IF Technology

Milieu-effectrapport

Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven

2/9949/GB
6 oktober 2000

Milieu-effectrapport

Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven

Opdrachtgever:

TU Eindhoven
Bouwtechnische Dienst
Postbus 513
5600 MB EINDHOVEN
Tel.: 040 - 247 23 56
Fax: 040 - 244 82 65
Contactpersoon: dhr. M.J.C. Bergmans

Adviesbureau
warmte-/ koudeopslag:

Technical Management
Postbus 68
3800 AB AMERSFOORT
Tel.: 033 - 451 14 11
Fax: 033 - 455 87 79
Contactpersonen: dhr. J. Westland
dhr. R. van den Hengel

Uitvoerder
milieu-effectrapport:

IF Technology bv
Frombergstraat 1
Postbus 605
6800 AP ARNHEM
Tel.: 026 - 443 15 41
Fax: 026 - 446 01 53
E-mail: office@if-tech.nl
Contactpersonen: dhr. G. Bakema
mevr. P. Bakker

De alternatieven verschillen van elkaar op het gebied van energetisch rendement/thermische beïnvloeding, hydrologische effecten en technisch/economische aspecten. Deze verschillen ontstaan door te variëren in de ruimtelijke situering van de bronnen.

Alternatief 1 is het voorkeursalternatief. Dit alternatief komt overeen met de grondwaterinfrastructuur zoals deze is beschreven in het beleidsplan grondwaterverbruik van de TUE. Het systeem bestaat uit 3 clusters van 8 warme bronnen en 3 clusters van 8 koude bronnen.
Alternatief 2 is het meest milieuvriendelijke alternatief. Hierbij is gestreefd naar minimale effecten op het compartiment grondwater. De bronnen staan in een vierkantenraster en zijn "om en om" gepositioneerd, zodat ze een optimale dempende werking hebben op elkaars stijghoogteverandering. Deze variant is regel- en elektrotechnisch complexer en vergt meer leidingwerk (circa 20 % hogere kosten).
Bij alternatief 3 is er sprake van vier grote clusters (2 warme en 2 koude), opgesteld in een kruislings verband. Het beperkte aantal clusters en de kortere leidingafstanden maakt deze variant economisch het meest aantrekkelijk.

Voor alle alternatieven zijn berekeningen uitgevoerd om de hydrologische en thermische effecten op de omgeving bepalen.
Bij alternatief 1 bedragen de maximale grondwaterstandsveranderingen in het freatische pakket 0,15m. Bij alternatief 2 blijven de effecten van de WKO beperkt tot het opslagpakket. In het freatisch pakket treden geen meetbare grondwaterstandsveranderingen op (< 5cm). De effecten van alternatief zijn het grootst. De maximale grondwaterstandsverandering bedraagt 30 cm. Geen van de alternatieven levert schade op aan landbouw en natuur. De WKO levert geen gevaar op voor schade aan gebouwen door zettingen. De grondwatergebruikers in de omgeving van de TUE ondervinden hydrologisch geen negatieve beïnvloeding door de WKO.
Bij de alternatieven 1 en 2 blijft het thermisch invloedsgebied vrijwel beperkt tot het terrein van de TUE. Overige grondwatergebruikers ondervinden geen negatieve beïnvloeding. Bij alternatief 3 strekt het thermisch invloedsgebied zich uit tot aan de WKO van de KBC-toren, waardoor de warme bron van de KBC-toren negatief wordt beïnvloed. De thermische effecten op natuur en landbouw zijn verwaarloosbaar ten opzichte van de natuurlijke in- en uitgaande straling aan maaiveld.

Uit vele onderzoeken en meetprogramma's is gebleken dat bij energieopslag tot 30°C geen significante verandering van de chemische en microbiologische samenstelling van het grondwater plaatsvindt. Aangezien het zoet-/brakgrensvlak op circa 400 m-mv ligt, is menging van zoet en zout grondwater door de WKO uitgesloten.

Het energieverbruik van de verschillende alternatieven ligt nagenoeg op hetzelfde niveau. Wanneer geen WKO wordt toegepast, maar koeling plaats zal vinden d.m.v. compressiekoelmachines, zal het elektriciteitsverbruik met circa 20 % toenemen. Ten opzichte van de referentiesituatie wordt daarnaast met WKO sterk bespaard op verwarmingsenergie, waardoor de emissies van CO_2 en NO_x dalen. Bovendien is er bij WKO geen sprake van emissie van de ozon-afbrekende HCFC's.

Milieu-effectrapport

Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven

Opdrachtgever:	TU Eindhoven Bouwtechnische Dienst Postbus 513 5600 MB EINDHOVEN Tel.: 040 - 247 23 56 Fax: 040 - 244 82 65 Contactpersoon: dhr. M.J.C. Bergmans
Adviesbureau warmte-/ koudeopslag:	Technical Management Postbus 68 3800 AB AMERSFOORT Tel.: 033 - 451 14 11 Fax: 033 - 455 87 79 Contactpersonen: dhr. J. Westland dhr. R. van den Hengel
Uitvoerder milieu-effectrapport:	IF Technology bv Frombergstraat 1 Postbus 605 6800 AP ARNHEM Tel.: 026 - 443 15 41 Fax: 026 - 446 01 53 E-mail: office@if-tech.nl Contactpersonen: dhr. G. Bakema mevr. P. Bakker

Samenvatting

Op de Technische Universiteit Eindhoven (TUE) wordt voor de koeling van gebouwen en procesinstallaties op grote schaal gebruik gemaakt van kwalitatief goed grondwater. Het grondwaterkoelsysteem (bronnen en terreinleidingen) dat hiervoor wordt gebruikt is ruim 30 jaar oud. Tot op heden wordt een groot deel van het opgepompte grondwater na gebruik geloosd op het oppervlaktewater van de Dommel.

Het provinciaal grondwaterbeleid is erop gericht om het laagwaardig gebruik van grondwater zoveel mogelijk te beperken. Om deze reden dient de TUE de netto grondwateronttrekking terug te brengen. Hiervoor zijn in het verleden op de TUE diverse koelmachines geïnstalleerd en zijn twee WKO-projecten gerealiseerd (bij N-laag/Cyclotron en het Auditorium).
De TUE heeft hierdoor het grondwaterverbruik kunnen reduceren van circa 3.500.000 m³ in 1975 tot circa 800.000 m³ in 1999.

Verdere grondwaterbesparing is mogelijk door volledig op koelmachines over te gaan. Dit gaat echter gepaard met een sterke toename van het energieverbruik. Aangezien een toename van het energiegebruik ongewenst is en in strijd is met de door de TUE onderschreven "Meerjarenafspraak tussen de Minister van Economische Zaken, de Vereniging van Universiteiten en de Nederlandse Onderneming voor Energie en Milieu BV over de verbetering van de energie-efficiëntie", is gezocht naar alternatieve koelmogelijkheden. Dit heeft geresulteerd in het in oktober 1998 opgestelde "Beleidsplan grondwaterverbruik" waarin is voorgesteld om een centrale WKO te installeren. De WKO heeft tot doel om met een zo laag mogelijk verbruik van grondwater en van energie tot een optimale koude- en warmtelevering voor de TUE te komen.

Het WKO-systeem zal ondergronds uit 24 warme en 24 koude bronnen bestaan. De opslag vindt plaats in het eerste watervoerende pakket tussen de 28 en 75 m-v. Het maximale debiet bedraagt in de winter en zomer 3.000 m³/h. In de winter wordt circa 3.500.000 m³ grondwater onttrokken aan de warme bronnen en na afkoeling tot circa 6°C in de koude bronnen geïnjecteerd. In de zomer (koelbehoefte) wordt circa 3.000.0000 m³ grondwater onttrokken aan de koude bronnen en na opwarming tot circa 16°C in de warme bronnen geïnjecteerd. Op jaarbasis wordt derhalve circa 6,5 miljoen grondwater onttrokken en geïnfiltreerd. Deze hoeveelheid valt boven de drempelwaarde voor grondwateronttrekkingen en infiltraties zoals vernoemd in lijst C van het Besluit milieu-effectrapportage (m.e.r.). Dit betekent dat voor het nemen van een besluit door Gedeputeerde Staten van Noord-Brabant inzake de vergunningverlening op grond van artikel 14 van de Grondwaterwet een milieu-effectrapport dient te worden opgesteld.

In deze m.e.r. zijn de referentiesituatie en drie verschillende alternatieven gepresenteerd. De referentiesituatie is de situatie zoals deze oorspronkelijk was en ook zal ontstaan indien geen WKO gerealiseerd zal worden, nl. een situatie waarbij geen grondwater wordt onttrokken ten behoeve van koeling en verwarming. Koeling en verwarming zal dan plaats vinden door middel van koelmachines en ketels.
De alternatieven gaan allen uit van het vrijwel volledig leveren van koeling door middel van WKO. Het aantal bronnen en de hoeveelheid te onttrekken en te infiltreren grondwater is dan ook bij alle alternatieven gelijk.

De alternatieven verschillen van elkaar op het gebied van energetisch rendement/thermische beïnvloeding, hydrologische effecten en technisch/economische aspecten. Deze verschillen ontstaan door te variëren in de ruimtelijke situering van de bronnen.

Alternatief 1 is het voorkeursalternatief. Dit alternatief komt overeen met de grondwaterinfrastructuur zoals deze is beschreven in het beleidsplan grondwaterverbruik van de TUE. Het systeem bestaat uit 3 clusters van 8 warme bronnen en 3 clusters van 8 koude bronnen.
Alternatief 2 is het meest milieuvriendelijke alternatief. Hierbij is gestreefd naar minimale effecten op het compartiment grondwater. De bronnen staan in een vierkantenraster en zijn "om en om" gepositioneerd, zodat ze een optimale dempende werking hebben op elkaars stijghoogteverandering. Deze variant is regel- en elektrotechnisch complexer en vergt meer leidingwerk (circa 20 % hogere kosten).
Bij alternatief 3 is er sprake van vier grote clusters (2 warme en 2 koude), opgesteld in een kruislings verband. Het beperkte aantal clusters en de kortere leidingafstanden maakt deze variant economisch het meest aantrekkelijk.

Voor alle alternatieven zijn berekeningen uitgevoerd om de hydrologische en thermische effecten op de omgeving bepalen.
Bij alternatief 1 bedragen de maximale grondwaterstandsveranderingen in het freatische pakket 0,15m. Bij alternatief 2 blijven de effecten van de WKO beperkt tot het opslagpakket. In het freatisch pakket treden geen meetbare grondwaterstandsveranderingen op (< 5cm). De effecten van alternatief zijn het grootst. De maximale grondwaterstandsverandering bedraagt 30 cm. Geen van de alternatieven levert schade op aan landbouw en natuur. De WKO levert geen gevaar op voor schade aan gebouwen door zettingen. De grondwatergebruikers in de omgeving van de TUE ondervinden hydrologisch geen negatieve beïnvloeding door de WKO.
Bij de alternatieven 1 en 2 blijft het thermisch invloedsgebied vrijwel beperkt tot het terrein van de TUE. Overige grondwatergebruikers ondervinden geen negatieve beïnvloeding. Bij alternatief 3 strekt het thermisch invloedsgebied zich uit tot aan de WKO van de KBC-toren, waardoor de warme bron van de KBC-toren negatief wordt beïnvloed. De thermische effecten *op natuur en landbouw zijn verwaarloosbaar ten opzichte van de natuurlijke in- en uitgaande* straling aan maaiveld.

Uit vele onderzoeken en meetprogramma's is gebleken dat bij energieopslag tot 30°C geen significante verandering van de chemische en microbiologische samenstelling van het grondwater plaatsvindt. Aangezien het zoet-/brakgrensvlak op circa 400 m-mv ligt, is menging van zoet en zout grondwater door de WKO uitgesloten.

Het energieverbruik van de verschillende alternatieven ligt nagenoeg op hetzelfde niveau. Wanneer geen WKO wordt toegepast, maar koeling plaats zal vinden d.m.v. compressiekoelmachines, zal het elektriciteitsverbruik met circa 20 % toenemen. Ten opzichte van de referentiesituatie wordt daarnaast met WKO sterk bespaard op verwarmingsenergie, waardoor de emissies van CO_2 en NO_x dalen. Bovendien is er bij WKO geen sprake van emissie van de ozon-afbrekende HCFC's.

De drie alternatieven en de referentiesituatie zijn vergeleken en beoordeeld op basis van milieu en economische aspecten. Dit heeft geresulteerd in een zogenaamd milieurendement: de verhouding tussen de meerkosten en de milieuwinst van een alternatief ten opzichte van de referentiesituatie. Hieruit blijkt dat alle alternatieven milieuwinst opleveren in vergelijking met de referentiesituatie. Alternatief 2 heeft de hoogste milieuwinst, maar vergt ook aanzienlijke meerkosten.

Alternatief 3 heeft de laagste kosten, maar het minste milieuwinst en daardoor het laagste milieurendement. Voor de realisatie van WKO op de TUE gaat de voorkeur daarom uit naar het toepassen van alternatief 1.

Inhoud

Pagina

Samenvatting 3

I Inleiding 10
1 Algemeen 10
2 Leeswijzer 10

II Hoofdpunten richtlijnen milieu-effectrapportage 12

III Probleemstelling, doel en besluitvorming 14
1 Probleemstelling 14
2 Doelstelling 14
3 Besluitvorming 15
3.1 Juridisch kaderGrondwaterwet 15
3.2 Beleidskader 16
3.3 Randvoorwaarden 17

IV Voorgenomen activiteit en alternatieven 19
1 Principe van warmte- en koudeopslag 19
2 Warmte- en koudeopslagsysteem TUE 19
3 Referentiesituatie en alternatieven 20
3.1 Referentiesituatie 20
3.2 Alternatieven 20

V Bestaande milieutoestand en autonome ontwikkeling 24
1 Studiegebied 24
2 Bodem en water 24
3 Natuur en landschap 25
4 Energieverbruik en emissies 25

VI Milieu-effecten van de WKO 28
1 Hydrologische effecten 28
1.1 Stijghoogte- en grondwaterstandsveranderingen 28
1.2 Invloed op de omgeving 28
2 Thermische effecten 29
2.1 Temperatuurveranderingen 29
2.2 Invloed op de omgeving 29
3 Effecten op de waterkwaliteit 29
4 Energieverbruik en emissies 30
5 Gevolgen voor ondergronds ruimtegebruik 30
6 Herstel- en compensatiemogelijkheden 31
6.1 Herstel- en compensatie van de effecten 31
6.2 Omkeerbaarheid van de WKO 31

VII Beoordeling van de alternatieven 33

VIII Leemten in informatie 35

IX Voorstel evaluatieprogramma 37

Literatuurlijst 39

Afkortingenen verklarende woordenlijst 41

Bijlagen 42

Bijlage bij deel IV B-IV.1

1 Warmte- en koudeopslagsysteem TUE B-IV.2
1.1 Systeemconcept B-IV.2
1.2 Koude- en warmtevraag B-IV.3
1.3 Het gebruik van restwarmte B-IV.6

2 Bronontwerp B-IV.7

Bijlage bij deel V B-V.1

1 Beschrijving studiegebied B-V.2

2 Bodem en water B-V.3
2.1 Bodemopbouw B-V.3
2.2 Geohydrologische parameters B-V.4
2.3 Grondwaterstroming B-V.7
2.4 Grondwaterkwaliteit en -temperatuur B-V.7
2.5 Overige grondwatergebruikers B-V.8
2.6 Bodem- en grondwaterverontreinigingen B-V.9
2.7 Waterhuishouding B-V.10

3 Natuur en landschap B-V.11
3.1 Natuur B-V.11
3.2 Landbouw B-V.11
3.3 Bebouwing B-V.12

4 Energie en emissies B-V.13
4.1 Energieverbruik B-V.13
4.2 HCFC-emissie B-V.14

Bijlage bij deel VI B-VI.1

1 Hydrologische effecten B-VI.2
1.1 Uitgangspunten voor de berekeningen B-VI.2
1.2 Stijghoogte- en grondwaterstandsveranderingen B-VI.3
1.3 Invloed op de omgeving B-VI.4
1.4 Gevoeligheidsanalyse B-VI.6

2 Hydrothermische effecten B-VI.8
2.1 Uitgangspunten voor de berekeningen B-VI.8
2.2 Temperatuurveranderingen B-VI.9
2.3 Invloed op de omgeving B-VI.9
2.4 Gevoeligheidsanalyse B-VI.10
2.5 Opslagrendement B-VI.10

3 Effecten op de waterkwaliteit B-VI.13
3.1 Invloed van de temperatuur B-VI.13
3.2 Menging van watertypen B-VI.16
3.3 Invloed op bodem- en grondwaterverontreinigingen B-VI.16
3.4 Invloed van het bovengrondse systeem B-VI.16
3.5 Invloed van het grondwatersysteem B-VI.17

4 Energieverbruik en emissies B-VI.18

5 Effecten op gebruik ondergrond B-VI.19

Figuren

Figuren bij deel IV

Figuren bij deel V

Figuren bij deel VI

Figuren bij deel XI

Deel I

Inleiding

I Inleiding

1 Algemeen

De Technische Universiteit Eindhoven (TUE) is voornemens om op haar terrein in Eindhoven een centrale ondergrondse warmte- en koudeopslag (WKO) met bijhorende installaties te realiseren. Het WKO-systeem zal gelijktijdig grondwater onttrekken en infiltreren. Deze activiteit is vergunningplichtig in het kader van de Grondwaterwet.

Op jaarbasis wordt circa 6,5 miljoen grondwater onttrokken en geïnfiltreerd. Deze hoeveelheid valt boven de drempelwaarde voor grondwateronttrekkingen en infiltraties zoals vernoemd in lijst C van het Besluit milieu-effectrapportage (m.e.r.). Dit betekent dat voor de vergunning inzake de Grondwaterwet een m.e.r. moet worden uitgevoerd.
In een milieu-effectrapport (MER) dienen de huidige situatie en de effecten van het WKO zodanig beschreven te worden, dat het mogelijk wordt het milieubelang volwaardig in de besluitvorming mee te wegen.

Voorafgaand aan deze m.e.r. is een startnotitie ingediend bij GS van de Provincie Noord-Brabant (lit. 1). De m.e.r.-commissie heeft de Provincie geadviseerd over de aan de m.e.r. te stellen richtlijnen. Op basis van het advies van de m.e.r.-commissie en de inzichten van de Provincie zijn de definitieve richtlijnen uitgebracht (lit. 2).

2 Leeswijzer

Teneinde een te grote boom van subparagrafen te voorkomen is de studie opgedeeld in delen (Romeinse nummering), waarbij ieder deelnummer correspondeert met een hoofdstuk uit de richtlijnen.

In deel II worden de hoofdpunten van de richtlijnen voor de m.e.r. beschreven. Deel III beschrijft de probleem- en doelstelling en hoe er binnen de wet- en regelgeving en het beleid tot het huidige concept van WKO is gekomen. Deel IV geeft een beschrijving van de voorgenomen activiteit, het referentiekader en de alternatieven. In deel V worden de bestaande milieutoestand en de autonome ontwikkelingen weergegeven. Hieronder vallen onder meer een beschrijving van de geo(hydro)logie van het gebied, alle mogelijke belanghebbenden (natuur, landbouw, stedelijk groen en bebouwing) en het energiegebruik van de TUE. De effecten op het milieu en de daarmee samenhangende grond(water)gebruikers worden beschreven in deel VI. In deel VII worden de verschillende alternatieven beoordeeld. In deel VIII wordt inzicht gegeven in de onzekerheden in deze studie ten gevolge van het ontbreken van informatie. In deel IX worden voorstellen gedaan hoe het WKO systeem op een doelmatige manier kan worden gemonitoord. In deel X en XI volgen respectievelijk de literatuurlijst en een verklarende woordenlijst. In de diverse bijlagen zijn de tabellen en tekeningen opgenomen en worden de in de hoofdtekst beschreven onderwerpen meer in detail toegelicht.

Deel II

Hoofdpunten richtlijnen milieu-effectrapportage

II Hoofdpunten richtlijnen milieu-effectrapportage

De provincie Noord-Brabant heeft, op basis van het advies van de m.e.r.commissie, richtlijnen opgesteld voor de m.e.r. De richtlijnen geven aan welke informatie het MER moet bevatten om het mogelijk te maken het milieubelang volwaardig in de besluitvorming mee te wegen.

De provincie Noord-Brabant acht de volgende punten in het op te stellen MER voor de warmte- en koudeopslaginstallatie ter plaatse van de TUE het meest van belang:

- De hydrologische effecten van de voorgenomen activiteit en de alternatieven, alsmede de afgeleide effecten hiervan. Onder afgeleide effecten dienen de effecten te worden verstaan zoals wateroverlast, aantrekken van verontreinigingen, zettingen, effecten op natuurgebieden e.d. De effecten dienen een duidelijke relatie te hebben met de voorgenomen activiteit.
- Er dient een duidelijk inzicht te worden gegeven over de bandbreedte van de berekeningen. Hierbij dient een duidelijke afweging te worden gemaakt over de gemaakte keuzes.
- De voorgenomen activiteit en alternatieven kunnen op twee manieren verschillen: 1: energiebesparing/milieurendement en 2: effecten op de grondwaterstand en bijbehorende effecten.
- De situering van de bronnen en de daaraan gekoppelde tijd van het jaar waarin ze grondwater onttrekken of injecteren dient duidelijk beschreven te worden. Deze configuratie is afhankelijk van duidelijke randvoorwaarden en afwegingen.
- In het meest milieuvriendelijke alternatief (mma) dient te worden gestreefd naar een situatie met zo veel mogelijk positieve effecten op de grondwaterstanden en een zo hoog mogelijk energierendement. Hierbij dient duidelijk rekening te worden gehouden met het feit dat dezelfde effecten op verschillende plaatsen zowel positief als negatief kunnen zijn.

Deel III

Probleemstelling, doel en besluitvorming

III Probleemstelling, doel en besluitvorming

1 Probleemstelling

Op de Technische Universiteit Eindhoven (TUE) wordt voor de koeling van gebouwen en procesinstallaties op grote schaal gebruik gemaakt van kwalitatief goed grondwater. Het grondwaterkoelsysteem (bronnen en terreinleidingen) dat hiervoor wordt gebruikt is ruim 30 jaar oud. Tot op heden wordt een groot deel van het opgepompte grondwater na gebruik geloosd op het oppervlaktewater van de Dommel.

Het provinciaal grondwaterbeleid is erop gericht om het laagwaardig gebruik van grondwater zoveel mogelijk te beperken. Om deze reden dient de TUE de netto grondwateronttrekking terug te brengen. Hiervoor zijn in het verleden op de TUE diverse koelmachines geïnstalleerd en zijn twee WKO-projecten gerealiseerd (bij N-laag/Cyclotron en het Auditorium).
De TUE heeft hierdoor het grondwaterverbruik kunnen reduceren van circa 3.500.000 m^3 in 1975 tot circa 800.000 m^3 in 1999.

Verdere grondwaterbesparing is mogelijk door volledig op koelmachines over te gaan. Dit gaat echter gepaard met een sterke toename van het energieverbruik. Aangezien een toename van het energiegebruik ongewenst is en in strijd is met de door de TUE onderschreven "Meerjarenafspraak tussen de Minister van Economische Zaken, de Vereniging van Universiteiten en de Nederlandse Onderneming voor Energie en Milieu BV over de verbetering van de energie-efficiëntie", is gezocht naar alternatieve koelmogelijkheden. Dit heeft geresulteerd in het in oktober 1998 opgestelde "Beleidsplan grondwaterverbruik" (lit. 3), waarin is voorgesteld om een centrale WKO te installeren.

Op basis van het beleidsplan heeft het College van Bestuur van de TUE besloten een centrale WKO aan te leggen. De aanleg maakt deel uit van het "Masterplan huisvesting TUE" dat sinds 1994 in ontwikkeling is en de komende 5 jaar voorziet in nieuwbouw en verbouw van de gebouwen van de TUE (lit. 4). Tijdens de uitvoering van het Masterplan zullen nagenoeg alle gebouwen voor ruimtekoeling en gedeeltelijk verwarming worden aangesloten op het centrale WKO-systeem.

2 Doelstelling

Het project WKO heeft tot doel om met een zo laag mogelijk verbruik van grondwater en van energie tot een optimale koude- en warmtelevering voor de TUE te komen.

Ten aanzien van het grondwaterverbruik wordt gestreefd naar een niveau waarbij alleen grondwater wordt onttrokken om de bronnen te onderhouden (spuien).
Ten aanzien van de koeling wordt gestreefd naar het direct, zonder tussenkomst van een koelmachine, leveren van koude aan alle gebouwen en processen op het TUE-terrein.
Tenslotte wordt voor de verwarming gestreefd naar het leveren van lage temperatuur warmte die met behulp van warmtepompen tot de levering van warmte kan leiden.

Naast de WKO zal om de bovengenoemde doelstelling te bereiken, geïnvesteerd worden in de huidige koel- en verwarmingsinstallatiesystemen van de diverse gebouwen.

3 Besluitvorming

Voor het ontwerp en de realisatie van een warmte- en koudeopslagsysteem ter plaatse van de TUE dient de wet- en regelgeving en het nationaal en provinciaal beleid in acht te worden genomen. In de volgende paragrafen worden het juridisch kader en beleidskader met betrekking tot WKO op de TUE toegelicht.

3.1 Juridisch kaderGrondwaterwet

In de Grondwaterwet is bepaald dat het onttrekken en infiltreren van grondwater zonder vergunning van Gedeputeerde Staten verboden is (artikel 14).

Op het TUE-terrein wordt al geruime tijd grondwater onttrokken voor koeldoeleinden. Op basis van de voormalige Grondwaterverordening Noord-Brabant werd men van rechtswege geacht over een vergunning te beschikken voor een grondwaterwinning van 3.374.000 m^3 per jaar, zijnde het gebruik over 1975.

Sinds 1986 is de provincie Noord-Brabant met de TUE in onderhandeling over een vermindering van de grondwateronttrekking tot uiteindelijk 750.000 m^3. In 1988 is door de TUE een vergunningaanvraag ingediend waarin is aangegeven in 1994 een onttrekking van maximaal 850.000 m^3/jaar nodig te hebben en vanaf 1999 nog 750.000 m^3/jaar. In 1989 is door de Technische Commissie Grondwaterbeheer advies op de aanvraag uitgebracht. Daarna is de procedure aangehouden in verband met onderzoek naar mogelijkheden van koudeopslag in de bodem.

In augustus 1995 is door de provincie Noord-Brabant een ontwerp-beschikking (nr. 336601) afgegeven voor:

1. het oppompen van grondwater tot een hoeveelheid van maximaal 803.000 m^3 per jaar ten behoeve van koeling van gebouwen, apparatuur en proefopstellingen;
2. het oppompen en injecteren van grondwater tot een hoeveelheid van maximaal 800.000 m^3/jaar ten behoeve van het koudeopslagsysteem voor N-laag en Cyclotron.

In november 1995 heeft de provincie Noord-Brabant een beschikking afgegeven (nr. 353559) voor het onttrekken en infiltreren van 235.000 m^3 grondwater per jaar ten behoeve van een koudeopslagsysteem ter plaatse van het Auditorium.

Bij de aanvraag voor de vergunning voor de centrale WKO wordt ervan uitgegaan dat de genoemde vergunningen komen te vervallen en worden ondergebracht in de nieuwe vergunning.

Besluit m.e.r.
Voor het warmte-/koudeopslagsysteem van de TUE zal op jaarbasis circa 6,5 miljoen grondwater worden onttrokken en geïnfiltreerd. Deze hoeveelheid valt boven de drempelwaarde voor grondwateronttrekkingen en -infiltraties zoals vernoemd in lijst C van het Besluit m.e.r. (drempelwaarde = 3 miljoen m^3/jaar).
Dit betekent dat voor het nemen van een besluit door Gedeputeerde Staten van Noord-Brabant inzake de vergunningverlening op grond van artikel 14 van de Grondwaterwet een MER dient te worden opgesteld.

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

het College van Bestuur van de TU Eindhoven
Postbus 513
5600 MB EINDHOVEN

Bevoegd gezag
Gedeputeerde Staten van Noord-Brabant is bevoegd gezag voor het besluit tot afgifte van de vergunning in het kader van de Grondwaterwet.

Hinderwet / Wet Milieubeheer
In september 1965 is door de gemeente Eindhoven een vergunning verleend voor het *"oprichten, in werking brengen en in werking houden van een bronwatervoorzieningsinstallatie, waarin electromotoren zullen worden gebezigd met een gezamenlijk vermogen groter dan 2 pk"*. In juli 1971 is een vergunning verleend voor het *uitbreiden en wijzigen* van de bronwatervoorzieningsinstallatie.

Op dit moment zijn op het TUE-terrein meerdere milieuvergunningen van kracht. Bij de TUE bestaat het voornemen om voor het gehele terrein een complex-vergunning aan te vragen. Zolang dit nog niet is gebeurd blijven de separate milieuvergunningen van kracht en zal ook voor de centrale WKO een milieuvergunning moeten worden aangevraagd. Op 22 februari 2000 heeft de TUE hierover overleg gehad met de Milieudienst Regio Eindhoven. In dit gesprek is door de Milieudienst voorgesteld om de centrale WKO door middel van een revisie onder te brengen bij een vigerende vergunning.

Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren
De TUE heeft een vergunning ingevolge de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (WVO). De vergunning is in februari 1996 ambtshalve gewijzigd door het waterschap De Dommel (kenmerk beschikking 89.3773). De lozing van koelwater van het huidige grondwaterkoelsysteem is een onderdeel van de WVO-vergunning. Het lozen van het ontwikkelwater en het periodiek spuien van de bronnen in de toekomstige situatie vallen eveneens binnen de bestaande WVO-vergunning.

Provinciale milieuverordening
De provinciale milieuverordening is een verordening ter bescherming van het milieu. Hierin zijn o.a. de grondwater- en bodembeschermingsgebieden in vastgelegd. In deze gebieden is in principe geen warmte- en koudeopslag toegestaan (lit. 5). De TUE bevindt zich niet binnen een grondwater- of bodembeschermingsgebied.

3.2 Beleidskader

Waterhuishoudingsplan
In het Waterhuishoudingsplan legt de provincie de hoofdlijnen voor het waterbeleid vast. Ten aanzien van warmte- en koudeopslag is aangegeven dat de provincie dit als positief beschouwd, mits verontreiniging en te grote temperatuurschommelingen worden voorkomen. Verder is aangegeven dat warmte- en koudeopslag bij voorkeur in het ondiepe watervoerende pakket dient te worden gesitueerd. De diepere watervoerende pakketten worden gereserveerd voor drinkwaterwinning (lit. 7).

Provinciaal milieubeleidsplan
Het provinciaal milieubeleidsplan (lit. 8) is een uitwerking van het nationale milieubeleidsplan en vertaalt het rijksbeleid naar de provincie-specifieke omstandigheden. Het doel van het milieubeleidsplan is te komen tot een duurzame ontwikkeling. Een van de thema's die hieronder valt is een duurzame energievoorziening en een verbetering van de energie-efficiëntie. In dit kader is de "Meerjarenafspraak tussen de Universiteiten en de Minister van Economische Zaken over verbetering van de energie-efficiëntie" (Den Haag 27 april 1999) opgesteld. Hierin is aanbevolen te zoeken naar alternatieve koelmogelijkheden om de energie-efficiëntie te verbeteren. Dit heeft geresulteerd in een voorstel voor een centrale warmte-/koudeopslag installatie.

Masterplan Huisvesting TUE
Het Masterplan Huisvesting TUE (lit. 4) is sinds 1994 in ontwikkeling en beschrijft de herinrichting en nieuwbouw van het TUE-terrein. De aanleg van het WKO-systeem maakt deel uit van het Masterplan, zodat ook de nieuwbouw aangesloten kan worden op het systeem.

3.3 Randvoorwaarden

Uit het juridisch kader en het beleidskader kunnen de volgende randvoorwaarden voor het WKO-systeem worden geformuleerd:

- het laagwaardig gebruik van grondwater moet worden voorkomen;
- de vergunning Grondwaterwet voor het WKO vervangt alle reeds in het verleden afgegeven vergunningen;
- de WKO is m.e.r.-plichtig;
- verspreiding van mogelijke verontreinigingen en te grote temperatuurschommelingen als gevolg van de WKO dienen te worden voorkomen;
- WKO dient (bij voorkeur) plaats te vinden in het ondiepe watervoerende pakket;
- toekomstige nieuwbouw op het terrein van de TUE dient zoveel mogelijk aangesloten te worden op het WKO-systeem.

Deel IV

Voorgenomen activiteit en alternatieven

IV Voorgenomen activiteit en alternatieven

1 Principe van warmte- en koudeopslag

Het principe van warmte- en koudeopslag is weergegeven in figuur IV.1 en is als volgt te beschrijven:

- In de zomerperiode wordt grondwater met een lage temperatuur onttrokken aan een watervoerende zandlaag (een zgn. aquifer). Dit grondwater wordt gebruikt voor koeling en vervolgens op een andere plaats geïnfiltreerd in dezelfde zandlaag. Het grondwater heeft dan een hogere temperatuur omdat het de warmte, die vrijkomt bij de koeling, heeft opgenomen.
- In de winterperiode wordt de stromingsrichting omgekeerd. Het relatief warme water wordt onttrokken, in temperatuur verlaagd en vervolgens geïnfiltreerd in de koude bron. De afkoeling van het grondwater kan bijvoorbeeld plaatsvinden met koude buitenlucht (koeltorens of koelers) of koud oppervlaktewater. In dat geval wordt de warmte afgevoerd naar de atmosfeer. Het is echter ook mogelijk de warmte nuttig te gebruiken, bijvoorbeeld om ventilatielucht voor te verwarmen of als warmtebron voor een warmtepomp. In dat geval worden zowel de opgeslagen koude als de opgeslagen warmte nuttig gebruikt en is er sprake van een gecombineerde koude- en (lage temperatuur) warmteopslag.

2 Warmte- en koudeopslagsysteem TUE

De centrale WKO-installatie bestaat uit meerdere (clusters van) warme en koude bronnen. De bronnen worden aangesloten op een distributienet voor koude respectievelijk lage-temperatuurwarmte. Alle gebouwen (gebruikers) kunnen op deze distributienetten aansluiten (zie figuur IV.1).

Voor de centrale WKO wordt een nieuwe grondwaterinfrastructuur aangelegd die de mogelijkheid biedt gelijktijdig zowel koude als warmte af te nemen. Al naar gelang de momentane vraag naar koude en lage temperatuur warmte, worden meer of minder onttrekkingsbronnen en infiltratiebronnen ingeschakeld.

Voor de warmte- en koudeopslag wordt overeenkomstig het beleid van de provincie gebruik gemaakt van het eerste watervoerende pakket. Op het TUE-terrein bevindt deze laag zich tussen circa 25 en 75 m-mv. Dit biedt eveneens de mogelijkheid de bestaande koudeopslag-systemen, bij N-laag/Cyclotron en het Auditorium, in het nieuwe systeem te integreren. Het bestaande grondwaterkoelsysteem, waarbij lozing plaats vindt op de Dommel, zal geleidelijk worden afgebouwd. De afbouw is gekoppeld aan de renovatie van de gebouwen die thans nog van de bestaande grondwaterkoeling gebruik maken.

De technische uitgangspunten en ontwerpgegevens worden besproken in de bijlage bij deel V.

3 Referentiesituatie en alternatieven

3.1 Referentiesituatie

De verschillende alternatieven worden vergeleken t.o.v. de referentiesituatie. Als referentiesituatie is de situatie gekozen zoals deze oorspronkelijk was en (overeenkomstig het beleid) ook zal ontstaan wanneer er geen WKO gerealiseerd zal worden, nl. een situatie waarbij geen grondwater wordt onttrokken ten behoeve van koeling/verwarming (autonome situatie). Koeling en verwarming zal dan plaats vinden door middel van koelmachines en ketels. In deze situatie is geen sprake van verhoging of verlaging van stijghoogten en grondwaterstanden.

3.2 Alternatieven

3.2.1 Uitgangspunten en randvoorwaarden

In deze m.e.r worden drie verschillende alternatieven gepresenteerd. Alle alternatieven dienen te voldoen aan de volgende uitgangspunten en randvoorwaarden:

- de koudevraag van de TUE wordt vrijwel volledig gedekt door het centrale WKO-systeem;
- de aan te brengen voorzieningen (bronnen, ondergrondse infrastructuur en overige technische voorzieningen) moeten technisch inpasbaar zijn op het (eigen) TUE-terrein;
- het WKO-systeem moet technisch realiseerbaar zijn;
- de realisatie en exploitatie moet economisch haalbaar zijn (binnen het Masterplan);
- er mogen geen nadelige geotechnische gevolgen ontstaan (opbreken deklaag of onaanvaardbare zetting);
- het thermisch rendement moet zo hoog mogelijk zijn;
- de effecten voor bestaande grondwatergebruikers en de effecten voor de milieucompartimenten (water, bodem en lucht) moeten aanvaardbaar zijn.

De alternatieven gaan allen uit van het vrijwel volledig leveren van koeling met de WKO. Alternatieven waarbij slechts een gedeelte van de koeling door de WKO wordt geproduceerd zijn om economische en milieuhygiënische redenen niet meegenomen. Dit resulteert uiteindelijk in de technische randvoorwaarde dat het aantal bronnen en de hoeveelheid te onttrekken en infiltreren grondwater bij de verschillende alternatieven gelijk zijn. Ook voor wat betreft aanleg en het onderhoud zijn de alternatieven onderling vergelijkbaar. Voor alle alternatieven geldt dat er een grondwaterdistributienet en putbehuizingen aangelegd moeten worden waarbij kortstondig en lokaal bemaling zal plaatsvinden. De effecten zijn eveneens kortstondig en lokaal en zullen per variant niet noemenswaardig verschillen.

De drie alternatieven verschillen van elkaar op het gebied van energetisch rendement/thermische beïnvloeding, hydrologische effecten en technisch/economische aspecten. Deze verschillen ontstaan door te variëren in de ruimtelijke situering van de bronnen.

Energierendement / thermische beïnvloeding
Vanuit het oogpunt van energetisch rendement is het gunstig om een kleine verhouding te hebben tussen oppervlakte en inhoud van de bel (behoud van de energie in de tijd). Een grote bel conserveert de warmte of koude beter dan vele kleine bellen. Een nadeel is dat een relatief groot gebied thermisch wordt beïnvloed. Bij een systeem met meerdere kleinere bellen is het rendement lager, maar het thermisch invloedsgebied kleiner.

Hydrologische effecten
Hydrologische effecten bestaan uit verhoging en verlaging van de stijghoogte en grondwaterstand in een bepaald gebied. Om de hydrologische effecten te minimaliseren heeft het de voorkeur om de bronnen zo min mogelijk te clusteren. Dit is mogelijk door koude en warme bronnen om en om naast elkaar te projecteren. Wanneer een injectiebron zo dicht mogelijk bij een onttrekkingsbron staat, worden de hydrologische effecten minimaal, doordat de bronnen elkaars effecten uitdempen. De energieverliezen (doordat warmte en koude elkaar uitdoven) zijn bij dit concept groter.

Technisch/economische aspecten
Wanneer vanuit technisch en economisch oogpunt wordt gekeken is het, het meest gunstig om een warmte- en koudeopslagsysteem te maken met zo weinig mogelijk bronnen en korte leidingafstanden. Hiervoor worden de koude en warme bronnen in zo groot mogelijke clusters geplaatst. Veel losstaande bronnen is regeltechnisch en elektrotechnisch complexer en vergt meer leidingwerk (ca. 20% hogere kosten).

3.2.2 Beschrijving alternatieven

Alternatief 1 - Voorkeursalternatief
Het voorkeursalternatief is de grondwaterinfrastructuur zoals deze is beschreven in het "beleidsplan grondwatergebruik". Hierbij is gekeken naar de inpasbaarheid van de bestaande koudeopslagsystemen en is rekening gehouden met de geplande nieuwbouw. Verder is gestreefd naar een zo groot mogelijk thermisch rendement en acceptabele hydrologische effecten.

Om de thermische verliezen te beperken zijn de bronnen geclusterd. Voor het minimaliseren van de stijghoogteveranderingen is het gunstig om meerdere kleine clusters te maken, terwijl voor het minimaliseren van de energieverliezen zo groot mogelijke clusters gewenst zijn. Op basis hiervan is een systeem ontworpen dat bestaat uit 3 clusters van 8 warme bronnen en 3 clusters van 8 koude bronnen die om en om worden geprojecteerd.
Om in het stedelijk gebied de wateroverlast niet te versterken is er voor gekozen in de winter op het zuidelijk deel van het TUE-terrein de grondwaterstandsverlaging te positioneren. Dit resulteert in twee clusters warme en één cluster koude bronnen op het zuidelijk deel en twee clusters koude en één cluster warme bronnen op het noordelijk deel (zie figuur IV.3). Voor het voorkeursalternatief zijn de bronlocaties ook op kadastrale ondergrond aangegeven (zie figuur IV.2).

Alternatief 2 - Meest milieuvriendelijke alternatief
Bij dit alternatief is gestreefd naar een minimaal effect op het compartiment grondwater, hetgeen betekent dat de stijghoogteveranderingen in het invloedsgebied geminimaliseerd zijn. Om dit te realiseren zijn de bronnen "om en om" gepositioneerd zodat ze een optimale dempende werking hebben op elkaars stijghoogteverandering. De bronnen staan in een vierkantenraster waarbij in de diagonalen lijnen van koude en warme bronnen ontstaan (zie figuur IV.4). Door het om en om positioneren is het oppervlak van de koude bellen in relatie tot de inhoud maximaal. Wel is er sprake van een grotere interactie tussen de koude en warme bellen (warmte en koude neutraliseren elkaar), waardoor er naar verhouding meer water moet worden verpompt om eenzelfde hoeveelheid warmte en koude op te slaan.

Alternatief 3 - Technisch en economisch geoptimaliseerd alternatief
In eerste instantie is voor dit alternatief gedacht aan twee grote clusters (één warm en één koud cluster). Hierbij zouden echter dusdanige stijghoogteveranderingen ontstaan dat er geen veiligheidsmarge meer over was voor eventueel verstoppende bronnen. Met vier grote clusters in een kruislings verband ontstaat dit probleem niet. De clusters bestaan uit 12 koude of 12 warme bronnen (zie figuur IV.5). Door deze positionering worden de thermische verliezen geminimaliseerd en kunnen de koude/warme bronnen optimaal profiteren van elkaars thermisch invloedsgebied. Het beperkt aantal clusters maakt deze variant economisch het meest aantrekkelijk (10% lagere kosten).

Deel V

Bestaande milieutoestand en autonome ontwikkeling

IF Technology bv
2/9949 /GB

V Bestaande milieutoestand en autonome ontwikkeling

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van de bestaande milieutoestand en de autonome ontwikkeling van de TUE en omgeving. Voor een uitgebreide beschrijving en bijbehorende figuren wordt verwezen naar de bijlage bij deel V.
Van de bestaande milieutoestand zijn de volgende aspecten beschreven: geohydrologie, waterhuishouding, landschaps- en natuurwaarden en het energieverbruik van de TUE.
Onder autonome ontwikkeling wordt de toekomstige situatie van het milieu verstaan, waarbij de voorgenomen activiteit of een van de alternatieven niet worden gerealiseerd.

1 Studiegebied

De omvang van het studiegebied is gebaseerd op oriënterende berekeningen naar de omvang van het invloedsgebied van de WKO en beslaat het terrein van de TUE en haar directe omgeving (zie figuur V.1).

Het terrein van de TUE bevindt zich binnen de ring in het noordoostelijk deel van Eindhoven. Ten noordoosten strekt het Dommeldal zich uit in de richting van de Kleine Dommel en is er sprake van een relatief ongestoorde situatie. Ten oosten van het TUE terrein bevindt zich een parkachtig landschap met daarin de Karpendonksche Plas en het natuurzwembad de IJzeren Man. Aan de overige zijden wordt het TUE-terrein omgeven door stedelijk gebied.

2 Bodem en water

Bodemopbouw
De ondiepe ondergrond bestaat uit een 50 m dikke watervoerende laag (eerste watervoerende pakket) welke aan de bovenzijde wordt afgedekt door een 25 m dikke heterogene waterremmende laag (deklaag), bestaande uit zand, klei en veen. Aan de onderzijde van het eerste watervoerende pakket bevindt zich een 60 m dikke scheidende laag, bestaande uit klei en matig fijn zand.

Grondwaterstroming
Het grondwater in het eerste watervoerende pakket (opslagpakket) stroomt in noordwestelijke richting. De stroomsnelheid bedraagt circa 15 à 20 m/jaar.

Grondwaterkwaliteit en -temperatuur
Het grondwater van het eerste watervoerende pakket is zoet. De temperatuur in het eerste watervoerende pakket bedraagt gemiddeld 11,8°C.

Grondwaterwinningen
Op en in de omgeving van de TUE wordt op meerdere plaatsen grondwater onttrokken en geïnfiltreerd. Een overzicht van deze onttrekkingen is gegeven in de bijlage bij deel V.

Bodem- en grondwaterverontreinigingen
In de bijlage bij deel V is een overzicht opgenomen van verontreinigingslocaties in de omgeving van het TUE-terrein. Uit de beschikbare gegevens kan geconcludeerd worden dat de aanwezige verontreinigingen zich in de ondiepe bodem bevinden (deklaag) en zich niet hebben verspreid naar het eerste watervoerende pakket.

Waterhuishouding
Het regionale oppervlaktewater in en rondom Eindhoven is in beheer bij Waterschap De Dommel. Aan de rand van het TUE-terrein stroomt het riviertje de Dommel. Ten oosten tot noordoosten van het TUE-terrein bevinden zich de Karpendonksche Plas en het natuur-zwembad de IJzeren Man.
Als gevolg van de sterke afname van ondiepe grondwateronttrekkingen en met name door de verminderde onttrekking van het pompstation Aalsterweg, is het grondwaterstandsniveau in Eindhoven met 1 tot 1,5 meter gestegen. Hierdoor treedt lokaal grondwateroverlast in woningen op. Indien geen maatregelen worden genomen zal in de autonome situatie meer overlast kunnen ontstaan, doordat het beleid erop gericht is het onttrekken van grondwater verder te reduceren.

3 Natuur en landschap

De natuurwaarde van het TUE-terrein en het gebied rond de Karpendonksche Plas is gering (lit. 10). Een waardevol gebied is het Eckartse bos en omgeving, ten noordoosten van de TUE. De Dommel speelt een grote rol bij het voorkomen van bijzondere soorten. In het natuurbeleid is de Dommel opgenomen als onderdeel van de ecologische hoofdstructuur, waarbij wordt gestreefd naar duurzame instandhouding, herstel en ontwikkeling van natuurlijke en landschappelijke waarden. Binnen het studiegebied zijn echter geen zeldzame en moeilijk vervangbare biotopen, zoals gedefinieerd in het 'Inventarisatierapport Natuurwaarden in Eindhoven' (lit. 10), aanwezig.

In de omgeving van de TUE zijn geen intensieve landbouwgronden aanwezig. Langs de Dommel bevinden zich enkele kleinschalige, extensieve landbouwgrondgronden met een natuurlijke inslag.

4 Energieverbruik en emissies

Het energieverbruik van de TU Eindhoven in de huidige situatie bedraagt (gegevens 1997) :
- 36.000.000 kW_e elektriciteit;
- 8.000.000 m^3 aardgas;

De emissies ten gevolge van het huidige energieverbruik zijn:
- CO_2 34.616.000 kg;
- SO_2 15.428 kg;
- NO_x 21.400 kg.

In de autonome situatie zal er geen grondwaterkoeling plaats vinden (uitgaande van het Provinciaal beleid). De koeling wordt volledig overgenomen door compressiekoelmachines. Hierdoor neemt het electriciteitsverbruik van de TUE toe met 20%. De emissies komen hiermee op het volgende niveau:

- CO_2 38.861.000 kg;
- SO_x 18.616 kg;
- NO_x 22.525 kg.

Als gevolg van het gebruik van koelmachines vindt er bovendien emissie plaats van de ozon-afbrekende HCFC's (zie bijlage bij deel V). Het toepassen van WKO garandeert een 100% HCFC-emissievrije opwekking van koude.

Deel VI

Milieu-effecten van de WKO

IF Technology bv
2/9949 /GB

VI Milieu-effecten van de WKO

1 Hydrologische effecten

1.1 Stijghoogte- en grondwaterstandsveranderingen

De stijghoogte- en grondwaterstandsveranderingen zijn berekend met behulp van MicroFEM. Voor de uitgangspunten van de modellering en de weergave van de resultaten in tabellen en figuren wordt verwezen naar de bijlage bij deel VI. In dit hoofdstuk zijn de effecten van de verschillende alternatieven samengevat.

1.2 Invloed op de omgeving

1.2.1 Aanlegfase

In de aanlegfase worden de bronnen, het grondwaterdistributienet en de putbehuizingen aangelegd. Hierbij zal kortstondig en lokaal bemaling plaatsvinden. Lokaal zal gedurende korte tijd de grondwaterstand verlaagd worden. Dit heeft geen negatieve effecten op aanwezige natuur of bebouwing.

1.2.2 Warmte- koudeopslag

Algemeen
De effecten op de stijghoogte- en grondwaterstandsverandering zijn bij alternatief 3 het grootst. Bij alternatief 2 blijven de hydrologische effecten beperkt tot het opslagpakket. In het freatisch pakket treden geen meetbare grondwaterstandsveranderingen op.

Natuur en landbouw
Geen van de alternatieven levert schade op aan de aanwezige natuur. De kwetsbare natuurgebieden bevinden zich buiten het invloedsgebied van het WKO- systeem. Dit geldt eveneens voor de landbouwgebieden.

Bebouwing
Ten aanzien van schade aan gebouwen kan worden geconcludeerd dat er geen gevaar voor schade door zettingen is ten gevolge van de WKO. De daling van de grondwaterstand is gering en bovendien is de bodem voorbelast ten gevolge van de lage grondwaterstanden uit het verleden. Het stadsdeel ten zuiden van de TUE waar sprake is van vernattingsproblematiek bevindt zich bij alternatief 2 buiten het invloedsgebied. Bij alternatief 3 ligt dit stadsdeel binnen het invloedsgebied, maar doordat in de winter sprake is van een grondwaterstandsverlaging levert de WKO een positieve bijdrage.

Overige grondwatergebruikers
Ten gevolge van WKO ter plaatse van de TUE verandert de stroomsnelheid en richting van de grondwatergebruikers in de directe omgeving van de TUE. Voor de meest nabije grondwateronttrekkers (warmte- en koudeopslagen bij het Diaconessenhuis en KBC-toren), is de hydraulische invloed onderzocht. Geconcludeerd kan worden dat de warme en koude bellen enkele meters extra of minder ver zullen afstromen, afhankelijk van de ligging t.o.v. de natuurlijke grondwaterstroming. Gezien de omvang van de warme en koude bellen (minimale doorsnede circa 100 m) heeft deze geringe afstroming geen significant effect op het rendement van deze opslagsystemen.

2 Thermische effecten

2.1 Temperatuurveranderingen

De temperatuurveranderingen in het opslagpakket zijn berekend met HST2D. Voor de uitgangspunten van de modellering en de weergave van de resultaten in figuren wordt verwezen naar de bijlage bij deel VI. In dit hoofdstuk zijn de effecten van de verschillende alternatieven samengevat.

2.2 Invloed op de omgeving

Natuur en landbouw
Ten opzicht van de in- en uitgaande straling aan maaiveld door de zon is de warmtestroom ten gevolge van de WKO niet significant. De thermische effecten op de vegetatie, flora en fauna zijn verwaarloosbaar.

Overige grondwatergebruikers
Bij de alternatieven 1 en 2 blijft het thermisch invloedsgebied vrijwel beperkt tot het TUE-terrein. Overige grondwatergebruikers (waaronder warmte- en koudeopslagen) bevinden zich buiten het thermisch invloedsgebied en ondervinden geen negatieve beïnvloeding.
Bij alternatief 3 strekt het thermisch invloedsgebied zich uit tot aan de WKO van de KBC-toren, waardoor de warme bron van de KBC-toren negatief wordt beïnvloed.

3 Effecten op de waterkwaliteit

Uit vele onderzoeken en meetprogramma's is gebleken dat bij energieopslag tot 30 °C geen significante verandering van de chemische en microbiologische samenstelling van het grondwater plaatsvindt (zie bijlage bij deel VI). Op enige afstand van de energieopslag (tot maximaal 300 m buiten het TUE-terrein) is bovendien het temperatuurverschil met het natuurlijke grondwater zodanig klein (circa 0,5 à 1 °C), en is de reistijd zodanig groot, dat chemische en microbiologische processen zich hebben kunnen aanpassen aan de (bijna) natuurlijke grondwatertemperatuur.

Door toedoen van de energieopslag zal de binnen het filtertraject aanwezige natuurlijke waterkwaliteitsgradiënt lokaal vervagen. Aangezien het zoet-/brakgrensvlak op grote diepte ligt (circa 400 m-mv), is menging van zoet en zout grondwater door de energieopslag uitgesloten. Vervaging van de kwaliteitsgradiënten van de overige parameters zal geen negatieve invloed hebben op de kwaliteit van het grondwater.

4 Energieverbruik en emissies

Het energieverbruik van de verschillende alternatieven ligt nagenoeg op hetzelfde niveau. Wanneer geen WKO wordt toegepast, maar koeling plaats zal vinden d.m.v. compressiekoelmachines, zal het elektriciteitsverbruik met circa 20 % toenemen. Ten opzichte van de huidige situatie wordt met WKO sterk bespaard op verwarmingsenergie, waardoor de emissies dalen (zie tabel VI.8 in de bijlage bij deel VI). Koudelevering door middel van WKO heeft t.o.v de referentiesituatie bovendien het voordeel dat er geen sprake is van emissie van de ozon-afbrekende HCFC's (zie paragraaf 4.2 in de bijlage bij deel V).

5 Gevolgen voor ondergronds ruimtegebruik

De aanwezigheid van een WKO-systeem op het terrein van de TUE levert beperkingen op aan het gebruik van de ondergrond. Dit geldt met name voor toekomstige grondwateronttrekkingen in de directe omgeving. Met behulp van indicatieve berekeningen is aangegeven met welk maximaal debiet tot op welke afstand grondwater kan worden onttrokken zonder de WKO negatief te beïnvloeden. Op 500 m bedraagt dit maximaal 213.000 m³/jaar, op 1.000 m 425.000 m³/jaar. De formule voor de berekening om op een willekeurige afstand het maximale debiet te berekenen is weergegeven in de bijlage bij deel VI. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de berekende waarden slechts indicatief zijn en per situatie de effecten op de WKO dienen te worden onderzocht.

6 Herstel- en compensatiemogelijkheden

6.1 Herstel- en compensatie van de effecten

De hydrologische effecten van de WKO kunnen worden hersteld door te draineren in de perioden van grondwaterstandsverhogingen en (regen)water te infiltreren in perioden van grondwaterstandsverlagingen. Ook kan worden gedacht aan compensatie van natuurwaarden elders langs de Dommel. De effecten van de WKO zijn echter dusdanig gering dat deze herstel- en compensatiemogelijkheden niet nodig worden geacht.

6.2 Omkeerbaarheid van de WKO

De hydrologische en thermische effecten zijn volledig omkeerbaar. Indien de WKO wordt gestaakt verdwijnen de hydrologische effecten in het opslagpakket en aan maaiveld binnen enkele maanden. De thermische effecten zijn alleen merkbaar in het opslagpakket. Het verdwijnen van deze effecten gaat zeer geleidelijk. Wanneer de WKO wordt stopgezet bedraagt na cica 20 jaar het verschil ten opzichte van de natuurlijke grondwatertemperatuur maximaal 3°C.

Deel VII

Beoordeling van de alternatieven

VII Beoordeling van de alternatieven

De drie alternatieven en de referentiesituatie zijn vergeleken op basis van milieu en economische aspecten. Uiteindelijk resulteert dit voor de drie alternatieven in een zogenaamd milieurendement. Het milieurendement is de verhouding tussen de meerkosten van een alternatief en de milieuwinst/verlies van een alternatief ten opzichte van de referentiesituatie.

Het bepalen van de milieuwinst/verlies is complex vanwege het feit dat dit veelal meerdere milieucompartimenten betreft. Hoe verhoudt zich bijvoorbeeld een grondwaterstandsdaling ten opzichte van een CO_2-reductie? Er is uiteindelijk voor gekozen de diverse milieuaspecten niet te kwantificeren maar een algemeen kwaliteitsoordeel te geven (zie tabel VII.1)

De vergelijking laat in zijn algemeenheid zien dat de referentiesituatie een aanzienlijk hoger energieverbruik en HCFC-emissie heeft dan de diverse WKO-alternatieven. Deze factoren hebben daarom voor de WKO-alternatieven een sterk positieve milieubeoordeling gekregen. De effecten van de WKO-alternatieven op het compartiment bodem blijven zeer beperkt en hebben daarom slechts een lage negatieve beoordeling gekregen. Uiteindelijk resulteert de toetsing in een sterke milieuwinst voor de WKO-alternatieven.

Onderling hebben de WKO-alternatieven slechts geringe verschillen in milieuwinst. Het milieurendement voor alternatief 1 ligt het hoogst. Alternatief 3 heeft wel lagere investeringskosten, maar levert ook relatief minder milieuwinst op. Tenslotte alternatief 2; deze heeft weliswaar de hoogste milieuwinst, maar vergt ook aanzienlijke meerkosten.
Op basis van deze beoordeling gaat de voorkeur uit naar het toepassen van alternatief 1.

Tabel VII.1 Beoordeling en vergelijking van de alternatieven
(zeer positief = 10 neutraal = 0 zeer negatief = -10)

	ref.	alt. 1	alt. 2	alt. 3
HCFC-emissie	0	+8	+8	+8
Grondwaterverbruik	0	-1	-1	-1
Energieverbruik / emissie	0	+7	+7	+7
Ondergronds ruimtegebruik	0	-2	-2	-3
Effect op natuur / landbouw	0	-1	-1	-2
Effect op bebouwing	0	0	0	0
Effect op waterkwaliteit	0	0	0	0
Herstel- /compensatiemogelijkheden	0	-1	-1	-1
Effect op grondwatergebruikers	0	-2	-1	-4
Milieuwinst/verlies (a)	0	+8	+9	+4
Kosten % (b)	0	+ 30	+ 50	+20
Milieurendement (a / b)		0,26	0,18	0,20

Deel VIII

Leemten in informatie

VIII Leemten in informatie

Over het algemeen zijn bij het tot stand komen van het MER geen grote leemten in informatie geconstateerd. Met name van de geohydrologie en de benodigde parameters voor de modelberekeningen, is er van het studiegebied voldoende informatie beschikbaar (studies, grondwaterkaart, boorbeschrijvingen, REGIS). De punten waarover wel informatie ontbreekt zijn de autonome ontwikkeling van de natuur en informatie over kwel en infiltratie.

Autonome ontwikkeling van de natuur
Uit de Inventarisatie natuurwaarden (lit. 22) is gebleken dat ter plaatse van de TUE de natuurwaarde gering is en er geen zeldzame en kwetsbare biotopen binnen het invloedsgebied van de WKO aanwezig zijn. Verder is gebleken dat het Dommeldal een onderdeel van de ecologische hoofdstructuur is. Om dit verder uit te werken is er bij de gemeente Eindhoven een Dommeldalplan in ontwikkeling. Hieruit zal moeten blijken welke natuurontwikkelingen gewenst zijn. Op basis van de berekeningen in deze studie kan worden geconcludeerd dat de optredende grondwaterstandsveranderingen buiten het TUE-terrein zeer beperkt zijn. Dit betekent dat de WKO eventuele toekomstige natuurontwikkeling niet zal belemmeren.

Kwel en infiltratie
Van oorsprong ontvingen de beekdalgronden langs de Dommel en Kleine Dommel nagenoeg permanent kwelwater vanuit de hoger gelegen zandgronden. Door de vele grondwaterwinningen is deze situatie echter verstoord. Op basis van de beschikbare informatie is geen duidelijkheid gekregen van de huidige kwel- en infiltratiestromen en de kwel- en infiltratie-intensiteit. Uit het Inventarisatierapport natuurwaarden is verder gebleken dat er geen waardevolle of bijzondere kwelafhankelijke vegetatie is waargenomen. Doordat de grondwaterstand slechts weinig stijgt en daalt, zullen de eventuele kwelstromen slechts in geringe mate versterkt en verzwakt worden door de WKO. Opgemerkt dient te worden dat door het staken van de huidige onttrekking de stijghoogte in het watervoerende pakket zal stijgen. Gevolg hiervan is dat de oorspronkelijke kwelsituatie (gedeeltelijk) zal terugkeren.

Deel IX

Voorstel evaluatieprogramma

IX Voorstel evaluatieprogramma

Naar aanleiding van de berekende effecten wordt hier een voorstel voor een evaluatieprogramma gedaan. Het evaluatieprogramma moet het mogelijk maken om te controleren of de berekende effecten overeenkomen met de werkelijk optredende effecten.

De belangrijkste potentiële effecten van de WKO op de omgeving zijn:
- stijghoogte- en grondwaterstandsveranderingen;
- temperatuursveranderingen van het grondwater;
- veranderingen van de waterkwaliteit.

Om deze effecten te meten en monitoren worden de volgende metingen voorgesteld:

Onttrekkings-/infiltratieproef
Met behulp van een onttrekkings-/infiltratieproef kan beoordeeld worden of gemeten stijghoogten in peilfilters overeenkomen met berekende stijghoogteveranderingen. Het voordeel van een onttrekkings-/infiltratieproef is dat de gemeten stijghoogten onafhankelijk zijn van de bedrijfsvoering. Het systeem draait namelijk enige tijd op maximaal debiet. Deze proef kan plaats vinden voordat het systeem operationeel gemaakt wordt. Hierbij worden de stijghoogten in de peilbuizen van de bronnen en de meetputten gemeten. Het voorstel is om voor deze metingen gebruik te maken van de bestaande meetputten op het TUE-terrein (M0, M1, M2, M3 en M4, zie figuur IX.1). Na beoordeling van de proef kan besloten worden of stijghoogtemetingen in het vervolg nog zinvol zijn. Vooralsnog wordt aangenomen dat de resultaten van de onttrekkings-/infiltratieproef overeen zullen komen met de berekende waarden, zodat extra stijghoogtemetingen daarna overbodig zijn.

Temperatuur
De temperatuursveranderingen van het grondwater kunnen worden gemeten met behulp van meetputten. Hiervoor zijn de bestaande meetputten op het TUE-terrein te gebruiken (deze meetputten zijn gebruikt voor temperatuurmetingen van de warmte- en koudeopslagen bij N-laag/Cyclotron en het Auditorium). Het voorstel is, gezien de ligging van deze meetputten, een extra meetput in het noordelijk deel van het TUE-terrein te maken.
In de meetputten wordt bijvoorbeeld 1 maal per kwartaal een temperatuurprofiel gemeten. Bij deze meting wordt de grondwatertemperatuur op verschillende dieptes bepaald. Hieruit kan de doorbraak van koude en warmte vanuit de opslag gemonitoord worden. Uit de temperatuurprofielen kan ook afgeleid worden of preferente stroombanen aanwezig zijn, waardoor warmte en koude zich misschien sneller verspreidt dan in de rest van het opslagpakket.
Om de energiebalans te meten zal de hoeveelheid geïnfiltreerde koude en warmte worden geregistreerd.

Waterkwaliteit
Het grondwatercircuit zal door middel van warmtewisselaars volledig van het gebouwcircuit gescheiden worden. In de bijlage bij deel VI worden de risico's van een lekkage op de grondwaterkwaliteit beschreven. Hieruit blijkt dat als alleen leidingwater in het gebouwcircuit wordt toegepast volstaan kan worden met een continue drukmeting in het gebouwcircuit. Indien een water-glycol mengsel aanwezig is dienen aanvullende maatregelen genomen worden om het risico van lekkage te minimaliseren, bijv: dubbelwandige warmtewisselaar, extra tussencircuit of grondwaterzijdige overdruk. In alle gevallen dient de genomen beveiligingsmaatregel bewaakt te worden.

Uit experimenten en meetprogramma's is gebleken dat de gehanteerde temperaturen van het infiltratiewater van het energieopslagsysteem geen invloed heeft op de micro-biologische of chemische processen in de bodem (zie bijlage bij deel VI). Om dit aan te tonen wordt voorgesteld om de macro-chemische samenstelling van het grondwater te monitoren.

Het voorstel is de bovenstaande metingen jaarlijks te rapporteren aan de Provincie. Na 3 jaar kan een uitgebreidere evaluatie plaatsvinden.

Literatuurlijst

1. IF Technology bv, februari 2000 - Warmte- en koudeopslaginstallatie Technische Universiteit Eindhoven, Startnotitie m.e.r. Rapportnr. 1.1/9949/GB

2. Provincie Noord-Brabant, juni 2000 - Definitieve richtlijnen voor het milieu-effectrapport warmte- en koudeopslaginstallatie Technische Universiteit Eindhoven.

3. IF Technology bv in samenwerking met de TUE-projectgroep EWBL, 1998 - Beleidsplan Grondwatergebruik. Rapportnr. 2/9718/AS

4. TU Eindhoven, 1998 - Masterplan huisvesting TUE, terugblik, stand van zaken en vooruitblik.

5. Provincie Noord-Brabant, 1995 - Provinciale milieuverordening, milieu in uitvoering - met bijlagen, toelichting en kaarten. Provincie Noord-Brabant, 's Hertogenbosch.

6. Provincie Noord-Brabant, 1987 - Grondwaterplan

7. Provincie Noord-Brabant, 1998 - Waterhuishoudingsplan 2, Samen werken aan water, Plantekst 1998-2002. Provincie Noord-Brabant, 's Hertogenbosch.

8. Provincie Noord-Brabant, 1999 - Provinciaal Milieubeleidsplan Ontwerp1999-2003,. Provincie Noord-Brabant, 's Hertogenbosch.

9. IF Technology bv, maart 2000 - Warmte- en koudeopslaginstallatie Technische Universiteit Eindhoven, Voorontwerp bronnensysteem. Rapportnr. 1.2/9949/GB

10. Lekahena, E.G., 1983 - Grondwaterkaart van Nederland, Centrale Slenk (Oost Brabant), Inventarisatierapport. DGV/TNO, Delft.

11. Heidemij Adviesbureau, 1988 - Relatie grondwaterwinning en grondwaterstand in de regio Eindhoven. Heidemij BV, Arnhem.

12. Arcadis Heidemij Advies, oktober 1999 - Grondwaterproblematiek Eindhoven, i.o.v. Gemeente Eindhoven, Dienst Openbare Werken.

13. IWACO, 1987 - Eindrapport Geohydrologisch onderzoek Centrale Slenk fase 2.

14. Druseman, G.P., Ridder de, N.A., 1991 - Analysis and evaluation of pumping test data. ILRI publication 47.

15. Gun, J.A.M. van der, 1979 - Schatting va de elastische bergingscoëfficiënt van zandige watervoerende pakketten. DGV/TNO, Delft.

16. Lekahena, E.G., 1972 - Grondwaterkaart van Nederland, Eindhoven, Venlo, Geohydrologische toelichting bij kaartbladen 51 Oost en 52 West. DGV/TNO, Delft.

17. IF Technology B.V., 1996 -Technische Universiteit Eindhoven, meetprogramma koudeopslagen - 1e meetrapport. Rapportnr. 1/9536/AW.

18. Provincie Noord-Brabant, 1999 - Programma bodemsanering/waterbodemsanering 1999. Provincie Noord-Brabant, 's Hertogenbosch.

19. Binnenmars, R. e.a., juli 1991 - Historisch bodemonderzoek van het terrein van de Technische Universiteit Eindhoven.

20. Milieudienst Regio Eindhoven - Onderzoek naar bodemverontreiniging, terrein "Technische Universiteit Eindhoven" Gemeente Eindhoven; Oriënterend onderzoek.

21. Milieudienst Regio Eindhoven, 1999 - Onderzoek naar bodemverontreiniging, terrein "Technische Universiteit Eindhoven" Gemeente Eindhoven; Monitoring 1999.

22. Ecologica, december 1998 - Inventarisatie natuurwaarden Eindhoven, natuurwaardering op basis van een biotoopkartering en bestaande flora- en faunagegevens, in opdracht van Gemeente Eindhoven Dienst Stadsontwikkeling, Eindhoven.

23. Krachtwerktuigen en IF Technology, 1992. Koudeopslag in de bodem; Vergunningverlening in het kader van de Grondwaterwet. Rapportnr. 8543.01.1607-IW/JBU/hmv, 3/9003/GW, Amersfoort, Arnhem.

24. Willemsen, A., 1984 - Verkennend onderzoek naar hydrogeochemische gevolgen van warmteopslag in ondiepe aquifers. Heidemij Adviesbureau en Vrije Universiteit Amsterdam.

25. Appelo, C.A.J., J. Griffioen en M.J.J. van de Weiden, 1990 - IEA Annex VI; Environmental and chemical aspects of thermal energy storage in aquifers and research and development of water treatment methods; Subtask B - geochemical reactions - Subtask Report.

26. Heidemij Adviesbureau, 1983 - Literatuurstudie micro-biologische aspecten van de toepassing van warmteopslag in aquifers.

27. Techniplan adviseurs bv en IF Technology, 1998. Meetprogramma thermische energieopslag in de bodem, Heuvelgalerie te Eindhoven. Eindrapportage en evaluatie.

28. Winters, A.L., 1992. Summary of research on micro-biological processes. Doc nr. 42-D. IEA Annex VI; Environmental and chemical aspects of water treatment methods; subtask D Microbiological processes. Dept. of biological sciences, University of Alabama, Tuscaloosa.

29. United States Environmental Protection Agency, 2000. Ozone Depletion Glossary.

Afkortingenen verklarende woordenlijst

CFK	=	Gechloreerde fluorkoolwaterstoffen; toegepast als koudemiddel in koelmachines.
COP	=	Coëfficiënt Of Performance; Uitdrukking voor rendement : COP = de energieopbrengst van een proces gedeeld door de benodigde energie.
HCFC	=	Hydrochlorofluorcarbon; vervanger van het koudemiddel CFK. HCFC heeft een lagere ozon-afbrekende capaciteit dan CFK.
MER	=	milieu-effectrapport
m.e.r.	=	milieu-effectrapportage
mma	=	meest milieuvriendelijke alternatief
REGIS	=	Regionaal Geografisch Informatie Systeem
TUE	=	Technische Universiteit Eindhoven
WKO	=	warmte- en koudeopslag
WVO	=	Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren

Bijlagen

Bijlage bij deel IV

Voorgenomen activiteit en alternatieven

1 Warmte- en koudeopslagsysteem TUE

1.1 Systeemconcept

In het beleidsplan (lit. 3) zijn twee mogelijke concepten met energieopslag uitgewerkt:
- Decentrale koudeopslag
- *Grondwaterinfrastructuur*

Decentrale koudeopslag
Bij dit concept wordt per gebouw (gebruiker) een keuze gemaakt of de koudeopwekking plaatsvindt met behulp van een koelmachine, een koudeopslaginstallatie, danwel een combinatie van beiden. Deze oplossing is tot nu toe gekozen. Bij de nieuwbouw Scheikunde (gebouw ST) zijn compressiekoelmachines toegepast, bij de renovatie van het Auditorium is gekozen voor het toepassen van koudeopslag in combinatie met een warmtepomp. De warmtepomp verzorgt gedurende de winterperiode een deel van de verwarming van het Auditorium, waarbij de warmte wordt onttrokken aan het grondwater. Hierdoor wordt de koudeopslag gecreëerd die in de daaropvolgende zomerperiode koeling van het Auditorium verzorgt.

Indien veelvuldig wordt gekozen voor koudeopslag, al dan niet gecombineerd met lage temperatuur warmteopslag, zullen door het grote aantal koudeopslagprojecten op het TU-terrein ongewenste interacties ontstaan tussen de diverse projecten. Dit vraagt om een planmatige aanpak voor de benutting van het grondwater, zoals voorzien bij het navolgende concept. Wordt overwegend gekozen voor compressiekoelmachines, dan ontstaan de volgende nadelen: elektriciteitsverbruik toename, sterke toename belasting elektriciteitsnet en HCFC-emissie.

Grondwaterinfrastructuur
Dit concept kenmerkt zich door centrale opslag van koude en lage temperatuur warmte op het TUE-terrein. De bronnen zijn aangesloten op een distributienet voor koude respectievelijk lage temperatuur warmte. Alle gebouwen (gebruikers) kunnen op deze distributienetten aansluiten. Ongewenste interacties tussen warme en koude bronnen worden vermeden, omdat van te voren bekend is waar nieuwe bronnen zullen worden gemaakt bij toename van de koudevraag.
Dit concept heeft een aantal synergetische voordelen: de mogelijkheid om energiestromen uit te wisselen (een warmtepomp in het ene gebouw kan koeling verzorgen in een ander gebouw) en benutting van het gegeven dat het maximale gelijktijdige koelvermogen voor alle aangesloten gebouwen in het algemeen lager is dan de som van de maximale koelvermogens per gebouw.
Teneinde een optimaal gebruik te kunnen maken van de grondwaterinfrastructuur, dienen de gebouwinstallaties aan een aantal randvoorwaarden te voldoen. De gebuikersmogelijkheden zijn namelijk optimaal indien de koeling plaatsvindt op een relatief hoog temperatuurniveau en de verwarming op een relatief laag temperatuurniveau.

In tabel IV.1 zijn een aantal aspecten aangegeven die samenhangen met de keuze die wordt gemaakt voor de koudevoorziening. Voor de omschreven concepten is aangegeven welke het beste scoort op de genoemde aspecten.

Tabel IV.1 Conceptvergelijking

	decentrale koudeopslag	*grondwaterinfrastructuur*
reductie grondwaterverbruik	√	√
reductie drinkwaterverbruik voor koeling	√	√
beperking belasting elektriciteits-net		√
beperking elektriciteitsverbruik		√
beperking gasverbruik verwarming		√
keuzevrijheid gebouwinstallaties	√	
eenvoud beheer en onderhoud		√

De voordelen van een grondwaterinfrastructuur zijn zodanig groot dat besloten is met dit concept verder het ontwerptraject in te gaan.

De grondwaterinfrastructuur met centrale opslag van koude en lage temperatuur warmte is erop gebaseerd dat elk gebouw (elke gebruiker) via een warmtewisselaar kan worden aangesloten op het koude distributienet en lage temperatuur warmtedistributienet.
De temperatuur van het koude distributienet bedraagt circa 8°C en de temperatuur van het lage temperatuur warmtedistributienet circa 15°C. Op basis van reeds uitgevoerde koudeopslagprojecten is gebleken dat met deze temperatuurniveau's ruimte- en proceskoeling kan worden toegepast, dan wel lage temperatuur warmtebenutting kan plaatsvinden in gebouwen. Indien in een later stadium zou blijken dat enigszins afwijkende temperatuurniveau's noodzakelijk of wenselijk zijn, dan is dat realiseerbaar.

De grondwaterinfrastructuur biedt de mogelijkheid gelijktijdig zowel koude als warmte af te nemen. Al naar gelang de momentane vraag naar koude en lage temperatuur warmte, worden meer of minder produktiebronnen en infiltratiebronnen ingeschakeld.

Het is niet vanzelfsprekend dat op jaarbasis evenveel koude als warmte wordt gevraagd. Hierdoor ontstaat mogelijk een thermische onbalans in het grondwater/bodemsysteem. Indien de koudevraag groter is dan de warmtevraag, wordt er netto warmte in de bodem gebracht. Teneinde deze onbalans te compenseren, kunnen koeltorens in het grondwatercircuit worden opgenomen. Deze zorgen 's winters voor de afvoer van het overschot aan warmte.

1.2 Koude- en warmtevraag

In het voorontwerp (lit.9) zijn berekeningen gemaakt omtrent de momentane en jaarlijkse koude- en warmtevraag (zie tabel IV.2).

Tabel IV.2 Koude- en warmtevraag (berekend)

koelvermogen	(kW)	25.537
koelbehoefte	(MWh)	21.844
warmtebehoefte	(MWh)	13.047

Het koelvermogen is gebaseerd op een 100% gelijktijdige vraag van alle gebouwen en processen. Gezien het feit dat deze situatie nooit zal optreden biedt dit de mogelijkheid in de toekomst meer gebouwen op het WKO-systeem aan te sluiten. Hierdoor zal echter wel de jaarlijkse koelbehoefte gaan toenemen. Op basis van de mogelijk nog aan te sluiten gebouwen wordt deze koelbehoefte op 30 GWh geschat (tabel IV.3).

De behoefte aan lage temperatuurwarmte is slechts 60% van de koelbehoefte. Dit betekent dat er aanvullend met een koeltoren in de winter koude moet worden gemaakt. Het streven van de TUE is bij toekomstige renovatie het gebruik van lage temperatuur warmte te promoten.

Tabel IV.3 Energie- en waterhoeveelheden

	zomer		winter	
vermogen	25	MW	25	MW
debiet	3000	m^3/h	3000	m^3/h
energiehoeveelheden	30	GWh	33	GWh
waterhoeveelheden	3.000.000	m^3	3.500.000	m^3
gemiddelde injectietemperatuur	16	°C	6	°C
maximale onttrekkingstemperatuur	8	°C	25	°C

De behoefte aan koeling en verwarming is afhankelijk van diverse factoren:

- Bezettingsgraad van de gebouwen. Op het TUE terrein moeten kantoorruimten, zalen en laboratoria van koeling worden voorzien. De koelbehoefte van laboratoria is aanzienlijk groter dan die van de kantoren en zalen door de aanwezigheid van cleanrooms, zuurkasten en gekoelde meetopstellingen. Verder heeft deze koelbehoefte een sterk permanent karakter. Terwijl de kantoren en zalen 's nachts, in de weekenden en gedurende vakantie- en lesperioden geen koeling nodig hebben.
- Klimatologische omstandigheden. De behoefte aan koeling en verwarming zal met name voor de kantoren en zalen sterk worden bepaald door de buitenluchttemperatuur en de luchtvochtigheid.

De koel/warmtebehoefte zal derhalve continu veranderen. Omdat kortstondige debietvariaties slechts rond de bronnen en in het eerste watervoerende pakket tot stijghoogteveranderingen leiden, is er in deze studie voor gekozen om de effecten te berekenen op basis van gemiddelde weekdebieten. De gemiddelde weekdebieten zijn gegenereerd voor het klimatologisch referentiejaar 1964/1965. Dit jaar geldt als representatief voor het langjarig gemiddelde van de jaren 1950 t/m1980 (zie tabel IV.4).

Tabel IV.4 Gemiddelde weekdebieten (klimatologisch referentiejaar 1964/1965)

laden		ontladen	
week	hoeveelheid water (m³)	week	hoeveelheid water (m³)
41	28.774	15	3.403
42	20.927	16	53.767
43	64.088	17	66.016
44	96.786	18	48.320
45	35.314	19	155.171
46	188.341	20	94.603
47	77.167	21	113.656
48	2.616	22	79.626
49	111.173	23	76.906
50	166.106	24	193.966
51	44.469	25	124.547
52	176.570	26	216.426
1	219.731	27	217.784
2	196.188	28	196.689
3	125.561	29	200.092
4	155.643	30	137.479
5	215.807	31	115.697
6	218.423	32	120.462
7	207.960	33	157.216
8	189.649	34	149.048
9	219.731	35	138.837
10	219.731	36	85.753
11	218.423	37	69.418
12	103.326	38	60.572
13	113.789	39	82.350
14	83.707	40	42.197
Totaal winter	3.500.000	Totaal zomer	3.000.000

1.3 Het gebruik van restwarmte

Energieopslag kent diverse verschijningsvormen. De meest gebruikte is de koudeopslag. Hierbij wordt er gestreefd naar het opslaan van koude in de winter op een zodanig temperatuurniveau dat in de zomer direct koude geleverd kan worden. Het belangrijke doel is derhalve de koeling. Om het energetisch rendement van de koudeopslag zo hoog mogelijk te laten zijn, wordt getracht bij het koude produceren in de winter, de warmte vanuit het grondwater zo efficiënt mogelijk in te zetten. De temperatuur van het grondwater (15 - 25 °C) is echter van een dusdanig niveau dat altijd een naverwarming noodzakelijk is. Dit in tegenstelling tot warmteopslagsystemen die warmte op een hoog temperatuurniveau (> 50°C) kunnen leveren. Met deze systemen kan echter geen koeling worden geleverd. Een tussenvorm is de koude/lage temperatuur warmteopslag. Hierbij wordt er gezocht naar een evenwichtige levering van koude en lage temperatuur warmte. Dit resulteert veelal in temperatuurniveau's in de opslag die het noodzakelijk maken met een koelmachine/warmtepomp de temperatuur voor de gebruiker te verlagen (zomer) dan wel te verhogen (winter). Deze laatste vorm van energieopslag is met name geschikt voor nieuwbouwprojecten waarbij er meer mogelijkheden zijn om het temperatuurniveau in het klimaatsysteem aan te passen aan de temperatuur uit de opslag. De TUE heeft deze mogelijkheid slechts in beperkte mate. De opslag bij de TUE zal zich daarom (voorlopig) kenmerken als een koudeopslag met gelimiteerde restwarmte benutting.

De restwarmte kan op dit moment gebruikt worden voor:
- de voorverwarming van de buitenlucht van de ventilatiesystemen;
- het gebruik als lage temperatuur warmtebron voor warmtepompen.

Berekeningen geven aan dat op deze wijze circa 60% van de warmte nuttig kan worden gebruikt.

Bij toekomstige renovatie van de gebouwen op het TUE-terrein zal getracht worden de inzet van warmtepompen te vergroten. Doordat moderne gebouwen zeer goed geïsoleerd zijn en veel warmte terugwinnen is de warmte behoefte gering. Het is daarom onzeker of het in de toekomst mogelijk is alle restwarmte uit de opslag nuttig aan te wenden.

Resumerend kan worden gesteld dat de gebouwen en processen op het TUE niet (volledig) geschikt zijn om lage temperatuurwarmte te gebruiken. Door renovatie zal deze situatie verbeteren. Een alternatief zou zijn de te leveren koude af te stemmen op de hoeveelheid restwarmte die in de winter kan worden afgezet. Dit zou echter betekenen dat circa 40% van de koeling op het TUE-terrein geleverd moet worden door koelmachines. Hierdoor neemt het energieverbruik zodanig toe dat de doelstellingen uit het Masterplan niet meer haalbaar zijn.

2 Bronontwerp

Het aantal en de dimensies van de bronnen wordt bepaald door de hoeveelheid water dat per seizoen moet worden onttrokken en geïnfiltreerd. Daarnaast heeft bij dit relatief grote koudeopslagsysteem de stijghoogteverandering in het opslagpakket invloed op het ontwerp. Dit komt tot uitdrukking in het voorkomen van bodemsplijting en het minimaliseren van de wateroverlast.

De bronfilterdieptes zijn gebaseerd op de gerealiseerde koudeopslagbronnen bij zowel Auditorium als N-laag/Cyclotron. Bij deze projecten is het filter geplaatst vanaf circa 28 m-mv; de totale netto filterlengte bedroeg bij Auditorium circa 30 meter en bij N-laag circa 35 meter. Vanwege het voorkomen van zeer fijne zand- en kleilagen zijn de boringen uitgevoerd tot circa 75 m-mv en is het bronfilter onderverdeeld in 3 filtersecties van elk circa 10 meter met tussenliggende blinde stukken. De brondimensionering is samengevat in tabel IV.5.

Tabel IV.5 Samenvatting brondimensionering

aantal bronnen		48
onttrekkings/infiltratiecapaciteit	(m^3/h)	125
brondiameter	(mm)	maximaal 800
boordiepte	(m-mv)	75
filterstelling	(m-mv)	28 tot 75
effectieve filterlengte	(m)	30

Ter voorkoming van verstopping zullen de bronnen jaarlijks worden gespuid. Tijdens het spuien worden de bronnen kortstondig schoon gepompt. Hierbij worden geen chemicaliën toegevoegd. Het vrijkomend grondwater wordt via het schoonwaterriool geloosd op de Dommel. Voor het spuien wordt 2x per jaar (in voor- en najaar) geloosd. De totale hoeveelheid te lozen spuiwater bedraagt circa 10.000 m^3/jaar.

De bronnen worden half bovengronds afgewerkt, waardoor de bovengrondse situatie op het TUE-terrein vrijwel ongewijzigd blijft.

Bijlage bij deel V

Bestaande milieutoestand en autonome ontwikkeling

IF Technology bv
2/9949 /GB

1 Beschrijving studiegebied

Het studiegebied beslaat het terrein van de TUE en de directe omgeving (zie figuur V.1). De omvang van het studiegebied is gebaseerd op de oriënterende berekeningen in het voorontwerp naar de grootte van het invloedsgebied van het warmte-/koudeopslagsysteem (lit. 9).

TUE-terrein
Het terrein van de TUE bevindt zich binnen de ring in het noordoostelijk deel van Eindhoven en wordt globaal begrensd door de ring van Eindhoven (Insulindelaan en Onze Lieve Vrouwestraat), de Prof. Dr. Dorgelolaan en de John F. Kennedylaan.
Het TUE-terrein kan worden onderverdeeld in drie verschillende gebieden: het lage waterrijke en groene Dommeldal aan de noordwestkant (beekdalgronden), het hoge en droge weide en bosgebied in het oosten en zuidoosten en daartussen het kerngebied met de meeste bebouwing.

Omgeving
Ten noordoosten van het TUE-terrein strekt het Dommeldal zich uit in de richting van de Kleine Dommel en is er sprake van een relatief ongestoorde situatie. Hier bevinden zich graslanden, braakliggend terrein en vochtig loofbos.Ten oosten van het TUE-terrein is sprake van een parkachtig landschap. Hier bevinden zich het natuurzwembad de IJzeren Man en de Karpendonksche Plas. Aan de overige zijden van het TUE-terrein bestaat het studiegebied uit stedelijk gebied. In het stedelijk gebied ten zuiden van het TUE-terrein treedt lokaal grondwateroverlast op in woningen. Binnen het studiegebied zijn geen zeldzame en moeilijk vervangbare biotopen, zoals gedefinieerd in het 'Inventarisatierapport Natuurwaarden in Eindhoven' (lit. 22) aanwezig (zie ook figuur V.10).

2 Bodem en water

2.1 Bodemopbouw

De bodemopbouw is beschreven met behulp van de volgende gegevens:
a. Gegevens uit gidslagenbestand van REGIS.
b. Boorbeschrijvingen die door het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschap-pen (NITG) ter beschikking zijn gesteld. De volgende boorbeschrijvingen zijn gebruikt:
   - boring 51G-421;
   - boring 51G-423;
   - boring 51G-503;
   - boring 51G-507.
c. Boorbeschrijvingen van bestaande boringen op het TU terrein.
d. De Geologische kaart van Eindhoven Oost.
e. De Grondwaterkaart van Nederland (lit. 10).
f. Een studie van Heidemij Adviesbureau: "Relatie grondwaterwinning en grondwaterstand in de regio Eindhoven" (lit.11).
g. Een studie van Arcadis Heidemij Advies: "Grondwaterproblematiek Eindhoven" (lit.12).

Op basis van deze gegevens is in tabel V.1 vanuit het perspectief van de grondwaterstroming een schematisatie van de bodemopbouw gemaakt. De geohydrologische benaming van de lagen is ontleend aan REGIS. In figuur V.2 is de ligging van de diverse boringen en de profiellijnen weergegeven. De figuren V.3 a, b en c tonen het geohydrologisch profiel.

Tabel V.1 Geohydrologische schematisering bodemopbouw

diepte (m -mv) *	lithologie	formatie	geohydrologische benaming
0 - 25	fijn tot matig grof zand, klei, veen	Nuenen Groep, Holoceen	ondiep watervoerend pakket en deklaag
25 - 75	fijn tot zeer grof zand, enkele kleilaagjes, soms grindig, soms slibhoudend	Veghel en Sterksel	1e watervoerende pakket
75 - 137	klei, enkele laagjes fijn tot matig fijn zand	Kedichem/Tegelen	1e scheidende laag
137 - 142	fijn tot matig fijn zand	Tegelen	2e watervoerende pakket A
142 - 175	klei, enkele inschakelingen van fijn tot matig grof zand	Belfeld klei	2e scheidende laag A
175 - 212	matig fijn tot grof zand met enkele kleilagen	Belfeld grind	2e watervoerende pakket B
212 - 213	klei, fijn zand	Reuver klei	2e scheidende laag B
213 - 225	zand	Schinveld zanden	3e watervoerende pakket A
225 - 260	klei	boven- en onder Brunssum klei	3e scheidende laag A+B
260 -375	fijn tot zeer grof zand met enkele kleilagen	Waubach zanden	3e watervoerende pakket C
>375	klei, slibhoudende zanden	Breda	hydrologische basis

* De hoogteligging van het maaiveld varieert op het TU-terrein circa tussen de 15,5 en 16,5 m+NAP.

In geohydrologisch opzicht is Eindhoven gelegen in de Centrale Slenk. De ondergrond van de Centrale Slenk kenmerkt zich door de aanwezigheid van breuken doordat in het Tertiair en Kwartair de bodem een kantelende beweging maakte. Met name ten zuiden van Eindhoven is de bodemopbouw erg grillig als gevolg van de breuktektoniek.

Ter plaatse van de TUE is de bodem onder te verdelen in drie watervoerende pakketten. Aan de bovenzijde bevindt zich een deklaag, welke wordt gevormd door de Nuenengroep. Deze groep omvat de Formaties van Eindhoven, Asten en Twente en is opgebouwd uit een complex van fijne tot grove zanden, veen- en leemlagen. Door de aanwezigheid van een zandpakket is de Nuenengroep in hydrologische zin op te vatten als een ondiep watervoerend pakket met aan de boven- en onderzijde lemige afzettingen.
Het eerste watervoerende pakket wordt aan de onderzijde begrensd door de slecht doorlatende afzettingen van de Formaties van Kedichem en Tegelen. Ten zuidoosten van Eindhoven zijn deze afzettingen niet aanwezig en vormen het eerste, tweede en derde watervoerende pakket één geheel.

Het tweede watervoerende pakket wordt door de aanwezigheid van Belfeld klei (scheidende laag 2A) onderverdeeld in de subpakketten 2A en 2B. Ten noordwesten en zuidoosten van Eindhoven is de Belfeld klei niet aanwezig en vormen de deelpakketten één geheel. Aan de onderzijde van het tweede watervoerende pakket ligt Reuver klei. Deze laag heeft slechts plaatselijk hydrologische betekenis.

Binnen het derde watervoerende pakket zijn drie subpakketten te onderscheiden door de aanwezigheid van Brunssum klei. De hydrologische basis bevindt zich op circa 375 m-mv.

2.2 Geohydrologische parameters

De geohydrologische parameters zijn afkomstig uit REGIS, de Grondwaterkaart (lit.10) en uit de studies van Heidemij en Arcadis (lit. 11 en 12). In de figuren V.4 a t/m d zijn de REGIS kaarten opgenomen, waarmee een goed beeld wordt verkregen van de ruimtelijke spreiding van de verschillende geohydrologische parameters.

Deklaag
Op het terrein van de TUE varieert de dikte van de deklaag tussen de 12 en 25 m. De deklaag is in hydrologische zin op te delen in een freatisch pakket (ondiepe watervoerende laag) en een scheidende laag.

- Freatische pakket:
Zoals is te zien in de geohydrologische profielen is de verspreiding van klei-, zand- en veenlagen niet eenduidig. De dikte van het freatische pakket varieert ter plaatse van de TUE van circa 5 m tot circa 20 m. In de studie van Heidemij (lit. 11) en de studie van Arcadis (lit. 12) wordt voor de doorlatendheid van het ondiepe watervoerende pakket een waarde van circa 5 m/d aangehouden. Deze waarde is gebaseerd op een geohydrologisch onderzoek uitgevoerd door IWACO (lit. 13). Uitgaande van een gemiddelde dikte van het ondiepe watervoerende pakket van 15 m, bedraagt het gemiddelde doorlaatvermogen van het ondiepe watervoerende pakket op het TUE-terrein 75 m²/d. Regionaal gezien wordt een gemiddelde waarde van 100 m²/d per dag aangehouden (lit. 11). De bergingscoëfficiënt van het freatische watervoerende pakket wordt geschat op 0,28 (lit.14).

Het freatische pakket wordt doorsneden door de rivieren de Dommel en de Kleine Dommel, het Eindhovens Kanaal, het natuurzwembad de IJzeren Man en de Karpendonksche plas. In de Heidemij studie (lit.11) zijn drainageweerstanden berekend. De drainageweerstand voor het stedelijk gebied bedraagt gemiddeld 650 dagen en voor het buitengebied gemiddeld 2.000 dagen. De drainageweerstand van beken in bodems variërend van dekzand tot leem bedraagt 7 à 15 dagen. Voor de Dommel en de Kleine Dommel is als gemiddelde 10 dagen aangehouden. Voor de IJzeren Man en de Karpendonkste Plas is een weerstand van 100 dagen aangehouden. De bergingscoëfficiënt van het open water bedraagt 1 (porositeit = 100%).

- Scheidende laag:
Op basis van de REGIS-gegevens bedraagt de weerstand van de deklaag ter plaatse van het TUE-terrein tussen de 1.000 en 2.000 dagen (zie figuur V.4a). De vertikale doorlatendheid bedraagt hiermee gemiddeld 0,01 m/dag. Dit is overeenkomstig de gegevens uit de Grondwaterkaart en de Arcadis studie (lit. 10 en 12). Regionaal gezien kan de weerstand van de deklaag variëren tussen de 0 en 2.500 dagen.

Eerste watervoerende pakket
In de omgeving van Eindhoven zijn diverse pomp- en putproeven uitgevoerd (lit.10 en 12). Uitgaande van deze gegevens bedraagt de kD-waarde regionaal gezien gemiddeld circa 2.500 m²/d. Volgens REGIS bedragen de kD-waarden op het TUE-terrein tussen de 1.600 en 2.000 m²/d. Ten noorden en oosten van het TUE-terrein is het doorlaatvermogen groter en variëren de kD-waarden tussen de 2.000 en 3.000 m²/d, overeenkomstig de gegevens uit de literatuur. De bergingscoëfficiënt is berekend met behulp van de formule van Van der Gun (lit. 15) en bedraagt $9{,}7*10^{-4}$.

Eerste scheidende laag
Regionaal gezien varieert de dikte van deze laag tussen de 40 en 60 m. Op basis van de gegevens uit REGIS is de dikte ter plaatse van het TU terrein gemiddeld 60 m en de weerstand 20.000 dagen. Regionaal gezien kan de weerstand variëren van 12.000 tot 25.000 dagen. In de hydrologische studies van Heidemij en Arcadis (lit. 11 en 12) is een weerstand aangehouden van 10.000 dagen. Ten opzichte van de REGIS gegevens lijkt dit een onderschatting.

Tweede watervoerende pakket A
Binnen het tweede watervoerende pakket is een tweedeling in de subpakketten 2A en 2B ontstaan als gevolg van de aanwezigheid van de Belfeld klei. De doorlaatvermogens van deze lagen zijn ontleend aan de REGIS gegevens. Het doorlaatvermogen van het watervoerende pakket 2A varieert tussen de 80-120 m²/d ter plaatse van het terrein van de TUE. Regionaal gezien varieert het doorlaatvermogen tussen de 50 en 250 m²/d. De bergingscoefficiënt is berekend met de formule van Van der Gun en bedraagt $5*10^{-5}$.

Tweede scheidende laag A
De weerstand van deze laag is niet bekend. In de Grondwaterkaart wordt de horizontale doorlatendheid van deze laag geschat op 0,005 m/d. Bij een gemiddelde dikte van 30 m in de regio Eindhoven betekent dit dat weerstand van deze laag 6.000 d bedraagt.

Tweede watervoerende pakket B
Uit de gegevens van REGIS is het gemiddelde doorlaatvermogen van deze laag ter plaatse van het TUE-terrein 1.000 m²/d. Ten noordwesten en zuidoosten van Eindhoven is de tweede scheidende laag A (Belfeld klei) niet aanwezig en vormt het tweede watervoerende pakket B één geheel met het tweede watervoerende pakket A. Regionaal gezien kan het doorlaatvermogen daarom variëren tussen de 0 en 1.500 m²/d. De bergingscoëfficiënt is berekend met de formule van Van der Gun en bedraagt $3{,}1*10^{-4}$.

Diepere lagen
Van de lagen onder het tweede watervoerende pakket zijn slechts schattingen van de geohydrologische parameters aanwezig. De horizontale doorlatendheid van de tweede scheidende laag wordt geschat op 0,005 m/d en het doorlaatvermogen van het derde watervoerende pakket wordt geschat op 2.000 m²/d (lit.10).

De geohydrologische bodemparameters zijn samengevat in tabel V.2a en b.

Tabel V.2a Geohydrologische parameters

geohydrologische benaming	doorlaatvermogen (m²/d)		weerstand (d)		bergings-coëfficiënt (-)
	lokaal (TUE)	regionaal	lokaal (TUE)	regionaal	
freatisch pakket (zie ook tabel B-V.2b)	75	100			0,28
scheidende laag (deklaag)			1.000 - 2.000	0 - 3.000	
eerste watervoerende pakket	1.600 - 2.000	980 - 3.600			$9{,}7*10^{-4}$
eerste scheidende laag			20.000	12.000 - 25.000	
tweede watervoerende pakket A	80 - 120	50 - 250			$5*10^{-5}$
tweede scheidende laag A			6.000	6.000	
tweede watervoerende pakket B	1.000	0 - 1.500			$3{,}1*10^{-4}$

Tabel V.2b Drainageweerstanden

	drainage weerstand (d)
Dommel, Kleine Dommel, Eindhovenskanaal	10
IJzeren Man, Karpendonksche Plas	100
Overig gebied	2.000

2.3 Grondwaterstroming

Freatisch pakket
Van de stroming van het freatische grondwater is een indruk gekregen op basis van een isohypsenpatroon uit de Grondwaterkaart van Nederland (lit.16). Hierin is duidelijk de drainerende werking van de Dommel te zien. Ter plaatse van de TUE heeft het freatische grondwater overwegend een noordwestelijke stromingsrichting (naar de Dommel), maar door lokale factoren kan de stromingsrichting plaatselijk afwijken.

Eerste watervoerende pakket
De regionale horizontale grondwaterstroming in het eerste watervoerende pakket (opslagpakket) is bepaald op basis van isohypsenbeelden afkomstig uit het Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem (REGIS). De isohypsen zijn geconstrueerd op basis van stijghoogtemetingen op 28 april 1995. Het isohypsenbeeld is weergegeven in figuur V.5.

Uit het isohypsenbeeld volgt een grondwaterstroming in noord tot noordwestelijke richting. Door de aanwezigheid van grondwateronttrekkingen (koelwater, koudeopslagen bij Auditorium, N-laag en Cyclotron) kan de grondwaterstroming op het TEU-terrein afwijken van het regionale patroon. Het verhang bedraagt circa 0,4 ‰. Uitgaande van een effectieve porositeit van 35% en een horizontale doorlatendheid van 40 à 50 m/d, bedraagt de snelheid van de regionale grondwaterstroming circa 15 à 20 m/jaar.

Tweede watervoerende pakket
Gezien de heterogeniteit van het tweede watervoerende pakket is van dit pakket geen isohypsenpatroon in kaart gebracht.

Vertikale stroming
De vertikale stroming van het grondwater is in de huidige situatie niet eenduidig te kwantificeren. Door de aanwezigheid van slecht doorlatende laagjes in de deklaag kunnen er schijngrondwaterstanden voorkomen. In het eerste watervoerende pakket worden de stijghoogten beïnvloed door onttrekking en infiltratie van grondwater, waardoor zowel kwel als infiltratie (opwaartse en neerwaartse stroming) optreedt tussen het freatische en eerste watervoerende pakket.

2.4 Grondwaterkwaliteit en -temperatuur

In figuur V.6 is een tabel opgenomen van analyseresultaten van bronnen op het TUE-terrein. Uit deze resultaten blijkt dat het eerste watervoerende pakket zoet water bevat. De chloridegehalten liggen tussen de 10 en 40 mg/l. Op basis van de Grondwaterkaart wordt de zoet/brak grens (Cl^- = 150 mg/l) verwacht op ca. 400 m-mv.
Voor deze 5 bronnen is eveneens een temperatuurmeting uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de temperatuur in het eerste watervoerende pakket gemiddeld 11,8 °C bedraagt (lit. 17).

2.5 Overige grondwatergebruikers

Op en in de omgeving van het TUE-terrein wordt op meerdere plaatsen grondwater onttrokken en/of geïnfiltreerd. De belangrijkste onttrekkingen vinden plaats ten behoeve van drinkwaterwinning (pompstations) en de industrie. De onttrekkingen vinden plaats op verschillende dieptes en in verschillende watervoerende pakketten. Uit het meest recente jaaroverzicht van grondwateronttrekkingen van de provincie Noord-Brabant (1998) en aanvullende informatie van de provincie is een overzicht gemaakt van onttrekkingen binnen een straal van 3,0 km rond de TUE (zie tabel V.3). In figuur V.7 zijn de locaties van de grondwaterwinningen weergegeven.

Tabel V.3 Grondwaterontrekkingen in de omgeving van de TUE

onttrekker	ligging t.o.v. TUE	filterdiepte (m-mv)	vergunde hoeveelheid (*1.000 m³/jaar)	onttrokken hoeveelheid in 1998 (*1.000 m³/jaar)
1. Complex Vredeoord	ca. 3 km ten noordwesten	35 - 90	onbekend	2.406,6
2. Diaconessenhuis (WKO)	ca. 0,5 km ten noorden	35 - 55	160	178
3. Heuvelgalerie (WKO)	ca. 1 km ten zuidwesten	25 - 83	500	195,3
4. TU Eindhoven (koelwater/ WKO)	terrein TU	29 - 80	3.374	1.152,3
5. TU Eindhoven, Auditorium (WKO)	terrein TU	35 - 76	235	146
6. Campina Melkunie	ca. 1,5 km ten zuidoosten	30 - 91	900	640,9
7. Leo Schellens	ca. 1,5 km ten zuiden	? - 22	60	48
8. Van de Ven en co. Handelsmaatschappij B.V.	ca. 1,5 km ten zuidwesten	? - 42	5	3,7
9. Transportbeton Eindhoven B.V.	ca. 2,5 km ten zuidoosten	45 - 65	15	30,8
10. B.V. Deli HTL Tabak Maatschappij	ca. 2 km ten zuidoosten	35 - 75	65	55
12. KBC-toren (WKO)	ca. 300 m ten zuidwesten	30 - 85	360	vergunning verleend mei 2000
13. Hurks Bouw en Vastgoed BV (WKO)	ca. 1 km ten westen	30 - 80	160	vergunning verleend februari 2000

2.6 Bodem- en grondwaterverontreinigingen

Bij de provincie Noord-Brabant en de milieudienst regio Eindhoven is informatie opgevraagd over bodem- en grondwaterverontreinigingen in de omgeving van de TUE (lit. 18 en telefonische informatie). In tabel V.4 is een overzicht van de bodem- en grondwaterverontreinigingen weergegeven. In figuur V.8 is de ligging van de verontreinigingslocaties aangegeven. Uit de beschikbare informatie kan geconcludeerd worden dat de aanwezige bodem- en grondwaterverontreinigingen zich in het freatische watervoerende pakket bevinden en zich (voor zover tot nu bekend) niet hebben verspreid naar het eerste watervoerende pakket.

Tabel V.4 Overzicht bodem- en grondwaterverontreinigingen

ibskode	locatie	verontreinigingssituatie
155 / 10	Voormalige gasfabriek	Benzeen, Naftaleen, Benzo(a)pyreen, Mineralie olie. Verspreiding tot 4 m-mv.
155 / 88	Tongelresestraat 461	Oriënterend onderzoek 1999, vooralsnog geen urgentie.
155 / 114 155 / 124 155 / 127 155 / 139 155 / 163 155 / 164 155 / 166	Insulindelaan Berlaerstraat 61 Claassenstraat 3 J.F.Kennedylaan 10 Veld. Montgomerylaan 669 Vestdijk 27 Willem v. Konijnenburglaan 7	Tankstations: Over het algemeen: Minerale olie en aromaten Ondiepe verontreinigingen (<10 m-mv). De locaties zijn opgenomen in werkprogramma pompstations
155 / 171 en 155 / 172	Terrein TU Eindhoven *) (voormalige stortplaatsen huis-, bouw- en sloopafval)	Ondiepe verontreinigingen: olie, aromaten, naftaleen, tetrachlooretheen. Lokaal sterke verontreiniging cadmium en zink.
155 / 195	Kruisstraat 68A en 68B (chemische wasserij)	Xylenen, Alifatische koolwaterstoffen. Verspeiding tot 10 m-mv.
155 / 211	Smalle Haven	Geen gegevens bekend, sanering in eigen beheer.
685 / 4	Boven Dommel	Zware metalen en PAK's boven interventiewaarde (waterbodemverontreiniging).

*) Op het TUE-terrein zijn in het freatisch pakket verontreinigingen van voormalige stortplaatsen aanwezig. Hiernaar is een historisch en oriënterend onderzoek uitgevoerd (lit. 19 en 20). Op basis van het oriënterend onderzoek is geconcludeerd dat er sprake is van lichte verontreinigingen met olie in de grond en met aromaten en naftaleen in het grondwater, welke gezien het concentratieniveau, de mate van verspreiding en het gebruik van de grond geen gevaar voor de volksgezondheid of het milieu vormen. Het grondwater wordt gemonitoord. Uit het monitoringsrapport van 1999 (lit. 21) blijkt lokaal sprake te zijn van een sterke verontreiniging met cadmium en zink en lichte concentraties tetrachlooretheen, waarbij wordt aangegeven dat er geen sprake is van enig risico en er geen maatregelen ten aanzien van het grondwater nodig zijn.

2.7 Waterhuishouding

Oppervlaktewater
Het regionale oppervlaktewater in en rondom Eindhoven is in beheer bij het Waterschap De Dommel. De Dommel stroomt langs het TUE-terrein en heeft ter plaatse van de TUE een gemiddeld peil van 13 m+NAP. De maatgevende waterstand is hoger dan 14 m+NAP. De peilfluctuaties beperken zich normaal tot enkele centimeters per jaar. De dynamiek van de Kleine Dommel is groter, enkele decimeters tot een meter per jaar.

Ten noordoosten van het TUE-terrein bevinden zich de Karpendonksche Plas en het natuurzwembad de IJzeren man. De IJzeren Man wordt doorspoeld en op een vast peil gehouden (ca. 16 m+NAP) met grondwater dat ten zuiden van de IJzeren Man wordt opgepompt. De Karpendonksche Plas heeft een gemiddeld peil van ca.15,30 m+NAP met een fluctuatie van circa 10 cm.

Grondwater
Uit metingen in en rond Eindhoven en op het TUE-terrein blijkt dat de freatische grondwaterstanden sterk kunnen fluctueren. Het verschil tussen het zomer- en winterpeil is in de meeste peilbuizen groter dan 1 meter. De grondwaterstanden variëren op het TUE-terrein van circa 0,30 tot 2,5 m-mv. In de buurt van de Dommel ligt de grondwaterspiegel dichter bij maaiveld en zijn de fluctuaties minder groot dan op het overige deel van het TUE-terrein. De fluctuaties ontstaan door weers- en seizoensinvloeden en door het ontstaan van schijngrondwaterspiegels als gevolg van storende klei- en veenlaagjes.
Van oorsprong ontvingen de beekdalgronden (langs de Dommel en Kleine Dommel) nagenoeg permanent kwelwater vanuit de hoger gelegen zandgronden. Door de vele grondwaterwinningen is deze situatie verstoord.

In de afgelopen tien jaar is het aantal (ondiepe) grondwateronttrekkingen in Eindhoven sterk gereduceerd. De onttrekkingen uit diepere pakketten zijn daarentegen verdubbeld.
De ondiepe onttrekkingen zijn sinds 1989 afgenomen met circa 65% van een totaal van circa 23 miljoen m^3 naar circa 8 miljoen m^3. Uit onderzoek door Arcadis (lit. 12) is gebleken dat door de verminderde onttrekking van het pompstation Aalsterweg (sinds begin jaren 90) met name in het zuiden en zuidoosten van Eindhoven sprake is van een stijgend grondwaterstandsniveau met 1 tot 1,5 meter. Hierdoor treedt lokaal grondwateroverlast op in woningen. Indien geen maatregelen worden genomen zal in de autonome situatie meer overlast kunnen ontstaan, doordat het beleid erop gericht is het onttrekken van grondwater verder te reduceren. De toename van de diepere onttrekkingen heeft een verwaarloosbaar effect op de freatische grondwaterstand.

3 Natuur en landschap

3.1 Natuur

Huidige situatie
In het kader van een te ontwikkelen Groenbeleidsplan is een inventarisatie van de natuurwaarden in Eindhoven uitgevoerd (lit. 22). In figuur V.9 is een overzichtskaart van de biotoopzeldzaamheid in Eindhoven opgenomen.

Voor het TUE-terrein en het terrein rond de Karpendonksche Plas geldt dat de natuurwaarwaarde gering is. De waarnemingen van flora en fauna doelsoorten zijn vrijwel geheel gebonden aan de Dommel. Wat betreft karakteristieke plantesoorten is het gebied beperkt ontwikkeld. Van vogels zijn vooral secundaire doelsoorten aanwezig, waardoor de waardering laag is. Van andere soorten is onvoldoende informatie beschikbaar.
Het Eckartse bos ligt in het noordoosten aan de rand van het studiegebied en wordt getypeerd als van groot belang voor de natuur. Hoewel in het gebied sinds half jaren 70 een sterke achteruitgang van bijzondere soorten zichtbaar is, worden nog bijzondere en karakteristieke soorten van vochtige bossen en beekdalbegeleiders waargenomen. Als unieke soort worden de orchidee 'het soldaatje' en de kleine ijsvogelvlinder genoemd. Ook voor dit gebied geldt dat de Dommel een grote rol speelt bij het voorkomen van bijzondere soorten.
Binnen het studiegebied zijn geen zeldzame en moeilijk vervangbare biotopen, zoals gedefinieerd in het 'Inventarisatierapport Natuurwaarden in Eindhoven' (lit. 22) aanwezig.

Autonome ontwikkeling
In het nationaal natuurbeleidsplan wordt het Dommeldal genoemd als onderdeel van de ecologisch hoofdstructuur. Als doelstelling is hiervoor geformuleerd: duurzame instandhouding, herstel en ontwikkeling van natuurlijke en landschappelijke waarden. In dit kader is er een Dommeldal plan in ontwikkeling. De autonome ontwikkeling van het gebied is momenteel nog niet goed in te schatten, doordat nog geen concrete doelstellingen of streefbeelden bekend zijn. Uitgaande van het natuurbeleid is de verwachting dat de natuurwaarden in het studiegebied zullen moeten verbeteren.

3.2 Landbouw

In de directe omgeving van de TUE zijn geen intensieve landbouwgronden aanwezig. Binnen het studiegebied zijn enkele kleinschalige akker-, gras-, en hooilanden aanwezig. Grootschalige, meer intensieve landbouwgronden bevinden zich voornamelijk aan de westkant van de stad Eindhoven. Met name de kleinschalige agrarische gebieden langs de Kleine Dommel vervullen een natuurfunctie. In het beleid wordt ernaar gestreefd de natuurlijke inslag te behouden.

3.3 Bebouwing

Op diverse plaatsen in de gemeente Eindhoven, met name in het zuiden en het centrum, treedt grondwateroverlast in woningen op (zie figuur V.10). Uit een door Arcadis uitgevoerde studie naar de mogelijke oorzaken (lit. 12) is gebleken dat als gevolg van de sterke daling van de ondiepe grondwateronttrekkingen, met name in het zuiden en zuidoosten van Eindhoven de freatische grondwaterstand met 1 tot 1,5 meter is gestegen. In perioden waarin relatief veel neerslag is gevallen leidt dit tot grondwateroverlast in woningen. In deze gebieden is een stijging van de grondwaterstand als gevolg van WKO ongewenst.

Ten aanzien van zettingen als gevolg van WKO worden geen problemen verwacht. In Eindhoven en op het TUE-terrein zelf zijn reeds gedurende lange tijd aanzienlijke hoeveelheden grondwater onttrokken, waardoor de grond al is voorbelast.

4 Energie en emissies

4.1 Energieverbruik

Huidige situatie
In december 1997 zijn op de klimaatconferentie in Kyoto afspraken gemaakt tussen een aantal landen, waaronder Nederland, over de reductie van broeikasgasemissies. Een aanzienlijk deel van deze reducties moet bereikt worden door energiebesparing. De TU Eindhoven is van plan zich te verplichten een bijdrage te leveren aan deze doelstelling door *mede-ondertekening van de "Meerjarenafspraak tussen de Universiteiten en de Minister van* Economische Zaken over verbetering van de energie-efficiëntie". Volgens deze Meerjarenafspraak stelt de TU Eindhoven zich ten doel in het jaar 2006 een verbetering in de energie-efficiëntie van 20% te bereiken ten opzichte van 1996.

Het energieverbruik van de TU Eindhoven in 1997 bedroeg:
- 36.000.000 kW_e elektriciteit;
- 8.000.000 m^3 aardgas;
- 21.000.000 m^3 primair energieverbruik.

De emissies ten gevolge van het energieverbruik zijn:
- CO_2 34.616.000 kg;
- SO_2 15.428 kg;
- NO_x 21.400 kg.

De energiebesparingsdoelstelling moet enerzijds worden bereikt door het treffen van maatregelen aan de gebouwen en de gebouwinstallaties in het kader van de uitvoering van het Masterplan huisvesting. Anderzijds kan deze doelstelling mede bereikt worden door aandacht te besteden aan de energievoorzieningsinfrastructuur.

Autonome ontwikkeling
In het provinciaal beleid is aangegeven dat het grondwaterverbruik dient te worden teruggedrongen. Indien geen WKO wordt gerealiseerd zal de koeling volledig worden overgenomen door compressiekoelmachines. Deze machines hebben een jaargemiddelde COP van 4. Het elektriciteitsverbruik van de TUE neemt hierdoor met 20% toe.

De emissies komen hiermee op het volgende niveau:
- CO_2 38.861.000 kg;
- SO_x 18.616 kg;
- NO_x 22.525 kg.

4.2 HCFC-emissie

Koelmachines bevatten koudemiddelen. Tot 1993 werden hiervoor veelal CFK's (gechloreerde fluor koolwaterstoffen) gebruikt. Algemeen wordt aangenomen dat CFK's mede de oorzaak zijn van de aantasting van de ozonlaag. Om de emissie te beperken en de aantasting van de ozonlaag te voorkomen, is in Nederland sinds 1 januari 1993 het "Besluit inzake stoffen die de ozonlaag aantasten" van kracht. Hierin wordt o.a. geregeld dat:

- nieuwe koelinstallaties met een vermogen van meer dan 500 W geen CFK's mogen gebruiken;
- aan koelinstallaties technische eisen worden gesteld aan de lekdichtheid en het onderhoud.

Nieuwe koelinstallaties bevatten tegenwoordig koudemiddelen die geregistreerd staan onder de verzamelnaam HCFC (hydrochlorofluorcarbon). De HCFC's hebben een kortere levensduur in de atmosfeer en een lagere ozon-afbrekende capaciteit. Deze capaciteit ODC (= Ozon Depletion Capacity) ligt voor de HCFC's tussen de 1 en 10% ten opzicht van CFK's. Vanwege het feit dat HCFC's nog steeds de potentie hebben om de ozonlaag te vernietigen worden ze slechts als tijdelijke vervanger van CFK's. Internationaal is afgesproken de produktie van HCFC's in 2030 in de ontwikkelde landen te verbieden.

Het voorkomen van het gebruik van HCFC's en het zoeken naar nieuwe koudemiddelen moet bijdragen tot het reduceren van toekomstige aantasting van de ozonlaag. Het toepassen van WKO garandeert een 100% HCFC-emissievrije opwekking van koude.

Bijlage bij deel VI

Milieueffecten van WKO

IF Technology bv
2/9949 /GB

1 Hydrologische effecten

1.1 Uitgangspunten voor de berekeningen

1.1.1 Beschrijving computerprogramma

Om de hydrologische effecten van het WKO-systeem te berekenen, is gebruik gemaakt van het hydrologische softwarepakket MicroFEM. Met MicroFEM kunnen zowel stationaire als niet-stationaire berekeningen worden uitgevoerd. Het programma werkt volgens het principe van de eindige elementen (Finite Elements Model). In het model wordt de bodemopbouw geschematiseerd tot watervoerende en weerstandbiedende lagen. In een watervoerende laag vindt alleen horizontale stroming plaats terwijl over een weerstandbiedende laag alleen verticale stroming mogelijk is. Met MicroFEM kunnen alleen stijghoogten in de watervoerende lagen berekend worden. Een stijghoogteberekening in een scheidende laag is niet mogelijk.

Het doel van de MicroFEM-berekeningen is om inzicht te krijgen in de veranderingen van de grondwaterstand en de stijghoogten in de verschillende watervoerende pakketten ten gevolge van de WKO. Tevens dient te worden bepaald tot welke afstand in de omgeving van de WKO grondwaterstands- en stijghoogteveranderingen merkbaar zijn. Dit is het zogenaamde invloedsgebied, dat wordt gedefinieerd als het gebied waar de berekende veranderingen groter zijn dan 5 cm.

1.1.2 Modelschematisatie

Modelgebied
Voor de berekeningen is in MicroFEM een gebied van 13,5 bij 13 km gemodelleerd. Het grid over dit gebied bestaat uit 5405 knooppunten. De knooppuntsafstand is direct rond de bronnen circa 20 meter en aan de randen 2 km.

Bodemopbouw en invoerparameters
De bodemopbouw is geschematiseerd conform de bodembeschrijving in tabel V.1 (bijlage bij deel V) tot en met het watervoerende pakket 2a. De eerste scheidende laag op 75 m-mv heeft een aanzienlijke weerstand en kan feitelijk als hydrologische basis worden beschouwd. Volledigheidshalve is het hieronder liggende watervoerende pakket 2a ook meegenomen zodat aangetoond kan worden dat de effecten op het tweede watervoerende pakket zeer gering zijn. De ingevoerde modelparameters zijn overeenkomstig de waarden zoals beschreven in paragraaf 4.2 van bijlage bij deel V. In tabel VI.1 is deze schematisatie weergegeven.

Oppervlaktewater
In het model zijn de Karpendonksche Plas, de IJzeren Man, de Dommel en de Kleine Dommel opgenomen.

Schematisatie in tijd
Het WKO-systeem bij de TUE is sterk niet-stationair. Onder invloed van de buitentemperatuur, de interne warmtelast en de bezettingsgraad van de diverse gebouwen zal de vraag naar warmte en koude continu schommelen. Voor de berekeningen zijn de gemiddelde weekdebieten gebruikt, overeenkomstig tabel IV.4 in de bijlage bij deel IV.

Tabel VI.1 Schematisatie bodemopbouw voor modellering MicroFEM

diepte (m-mv)	laagcode in Micro-FEM	toelichting	invoerparameters		
			kD (m^2/d)	c (d)	S (-)
0	c1	gesloten bovenrand / gebieds-*dekkende drainageweerstand*		2.000	
0 - 15	T1	freatische laag	75		0,28
15 - 25	c2	deklaag		0 - 2.500	
25 - 75	T2	1e w.v.p.	980 - 3.600		0,00091
75 - 135	c3	1e scheidende laag		11.000 - 25.000	
135 - 142	T3	w.v.p. 2a	50 - 200		0,0002

1.2 Stijghoogte- en grondwaterstandsveranderingen

De berekeningen zijn gebaseerd op het beginsel van superpositie, hetgeen inhoudt dat alleen de stijghoogte*veranderingen* ten gevolge van de WKO worden berekend. De werkelijk optredende stijghoogte kan worden verkregen door de berekende stijghoogte-veranderingen te superponeren (= op te tellen) op het huidige stijghoogtepatroon (zie figuur V.5). De *stijghoogte- en grondwaterstandsveranderingen worden berekend t.o.v. de referentiesituatie.* In de referentiesituatie wordt ervan uitgegaan dat er geen grondwateronttrekkingen op het TUE-terrein aanwezig zijn en er dus geen sprake is van stijghoogte- en grondwaterstandsverlagingen.

1.2.1 Stopzetten huidige onttrekkingen

In de huidige situatie wordt jaarlijks circa 800.000 m^3 grondwater onttrokken ten behoeve van gebouwkoeling. De effecten van het stopzetten van de bestaande grondwateronttrekkingen op het TUE-terrein zijn gepresenteerd in figuur VI.1. Op het terrein van de TUE stijgt het grondwater in het opslagpakket gemiddeld 20 tot 25 cm. In het freatische pakket bedraagt de grondwaterstandsverandering op het TUE-terrein 10 tot 15 cm.

1.2.2 Warmte- en koudeopslag

Als gevolg van het onttrekken en infiltreren van grondwater ten behoeve van WKO stijgt of daalt de stijghoogte in het opslagpakket en de grondwaterstand in het freatische pakket. *In het winterhalfjaar is er sprake van stijghoogte- en grondwaterstandsverlaging bij de warme* bronnen en verhoging bij de koude bronnen. In de zomer is deze situatie omgekeerd: verlaging bij de koude bronnen en verhoging bij de warme bronnen.

De maximale veranderingen treden op in het gebied direct naast de bronnen. In de tijd gezien treden de maximale veranderingen in het opslagpakket op in het midden van de winter en zomer. In het freatisch pakket treden de maximale effecten vertraagd op (aan het einde van de zomer en winter), door de aanwezigheid van een weerstand biedende laag. Aan de tijd-stijghoogtelijnen in figuur VI.5 is te zien dat de maximale stijghoogte- en grondwaterstands-veranderingen minder dan een maand per seizoen optreden en dus erg tijdelijk zijn.

De stijghoogte- en grondwaterstandsveranderingen (in m, interval 0,05 m) zijn per alternatief en per situatie (winter en zomer, freatisch- en opslagpakket) in de figuren VI.2 t/m VI.4 weergegeven. In tabel VI.2 zijn de maximaal optredende veranderingen en de grootte van de invloedsgebieden samengevat. Het invloedsgebied van de WKO wordt gedefinieerd als het gebied rondom de bronnen waar de grondwaterstands- of stijghoogteveranderingen groter zijn dan 5 cm.

Tabel VI.2 Maximale stijghoogte- en grondwaterstandsveranderingen en grootte van de invloedsgebieden.

		alternatief 1	alternatief 2	alternatief 3
max.stijghoogteverandering in opslagpakket	winter	1,15 m	0,40 m	2,50 m
	zomer	1,40 m	0,35 m	2,50 m
max. grondwaterstandsverandering in freatisch pakket	winter	0,15 m	< 0,05 m	0,30 m
	zomer	0,10 m	< 0,05 m	0,25 m
Invloedsgebied opslagpakket	winter	1.700 m	500 m	2.500 m
	zomer	1.700 m	500 m	2.500 m
Invloedsgebied freatisch pakket	winter	300 m	- *	1.000 m
	zomer	200 m	- *	800 m

NB: in de *winter* stijghoogte-/grondwaterstands*verlaging* bij *warme* bronnen en *verhoging* bij *koude* bronnen, in zomer verlaging bij koude bronnen en verhoging bij warme bronnen)

* Bij alternatief 2 zijn de maximale grondwaterstandsveranderingen kleiner dan 5 cm. Er is dus geen sprake van een invloedsgebied.

1.3 Invloed op de omgeving

1.3.1 Natuur

Alternatief 1
Bij alternatief 1 blijft het invloedsgebied van het freatische pakket vrijwel beperkt tot het TUE-terrein. De zeldzame en kwetsbare biotopen (zie figuur V.9) bevinden zich buiten het invloedsgebied en worden niet beïnvloed door de WKO. Dit geldt eveneens voor de landbouwgebieden. De maximale grondwaterstandsverandering (15 cm) treedt slechts op aan het einde van het winterseizoen en alleen in het gebied direct rondom de bronnen. Op de overige delen van het TUE-terrein treden er geen veranderingen op of blijven beperkt tot 5 à 10 cm. Deze geringe en lokale grondwaterstandveranderingen leveren geen problemen op voor het aanwezige groen op het TUE-terrein.

Alternatief 2
Door de gekozen bronconfiguratie voor alternatief 2 blijven de effecten van de WKO beperkt tot het opslagpakket. In het freatische pakket treden geen meetbare grondwaterstandsveranderingen op (< 5cm).

Alternatief 3
De effecten van de WKO in het freatisch pakket zijn bij dit alternatief groter dan bij alternatief 1 en 2. In de verspreid aanwezige matig zeldzame en kwetsbare biotopen ten noordoosten (langs de Dommel) van het TUE-terrein is in de winter sprake van een stijging van de grondwaterstand met maximaal 15 cm en in de zomer een daling van maximaal 10 cm. Ten oosten van het TUE-terrein treedt in de zomer een stijging van de grondwaterstand van maximaal 5 cm. Deze maximale veranderingen treden slechts lokaal en in een beperkt deel van het jaar op (gedurende circa 1 maand, zie figuur VI.5). Significante effecten op de aanwezige natuur worden dan ook niet verwacht.

1.3.2 Bebouwing

Alternatief 1
Aangezien de veranderingen in grondwaterstanden beperkt blijven tot het TUE-terrein zal de bebouwing in de omgeving van het TUE-terrein geen invloed ondervinden van de WKO. Voor de bebouwing op het TUE-terrein zelf geldt dat de veranderingen gering zijn en gezien de lagere grondwaterstanden in het verleden (t.g.v grondwateronttrekkingen) is er geen gevaar voor schade door zetting.

Alternatief 2
Door de gekozen bronconfiguratie voor alternatief 2 blijven de effecten van de WKO beperkt tot het opslagpakket. In het freatisch pakket treden geen meetbare grondwaterstandsveranderingen op (< 5cm).

Alternatief 3
In het stedelijk gebied ten zuidoosten van het TUE-terrein treedt grondwateroverlast in woningen op (zie figuur V.10). Als gevolg van de WKO daalt de grondwaterstand in de winter hier met circa 10 à 15 cm, wat een positief effect is in het kader van de vernattingsproblematiek.

1.3.3 Overige grondwatergebruikers

Alternatief 1
Als gevolg van de WKO ter plaatse van de TUE verandert de stroomsnelheid en stromingsrichting van het grondwater. Voor de meest nabije grondwateronttrekkers, de warmte- en koudeopslagen bij het Diaconessenhuis en de KBC-toren (zie figuur V.7 en tabel V.3 in de bijlage bij deel V), is de hydrologische invloed onderzocht met behulp van MicroFEM.

Uit de berekeningen blijkt dat, als gevolg van de WKO op het TUE-terrein, in de winter het *grondwater ter plaatse van de KBC-toren circa 7 m versterkt afstroomt in noordoostelijke* richting. In de zomer stroomt het grondwater circa 7 m versterkt af in zuidwestelijke richting. De afstroming van warmte en koude is ongeveer een factor twee kleiner dan de afstroming van het grondwater ten gevolge van de opname en afgifte van koude en warmte van het korrelskelet. Dit betekent dat de warme en koude bel van het opslagsysteem in de winter circa 3,5 m worden verplaatst in noordoostelijke richting en in de zomer circa 3,5 m in zuidwestelijke richting. Ter plaatse van het Diaconessenhuis is de afstroming nog minder groot: de warme en koude bel stromen in de winter circa 1,2 m af in noordelijke richting en in de zomer 1,2 m in zuidelijke richting. Deze geringe afstroming van warmte en koude heeft, mede gezien de omvang van de koude en warme bellen (minimale horizontale doorsnede = circa 100 m), geen negatieve invloed op het rendement van deze opslagsystemen.

De zuidelijke afstroming in de zomer kan zelfs als positief worden beschouwd, doordat dit een vertraging van de natuurlijke grondwaterstroming (noord tot noordwestelijk) oplevert.

De overige grondwateronttrekkers bevinden zich op grotere afstand van het TUE-terrein en zullen derhalve nog minder tot geen invloed van de WKO ondervinden.

Alternatief 2
Alleen de grondwateronttrekking ten behoeve van WKO voor de KBC-toren valt binnen het hydrologisch invloedsgebied van de TUE. De verandering van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket bij dit alternatief echter dermate gering, dat het opslagsysteem bij de KBC-toren niet nadelig zal worden beïnvloed door de WKO van de TUE.

Alternatief 3
De invloed van deze variant op de overige grondwateronttrekkers is relatief groot. Voor dit alternatief is evenals bij alternatief 1, voor de meest nabije grondwateronttrekkers (het Diaconessenhuis en de KBC-toren), de hydrologische invloed onderzocht met behulp van MicroFEM.

Ter plaatse van de KBC-toren zal in de winter de warme en koude bel van het opslagsysteem circa 8 m versterkt afstromen in zuidwestelijke richting en in de zomer circa 8 m in noordoostelijke richting. Ter plaatse van het Diaconessenhuis bedraagt de afstroming van de warme en koude bel in de winter circa 3,5 m in zuid tot zuidwestelijke richting en in de zomer 3,5 m in noord tot noordoostelijke richting. Gezien de natuurlijke stromingsrichting van het grondwater (noord tot noordwestelijk) is in de winter sprake van een vertraging van de grondwaterstroming, waardoor de warme en koude bellen zich netto minder zullen verplaatsen t.o.v de situatie zonder WKO op het TUE-terrein. In de zomer wordt de afstroming netto groter. Gezien de omvang van de koude en warme bellen (minimale horizontale doorsnede = circa 100 m) heeft de afstroming geen negatief effect op het rendement van de opslagsystemen.

1.4 Gevoeligheidsanalyse

Het model is voor een aantal parameters gecontroleerd op gevoeligheid. De resultaten van deze gevoeligheidsanalyses zijn weergegeven in de figuren VI.6a t/m d. Hierbij is de referentiesituatie weergegeven en de toename van de freatische effecten indien een andere waarde voor de betreffende parameter wordt gebruikt. De gevoeligheid van de betreffende parameters worden in de volgende paragrafen toegelicht.

Drainageweerstand
In het model is gerekend met een gebiedsdekkende drainageweerstand van 2.000 dagen. Deze waarde is afkomstig uit een studie van Heidemij (lit. 11). Omdat in de overige literatuur geen waarden voor deze parameter is gevonden, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Met het model is berekend in hoeverre de effecten groter zullen zijn bij een gebiedsdekkende drainageweerstand van 3.000 dagen. De uitkomst is weergegeven in figuur VI.6a. Hieruit blijkt dat de gevoeligheid voor deze parameter zeer gering is. Zowel het invloedsgebied als de maximaal optredende grondwaterstandsveranderingen nemen niet significant toe, indien de drainageweerstand met 50 % wordt verhoogd.

Doorlaatvermogen van het opslagpakket
Van het doorlaatvermogen is relatief veel betrouwbare informatie beschikbaar. De in het model ingevoerde waarden voor het doorlaatvermogen zijn afkomstig uit REGIS. Om een indicatie te krijgen van de gevoeligheid van de freatische veranderingen voor het doorlaatvermogen van het opslagpakket, is een hydrologische berekening uitgevoerd waarbij de waarde van het doorlaatvermogen met 20 % is verlaagd. Als gevolg hiervan vindt minder uitdemping plaats en zullen de effecten groter worden. Uit de berekening blijkt het doorlaatvermogen een vrij gevoelige parameter te zijn. 20% verlaging van de kD-waarde betekent 20 % toename van de grondwaterstandsveranderingen. Dit heeft echter geen directe gevolgen voor de invloed op de omgeving, aangezien de maximale grondwaterstandsveranderingen zeer gering zijn (zie figuur VI.6b).

Bergingscoëfficiënt van het freatisch pakket
De waarde voor de bergingscoëfficiënt van het freatisch pakket is moeilijk vast te stellen en kan per locatie sterk verschillen (variatie tussen de circa 0,15 en 0,35). In het model is gerekend met een bergingscoëfficiënt van 0,28 (lit.14). De freatische effecten nemen toe indien met een lagere bergingscoëfficiënt wordt gerekend. In figuur VI.6c zijn de freatische effecten weergegeven indien met een bergingscoëfficiënt van 0,15 wordt gerekend. Het invloedsgebied neemt in het zuidwesten van het invloedsgebied met maximaal 300 m toe. In de overige delen neemt het invloedsgebied toe met circa 150 m. De grondwaterstandsveranderingen nemen toe met circa 30%. In absolute getallen komt dit overeen met slechts enkele centimeters. Deze geringe toename van de effecten heeft geen gevolgen voor de effecten op de omgeving (natuur, bebouwing en overige grondwatergebruikers).

Weerstand van de deklaag
De modelwaarden voor de weerstand van de deklaag zijn afkomstig uit REGIS en variëren tussen de 0 en 3.000 dagen. In de studies van Heidemij en Arcadis (lit. 11 en 12) is een regionaal gemiddelde van 1.000 dagen aangehouden. Een lagere weerstand betekent een toename van de freatische effecten. De toename van de freatische effecten indien met een regionale gemiddelde weerstand van 1.000 dagen wordt gerekend, is weergegeven in figuur VI.6d. Het invloedsgebied neemt met maximaal 150 m toe. De gevoeligheid van deze parameter voor de berekende grondwaterstandsveranderingen is relatief groot (circa 50% toename), maar in absolute getallen komt dit overeen met slechts enkele centimeters (zie figuur VI.6d). Ook hier kan worden geconcludeerd dat de gevoeligheid van deze parameter geen gevolgen heeft voor de mate van invloed op de omgeving.

Gevoeligheid voor de gemiddelde weekdebieten
De maximale stijghoogteveranderingen in het opslagpakket kunnen toenemen als gevolg van de verdeling van de weekdebieten over een week. Het maximale weekdebiet bedraagt circa 220.000 m^3. Dit debiet kan verdeeld worden door gedurende de werkdagen 14,5 uur per dag met een maximaal debiet van 3.000 m^3/h te pompen. Uit extra berekeningen is gebleken dat deze debietvariatie binnen de week geen invloed heeft op de grondwaterstand, maar wel op de stijghoogte in het opslagpakket. Deze stijghoogteverandering zal echter voornamelijk merkbaar zijn ter plaatse van de TUE. De extra stijghoogteverandering bedraagt direct bij de bronnen circa 60 cm en aan de grenzen van het terrein 15 à 25 cm). Freatisch heeft deze situatie geen versterking van de effecten. Gezien het feit dat de TUE in de warmste maanden slechts beperkt operationeel is, wordt niet verwacht dat deze situatie in de praktijk veel zal voorkomen. De berekeningen op basis van de gemiddelde weekdebieten worden daarom representatief geacht.

2 Hydrothermische effecten

2.1 Uitgangspunten voor de berekeningen

2.1.1 Beschrijving computerprogramma

Het berekenen van de thermische effecten van het opslagsysteem is uitgevoerd met het programma HST2D. Met het programma HST2D kan warmte- en stoftransport worden berekend in een verzadigd 2-dimensionaal grondwaterstromingssysteem.
De thermische verliezen worden veroorzaakt door geleiding, dispersie en stroming. Bij een sluitende waterbalans en zonder grondwaterstroming treden geen stromingsverliezen op. Dispersie en geleiding naar boven en onderliggende lagen zullen onder alle omstandigheden optreden.

2.1.2 Modelschematisatie

HST2D simuleert grondwaterstroming en warmtetransport in één laag. De dikte van deze laag is gelijk gesteld aan de effectieve filterlengte van de bronnen (30 m). Deze vereenvoudiging van de werkelijkheid is gerechtvaardigd omdat uit rekenervaringen met HST3D (de 3D versie van HST2D) is gebleken dat het warmte- en koudetransport voornamelijk binnen het filtertraject plaatsvindt. Voor deze berekening is het watervoerende pakket als gespannen beschouwd (geen verticale voeding). Er vindt echter wel warmte-uitwisseling met boven- en onderliggende lagen plaats door middel van geleiding. In tabel VI.3 staan de belangrijkste geohydrologische en geothermische invoerparameters voor de berekening.

Tabel VI.3 Modelschematisatie HST2D

laagnaam	parameters					
	dikte (m)	doorlatendheid (k in m/d)	dispersiviteit (α in m)	verhang (%)	warmtegeleidingscoëfficiënt (λ in W/mK)	warmte capaciteit (Cp in J/m^{3}K)
geleidende toplaag	-	-	2,5	-	1,8	2,5
opslag-pakket	30	45	2,5	0,5	2,4	2,5
geleidende onderlaag	-	-	2,5	-	1,8	2,5

De thermische verliezen worden veroorzaakt door geleiding, dispersie en stroming. Bij een sluitende waterbalans en zonder grondwaterstroming treden geen stromingsverliezen op. Dispersie en geleiding naar boven en onderliggende lagen zullen onder alle omstandigheden optreden.

Op basis van het onttrekkings/infiltratiepatroon van tabel VI.4 zijn de verschillende varianten thermisch doorgerekend met het programma HST2D.

Tabel VI.4 Onttrekkings-/infiltratiepatroon

seizoen	bedrijfs-toestand	onttrekken uit	injecteren in	verpompte hoeveelheid water (m^3)	injectie temperatuur (°C)
winter	laden	warme bronnen	koude bronnen	3.500.000	6
zomer	ontladen	koude bronnen	warme bronnen	3.000.000	16

2.2 Temperatuurveranderingen

De berekende isothermen na 20 jaar in bedrijf zijn per alternatief in de zomer- en wintersituatie weergegeven in de figuren VI.7 t/m VI.9. De 11,5 °C en 12,5 °C isothermen laten de grens zien waarbinnen de temperatuur meer dan 0,5 °C afwijkt van de natuurlijke grondwatertemperatuur (12 °C). Het contourinterval is 0,5 °C.

Het thermisch invloedsgebied wordt gedefinieerd als het gebied rondom de bronnen waar de temperatuurveranderingen groter zijn dan 0,5 °C. Voor de alternatieven 1 en 2 blijft het thermisch invloedsgebied vrijwel beperkt tot de grenzen van het TUE-terrein. Het thermisch *invloedsgebied van alternatief 3 strekt zich tot maximaal ca. 300 m uit buiten het TUE-terrein.*

2.3 Invloed op de omgeving

2.3.1 Natuur

Voor alle varianten is er sprake van een maximale netto temperatuurverandering van 6 °C ten gevolge van de WKO. Uitgaande van een dikte van de laag boven het opslagpakket van 25 m kan een netto warmtestroom worden berekend van 0,48 W/m^2 (λ deklaag = 2 W/mK). Deze warmtestroom is bij de warme bel opwaarts gericht en bij de koude bel neerwaarts. In vergelijking met de dagelijkse in en uitgaande straling aan maaiveld door de zon (orde 100 tot 1.000 W/m^2) is deze warmtestroom niet significant. Meetbare temperatuurveranderingen zullen aan maaiveld niet optreden. Thermische effecten op de vegetatie en de flora en fauna aan maaiveld zijn daarom verwaarloosbaar.

2.3.2 Overige grondwatergebruikers

Alternatief 1
Het thermisch invloedsgebied blijft bij alternatief 1 beperkt tot het TUE-terrein.
De meest nabij gelegen warmte- en koudeopslagsystemen (bij het Diaconessenuis en KBC-toren) worden thermisch niet beïnvloed door de WKO.

Alternatief 2
Ook bij alternatief 2 blijft het thermisch invloedsgebied vrijwel beperkt tot het TUE-terrein en worden de overige grondwatergebruikers niet thermisch beïnvloed.

Alternatief 3
Het thermisch invloedsgebied van alternatief 3 strekt zich aan de noordoostzijde en de zuidwestzijde tot circa 300 m buiten het TUE-terrein uit. Als gevolg hiervan wordt de warme bron ter plaatse van de KBC-toren negatief beïnvloed. De warmte- en koudeopslag ter plaatse van het Diaconessenhuis bevindt zich buiten het thermisch invloedsgebied en ondervindt geen negatieve beïnvloeding.

2.4 Gevoeligheidsanalyse

Voor de modelparameters warmtegeleidingscoëfficiënt, warmtecapaciteit en doorlatendheid is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De inschatting is dat de onnauwkeurigheid van deze parameters niet meer dan 20 % bedragen. In een vast punt is de temperatuur berekend die optreedt indien met een 20% lagere of een 20% hogere waarde voor deze parameters wordt gerekend. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in figuur VI.10.

De gevoeligheid van de warmtegeleidingscoëfficiënt is verwaarloosbaar klein. Dit wordt veroorzaakt doordat convectief warmtetransport dominant is ten opzichte van warmtegeleiding. Een grotere waarde voor de warmtecapaciteit betekent dat meer warmte wordt opgenomen door de bodem en de temperatuur toeneemt. Een grotere waarde voor de doorlatendheid betekent dat de warmte en koude sneller afstromen. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de temperatuur maximaal 0,2 graden toe- of afneemt bij 20% hogere/lagere waarden voor de warmtecapaciteit en doorlatendheid. De grootte van het invloedsgebied verandert niet.

Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat de gevoeligheid van deze parameters gering is en geen significante toe- of afname van de berekende temperaturen en invloedsgebied oplevert.

2.5 Opslagrendement

2.5.1 Theorie

Thermisch rendement / energieverliezen
Het thermisch rendement is gedefinieerd als het quotiënt van de aan het grondwater toegevoegde hoeveelheid energie en de teruggewonnen hoeveelheid energie.

Er kan gesproken worden van *warmteopslagrendement* en van *koudeopslagrendement*. Het warmteopslagrendement is het percentage van de aan het grondwater toegevoegde warmte dat er in de winter weer aan wordt onttrokken. Het koudeopslagrendement is het percentage van de in de winter aan het grondwater toegevoegde koude dat er in de zomer weer aan wordt onttrokken. Het koudeopslagrendement is complementair aan het warmteopslagrendement. Dat wil zeggen dat een koudeopslagrendement van 90 % gelijk is aan een warmteopslagrendement van 111 % (1 gedeeld door 0,9). Een koudeopslagrendement groter dan 100 % betekent dus eigenlijk dat er netto meer koude aan de bodem wordt onttrokken dan er aan wordt toegevoegd.

Een rendement van 100 % ("energiehoeveelheden in balans") wekt de suggestie dat er geen energieverliezen optreden. Dit is echter niet zo. Er wordt alleen evenveel koude aan het grondwater onttrokken als er aan wordt toegevoegd. Energieverliezen treden *altijd* op.

De grootte van de energieverliezen worden vooral bepaald door de grootte van de grondwaterstroming, de geometrie van de opgeslagen warme en koude bellen en de afwijking van de koude en warme bellen ten opzichte van de natuurlijke grondwatertemperatuur. Het thermisch rendement is dus geen maat voor de hoeveelheid energie die verloren gaat. Zelfs wanneer alle geïnjecteerde warmte en koude zou wegstromen kan het warmte- en koudeopslagrendement 100% zijn als er evenveel koude wordt onttrokken als is toegevoegd (bijv. door meer water te verpompen).

Theoretisch zou het mogelijk zijn om altijd een rendement van 100 % na te streven. Echter, doordat er energie afstroomt, zal de onttrekkingstemperatuur van de koude bronnen na verloop van tijd stijgen in de richting van de natuurlijke grondwatertemperatuur. Voor de gebruiker is grondwater met een temperatuur boven de 8 à 9 °C niet optimaal bruikbaar voor koeling. Indien wordt uitgegaan van een rendement van 100 % is het door de afstroming van koude niet mogelijk om deze vereiste grondwatertemperatuur beneden de 8 °C te realiseren. Om dit toch te bereiken dient jaarlijks circa 10 % extra koude te worden geladen.

Energiebalans
In theorie zijn de warmte- en koudeverliezen in de bodem (energiebalans ten opzichte van de bodem) alleen dan bij benadering aan elkaar gelijk wanneer: (1) de koude brontemperatuur evenveel afwijkt van de natuurlijke grondwatertemperatuur als de warme brontemperatuur (bijv. koud: 6 °C, natuurlijk 12 °C, warm 18 °C) en bovendien, (2) de geometrie van de koude en de warme bel aan elkaar gelijk is en (3) de bronnen precies haaks op de grondwaterstroming staan. In de praktijk kan zelden aan de bovenstaande drie voorwaarden worden voldaan.

Het opslagrendement, of de energiebalans vanuit het oogpunt van het systeem, hangt slechts ten dele samen met de grootte van de energieverliezen in de bodem. Door het opleggen van een energiebalans van 100 % voor het systeem wordt niet per definitie een minimaal energieverlies in de bodem bereikt. Voorts zal, afhankelijk van de randvoorwaarden van de warmte- en koudevragers, de klimatologische omstandigheden en de mogelijke positionering van de bronnen, er per jaar meer koude of meer warmte uit de opslag kunnen worden gehaald.

Indien een balans in de energieverliezen geëist wordt door het bevoegd gezag, resulteert dit in een spanningsveld met de energievraag van de gebruiker. Het opleggen van een energiebalans voor de bodem resulteert in een suboptimale benutting van de klimatologisch beschikbare koude en warmte. Bijgevolg zal met technische middelen (koelmachines, gasketels) het gat gedicht moeten worden tussen de energievraag van de gebruiker en de op basis van het beleid mogelijke beschikbare hoeveelheid energie. Hierbij moet opgemerkt worden dat de energie opgewekt met koelmachines en ketels vele malen meer primaire energie kosten dan de met WKO mogelijke energievoorziening. Tevens zal er voor de bovengenoemde technische middelen extra moeten worden geïnvesteerd.

2.5.2 Opslagrendementen van de alternatieven

Met behulp van HST2D zijn de koudeopslagrendementen (na 5 jaar WKO) van de verschillende alternatieven berekend. Daarnaast zijn ook de koudeverliezen berekend en de gemiddelde onttrekkingstemperatuur uit de koude bronnen. De uitkomsten van deze berekeningen zijn samengevat in tabel VI.5 en het temperatuurverloop in de koude bronnen is weergegeven in figuur VI11.

Tabel VI.5

	koudeopslag-rendement	koude-verlies	warmte-verlies	gemiddelde onttrekkings-temperatuur koude bronnen
Alternatief 1	91 %	30 %	30 %	7,1 °C
Alternatief 2	91 %	35 %	35 %	7,6 °C
Alternatief 3	84 %	35 %	25 %	7,4 °C

Uit de thermische berekeningen blijkt dat niet wordt voldaan aan de verwachting dat alternatief 3 het beste rendement en minste koudeverlies zou opleveren.
Het relatief hoge opslagrendement van alternatief 2 ontstaat doordat een deel van de wegstromende koude de opgeslagen warmte vernietigt (relatief groot warmteverlies), waardoor de hoeveelheid toegevoegde energie afneemt ten opzichte van de onttrokken hoeveelheid energie (zie uitleg in paragraaf 2.5.1). Bij alternatief 3 beïnvloeden de warme en koude bronnen elkaar het minst, maar door het grotere oppervlak van de koude bellen ontstaat meer afstroming van koude naar de omgeving. In figuur VI.11 is te zien dat de onttrekkingstemperaturen van de koude bronnen bij deze variant wel lager zijn dan bij alternatief 2. Alternatief 2 heeft wel het minste warmteverlies. Alternatief 1 heeft door het om en om projecteren van clusters naar verhouding het minst afstroomverlies van koude.

3 Effecten op de waterkwaliteit

3.1 Invloed van de temperatuur

Bij energieopslag treedt ter plaatse van de opslag een (geringe) temperatuurverandering van het grondwater en het aquifermateriaal op. Zowel chemische als micro-biologische processen zijn temperatuur-afhankelijk, waardoor temperatuurveranderingen in de aquifer kunnen leiden tot veranderingen in de waterkwaliteit.

3.1.1 Chemische processen

Theorie
Als een verandering wordt aangebracht in de temperatuur van het grondwater zal daardoor het chemisch evenwicht van een aantal reacties kunnen veranderen (lit. 23). Zo zullen bij toenemende temperatuur exotherme reacties (reacties die warmte afgeven) afnemen. Endotherme reacties daarentegen zullen toenemen.

Ook de snelheid van de reactie (de kinetiek) is een functie van de temperatuur. Als voorbeeld kan de reactie met kalk gegeven worden. Kalk wordt slechter oplosbaar met de temperatuur; het oplossen is een exotherme reactie. De reactiesnelheid van de neerslagreactie van kalk neemt belangrijk toe met de temperatuur. De verhouding tussen de reactiesnelheid bij 30 °C en die bij 10 °C bedraagt bijvoorbeeld een factor 7.

In de bodem bevinden zich naast kalk nog veel meer mineralen. Ook reacties hiermee zullen door de temperatuur worden beïnvloed. Van veel mineralen zijn de enthalpie van de reactie en de activeringsenergie bekend. In theorie kan dan ook uitgerekend worden hoe de samenstelling zou veranderen als de temperatuur verandert. In de praktijk blijkt dit lang niet zo eenvoudig te zijn. Dit verschil tussen de praktijk en de theorie wordt veroorzaakt door storende processen zoals inhibitie (het afschermen van de reagerende oppervlakken).

Ervaringen uit experimenten en meetprogramma's
In de jaren tachtig is veel experimenteel onderzoek uitgevoerd naar het gedrag van water en sediment bij verwarming (zie bijvoorbeeld lit. 24 en 25). Uit deze onderzoeken is gebleken dat bij temperaturen tot 30 °C veelal zeer geringe tot verwaarloosbare veranderingen in de chemische samenstelling van het water optreden.

De experimentele bevindingen worden bevestigd door meetprogramma's die uitgevoerd zijn bij een aantal warmte-opslagprojecten in Nederland. In tabel VI.6 zijn voor een aantal warmte-opslagprojecten de resultaten van de onderzoeken samengevat.

Uit de meetprogramma's en experimenten is gebleken dat bij grondwatertemperaturen tot 30 °C geen of zeer beperkte relaties bestaan tussen temperatuur en waterkwaliteit. Verandering van waterkwaliteit door koude/warmte opslag wordt met name bepaald door menging van water met verschillende kwaliteiten (zie paragraaf 3.3).

Tabel VI.6 Resultaten onderzoeken warmte-opslagprojecten

locatie	max. temp. (°C)	watervoerend pakket	conclusies t.a.v. chemische samenstelling van het water
warmteopslag Bunnik	30	ondiep	- Veranderingen in waterkwaliteit (na 5 jaar) zijn niet of nauwelijks te correleren aan temperatuur veranderen van het grondwater - Waterkwaliteit wordt met name bepaald door menging van grondwater met verschillende kwaliteiten
warmteopslag Groningen	60	ondiep	- Alleen voor NH_4 en Si is een relatie met temperatuur gevonden: Si: toename van temperatuur leidt tot oplossen van silicaten NH4: temperatuur heeft invloed op uitwisselingsconstante van NH_4 - Voor overige parameters is geen relatie aangetroffen met temperatuur (bijvoorbeeld Ca en pH)
Heuvelgalerie Eindhoven	30	ondiep	- geen noemenswaardige veranderingen in chemische watersamenstelling opgetreden, behalve de verwachte menging binnen het filtertraject (onderzoek m.n. gericht op EGV, pH, SO_4, DOC, Sulfiden en Fe)

3.1.2 Micro-biologische processen

Theorie
Belangrijke micro-biologische processen die kunnen leiden tot een verandering van de grondwatersamenstelling zijn:
- overmatige groei van micro-organismen;
- slijmvorming;
- beïnvloeding van het kalkevenwicht (en vorming van CO_2);
- neerslag van ijzer en mangaan.

Temperatuurveranderingen in een aquifer hebben invloed op de micro-biologische activiteit (groeisnelheid van micro-organisme) en de samenstelling van het micro-biologische leven in de aquifer en kunnen derhalve bovengenoemde factoren beïnvloeden.

Micro-biologische activiteit
Bij een stijging van 10 °C neemt de snelheid van reacties in biologische systemen in het algemeen toe met een factor 1,5 à 4 (lit. 26). Niet alleen de temperatuur bepaalt de groeisnelheid van micro-organismen; het voedselaanbod is zelfs van groter belang. Rondom infiltratie- en onttrekkingsbronnen is een verhoogd voedselaanbod aanwezig. Een verhoogd voedselaanbod, gecombineerd met een verhoogde temperatuur, zou kunnen zorgen voor versnelde groei. Met name organisch koolstof dat afgebroken kan worden door micro-organismen is een belangrijke voedselbron voor micro-organismen. Dit wordt uitgedrukt in het AOC-gehalte (Assimilatable Organic Carbon). Grondwater in Nederland heeft veelal een zeer laag AOC-gehalte. Dit verklaart mede de lage microbiologische activiteit die geconstateerd is bij in Nederland uitgevoerde warmte- en koudeopslag-projecten. Gezien de afwezigheid van veen in het filtertraject bij de TUE wordt geen verhoogd AOC-gehalte verwacht.

Samenstelling van micro-biologische populatie
In het algemeen zijn de kardinale temperaturen (minimum, optimum, maximum) karakteristiek voor ieder type micro-organisme. In de meeste gevallen bedraagt het temperatuurbereik waarin een enkel micro-organisme kan groeien ongeveer 30 tot 40 °C.

Grofweg worden 3 temperatuurbereiken voor organismen onderscheiden:
- psychrofielen (temperatuuroptimum tussen 10 en 15 °C);
- mesofielen (temperatuuroptimum tussen 10 en 40 °C);
- thermofielen (temperatuuroptimum > 50 °C).

Het is niet te verwachten dat door energieopslag de populatie sterk zal veranderen aangezien het temperatuurbereik van energieopslag tussen de circa 6 en 20 °C ligt, waar de mesofiele micro-organismen domineren. Deze organismen zullen zich binnen de temperatuurveranderingen die bij energieopslag optreden eenvoudig aan kunnen passen. Indien ook psychrofiele micro-organismen aanwezig zijn, kunnen deze mogelijk afsterven (lit. 26).

Ervaringen uit experimenten en meetprogramma's
Bij een aantal warmte-opslag projecten in Nederland is onderzoek verricht naar micro-biologische veranderingen in de ondergrond ten gevolge van de opslag. In tabel VI.7 zijn conclusies uit die onderzoeken samengevat.

Tabel VI.7 Conclusies t.a.v. microbiologische samenstelling van grondwater

locatie	max. temp. (°C)	watervoerend pakket	conclusies t.a.v. micro-biologische samenstelling van grondwater
warmteopslag Bunnik	30	ondiep	- geen indicaties voor belangrijke microbiologische veranderingen als gevolg van warmteopslag - concentratie micro-organismen laag - geen pathogene bacteriën aangetroffen - geen verhoogde micro-biologische activiteit t.g.v. de temperatuurverhoging waargenomen
warmteopslag Groningen	60	ondiep	- door hoge temperatuur na eerste opwarmingsperiode een ontwikkeling van een kleine populatie thermofiele micro-organismen - geen aanwijzingen voor ontwikkeling van pathogene bacteriën - geen aanwijzingen voor toename van het aantal kiemen
Heuvelgalerie Eindhoven	30	ondiep	- incidenteel verontreiniging met humaan faecaal materiaal aangetroffen. De herkomst is onduidelijk. Aannemelijk is dat de verontreinigingen veroorzaakt zijn door contaminatie tijdens en/of na bemonstering

Uit de meetprogramma's van Bunnik en Groningen blijkt dat het plaatsen van peilbuizen een sterk stimulerende werking heeft op de groei van bacteriën in het grondwater. Pas na enige tijd (circa 1 jaar) bleek er een nieuw micro-biologisch evenwicht te zijn bereikt. Bij Heuvelgalerie Eindhoven is in het bemonsterde grondwater een faecale verontreiniging aangetroffen. De oorzaak hiervan zou kunnen liggen in vervuiling tijdens/na bemonstering (lit. 27).
Uit de resultaten van de meetprogramma's kan geconcludeerd worden dat er geen aanwijzingen bestaan dat temperatuurverhogingen tot 30°C geleid hebben tot micro-biologische veranderingen in de ondergrond.

Experimenteel onderzoek van het aquifermateriaal van de warmteopslag bij Bunnik ondersteunt de conclusie dat een temperatuurverandering van circa 10°C naar 30°C niet leidt tot sterke toename van de biomassa per tijdseenheid. Dit wordt veroorzaakt door het lage AOC-gehalte in het Nederlandse grondwater. Wel bleken humuszuren in oplossing te komen en de CO_2 produktie toe te nemen. Ook uit internationaal onderzoek is gebleken dat er geen negatieve milieu-effecten als gevolg van micro-biologische processen zijn waargenomen in de onderzochte energieopslagsystemen (lit. 28).

3.2 Menging van watertypen

Het onttrekken en infiltreren van grondwater voor energieopslag kan leiden tot vervaging van kwaliteitsgradiënten in de omgeving van de bronnen in zowel verticale als horizontale richting. Deze menging is met name bezwaarlijk in watervoerende lagen met sterke (verticale) chloride gradiënten (zoet/zout). Aangezien het zoet-/brakgrensvlak (chloridegehalte van 150 mg/l) op grote diepte ligt (circa 400 m-mv) zal menging van zoet en zout grondwater door de energie-opslag niet mogelijk zijn.

3.3 Invloed op bodem- en grondwaterverontreinigingen

De bodem- en grondwaterverontreinigingen bevinden zich in het freatisch pakket. De effecten van de WKO op het freatisch pakket zijn gering en in de zomer en winter tegengesteld aan elkaar, zodat verspreiding van de verontreinigingen gering zal zijn. Ten opzichte van de huidige situatie, waarbij ook alleen grondwater wordt onttrokken, zal de mate van verspreiding zelfs minder groot zijn. De scheidende laag onder het freatische pakket voorkomt verspreiding naar het opslagpakket. Voor de verontreinigingen op het TUE-terrein is bovendien aangegeven dat er geen sprake is van enig risico en maatregelen ten aanzien van het grondwater niet nodig zijn (lit. 20, 21).

3.4 Invloed van het bovengrondse systeem

Het grondwatercircuit zal door middel van warmtewisselaars volledig van het gebouwcircuit gescheiden gehouden worden. Het gebouwcircuit van de bestaande koude-/warmteopslag-systemen bevatten een mengsel van leidingwater en glycol. Voor de nieuwe en te renoveren gebouwen zal het gebouwcircuit worden gevuld met leidingwater. Indien er door slijtage aan de warmtewisselaar een mogelijke lekkage zou ontstaan waarbij er water van het gebouwcircuit naar het grondwatercircuit zou kunnen lekken zal dit direct worden gesignaleerd door een drukdaling in het gebouwcircuit. Door het onttrekken en lozen van het onttrokken water op het riool kan deze contaminatie tijdig teniet worden gedaan. Het risico voor een verslechtering van de grondwaterkwaliteit is derhalve zeer gering. Ter controle kan de warmtewisselaar met enige regelmaat worden gecontroleerd op drukvastheid.

3.5 Invloed van het grondwatersysteem

Het grondwater komt in het grondwatercircuit in contact met systeemcomponenten van HDPE, PVC, roestvast staal, brons, rubber en kunststof coatings van kleppen e.d. Het ligt niet in de verwachting dat deze materialen een significante verandering in de samenstelling van het grondwater teweeg zullen brengen (lit. 23). Bovendien wordt het grondwatercircuit luchtdicht en onder overdruk gehouden, zodat contact van het grondwater met de atmosfeer uitgesloten is. Dit betekent dat het ijzer dat in het grondwater aanwezig is in oplossing zal blijven.

4 Energieverbruik en emissies

Het energieverbruik van de diverse alternatieven ligt nagenoeg op hetzelfde niveau.
In onderstaande tabel VI.8 is een overzicht gegeven van de verschillen in energieverbruik en emissies in de huidige situatie, in de autonome situatie en bij WKO.

Tabel VI.8 Vergelijking energieverbruik en emissies

	energieverbruik		emissies		
	elektriciteit (kW_e)	aardgas (m^3)	CO_2 (kg)	SO_x (kg)	NO_x (kg)
Huidige situatie (gegevens 1997)	36.000.000	8.000.000	34.616.000	15.428	21.400
Autonome ontwikkeling	43.500.000	8.000.000	38.861.000	18.616	22.525
WKO	37.900.000	6.300.000	32.861.000	16.000	18.285

Resumerend kan worden gesteld dat de huidige doorstroomkoeling het laagste electriciteitsverbruik heeft. In de autonome situatie wordt ervan uitgegaan (overeenkomstig het beleid) dat er geen doorstroomkoeling plaatsvindt en geen WKO wordt gerealiseerd. De koeling wordt volledig overgenomen door compressiekoelmachines. Deze machines hebben een COP van 4. Hierdoor neemt het energieverbruik van de TUE met 20 % toe.
Door het toepassen van WKO wordt voorkomen dat de waterbesparing een zeer sterke toename van het electriciteitsverbruik veroorzaakt. Door de sterke besparing op verwarmingsenergie ligt de emissie (met uitzondering van SO_x) van het WKO-systeem wel lager dan de huidige emissie. Het toepassen van WKO garandeert bovendien een 100% HCFC-emissievrije opwekking van koude (zie ook bijlage bij deel 5, paragraaf 4.2).

5 Effecten op gebruik ondergrond

Het gebruik van de ondergrond in de omgeving van de TUE wordt beperkt door de aanwezigheid van een WKO-systeem. Dit geldt met name voor toekomstige grondwateronttrekkingen in de directe omgeving. Wanneer een (toekomstige) grondwateronttrekker in de omgeving van de TUE een toename van de grondwaterstromingssnelheid veroorzaakt, resulteert dit in een grotere afstroming van de warme en koude bellen, waardoor het thermisch rendement zal afnemen.

Met behulp van een indicatieve berekeningen is aangegeven met welk maximaal debiet tot op welke afstand grondwater onttrokken kan worden, zonder dat dit direct gevolgen heeft voor de WKO van de TUE. Hierbij is als criterium gehanteerd, dat de grondwaterstromingssnelheid aan de rand van de opslag met maximaal 5 meter per jaar mag toenemen. Dit betekent dat een onttrekker op bijvoorbeeld 1.000 meter afstand van de rand het water maximaal 5 meter mag verplaatsen. Het maximale debiet bij een gegeven verplaatsing van 5 meter kan worden afgeleid uit de relatie:

$$Q = n * D * \pi * (R_1^2 - (R_1 + 5)^2)$$

Q = debiet [m^3/jaar]
n = porositeit [-]
D = pakketdikte [m]
R_1 = *afstand tot onttrekker* [*m*]
5 = maximale snelheid [m/jaar]

Enkele waarden voor het maximale debiet (uitgaande van D= 45 m en n= 0,3) waarmee op een zekere afstand grondwater mag worden onttrokken staan vermeld in tabel VI.9. Hierbij dient te worden opgemerkt dat dit slechts indicatieve waarden zijn en per situatie de effecten op de WKO van de TUE dienen te worden onderzocht. Zo kan een grondwateronttrekking welke stroomopwaarts is gelegen ook een positief effect opleveren, doordat de afstroming van warmte en koude wordt verminderd.

Tabel VI.9 Afstanden en maximaal te onttrekken debieten

afstand in meter	maximaal debiet in m^3/jaar
500	213.000
1.000	425.000
2.000	850.000

Figuren

Figuren bij deel IV

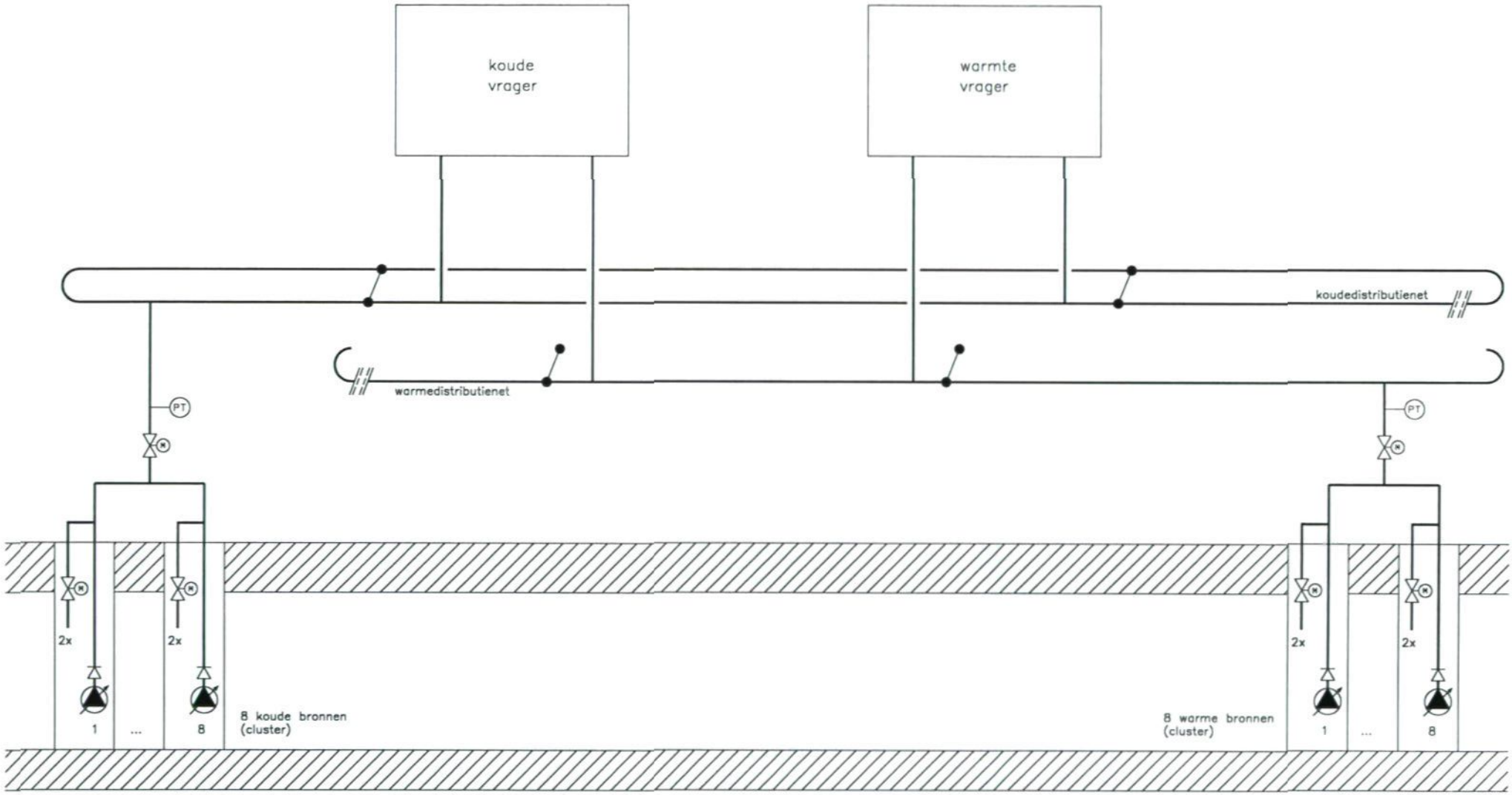
Figuur IV.1 Principeschema centrale energieopslag

IV.2 Kadastrale kaart

IV.3 Alternatief 1 - Bronlocaties

IV.4 Alternatief 2 - Bronlocaties

IV.5 Alternatief 3 - Bronlocaties



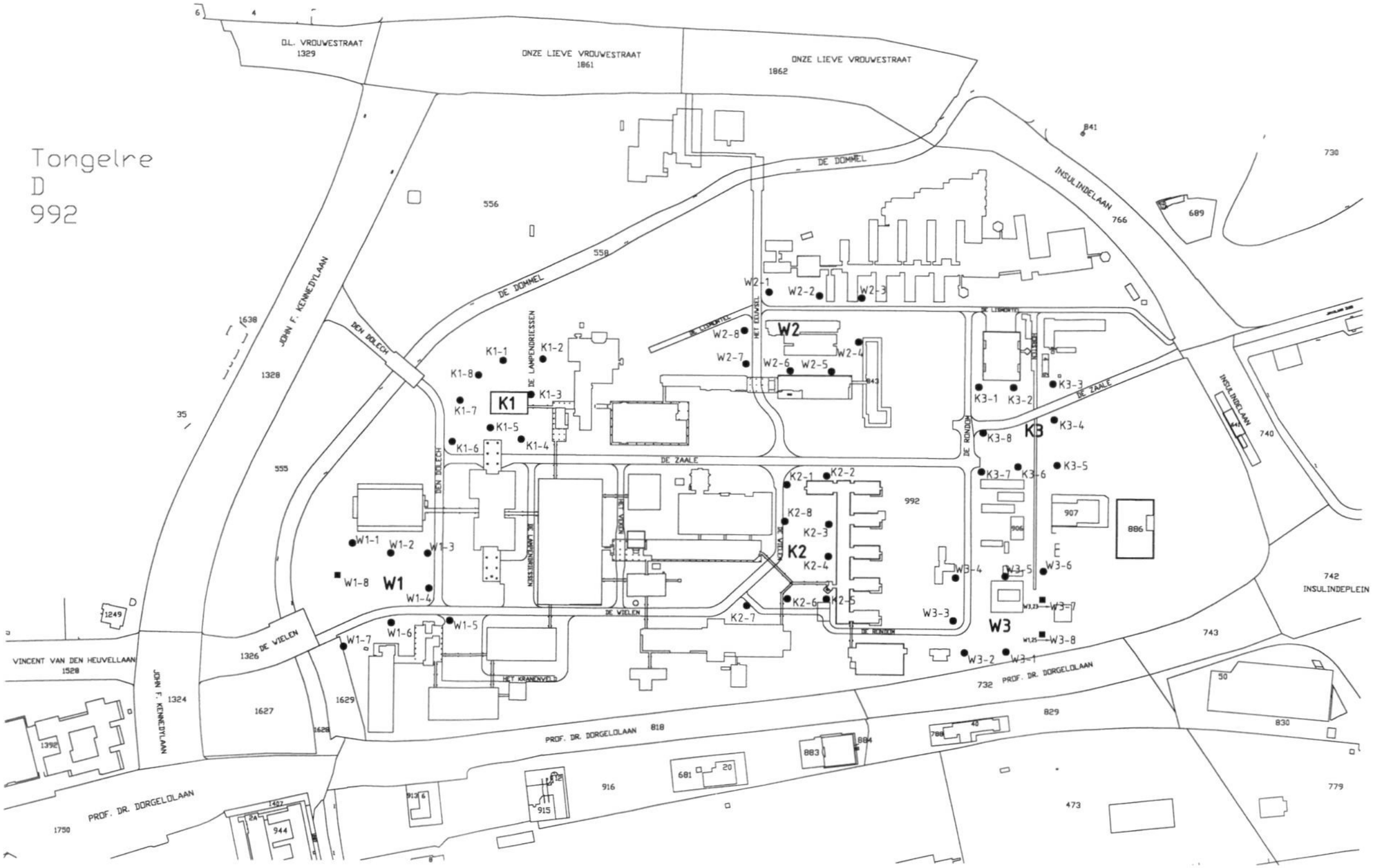
NB.:
– in totaal zijn er drie koude clusters en drie warme clusters

IF Technology

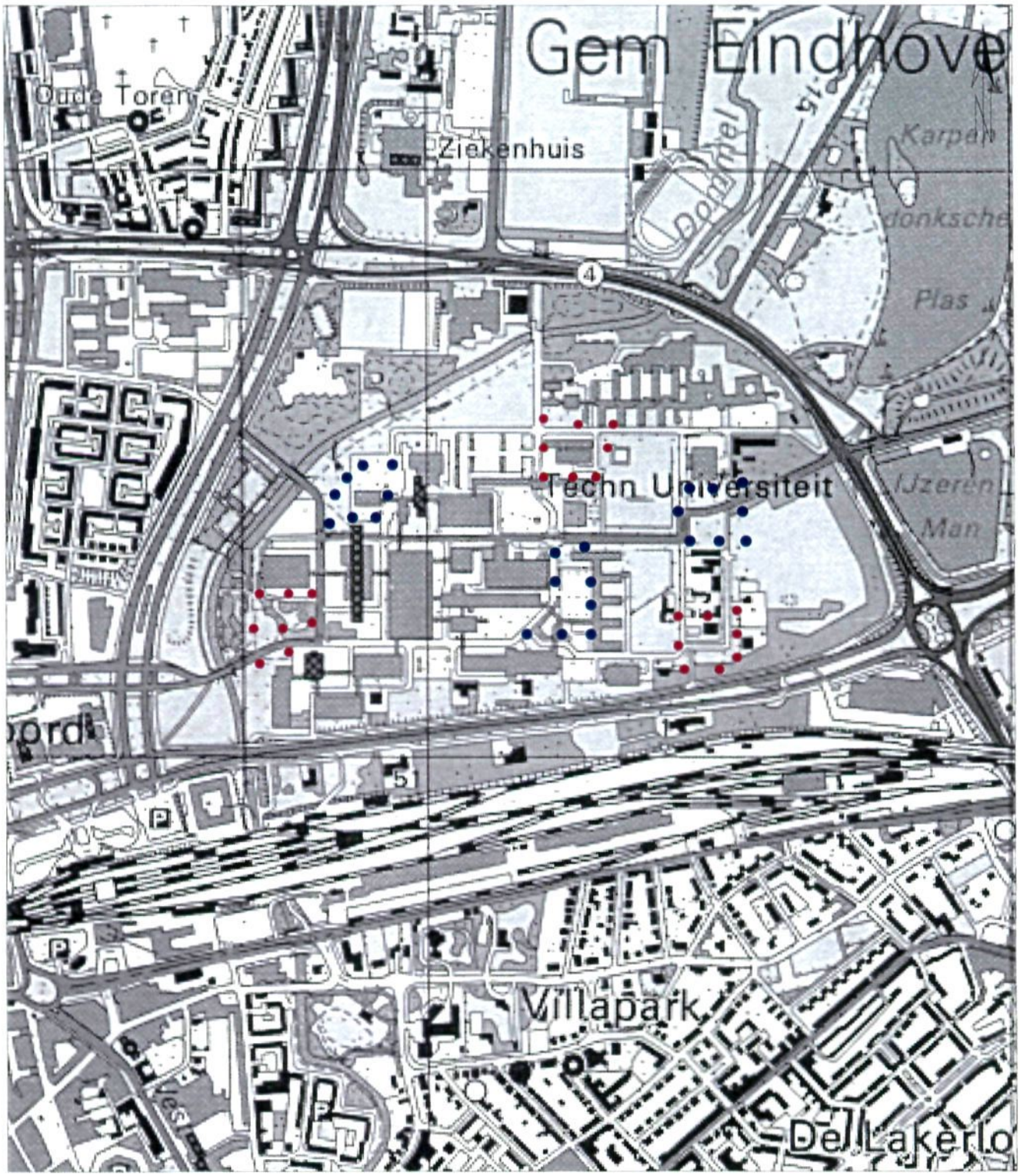
Figuur: IV.1	Status: definitief	Stadium: MER			
Project nr.: 9949/GB	School: A4	Datum: A: 20–07–2000 B: 28–09–2000 C:	Get. DO NS		
Project: Warmte– en koudeopslag TU Eindhoven					
Onderwerp: Principeschema centrale energieopslag					

Tongelre
D
992

N

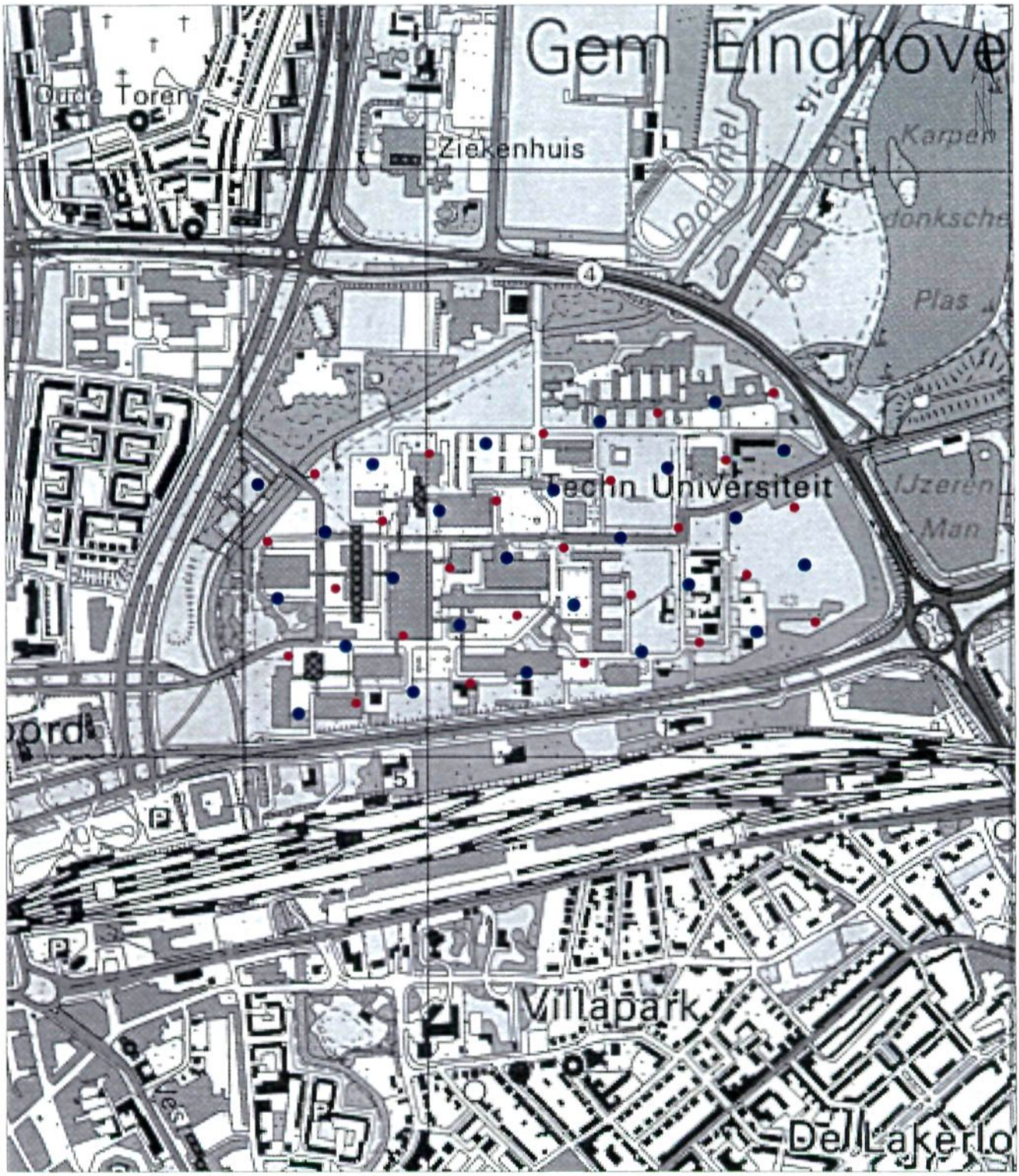


IF Technology	Figuur: IV.2	Status: definitief	Stadium: MER
	Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:5000 A3	Datum: A: 28-09-2000 B: C: / Get. NS
	Project: Warmte- en koudeopslag TU, Einhoven		
	Onderwerp: Kadastrale kaart		



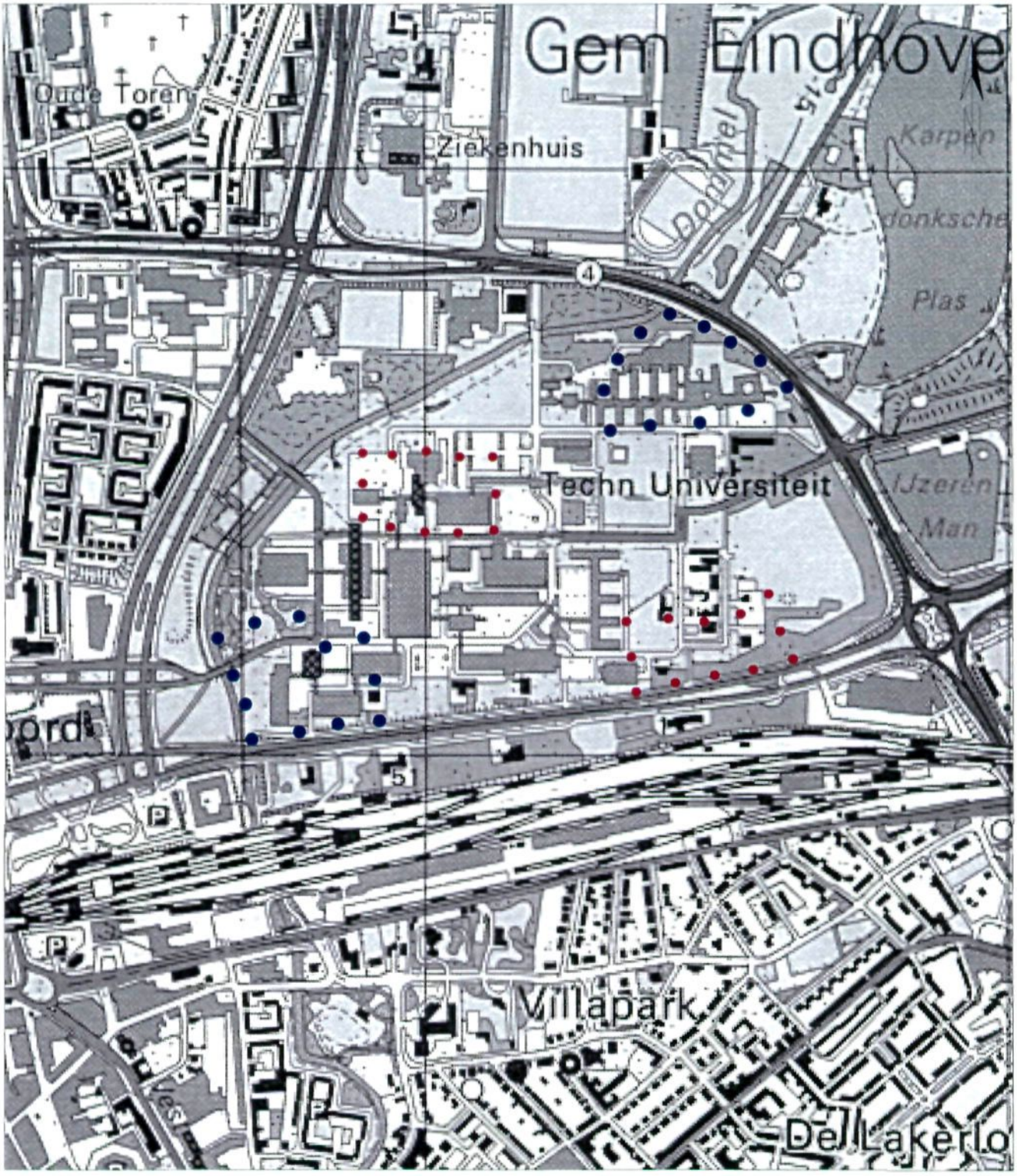
- locatie koude bronnen
- locatie warme bronnen

IF Technology	Figuur: IV.3	Status: definitief	Stadium: MER		
	Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:10.000	Datum: A:31-08-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS	
	Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven				
	Onderwerp: Alternatief 1 - Bronlocaties				



- locatie koude bronnen
- locatie warme bronnen

IF Technology	Figuur:	IV.4	Status: definitief	Stadium: MER	
	Project nr.:	9949/GB	Schaal: 1:10.000	Datum: A:31-08-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS
	Project:	Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven			
	Onderwerp:	Alternatief 2 - Bronlocaties			



- locatie koude bronnen
- locatie warme bronnen

IF Technology

Figuur:	IV.5	Status: definitief	Stadium: MER		
Project nr.:	9949/GB	Schaal: 1:10.000		Datum: A:28-08-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS
Project:	Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven				
Onderwerp:	Alternatief 3 - Bronlocaties				

Figuren bij deel V

Figuur V.1 Overzichtkaart studiegebied en omgeving

V.2 Ligging van de boringen en de profiellijnen

V.3a Geohydrologisch profiel A-A'
V.3b Geohydrologisch profiel B-B'
V.3c Geohydrologisch profiel C-C'
V.3d Legenda

V.4a Weerstand van de deklaag (REGIS)
V.4b KD-waarde eerste watervoerende pakket (REGIS)
V.4c Weerstand eerste scheidende laag (REGIS)
V.4d KD-waarde tweede watervoerende pakket (REGIS)

V.5 Isohypsenpatroon eerste watervoerende pakket

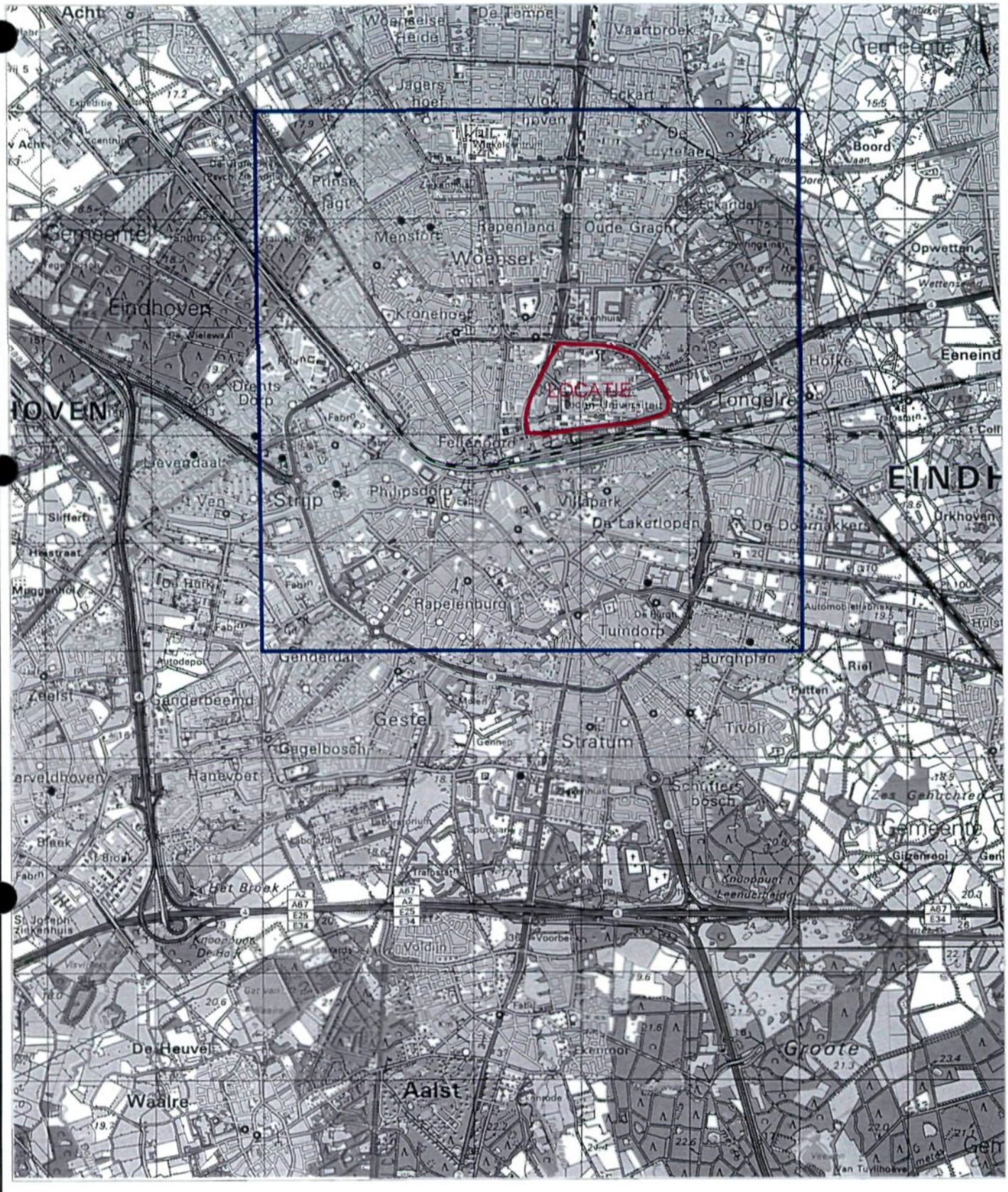
V.6 Analyseresultaten

V.7 Locaties grondwateronttrekkingen

V.8 Locaties bodem- en grondwaterverontreinigingen

V.9 Overzichtkaart biotoopzeldzaamheid

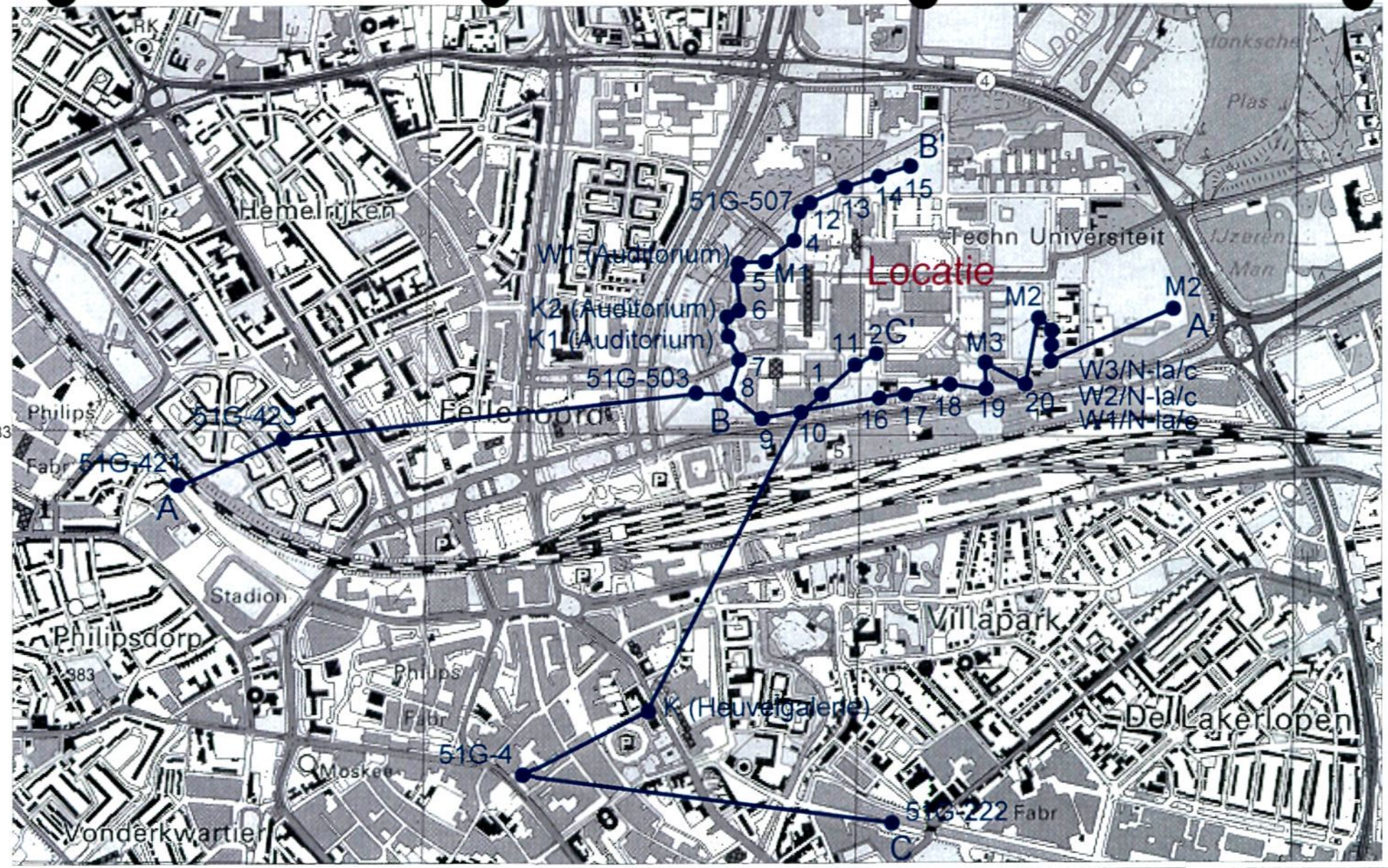
V.10 Locaties grondwateroverlast in woningen



- grens studiegebied

IF Technology

Figuur: V.1	Status: definitief	Stadium: MER	
Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:50.000	Datum: A:05-09-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS
Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven			
Onderwerp: Overzichtkaart studiegebied en omgeving			



161

IF Technology

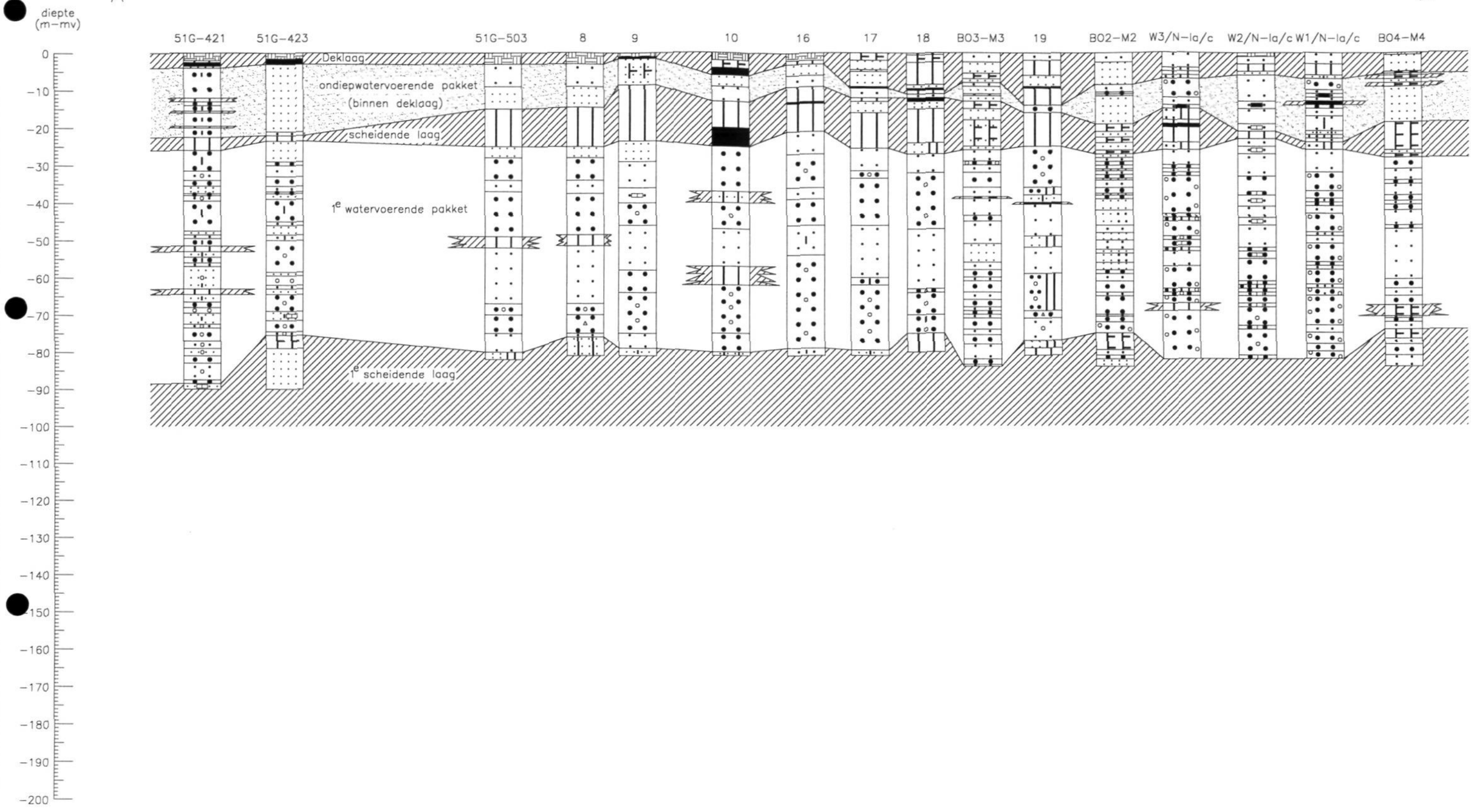
Figuur:	V.2	Status: definitief	Stadium: MER		
Project nr.:	9949/GB	Schaal: 1:12.500	Datum: A:05-09-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS	
Project:	Warmte- en koudeopslag TU Eindhoveg				
Onderwerp:	Ligging van de boringen en de profiellijnen				

W

A

O

A'



N.B.:
- verticale schaal 1:1000
- horizontale schaal: niet geschaald

IF Technology

Figuur: V.3a	Status: definitief	Stadium: MER			
Project nr.: 9949/GB	Schaal: A3	Datum: A: 20-07-2000 B: 28-09-2000 C:	Get. NS NS		
Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven					
Onderwerp: Geohydrologische profielen A-A'					

W

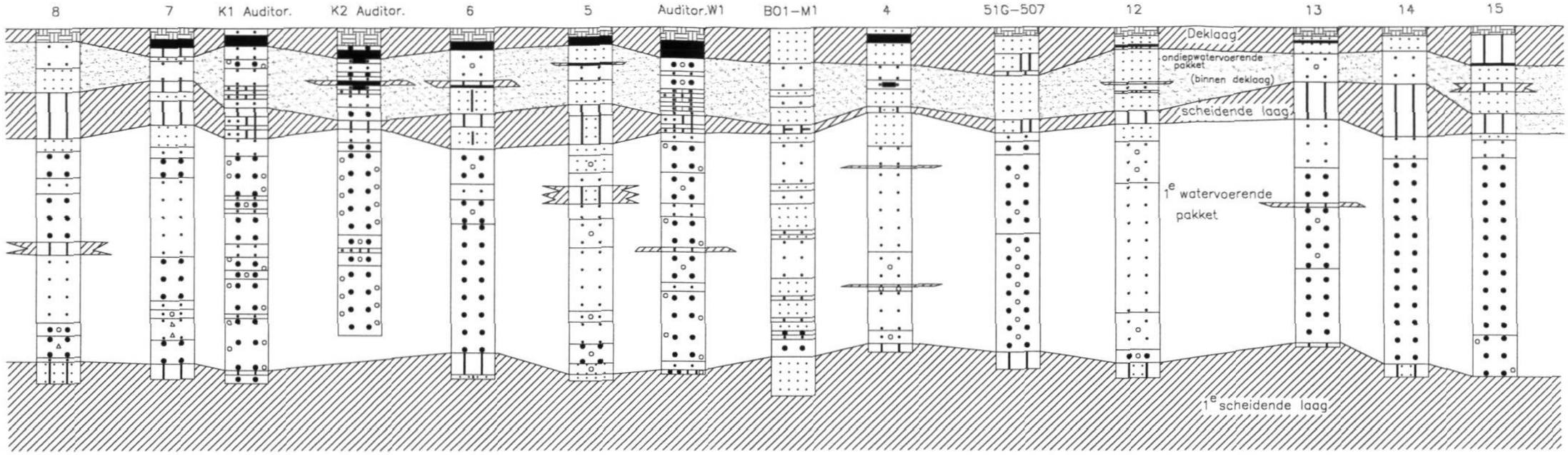
B

O

B'

diepte (m-mv)

0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
-110
-120
-130
-140
-150
-160
-170
-180
-190
-200



N.B.:
- verticale schaal 1:1000
- horizontale schaal: niet geschaald

IF Technology

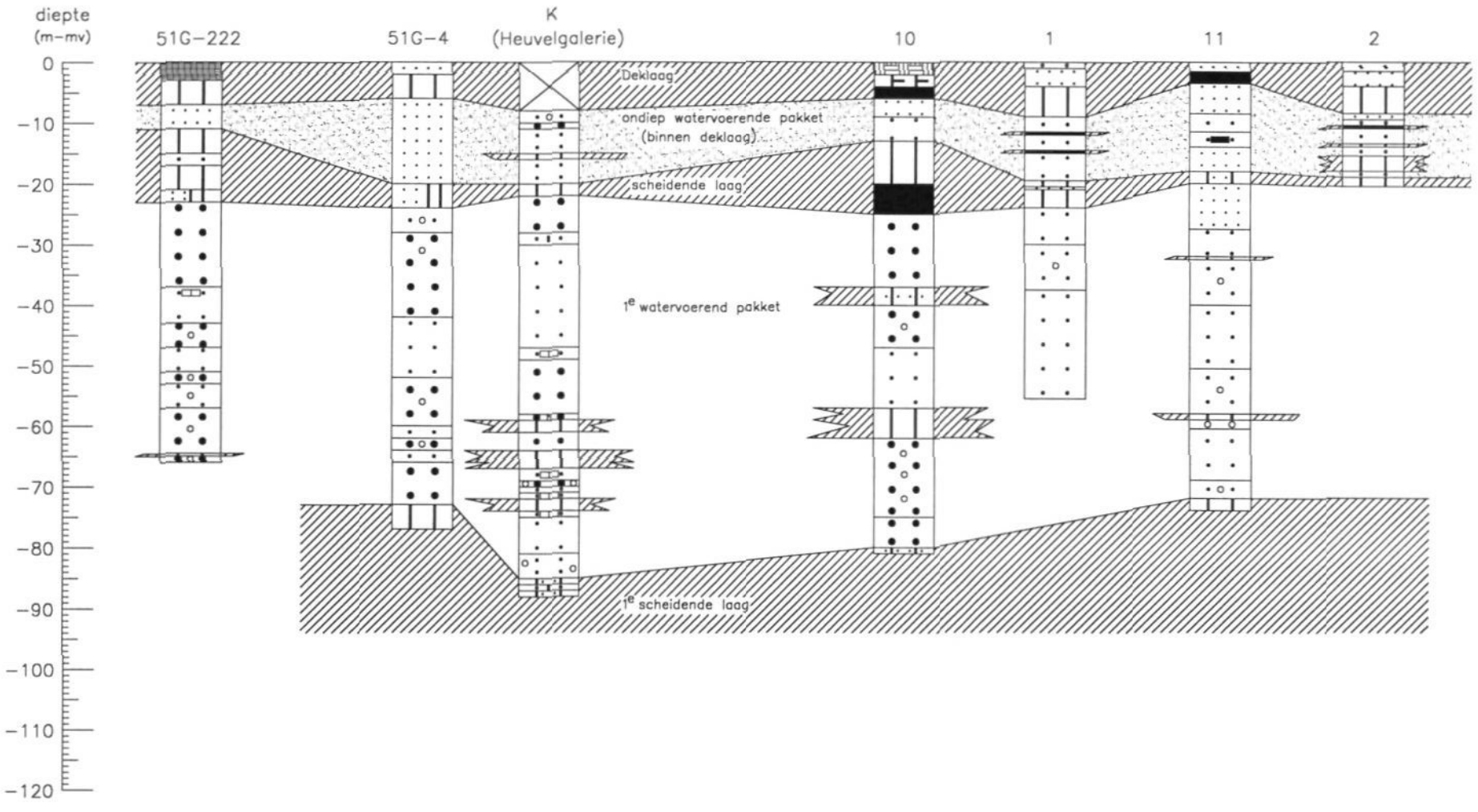
Figuur:	V.3b	Status: definitief	Stadium: MER		
Project nr.:	9949/GB	Schaal:	A3	Datum: A: 20-07-2000 B: 28-09-2000 C:	Get. NS NS
Project:	Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven				
Onderwerp:	Geohydrologische profielen B-B'				

Z

N

C

C'



N.B.:
- verticale schaal 1:1000

IF Technology

Figuur:	V.3c	Status: definitief		Stadium: MER	
Project nr.:	9949/GB	School:	A4	Datum: A: 05-09-2000 B: 28-09-2000 C:	Get. NS NS
Project:	Warme- en koudeopslag TU Eindhoven				
Onderwerp:	Geohydrologisch profiel C-C'				

opgebrachte grond

onbekend

grind

uiterst grof t/m grof zand
(2000 um – 300 um)

matig grof t/m matig fijn zand
(300 um – 150 um)

fijn t/m uiterst fijn zand
(150 um – 50 um)

afwisseling zand– en kleilagen

zandig grind

kalksteen

zwak slibhoudend

slibhoudend

sterk slibhoudend

kei

leem

veen

zandige klei

mergelige kalken

humeus

BIJMENGING

veenbrokjes

kleibrokjes

schelpen

stenen

grind

plantenresten

goed doorlatend

matig doorlatend

Slecht doorlatend

veel veenbrokjes

veel kleibrokjes

veel schelpen

veel stenen

veel grind

veel plantenresten

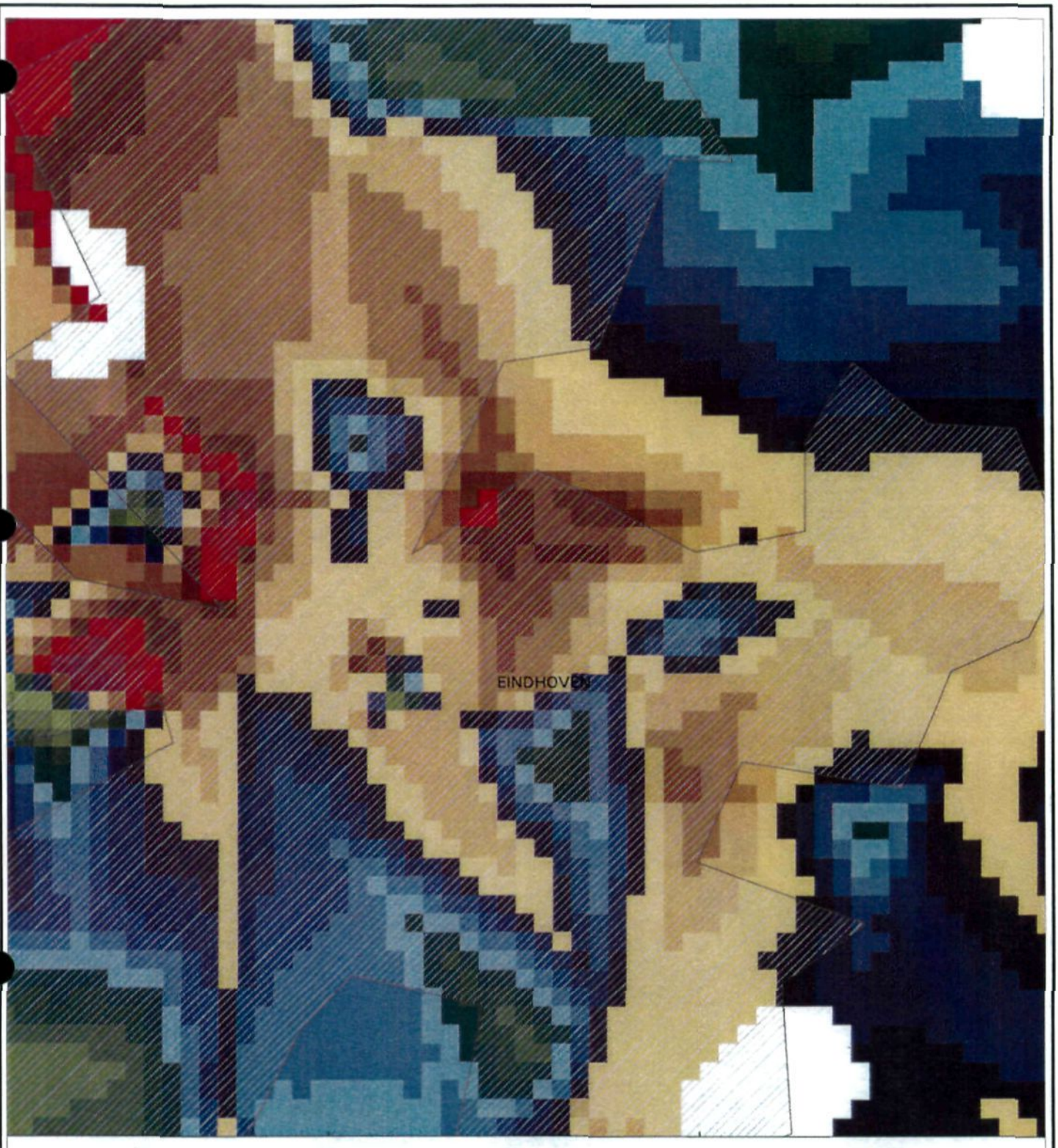
vuursteen

veel vuursteen

met kleilaagjes

IF Technology

Figuur: V.3d	Status: definitief	Stadium: MER	
Project nr.: 50843–1	Schaal: A4	Datum: A: 05–09–2000 B: 28–09–2000 C:	Get. NS NS
Project: Warme– en koudeopslag TU Eindhoven			
Onderwerp: Legenda geohydrologisch profiel			

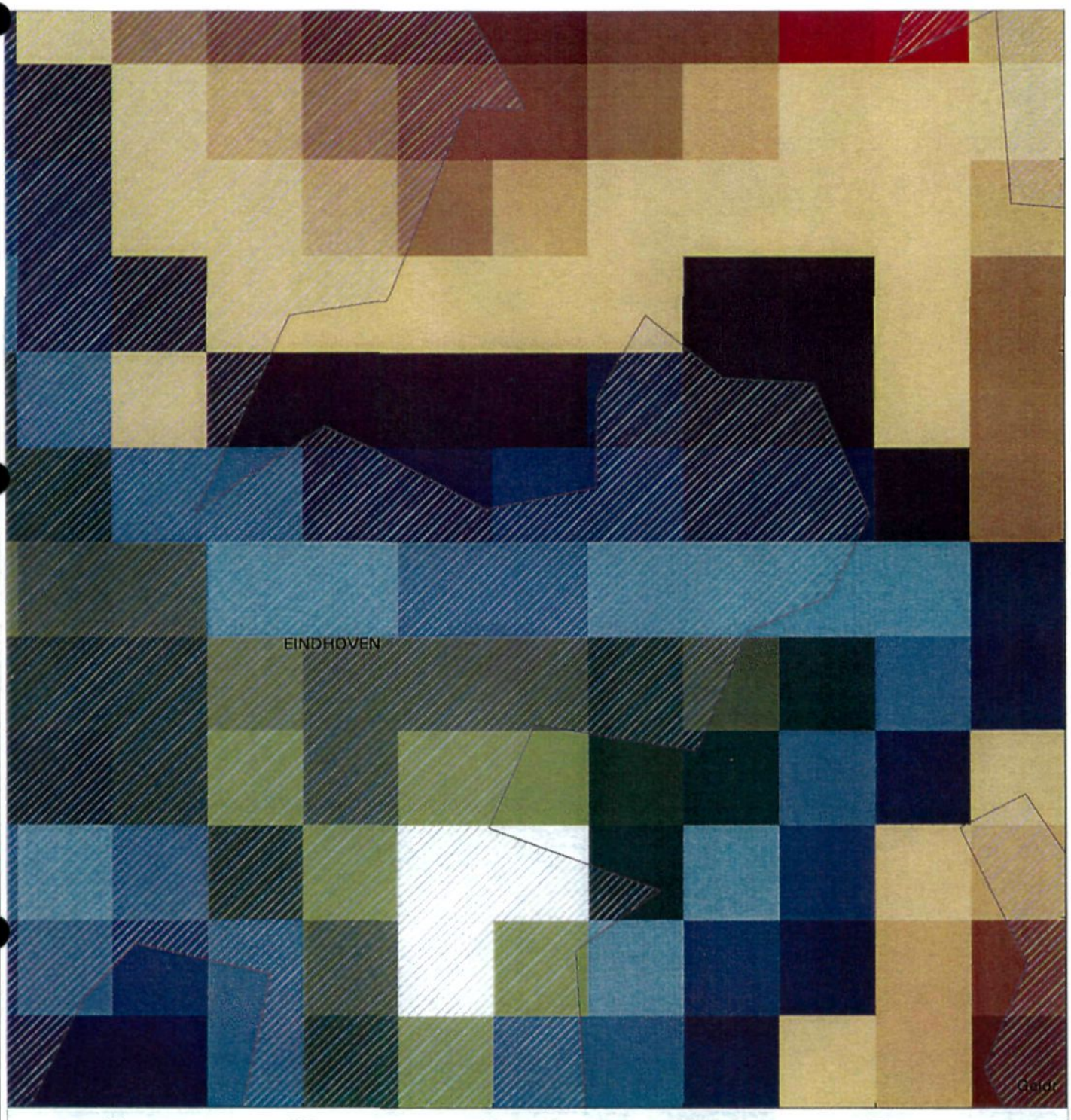


160 161 162 163 164

LEGENDA:

3000.0 2000.0 1000.0 500.0 1.0 * E-2

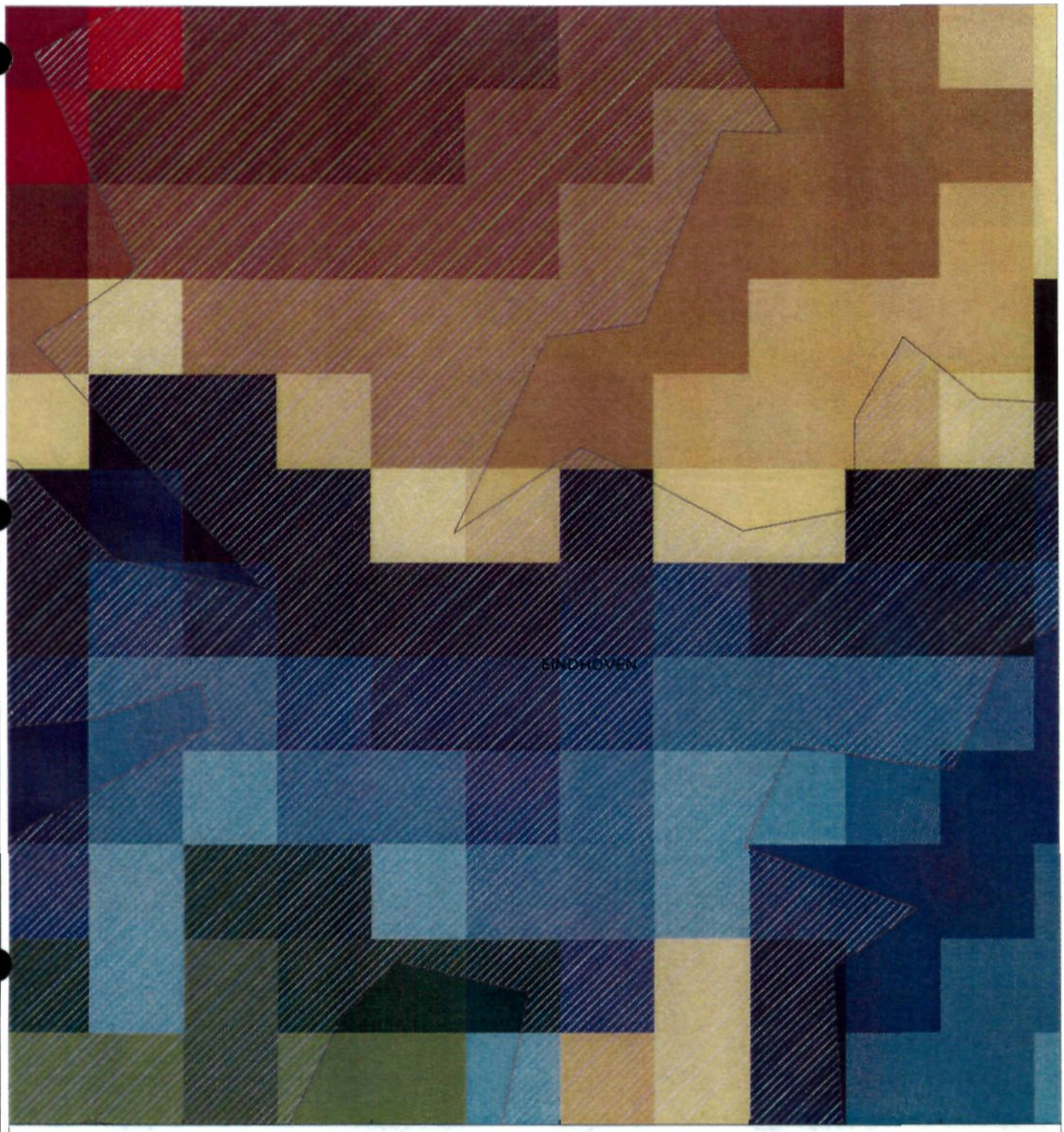
Kwaliteitsevaluatie REGIS-nb	Figuur: V.4a	Status: definitief	Stadium: MER	
Schaal: 1:30000	Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:30.000	Datum: A:26-04-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS
Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO	Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven			
IF Technology	Onderwerp: Weerstand van de deklaag			



LEGENDA:

4000.0 3000.0 2000.0 1500.0 1000.0

REGIS-nb					
Schaal 1:30000					
Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO	IF Technology	Figuur: V.4b	Status: definitief	Stadium: MER	
		Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:30.000	Datum: A:26-04-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS
		Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven			
		Onderwerp: KD - waarde eerste watervoerende pakket			

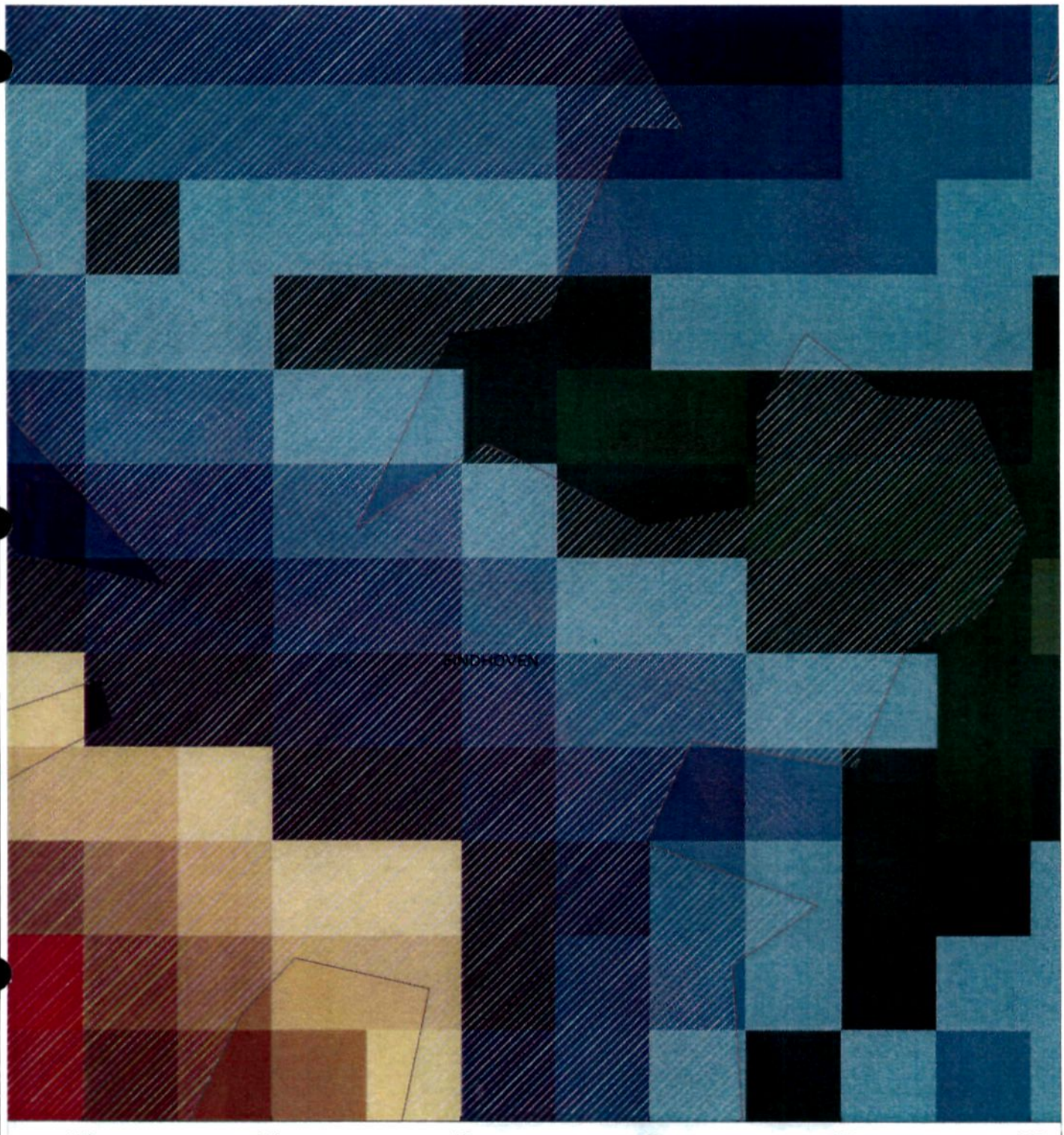


160 161 162 163 164

LEGENDA:

10000.0 22500.0 20000.0 15000.0 10000.0

REGIS-nb	Figuur: V.4c	Status: definitief	Stadium: MER	
Schaal 1:30000	Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:30.000	Datum: A:26-04-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS
Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO	Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven			
IF Technology	Onderwerp: Weerstand eerste scheidende laag			



LEGENDA:

250.0 200.0 150.0 100.0 50.0

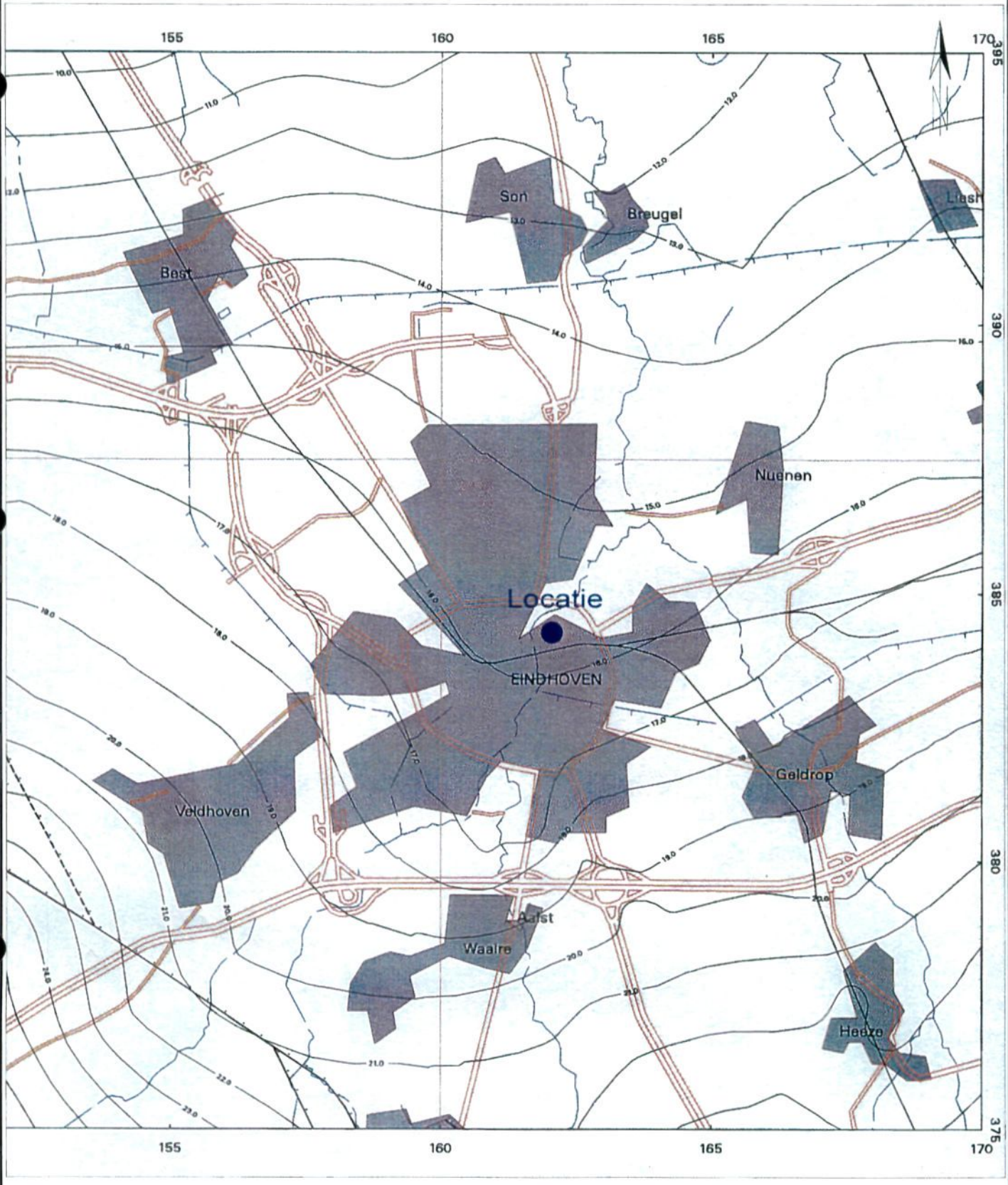
REGIS-nb

Schaal 1:30000

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO

IF Technology

Figuur: V.4d	Status: definitief	Stadium: MER	
Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:30.000	Datum: A:26-04-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS
Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven			
Onderwerp: KD - waarde tweede watervoerende pakket			



LEGENDA:

- Stand WVP1A (m t.o.v. NAP)
- breuk
- onzekere breuk

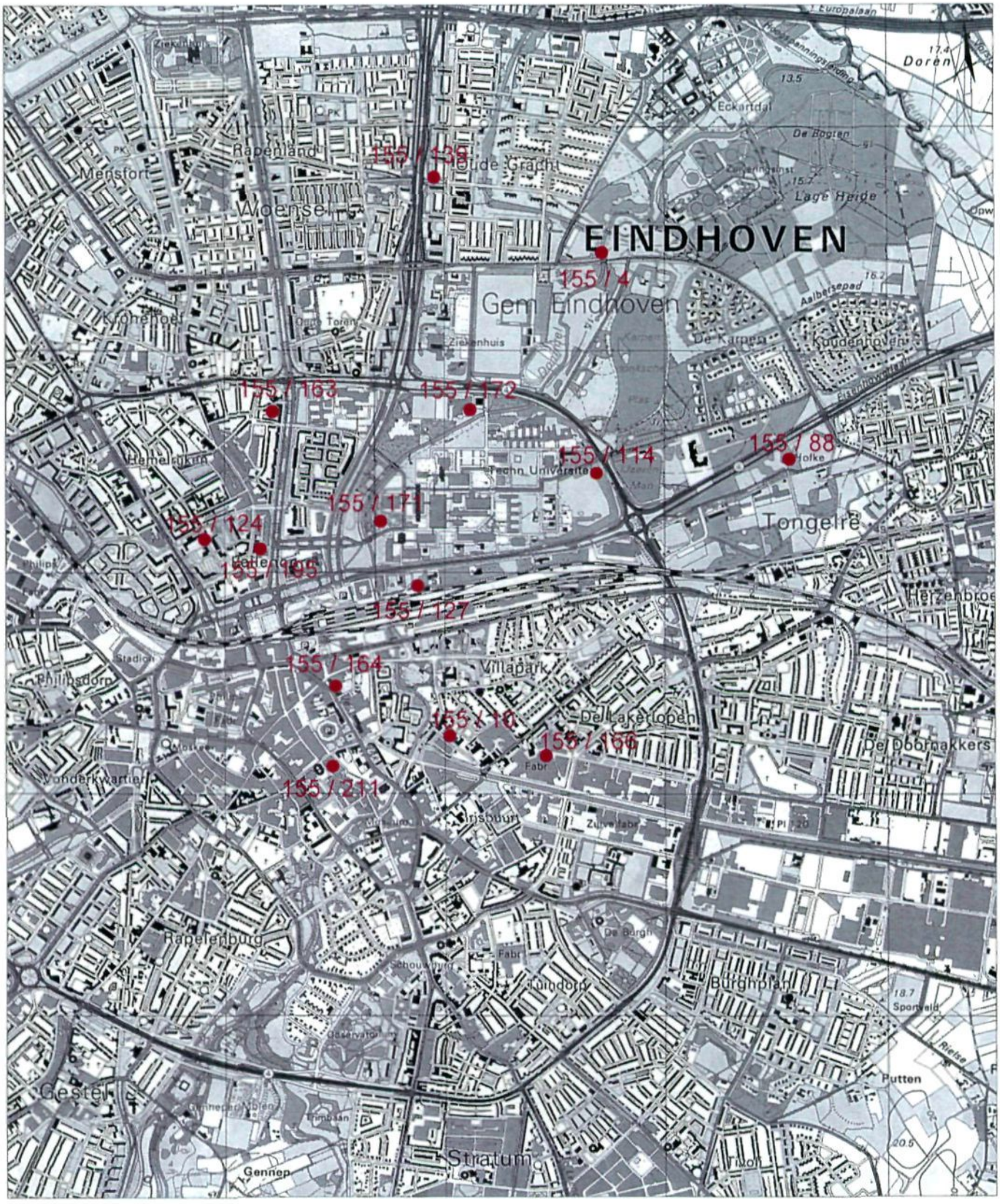
Kwaliteitsevaluatie REGIS-nb	Figuur:	V.5	Status: definitief	Stadium: MER	
Schaal 1:100000	Project nr.:	9949/GB	Schaal: -	Datum: A:05-09-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS
Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO	Project:	Warmte- en koudeopslg TU Eindhoven			
IF Technology	Onderwerp:	Isohypsenpatroon 1e watervoerende pakke (m+NAP) (metingen van 28/4/1995)			

Figuur V.6
Analyseresultaten Koudeopslag N-laag, Auditorium en bestaande koelwaterbronnen

	Auditorium	N-laag	bron 20	bron 19	koelwaternet	
	12/4/96	26/4/96	1986	1994	1994	eenheid
Cd	<0.4	<0.4	-	-	-	ug/l
Cu	<5.0	<5.0	-	-	-	ug/l
Ni	<5.0	<5.0	-	-	-	ug/l
Pb	5.8	<5.0	-	-	-	ug/l
Zn	<20	<20	-	-	-	ug/l
Ba	<50	<50	-	-	-	ug/l
Fe	1.7	1.0	3.6	7.3	2.0	mg/l
Mn	0.17	0.39	0.33	0.45	0.12	mg/l
Na	7	12	-	9.8	7.1	mg/l
K	<1.0	<1.0	-	0.97	1.2	mg/l
Ca	50	82	40	73	53	mg/l
Mg	3.2	5.6	8	4.4	3.9	mg/l
Al	0.14	<0.10	-	-	-	mg/l
Sr	0.15	0.26	-	-	-	mg/l
P	<1.0	<1.0	-	-	-	mg/l
PO4	<3.0	<3.0	-	<0.20	0.9	mg/l
P2O5	<2.3	<2.3	-	-	-	mg/l
pH	7.3	7.1	7.5	7.1	7.09	-
EC	290	520	364	400	290	uS/cm
	29	52	36.4	40	29	mS/m
HCO3	171	200	156	124	140	mg/l
TOC	<3.0	3.5				mg/l
NH4	0.50	0.54	0.40	0.45	0.60	mg/l
NH4-N	0.39	0.42	-	0.35	0.47	mg/l
NO2	<0.020	<0.020	-	-	-	mg/l
NO2-N	<0.0050	<0.0050	-	-	-	mg/l
NO3	<0.25	<0.25	-	<0.25	<0.25	mg/l
NO3-N	<0.2	<0.2	-	<0.20	<0.20	mg/l
Cl	10	37	23	31	10	mg/l
SO4	<1.0	54	20	48	7.8	mg/l
SO4-S	<0.33	18	-	-	-	mg/l

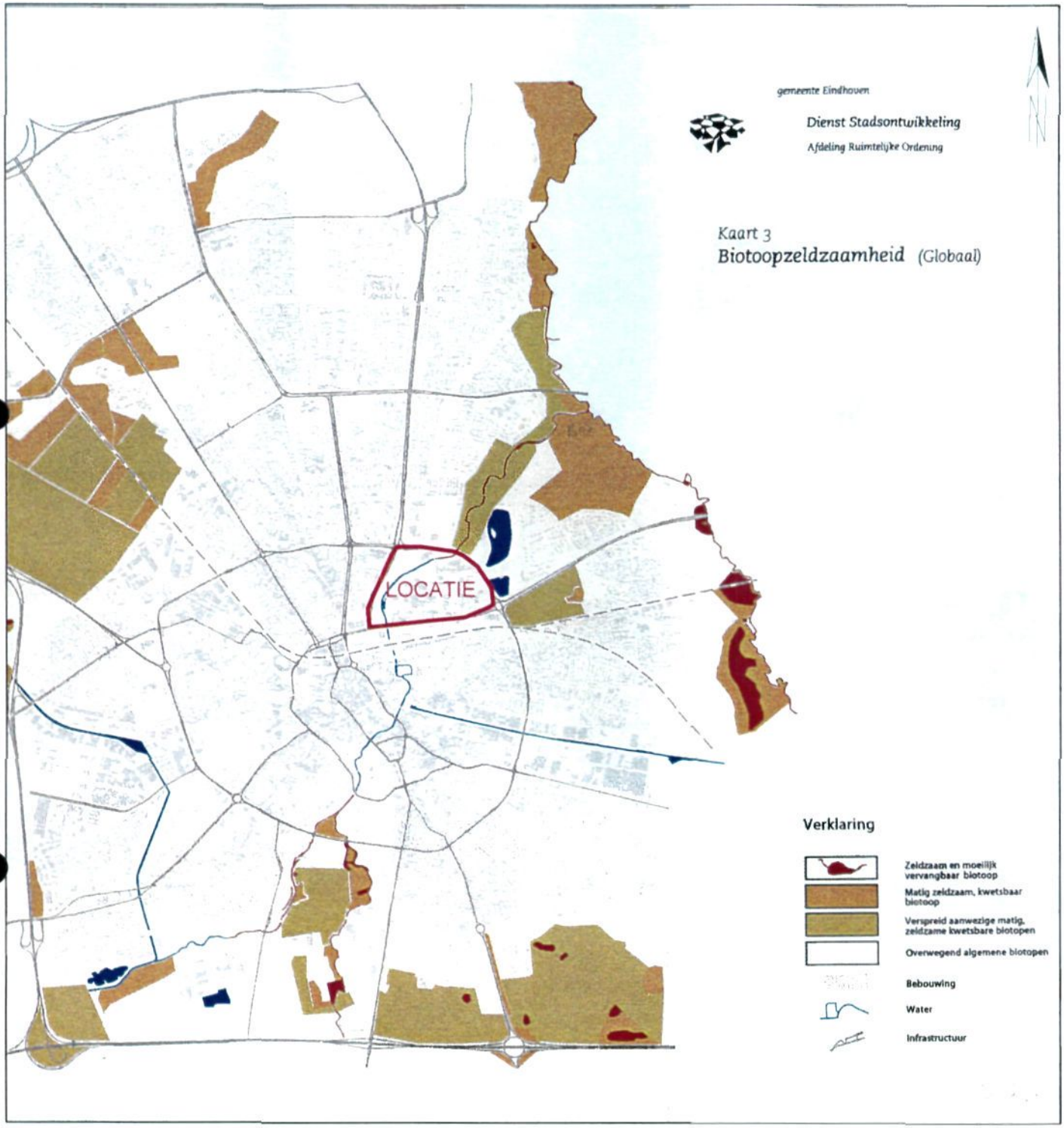
Figuur: V.7	Status: definitief	Stadium: MER	
Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:25.000	Datum: A:17-07-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS
Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven			
Onderwerp: Locaties grondwateronttrekkingen			

IF Technology

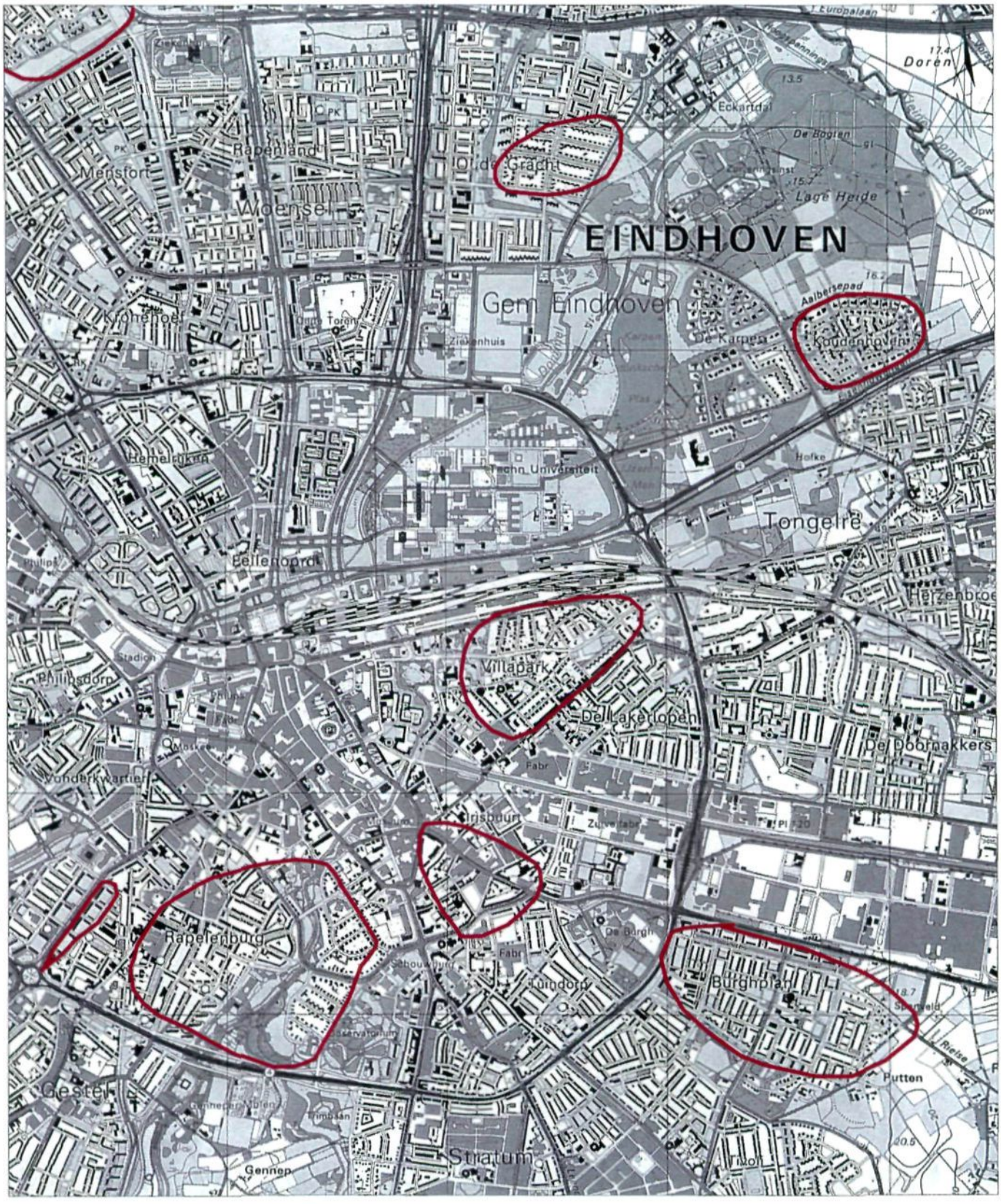


Figuur: V.8	Status: definitief	Stadium: MER	
Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:25.000	Datum: A:17-07-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS
Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven			
Onderwerp: Locaties bodem- en grondwaterverontreinigingen			

IF Technology



IF Technology	Figuur: V.9	Status: definitief	Stadium: MER		
	Project nr.: 9949/GB	Schaal: -	Datum: A:05-09-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS	
	Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven				
	Onderwerp Overzichtkaart biotoopzeldzaamheid				



IF Technology	Figuur: V.10	Status: definitief	Stadium: MER
	Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:25.000	Datum: A:05-09-2000 B:28-09-2000 C: / Get. NS NS
	Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven		
	Onderwerp: Locaties grondwateroverlast in woningen		

Figuren bij deel VI

Figuur VI.1 Stijghoogteveranderingen door stopzetten onttrekking

VI.2a Alt. 1 - Maximale stijghoogteveranderingen opslagpakket, wintersituatie
VI.2b Alt. 1 - Maximale stijghoogteveranderingen opslagpakket, zomersituatie
VI.2c Alt. 1 - Maximale grondwaterstandsveranderingen freatisch pakket, winter- en zomersituatie.

VI.3 Alt. 2 - Maximale stijghoogteveranderingen opslagpakket, winter- en zomersituatie

VI.4a Alt. 3 - Maximale stijghoogteveranderingen opslagpakket, wintersituatie
VI.4b Alt. 3 - Maximale stijghoogteveranderingen opslagpakket, zomersituatie
VI.4c Alt. 3 - Maximale grondwaterstandsveranderingen freatisch pakket, wintersituatie
VI.4d Alt. 3 - Maximale grondwaterstandsveranderingen freatisch pakket, zomersituatie

VI.5 Tijd-stijghoogtelijn

VI.6a Gevoeligheid drainageweerstand
VI.6b Gevoeligheid doorlaatvermogen opslagpakket
VI.6c Gevoeligheid bergingscoëfficiënt freatisch pakket
VI.6d Gevoeligheid weerstand van de deklaag

VI.7a Alt. 1 - Isothermen in °C na 20 jaar WKO, wintersituatie
VI.7b Alt. 1 - Isothermen in °Cna 20 jaar WKO, zomersituatie

VI.8a Alt. 2 - Isothermen in °C na 20 jaar WKO, wintersituatie
VI.8b Alt. 2 - Isothermen in °C na 20 jaar WKO, zomersituatie

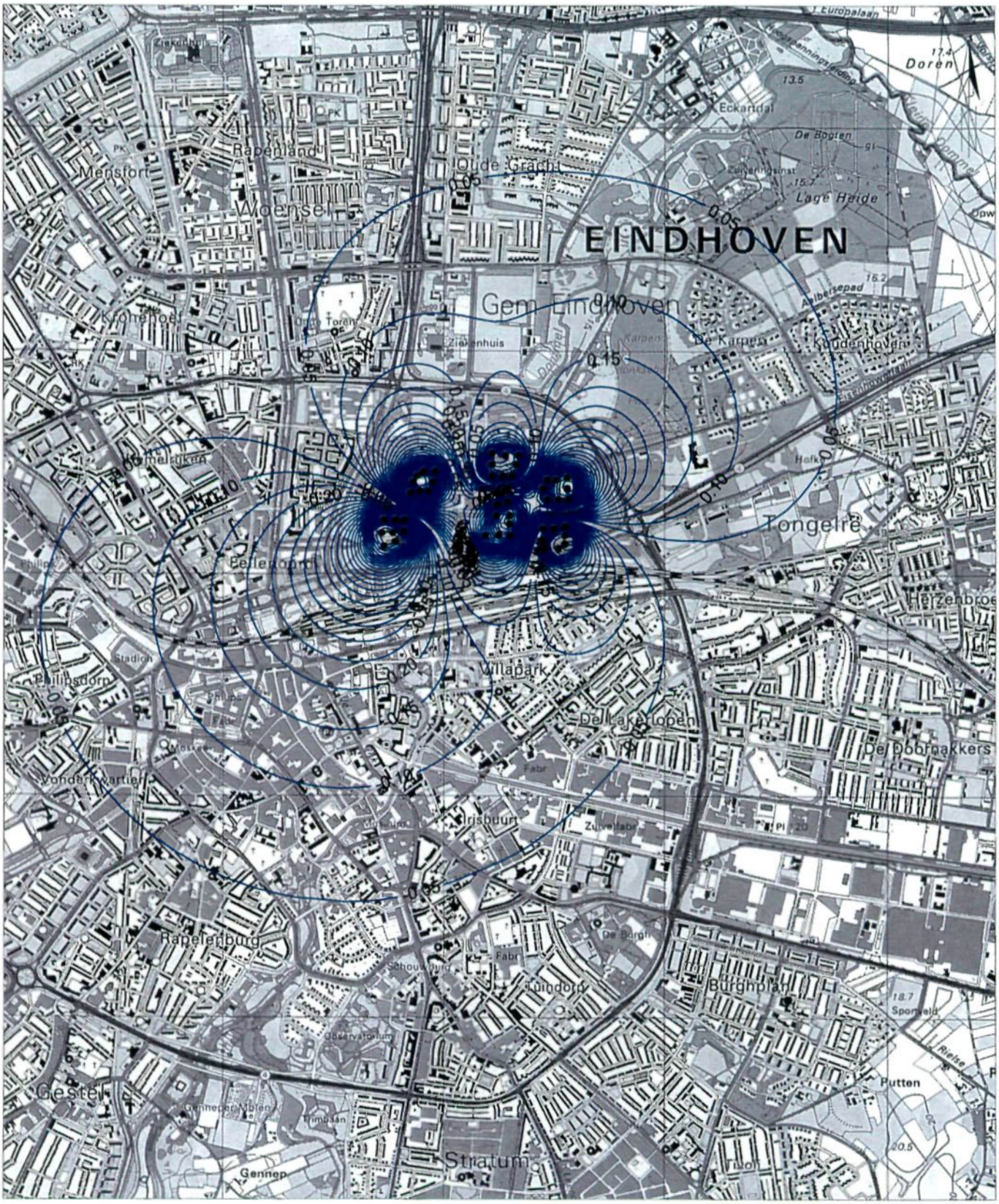
VI.9a Alt. 3 - Isothermen in °C na 20 jaar WKO, wintersituatie
VI.9b Alt. 3 - Isothermen in °C na 20 jaar WKO, zomersituatie

VI.10 Gevoeligheid HST-parameters

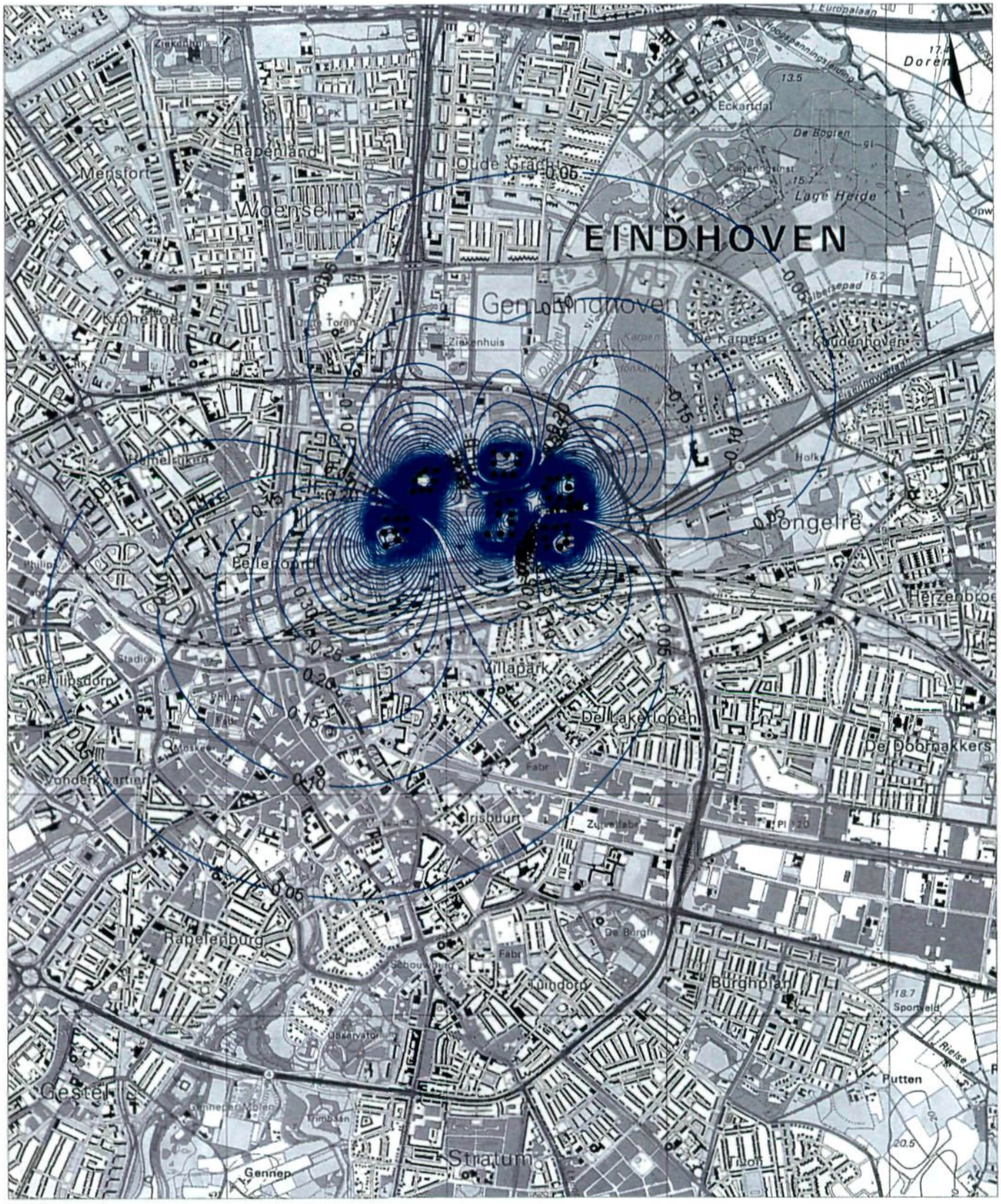
VI.11 Gemiddeld temperatuurverloop koude bronnen

- Locaties grondwateronttrekkingen op TUE-terrein

IF Technology	Figuur: VI.1	Status: definitief	Stadium: MER		
	Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:25.000	Datum: A:18-07-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS	
	Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven				
	Onderwerp: Stijghoogteveranderingen door stopzetten onttrekking				

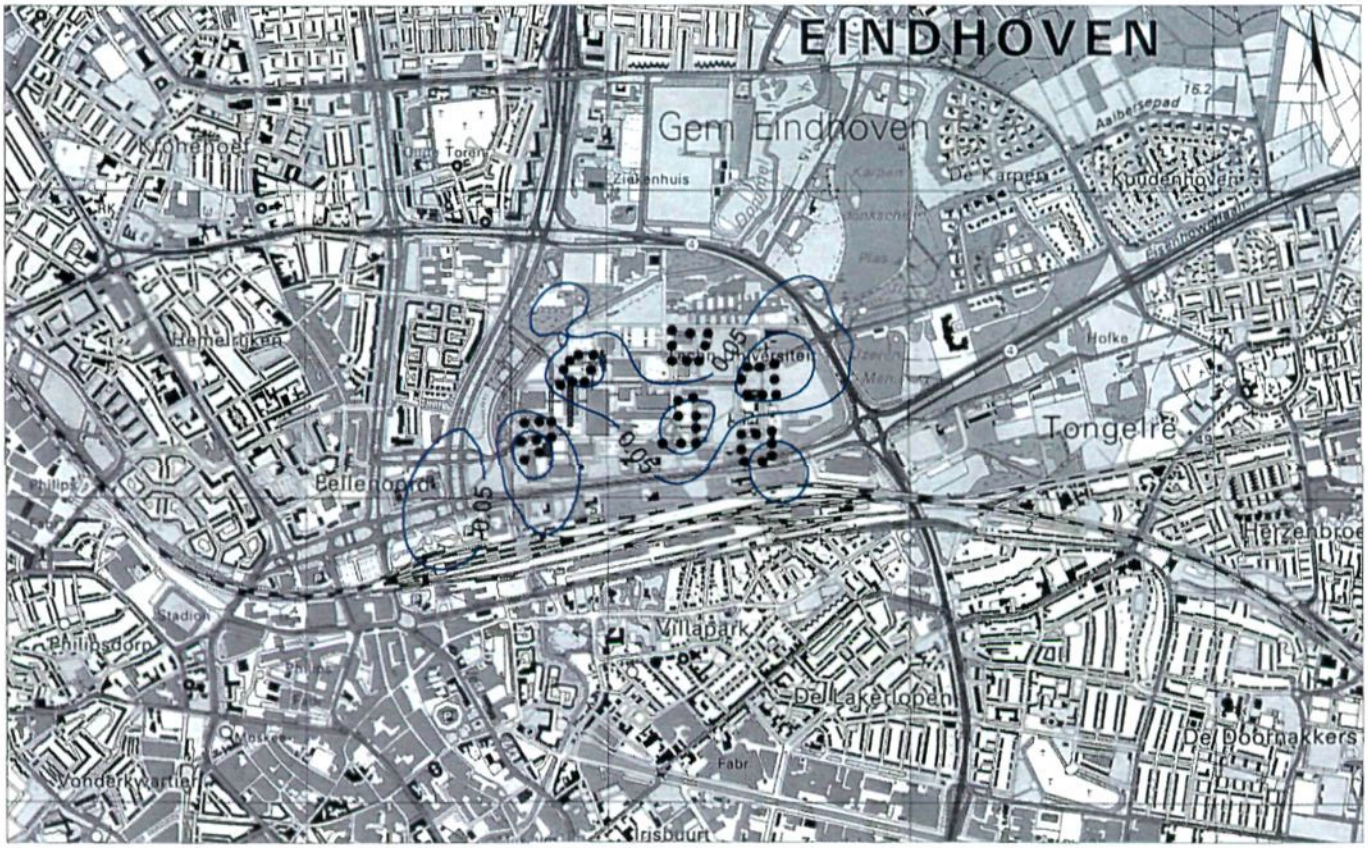


IF Technology	Figuur: VI.2a	Status: definitief	Stadium: MER
	Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:25.000	Datum: A:04-07-2000 B:28-09-2000 C: / Get. NS NS
	Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven		
	Onderwerp: Maximale stijghoogteveranderingen opslagpakket, wintersituatie Alternatief 1		

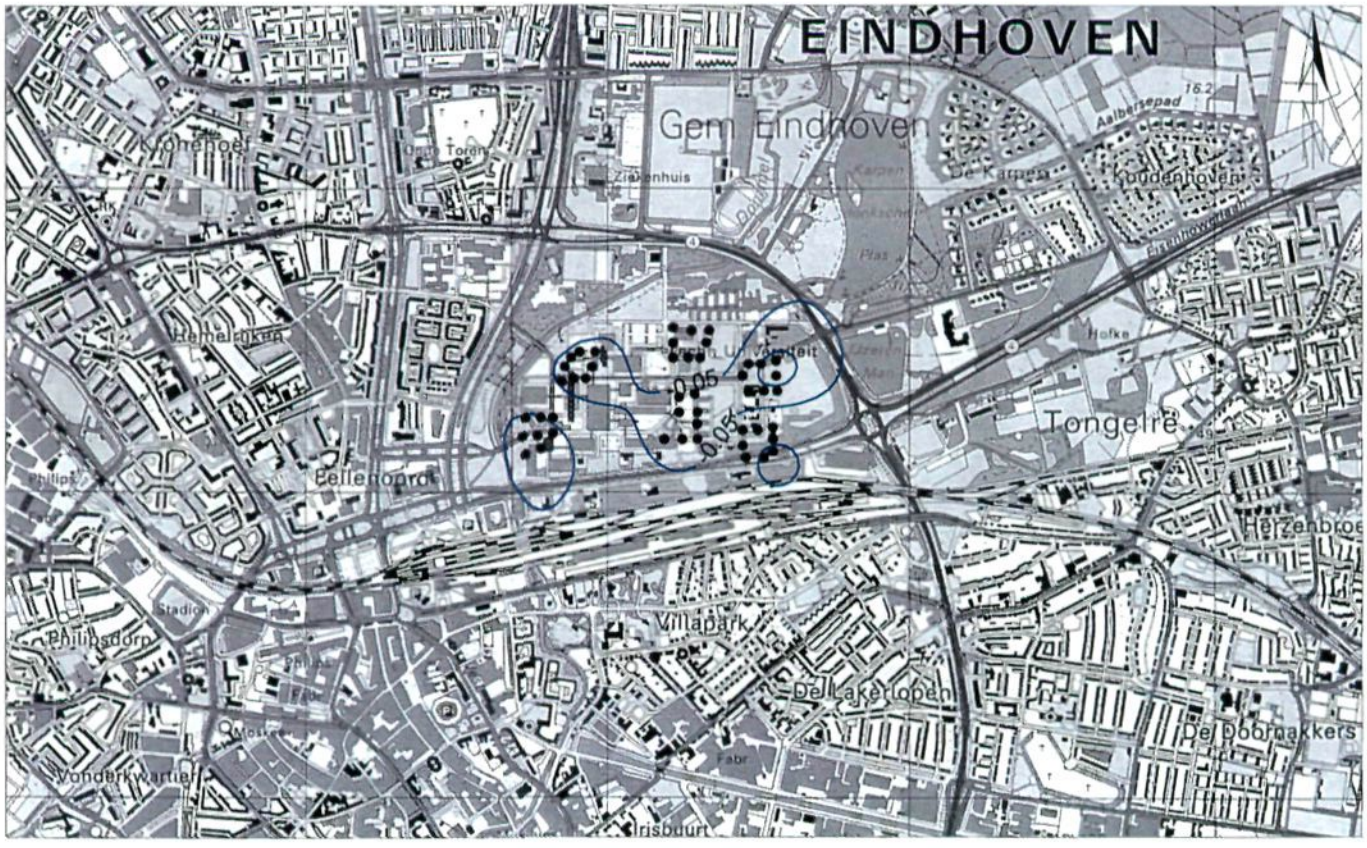


IF Technology	Figuur: VI.2b	Status: definitief	Stadium: MER
	Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:25.000	Datum: A:04-07-2000 B:28-09-2000 C: / Get. NS NS
	Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven		
	Onderwerp: Maximale stijghoogteveranderingen opslagpakket, zomersituatie Alternatief 1		

WINTERSITUATIE



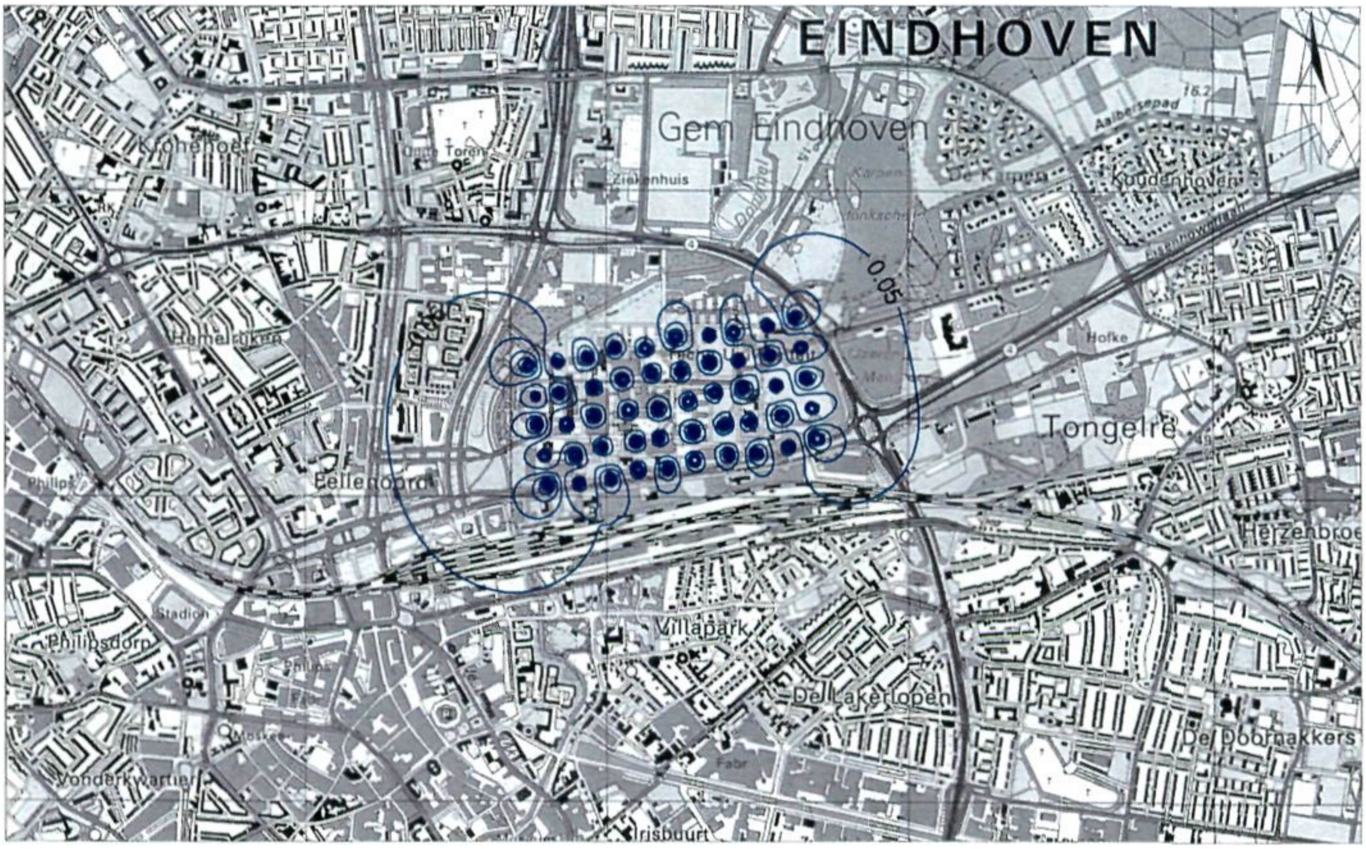
ZOMERSITUATIE



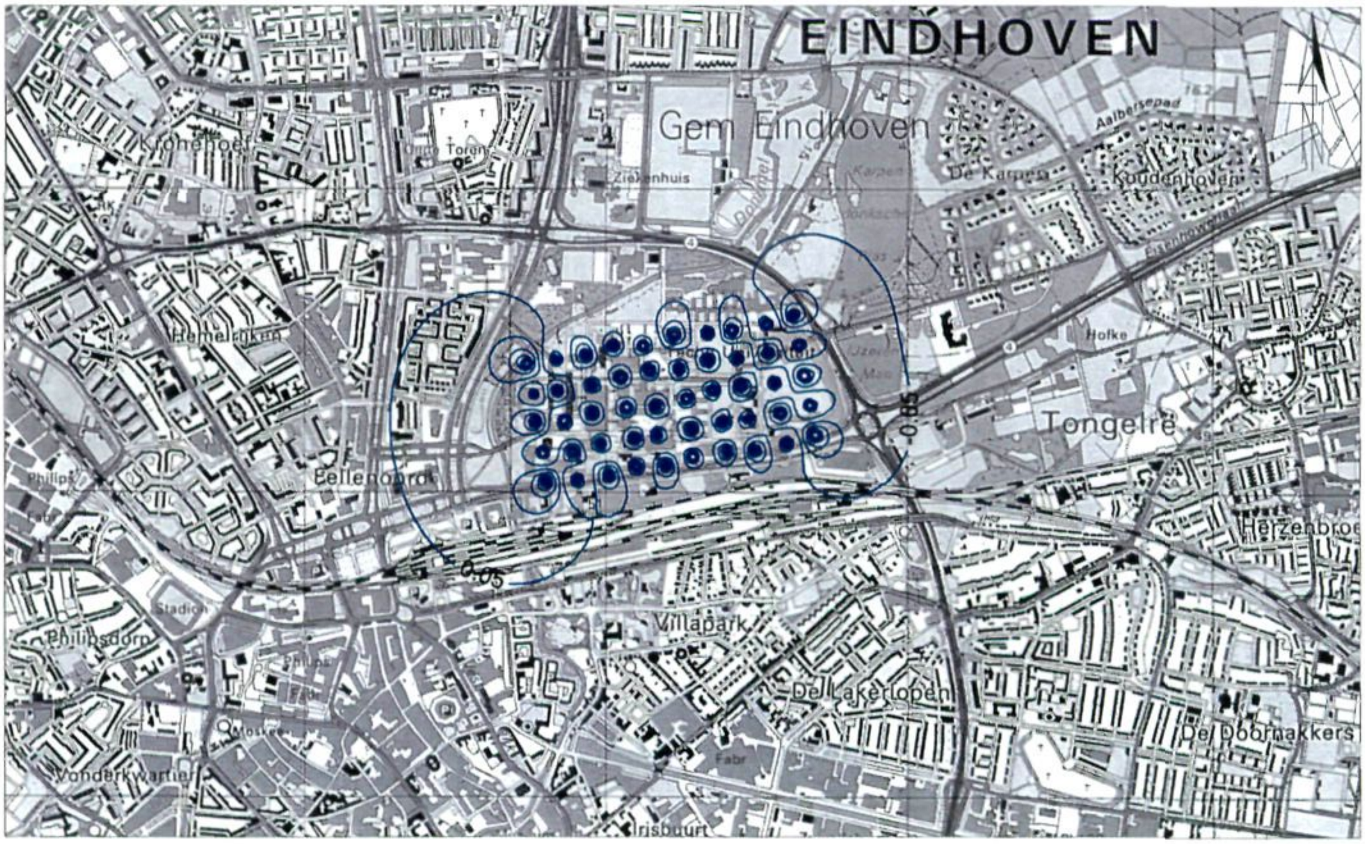
IF Technology

Figuur:	VI.2c	Status: definitief	Stadium: MER	
Project nr.:	9949/GB	Schaal: 1:25.000	Datum: A:04-07-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS
Project:	Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven			
Onderwerp:	Maximale grondwaterstandsveranderingen freatisch pakket Alternatief 1			

WINTERSITUATIE



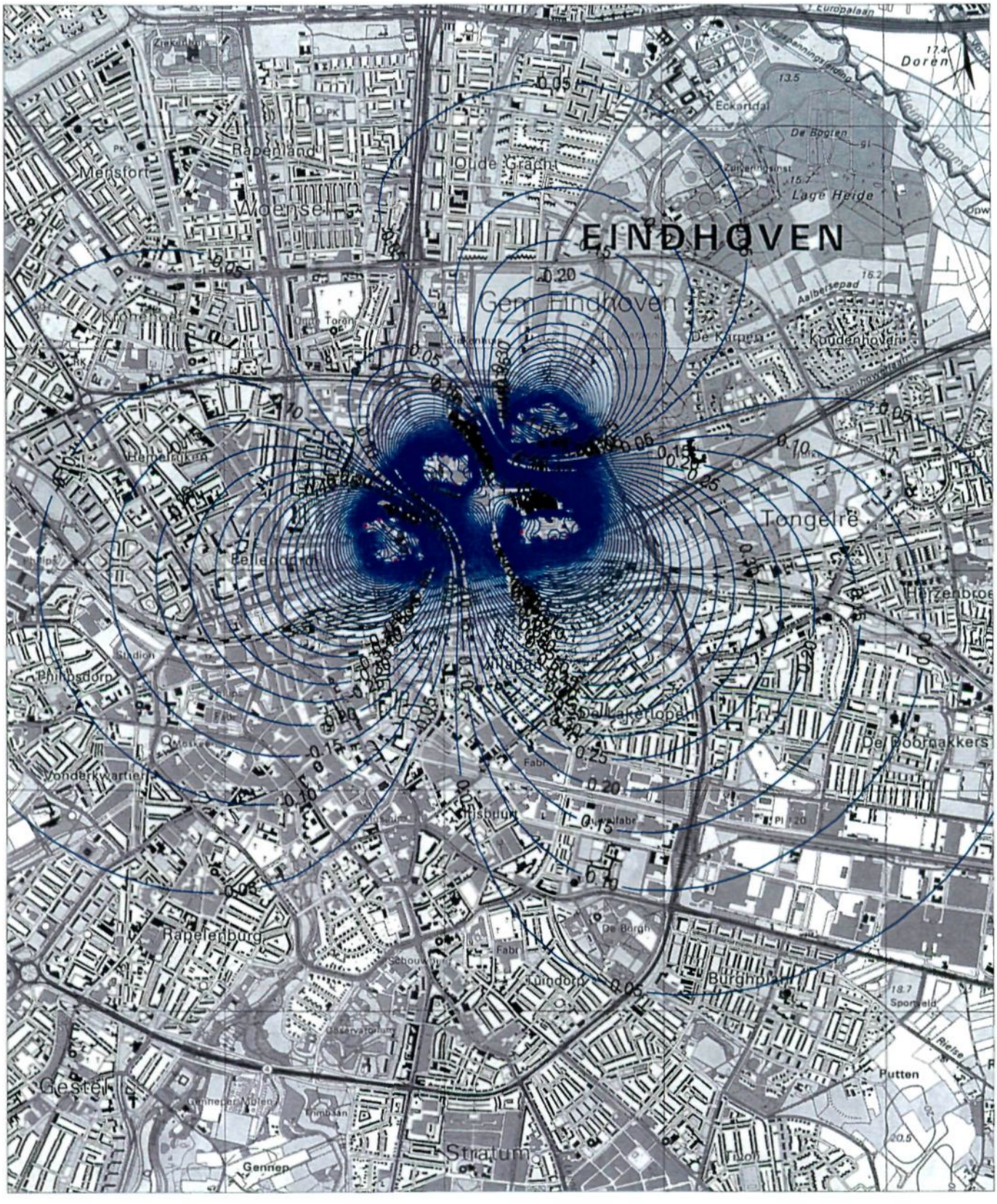
ZOMERSITUATIE



IF Technology

Figuur: VI.3		Status: definitief	Stadium: MER	
Project nr.:	9949/GB	Schaal: 1:25.000	Datum: A:04-07-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS
Project:	Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven			
Onderwerp:	Maximale stijhoogteveranderingen opslagpakket Alternatief 2			

IF Technology	Figuur: VI.4a	Status: definitief	Stadium: MER
	Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:25.000	Datum: A:04-07-2000 B:28-09-2000 C: / Get. NS NS
	Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven		
	Onderwerp: Maximale Stijghoogteveranderingen opslagpakket, wintersituatie Alternatief 3		

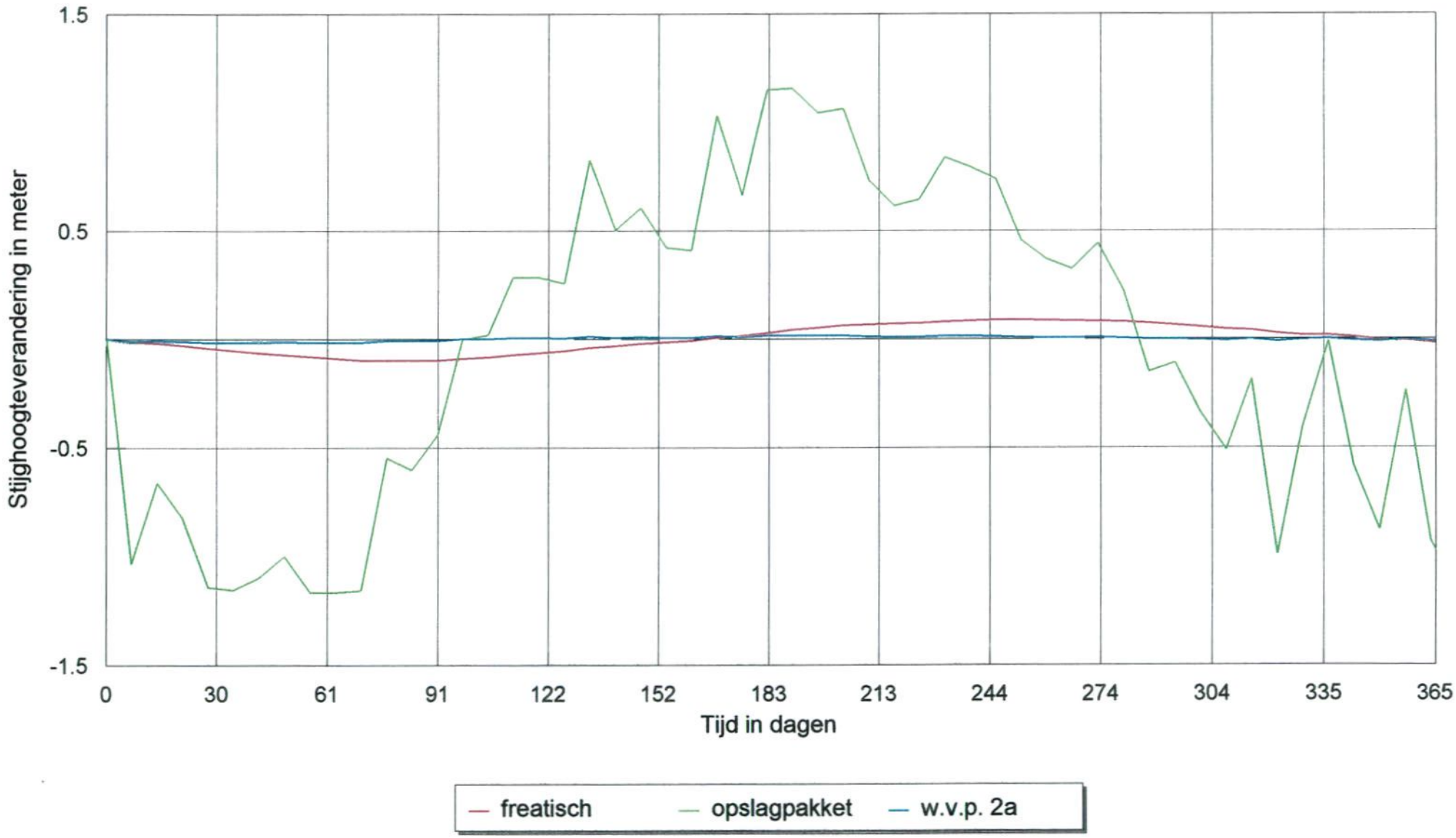


IF Technology	Figuur: VI.4b	Status: concept	Stadium: MER	
	Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:25.000	Datum: A:04-07-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS
	Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven			
	Onderwerp: Maximale Stijghoogteveranderingen opslagpakket, zomersituatie Alternatief 3			

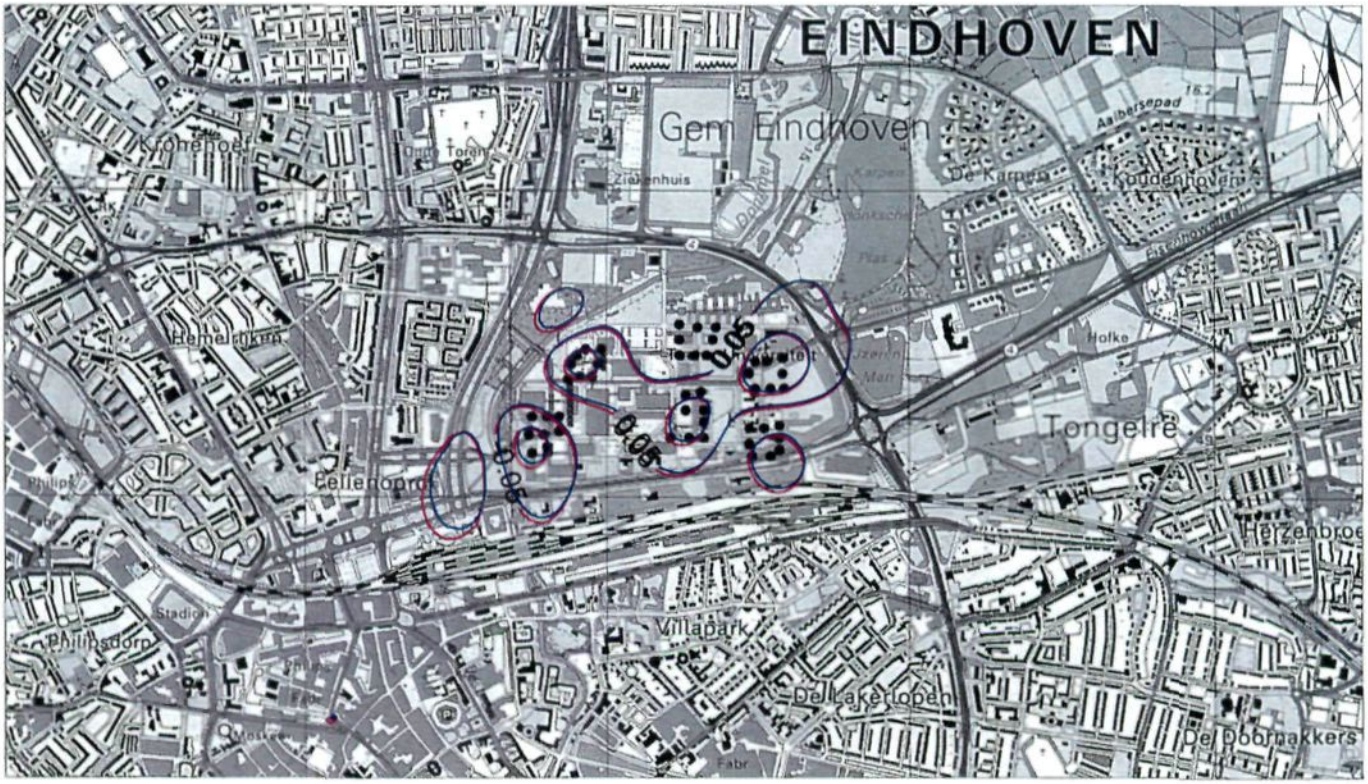
IF Technology	Figuur: VI.4c	Status: definitief	Stadium: MER
	Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:25.000	Datum: A:04-07-2000 B:28-09-2000 C: / Get. NS NS
	Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven		
	Onderwerp: Maximale grondwaterstandsveranderingen freatisch pakket, wintersituatie - Alternatief 3		

IF Technology	Figuur: VI.4d	Status: definitief	Stadium: MER
	Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:25.000	Datum: A:04-07-2000 B:28-09-2000 C: / Get. NS NS
	Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven		
	Onderwerp: Maximale grondwaterstandsveranderingen freatisch pakket, zomersituatie - Alternatief 3		

Figuur VI.5 Tijd-stijghoogtelijn
(in cluster W1)



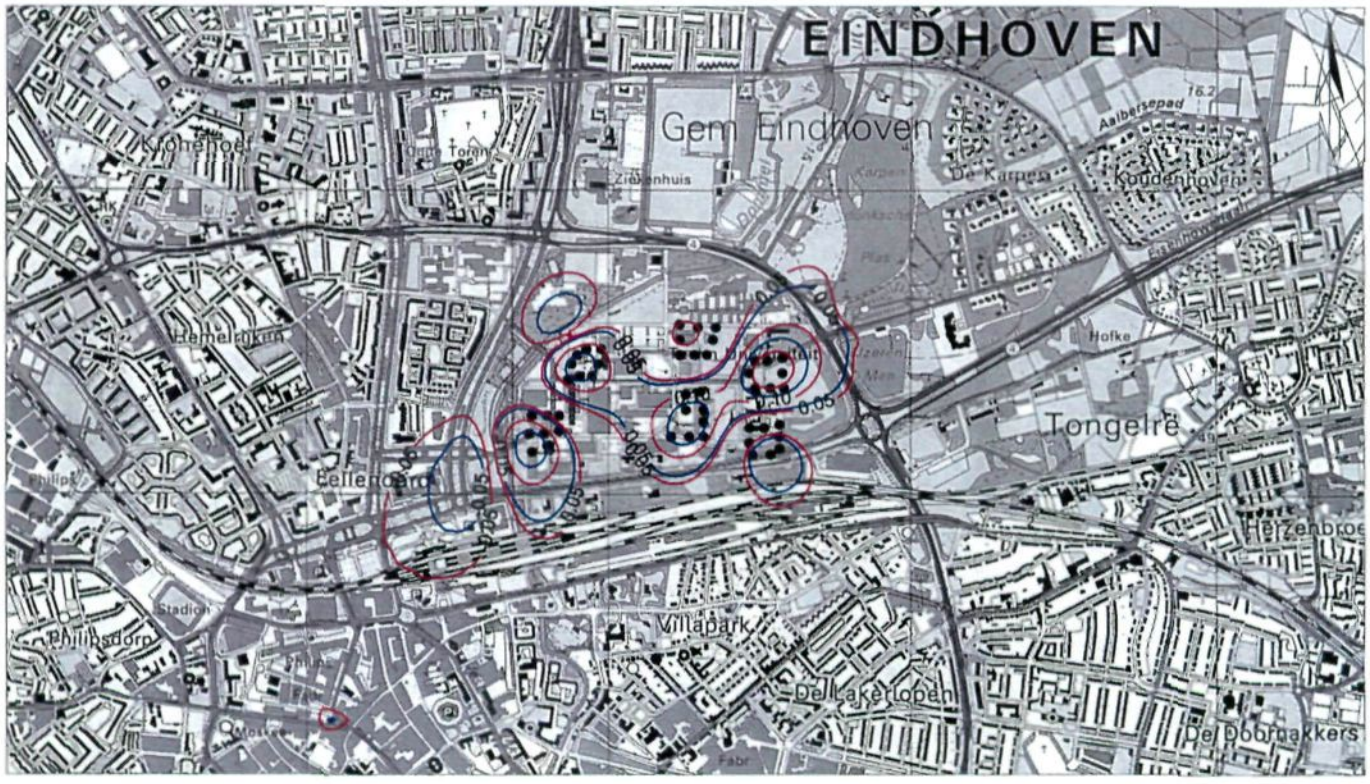
Figuur VI.6a: Gevoeligheid drainageweerstand



referentie: drainageweerstand = 2.000 d

drainageweerstand = 3.000 d

Figuur VI.6b: Gevoeligheid doorlaatvermogen



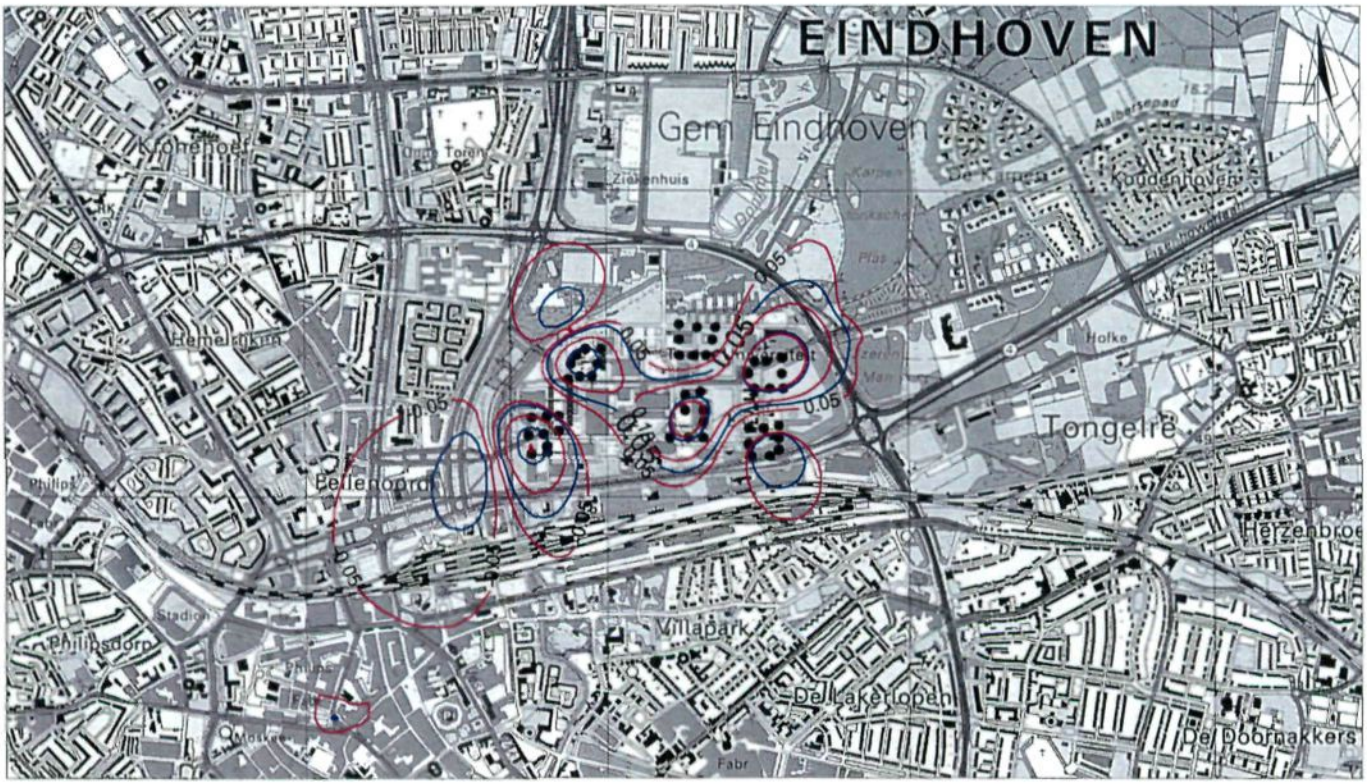
referentie: kD = 100 %

kD -20%

IF Technology

Figuur: VI.6a en b	Status: definitief	Stadium: MER	
Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:25.000	Datum: A:28-8-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS
Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven			
Onderwerp: Gevoeligheidsanalyse			

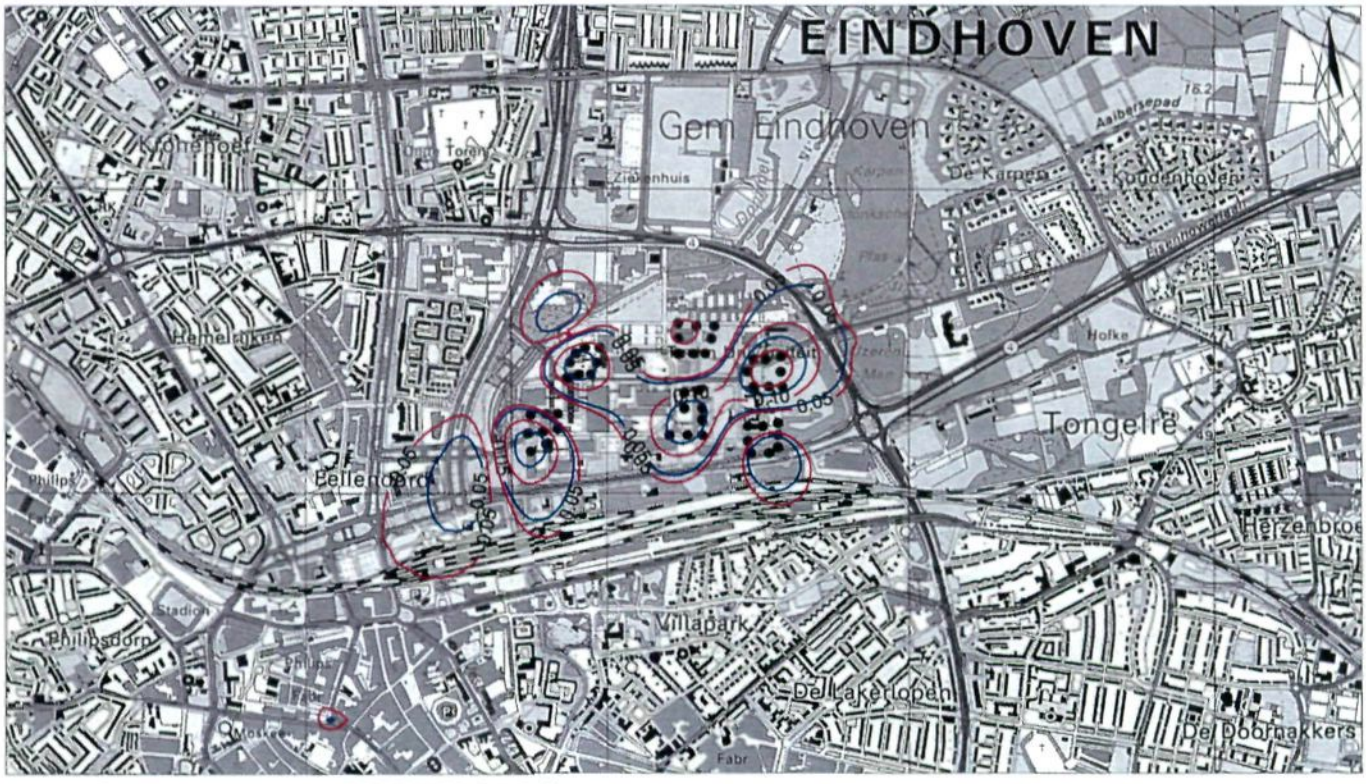
Figuur VI.6c: Gevoeligheid bergingscoëfficiënt freatisch pakket



referentie: bergingscoëfficiënt = 0,28

bergingscoëfficiënt = 0,15

Figuur VI.6d: Gevoeligheid weerstand van de deklaag

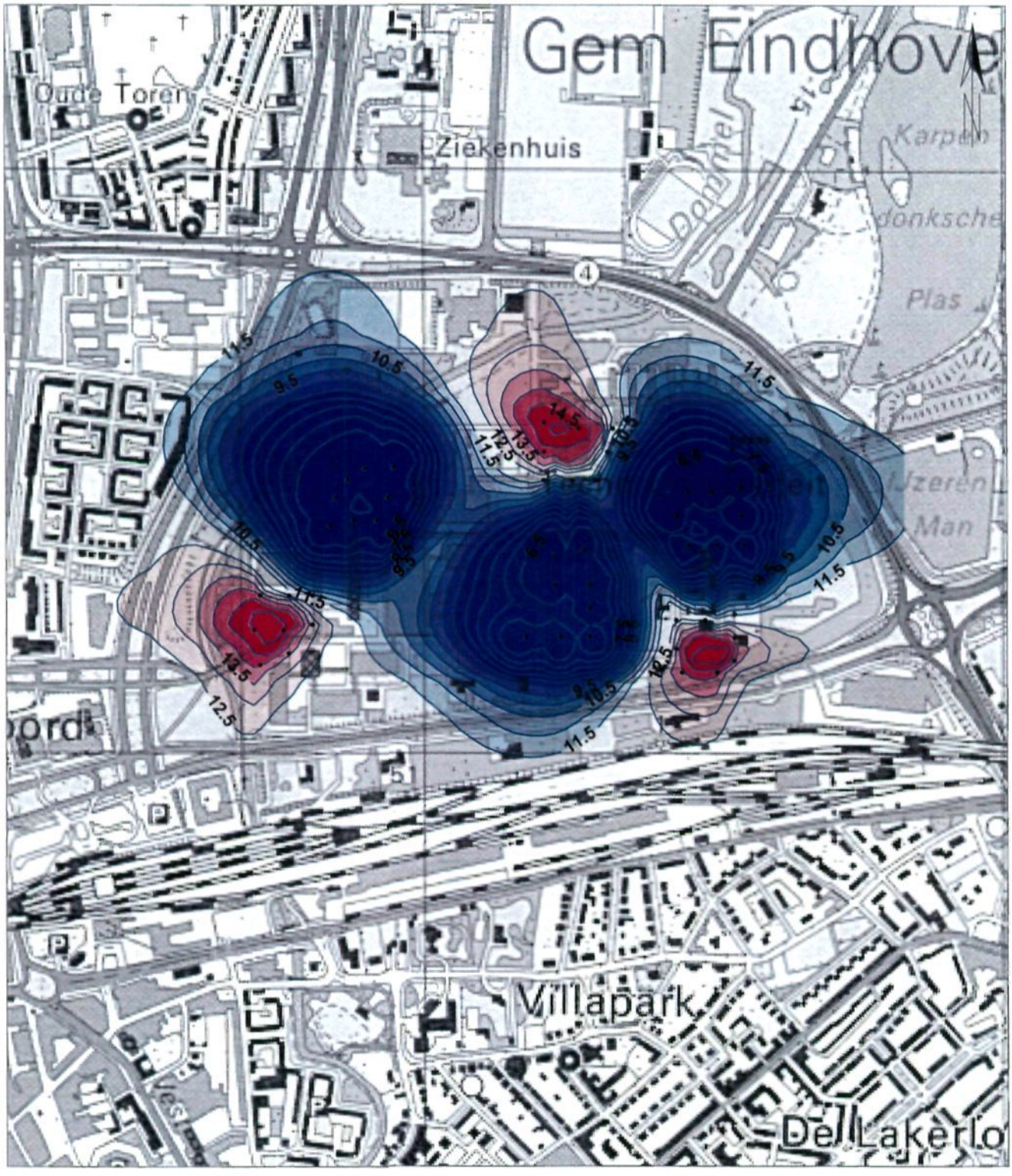


referentie: c-waarden uit REGIS (100-3.000 d)

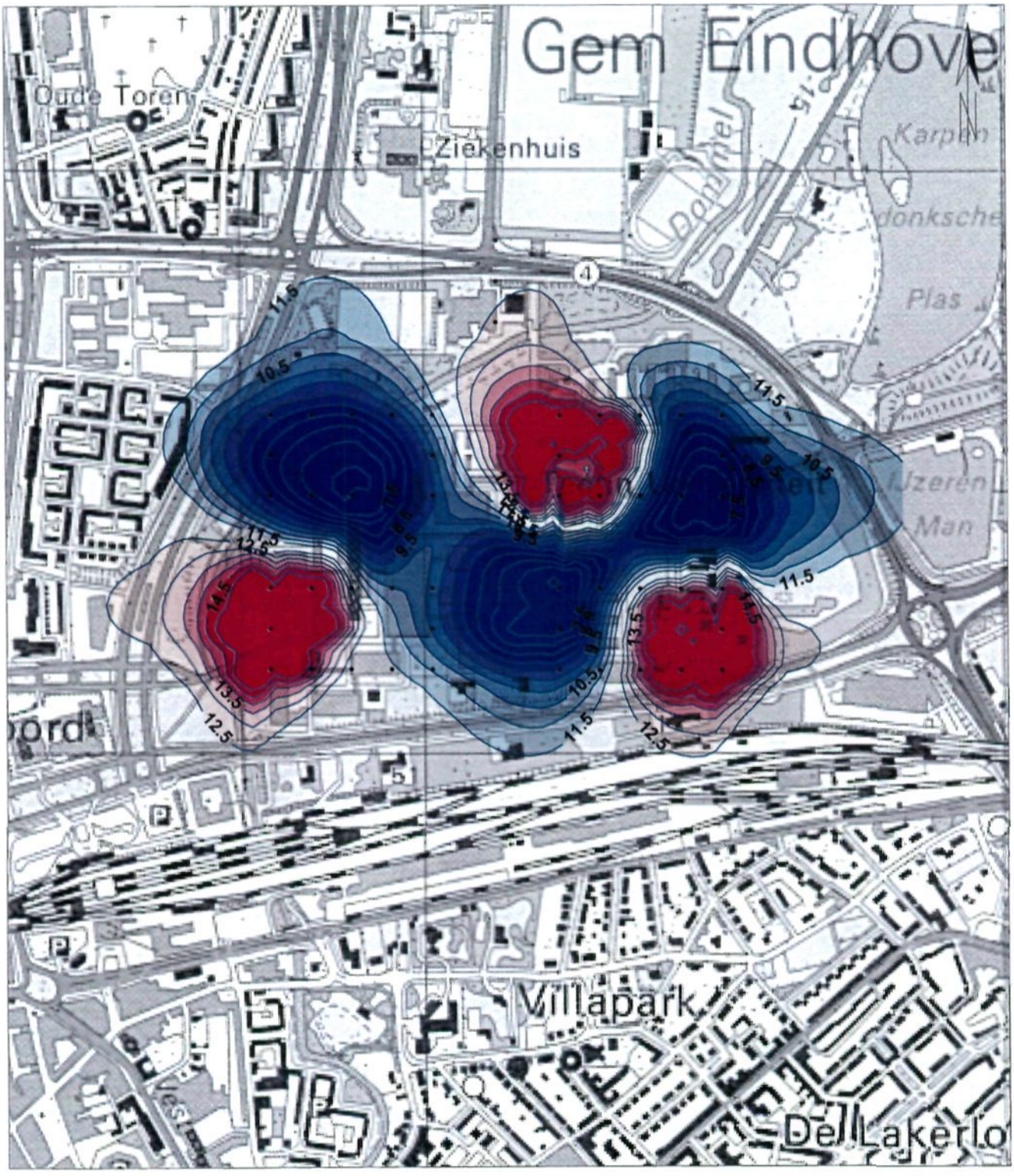
c = 1.000 d

IF Technology

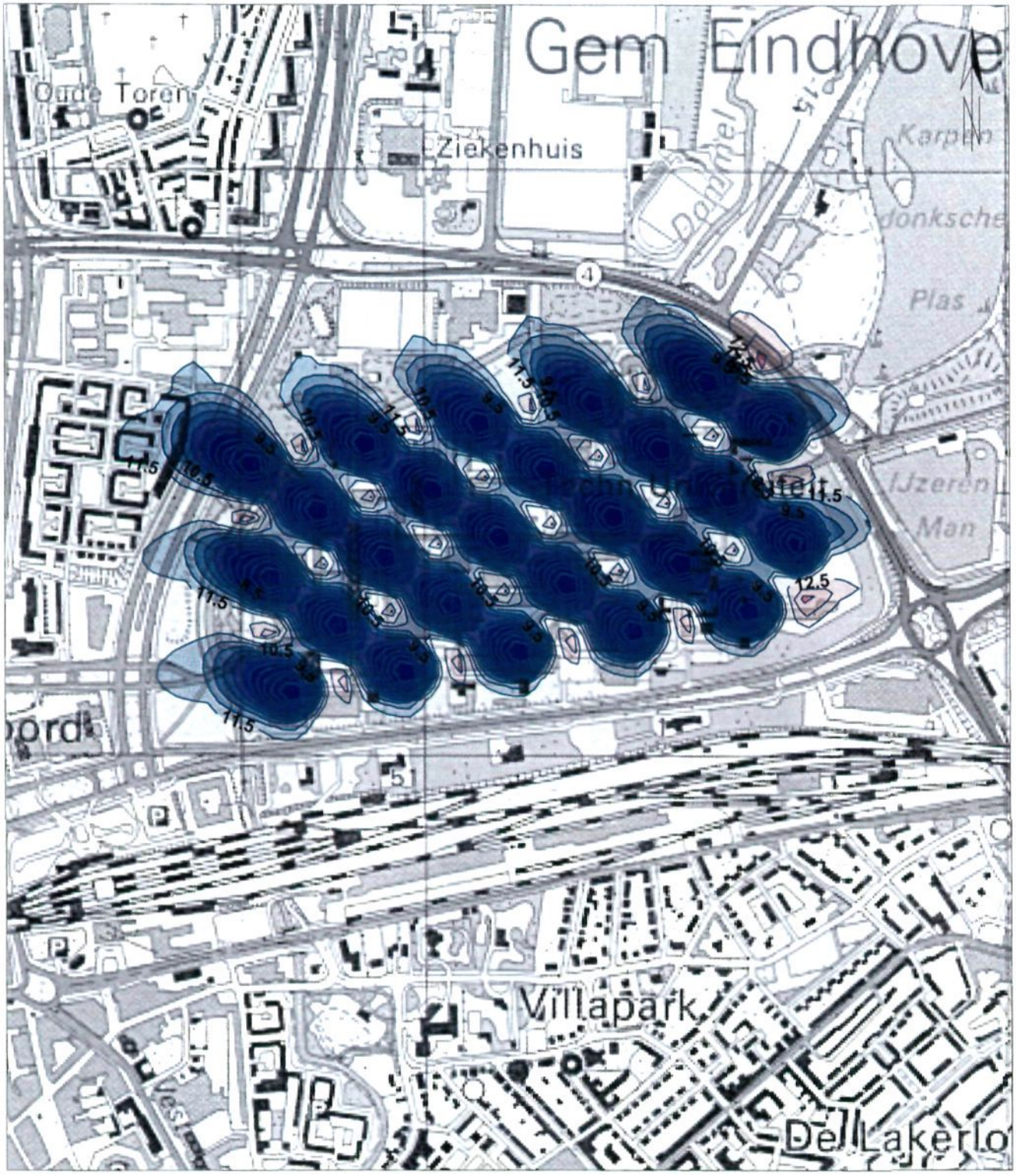
Figuur:	VI.6c en d	Status: definitief	Stadium: MER		
Project nr.:	9949/GB	Schaal: 1:25.000		Datum: A:05-09-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS
Project:	Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven				
Onderwerp:	Gevoeligheidsanalyse				



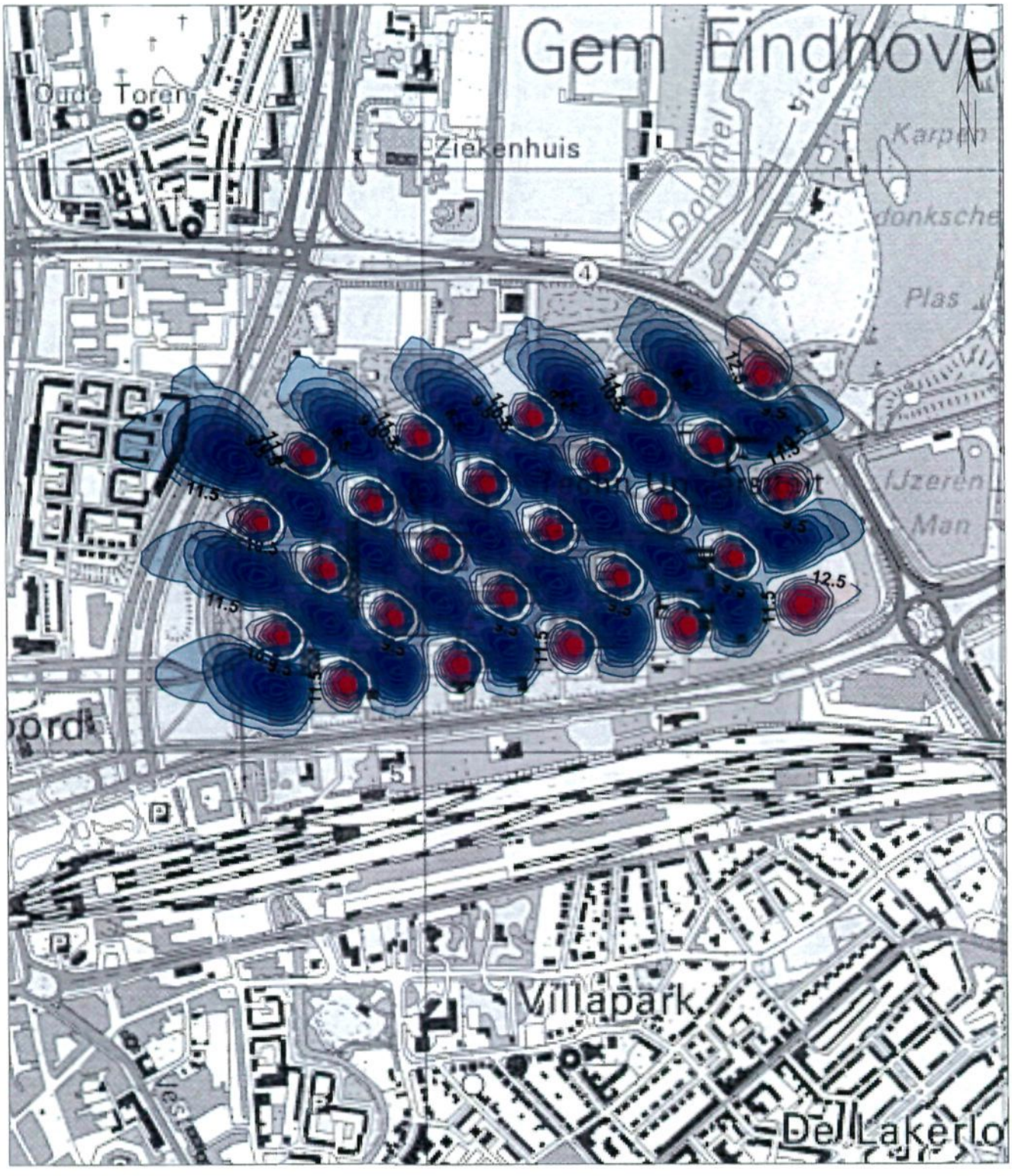
IF Technology	Figuur: VI.7a	Status: definitief	Stadium: MER
	Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:10.000	Datum: A:05-09-2000 B:28-09-2000 C: / Get. NS NS
	Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven		
	Onderwerp: Isothermen in °C na 20 jaar WKO , wintersituatie Alternatief 1		



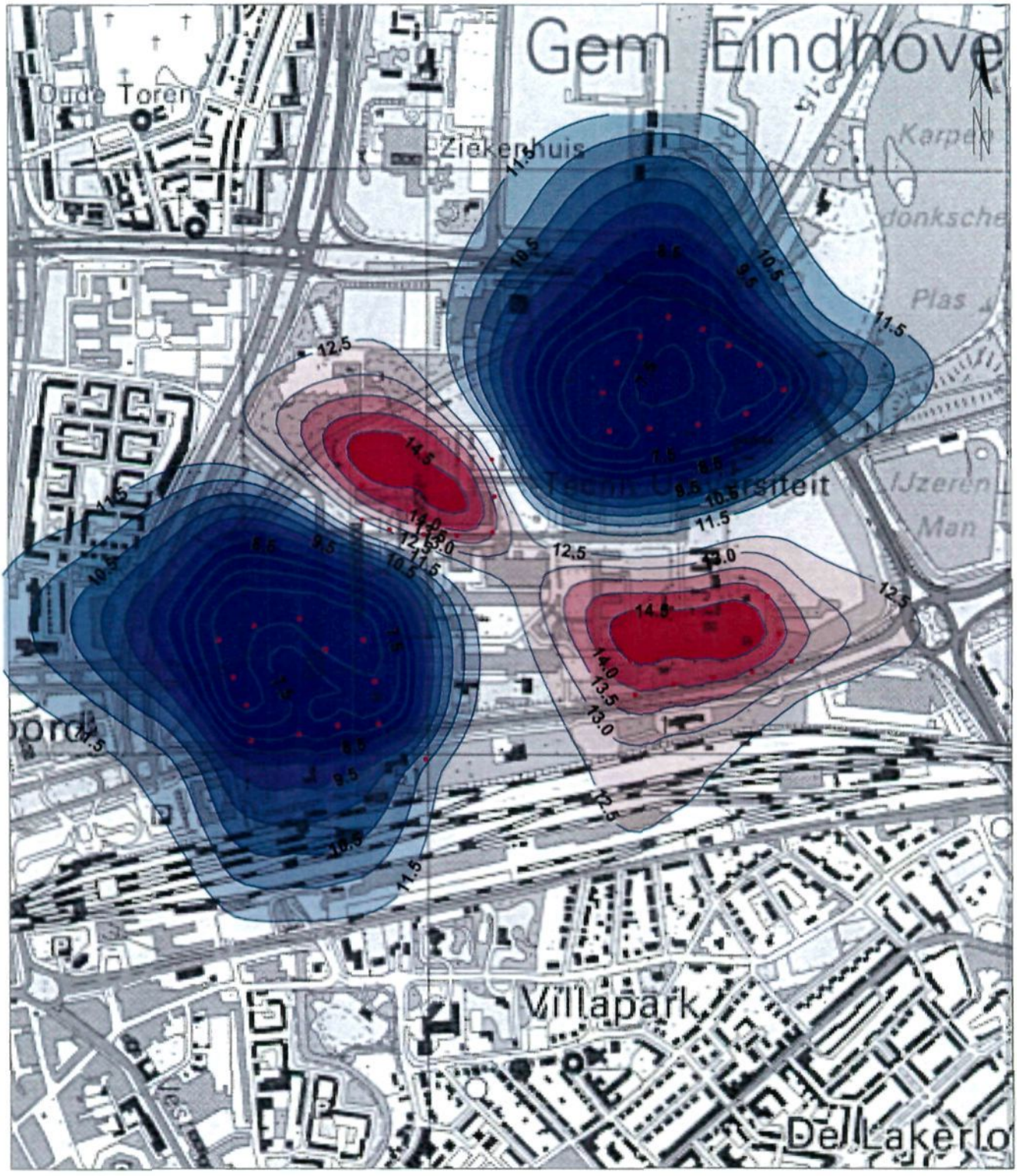
IF Technology	Figuur: VI.7b	Status: definitief	Stadium: MER
	Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:10.000	Datum: A:05-09-2000 B:28-09-2000 C: / Get. NS NS
	Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven		
	Onderwerp: Isothermen in °C na 20 jaar WKO, zomersituatie Alternatief 1		



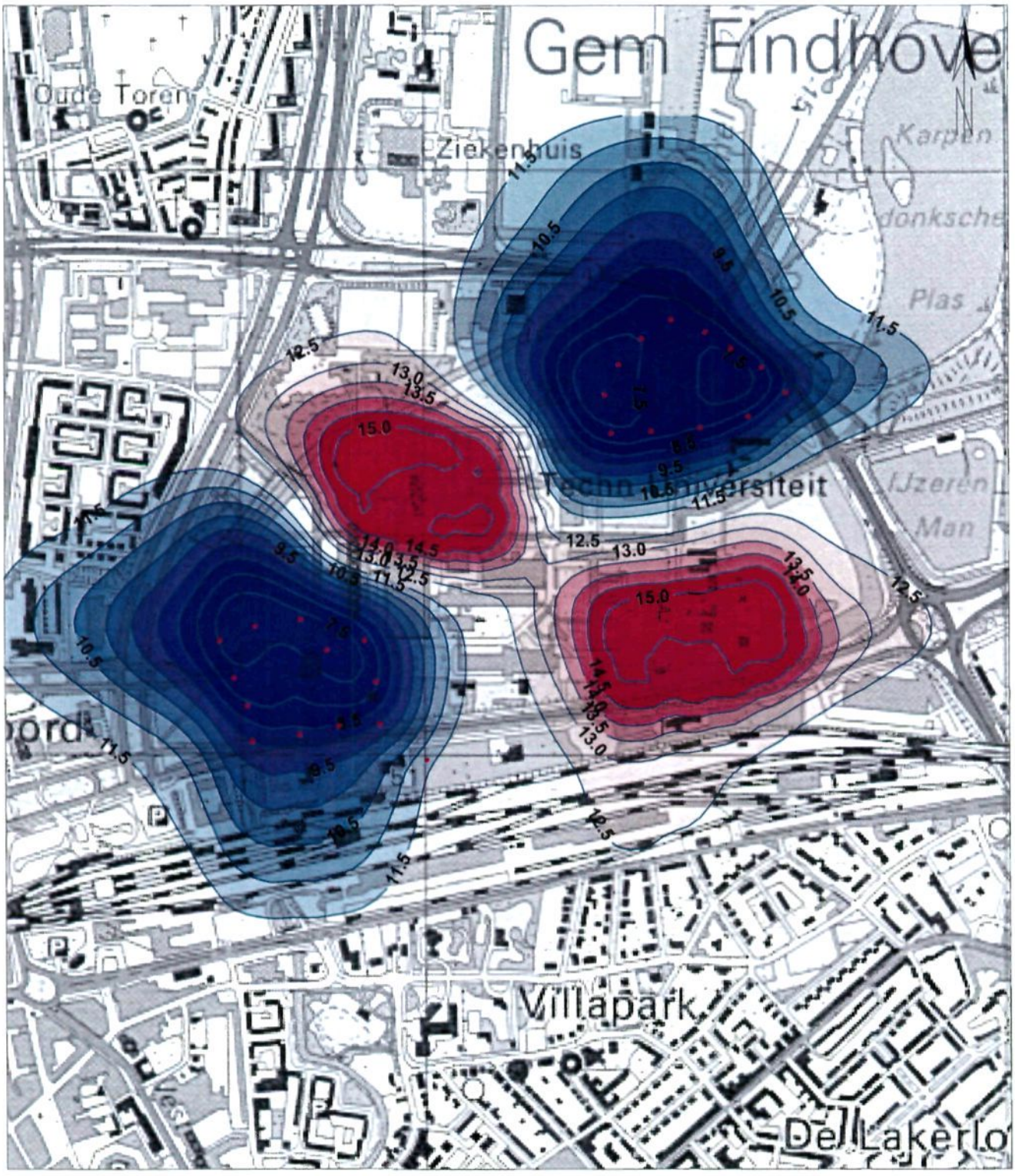
IF Technology	Figuur: VI 8a	Status: definitief	Stadium: MER		
	Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:10.000	Datum: A:05-09-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS	
	Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven				
	Onderwerp: Isothermen in °C na 20 jaar WKO, wintersituatie Alternatief 2				



IF Technology	Figuur: VI.8b	Status: definitief	Stadium: MER		
	Project nr.: 9949/GB	Schaal: 1:10.000	Datum: A:05-09-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS	
	Project: Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven				
	Onderwerp: Isothermen in °C na 20 jaar WKO, zomersituatie Alternatief 2				

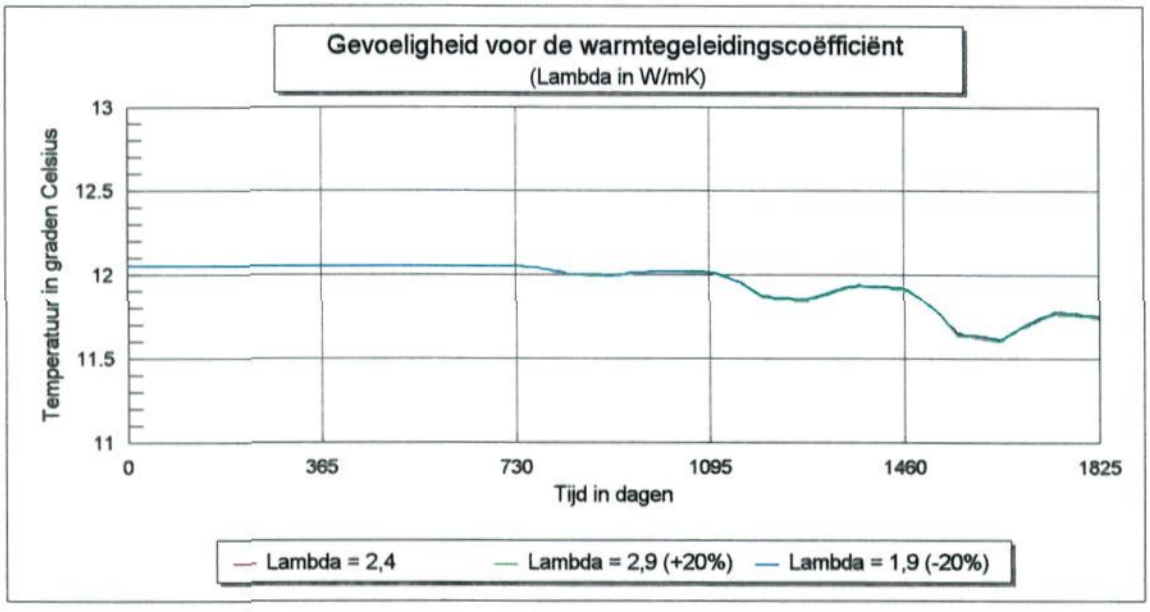


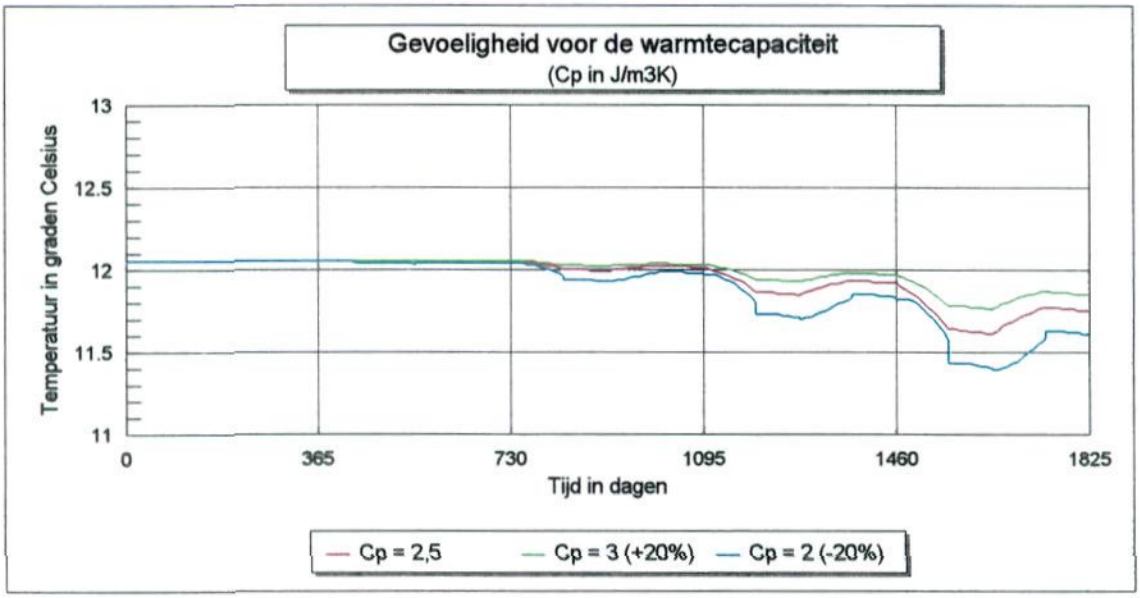
IF Technology	Figuur:	VI.9a	Status: definitief	Stadium: MER	
	Project nr.:	9949/GB	Schaal: 1:10.000	Datum: A:05-09-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS NS
	Project:	Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven			
	Onderwerp:	Isothermen in °C na 20 jaar WKO, wintersituatie Alternatief 3			

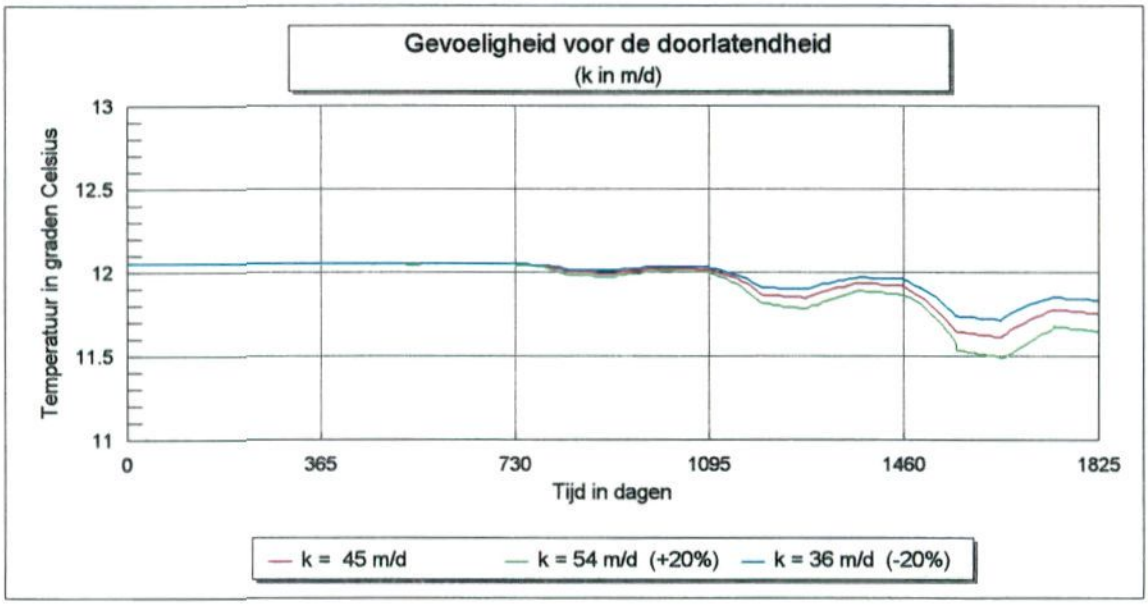


IF Technology	Figuur:	VI.9b	Status: definitief	Stadium: MER	
	Project nr.:	9949/GB	Schaal: 1:10.000	Datum: A:05-09-2000 B:28-09-2000 C:	Get. NS
	Project:	Warmte- en koudeopslag TU Eindhoven			
	Onderwerp:	Isothermen in °C na 20 jaar WKO, zomersituatie Alternatief 3			

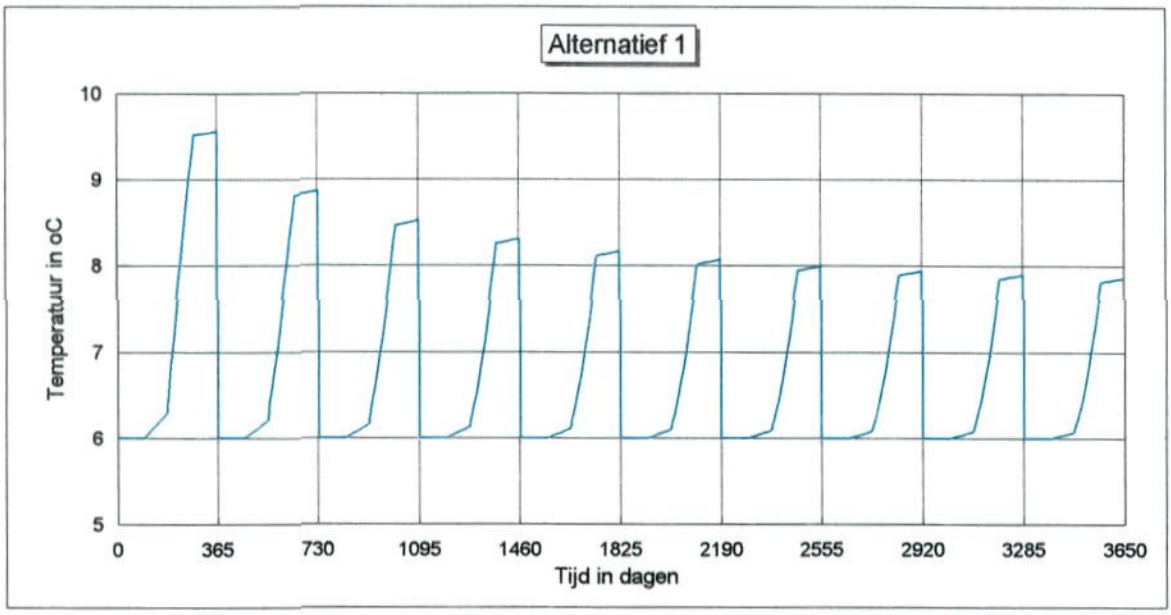
Figuur VI.10 Gevoeligheid HST-parameters

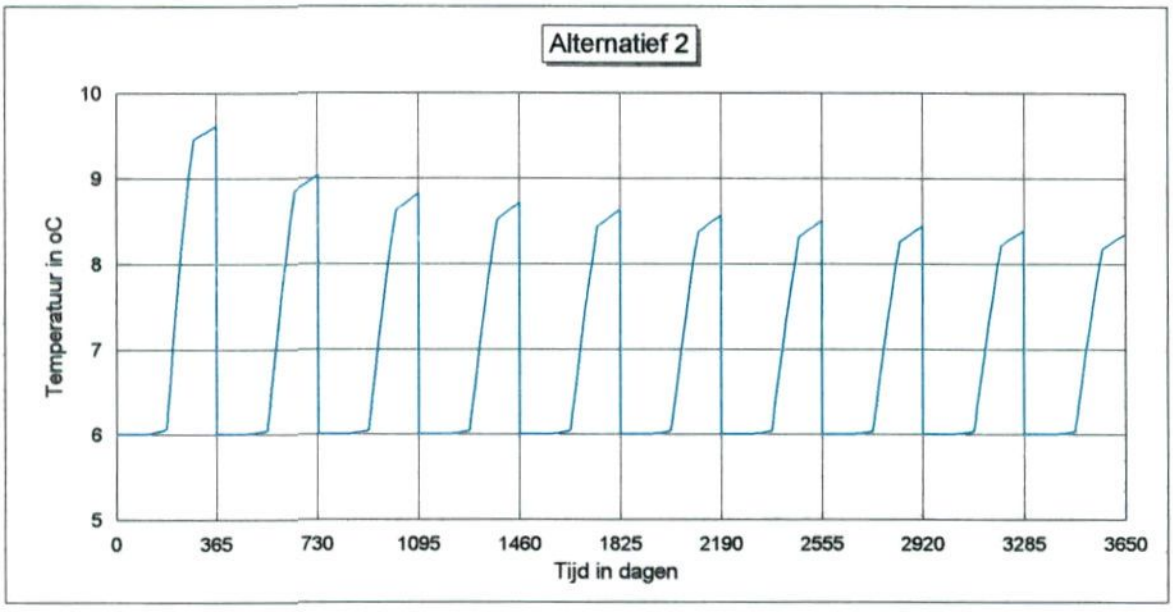


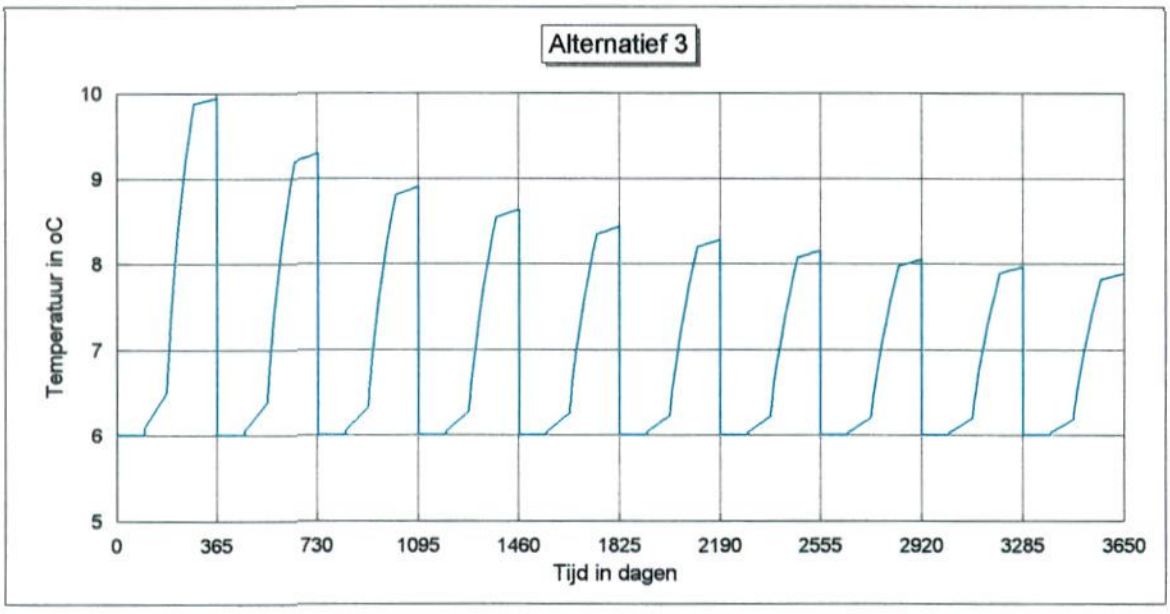




Figuur VI.11 Gemiddeld temperauurverloop koude bronnen







Figuren bij deel XI

Figuur IX.1 Meetputten op het TUE-terrein