsystemen op en nabij het TUD terrein.

Bijlage 3

Uitgangspunten en resultaten worst-case berekeningen

Voor de worst-case effecten naar maaiveld dienen de weerstandswaarden boven het opslagpakket zo laag mogelijk en de weerstandswaarden onder het opslagpakket zo hoog mogelijk gekozen te worden. Daarnaast dienen alle doorlaatvermogens zo laag mogelijk gekozen te worden. Voor het monobronalternatief dient de weerstand tussen de filters zo groot mogelijk gekozen te worden om de onderlinge uitdemping van effecten te minimaliseren.

Voor de worst-case effecten naar de omgeving dienen de weerstandswaarden boven en onder het opslagpakket zo hoog mogelijk gekozen te worden. Daarnaast dient het doorlaatvermogen van het opslagpakket zo hoog mogelijk en de doorlaatvermogens onder en boven het opslagpakket zo laag mogelijk gekozen te worden.

Voor de worst-case effecten naar de diepte dienen de weerstandswaarden boven het opslagpakket zo hoog mogelijk en onder het op opslagpakket zo laag mogelijk gekozen te worden. Daarnaast dienen alle doorlaatvermogens zo laag mogelijk gekozen te worden. Voor het monobronalternatief dient de weerstand tussen de filters zo groot mogelijk gekozen te worden om de onderlinge uitdemping van effecten te minimaliseren.

Voor alle worst-case berekeningen is de drainageweerstand zo hoog mogelijk gekozen.

In onderstaande tabellen is voor elk alternatief aangegeven met welke weerstandswaarden en doorlaatvermogens de worst-case effecten bepaald zijn.

Tabel B4.1 Schematisatie bodemopbouw voor modellering worst-case effecten naar maaiveld, de omgeving en de diepte voor uitgangsalternatief

toelichting	**best guess**	**maaiveld**	**omgeving**	**diepte**
drainageweerstand	500 d	1.000 d	1.000 d	1.000 d
freatisch watervoerend pakket	10 m²/d	10 m²/d	10 m²/d	10 m²/d
deklaag	5.000 d	1.500 d	15.000 d	15.000 d
1e watervoerend pakket	1.000 m²/d	400 m²/d	400 m²/d	400 m²/d
1e scheidende laag	600 d	400 d	1.000 d	1.000 d
2e watervoerend pakket A	500 m²/d	400 m²/d	400 m²/d	400 m²/d
lokale scheidende laag	2.000 d	2.500 d	2.500 d	-
2e watervoerend pakket B	300 m²/d	200 m²/d	200 m²/d	200 m²/d
2e scheidende laag	5.000 d	12.500 d	12.500 d	1.500 d
3e watervoerend pakket	750 m²/d	300 m²/d	300 m²/d	300 m²/d

Tabel B4.2 Schematisatie bodemopbouw voor modellering worst-case effecten naar maaiveld en de omgeving voor diep alternatief

toelichting	**best guess**	**maaiveld**	**omgeving**
drainageweerstand	500 d	1.000 d	1.000 d
freatisch watervoerend pakket	10 m²/d	10 m²/d	10 m²/d
deklaag	5.000 d	1.500 d	15.000 d
1e watervoerend pakket	1.000 m²/d	400 m²/d	400 m²/d
1e scheidende laag	600 d	400 d	1.000 d

2e watervoerend pakket A	500 m²/d	400 m²/d	400 m²/d
lokale scheidende laag	2.000 d	2.500 d	2.500 d
2e watervoerend pakket B	300 m²/d	200 m²/d	200 m²/d
2e scheidende laag	5.000 d	1.500 d	12.500 d
3e watervoerend pakket*	750 m²/d	750 m²/d	750 m²/d

* Het doorlaatvermogen van het derde watervoerende pakket dient minimaal 750 m²/d te bedragen om de gewenste capaciteit per bron uit dit pakket te kunnen onttrekken en infiltreren.

Tabel B4.3 Schematisatie bodemopbouw voor modellering worst-case effecten naar maaiveld, de omgeving en de diepte voor monobronalternatief

toelichting	**best guess**	**maaiveld**	**omgeving**	**diepte**
drainageweerstand	500 d	1.000 d	1.000 d	1.000 d
freatisch watervoerend pakket	10 m²/d	10 m²/d	10 m²/d	10 m²/d
deklaag	5.000 d	1.500 d	15.000 d	15.000 d
1e watervoerend pakket	1.000 m²/d	400 m²/d	400 m²/d	400 m²/d
1e scheidende laag	600 d	400 d	1.000 d	1.000 d
2e watervoerend pakket A	500 m²/d	400 m²/d	400 m²/d	700 m²/d
lokale scheidende laag	2.000 d	2.500 d	2.500 d	2.500 d
2e watervoerend pakket B	300 m²/d	400 m²/d	200 m²/d	200 m²/d
2e scheidende laag	5.000 d	1.500 d	12.500 d	1.500 d
3e watervoerend pakket	750 m²/d	750 m²/d	750 m²/d	300 m²/d

In onderstaande tabellen zijn de berekende grondwater- en stijghoogteveranderingen per alternatief weergegeven voor alle worst-case berekeningen.

Tabel B4.4 Grondwater- en stijghoogteverandering worst-case berekeningen uitgangsalternatief [m]

watervoerende laag	**best guess**	**maaiveld**	**omgeving**	**diepte**
freatisch	0,02	0,17	0,01	0,01
1e watervoerende pakket	0,32	0,81	0,60	0,44
2e watervoerende pakket A	7,00	7,00	7,00	6,00
2e watervoerende pakket B	0,30	0,41	0,50	2,91
3e watervoerende pakket	0,03	0,01	0,05	0,40

Tabel B4.5 Grondwater- en stijghoogteverandering worst-case berekeningen diep alternatief [m]

watervoerende laag	**best guess**	**maaiveld**	**omgeving**
freatisch	<0,01	0,03	<0,01
1e watervoerende pakket	0,05	0,13	0,09
2e watervoerende pakket A	4,74	5,87	4,74
2e watervoerende pakket B	0,13	0,85	0,12
3e watervoerende pakket	5,81	5,74	5,84

Tabel B4.6 Grondwater- en stijghoogteverandering worst-case berekeningen mono-bronalternatief [m]

watervoerende laag	best guess	maaiveld	omgeving	diepte
freatisch	0,01	0,13	0,01	0,01
1e watervoerende pakket	0,21	0,62	0,37	0,25
2e watervoerende pakket A	7	7	7	7
2e watervoerende pakket B	11,52	8,64	17,27	16,78
3e watervoerende pakket	0,12	0,22	0,08	0,65

Bijlage 4

Beschrijving thermisch model

Beschrijving computerprogramma HstWin-2D

Er zijn meerdere aspecten die een rol spelen bij warmtetransport, namelijk:

- advectief transport (grondwaterstroming);
- vrij convectief transport (dichtheidsstroming);
- geleiding (conductie).

Het grootste gedeelte van het warmtetransport wordt veroorzaakt door het advectieve transport. Om te beoordelen in hoeverre dichtheidstroming van belang kan zijn, zijn radiaal symmetrische berekeningen uitgevoerd. In deze berekeningen wordt de bodem zowel in verticale richting als in horizontale richting geschematiseerd en doorgerekend. De radiaalsymmetrische berekeningen geven aan dat het aandeel van dichtheidsstroming en geleiding slechts beperkt is. Derhalve is ervoor gekozen om de thermische effecten van de koude- en warmteopslag te berekenen met het programma HstWin-2D, waarin de dichtheidstroming niet meegenomen wordt. Met het programma HstWin-2D kan warmte- en stoftransport worden berekend in een verzadigd 2-dimensionaal grondwatersysteem. HstWin-2D simuleert de grondwaterstroming en het warmtetransport in één laag.

Bijlage 5

Rode Lijstsoorten en beschermde Flora- en Fauna-wetsoorten in het plangebied

Inventarisatie beschermde soort uit Trajectnota / MER A4 Delft-Schiedam [Lit. 15]

Figuur 1 Weergave studiegebied voor beschrijven beschermde soorten (bron: Trajectnota / MER A4 Delft-Schiedam [Lit. 15]

Tabel 1 Beschermde soorten in het plangebied [Lit. 15]

Soort	Beschermd (FFW)*			Rode lijst
	Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	
Zwanenbloem	x			
Rietorchis		x		
Wilde marjolein		x		
Dotterbloem				
Brede wespenorchis	x			
Grote kaardenbol	x			
Brede waterpest	x			
Steenbreekvaren		x		
Haas		x		
Konijn	x			
Egel	x			
Mol	x			
Gewone bosspitsmuis	x			
Huisspitsmuis	x			
Woelrat	x			
Dwergmuis	x			
Bosmuis	x			
Rosse woelmuis	x			

Soort	Beschermd (FFW)*			Rode lijst
	Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	
Veldmuis	x			
Wezel	x			
Bunzing	x			
Hermelijn	x			
Vos	x			
Gewone dwergvleermuis			x	
Ruige dwergvleermuis			x	
Grootoorvleermuis			x	
Watervleermuis			x	
Laatvlieger			x	
Rosse vleermuis			x	
Kleine watersalamander	x			
Bruine kikker	x			
Groene kikker	x			
Gewone pad	x			
Bittervoorn			x	kwetsbaar
Kleine modderkruiper		x		
Bruin blauwtje				kwetsbaar
Vroege glazenmaker				kwetsbaar
Glassnijder				kwetsbaar
Platte schijfhoorn			x	

* de categorieën geven de mate van bescherming weer. Hoe hoger de categorie, hoe groter het beschermingsniveau.

Inventarisatie beschermde soort uit de Projectmer Bestemmingsplannen Delft Zuidoost [Lit. 15]

Figuur 2 Weergave studiegebied voor beschrijven beschermde soorten (bron: Projectmer Bestemmingsplannen Delft Zuidoost [Lit. 15]

Soort	Flora- en faunawet	Locatie	Wijk
Zwartsteel	Tabel 2	Muren van oude gebouwen	TU-noord
Tongvaren	Tabel 2	Muren van oude gebouwen	TU-noord
Steenbreekvaren	Tabel 2	Muren van oude gebouwen	TU-noord
Gele helmbloem	Tabel 2	Muren van oude gebouwen	TU-noord
Daslook	Tabel 2	Botanische Tuin	TU-noord
Gevlekte orchis	Tabel 2	Botanische Tuin	TU-noord

Soort	Flora- en faunawet	Locaties	Wijk
Kleine modderkruiper	Tabel 2	Wateren rond de Schoemakerstraat	TU-midden
		Sloot ten noorden van de Stieltjesweg	TU-midden
		Mogelijk in andere watergangen met waterplanten en oevervegetaties	

Soort	Flora- en faunawet	Locatie	Wijk
Rugstreeppad	Tabel 3	Mogelijk op zandige bouwterreinen met ondiepe waterplassen	Overal

Soort	Categorie	Locatie	Wijk
Gierzwaluw	2	Laagvliegend bij daken. Eén nestlocatie.	TU-noord (zuidoostelijke deel)
Huismus	2	Vooral huizen met pannen-daken of dichte struiken en hagen met voldoende dekking. Ook nestlocaties.	TU-noord (oostelijke- en westelijke deel)
			Begraafplaats 'Jaffa'
Grote bonte specht	5	Mogelijk Pauwmolenterrein	TU-noord
			Begraafplaats 'Jaffa'
Pimpelmees	5	Pauwmolenterrein	TU-noord
			Begraafplaats 'Jaffa'
Koolmees	5	Pauwmolenterrein	TU-noord
			Begraafplaats 'Jaffa'
Roofvogels, uilen	1, 3, 4	Mogelijk in parken en bosjes	Plangebied
Overige (broed)vogels, zoals Fitis, Houtduif, Holenduif, Vink, Heggenmus, Merel, Kauw, Zwarte kraai, Winterkoning, enzovoort		Bij groenstructuren, bomen, bosjes, boomlanen, e.d.	In het gehele plangebied

Categorie 1: vaste rust- en verblijfplaats
Categorie 2: nesten van koloniebroeders
Categorie 3: honkvaste broedvogels en vogels afhankelijk van bebouwing
Categorie 4: vogels niet in staat zijn om zelf een nest te bouwen
Categorie 5: niet jaarrond beschermd, inventarisatie gewenst

Soort	Categorie	Locatie	Wijk	Belang
Gewone dwerg-vleermuis	3, bijlage IV HR	Oude TU-gebouwen	TU-noord	Foerageergebied, Mogelijke verblijfplaatsen
		Boven de met bomen omzoomde watergangen aan de zuidkant (Kruithuisweg)	TU-midden	Foerageergebied
			Schieoevers	Beperkt als foerageergebied
Ruige dwerg-vleermuis		Vooral langs oostrand van gebied, waar een groene zone ligt.	TU-noord	Foerageergebied
		In grote bomen	TU-noord	Mogelijk beperkt aantal verblijfplaatsen
		Boven de met bomen omzoomde watergangen aan de zuidkant (Kruithuisweg)	TU-midden	Beperkt als foerageergebied
Watervleermuis	3, bijlage IV HR		TU-noord	Foerageergebied?
Laatvlieger	3, bijlage IV HR		TU-noord	Zeer beperkt als foerageergebied
		Boven de met bomen omzoomde watergangen aan de zuidkant (Kruithuisweg)	TU-midden	Zeer beperkt als foerageergebied

Bijlage 6

Archeologische monumenten

Tabel 1 Overzicht archeologische monumenten binnen het studiegebied
(bron: Cultuurhistorische Waardenkaart Zuid-Holland)

Beschrijving	**Monumentnr.**	**waarde**	**ligging**
Resten van klooster Koningsveld	10713	hoog	50 m W
Resten van de hofstede Ruyven	9391	hoog	2.800 m O
Twee huisterpen (Bergboezem)	9472	hoog	1.900 m ZO
Resten van de begraven hofstad Huis Ruyven	1090	zeer hoog, beschermd	1.200 m O
Huisterp Lage Abtswoudsche Polder	9395	zeer hoog	850 m Z
Veertien Huisterpen Lage Abtswoudsche Polder	9415	Hoog	2.000 m ZW
Sporen van verkaveling Lage Abtswoudsche Polder	9417	Hoog	1.800 m ZW
Bewoningssporen De Klok	9402	Zeer hoog	1.200 m Z
Bewoningssporen, landbouw en verkaveling Lage Abtswoudsche Polder	9416	Zeer hoog	2.500 ZW
Resten van het Kartuizerklooster	10711	Hoog	1.400 m W
Stadskern, scheepmakerij Delfsche Schie	10712	Hoog	75 m W

Bijlage 7

Berekening van de zetting

Zettingsberekening

Versie 29 september 2004

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

Projectnaam:	TU Delft
Projectnummer:	57466
Datum berekening:	29-06-2011
Bijlage:	7a
Rapport:	MER
Specialist:	H. de Jonge
Opmerking(en):	zetting nabij de bron, uitgangsalternatief zetting in deklaag, eerste scheidende laag en scheidende laag binnen het tweede watervoerende pakket tijdsafhankelijk berekend

Gebruikte formule van Terzaghi:

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

GLG: 2 m-mv

Materiaal	[m-mv] diepte	[m] Dikte	ΔH	[-] C_p	[-] C_s	[-] C_{onein}	[kg/m3] ρ	[N/m²] σκ	[N/m²] Δσκ	[mm] Z
	0									
Onverz.zone		2	0,146	-	-	-	1500	-		0
	2									
Klei		14		15	60	7,5	1600	70632	4149,6	12
	16									
Zand		20	0,7	600	1,00E+99	600	2000	209934	6867	1
	36									
Klei		6		30	500	24,194	2000	337464	37769	9
	42									
Zand		28	7,00	1000	1,00E+99	1000	2100	517968	68670	0
	70									
Klei		40		50	600	37,5	2000	865242	36022	4
	110									
Zand		30	0,344	1000	1,00E+99	1000	2100	1223307	3374,6	0
	140									
Klei		10		50	600	37,5	2000	1434222	1741,3	0
	150									
Zand		80	0,011	650	1,00E+99	650	2100	1914912	107,91	0
	230									

Verklaring van de parameters:

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

Totale zetting [mm]	26

Zettingsberekening

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

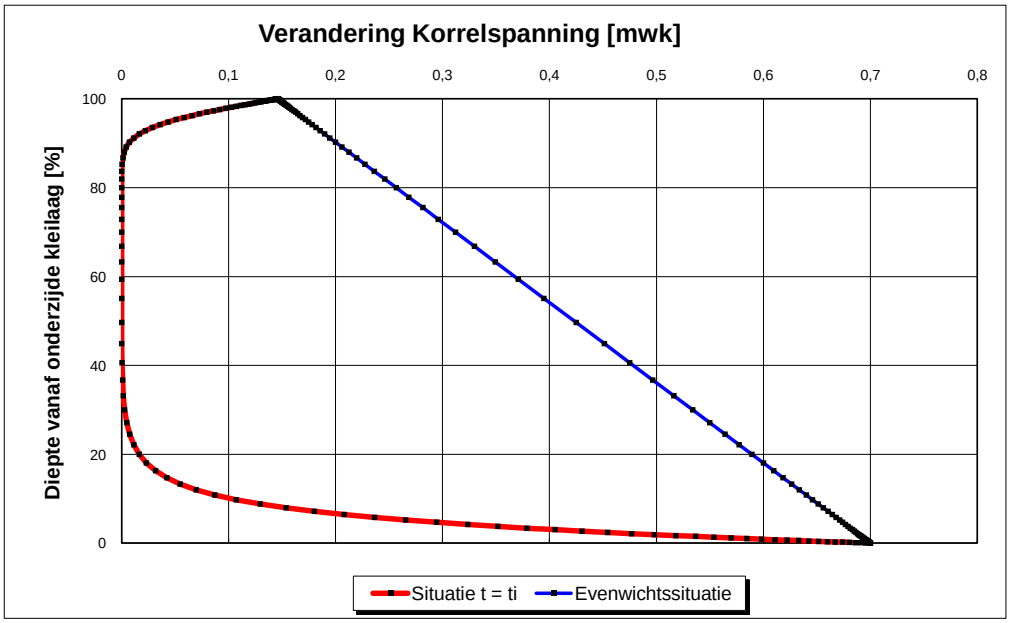
Projectnaam:	TU Delft
Projectnummer:	57466
Datum:	29-06-2011
Bijlage:	7b
Rapport:	MER
Specialist:	H. de Jonge
Alternatief:	uitgangs
Opmerking(en):	tijdsafhankelijke zetting in de deklaag

Parameters					
bovenzijde scheidende laag		2	m-mv		
onderzijde scheidende laag		16	m-mv		
GLG		2	m-mv		
verlaging aan bovenzijde		0,146	mwk		
verlaging aan onderzijde		0,7	mwk		
primaire zettingsconstante	Cp	15			
seculaire zettingsconstante	Cs	60			
samendrukkingsconst.	C_oneindig	7,50			
doorlatendheid (vert.)	kv	1,00E-09	m/s	=	0,0000864 m/d
volumegewicht van water	$\gamma\omega$	1000	kg/m3		
verzadigd volumegewicht bovenliggende lagen	$\gamma\tau$	1500	kg/m3		
tijdstip	ti	74	d	=	0,20 j

Enkelzijdig gedeelte				
eindzetting		78,06	mm	
hydrodynamische periode		4,57E+04	d	= 125,11 j
zetting op t=ti		8	% van eindzetting	
zetting op t=ti		6,55	mm	

Dubbelzijdig gedeelte				
eindzetting		53,48	mm	
hydrodynamische Periode	Th	2,97E+04	d	= 81,31 j
zetting op t=ti		10	% van eindzetting	
zetting op t=ti	zt =	5,45	mm	

Berekening		
zetting na oneindig lange belasting	131,54	mm
zetting op t = ti	12,00	mm



Zettingsberekening

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

Projectnaam:	TU Delft
Projectnummer:	57466
Datum:	29-06-2011
Boring:	7c
Rapport:	MER
Specialist:	H. de Jonge
Alternatief:	uitgangs
Opmerking(en):	tijdsafhankelijke zetting in de eerste scheidende laag

Parameters

bovenzijde scheidende laag		36	m-mv		
onderzijde scheidende laag		42	m-mv		
GLG		2	m-mv		
verlaging aan bovenzijde		0,7	mwk		
verlaging aan onderzijde		7	mwk		
primaire zettingsconstante	Cp	30			
seculaire zettingsconstante	Cs	500			
samendrukkingsconst.	C_oneindig	24,19			
doorlatendheid (vert.)	kv	1,00E-10	m/s	=	0,00000864 m/d
volumegewicht van water	$\gamma\omega$	1000	kg/m3		
verzadigd volumegewicht bovenliggende lagen	$\gamma\tau$	1800	kg/m3		
tijdstip	ti	74	d	=	0,20 j

Enkelzijdig gedeelte

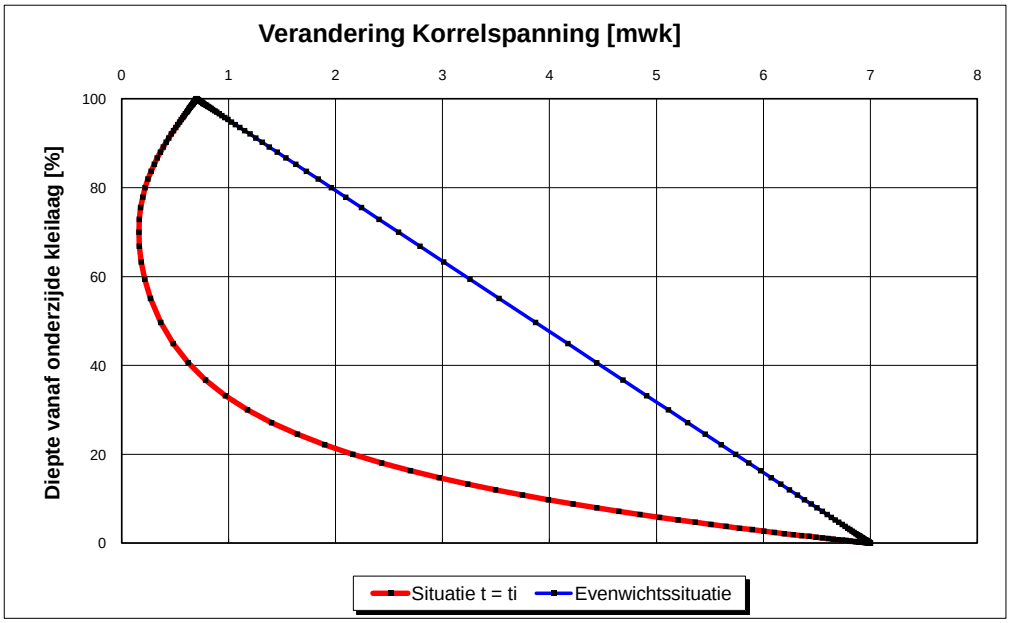
eindzetting		22,16	mm	
hydrodynamische periode		4,89E+03	d	= 13,38 j
zetting op t=ti		34	% van eindzetting	
zetting op t=ti		7,61	mm	

Dubbelzijdig gedeelte

eindzetting		5,29	mm	
hydrodynamische Periode	Th	2,63E+03	d	= 7,19 j
zetting op t=ti		27	% van eindzetting	
zetting op t=ti	zt =	1,43	mm	

Berekening

zetting na oneindig lange belasting	27,45	mm
zetting op t = ti	9,04	mm



Zettingsberekening

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

Projectnaam:	TU Delft
Projectnummer:	57466
Datum:	29-06-2011
Boring:	7d
Rapport:	MER
Specialist:	H. de Jonge
Alternatief:	uitgangs
Opmerking(en):	tijdsafhankelijke zetting in scheidende laag binnen tweede watervoerende pakket

Parameters

bovenzijde scheidende laag		70	m-mv		
onderzijde scheidende laag		110	m-mv		
GLG		2	m-mv		
verlaging aan bovenzijde		7	mwk		
verlaging aan onderzijde		0,344	mwk		
primaire zettingsconstante	Cp	50			
seculaire zettingsconstante	Cs	600			
samendrukkingsconst.	C_oneindig	37,50			
doorlatendheid (vert.)	kv	1,00E-10	m/s	=	0,00000864 m/d
volumegewicht van water	$\gamma\omega$	1000	kg/m3		
verzadigd volumegewicht bovenliggende lagen	$\gamma\tau$	1950	kg/m3		
tijdstip	ti	74	d	=	0,20 j

Enkelzijdig gedeelte

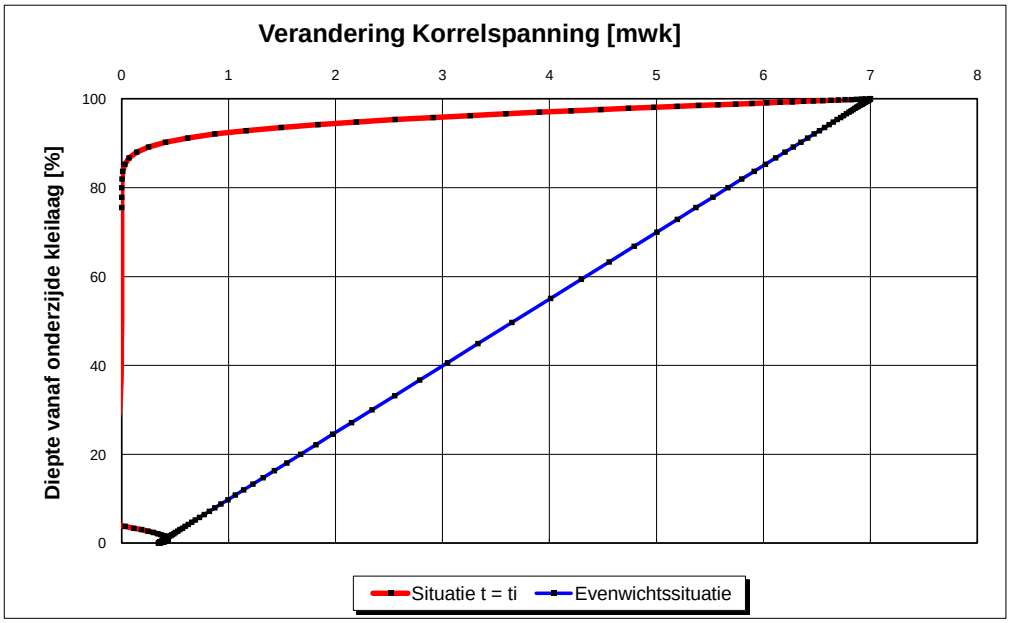
eindzetting		-39,39	mm	
hydrodynamische periode		5,48E+04	d	= 150,14 j
zetting op t=ti		9	% van eindzetting	
zetting op t=ti		-3,62	mm	

Dubbelzijdig gedeelte

eindzetting		83,99	mm	
hydrodynamische Periode	Th	2,78E+04	d	= 76,09 j
zetting op t=ti		9	% van eindzetting	
zetting op t=ti	zt =	7,23	mm	

Berekening

zetting na oneindig lange belasting	44,59	mm
zetting op t = ti	3,61	mm



Zettingsberekening

Versie 29 september 2004

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

Projectnaam:	TU Delft
Projectnummer:	57466
Datum berekening:	29-06-2011
Bijlage:	7e
Rapport:	MER
Specialist:	H. de Jonge
Opmerking(en):	zetting nabij de bron, diep alternatief
	zetting in deklaag, eerste scheidende laag en scheidende laag binnen het tweede watervoerende pakket tijdsafhankelijk berekend

Gebruikte formule van Terzaghi:

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

GLG: 2 m-mv

Materiaal	[m-mv] diepte	[m] Dikte	ΔH	[-] C_p	[-] C_s	[-] C_{onein}	[kg/m3] ρ	[N/m²] σκ	[N/m²] Δσκ	[mm] Z
	0									
Onverz.zone		2	0,01	-	-	-	1500	-		0
	2									
Klei		14		15	60	7,5	1600	70632	318,83	1
	16									
Zand		20	0,055	600	1,00E+99	600	2000	209934	539,55	0
	36									
Klei		6		30	500	24,194	2000	337464	29072	7
	42									
Zand		28	5,872	1000	1,00E+99	1000	2100	517968	57604	0
	70									
Klei		40		50	600	37,5	2000	865242	30068	3
	110									
Zand		30	0,258	1000	1,00E+99	1000	2100	1223307	2531	0
	140									
Klei		10		50	600	37,5	2000	1434222	4252,6	1
	150									
Zand		50	0,609	650	1,00E+99	650	2100	1753047	5974,3	0
	200									
Zand		30	0,741	650	1,00E+99	650	2100	2184687	7269,2	0
	230									

Totale zetting [mm]	12

Verklaring van de parameters:

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

Zettingsberekening

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

Projectnaam:	TU Delft
Projectnummer:	57466
Datum:	29-06-2011
Bijlage:	7f
Rapport:	MER
Specialist:	H. de Jonge
Alternatief:	diep
Opmerking(en):	tijdsafhankelijke zetting in de deklaag

Parameters

bovenzijde scheidende laag		2	m-mv		
onderzijde scheidende laag		16	m-mv		
GLG		2	m-mv		
verlaging aan bovenzijde		0,01	mwk		
verlaging aan onderzijde		0,055	mwk		
primaire zettingsconstante	Cp	15			
seculaire zettingsconstante	Cs	60			
samendrukkingsconst.	C_oneindig	7,50			
doorlatendheid (vert.)	kv	1,00E-09	m/s	=	0,0000864 m/d
volumegewicht van water	$\gamma\omega$	1000	kg/m3		
verzadigd volumegewicht bovenliggende lagen	$\gamma\tau$	1500	kg/m3		
tijdstip	ti	74	d	=	0,20 j

Enkelzijdig gedeelte

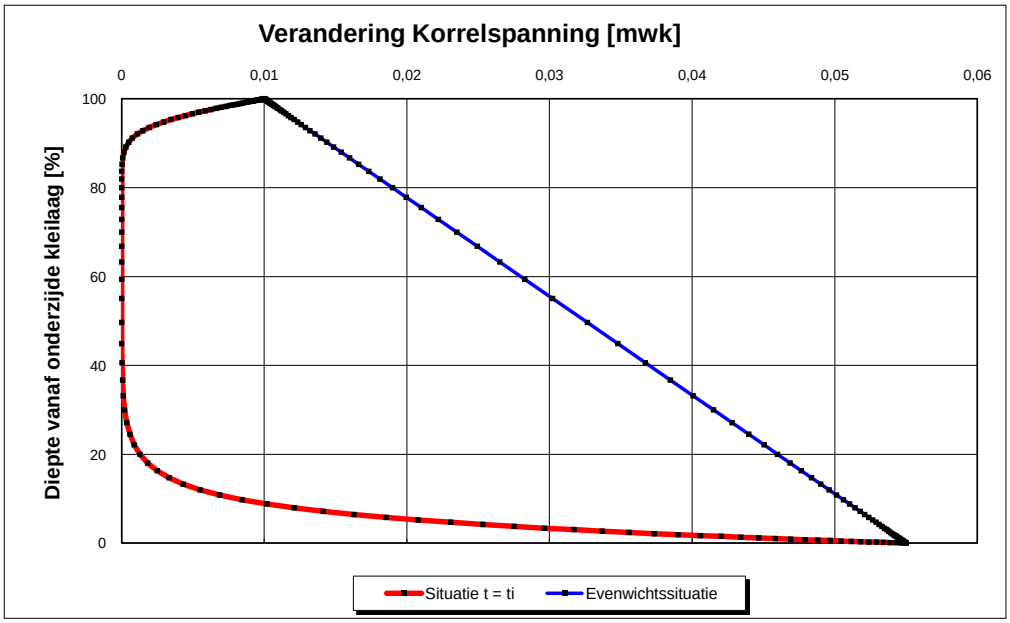
eindzetting		6,48	mm	
hydrodynamische periode		4,67E+04	d	= 127,84 j
zetting op t=ti		8	% van eindzetting	
zetting op t=ti		0,53	mm	

Dubbelzijdig gedeelte

eindzetting		3,72	mm	
hydrodynamische Periode	Th	3,01E+04	d	= 82,59 j
zetting op t=ti		10	% van eindzetting	
zetting op t=ti	zt =	0,38	mm	

Berekening

zetting na oneindig lange belasting	10,20	mm
zetting op t = ti	0,91	mm



Zettingsberekening

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

Projectnaam:	TU Delft
Projectnummer:	57466
Datum:	29-06-2011
Boring:	7g
Rapport:	MER
Specialist:	H. de Jonge
Alternatief:	diep
Opmerking(en):	tijdsafhankelijke zetting in de eerste scheidende laag

Parameters

bovenzijde scheidende laag		36	m-mv		
onderzijde scheidende laag		42	m-mv		
GLG		2	m-mv		
verlaging aan bovenzijde		0,055	mwk		
verlaging aan onderzijde		5,872	mwk		
primaire zettingsconstante	Cp	30			
seculaire zettingsconstante	Cs	500			
samendrukkingsconst.	C_oneindig	24,19			
doorlatendheid (vert.)	kv	1,00E-10	m/s	=	0,00000864 m/d
volumegewicht van water	$\gamma\omega$	1000	kg/m3		
verzadigd volumegewicht bovenliggende lagen	$\gamma\tau$	1800	kg/m3		
tijdstip	ti	74	d	=	0,20 j

Enkelzijdig gedeelte

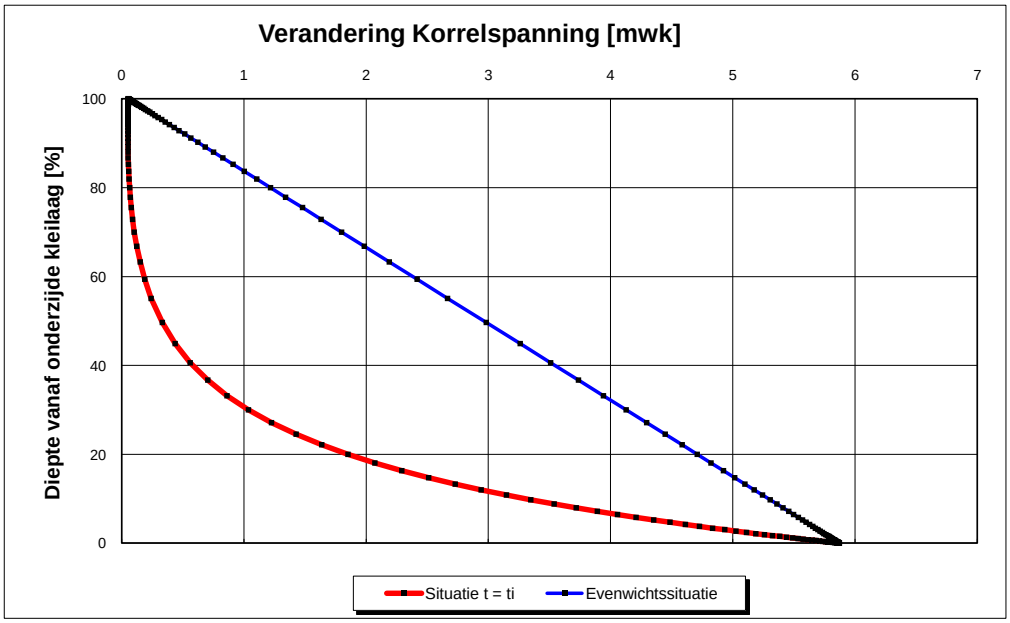
eindzetting		20,55	mm	
hydrodynamische periode		4,91E+03	d	= 13,44 j
zetting op t=ti		34	% van eindzetting	
zetting op t=ti		7,03	mm	

Dubbelzijdig gedeelte

eindzetting		0,42	mm	
hydrodynamische Periode	Th	2,65E+03	d	= 7,27 j
zetting op t=ti		27	% van eindzetting	
zetting op t=ti	zt =	0,11	mm	

Berekening

zetting na oneindig lange belasting	20,97	mm
zetting op t = ti	7,14	mm



Zettingsberekening

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

Projectnaam:	TU Delft
Projectnummer:	57466
Datum:	29-06-2011
Boring:	7h
Rapport:	MER
Specialist:	H. de Jonge
Alternatief:	diep
Opmerking(en):	tijdsafhankelijke zetting in scheidende laag binnen tweede watervoerende pakket

Parameters

bovenzijde scheidende laag		70	m-mv		
onderzijde scheidende laag		110	m-mv		
GLG		2	m-mv		
verlaging aan bovenzijde		5,872	mwk		
verlaging aan onderzijde		0,258	mwk		
primaire zettingsconstante	Cp	50			
seculaire zettingsconstante	Cs	600			
samendrukkingsconst.	C_oneindig	37,50			
doorlatendheid (vert.)	kv	1,00E-10	m/s	=	0,00000864 m/d
volumegewicht van water	$\gamma\omega$	1000	kg/m3		
verzadigd volumegewicht bovenliggende lagen	$\gamma\tau$	1950	kg/m3		
tijdstip	ti	74	d	=	0,20 j

Enkelzijdig gedeelte

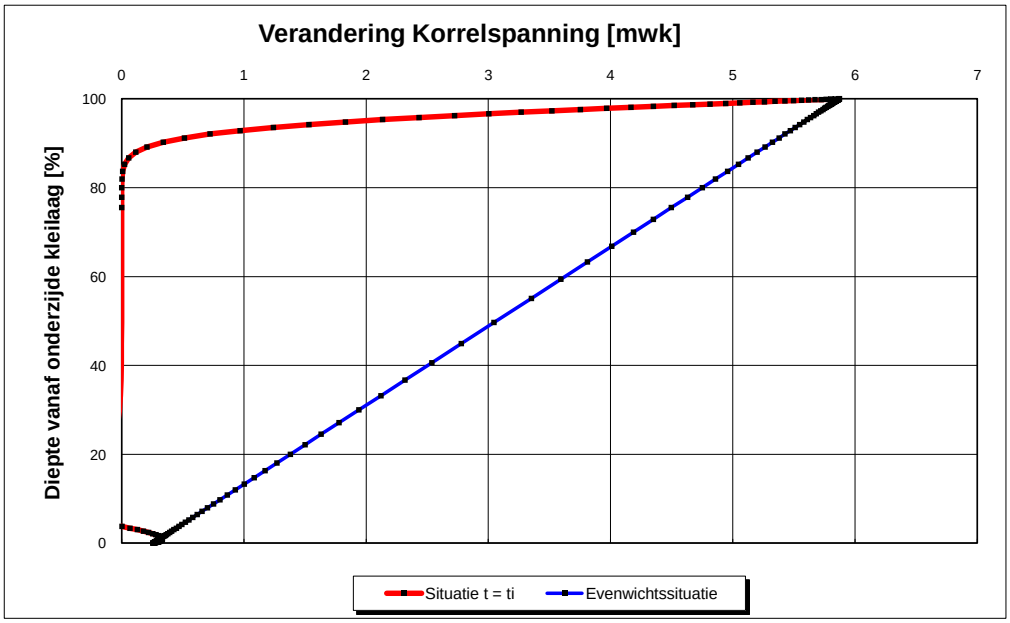
eindzetting		-33,11	mm	
hydrodynamische periode		5,46E+04	d	= 149,59 j
zetting op t=ti		9	% van eindzetting	
zetting op t=ti		-3,05	mm	

Dubbelzijdig gedeelte

eindzetting		70,90	mm	
hydrodynamische Periode	Th	2,79E+04	d	= 76,57 j
zetting op t=ti		9	% van eindzetting	
zetting op t=ti	zt =	6,07	mm	

Berekening

zetting na oneindig lange belasting	37,79	mm
zetting op t = ti	3,02	mm



Zettingsberekening

Versie 29 september 2004

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

Projectnaam:	TU Delft
Projectnummer:	57466
Datum berekening:	30-06-2011
Bijlage:	7i
Rapport:	MER
Specialist:	H. de Jonge
Opmerking(en):	zetting nabij de bron, monobron alternatief
	zetting in deklaag, eerste scheidende laag, de scheidende laag binnen het tweede watervoerende pakket en de tweede scheidende laag tijdsafhankelijk berekend

Gebruikte formule van Terzaghi:

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

GLG: 2 m-mv

Materiaal	[m-mv] diepte	[m] Dikte	ΔH	[-] C_p	[-] C_s	[-] C_{onein}	[kg/m3] ρ	[N/m²] σκ	[N/m²] Δσκ	[mm] Z	
	0										
Onverz.zone		2	0,127	-	-	-	1500	-		0	
	2										
Klei		14		15	60	7,5	1600	70632	3722,9	11	
	16										
Zand		20	0,632	600	1,00E+99	600	2000	209934	6199,9	1	
	36										
Klei		6		30	500	24,194	2000	337464	37435	9	
	42										
Zand		28	7,000	1000	1,00E+99	1000	2100	517968	68670	0	
	70										
Klei		40		50	600	37,5	2000	865242	76719	8	*
	110										
Zand		30	8,641	1000	1,00E+99	1000	2100	1223307	84768	0	
	140										
Klei		10		50	600	37,5	2000	1434222	43458	3	
	150										
Zand		80	0,219	650	1,00E+99	650	2100	1914912	2148,4	0	
	230										

Verklaring van de parameters:

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

Totale zetting [mm]	31

* De zetting is berekend door de zettingen die optreden tijdens het zomer- en het winterseizoen te sommeren. Derhalve zijn twee seperate berekeningen uitgevoerd.

Zettingsberekening

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

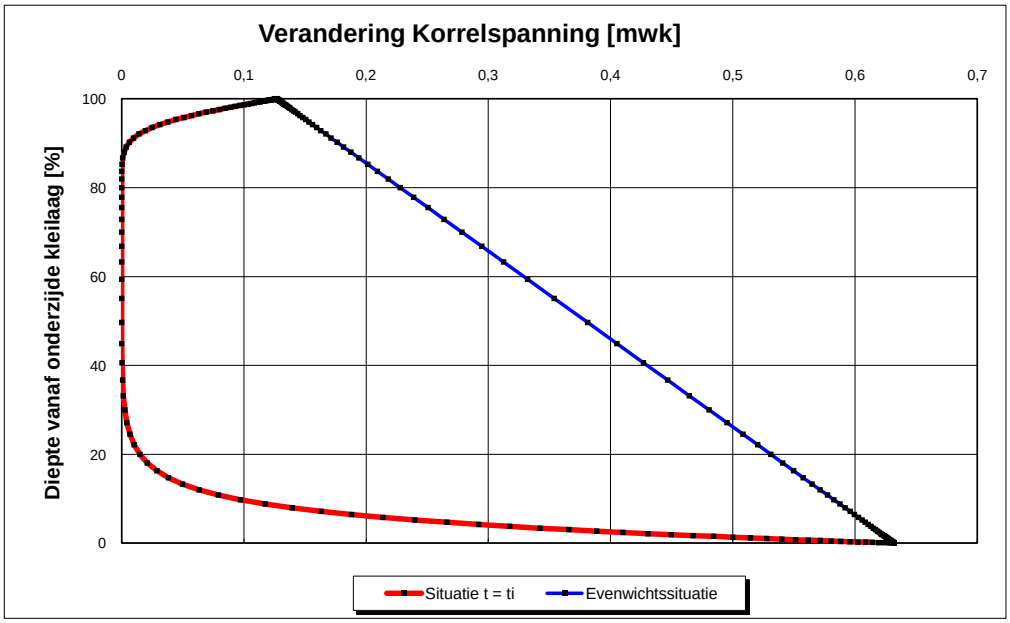
Projectnaam:	TU Delft
Projectnummer:	57466
Datum:	30-06-2011
Bijlage:	7j
Rapport:	MER
Specialist:	H. de Jonge
Alternatief:	monobron
Opmerking(en):	tijdsafhankelijke zetting in de deklaag

Parameters				
bovenzijde scheidende laag		2	m-mv	
onderzijde scheidende laag		16	m-mv	
GLG		2	m-mv	
verlaging aan bovenzijde		0,127	mwk	
verlaging aan onderzijde		0,632	mwk	
primaire zettingsconstante	Cp	15		
seculaire zettingsconstante	Cs	60		
samendrukkingsconst.	C_oneindig	7,50		
doorlatendheid (vert.)	kv	1,00E-09	m/s	= 0,0000864 m/d
volumegewicht van water	$\gamma\omega$	1000	kg/m3	
verzadigd volumegewicht bovenliggende lagen	$\gamma\tau$	1500	kg/m3	
tijdstip	ti	74	d	= 0,20 j

Enkelzijdig gedeelte			
eindzetting	71,30	mm	
hydrodynamische periode	4,58E+04	d	= 125,36 j
zetting op t=ti	8	% van eindzetting	
zetting op t=ti	5,97	mm	

Dubbelzijdig gedeelte				
eindzetting		46,62	mm	
hydrodynamische Periode	Th	2,97E+04	d	= 81,48 j
zetting op t=ti		10	% van eindzetting	
zetting op t=ti	zt =	4,75	mm	

Berekening		
zetting na oneindig lange belasting	117,93	mm
zetting op t = ti	10,72	mm



Zettingsberekening

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

Projectnaam:	TU Delft
Projectnummer:	57466
Datum:	29-06-2011
Boring:	7k
Rapport:	MER
Specialist:	H. de Jonge
Alternatief:	monobron
Opmerking(en):	tijdsafhankelijke zetting in de eerste scheidende laag

Parameters

bovenzijde scheidende laag		36	m-mv		
onderzijde scheidende laag		42	m-mv		
GLG		2	m-mv		
verlaging aan bovenzijde		0,632	mwk		
verlaging aan onderzijde		7	mwk		
primaire zettingsconstante	Cp	30			
seculaire zettingsconstante	Cs	500			
samendrukkingsconst.	C_oneindig	24,19			
doorlatendheid (vert.)	kv	1,00E-10	m/s	=	0,00000864 m/d
volumegewicht van water	$\gamma\omega$	1000	kg/m3		
verzadigd volumegewicht bovenliggende lagen	$\gamma\tau$	1800	kg/m3		
tijdstip	ti	74	d	=	0,20 j

Enkelzijdig gedeelte

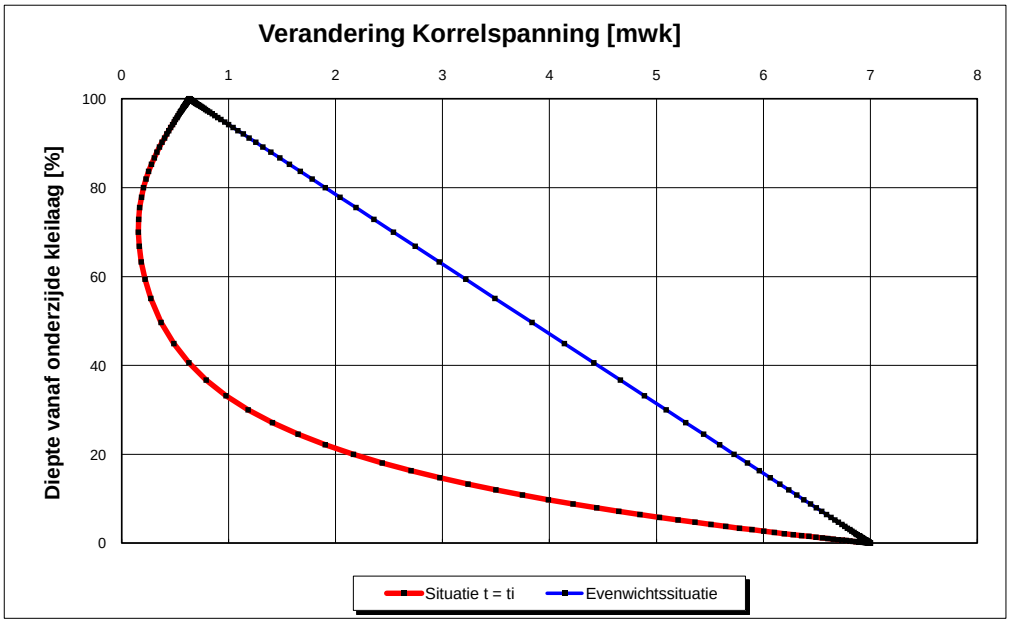
eindzetting		22,39	mm	
hydrodynamische periode		4,88E+03	d	= 13,38 j
zetting op t=ti		34	% van eindzetting	
zetting op t=ti		7,69	mm	

Dubbelzijdig gedeelte

eindzetting		4,78	mm	
hydrodynamische Periode	Th	2,63E+03	d	= 7,20 j
zetting op t=ti		27	% van eindzetting	
zetting op t=ti	zt =	1,29	mm	

Berekening

zetting na oneindig lange belasting	27,17	mm
zetting op t = ti	8,98	mm



Zettingsberekening

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

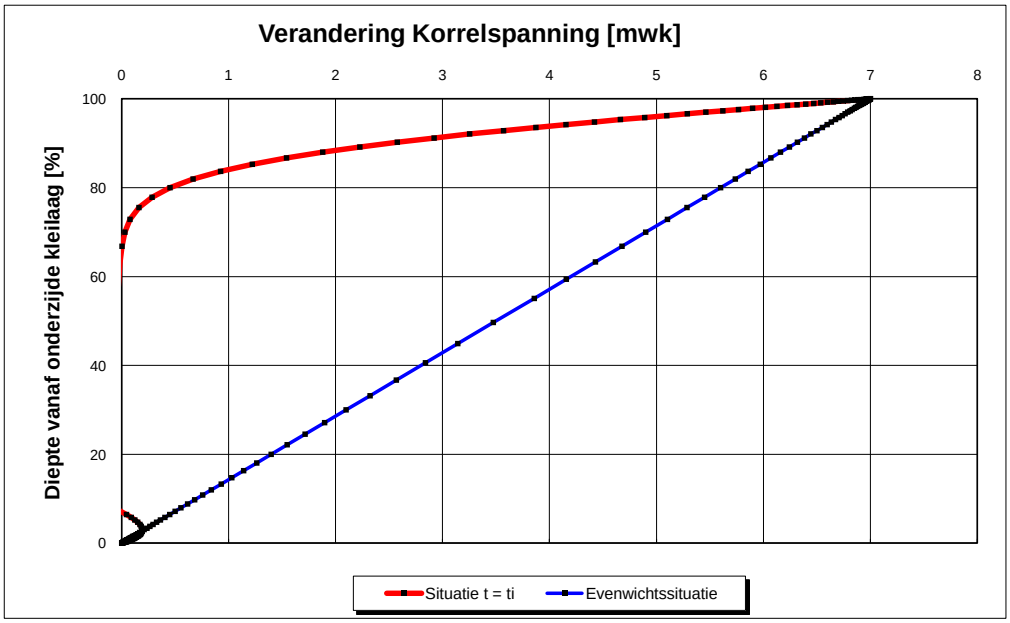
Projectnaam:	TU Delft
Projectnummer:	57466
Datum:	29-06-2011
Boring:	7I
Rapport:	MER
Specialist:	H. de Jonge
Alternatief:	monobron
Opmerking(en):	tijdsafhankelijke zetting in scheidende laag binnen tweede watervoerende pakket

Parameters				
bovenzijde scheidende laag		70	m-mv	
onderzijde scheidende laag		88	m-mv	
GLG		2	m-mv	
verlaging aan bovenzijde		7	mwk	
verlaging aan onderzijde		0	mwk	
primaire zettingsconstante	Cp	50		
seculaire zettingsconstante	Cs	600		
samendrukkingsconst.	C_oneindig	37,50		
doorlatendheid (vert.)	kv	1,00E-10	m/s	= 0,00000864 m/d
volumegewicht van water	$\gamma\omega$	1000	kg/m3	
verzadigd volumegewicht bovenliggende lagen	$\gamma\tau$	1950	kg/m3	
tijdstip	ti	74	d	= 0,20 j

Enkelzijdig gedeelte			
eindzetting		-21,90	mm
hydrodynamische periode		1,30E+04	d = 35,72 j
zetting op t=ti		20	% van eindzetting
zetting op t=ti		-4,41	mm

Dubbelzijdig gedeelte				
eindzetting		42,27	mm	
hydrodynamische Periode	Th	6,29E+03	d	= 17,23 j
zetting op t=ti		18	% van eindzetting	
zetting op t=ti	zt =	7,50	mm	

Berekening		
zetting na oneindig lange belasting	20,37	mm
zetting op t = ti	3,09	mm



Zettingsberekening

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

Projectnaam:	TU Delft
Projectnummer:	57466
Datum:	29-06-2011
Boring:	7m
Rapport:	MER
Specialist:	H. de Jonge
Alternatief:	monobron
Opmerking(en):	tijdsafhankelijke zetting in scheidende laag binnen tweede watervoerende pakket

Parameters

bovenzijde scheidende laag		88	m-mv		
onderzijde scheidende laag		110	m-mv		
GLG		2	m-mv		
verlaging aan bovenzijde		0	mwk		
verlaging aan onderzijde		8,461	mwk		
primaire zettingsconstante	Cp	50			
seculaire zettingsconstante	Cs	600			
samendrukkingsconst.	C_oneindig	37,50			
doorlatendheid (vert.)	kv	1,00E-10	m/s	=	0,00000864 m/d
volumegewicht van water	$\gamma\omega$	1000	kg/m3		
verzadigd volumegewicht bovenliggende lagen	$\gamma\tau$	1950	kg/m3		
tijdstip	ti	74	d	=	0,20 j

Enkelzijdig gedeelte

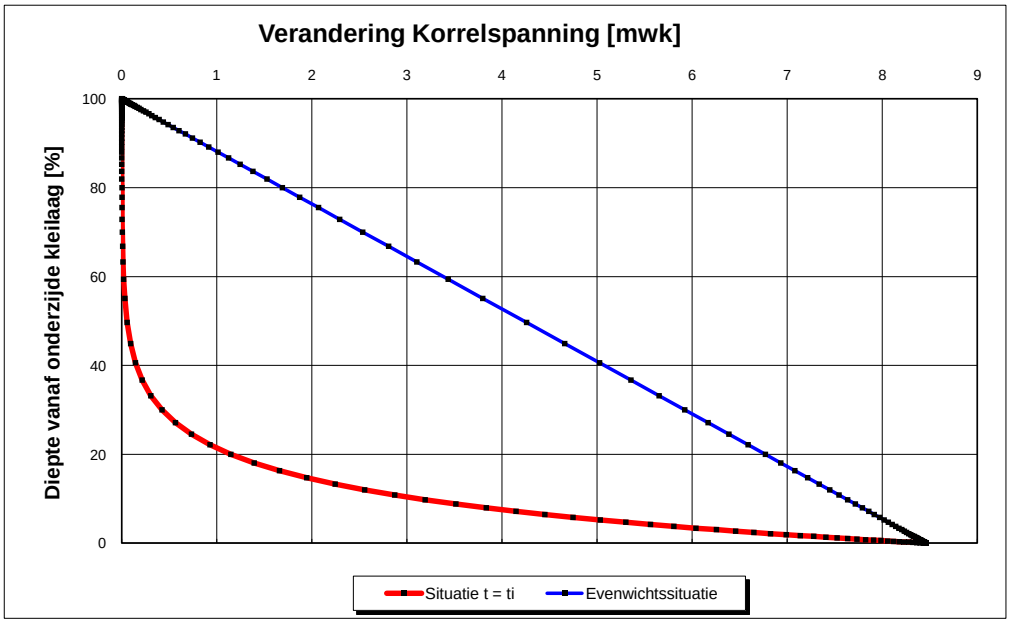
eindzetting		24,51	mm	
hydrodynamische periode		1,48E+04	d	= 40,42 j
zetting op t=ti		19	% van eindzetting	
zetting op t=ti		4,71	mm	

Dubbelzijdig gedeelte

eindzetting		0,00	mm	
hydrodynamische Periode	Th	0,00E+00	d	= 0,00 j
zetting op t=ti		100	% van eindzetting	
zetting op t=ti	zt =	0,00	mm	

Berekening

zetting na oneindig lange belasting	24,51	mm
zetting op t = ti	4,71	mm



Zettingsberekening

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

Projectnaam:	TU Delft
Projectnummer:	57466
Datum:	29-06-2011
Boring:	7n
Rapport:	MER
Specialist:	H. de Jonge
Alternatief:	monobron
Opmerking(en):	tijdsafhankelijke zetting in de tweede scheidende laag

Parameters

bovenzijde scheidende laag		140	m-mv		
onderzijde scheidende laag		150	m-mv		
GLG		2	m-mv		
verlaging aan bovenzijde		8,641	mwk		
verlaging aan onderzijde		0,219	mwk		
primaire zettingsconstante	Cp	50			
seculaire zettingsconstante	Cs	600			
samendrukkingsconst.	C_oneindig	37,50			
doorlatendheid (vert.)	kv	1,00E-10	m/s	=	0,00000864 m/d
volumegewicht van water	$\gamma\omega$	1000	kg/m3		
verzadigd volumegewicht bovenliggende lagen	$\gamma\tau$	2000	kg/m3		
tijdstip	ti	74	d	=	0,20 j

Enkelzijdig gedeelte

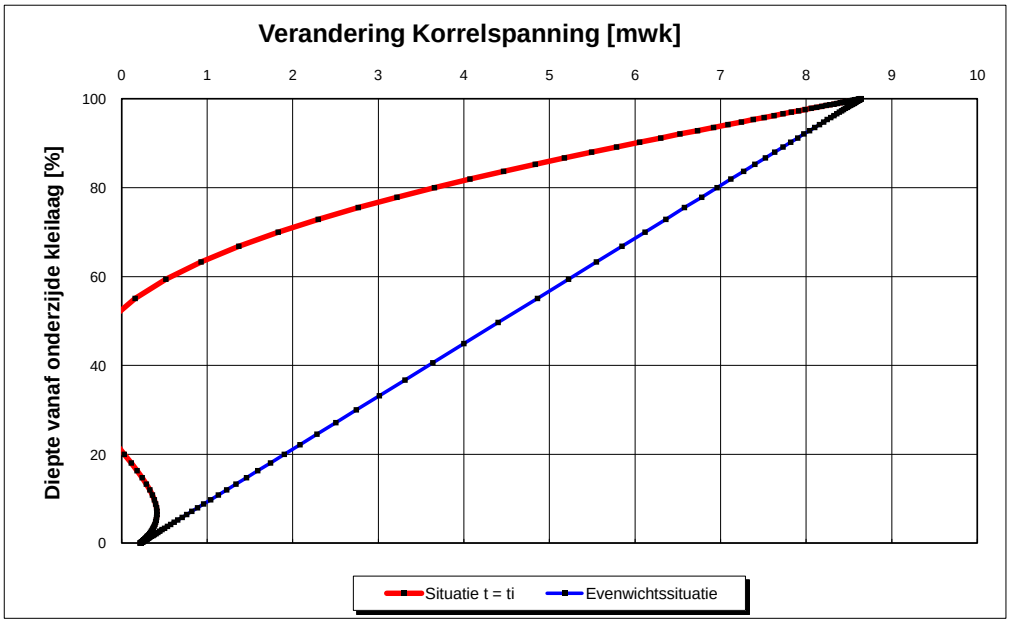
eindzetting		-7,74	mm	
hydrodynamische periode		2,13E+03	d	= 5,83 j
zetting op t=ti		50	% van eindzetting	
zetting op t=ti		-3,86	mm	

Dubbelzijdig gedeelte

eindzetting		15,31	mm	
hydrodynamische Periode	Th	1,03E+03	d	= 2,81 j
zetting op t=ti		43	% van eindzetting	
zetting op t=ti	zt =	6,65	mm	

Berekening

zetting na oneindig lange belasting	7,57	mm
zetting op t = ti	2,79	mm



Bijlage 8

Energetische en milieutechnische uitgangspunten en kengetallen

item		waarde	eenheid	bron
Rendementen en omzettingsfactoren				
-	koudefactor compressiekoelmachines:	4,0	kWh_t/kWh_e	NEN 2916
-	COP bronpompen energieopslag:	40	kWh_t/kWh_e	aanname IF
-	gemiddeld rendement elektriciteitsopwekking:	41,8	% op Ho	protocol monitoring duurzame energie update 2006
-	onderste verbrandingswaarde aardgas (Ho):	8,8	kWh_t/m^3	SenterNovem 2007
-	gemiddeld rendement ketels:	91	% op Ho	TUD
-	distributieverlies warmtenet:	5	%	TUD
Emissiefactoren:				
-	emissiefactor elektriciteit	0,566	kg/kWh_e	Cijfers en tabellen SenterNovem 2007
-	emissiefactor gas	1,780	kg/m^3	Cijfers en tabellen SenterNovem 2007