MILIEUEFFECTRAPPORTAGE
betreffende

ONDERGRONDSE ENERGIEOPSLAG PRIMAVIERA TE RIJSSENHOUT

Opdrachtnummer: 1307-0101-010

Opdrachtgever : Stallingsbedrijf Glastuinbouw Nederland BV (SGN)
Dr. Kuyperstraat 12
2500 BB Den Haag

Projectleider : ir. J. Tel
Senior Adviseur Hydrologie

Opgesteld door : ir. F.A.N. Hogervorst
Adviseur Hydrologie
ir. J. Tel
Senior Adviseur Hydrologie

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	7 januari 2011	Versie 1	

FILE: 1307-0101-010.R02.doc Op deze rapportage zijn de algemene leveringsvoorwaarden van de V.O.T.B. van toepassing die een aansprakelijkheidsbeperking bevatten

Kantoor Leidschendam: Veurse Achterweg 10, Postbus 63, 2260 AB Leidschendam, Tel.: 070-3111333, Fax: 070-3111402,
Internet: www.fugro-nederland.nl
Handelsreg.nr. 27114147, BTW Nr. NL005621409B08

INHOUDSOPGAVE Blz.

1. INLEIDING 1
1.1. Glastuinbouw in de Haarlemmermeerpolder langs de A4 1
1.2. Doel milieu-effectrapportage 4

2. ENERGIE PRIMAVIERA EN RECONSTRUCTIEGBIEDEN 5
2.1. Vestigingsklimaat “energie” 5
2.2. Warmtebehoefte en koude behoefte 6
2.3. Energietechnieken 7
2.4. Energieleveranciers en energieomzettingsmethoden 9
2.5. Warmtebenuttingstechnieken / rendementsverhogende technieken 10
2.6. Dekkingsgraadverhogende technieken 12
2.7. Centrale voorzieningen 13

3. BELEID EN REGELGEVING ONDERGRONDSE ENERGIEOPSLAG 14
3.1. Besluit en MER 14
3.2. Rijksbeleid 14
3.3. Provinciaal beleid 15
3.4. Gemeentelijk beleid 16
3.5. Waterschap 16

4. BESTAANDE MILIEUTOESTAND EN AUTONOME ONTWIKKELING 17
4.1. Geologie en geohydrologie 17
4.2. Grondwaterkwaliteit nu en in de toekomst 25
4.3. Grondwaterstand afhankelijke functies 29
4.4. Samendrukbaarheid en stabiliteit van de bodem 30

5. BESCHRIJVING VAN HET EFFECTONDERZOEK 32
5.1. De invulling van de energievraag in PrimAviera 32
5.2. Alternatief A: Groot debiet LT “Hydrologisch optimaal” 34
5.3. Alternatief B: Energetisch optimaal 35
5.4. Alternatief C: Hoge Temperatuuropslag 37

6. MILIEUEFFECTEN 40
6.1. Grondwaterbronnen 40
6.2. Worst case stijghoogte effecten 41
6.3. Worst case thermische effecten 48
6.4. Verzilting 53
6.5. Zettingen 55
6.6. Energieverbruik versus milieueffecten 58
6.7. Meest Milieuvriendelijke Alternatief 59

7. EVALUATIE 61
7.1. Aandachtspunten 61
7.2. Onzekerheidsanalyse 62
7.3. Samenvatting onzekerheidsanalyse 66

8. LITERATUUR 67

9. BIJLAGEN **69**
Bijlage H1-3A geologische dwarsdoorsnede “parallel, langs A4” 70
Bijlage H1-3B, Geologische formaties sectie “Haaks op projectgebied ter hoogte van boring 121” 71
Bijlage H1-3C, GeoHydrologische indeling secties “Parellel A4/lengteas” 72
Bijlage H1.4. Boring B31A0121 73
Bijlage H1.5, Laagopbouw en indicatieve modelschematisatie 74
Bijlage H2.1 Referentie energieconcept, 75
Bijlage H2.2 Semi-Gesloten kas met 4 bronsysteem 76
Bijlage H2.3A Open kas met gedeeld 4bron systeem in Winterbedrijf 78
Bijlage H2.3.B Open kas met gedeeld 4bron systeem in Zomerbedrijf 79
Bijlage H2.4 Semi gesloten kas met Absorptiewarmtepomp 80
Bijlage H4-2 A, Verspreiding van chloride in de omgeving van de Haarlemmermeer 81
Bijlage H4-2 B, Chloridekaarten ICW 1972 82
Bijlage H4.3.A, Stijghoogtekaarten interessegebied “berekende stijghoogteverdeling” 83
Bijlage H4.3.B Berekende stijghoogte en isohypsen REGISII Zuid Holland. 84
Bijlage H6-1, Stijghoogte effecten in het derde watervoerende pakket berekend in Haarlemmermeer anno 2010. 85
Bijlage H6-2, Thermische effecten berekend na 20 jaar bedrijf op volle capaciteit 85
Bijlage H6.3, Grondmechanische effecten 86

ALGEMENE PROJECT GEGEVENS

Initiatiefnemer

Naam	Stallingsbedrijf Glastuinbouw Nederland (SGN)
Adres	Dr. Kuyperstraat 12 Postbus 16075 2500 BB Den Haag
Directeur	Dhr. F.J.A. Overing
Telefoon	070 - 3 11 99 80
Internet adres	www.goedgestructureerd.nl
Energieadviseur	Energy Quest Consultancy
Contactpersoon	Dhr. M.R. Braun
Telefoon	06-48073749
E-Mail	braun-palczak@ziggo.nl
Adviseur Hydrologie	Fugro Ingenieursbureau
Telefoon	070-3111136
E-Mail	J.Tel@Fugro.nl

Bevoegd gezag

Naam	Gedeputeerde Staten van Noord-Holland Directie Subsidies, Handhaving en vergunningen Sector Vergunningen
Adres	Houtplein 33 Postbus 3007 2001 DA Haarlem
Contactpersoon	Mw. H. Zwanenburg-Nederhof
Telefoon	023 -514 46 44
E-mail	zwanenburgh@noord-holland.nl

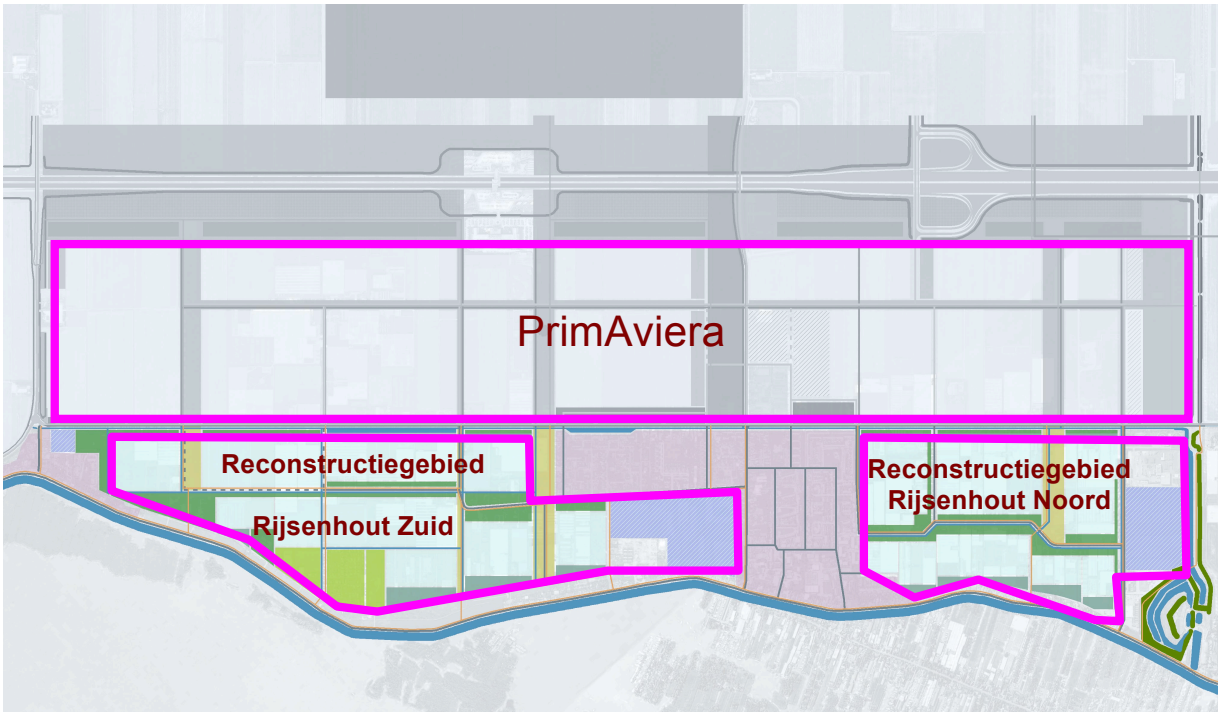
Commissie Milieu Effect Rapportage

Naam	Commissie voor de milieueffectrapportage
Adres	Arthur van Schendelstraat 800 Utrecht
Contactpersoon	Dhr. Laeven
Telefoon	030-2347666
Email	MER@eia.nl

1. INLEIDING

1.1. Glastuinbouw in de Haarlemmermeerpolder langs de A4

PrimAviera
PrimAviera is de naam van een te ontwikkelen glastuinbouwgebied van internationale allure in de Haarlemmermeer. PrimAviera beslaat het gebied tussen het bestaande glastuinbouwgebied Rijsenhout en de autosnelweg A4. Samen met Stallingsbedrijf Glastuinbouw Nederland (SGN) neemt de gemeente Haarlemmermeer de ontwikkeling van deze nieuwe locatie voor haar rekening, en daarbij wordt ingehaakt op de herstructurering van het bestaande glastuinbouwgebied Rijsenhout.



Figuur 1, Projectgebied tussen Rijksweg A4 en de Haarlemmermeerboezem.

De herstructurering is gestart in 2006 met het inventariseren van het gebied. Samen met bedrijfsadviseurs wordt een Herstructureringsplan uitgewerkt. Het gebied wordt begrensd door de Geniedijk, de Ringvaart en de Aalsmeerderweg. Uitgangspunt is dat het overgrote deel van het bestaande glastuinbouwgebied deze bestemming behoudt.

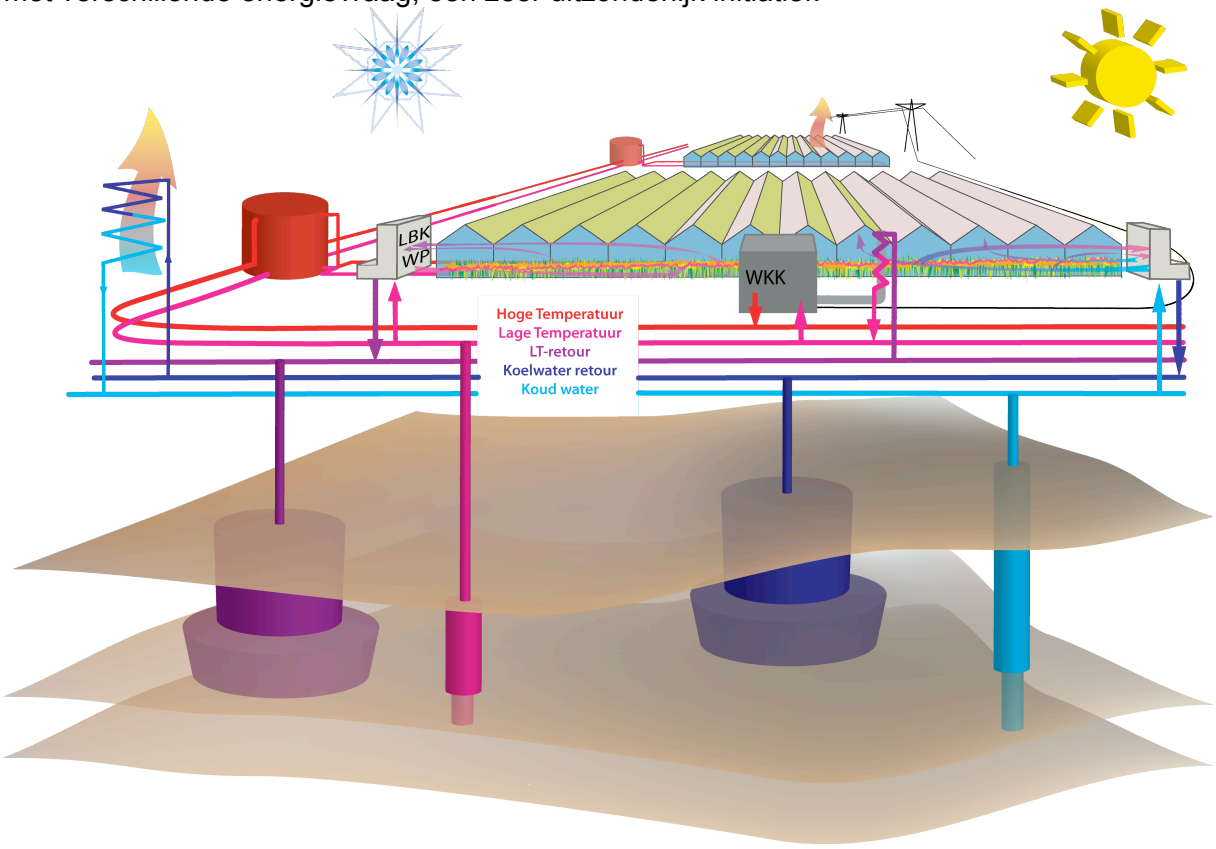
Het project maakt onderdeel uit van het manifest ‘Werkstad A4’ dat het gebied rond de snelweg A4 heeft bestempeld als nationaal sleutelproject. De projectpartners streven naar verantwoord ruimtegebruik én een goede landschappelijke inpassing.

Energiebronnen en gebruikers
Voor de glastuinbouwbedrijven wordt het vestigingsklimaat bepaald door logistiek en de kosten van grond en energie gedurende de periode waarop een bedrijf zich richt. De energiekosten zijn sterk variabel en zelfs op korte termijn slecht voorspelbaar en bepalen zodoende de concurrentieverhoudingen tussen de Nederlandse glastuinbouw en de minder energie-intensieve glastuinbouw in het buitenland. De moderne glastuinbouw gebruikt in de

winter grote hoeveelheden aardgas voor de productie van warmte en elektriciteit. Warmteverliezen zijn echter groot en de momenten waarop de vraag naar elektriciteit piekt komt vaak niet overeen met de vraag naar warmte.

Transport van warmte in ruimte en tijd

Het projectplan PrimAviera is door zijn afmetingen 280 ha glas, en de veelheid aan teelten met verschillende energievraag, een zeer uitzonderlijk initiatief.



Figuur 2, Voorgenomen activiteit: glastuinbouw met alle moderne energiebronnen, technieken en faciliteiten.

Schaalgrootte biedt voordelen voor de realisatie van distributienetwerk waarmee leveranciers en gebruikers van laagwaardige warmte en koude met elkaar kunnen worden verbonden. Moderne energietechnieken zoals lage temperatuur afgiftesystemen, warmtepompen en ondergrondse energieopslag zorgen voor de mogelijkheid om laagwaardige warmte te benutten en kunnen zorgen voor een toename van de dekkingsgraad van WKK energiestromen en Geothermie. Als de infrastructuur eenmaal bestaat is uitwisseling mogelijk met producenten en gebruikers die nu nog niet in beeld zijn.

Dimensionering en dekking van energiesystemen

Voor de klimaatvoorziening van de kassen en het datacentrum wordt ingezet op grootschalige seizoensopslag van laagwaardige[1] koude en warmte in de ondergrond om het gebruik van primaire energiebronnen te beperken. Hierna wordt gebruik gemaakt van het

[1] Laagwaardige energie is niet in staat om arbeid te verrichten (kwaliteitsfactor brandstof/elektriciteit=1, warmte 100 °C= 0.2, 20°C= 0). Inzet van hoogwaardige energie voor laagwaardige functies zoals ruimteverwarming/ontvochtiging/koeling kan worden beperkt door benutting van laagwaardige energie.

begrip Ondergrondse Energie Opslag (OEO) in plaats van KWO of WKO. Deze systemen maken gebruik van de grote warmtecapaciteit van water en het grote volume van grondwater in de ondergrond. Het “Masterplan gebruik ondergrond” (IF Technnology, 2008) beschrijft onder andere de opslagcapaciteit van de ondergrond.

Tabel 1.1: Potenties derde watervoerend pakket onder plangebied PrimAviera en Het structureringsgebied Rijsenhout voor Koude-warmteopslag (IF Technology 2008)

Potentie watervoerend pakket 3	PrimAviera	Herstructurering Rijsenhout
Beschikbare hoeveelheid water per seizoen	65 mln m^3	29 mln m^3
Energie potentieel per seizoen	985 GWh	440 GWh
Omgerekend naar aardgas equivalenten	112 mln	50 mln
Energiepotentieel per hectare kas indicatief	4.500 MWh/seizoen	4.400 MWh/seizoen

Het masterplan doet een voorstel om bronnen te plaatsen in warme en koude zones om gedurende de volloop van het projectgebied voorbereid te zijn op interactie tussen bronnen. Als op basis van de configuratie-beperking die past bij gebruik van het zone-regime bronnen worden geplaatst, bedraagt de gemiddelde waterverplaatsing per jaar maximaal circa 114 miljoen m³. Door langere filters te gebruiken kan de reservecapaciteit die dieper in de ondergrond aanwezig is worden benut. De maximale capaciteit loopt dan op tot circa 190 miljoen m³ per jaar (2.800 GWh/jaar bij toepassing van lage temperatuur opslag). Bij plaatsing van het maximaal aantal bronnen bedraagt de gemiddelde waterverplaatsing 114 miljoen m³ per jaar (1.720 GWh per jaar).

Tabel 1.2: Energetische uitgangspunten voor de vergunningaanvraag

	Warmte laden	Koude laden
Maximaal debiet max	17.000 m^3/uur	17.000 m^3/uur
Gemiddeld debiet max	12.000 m^3/uur	12.000 m^3/uur
Verplaatst volume max	57 mln m^3	57 mln m^3
Infiltratietemperatuur min /max‡	19°C / 45°C / 65°C	6°C / 13°C
Infiltratietemperatuur gemiddeld‡	28°C / 37°C / 55°C	8°C
Geïnfiltreerde energie†	860 GWh	860 GWh

† Bij lage temperatuuropslag. Deze waarden worden door veel variabelen bepaald en zijn in dit stadium van het project niet nauwkeurig vast te stellen.
‡ De injectietemperatuur verschilt zeer sterk tussen jaren, binnen seizoenen en tussen bronnen en bedrijfssystemen. Op projectniveau wordt voor de vergunningaanvraag verondersteld dat de temperaturen volgens een vast patroon verlopen waarbij de balans tussen geïnfiltreerde warmte en koude als uitgangspunt wordt gehouden. De praktijk wijst uit dat het laden van koude extra aandacht vraagt. In het ontwerp en beheer van de vergunningen wordt hieraan uitvoerig aandacht besteed.

De maximale vraag naar opslagcapaciteit voor de op dit moment verwachtte teeltmix is ruim 330 GWh/jaar, een derde deel van de totale energievraag. Om deze hoeveelheid energie op te kunnen slaan en weer beschikbaar te krijgen moet, afhankelijk van vooral de gemiddelde temperatuur (energie-inhoud), een jaarlijkse hoeveelheid water worden verplaatst van 15 tot 45 miljoen m^3. Deze opslagbehoefte is daarnaast zeer sterk afhankelijk van de sierteelt-marktontwikkeling omdat de energievraag per ha uiteenloopt van 15 tot 65 m^3 aardgasequivalenten per m^2 jaar.

Volgens het Besluit milieu-effectrapportage 1994, bijlage, onderdeel C, activiteit 15.1, moet voor het project vanwege deze grondwateronttrekkingen een milieueffectrapport (MER) worden gemaakt ten behoeve van het besluit voor het verlenen van een vergunning als bedoeld in artikel 14, eerste lid, van de Grondwaterwet. Sinds de start van het initiatief is de Grondwaterwet vervangen door de Waterwet waardoor alle water-gerelateerde

vergunningsaspecten onder dezelfde vergunning vallen. Hierna wordt gesproken over de Waterwet.

1.2. Doel milieu-effectrapportage

Het doel van de MER is om het milieubelang naast andere belangen een volwaardige rol te laten spelen bij de besluitvorming. Daarbij moeten zowel eventuele milieuvoordelen als milieunadelen kwantitatief worden vergeleken.
Door SGN wordt een Parapluvergunning Waterwet aanvraagt. De parapluvergunning wordt uiteindelijk overgedragen aan de bv Parkmanagement PrimAviera. Bij de start is SGN de enige aandeelhouder waarna iedere tuinder die zich vestigt in het gebied naar rato een stuk van het aandelen pakket zal overnemen totdat in de eindsituatie alle aandelen zijn overgedragen aan tuinders.

Leeswijzer
De MER geeft inzage in de milieueffecten van de voorgenomen activiteit en maakt deze vergelijkbaar met alternatieven.

Het rapport bestaat uit drie onderdelen

a. Projectbeschrijving en context in hoofdstukken 1, 2, 3, 4 en 5,
b. effecten en beoordeling en MMA in hoofdstuk 6 en 7,
c. literatuur en bijlagen in hoofdstuk 8 en 9.

Ruimtelijke ontwikkeling
De milieueffecten worden onderzocht aan de hand van enkele concrete bronlocatieverdelingen waaronder het strokenpatroon zoals dat is ontwikkeld ten behoeve van de volloop van het gebied. De bronlocaties die in dit rapport staan zijn op geen enkele wijze vastgelegd met het doel om in werkelijkheid te worden gerealiseerd. Zij dienen slechts ter evaluatie van interactie tussen bronnen met hun hydrologische context.

2. ENERGIE PRIMAVIERA EN RECONSTRUCTIEGBIEDEN

Het doel is om rekening houdend met onzekere prijsontwikkeling van energie (§2.1) de toekomstige energievraag (§2.2) te verdelen over de best passende energietechnieken. In §2.3 staan deze energietechnieken onderverdeeld naar productie (herkomst of bron), rendementverhogende technieken, dekkingsgraad verhogende technieken (distributie in ruimte §2.4, en distributie in tijd §2.5). Bijlagen H2.1 tot H2.5 bevatten schematische weergaven van energieconcepten voor teelten met een gemiddelde energievraag, waarbij verschillende systeemtypen tegelijkertijd voorkomen.

2.1. Vestigingsklimaat "energie"

Het doel van de initiatiefnemer is een **optimaal vestigingsklimaat** voor glastuinbouwbedrijven in het plangebied PrimAviera en de aansluitende glastuinbouw-reconstructiegebieden. Het ambitieniveau van nieuwe glastuinbouwbedrijven op het gebied van de reductie van verbruik van primaire energie ligt zeer hoog en maakt het mogelijk om met het zicht op toekomstige prijzen van energie en CO_2 te investeren in technieken die zich pas op langere termijn terugverdienen. De gemiddelde productiekosten die samenhangen met energie bedragen momenteel al 40%. Een toename daarvan zou de economische haalbaarheid van enkele belangrijke teelten in Nederland direct in gevaar brengen. De concurrentiekracht van bedrijven kan in een wisselvallige energiemarkt baat hebben bij keuzevrijheid tussen energiebronnen zoals elektriciteit, aardgas en laagwaardige omgevingsenergie.

Robuustheid van energielevering en prijsstabiliteit
Het doel van SGN is niet beperkt tot het beschikbaar maken van infrastructuur maar ook een vooruitzicht van een robuuste energieprijs en levering. De keuze van een deelnemer in PrimAviera voor een bepaalde combinatie van verschillende energiesystemen zal worden gebaseerd op de verwachte variabiliteit van energieprijzen en de verschillen tussen de beschikbare energiedragers. De prijsontwikkelingen van energie in de afgelopen jaren zijn in het licht van de verwachtingen voor de komende jaren dermate nerveus dat voor de bedrijfsperiode vanaf 2015 tot 2040 weinig zekerheid kan worden gegeven over de terugverdientijd van energiesystemen of combinaties daarvan. De korte termijnverwachting voor de energiemarkt[2] is onder andere dat de olieprijs blijvend zal stijgen en dat de prijs van gas en elektriciteit zal stabiliseren of gaan dalen zolang de levering van aardgas via LNG en landleidingen stabiel is. De verhouding tussen gas en elektriciteitsprijs kent twee uiterste scenario's die bepalend zijn voor de bedrijfsvoering van PrimAviera.

Stijgende gasprijs of relatief dalende gasprijs
De gasprijzen kunnen ten opzichte van de elektriciteitsprijs sterk oplopen als de leveringszekerheid in gevaar komt. De glastuinbouw is zeer gevoelig voor stijgende gasprijzen in combinatie met gelijk blijvende elektriciteitsprijzen omdat de opbrengst van elektriciteit afkomstig van WKK systemen dan in gevaar komt. Tegelijkertijd zal Ondergrondse Energie Opslag onder die omstandigheden relatief gunstiger scoren omdat deze voor een groter deel afhankelijk is van elektriciteit. De gasprijs kan ook dalen ten opzichte van de prijs van elektriciteit indien de vraag naar elektriciteit gaat stijgen onder invloed van de toenemende elektrificatie van de Europese energievraag. Deze ontwikkeling wordt versterkt onder druk van de kostprijs van het afvangen en opslaan van CO_2. Grootschalige centrale opwekking van CO_2 is een van de eisen voor een grootschalige

[2] Verwachtingen van het International Energy Agency, World Energy Outlook, november 2009.

invoering van CO_2 afvang. Deze combinatie is juist ongunstig voor de groei van OEO capaciteit in de totale energiemix omdat de voordelen van WKK dan toenemen.

Technologische ontwikkelingen energiehuishouding in kassen.
In de ontwerpwereld voor kassen en energiesystemen dienen zich met hoge regelmaat ontwikkelingen aan die zicht bieden op een sterke toename van de efficiency van kassenteelt. LED verlichting, grote ontwikkelingen in warmtepompen, lucht-water warmtewisselaars en luchtbehandeling. Daarnaast neemt de meet- en regeltechniek een hoge vlucht waardoor onder andere gedurende de levenscyclus van kassencomplexen meerdere teeltsystemen kunnen worden toegepast.

CO_2 uitstoot van de Nederlandse elektriciteitsproductie
Aardgas wordt onttrokken aan gasvelden in Groningen, de Noordzee, en de import uit Rusland zal toenemen evenals de bijdrage van LNG aan het landelijke aardgasnet. De productie van elektriciteit vindt lokaal plaats en daarnaast wordt ook gebruik gemaakt van levering via het landelijke net. De herkomst van energie via het elektriciteitsnet zal in de toekomst gelijkmatiger verdeeld worden over steenkool, aardgas, kernenergie, biomassa, PV-cellen en windenergie.

2.2. Warmtebehoefte en koude behoefte

De energiebehoefte sterk verschilt per teelt zoals blijkt uit de verwachting voor PrimAviera.

Tabel 2.1, Prognose[i] van warmtevraag van PrimAviera en de beide reconstructiegebieden.

Kavel [ID]	Oppervlak glas [ha : ha belicht]	Teelt[†] [-]	warmtevraag [Nm^3/m^2]	Kavel [ID]	Oppervlak glas [ha : belicht]	Teelt [-]	Warmtevraag [Nm^3/m^2]
1	36.6 : 36.6	Perkgoed / 1	39	R Zuid 1	8.5	Snijgroen	18
2	1.2 : 0	Perkgoed / 1	12	R Zuid 2	3.6	Komkommer	42
3	3.7 : 2.0	Orchidee	52	R Zuid 3	3.1	Potplanten1	16
4	3.1 : 0	Bolbloemen	38	R Zuid 4	2.5	Anthurium	52
5	3.1 : 0	Kuipplanten	22	R Zuid 5	3.4	Amaryllis	15
6	8.0 : 2.0	Potplanten 4	44	R Zuid 6	2.8	Potplanten4	44
7	7.4 : 7.4	Chrysanten	42	R Zuid 7	2.3	Potplanten6	28
8	9.8 : 1.5	Snijbloemen	18	R Zuid 8	6.0	Fresia	22
9	9.0 : 3.0	Potplanten 6	28	R Zuid 9	1.6	Zomerbloem	30
10	6.5 : 0	Amaryllis	15	R Zuid 10	2.1	Kuipplanten	22
11	6.7 : 3.0	Alstoemeria	34	R Zuid 11	3.5	Orchidee	52
12	10.5 : 6.0	Anthurium	52	R Zuid 12	2.3	Roos	65
13	18.0 : 4.0	Bloemen div.	30	R Zuid 13	4.6	Lelie	34
14	6.9 : 2.0	Potplanten6	28	R Noord 1	3.8	Tomaat	39
15	11.0 : 3.0	Fresia / snij.	22	R Noord 2	1.4	Kuipplanten	20
16	13.0 : 4.0	Rozen	65	R Noord 3	2.2	Orchidee	52
17	15.0 : 4.0	Lelies	34	R Noord 4	1.3	Bolbloemen	38
				R Noord 5	2.0	Kuipplanten	20
				R Noord 6	4.6	Potplanten4	44
				R Noord 7	4.6	Potplanten6	28
				R Noord 8	2.7	Zomerbloem	30
				R Noord 9	2.8	Chrisant	42
				R Noord 10	5.3	Alstroemeria	34
				R Noord 11	4.5	Anthurium	53
				R Noord 12	1.6	Orchidee	52
				R Noord 13	2.8	Roos	65
Totaal	172 : 79.5	-	69.75 mln m^3/jr		86 : 37	-	18.53 mln m^3/jr

¡ Prognose juli 2010, Verwacht oppervlak en warmtevraag per teelt, Bron: Energy Quest Consultancy.

De ontwikkeling en volloop van het projectgebied neemt ongeveer 10 jaar in beslag, waarschijnlijk tot na 2018.

Binnen PrimAviera is een grotere vraag naar warmte dan naar koeling. De koude behoefte verschilt evenals de warmtebehoefte sterk per teelt. De behoefte aan koeling van het datacentrum zorgt voor de mogelijkheid voor aanvulling van de koude opslag capaciteit. De opslag van koude gaat gepaard met koude verlies (niet terugwinbare koude) in de ondergrond ter compensatie van warmteverliezen die inherent zijn aan opslag van warmte.

2.3. Energietechnieken

Tabel 2.2 geeft aan welke energietechnieken beschikbaar zijn of in de nabije toekomst marktrijp kunnen worden.

Tabel 2.2, Energietechnieken betrokken bij energieconcepten.
† Aardgas wordt uitgedrukt in genomaliseerde aardgas equivalent, 31,65 MJ/m^3, met 56,8 kg/GJ CO_2. Puur

Energiesysteemcomponenten	Product	Hoeveelheid
Energiebronnen/leveranciers §2.4		
Zonlicht	Groene productie (Fothosynthese)	80% van 9740 MWh/ha.jr
Datacenter	Restwarmte 40°C - 65°C	25 miljoen m³ Naeq/jr†
WKK	Electriciteit	134 MWe
Geothermie diep	Warmte 60°C - 90°C	2.5 tot 67 miljoen m³ Naeq/jr
Geothermie ondiep	Warmte 35°C - 45°C	?
Warmte benuttings technieken §2.5		
Compressiewarmtepompen	Warmte en koude COP 3.5-7	<80% gesloten kassen
Absorptiewarmtepomen	Warmte en koude COP 0.7	<80 % van gesloten kassen
WKK rookgascondensors	6% rendementsverhoging (elektrisch)	0-?
Zeer Lage Temperatuur Verwarming	20% lagere retourtemperatuur °C	<80% thermisch vermogen
Isolatie kasdek icm zonwering	Beïnvloeding energiebalans in vraag	0-?
Organic Rankine Cycle	Beïnvloeding E / Th rendement WKK	5%
Dekkingsgraad verhogende technieken §2.5		
Bovengrondse buffertanks	Korte termijn demping vraag/aanbod	
OEO koud	6°C – 17°C Koelers en warmtepomp 25°C – 45°C (zon en warmtepomp)	220MWh/jr (25 mln m³ Naeq)
OEO LT	35°C – 60°C (WKK)	
OEO HT	40°C – 85°C (geothermie / WKK)	
Diverse centrale voorzieningen §2.6		
Koelclusters	Koude 6°C - 14°C	Naar balanseisen
	Warmte	103 MWth
HT warmtepompen	Warmte en koude	Naar balanseisen
COPAC	CO_2	Max
Vergistingsinstallatie	Methaan	?

Methaangas is genormaliseerd goed voor 35,9 MJ/m^3.

De combinatiemogelijkheden van energiesystemen zijn eindeloos zoals blijkt uit de volgende paragraaf waarin verschillende energieconcepten worden beschreven.

2.3.1. Energieconcepten: integratie versus individualiteit

Bij het ontwerp van een glastuinbouwbedrijf worden keuzes gemaakt om te komen tot zo laag mogelijke productkosten gedurende de gehele levensduur van een bedrijf. Daarbij zijn de eerste jaren belangrijker dan de laatste jaren. Nieuwbouw is bij uitstek het moment om stil te staan bij investeringen in energiebesparende technologie. Op deze dynamiek kan alleen worden ingehaakt door voortdurend de initiatiefnemers keuzemogelijkheden te kunnen aanbieden.

Om een totaalbeeld te kunnen geven voor het gehele project zijn verschillende energieconcepten doorgerekend aan de hand van de energieconceptenstudie van Cogen Projects (2009) op basis van de prognose voor de teeltverhoudingen in 2010. Als voorbeeld staan in Tabel 2.3 de energetische kenmerken beschreven voor een gemiddelde warmtebehoefte (15m^3/m^2.jr). De toepassing van warmtepompen is hoofdzakelijk zinvol bij grootverbruikers van koelvermogen. De referentiesituatie is individueel en gebaseerd op toepassing van WKK in combinatie met piekketel en weekendbuffer. De kolom *verbruik* in tabel 2.3 beschrijft het netto primair energieverbruik. Uitgaande van een constant productieniveau (60 kg tomaten m^2/jr) is geen rekening gehouden met de invloed van gesloten kasconcepten op het productieniveau of kwaliteit.

Tabel 2.3: Energieconcepten, dekking en jaarverbruik (Energy Quest, 2009; Cogen Projects 2009).

	Beschrijving	gesloten		Inzet OEO		Verbruik	ZLTV	Buffer	Wkk	Elektra
		[%]	[7-14°C]	[12-35]	[35-45]	[m^3/m^2jr]			P	Levering
	Conceptnaam	[%]	[%]	[%]	[%]	[m^3/m^2jr]	[%]	[-]	[MW/ha]	[GWh/ha]
1	Open kas, WKK, buffer	81	0	0	0	11.1	0	Groot	0.6	4.8
2	Compressie warmtepomp	30-50	50	50	0	44-53	>50	Groot	0.4	0.3 -0.8
3	Open kas, WKK HTopslag +datacenter	0	50	0	50	5.3	>30	Klein	0.5	1.8
4	Absorptiewarmtepomp	30-50	25	50	25	8.0	>70	Klein	0.29el.	1.7
5	Gesloten kas WKK	30	25	50	25	7.9	100	Klein	0.3th	1.8

Het energieconcept met compressiewarmtepompen (en “klassieke” lage temperatuur ondergrondse energie opslag) is op 5 verschillende manieren is doorgerekend vanwege verschillende teelteisen en mogelijke ontwikkelingen in energietechniek (tabel 2.4).

Tabel 2.4: Vergelijking van de energiemixconcepten zoals die zijn betrokken bij de prognose voor de volloop van PrimAviera en het herstructureringsgebied Rijsenhout voor kassen met een warmtevraag van 15 m^3/m^2 per jaar, (Energy Quest, 2009).

Warmtepompconcepten	CO_2	Gasverbruik	Elektriciteit inkoop / productie	OEO debiet Jaar / uur	Warmteoverschot
	[kg/ m^2]	[m^3/m^2jr]	[kWh/m^2]	[m^3/ha]	[m^3 a.eq./ m^2]
Kas zonder gas	126	0	224 / 0	5000 / 90	-26.1
Aircokas ΔT 13°C	32	44	-95 / 172	5000 / 80	-22.8
Gesloten kas ΔT 19°C	61	44	-55 / 172	6000 / 135	-24.9
Semi gesloten kas ΔT 13°C	36	44	-88 / 172	7000 / 75	-27.5
Semi gesl. ΔT 13°C +LED	30	44	-100 / 172	6000 / 135	-24.6
Semi gesloten kas ΔT 19°C	43	43	-79 / 172	7000 / 75	-27.5

In het open kasdeel van de warmtepompvarianten wordt gebruik gemaakt van zowel WKK als van warmtepompen met OEO. Daarbij wordt uitgegaan van 30% gesloten kasoppervlak naast 70% open. Van deze energieconcepten met warmtepompen vraagt de Kas zonder Gas de grootste capaciteit voor ondergrondse energieopslag. De Kas zonder Gas wordt beperkt gebruikt in de teelt van Orchideeën.

2.4. Energieleveranciers en energieomzettingsmethoden

2.4.1. Warmte Kracht Koppeling

WKK koppelt elektriciteitsproductie aan warmteproductie waardoor het gecombineerde rendement oploopt tot 90%. Deze techniek heeft het energetisch rendement van glastuinbouw sterk laten toenemen. Gasmotoren met rookgasreiniging leveren elektriciteit, warmte en CO_2. De verhoudingen liggen vrijwel vast als gevolg van de specifieke kenmerken van gasmotoren.

Organic Rankine Cycle en Rookgascondensor

Door inzet van Organic Rankine Cycle technologie (zie www.CogenProjects.nl) kan de verhouding tussen het elektrisch en thermisch vermogen van WKK worden verhoogd, ten koste van de restwarmtetemperatuur. Dat kan leiden tot een temperatuursonderscheid tussen hoge temperatuur opslag voor WKK en Geothermie. Deze techniek verdient zich bij prijspeil 2010 nog niet terug.

Daarnaast kan de warmtestroom kan nog iets worden verhoogd door gebruik te maken van een rookgascondensor.

2.4.2. Datacenter restwarmte

De prestaties van opslagsystemen in termen van vermeden CO_2 uitstoot nemen sterk toe bij toenemende opslagtemperatuur omdat het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp dan wegvalt. Het opgenomen vermogen neemt af bij toenemende opslagtemperatuur. Binnen PrimAviera wordt daarom ingezet op de benutting van grote warmtestromen op een zo hoog mogelijke temperatuur. Grote restwarmtestromen worden verwacht op temperaturen 37 tot 52°C en 70- 85°C. Die worden geleverd door een datacenter en door kascomplexen met WKK restwarmtestroom.

Om aan de balanseisen (hoeveelheid thermische energie in de ondergrond mag niet veranderen) te blijven voldoen moet bij een toenemende opslagtemperatuur naar verhouding meer water worden afgekoeld (zie §2.7 koeling). Grondwater kan bij droge luchtkoeling niet makkelijk verder worden gekoeld dan enkele graden boven de luchttemperatuur en boven 0°C. Natte luchtkoelers bieden een hoger vermogen maar verbruiken zoet grondwater. Deze zijn in deze analyse niet meegenomen. Bij een injectietemperatuur van 40°C zal minimaal 6 maal zoveel water moeten worden gekoeld en verplaatst dan de hoeveelheid water die wordt verwarmd.

Een Datacentrum vraagt koeling en die kan worden geleverd door (voorgekoeld) grondwater. Deze koeling zorgt voor toename van de temperatuur in de warme grondwaterbel. Deze warmte kan worden vernietigd met droge koelers of worden opgewaardeerd tot bruikbare temperatuurniveaus door inzet van een compressiewarmtepomp. De opslag van koel water heeft net als warmteopslag een opslagrendement dat lager is dan 100%. De koelvolumes en daarmee de koelteverliezen die hierdoor ontstaan worden zodanig gedimensioneerd dat ze compenseren voor de wamteverliezen die optreden bij restwarmteopslag.

2.4.3. Diepe en ondiepe Geothermie

Geothermie genereert een jaarrond continue warmtestroom die gedurende de levensduur van het systeem afloopt totdat de onttrokken hoeveelheid warmte in evenwicht komt met de geothermische warmtestroom uit de diepte. Een goed gedimensioneerd geothermiesysteem kan een betrouwbare warmtebron vormen met een zeer lage CO_2 uitstoot. Voor deze warmtestroom geldt hetzelfde als voor die afkomstig van WKK, dat de jaarronde

dekkingsgraad van het systeem kan worden opgevoerd door in perioden met tekort in vraag de warmte kan worden overgedragen aan een OEO systeem. Geothermie is als externe warmteproducent in het schema van energieconcept 4 opgenomen.

Tabel 2.5, Opbrengstverwachting geothermiebronpaar omgeving PrimAviera / Schiphol.

COP† [-]	Debiet [m³/h]		Na kraken‡		Energie [GWh]		[mln m³ aeq	
	min‡ P90	Min P50	max P90	max P50	min 64°C-25°C	max 95°C-25°C	min 64°C-25°C	max 95°C-25°C
10	30	75	100	260	43046	669614	4.98	67.14
15	20	50	70	180	28697	463579	3.26	52.71
20	15	40	55	150	21532	386316	2.45	43.92

† Niet alle combinaties van COP en debiet in deze tabel zijn even waarschijnlijk.
‡ Minimum en maximum schattingen hangen samen met het al dan niet toepassen van hydraulisch kraken van de zandsteenformatie rondom de bronfilters.

De boordiepte bepaalt bij geothermie de kostprijs en bij toenemende diepte nemen daardoor ook de risico's per boring toe. Hoe dieper er wordt geboord hoe hoger de temperatuur en hoe lager de doorlatendheid van gesteente. Een groot deel van de teelten kunnen volstaan met lagere temperaturen dan die worden geleverd door de bekendere diepe geothermiebronnen. Ondieper boren zorgt voor mogelijkheden om de boorkosten en risico's aanzienlijk te reduceren. Daarnaast is LT-Geothermie vanwege het constante aanbod zeer geschikt om te combineren met een HT warmtepomp. In tabel 2.6 is aangegeven hoe diep en ondiep geothermie en OEO worden onderscheiden.

Tabel 2.6, Onderscheid tussen diepe geothermie en ondiepe geothermie, ondiepe OEO en diepe OEO.

Geo-energie: en OEO	Karakter	Diepte [m]	Afzetting (OEO) Periode (Geothermie)
Ondiepe OEO	Klein debiet, Energiebalans, HT en LT	40-75	Sterksel zand
Diepe OEO	Groot debiet LT, Balans, klein debiet HT	85-250	Peize-Waalre, sterksel, Maassluis
Ondiepe geothermie	35°C tot 45°C	500-1000	Tertiair
Diepe geothermie	65°C tot >>100°C	2000->3000	Trias

2.5. Warmtebenuttingstechnieken / rendementsverhogende technieken

Koppeling van vraag en aanbod in ruimte en tijd door distributie en Ondergrondse Energie Opslag zijn een mogelijkheid om het energieverbruik verder terug te dringen onafhankelijk van de herkomst van warmte of koude. Daarnaast wordt het verder uitnutten van geproduceerde warmte gestaag financieel interessant bij toenemende energieprijzen. Hieronder staan ze achter elkaar toegelicht.

2.5.1. Warmtepompen

Cruciaal voor de vergelijking van de verschillende energieconcepten is dat OEO het mogelijk maakt om laagwaardige warmte en koude te benutten die anders zonder gebruik aan de atmosfeer zou zijn afgegeven. Door inzet van een warmtepomp wordt laagwaardige omgevingswarmte opgewaardeerd ten koste van elektriciteit, de meest kostbare en hoogwaardige energievorm. Warmtepompsystemen worden gedimensioneerd op een vaste dekking van ofwel de koudevraag ofwel de warmtevraag. De elektriciteit wordt alleen in daluren[3] aan het net onttrokken. Tijdens het koelen wordt tegelijk warmte verzameld en opgeslagen voor de winterperiode. De opslag en de inrichting van een

[3] De warmtepompsystemen maken gebruik van etmaalbuffering om de inzet van elektriciteit te kunnen beperken tot daluren. De uitstoot van CO_2 van toekomstige dalurenelektriciteit hangt sterk af van de energiemix (kernenergie, windenergie, kolen of grensoverschrijdende witte stroom).

energiedistibutiesysteem in een kas vormen randvoorwaarden voor ontwerp van warmtepompen. Bij warmtepompsystemen wordt daarom het onderscheid gemaakt op basis van de opslagtemperaturen van de systemen. Hieronder staan drie systemen toegelicht.

ΔTlaag 13°C- 19°C Warmtepompsystemen
Bij ondergrondse energieopslag waarbij van oudsher gebruik wordt gemaakt van warmtepompen wordt onderscheid gemaakt naar het temperatuurverschil tussen warme en koude bronnen. Typische gemiddelde temperaturen in situaties waar de temperatuur van grondwater van nature 13°C bereikt zijn 6 tot 13°C in de koude bron en 19°C in de warme bron. Die systemen worden gedimensioneerd op dekking van een bepaald deel van de koudevraag of de warmtevraag, waarbij automatisch een hoeveelheid warmte of koude beschikbaar komt voor de winterperiode. De verschillen in energievraag tussen de teeltsystemen en teeltplannen in het gebied kunnen via een warmtenet ook direct worden uitgewisseld waardoor niet altijd opslag van warmte of koude nodig is. Bij ΔT 13°C wordt gewerkt met water tussen 5°C en 18°C, en bij ΔT 19°C wordt de warme bron gedurende een korte tijd geladen op 23°C. Zowel het debiet als de injectietemperatuur vertonen variatie in de tijd afhankelijk van de vraag en beschikbaarheid van energie. Lage temperatuur warmtepompen komen maar zelden boven een COP van 5 maar het opslagrendement is over het algemeen hoger dan 85%.

ΔT midden 8°C - 28°C ++Warmtepompsystemen
Deze opslagtemperaturen hebben een iets lager opslagrendement maar kunnen toe met minder warmtepompvermogen. Bij toepassing van Hoge Temperatuur warmtepompen kunnen ook restwarmtestromen worden opgewaardeerd tot temperaturen die bruikbaar zijn in hoge temperatuur warmte afgiftesystemen. De COP van die warmtepompen ligt afhankelijk van het mate waarin het aanbod stabiel is tussen 5 en 7 (haalbaar bij opwaarderen van 35°C naar 70°C). De afstemming van warmtevraag en warmte(pomp) aanbod is cruciaal

Absorptiewarmtepomp
Absorptiewarmtepompen gebruiken restwarmte met een hoge temperatuur om koeling te genereren. Deze systemen komen momenteel op de markt in Duitsland en Nederland in navolging van de in §2.3.1 genoemde conceptstudie. De benodigde warmte kan worden geleverd door WKK en door Geothermie. Een combinatie van WKK met Absorptiewarmtepompen staat momenteel sterk in de belangstelling (www.tribron.nl). In dit energieconcept wordt warmte gebruikt om koude te genereren en wordt toegepast in combinatie met ondergrondse opslag van water bij drie verschillende temperaturen.
In energieconcept 4 is gebruik gemaakt van de Absorptiewarmtepomp.

2.5.2. Warmteafgiftesystemen
De ervaringen bij OEO systemen geven duidelijk aan dat een van *de* succesbepalende factoren wordt gevormd door de mate waarin warmte kan worden onttrokken aan water. De bruikbaarheid van de verschillende warmtestromen valt of staat bij de betrouwbaarheid en vermogen van de bijpassende *warmteafgiftesystemen*. De energie-inhoud van het water bij de drie bovengenoemde temperaturen verschilt enorm. Water dat met een temperatuur van minimaal 60°C kan worden onttrokken aan de opslag kan worden gebruikt door gangbare warmte afgifte systemen. De retourtemperatuur ligt dan op 30°C tot 40°C. Het gebruik van afgiftesystemen voor **L**age **T**emperatuur maakt het mogelijk om restwarmtestromen te benutten bij temperaturen van minimaal 40°C (met een retourtemperatuur van om en nabij 25°C. Om met **LT** water hetzelfde vermogen te kunnen leveren moet twee tot drie keer

zoveel water worden verplaatst met als gevolg dat leidingcircuits meer ruimte innemen en aanzienlijk duurder zijn.

2.6. Dekkingsgraadverhogende technieken

Opslag van warmte en koude verbindt vraag en aanbod in de tijd. Opslag aan het aardoppervlak in buffertanks voorzien in korte termijn demping van vraag en aanbodsverschillen. Ondergrondse energieopslag is geschikt voor overbrugging van seizoenen.

2.6.1. Ondergrondse energieopslag LT

Door toepassing van warmtepompen heeft de “gekoppelde koude-warmte opslag” een grote ontwikkeling doorgemaakt. Het voordeel van opslag in de ondergrond (zeer hoog lange termijn rendement en zeer grote capaciteit) kan daardoor goed worden benut. Warmtepompen en opslag dekken altijd maar een deel van de totale energiebehoefte. De ondergrondse energiebalans van het systeem is maatgevend voor de inzet.
Koude opslag kan ter compensatie van warmte overschotten worden ingezet (warmte vernietiging) door zogenaamde recirculatiebronnen met naar verhouding zeer grote bronafstanden. Deze compenserende koelbronnen kunnen minder makkelijk met seizoensopslag worden gecombineerd omdat ze een doorlopende grondwaterstroming tot gevolg hebben tussen de beide bronnen. Koude compensatiebronnen kunnen worden ingepast in de periferie van het gebied. Vooralsnog wordt ervanuit gegaan dat energieopslag in PrimAviera geen koudecompensatie bronnen nodig heeft.

Loskoppeling van koudeopslag en warmteopslag (meerbrons energieconcepten) zorgt voor een toename van de ontwerpvrijheidsgraden. Daardoor kan debiet van koud water en warm water worden aangepast aan de vraag. De inzet van warmtepompen als grote energieverbruiker kan zodoende tot een minimum worden beperkt.
Door aparte opslag van “lucht gekoeld koud water” kan tevens beter en goedkoper worden voldaan aan de vergunningseisen aangaande de energiebalans in de ondergrond op projectniveau. Het nadeel van meerbrons energieconcepten is de toename van de investeringslasten door grote aantallen bronnen. Het bronontwerp kan bij meerbronsystemen echter wel specifiek worden afgestemd op de opslagtemperatuur, wat vooral van belang is voor beheersing van verstoppingsprocessen bij HT opslag.

2.6.2. Ondergrondse energieopslag HT

De waarde (bruikbaarheid, vermogen) van warmte neemt sterk toe met de temperatuur. Opslag moet daarom plaatsvinden bij een zo hoog mogelijke temperatuur. Voor opslag geldt daarnaast dat het rendement toeneemt met de schaal waarop opslag plaatsvindt. In het project PrimAviera zijn restwarmtestromen beschikbaar van 18-23°C, 35-50°C, 50-85°C. Hoge Temperatuur warmtepompen kunnen worden ingezet om restwarmtestroom met tientallen graden Celcius op te waarderen waardoor inzet van verbranding van aardgas kan worden beperkt. Opslag van warmte heeft bewezen een zeer hoog rendement na een half jaar, en afhankelijk van de geologische condities waarschijnlijk ook bij temperaturen tot 80°C.

Bij verschillende WKK energieconcepten ontstaat een grote opslagbehoefte van heet water. Warmte Kracht Koppeling genereert een warmtestroom ter grootte van ruwweg 60% van de verbrandingsenergie. Die warmtestroom wordt toegevoegd aan water van 30 tot 35°C wat leidt tot water van maximaal 85°C. Deze warmte kan door de producent zelf direct worden gebruikt of worden toegevoegd aan het ringnet. Deze energiestroom kan bovengronds (etmaal/weekendbuffers) maar ook ondergronds worden opgeslagen voor later gebruik.

Opslagcapaciteit (ontkoppeling van warmte en elektriciteits*levering*) leidt tot een toename van het aantal bedrijfsuren met een hoog energetisch rendement waardoor de dekkingsgraad van WKK systemen fors kan toenemen, of het opgestelde vermogen WKK per ha kan afnemen. Toepassing van LT afgiftesystemen en gescheiden warmte en koude opslag (3 of 4bron systemen) maakt het mogelijk om bronontwerp en materiaal af te stemmen op het temperatuurbereik om geochemische en werktuigbouwkundige risico's voor omgeving en bedrijfsvoering te beheersen. OEO bij hoge temperaturen is niet overal mogelijk en moet soms op grote diepte plaatsvinden om opdrijfverliezen te voorkomen en om vergund te kunnen worden.

2.7. Centrale voorzieningen

Centrale voorzieningen kunnen een groot verschil maken in de energetische prestaties op projectniveau. Een warmtenet zal moeten worden gerealiseerd voorafgaand aan vestiging van bedrijven. Centrale koeling en HT warmtepompen kunnen pas goed worden ontworpen als een goed inzicht bestaat in vraag en aanbod van restwarmte.

2.7.1. Warmtenet

De aanleg van een centraal transportnet voor laagwaardige warmte maakt het mogelijk om uitwisseling van tussen bedrijven mogelijk te maken. Het gecombineerde energetisch rendement van de energiemix in PrimAviera wordt uiteindelijk bepaald door de manier waarop de capaciteit van energieproductie en vraag op elkaar zijn afgestemd. Om laagwaardige warmte en koude te kunnen benutten moeten verschillen tussen het tijdstip van vraag en aanbod op een efficiënte manier worden overbrugd.

2.7.2. Centrale koeling

Koelsystemen worden ingezet om koude opslag te regenereren. Dat kan over het algemeen bij luchttemperaturen lager dan 10°C. Op de projectlocatie is dat gedurende 4872 uur per jaar, 56% van de tijd (KNMI frequentietabellen temperatuur Schiphol). Naast de buitenluchttemperatuur is ook de water-retourtemperatuur van belang voor het koelvermogen. De retourtemperatuur van bijvoorbeeld restwarmtestroom uit het Datacenter wordt bepaald door de warmtevraag en de warmtewisselingscapaciteit van de seriegeschakelde kas. Die is weer afhankelijk van de teelt en het weer. De werkelijke operationele vermogens en efficiency is daarom niet op voorhand exact te bepalen.
Voor droge koelinstallaties gelden andere vermogens en klimaat-drempelwaarden dan in het geval van natte koelsystemen. Die werken over het algemeen vanaf een natte boltemperatuur lager dan 7°C. De inzet van natte koelers is onwaarschijnlijk vanwege overlast en tekort aan zoet water. Ook zijn Hybrides mogelijk maar de inzet daarvan is geen onderdeel van deze MER.

3. BELEID EN REGELGEVING ONDERGRONDSE ENERGIEOPSLAG

Het beleid en de regelgeving die specifiek voor dit project van belang zijn worden hieronder gegeven. Van bijzonder belang is de provinciale regelgeving waarmee de criteria zijn vastgelegd waaraan de vergunningaanvraag zal worden getoetst. De criteria waarmee de afweging tussen alternatieven en varianten worden gewogen volgen ook direct uit de voor de Waterwetvergunning gangbare beoordelingscriteria.

3.1. Besluit en MER

Het MER wordt gemaakt ter ondersteuning van één besluit, namelijk het besluit een vergunning te verlenen krachtens de Waterwet. In beginsel betreft dit besluit uitsluitend de milieuaspecten die tot het beleidsterrein van de Waterwet behoren, dit wil zeggen aspecten in het belang het grondwaterbeheer en de waterhuishouding.
Artikel 7.35, lid 1 en 3, van de Wet milieubeheer bepaalt echter:

1. *Bij het nemen van een besluit houdt het bevoegd gezag rekening met alle gevolgen die de activiteit waarop het besluit betrekking heeft, voor het milieu kan hebben.*
2. *Het bevoegd gezag kan, indien terzake van een activiteit slechts één besluit is aangewezen, ongeacht de beperkingen die terzake in de wettelijke regeling waarop het besluit berust, zijn gesteld:*
    a. *naast de voorwaarden, voorschriften en beperkingen tot het opnemen waarvan het ingevolge die wettelijke regeling bevoegd is, in het besluit tevens alle andere voorwaarden, voorschriften en beperkingen opnemen, die nodig zijn ter bescherming van het milieu;*
    b. *een beslissing nemen, ertoe strekkende dat de activiteit niet wordt ondernomen, indien het ondernemen van die activiteit tot ontoelaatbare nadelige gevolgen voor het milieu kan leiden.*

Hiermee wordt de Waterwet-vergunning in feite gepromoveerd tot een integrale milieuvergunning. In de Waterwet-vergunning moeten dus zo nodig ook voorschriften worden gesteld voor bijvoorbeeld luchtverontreiniging, externe veiligheid, afvalbeheer en energiebeheer.
De initiatiefnemer gaat ervan uit dat milieuaspecten die algemeen voorkomen en waarvoor reeds algemene regels en andere regelingen bestaan (de zogenoemde triviale aspecten) niet in het MER hoeven te worden uitgewerkt.

3.2. Rijksbeleid

Vergunningen voor de Waterwet worden uitgegeven en gehandhaafd door de provincies. Bij de vergunningverlening in het kader van de Waterwet door de Provincie wordt tevens getoetst op de wetgeving in het kader van de Natuurbeschermingswet en de Wet Milieubeheer. Deze toetsing zal worden uitgevoerd aan de hand van hetgeen in de MER wordt beschreven. Aangezien de voorgenomen activiteit getuigt van een zeer hoog ambitieniveau met betrekking tot gebruik van laagwaardige energie ten behoeve van klimaatvoorziening, waarmee wordt aangestuurd op een zeer grote reductie van het gebruik van aardgas, worden concessies gevraagd ten aanzien van enkele milieu-aspecten die verder gaan dan hetgeen tot nog toe in vergunningaanvragen voor de waterwet zijn verschenen. Deze hebben betrekking op het beleidsterrein van de Provincie (temperatuur van grondwater) en Waterschap (opbarstingsrisicobeheersing en waterkwaliteit).
Bij het vaststellen van provinciale beleidsnormen voor de Waterwet is door het ministerie van VROM en de Technische Commissie Bodembescherming een advies uitgebracht over kwantiteit en kwaliteitscriteria voor grondwaterverplaatsingen door bodemenergie installaties:

Adviescommissie Technische Commissie Bodembescherming

In het kader van kabinetsvragen die zijn gesteld over de beperkingen die door de Waterwet worden opgelegd aan het gebruik van grondwater voor opslag van thermische energie is door de Technische Commissie Bodembescherming een notitie gepubliceerd waarin wordt benadrukt dat :

1. het van groot belang is dat wordt vastgehouden aan de beperkingen ten aanzien van zowel de maximale injectietemperaturen als
2. de balans van de hoeveelheden opgeslagen energie.
3. de intrinsieke waarde van oud grondwater is van dien aard dat zout grondwater waarvoor momenteel geen potentieel toekomstig gebruik kan worden aangewezen niet beschikbaar komt voor ruimere begrenzingen ten aanzien van injectietemperaturen of energiebalans.

3.3. Provinciaal beleid

De provinciale Grondwaterverordening bepaalt dat bij een onttrekking van meer dan 50.000 m^3/jaar een Waterwetvergunning vereist is.
Er is een Provinciaal Waterplan 2010-2015 gereed. Hierin staat het volgende:

> De Minister van VROM stelt een landelijke Taskforce Warmte-koudeopslag in om het beleid op dit gebied verder vorm te geven en verantwoorde toepassing te bevorderen. De bodem in Noord-Holland is op de meeste plaatsen geschikt voor het toepassen van warmte-koude opslag (zie bijlage 9 van het provinciaal waterplan: kaart *"Warmte Koude Opslag"*).
> Dergelijke open systemen zijn in de regel vergunningplichtig in het kader van de Waterwet. In het Waterplan komen voorwaarden waaraan deze systemen moeten voldoen en waar ze geplaatst mogen worden.

Het project moet passen binnen het Streekplan Noord-Holland-Zuid en de Provinciale Milieuverordening.

Bodemvisie Noord-Holland, 29 mei 2009

> Missie 4: Vergroten van het gebruik van de bodem als energieleverancier door toepassing van bodemenergiesystemen. Noord Holland streeft naar een aandeel van 20% in 2020 van het duurzame aandeel van het totale energieverbruik.
>
> Missie 5: Verbetering regulerende bodemfunctie in landelijk gebied. De regulerende functie van bodem voor natuurlijke processen en kringlopen, natuurlijke reiniging en buffering van temperatuur, nutriënten en water. Samenhang bodem en grondwaterbeheer is sterk en er wordt verwezen naar waterkwaliteit en kwantiteit beheer zoals is vastgelegd in het Waterplan 2010-2015. Het Waterplan bevat belangrijke acties op het gebied van verzilting, verdroging en verontreiniging van grondwater met bestrijdingsmiddelen.

Concreet wordt door de provincie gebruik gemaakt van de kennis en standpunten van de Technische Commissie Bodembescherming. Vooral het belang van de energiebalans[4] in de ondergrond wordt onderstreept in de beleidsstukken van de Provincie Noord-Holland.
Het aanhouden van een sluitende energiebalans in de ondergrond is in lijn met het doel van de exploitant van ondergrondse energieopslaginstallatie, omdat bij een systematisch overschot van warmte of koude na enige tijd de warme bron koud water zou onttrekken of andersom, met als gevolg een zeer sterk rendementverlies.

[4] Onbalans ontstaat als het OEO-deel van de totale energievraag van winter en zomer niet overeenkomt. Die verschillen ontstaan als gevolg van klimaatverschillen *tussen opeenvolgende jaren*, maar vooral ook als gevolg van plantfysiologische eisen die gesteld worden door de verschillende teelten, in combinatie met onregelmatige vraag naar glastuinbouwproducten die samenhangen met feestdagen en vakantieperioden.

De vergunningseisen in het kader van de Waterwet zijn over het algemeen zo geformuleerd dat een bepaalde marge wordt toegestaan in de metingen en in de tijd zodat kleine afwijkingen niet direct leiden tot handhaving. Daarbij wordt door de provincie vastgehouden aan de volgende maximale afwijkingen:

- Binnen een periode van 5 jaar mag maximaal 10% verschil bestaan tussen de hoeveelheden opgeslagen koude en warmte, en
- Binnen een periode van 10 jaar mag dat verschil niet groter zijn dan 5%.

Toepassing van Warmtepompen in combinatie met opslag van een gelijke hoeveelheid koude als warmte dekt vaak maar een beperkt deel van de koude of de warmtevraag. De loskoppeling van opslag van warmte en koude maakt het mogelijk om op projectniveau maatwerk te leveren in zowel dekkingsgraad als energiebalans. Het gevolg is dat de noodzaak tot vernietiging van laagwaardige restwarmte tot een minimum kan worden beperkt. Daartegenover staat een toename van de complexiteit van de energiestromen en daarmee ook een toename van de inspanningen mbt boekhouding van opslag en verlies binnen het projectgebied. De parapluvergunning zal daarom hiervoor voorschriften moeten bevatten gericht op handhaafbaarheid.

3.4. Gemeentelijk beleid

Het project moet passen binnen het bestemmingsplan. Dit wordt geregeld binnen het kader van het gehele PrimAviera-project. In het kader van de ontwikkeling van structuurvisie en bestemmingsplannen voor de reconstructiegebieden en de nieuw te ontwikkelen locaties is de MER voor de vergunningaanvraag voor ondergrondse energie opslag van belang vanwege de ruimtelijke claims die gepaard gaan met de inrichting van puttenvelden.

De ordeningsprincipes die worden aangehouden bij de inrichting van de twee inrichtingsvarianten “hydrologisch optimaal” en “energetisch optimaal” zijn beschreven in §5.2 en §5.3. In deze MER zijn de exacte bronlocaties van ondergeschikt belang en het doel van de vaststelling van bronlocaties zoals die in de diverse berekeningen zijn toegepast vormen geen basis voor gedetailleerde opname in bestemmingsplan. De gedetailleerde uitwerkingen vormen min of meer synthetische realisaties uit de oneindig grote verzameling van potentiële bronconfiguraties die mogelijk zijn binnen de twee eerder geschreven ordeningsprincipes. Deze worden uitgebreid beschreven in de betreffende hoofdstukken 5 (Beschrijving van het onderzoek) en 6 (milieueffecten).

3.5. Waterschap

Hoogheemraadschap van Rijnland heeft in de Keur, Waterbeheersplan en Peilbesluiten beleidsdoelen, voorwaarden en eisen vastgelegd die gevolgen hebben voor onder andere de verticale stabiliteit van de bodem en verzilting van grond en oppervlaktewater. De toepassing van OEO op grote schaal heeft gevolgen voor kwaliteit en kwantiteit tijdens constructie, gebruik, onderhoud en zelfs na beëindiging van het gebruik. Rekening moet worden gehouden met :

1. lozing van zout spuiwater tijdens ontwikkelen van bronnen,
2. lozing van zout spuiwater tijdens halfjaarlijkse regeneratie,
3. maaiveldzakking als gevolg van grootschalige onttrekkingen,
4. verandering van de toestand en samenstelling van grondwater door menging van water met verschillende zoutgehaltes,
5. verandering van de toestand en samenstelling van grondwater door verplaatsing van thermische energie in de ondergrond.

4. BESTAANDE MILIEUTOESTAND EN AUTONOME ONTWIKKELING

De milieueffecten worden beschreven ten opzichte van de huidige situatie. Deze is voor een groot deel goed bekend voor de Haarlemmermeer en de omliggende gebieden. Uit de beschikbare literatuur wordt hieronder een beschrijving gegeven van de kwaliteit en kwantiteit van bodem en water aan de hand van vijf paragrafen.

1. de geohydrologische toestand;
2. de kwaliteit van grondwater;
3. de bodemkwaliteit;
4. de landgebruiksfuncties en historische waarden die grondwaterstand gevoelig zijn;
5. de gevoeligheid van de bodem voor mineralisatie en zetting.

De milieutoestand betreffende andere milieuaspecten, zoals luchtkwaliteit, externe veiligheidsrisico, geluidniveau, flora en fauna en cultureel erfgoed zullen niet worden beschreven, omdat binnen het modelgebied afgezien van de aquatisch-ecologische toestand van oppervlaktewater geen kwetsbare waarden voorkomen.

Bij de energetische optimalisatie zal het gehele energiesysteem in beschouwing worden genomen; ook extra bouwkundige en/of installatietechnische maatregelen kunnen daarvoor nodig zijn.

Het MER zal inzicht verschaffen in de positieve energetische effecten van het energiesysteem met opslag in de bodem in termen van energiebesparing en systeemprestaties.

De milieuaspecten van de aanlegfase spelen een ondergeschikte rol en zullen in het MER niet worden uitgewerkt. Het gaat hier om de bij ieder bouw- en infraproject gebruikelijke zaken als afval- en afvalwaterbeheer en bouwlawaai. Deze aspecten zijn hoofdzakelijk verbonden met de ontwikkeling van het gebied als geheel en niet specifiek toe te schrijven aan OEO.

4.1. Geologie en geohydrologie

4.1.1. Gegevensbronnen

Er is gebruik gemaakt van de volgende informatiebronnen en eerdere studies naar de ondergrond van het gebied:

- Grondwaterkaart Zandvoort- Amsterdam (1979)
- REGIS II, Landelijk Geohydrologisch model, Hydrogelogisch model
- Hydrologie en waterkwaliteit van midden west Nederland (ICW 1976)
- Gebiedsdocument Haarlemmermeer (Hoogheemraadschap Rijnland 2007)
- Concept waterstructuurvisie Haarlemmermeerpolder (Hoogheemraadschap Rijnland 2009)
- Bepaling toekomstige verzilting van het grondwater in Zuid-Holland TNO rapportage NITG 04-189-04, (2004).
- Verkennende studie klimaatverandering en verzilting grondwater in Zuid-Holland, TNO rapportage 2008-U-R0322/A

De meest bekende algemeen toegankelijke bronnen zijn de Grondwaterkaart Zandvoort-Amsterdam (Dienst Grondwaterverkenning, 1979) en daarnaast het online beschikbare geohydrologische ondergrond model REGISII (TNO). Beide zijn gebaseerd op boorgegevens. Op basis van deze informatie is de verdeling van zand en kleilagen, met

diepteverloop en variabiliteit van hydraulische eigenschappen in de ondergrond opgenomen in het grondwaterstromingsmodel.

In de jaren 1967 -1976 is een uitgebreid onderzoek gedaan door het instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) wat heeft geleidt tot de publicatie over de hydrologie en waterkwaliteit van midden west Nederland (Van den Berg et al., 1976). Daarbij zijn kaarten gepubliceerd met kwantitatieve informatie over hydrologische toestand en processen als kwel en verdeling van chloride in de ondergrond (Bijlage B4.2B).

Van de boringen in het projectgebied is de belangrijkste bekend onder nummer B31A0121 (BijlageH4.1B) die vanwege zijn boordiepte en de ligging ter hoogte van het midden van het projectgebied en direct naast de haarlemmermeerdijk een goede schatting mogelijk maakt van de omstandigheden in het projectgebied.

Grondwaterstroming in het gebied wordt *gereguleerd* door de hydraulische eigenschappen van de sedimenten, viscositeit en dichtheid van water met daarin opgeloste stoffen. Grondwaterstroming wordt *gedreven* door verschillen in oppervlaktewaterpeil en dichtheid van grondwater. Hieronder wordt eerst de geologie beschreven (toestand) en daarna het hydrologische krachtenveld en de processen die daarvan het gevolg zijn.

4.1.2. Geologie

Het projectgebied ligt op een bijzondere plaats tussen het strandwallenlandschap en het veenweide / plassengebied. In figuur 4.2 is de Haarlemmermeerpolder weergegeven als laagte tussen de Westeinder en de hogere kustzone. De geologie van het projectgebied is volledig bepaald door afzettingen uit het Kwartair (pleistoceen en Holoceen). In Bijlage 1.1 staat in de overzichtskaart een drietal lijnen weergegeven waarlangs doorsneden zijn gemaakt van de geohydrologisch relevante sedimentpakketten. Deze geologische en geo-hydrologische dwarsdoorsneden staan weergegeven in Bijlage H1.2 en 1.3.

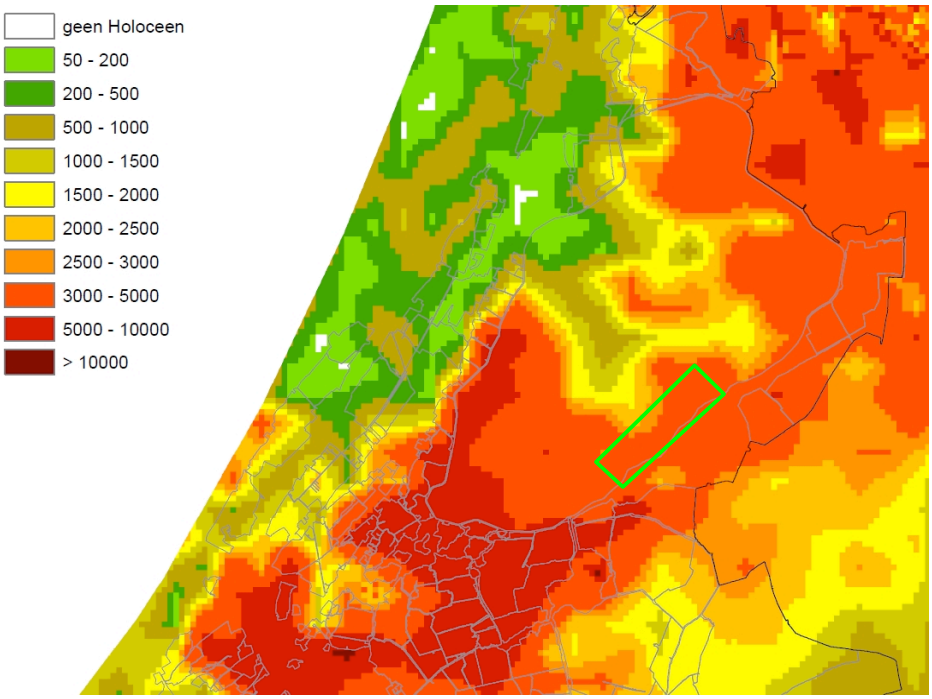
De geohydrologische basis wordt gevormd door een dik doorlopend kleipakket uit het tertiair die zeer waarschijnlijk een grote hydraulische weerstand biedt (onderste blauwe vlak in figuur 4.2). Daarbovenop ligt de onderste van de relevante formaties Maassluis. Deze bereikt in het studiegebied een diepte van 230 tot 220 meter in de noordelijke hoek. In de Zuidoosthoek van de Haarlemmermeer ligt het op een diepte van ongeveer NAP-190 m. Deze bestaat uit fijne tot matig grove grijze zanden. Er komen echter ook veelvuldig zandige slibrijke laagcomplexen voor en kleilenzen.

De overgang tussen Maassluis en het daarboven gelegen pakket rivierafzettingen is in figuur 4.2 weergegeven de onderste grijze gewelde laag. In werkelijkheid is deze overgang niet altijd duidelijk en bij afwezigheid van de kleilagen van het Tegelen hoort de afzetting van Maassluis tot het derde watervoerende pakket. De rivierafzettingen van Peize-Waalre (afgezet door Rijn en Eridanos) bovenop Maassluis beginnen op een diepte van NAP –160 tot NAP –180 m. Ze zijn onderin fijn en bevatten ook kleilagen, maar ondieper bestaan ze uit matig grof tot zeer grof. Belangrijk is dat de fijne zanden en kleilagen onderin deze afzettingen geen volledige begrenzing vormen, en dat de bovenste laag uit dat pakket, het zogenaamde Waalre klei1, over het gehele gebied voorkomt. Bovenop deze afzettingen op een diepte tussen NPA -85m en NAP -62m liggen de formatie van Sterksel.

In figuur 4.2 is de Waalre klei afzetting (scheidende laag 2 in bijlage H1-3C) weergegeven als blauwgrijze tussenlaag. Daarbovenop ligt plaatselijk een 7 tot 10 meter dikke grove

zandlaag van Sterksel zand2. Daarbovenop ligt plaatselijk Sterksel klei1. Deze spelen een belangrijke rol in een van de MER alternatieven.
In het Saalien is ten gevolg van de stuwing door landijs een reeks stuwwallen en diepe glaciale bekkens gevormd die later met meters dikke kleilagen zijn gevuld. Die zorgen voor een onregelmatige dikte en grote verschillen in doorlatendheid van de onderzijde van het eerste watervoerende pakket. Op dieptes tussen NAP-30 tot -60m zijn de afzettingen geplooid en onregelmatig van dikte. De zandige eolische afzettingen van Kreftenheye en Boxtel hebben de bovenzijde van de pleistocene afzettingen relatief vlak met een lichte helling naar het westen afgedekt.

De daar bovenopgelegen deklaagafzettingen (klei en Veen uit het Holoceen en duinzand aan de westzijde) vertonen een sterk verloop tussen de westzijde van de Haarlemmermeer en de oostelijke zijde zoals te zien valt in figuur 6.1.

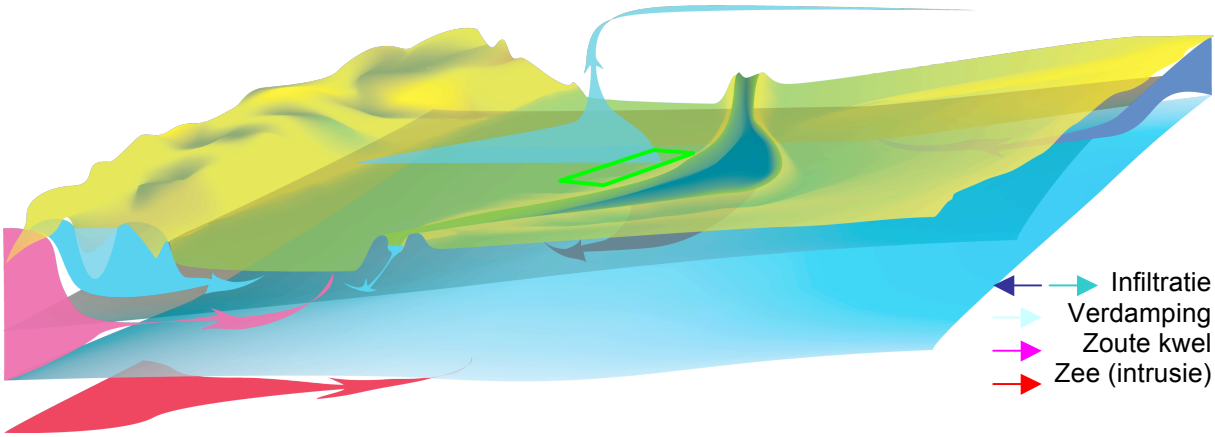


Figuur 4.1, Deklaagweerstand [dagen] in de wijde omgeving van het projectgebied (groene rechthoek). De deklaagweerstand aan de westelijke zijde van de Haarlemmermeer is onregelmatiger dan die aan de oostzijde. Bij de Cruquius reikt de strandwal in de polder waardoor duinzand aan het oppervlak komt. Daar ligt het maaiveld ook hoger dan in de rest van de polder.

De laagopbouw is in REGISII zeer gedetailleerd uitgewerkt op een wijze die het mogelijk maakt om voor het interessegebied lagen die onderdeel uitmaken van eenzelfde textuurklasse samen te voegen of weg te laten. Daarbij is de indeling in watervoerende pakketten en weertandbiedende lagen uitgewerkt in het Landelijk Geohydrologisch model. In het projectgebied PrimAviera is de laagopbouw samengevat in 8 pakketten met maximaal 15 modellagen. In bijlage de volgende paragrafen wordt daarop verder ingegaan.

4.1.3. Geohydrologie

De grondwaterstroming in het studiegebied wordt schematisch verdeeld over drie zandige sedimentpakketen. Alle scheidende lagen daartussen hebben een beperkte weerstand. Het water dat zich in die sedimenten bevindt verschilt vanwege verschillen in herkomstgebieden qua samenstelling (Stuyfzand,1993).



Figuur 4.2, Schematische weergave van de geografie en laagopbouw en grondwaterstroming in de omgeving van het projectgebied.

In figuur 4.2 is het gebied weergegeven als stapeling drie watervoerende pakketten. De deklaag is groen, de eerste scheidende laag Waalre klei 1 is grijs (niet overal aanwezig) en daaronder de overal aanwezige Sterksel klei1 als lichtblauw gewelfd oppervlak weergegeven. Voorafgaand aan de start van de inpoldering in 1852 lagen de maaiveldhoogtes en grondwaterstanden iets boven het zeeniveau. Zoet regenwater dat gedurende het holoceen is ingevangen in de bovengrond drijft op zout water was vrijwel in hydrostatisch evenwicht met het zoute zeewater buitengaats. Daarnaast is als gevolg van Noordzee transgressies gedurende het Holoceen een grote variatie ontstaan in de samenstelling van grondwater.

Nadat dijken werden aangelegd en polders werden drooggemalen veranderden de gradiënten (drukverschillen) in de ondergrondse ruimte en dus ook de snelheid en richting van de grondwaterstroming. In figuur 4.2 staat weergegeven hoe door oppervlaktewaterafvoer en verdamping (lichtblauw) water vanuit de hele regio naar de Haarlemmermeer wordt getrokken. Tegelijkertijd is ook de infiltratie aan de binnenduinrand verminderd door maaiveldverlagingen en peilbeheer. Deze “nieuwe” grondwaterstroming heeft het holocene grondwaterbeeld van zoet mineralenarm regenwater en estuariuminvloeden op zout grondwater veranderd met als gevolg dat vooral de horizontale verschillen in chloridegehalte sterk zijn toegenomen. In het projectgebied is vooral de infiltratie vanuit de boezem relevant vanwege de verdringing van zout water door zoet water onder de gebieden met hoog peil (plassen). Vanwege de sterke gradiënten en verschillen in zandgrofheid in de ondergrond bevinden verspreid over het gehele gebied verschillende zoutwatertongen naast zoetwaterbellen.

De maaiveldhoogte van de Haarlemmermeer ligt tussen NAP -4,5 m en NAP -6 m. Tussen de Haarlemmermeer en het Gooi zijn nog een aantal kleine stukjes veenland aanwezig met een veel kleinere drooglegging en een oppervlaktewaterpeil tussen NAP -0,5 m en NAP -1 m. Deze veenlanden vormen samen met de boezemwateren een zeer opvallend hydrologisch fenomeen in de omgeving vanwege hun uitgesproken hoge ligging ten opzichte

van de poldergebieden in de wijde omgeving. Het peilverschil loopt bij Schiphol Oost op tot ruim 6 meter over een afstand van enkele honderden meters.

Het oppervlaktewaterpeil in de Haarlemmermeer wordt gehandhaafd op een drooglegging tussen 1 en 2 meter onder maaiveld. Het water stroom toe over alle randen van de polder, maar vooral vanuit de kustzone ten westen van de Haarlemmermeer en in mindere mate vanuit de Westeinder plassen. Van de drie onderscheiden watervoerende pakketten wordt het ondiepste gevoed vanuit de boezem. Het water in de diepere watervoerende pakketten wordt omhooggestuwd door het zeewaterpeil en in beperkte mate door stuwing uit het Gooi. Ook infiltreert water vanuit het IJmeer en het Markermeer maar die invloed is beperkt tot de Noordzijde van de Haarlemmermeer.

De grondwaterstromingsrichting is normaal gesproken vrijwel horizontaal in de goed doorlatende lagen en vrijwel vertikaal in de minder goed doorlatende lagen. Omdat in dit gebied ook de scheidende lagen enigszins waterdoorlatend zijn en omdat ze niet geheel horizontaal liggen en niet overal aanwezig, is de grondwaterstroming in het gehele gebied horizontaal gericht naar de polder op de randen van de Haarlemmermeer, en buigt die geleidelijk aan omhoog naar Hoofddorp. De hoofdwatergang in het midden van de Haarlemmermeer vormt daarmee het verdwijnpunt van neerslagoverschot en kwel. Het neerslag overschot wordt samen met de kwelstroom via de boezemwateren afgevoerd.

4.1.4. Bestaande grondwateronttrekkingen

Van de bestaande glastuinbouwbedrijven in het gebied maken er twee reeds gebruik van Ondergrondse Energie opslagsystemen, beide in het tweede watervoerende pakket. De ruimtelijke afbakening van het thermisch invloedsgebied van die systemen is vastgelegd in de daarbij behorende vergunningen. Deze zullen in de parapluvergunning moeten worden opgenomen als niet vrij beschikbare ruimte. In de omgeving buiten het projectgebied bevinden zich verschillende grote en kleine grondwaterwinningen waarvan een groot deel wordt gebruikt voor Ondergrondse Energieopslag. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van zowel het tweede als derde watervoerende pakket. De grondwateronttrekkingen voor OEO die zich in het tweede of derde watervoerende pakket bevinden zijn in Bijlage 4.1.1 weergegeven met daarbij vermeld het vergunde maximale uurdebiet.

4.1.5. Modelberekening van de huidige geohydrologische situatie.

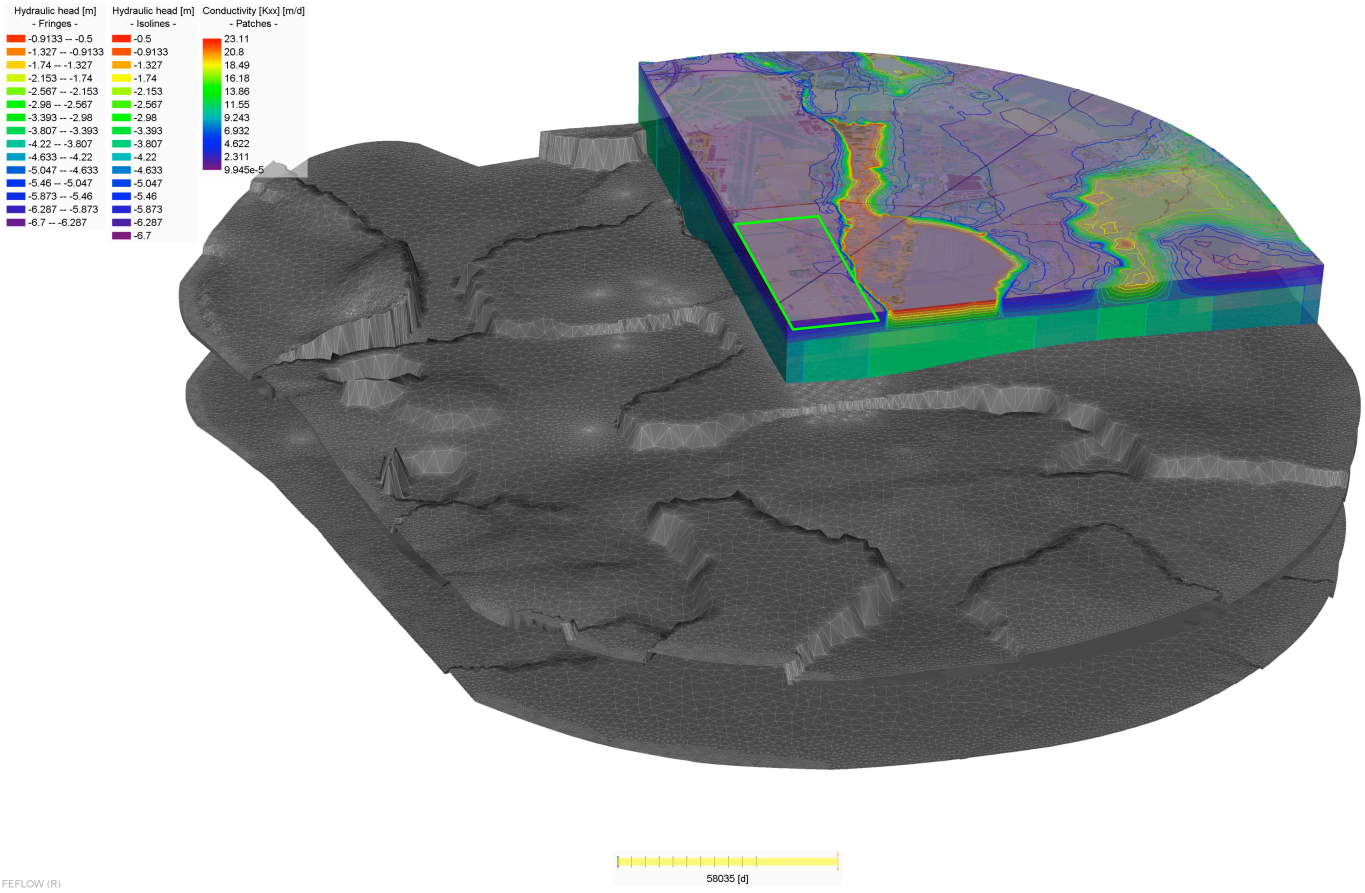
Ten behoeve van de berekening van effecten van grondwateronttrekkingen is een grondwaterstromingsmodel geconstrueerd. Daarbij is gebruik gemaakt van het softwarepakket voor grondwaterstroming en stoftransport FEFLOW 5.4 en 6.0 (WASY, 2009). Berekening van grondwaterstroming vindt daarin plaats op basis van druk waardoor het mogelijk is om dichtheidsverschillen en viscositeit mee te nemen. De gelaagde ondergrond is in vereenvoudigde vorm als een stapel “modellagen” weergegeven in figuur 4.3. en tabel 4.2. De berekeningen vormen een belangrijk onderdeel van de MER. De *precisie* van de resultaten suggereert onterecht een grote *nauwkeurigheid*. De gecombineerde modelfouten in de beschrijving van de huidige geohydrologische situatie kunnen oplopen tot 200% positief en negatief, afhankelijk van de beoordelingsmethode en locatie. Het model reproduceert de toestand, langjarige transportprocessen, grondwaterstroming en dynamiek in het interessegebied aanzienlijk beter dan aan de modelrand.

Vooruitlopend op de effectberekeningen: daar waar het model nauwkeurige resultaten moet leveren om de korte termijn effecten te bepalen, namelijk “verschilberekeningen” is de

nauwkeurigheid aanzienlijk hoger, in de ordegrootte van 20% positief en negatief. Daar waar effecten van groot belang zijn zoals zettingen is de onzekerheidstructuur van geheel andere aard omdat daarbij naast modelberekeningen andere methoden worden ingezet.

Modelrand

De modelrand moet op een voldoende grote afstand liggen van het interessegebied om invloed van invoerfouten aan de modelrand op de modelresultaten uit te sluiten. Vanwege de variabiliteit van doorlatendheid en laagdiktes van de injectiepakketten moet de modelrand tussen 5.1 en 13.5 km afstand worden geplaatst. Er bestaan verschillende methoden om te komen tot een minimale afstand tussen modelrand en interessegebied (Maas en Hemker, stromingen3, 1997). De modelrand is gekozen op een minimale afstand van 9 km vanaf het projectgebied. Daarmee is krap voldaan aan de 3x spreidingslengte eisen met als mogelijk gevolg dat de modelrand-stijghoogtes onterecht als onveranderlijk zijn aangehouden. In Figuur 4.3 staat een weergave van het modelgebied met daarin het oppervlak van de belangrijkste scheidende lagen en een impressie van de berekende stijghoogte in de Noord-West sector.



Figuur 4.3, Schuin-bovenaanzicht van hoogte van de slecht doorlatende lagen in het grondwaterstromingsmodel voor 2010". PrimAviera bevindt zich in de lichtgroene contour in het midden, met daar direct naast de Westeinder plas.

De grijze gewelfde oppervlakken in figuur 4.3 zijn de hoogtebegrenzingen van slecht doorlatende lagen 1a, 1b en 2. De diepte van de onderste grijze laag geeft die van de bovenzijde van Maassluis tussen 150 en 190 m diepte. De Geohydrologische basis is (niet

zichtbaar) vastgelegd op NAP-300m. De gekleurde Noord-Westelijke hoek geeft de stijghoogteverdeling onder invloed van peilverschillen en doorlatendheid van het eerste watervoerende pakket en deklaag. De vertikale as is een factor 20 uitgerekt. De horizontale afmetingen zijn ruwweg 23km x 27km.

De verhouding van 1:66 (doorsnede:dikte) van het model geeft aan in welke mate de grondwaterstroming beperkt is door de ondergrond. De gezamenlijke doorstroomde laagdikte van de sedimentpakketten (200 tot 300m) en de horizontale afstand tussen de boezems van de polder (9400 m) ter hoogte van Rijsenhout geeft een beeld van het dunne schijfje grondwater waarin alle stroming plaatsvindt. Voor de berekening van effecten van de drie alternatieven zijn drie modellen gebruikt die gebruik maken van dezelfde modelrand, maaiveldhoogtes en hoogte van de geohydrologische basis.

Tabel 4.1, Modelkenmerken.

Kenmerk	Hydrologisch optimaal (140 bronnen)	Thermisch optimaal (128 bronnen)	HT in WVP2 (128 bronnen)
West-oost maximum [m]	23632	23632	23632
Noord-Zuid maximum [m]	27111	27111	27111
Aantal modellagen [#]	13	13	15
Aantal elementen / laag [#]	304788	259110	259110
Aantal knooppunten [#]	107668	130214	130214
Minimale knooppuntafstand	30cm	30cm	30cm
Maximale knooppuntafstand	210m	200m	200m

Voor de berekening van effecten van grote aantallen grondwateronttrekkingen die langjarige afwisselende onttrekking en injectie is een zeer sterke verdichting van het numerieke knooppunten netwerk noodzakelijk. De veranderingen vinden plaats in de ondergrond en het model is daarom ingericht op verschilberekeningen in het diepere watervoerende pakket. Het model “voor 2010” is berekend door gebruik te maken van vaste stijghoogte (winterpeil).

In REGISII zijn voor het interessegebied zowel isohypsenbeelden beschikbaar voor Noord-Holland als voor Zuid-Holland. Voor dit modelgebied zijn de isohypsenbeelden van Zuid-Holland gebruikt vanwege de continuïteit over het gehele modelgebied. De isohypsen zijn gebruikt als randvoorwaarde na correctie voor zoutmassa ten behoeve van het model voor berekenen van initiële grondwaterstroming. In bijlage H4.3.B staan de zoetwaterisohypsen van het eerste en derde watervoerende pakket geprojecteerd als contourlijnen in het zoutwaterstijghoogteveld (ingevulde / vlakdekkende contouren) van de modellagen die ermee overeenkomen.

Stijghoogteverschillen

Berekende en gemeten stijghoogte zijn komen ruwweg overeen qua gradiënt en locatie van kwel en infiltratiezones. De berekende waarden van de isohypsen zijn bepaald bij stationaire omstandigheden onder winterpeilbeheer.

De markante kenmerken van de Haarlemmermeer tussen kustzone en plassengebied zijn duidelijk herkenbaar. De scherpe stijghoogtegradiënten aan de westzijde van het modelgebied komen duidelijk overeen qua vorm en verhang. De berekende stijghoogtebeelden laten meerdetaillering zien in de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket. De verschillen spitsen zich toe op twee deelgebieden die in bijlage H4.3 B zijn gemarkeerd met oranje en paarse contouren.

Stijghoogte onder het plassengebied

De peilvakken met hoog peil en de boezem wateren in het plassengebied ten oosten van de Haarlemmermeer laten een duidelijke verhoging zien van de druk in het eerste maar ook in het derde watervoerende pakket. Dit wijkt af van de literatuurwaarden omdat deze infiltratiezones te klein om in het regionale beeld te verschijnen. De isohypsen in dat modelgebied laten echter niet alleen meer detail zien maar het lijkt of over het algemeen de stijghoogte in dat deelgebied hoger is dan de literatuurwaarde. Dat kan verklaard worden door een te lage c-waarde van de deklaag in het model dan de werkelijke c-waarde, en door het verschil tussen zoetwaterstijghoogte en zoutwaterstijghoogte. De deklaagweerstand in het model is gebaseerd op een dataset die het resultaat is van jarenlang uitgebreid onderzoek uitgevoerd door Hoogheemraadschap Rjjnland. De verschillen tussen zoetwaterstijghoogte en zoutwaterstijghoogte zijn om verschillende reden waarschijnlijk de veroorzaker van deze afwijking. De keuze voor het accepteren van deze afwijkingen is acceptabel omdat ze een passen in een worst case benadering voor stijghoogte effecten. Dit wordt verder onderbouwd in Hoofdstuk 7.

Kwelzones in de Haarlemmermeer
De modelberekeningen geven aan dat het stijghoogte dieptepunt (en daarmee het kwelcentrum) enkele kilometers zuidelijker zou liggen in de polder (paarse contour) dan wat blijkt uit de literatuurgegevens. De modelberekeningen zijn gebaseerd op de doorlatendheid en hoogteverloop van sedimentpakketten gebaseerd op boorgegevens. Daarmee is het berekende isohypsenbeeld mogelijk een betere beschrijving van de werkelijke stijghoogte dan het regionale isohypsenbeeld.

De isohypsen vormen een momentopname terwijl ze in werkelijkheid verschuiven onder invloed van het jaargetijde via de ruimtelijke variatie van grondwaterstand in de tijd. Samen met de onzekerheid die het gevolg is van de interpolatie tussen puntwaarnemingen kent de isohypsenkaart een aanzienlijke en moeilijk kwantificeerbare onzekerheid. Omdat deze isohypsen tot stand zijn gekomen met gebruik making van hydraulische parameterwaarden over de ondergrond zijn deze stijghoogtegegevens toch gebruikt als vaste stijghoogte randvoorwaarden. De stijghoogte in de verschillende watervoerende pakketten zijn ook berekend en gerapporteerd in de Rapporten van ICW (1976) en TNO (2004 en 2008) over de regionale hydrologie en de klimaateffecten in West Nederland. De berekende stijghoogte in Bijlage H4.3B komen ruwweg overeen met de berekende stijghoogte in figuur 14 van TNO NITG 04-190-B, rekening houdend met verschillende zoutmassa in het grondwater. Die figuren hebben echter een legenda met een veel groter stijghoogtebereik en bijbehorende stapgroottes die een goede vergelijking moeilijk maken.

Aanpassing van de berekende stijghoogte is alleen mogelijk door aanpassingen aan de hydraulische eigenschappen van de ondergrond. De exacte ligging van het kwelcentrum in de Haarlemmermeer is niet van voldoende groot belang voor de berekeningen om dergelijke aanpassingen te rechtvaardigen.

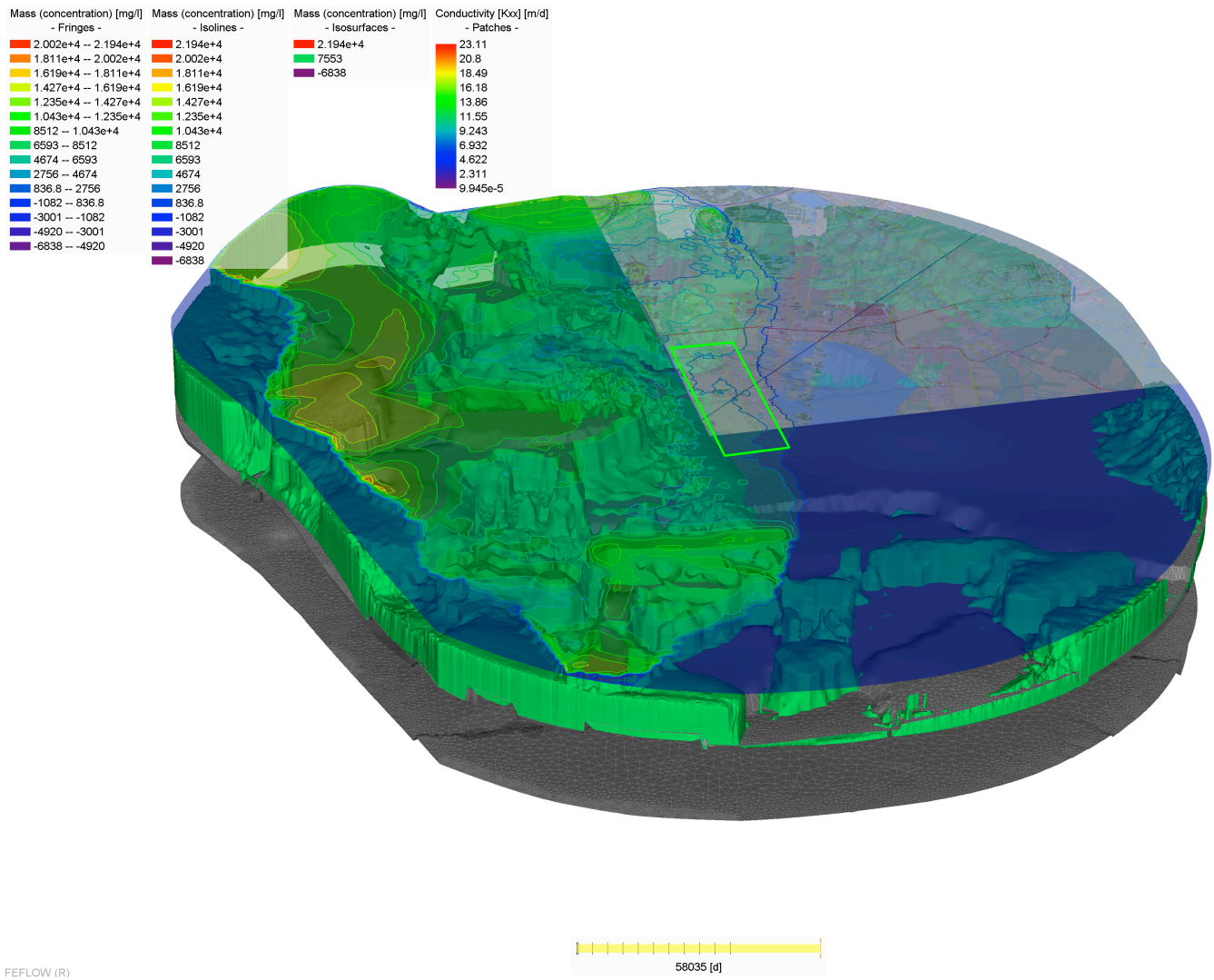
Kwel en infiltratie
De grote verschillen in polder oppervlaktewaterpeil en grondwaterstanden aan de westflank van de Haarlemmermeer zorgen in combinatie met het vrijwel ontbreken van verticale weerstand voor een zeer scherp ruimtelijk contrast in kwel en infiltratie. De kwel over de deklaag (tussen het eerste watervoerende pakket en het oppervlakkige grondwater) is het sterkst (tot 7 mm/d) ten Noord-Westen van Hoofddorp maar in het grootste deel van de polder ligt het tussen 0.2mm/d en 1.5 mm/d. De gebieden op boezempeil infiltreren rond 1mm/d (waaronder de Westeinder plas). Aan de westflank ter hoogte van het eerder genoemde stroomgeulgebied daar is de kwel 3-7mm/d. De kwel over de tweede scheidende laag is veel homogener maar ook daar laat het model zien dat de verticale snelheden plaatselijk onrealistisch grote verschillen laat zien. Deze beïnvloeden het lokale beeld maar liggen ver buiten het interessegebied. Een gevolg van het accepteren van deze gegevens en modelinstellingen is het ontstaan van kleine gebieden met extreem hoge of lage concentraties. Dat is vooral zichtbaar in de gebieden met sterke gradiënten in stijghoogte en grote concentratieverschillen in de diepte.

4.2. Grondwaterkwaliteit nu en in de toekomst

4.2.1. Chloridegehalte van het grondwater
Om het grondwaterstromingsmodel te testen en te stabiliseren is voorafgaand aan de effectberekeningen de huidige verspreiding van Chloride in de ondergrond berekend uitgaande van een zeer sterk vereenvoudigde beginsituatie. De verticale stroomsnelheden die in 4.1 beschreven zijn zorgen bij berekening van stroming onder invloed van dichtheid en viscositeitsverschillen voor numerieke oscillaties. Om deze te onderdrukken is lokaal het netwerk enkele malen herzien en verdicht. Ondanks deze netwerkverdichting laat de lokaal optredende vertikale grondwaterstroming langs sommige delen van de polderrand nog onrealistische hoge en lage concentraties zien. Deze zijn geaccepteerd omdat ze worden veroorzaakt door stijghoogtewaarden aan de modelrand die niet overeenkomen met de kenmerken van de afzettingen. Een handmatige aanpassing van stijghoogterandvoorwaarden leidt tot verbetering maar is niet reproduceerbaar. Een consequentie daarvan is dat het model laat zien waar zich mogelijk in werkelijkheid afwijkingen voordoen van stijghoogtes en chloride gehaltes ten opzichte van hetgeen uit de literatuur kan worden afgeleid.

Het initiële diepteverloop van zoutmassa (in het jaar 1852) is horizontaal homogeen en lineair oplopend van 50 mg/l aan maaiveld naar 14000mg/l op een diepte van 300m. Het is bekend dat de zoutgehaltes in de holocene afzettingen afwijken van deze homogene verdeling (Stuyfzand 1993). Toch is hiervoor gekozen vanwege het doel van het model, namelijk een studie naar effecten van ingrepen in de samenstelling van een klein deel van het modelgebied. Voor de vergelijkbaarheid met literatuurgegevens is het van belang dat het aandeel Chloride ongeveer 60% bedraagt van de totale massa opgeloste zouten.

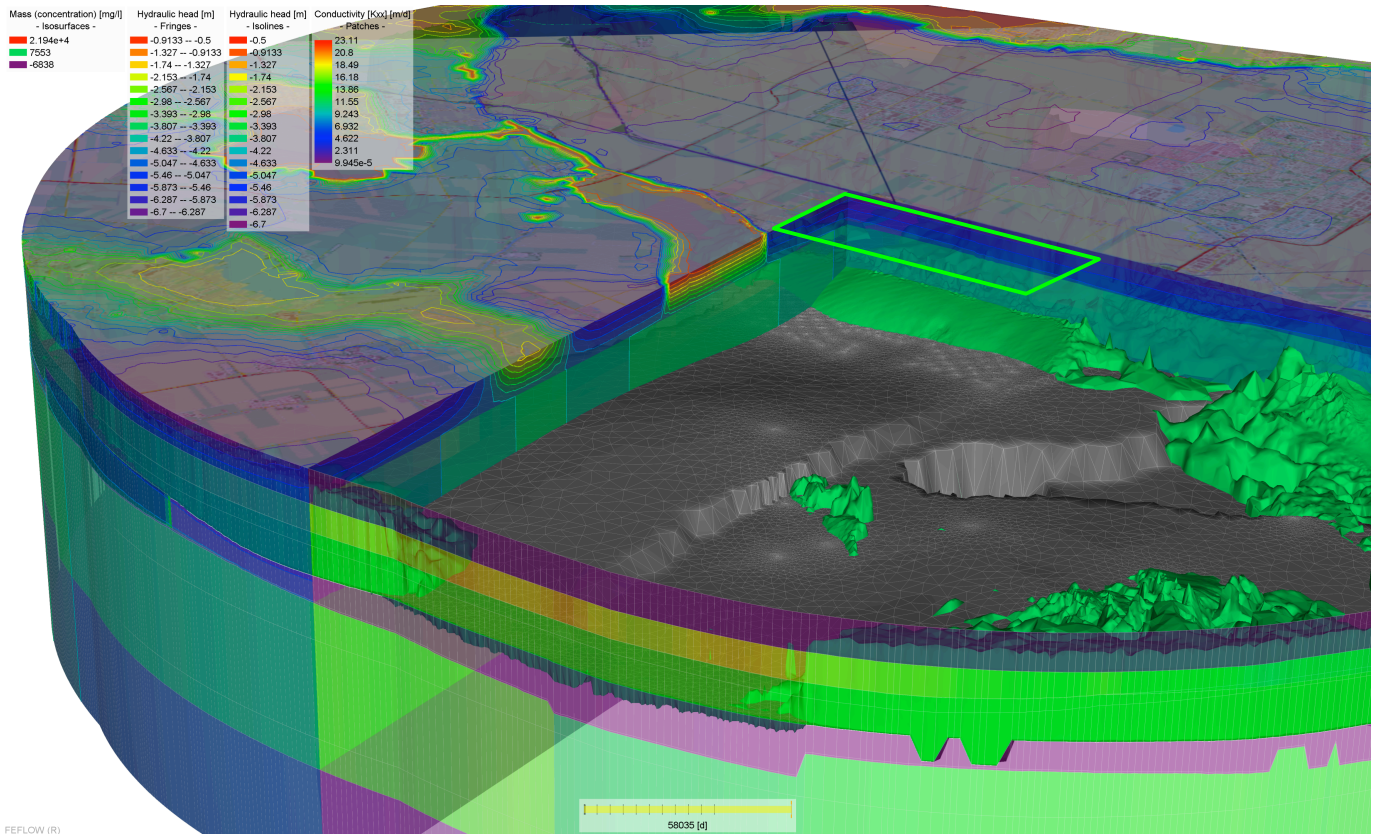
De sterke infiltratie van ondiep grondwater aan de westflank van de Haarlemmermeer door aan de duinzijde en vanuit de (Westeinder) plassen heeft onder invloed van het peilverschil gedurende de periode vanaf 1852 tot 2010 geleid tot een herverdeling van zout in het interessegebied zoals te zien valt in figuur 4.4. De huidige toestand is gekenmerkt door een relatief lage zout concentratie in het eerste watervoerende pakket in het projectgebied en een toenemende zoutvracht in de kwelstroom in het westen en zuiden van de Haarlemmermeer.



Figuur 4.4, Als Figuur 4.3 met berekend 7500mg/l opgeloste zouten (lichtgroen sterk gewelfd oppervlak) in 2010. Aan boven en onderzijde van het zichtbare deel van het isovlak snijd deze met de onderzijde van de deklaag respectievelijk de grijze bovenzijde van het eerste scheidende laagpakket. De bovenzijde van het modeldomein geeft contouren weer van tussenliggende concentraties.

Deze kwelstroom leidt vanwege de afwijkende herkomst in het projectgebied tot grote horizontale verschillen in gehaltes aan opgeloste zouten. Dit is ook duidelijk zichtbaar in de chloridekaarten in bijlage 4.2A (Grondwaterstructuurvisie Hoogheemraadschap van Rijnland) en 4.2B, ICW 1976). Het kwelwater komt niet aan het maaiveld maar wordt door de hoge dichtheid van het drainagesysteem via het oppervlaktewater afgevoerd, tegelijkertijd met het neerslagoverschot van 0,8 tot 1mm/dag. Vanwege menging van kwelwater met zoet neerslagoverschot is de chlorideconcentratie van oppervlaktewater lager dan die van het pure kwelwater en veel hoger dan die in de bovengrond.

De grootste kwelintensiteit komt voor rekening van ondiep grondwater aan de randen van de Haarlemmermeer waar de stroomgeulen zich bevinden en waar de deklaag een lage c-waarde heeft. Vanwege de verhoudingsgewijs grote oppervlakte ten opzichte van de dikte van de doorstroomde pakketten is het grootste deel van de totale hoeveelheid vertikaal opkwellend grondwater afkomstig uit de diepere oudere grondwatervoorraden.



Figuur 4.5, Detail van figuur 4.3 in nabijheid van interessegebied waarbij de kijkrichting 180 graden is gedraaid en waarbij de in figuur 4.2 zichtbare sectie nu juist onzichtbaar is.

In figuur 4.5 (en in Hoofdstuk 6, figuur 6.4) is duidelijk zichtbaar dat in het projectgebied onder de licht groene rechthoek een scheefstand is ontstaan van het vlak met gelijke zoutconcentratie (het groene isochloridevlak). Hieruit blijkt dat zout grondwater in het projectgebied (groene rechthoek) in het eerste watervoerende pakket naar het westen wordt gedrukt door infiltratie vanuit de Westeinder.

De zoete kwelflux vanuit het boezemwater is beperkt tot het gecombineerde eerste en tweede watervoerende pakket (zie blauwe strook aan de westzijde van het modelgebied en de verdringing van zoute door zoet water in het oostelijke plassengebied tot onder de eerste scheidende laag (grijs gewelfd oppervlak). Deze hoeveelheid water is beperkt ten opzichte van het toestromende water door het derde watervoerende pakket (Grondwaterkaart van Nederland).

Modelacceptatie: zoutgehalte en transport

159 Jaar na inpoldering staat de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater sterk onder invloed van het oppervlaktewaterpeilbeheer. Voor de toekomst wordt verwacht dat de stijghoogte gradiënt zal verscherpen als gevolg van een stijgend zeeniveau (IPCC). Ingrepen in oppervlaktewaterpeil en landgebruik zoals voorzien door Hoogheemraadschap Rijnland zullen hierop een beperkte invloed hebben. TNO rapport NITG 04-189-B en het daarop verder bordurende rapport 2008-U-R0322/A beschrijven de autonome ontwikkeling van verzilting en de stabiliteit van de deklaag onder invloed van toekomstige zeespiegelstijging en veranderende neerslagverdeling. De effectmodellen voor Ondergrondse Energie Opslag dienen een doel waarvoor een veel hogere dichtheid van rekenknopen noodzakelijk is. De

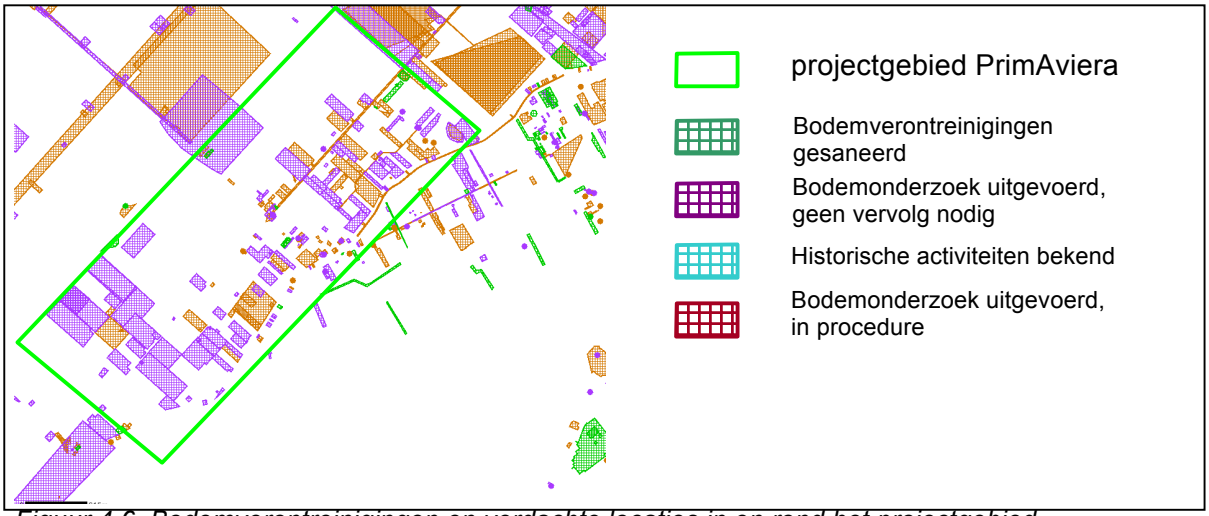
berekening van zouttransport onder invloed van polderpeil gedurende de geschiedenis van de Haarlemmermeer is daarvoor een geschikte test.

Het algemene stromingsbeeld en de verdeling van zout en zoet kwelwater over de deklaag in het modelgebied komen overeen met de resultaten van metingen die staan beschreven in de grondwaterkaart, de ICW publicatie, en de modelberekeningen het rapport TNO (2008), maar de berekende concentraties in watervoerend pakket 1 en de deklaag liggen op een hoger niveau in de westelijke kwelgebieden dan wat momenteel wordt aangetroffen.

De invloed van infiltratie vanuit de Westeinder zoals blijkt uit de langjarige berekeningen komt overeen met de resultaten van berekeningen die zijn uitgevoerd door TNO (2004). In aanvulling daarop is in TNO (2008, figuur 25) de zoutvracht weergegeven naar het oppervlaktewater in het jaar 2000 en 2075. Deze geven aan dat in de zone ten noorden en westen van Hoofddorp bij een kwel tussen 1 en 3mm/d de zoutvracht ligt tussen 0,5 en >3kg/m^{2}jr. Volgens het model “voor 2010” is de zoutvracht in die zone 2,0 tot 7,3kg/m^{2}jr. Dat houdt in dat na 159 jaar de zoutvracht in het zoute kwel-gebied 2 tot 4 keer hoger is berekend dan wat blijkt uit de studie van TNO. Een deel van dat verschil is het gevolg van de correctie van zoutwaterstijghoogte naar zoetwaterstijghoogte aan de westzijde van het modelgebied en de initiële verdeling van zout bij aanvang van de inpoldering van de Haarlemmermeer. Daarbij blijkt uit de berekeningen dat de weerstand van het Waalrepakket in de praktijk groter is dan de waarde op basis van laagdikte en doorlatendheid die afkomstig zijn uit REGISII, waarmee is gerekend. In het licht van de 159 jaar grondwaterstroming is het verschil in zoutvracht in de westelijke kwelgebieden niet groot genoeg om stijghoogterandvoorwaarden of de weerstand van de tweede scheidende laag aan te passen. Vanuit het oogpunt van de MER is een lagere weerstand van de tweede scheidende laag te verkiezen vanwege het belang om stijghoogteveranderingen in het eerste watervoerende pakket in kaart te brengen.

4.2.2. Menselijke invloed op de chemische kwaliteit

In het projectgebied zijn in het verleden veel activiteiten bekend die mogelijk bodemverontreinigingen met zich mee hebben gebracht. De inventaristatie daarvan is in een vergevorderd stadium en alle bekende historische activiteiten zijn allen nader onderzocht. Alle locaties zijn daarna hetzij gesaneerd of anders worden ze momenteel gesaneerd.



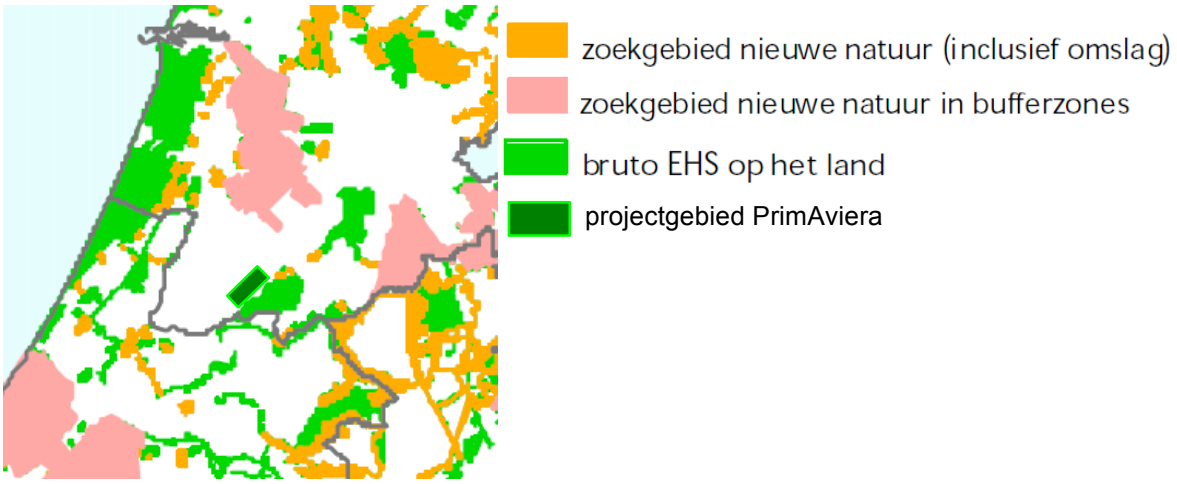
Figuur 4.6, Bodemverontreinigingen en verdachte locaties in en rond het projectgebied.

De geohydrologische situatie is van dien aard dat alle verontreinigingen door de kwelstroom via oppervlaktewater worden afgevoerd. Verontreinigingen die dieper doordringen zijn in het projectgebied niet bekend.

4.3. Grondwaterstand afhankelijke functies

Landbouw
De geschiedenis van het landgebruik binnen de ringvaart begon in 1852 na de inpoldering met veeteelt en momenteel is alle grondgebonden landbouw gericht op gangbare intensieve akkerbouw. De ontwatering vindt voor een groot deel plaats via drainagebuizen onder of vlak boven het oppervlaktewaterniveau. Vanwege de toename van het chloridegehalte in de ondiepe ondergrond is lokaal sprake van een afnemende opbrengst, en verslechterende structuur van de bouwvoor. Buiten de Haarlemmermeer liggen de hogere veenweidegebieden met daartussen lager gelegen akkergebieden op hoogtes tussen NAP -5 meter en NAP -3 meter.

Natuur
In de noordwesthoek van de Haarlemmermeerpolder is een zoekgebied aangewezen voor nieuwe natuur. Die zoekgebieden komen ruwweg overeen met de brakke kwelzones in het gebied. Het zoekgebied voor nieuwe natuur wordt gekenmerkt door minerale gronden met een overwegend klei op zand profiel, en kleine oppervlakken met afwijkende bodemopbouw van leemarm zand of veen. Het gebied staat onder invloed van de autonoom zouter wordende kwel in het middengebied en blijvend zoete kwel in de nabijheid van de haarlemmermeerdijk-randzone.



Figuur 4.7, EHS gebieden en EHS-zoekgebieden.

Er bevinden zich geen **natura 2000** gebieden binnen het projectgebied of het modelgebied. De Westeinderplas maakt onderdeel uit van de Ecologische Hoofdstructuur (zie figuur 4.7), en maakt deel uit van het natte boezemwater dat zich vertakt tussen de veenweidepolders. In de Westeinder plassen liggen eilanden en oeverzones waar de vegetatie gevoelig is voor verandering van de trofiegraad van het water in de wortelzone. De samenstelling van dat water varieert afhankelijk van de ecohydrologische ligging (afstand tot oppervlaktewater) tussen neerslaggedomineerd tot boezemwatergedomineerd. Indien veranderingen optreden van de infiltratiecomponent in de profielwaterbalans (toename van de dynamiek door seizoensopslag in PrimAviera) kan een verschuiving optreden van de

oppervlakteverhoudingen van gebieden met specifieke standplaatseigenschappen. De timing van de verlaging en verhoging van stijghoogte onder de deklaag in het projectgebied is een onderdeel van deze effectstudie.

De autonome ontwikkeling van de samenstelling van oppervlaktewater staat onder invloed van klimaatverandering en veranderende inzichten m.b.t. waterstaatkundige veiligheid. Dat gaat bij uitblijven van maatregelen gepaard met een duidelijke druk op de oppervlaktewaterkwaliteit in het verzorgingsgebied van Hoogheemraadschap van Rijnland. De mate waarin die invloed ook merkbaar zal zijn in de boezem rondom de Haarlemmermeer is nog niet goed bekend. De trend valt uiteen in twee kwaliteitsaspecten:

1. Verzilting van boezemwater, (inlaat van brak water in zomerdroogte, toename van zoutvracht uit diepe polders)
2. Toename van concentraties van macronutriënten met daarmee samenhangende kans op scherpe achteruitgang van aquatisch ecologische toestand (toename zomerse dynamiek door verandering van jaarlijkse neerslag verdeling en watertemperatuur, inlaat van IJsselmeerwater).

Buiten het projectgebied bevindt zich aan de oostelijke zijde het plassengebied van de Westeinderplas en Braassemermeer. Het cultuurhistorisch hoogwaardige veenweide – plassengebied bevindt zich in de drie groene hart provincies Zuid-Holland, Utrecht en Noord-Holland. Hiervan wordt in de EHS alleen het open water met oevers beschermd vanuit het belang van diersoorten en plantensoorten die van de natte ecotopen afhankelijk zijn. Daarbij gaat het om chemische kwaliteit van de leefomgeving en druk van verstorende invloeden zoals geluid.

De provincies hebben een hoog ambitieniveau voor de bescherming van het samenhangende veenweidegebied. Momenteel is daarvoor in de Ruimtelijke Structuurvisies en Waterstructuurvisies en in provinciale verordeningen aangegeven welke mogelijkheden en beperkingen er gelden voor ingrepen in het functioneren van het watersysteem. Maaivelddaling door ontwatering van veengebieden is al decennia onderwerp van discussie en het ligt in de lijn der verwachting dat oppervlaktewaterbeheer zal verschuiven naar beperking van de laagste grondwaterstanden.

Archeologie
Er bevinden zich geen archeologische of aardkundige waarden in het projectgebied die gevoelig zijn voor veranderingen van grondwaterstanden.

4.4. Samendrukbaarheid en stabiliteit van de bodem

Deze MER gaat in hoofdstuk 6 in op de effecten van grondwateronttrekkingen op bodemdaling. Deze effecten voegen bodemdaling toe aan de autonome ontwikkeling omdat ze het krachtenveld in de ondergrond beïnvloeden. De processen die een rol spelen bij de autonome bodemdaling staan hieronder toegelicht.

Diepe bodemdaling.
Onder invloed van het verdwijnen van landijs in Scandinavië na de laatste ijstijd laat de aardkorst daar nog een sterke stijging zien. Als gevolg van deze herverdeling van massa daalt in noordwest europa de aardkorst met ca 1cm per tien jaar. Deze daling is onafwendbaar en vertoont geen verschillen binnen het modelgebied. In het modelgebied vind geen bodemdaling plaats door aardgaswinning.

Kleigronden
De klei en venige kleipakketten uit het holoceen (aan het maaiveld) zijn aanzienlijk minder vast en daardoor gevoeliger voor zettingen. Klei dat zich in de ondergrond bevindt vertoont na zetting geen zwelling zoals klei aan maaiveld, zettingen zijn daarom irreversibel en leiden tot een afname van de waterdoorlatendheid.

Organische gronden
In de nabijheid van het projectgebied liggen veenweidegebieden ingesloten tussen grote boezemwateren. Mineralisatie van veengrond of ook wel “oxidatie van organische stof” treedt overal op waar veen wordt blootgesteld aan zuurstof. Sinds de ontginning van het westelijke moerassengebied (sinds vele honderden jaren) is de zetting door oxidatie (klink) zover gevorderd dat op verschillende plaatsen nog maar weinig veen over is. In vrijwel alle veengebieden is het niet meer haalbaar om het oppervlaktewaterpeil nog verder te laten dalen omdat de waterschapslasten dan disproportioneel zouden toenemen en omdat de gevolgschade voor houten paalfunderingen en andere grondwaterstand afhankelijke waarden onacceptabel is. Waterschappen hanteren al jarenlang verschillende progressieve peilregimes om al te laag wegzakkende grondwaterstanden in het droge seizoen te beperken. Deze vorm van waterbeheer heeft gevolgen voor de bedrijfsvoering van veeteelt vanwege afnemende grasopbrengst (draagkracht van bovengrond) en gevolgen voor ecologie vanwege de noodzakelijkheid van inlaat van gebiedsvreemd water met een hogere pH en vaak hogere concentraties NaCl en plantenvoedingsstoffen. Het terugdringen van deze autonome ontwikkeling van voortschrijdende veen-klink is een breedgedragen voornemen van provincies en waterbeheerders, maar nog niet in beleid vastgelegd.

Opbarsting
Verandering van stijghoogte onder scheidende lagen heeft als gevolg dat verhouding tussen de massa van de bovenliggende sedimentpakketten en het drukverschil over de textuurovergangen afneemt. Bij een overschrijding van de neerwaardse (lithostatische) druk door de opwaardse druk kan een breuk ontstaan in de afzettingen waardoor de weerstand lokaal terugloopt tot waarden die niet door de afzetting worden bepaald maar door de vorm en frequentie van de opbarstingsbreuk. Het gevolg is dat de effectieve kwelflux over die scheidende laag lokaal (abrupt) toeneemt. In het geval dat de “lithostatische reservedruk” van de deklaag wordt overschreden zorgt dat direct voor een toename van de verzilting van het oppervlaktewater. In de Haarlemmermeer is onder de huidige omstandigheden op veel plaatsen sprake van een beperkte lithostatische reserve. In het projectgebied is de situatie minder ernstig dan gemiddeld vanwege de relatief grote dikte van de deklaag, in combinatie met een relatief lichte textuurklasse van de deklaag. Echter gezien de toenemende problematiek van kwelwellen in het gebied is ook in het projectgebied maatwerk nodig in planning en uitvoering van de werkzaamheden op basis van gedetailleerde informatie over de deklaag, en monitoring van stijghoogte in het eerste watervoerende pakket.

5. BESCHRIJVING VAN HET EFFECTONDERZOEK

5.1. De invulling van de energievraag in PrimAviera

5.1.1. Nul-alternatief

Het nul-alternatief is beschreven onder energieconcept 1 in hoofdstuk 2. Deze houdt in dat geen ondergrondse energie opslag wordt toegepast. De volloop van het glastuinbouwgebied verloopt volgens planning waarbij open kassen worden gerealiseerd met WKK (GLAMI 2010).

5.1.2. Alternatieven met Ondergrondse Energie Opslag

De voorgenomen activiteit is beschreven in het eerder genoemde Masterplan Gebruik Ondergrond. De voorgenomen activiteit voorziet in het gebruik van grootschalige ondergrondse energie opslag. Dat gaat gepaard met het ontwikkelen van een uitgebreid ondergronds puttenveld. Deze wordt gebruikt en onderhouden. Vervolgens worden bronnen uit gebruik genomen.

Bij de studie naar milieu effecten wordt eerst aandacht besteed aan de plaatsing, gebruik en achterlating van grondwaterbronnen. Daarna volgen de effecten van gebruik van de bronnen aan de hand van berekeningen van verschillen tussen autonome grondwatertoestand en de toestand van grondwater onder invloed van de onttrekkingen en injecties.

Twee alternatieven met groot debiet verschillen qua ruimtelijke inrichting met twee doelen namelijk minimalisatie van hydrologische effecten in het ene geval en minimalisatie van thermische effecten in het andere. Deze bronconfiguraties maken beide gebruik van het derde watervoerende pakket. Een derde alternatief maakt gebruik van zowel het tweede als het derde watervoerende pakket maar heeft een aanzienlijk kleiner totaal debiet en hogere opslagtemperaturen. De alternatieven heten:

- **a.** Hydrologisch optimaal (Kruislingse ligging, 21600m^3/uur)
- **b.** Energetisch optimaal (Stroken/zone indeling, 18000m^3/uur)
- **c.** Hoge Temperatuur (toevoeging opslag in tweede watervoerend pakket aan zone-indeling, 1680m^3/uur / 45ha).

Tabel 5.1 Overzicht onttrekingsmiddelen per alternatief.

Alternatief	Brontype [#]	Debiet [m^3/uur]	Aantal [#]	Jaardebiet [m^3/jaar]	Aquifer [REGISII]	Onttrekkingsduur [uur / jaar]
A	Warm 17	150	72	450000	WVP3	3000
	Koud 8	150	72	450000	WVP3	3000
B	Koud 8	150	50	450000	WVP3	3000
	Warm 17	150	50	450000	WVP3	3000
cluster	Koud 8	108	14	388800	WVP3	3600
	Warm 22	108	14	388800	WVP3	3600
C	HT 35	30	14	108000	WVP2	3600
	HT 22	30	14	108000	WVP2	3600
	Koud 8	30	14	120000	WVP3	4000
	Koud 14	30	14	120000	WVP3	4000

Alle alternatieven hebben in het centrum een verdichting van de bronnen waardoor de variatie in “ruimtelijke dichtheid” van puttenvelden zoals die in de praktijk zal optreden een deel vormt van de analyse. Uitgegaan is dat de bronnen in de praktijk een capaciteit hebben van tussen de 30 m³/uur in tweede watervoerend pakket, Sterksel Zand 2 (zie bijlage H1.3) en tussen 100 en 150 m³/uur in het derde watervoerende pakket. Afhankelijk van de

capaciteit per bron en de gekozen diameter van de bron, is hiervoor in het derde watervoerend pakket tot maximaal 50 à 60 m filter nodig. Uitgangspunt is een filterstelling tussen 85 m en 170 m beneden maaiveld. In alternatief C is gebruik gemaakt van monobronnen met filters in zowel tweede als derde watervoerende pakket, waarbij de capaciteit wordt beperkt door die van het tweede watervoerende pakket.

Tabel 5.2, Overzicht van vermogen en opgeslagen hoeveelheid energie per alternatief.

Alternatief	Brontype [#]	Debiet [m^3/uur]	Aantal [#]	Vermogen [MW]	Aquifer [REGISII]	Capaciteit [GWh/ha]
A	LT	150	144	225.5	WVP3	1.46
B	LT	150	100	156.6	WVP3	1.16
	LT cluster	108	28	52.6	WVP3	5.05
C (45 ha)	HT	30	28	7.8	WVP2	0.829
	Koude	30	28	3.4	WVP3	0.184

De alternatieven A en B maken gebruik van de mogelijkheden die de ondergrond te bieden heeft binnen de plaatsingsbeperkingen. Alternatief C maakt binnen de clusterzone van 37 ha alleen maximaal gebruik van watervoerend pakket 2, en maar zeer beperkt van de capaciteit van watervoerend pakket 3. Superpositie van alternatief C met B is goed mogelijk. HT opslag in Watervoerend pakket 2 met compenserende koude opslag in de clusterbronzone in watervoerend pakket 3 conform Alternatief B leidt tot een zeer hoge capaciteit en vermogen voor zowel warmte als koude.

5.1.3. De installatie, onderhoud en overblijfselen van OEO.

Boorrisico's
Ondergrondse Energieopslag vereist een groot aantal bronnen. Het plaatsen van bronnen (uitvoeringsrisico) gaat gepaard met doorboren van kleilagen. Een effect daarvan kan zijn dat de uitwisseling van grondwater tussen aquifers kan toenemen. Falende afdichting van slecht doorlatende lagen (achterloopsheid) heeft in de Haarlemmermeer directe en onherstelbare gevolgen voor de toekomstige oppervlaktewater kwaliteit.

Gebruikte materialen
Er zijn drie materialen, staal, PVC en HDPE. De standaard voor OEO bronnen is PVC. De mogelijkheid bestaat dat tot enkele honderden bronnen worden gerealiseerd. Ze vormen een onlosmakelijk verband met de waterwet vergunning aanvraag.

PVC is zeer geschikt voor KWO bronnen op de beoogde diepte van maximaal 180 m, vanwege de hoge sterkte en zeer grote levensduur van het materiaal. De bodemdruk op die dieptes stelt hoge eisen. Alternatieven zoals PE zijn duurder en zijn moeilijker op die diepte te plaatsen omdat ze drijven. Daarnaast is PE elastischer en moet om dezelfde bodemdruk te kunnen weerstaan dikwandig worden uitgevoerd en de diameter blijft over het algemeen beperkt. Daarnaast is het kostbaarder dan PVC zonder dat er voor de gebruiker een voordeel tegenover staat. Voor Hoge Temperatuuropslag moet in de warme bron staal worden gebruikt vanwege de afnemende stijfheid van PVC en PE bij toenemende temperatuur. De plaatstingskosten van stalen bronnen liggen een factor 10 hoger dan voor PVC bronnen. Opslagdiepte is daarom voor HT opslag bepalend voor de investeringskosten. Bij de maximale temperatuur van 45°C is PVC nog zonder problemen bruikbaar zolang rekening wordt gehouden met een extra wanddikte en maximale buisdiameter.

effecten van levensduurverlengende maatregelen

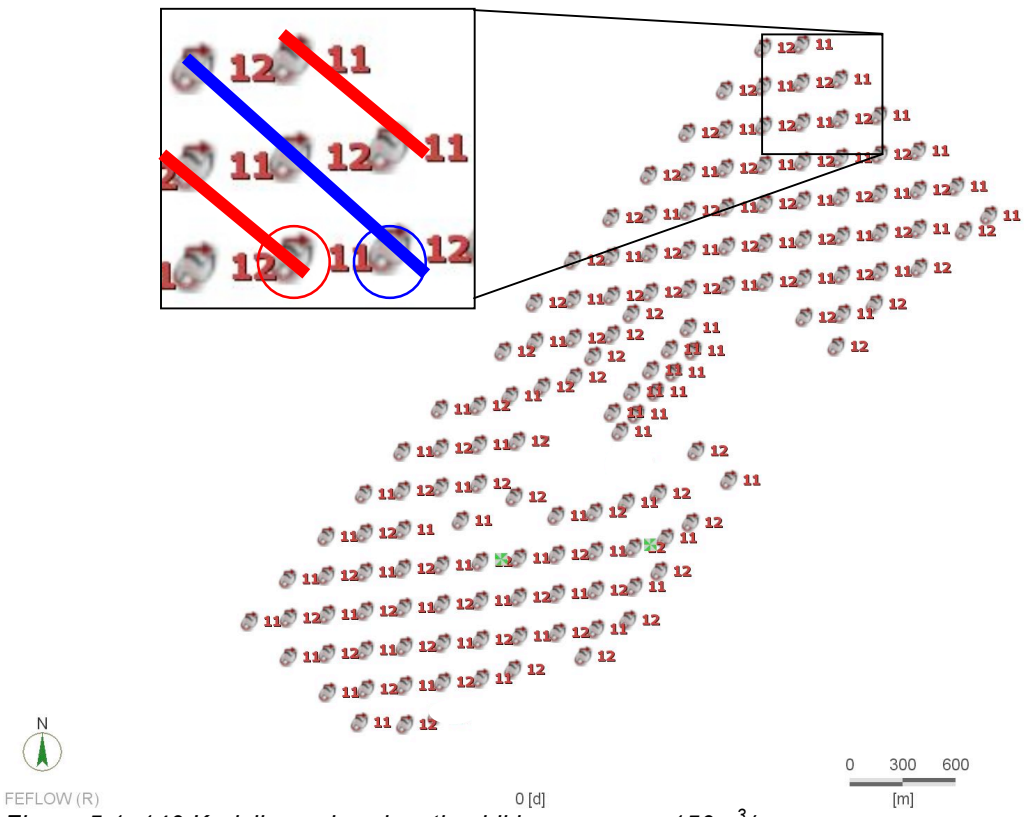
De levensduur van bronnen wordt bepaald door het optreden van verstoppingsprocessen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen de ontwikkeling van

1. biofilms in de boorgatwand,
2. transport van fijne sedimenten
3. neerslag van ijzeroxiden en carbonaten.

De levensduur van kostbare broninstallaties is van zeer groot belang voor zowel energetisch als economische terugverdientijd. De belangen van eigenaren komen in die zin vrijwel overeen met die van het milieu. Het tegengaan van putverstopping is mogelijk door fysische en chemische herstelprocedures in de rustperiodes.
De gebruikte methodes verschillen sterk voor de drie putsverstoppingsprocessen en die hangen sterk af van de bedrijfstemperaturen van de bronnen. De milieueffecten van de alternatieven worden daarom onderling vergeleken.

5.2. Alternatief A: Groot debiet LT “Hydrologisch optimaal”

Stijghoogteveranderingen zijn bij dit alternatief het belangrijkste criterium. Het energetisch rendement is daaraan ondergeschikt. Kruislingse ligging van injectie en ontrekkings bronlocaties zorgt voor uitdoving van stijghoogte-effecten op korte afstand. In de invulling die hieronder is weergegeven is geen rekening gehouden met kavelgrenzen of infrastructuur.



Figuur 5.1, 140 Kruislingse bronlocaties bij bronnen van 150m^3/uur.

Bij deze indeling liggen de warme en koude bronnen in rijen, waarbij de afstand tussen bronnen van een gelijk type zo groot is dat de koude invloedsgebieden tussen de warme invloedsgebieden ingepast worden. Bij een gegeven thermische straal kan daardoor de benuttingsgraad van de ondergrondse watervoorraad toenemen of bij gelijk debiet kan dan het stijghoogte invloedsgebied beperkt worden (zie Hoofdstuk 6).

De kruislingse plaatsing van bronnen is praktisch gezien minder waarschijnlijk bij grote systemen met een groter debiet dan 200 m3 per uur omdat bij koppelingen van meerdere kruislingse bronnen zeer grote leidinglengtes nodig zijn in vergelijking met bronnen in rijen zoals voorzien in het stokenpatroon.

Een voordeel van de kruislingse ligging van bronnen is dat meer grondwater kan worden onttrokken. Dit is geen doel van de vergunningaanvraag maar zal wel worden meegenomen in dit alternatief.

Bronlocaties kunnen binnen het kruislingse plaatsingsregime worden gehonoreerd als ze voldoen aan de hieronder beschreven voorwaarden die gerangschikt zijn in oplopende rangorde:

1. *Bronparen mogen worden geplaatst binnen de kavelgrens aan de straatzijde zolang wordt voldaan aan de volgende voorwaarden:*
2. *De 0,5°C verschilcontouren van de koude en warme bellen moeten gedurende de eerste 20 draaijaren binnen de grenzen blijven van de kavels[5];*
3. *De maximale capaciteit per bron is niet groter dan 200 m³/uur bij een filterlengte van 60 meter;*
4. *Voor het plaatsen van de filters van de koude en de warme bronnen wordt gebruik gemaakt van het volledige traject tussen 80 en 170 m diepte met een minimum filterlengte van 40 m;*
5. *Binnen een 5 cm beïnvloedingsgebied moet een onderlinge afstand tussen bronnen/bronclusters van twee systemen aangehouden worden van 3,5 keer de thermische invloedstraal van de bron van het grootste van de omliggende systemen;*
6. *Afwijkingen zijn toegestaan mits is aangetoond dat deze geen nadelige gevolgen hebben of kunnen gaan vormen voor de andere bedrijven.*
7. *Langs de buitengrenzen van het projectgebied PrimAviera inclusief de reconstructiegebieden Noord en Zuid moeten warme en koude bronnen afwisselend worden geplaatst waarbij doubletten*

5.3. Alternatief B: Energetisch optimaal

De configuratie met het optimale energetische rendement bestaat uit langgerekte warme en koude zones (zie bijlage 1). Deze bronconfiguraties hebben onderlinge afstanden van 30m waardoor gebruik gemaakt wordt van elkaars thermische verlies schil. De stijghoogteeffecten overlappen eveneens met als gevolg dat door superpositie van de verlaging / verhoging het opgenomen vermogen (elektriciteitsverbruik) van de grondwaterpompen toeneemt.

In de inrichting zoals hieronder is weergegeven in Figuur 5.2 staat een zeer precies verdeeld bronveld met overal exact dezelfde zone-afstand van 300 m. Deze zones passen niet perfect in de zone-indeling zoals die is gepubliceerd in het Masterplan Gebruik ondergrond. De vergelijking van effecten is hierdoor echter wel helderder dan bij een random invulling volgens de ordeningsprincipes die horen bij het zonesysteem. Het gevolg van het zoneregime is dat de beschikbare ruimte in de ondergrond minder intensief kan worden benut. Echter vanwege de zeer omvangrijke inhoud van het derde watervoerende pakket is

[5] Vanwege de ruimte die rondom de kavels is gereserveerd voor groene en grijze infrastructuur ligt het voor de hand om de ruimte die tussen kavels voorhanden is eveneens te benutten.

het niet te verwachten dat het zone regime onoverkomelijke beperkingen oplegt aan de toekomstige beheerders/investeerders.

In het masterplan is vooruitlopend op de resultaten van het milieueffectrapport beschreven dat de optimale inrichtingsvorm voor grootschalige KWO wordt bereikt door te kiezen voor een strokenpatroon. Zoals aangegeven in figuur 5.2 is het gebied daarmee verdeeld in 8 stroken voor doubletten (bronparen) van koud en warm water.

Figuur 5.2, Regelmatige verdeling van 128 bronnen over het gebied in afwisselend koude (type 1 en 11) en warme zones (type 2 en 12).

De stroken liggen in lijn met de grondwaterstromingsrichting, wat gunstig is voor het (collectieve) rendement van de systemen. De snelheid van de grondwaterstroming is echter laag; dus is het misschien mogelijk om het “met de grondwaterstromingsrichting uitgelijnde strokenpatroon” los te laten zonder rendementsverlies. Uitgaande van een maximale waterverplaatsing van 540.000 m³ per jaar per bron is een afstand tussen de clusters van 240 m nodig.

Bronlocaties kunnen worden gehonoreerd als ze voldoen aan de hieronder beschreven ordeningsvoorwaarden:

8. *De koude en warme bronnen mogen worden geplaatst in de rode respectievelijk de blauwe stroken;*
9. *De grenzen van de koude en warme bellen moeten binnen de grenzen blijven die het midden aangeven tussen de 8 bronpaarzones en de bronparen onderling;*
10. *De maximale capaciteit per bron is niet groter dan 200 m³/uur;*
11. *Voor het plaatsen van de filters van de koude en de warme bronnen wordt gebruik gemaakt van het volledige traject tussen 80 en 170 m diepte met een minimum filterlengte van 40 m;*
12. *Binnen een (koude of warme) strook moet een onderlinge afstand tussen bronnen/bronclusters van twee systemen aangehouden worden van 0,8 keer de thermische invloedstraal van de bron(nen) van elk systeem;*
13. *Afwijkingen zijn toegestaan mits is aangetoond dat deze geen nadelige gevolgen hebben of kunnen gaan vormen voor de andere bedrijven.*

Clustering van een beperkt aantal bronnen is een hybride tussen beide alternatieven omdat zowel gebruik gemaakt wordt van overlappende thermische invloedsgebieden als uitdoving van stijghoogteeffecten. Het zoneregime maakt clustering ook al mogelijk door clustering van kleine bronnen aan de randen van de zones.

5.4. Alternatief C: Hoge Temperatuuropslag

Alternatief C Monobronnen met LT opslag in watervoerend pakket 3 plus Hoge Temperatuur opslag in het ***tweede watervoerend pakket.*** Kenmerken van deze opslagvorm zijn hoge temperatuur bij veel kleiner debiet (30m^3/uur) per bron in plaats van 150 m^3/uur bij Alternatief A. Dit lage debiet past bij de 7-10 meter dikke afzetting van Sterksel Zand 2 (Bijlage H1.3) tussen twee kleilagen Sterksel klei 1 en Waalre klei. Deze ingesloten opbouw blijkt tevens uit boring B31A0121 en blijkt grofzandig en volgens het landelijk hydrogeologisch model (RegisII) komt deze laagopbouw overal in het projectgebied voor. De ingeklemde zandlaag is zeer geschikt voor opslag van warm water tot 70°C vanwege de verhouding van doorlatendheid, debiet en laagdikte. Van de geïnjecteerde hoeveelheid energie kan een zeer groot deel weer worden onttrokken. Dat geldt niet voor opslag in diepe watervoerende pakketten zoals het derde watervoerende pakket waarin de alternatieven A en B zijn ingericht.

Diep of ondiep HT opslag
In een dik watervoerend pakket kan warm water opdrijven gedurende de gewenste opslagperiode waardoor vrijwel vanaf het begin van de onttrekking koud water naar de onderzijde van warme bronnen stroomt. Het rendementsverlies door opdrijven wordt in de praktijk voorkomen door gebruik te maken van fijnere sedimenten, maar die liggen op veel grotere diepte waardoor de bronnen zeer kostbaar zijn. Daarnaast is plaatsing van bronnen op grote diepte in fijnzandige afzettingen bedrijfseconomisch riskant vanwege versnelde verstopping van de boorgatwand. Geredeneerd vanuit het doel van de MER is het van belang om te kiezen voor reeele alternatieven waarbij de aandacht uitgaat naar worst case condities. De afweging van voordelen en nadelen is het scherpst bij ondiepe HT opslag. De mogelijkheden voor opslag van heet water in de diepere fijnzandige afzettingen van Maassluis is daarom geen onderdeel van de MER.

Bronconfiguratie kruislings of zoneregime
HT opslag is onderdeel van verschillende energieconcepten waarbij restwarmteopslag van verschillende bronnen kan worden gebruikt om de dekkingsgraad van duurzame energiesystemen te verhogen. Voor deze opslagvorm worden dezelfde ordeningsregels

voorgesteld als voor configuratie B thermisch optimaal. HT opslag kan evengoed worden toegepast bij kruislingse plaatsing van bronnen. Vanwege de grotere temperatuurverschillen is HT opslag meer gebaat bij een geclusterde opstelling van bronnen dan de lager temperatuuropslag. Met het oog op worst case condities is gekozen voor het zoneregime.

De verdichtte bronzones in het middengebied van PrimAviera zoals zichtbaar in figuur 5.2 zijn als apart alternatief doorgerekend Daarmee kunnen de effecten van het HT alternatief als complementair wordt gezien bij alternatieven A en B. De verdichte zone betreft een oppervlak van ruwweg 150 ha waardoor maar een klein deel van de totale energievraag wordt gedekt. Voor een vergelijking van hydrologische effecten en thermische effecten van het HT alternatief met A en B kunnen de effecten worden geprojecteerd over het gehele gebied.

Er is voor deze aanpak gekozen omdat simultane berekening van hoog debiet(LT) met laag debiet(HT) een groter aantal modellagen noodzakelijk maakt, met als gevolg zeer lange rekentijden. Daarnaast is het effect van opslag van water tussen 28°C en 65°C in het zand-tussenpakket van een heel andere soort dan die van hoog debiet opslag waardoor een aparte berekening helderder zicht biedt op de effecten.

De energiebalans van dit systeem is gebaseerd op een groot aantal koude bronnen ter compensatie van een kleiner aantal koude bronnen die worden geregenereerd met luchtkoelers. In dit alternatief is het koude water geïnjecteerd in het derde watervoerende pakket.

Thermische effecten van HT opslag
Naast de thermische invloedsgebieden (20 jaar verschilcontouren) is voor alternatief C tevens een “worst case abandonment” doorgerekend gericht op het vaststellen van de langetermijn effecten. De berekening is gericht op het vaststellen van maximale effecten in ruimte en tijd van de ondiepe opslag van water bij verhoogde temperaturen. De initiele condities voor de berekeningen worden gevormd door te stoppen met onttrekken na het 20ste laadseizoen. De maximale hoeveelheid energie is dan opgeslagen en de temperatuur van een groot deel van de warmtebel is dan 37°C. Dit betreft een calamiteit voor zowel exploitant als voor de grondwaterbeheerder.

Deze berekeningen bieden tevens zicht op de effecten die kunnen worden verwacht bij toepassing van hetzelfde type opslag bij temperaturen tot 65°C zoals wordt voorzien in energeconcept 3.

Deze worst case berekening maakt andere berekeningen zoals die ten behoeve van koude opslag overbodig omdat daarbij geen opdrijfeffecten kunnen optreden. De dichtheidsverschillen kunnen niet toenemen omdat koeling onder 3°C onmogelijk is met grootschalige systemen. De effecten van extra koude opslag die ter compensatie van HT opslag worden voorzien vallen in dezelfde ordegrootte als die van gangbare LT opslag. Daarbij geldt dat voor compensatieopslag met koude clusters grotere watervolumes gemoeid zijn dan met de opslag van de HT opslag waarvoor compensatie nodig is.

Chemische en biologische aspecten van HT opslag
De injectie van water met temperaturen die uitstijgen boven de temperaturen die horen bij klassieke warmtepompen hebben gevolgen voor chemische en biologische evenwichten en daarmee voor milieu en voor de levensduur van bronnen. Voor bodemleven is temperatuur

relevant vanwege het sterke verband tussen temperatuur en snelheid van metabolisme van micro-organismen. Alle bio-chemische processen gaan sneller vanaf het vriespunt tot aan de temperatuur waarbij verschillende eiwitten denatureren. Eiwitten spelen daarin een sleutelrol vanwege voor biochemische processen van groot belang omdat veel biochemische katalysatoren deels of geheel uit aminozuren bestaan. Toename van temperatuur boven 37°C zorgen voor een sterke afname van biologische omzettingsprocessen en een *vrijwel* complete vernietiging van leven boven 42°C. Het is daardoor de verwachting dat bij periodieke overschrijding van de 40°C drempel aanzienlijk minder biologische risico's bestaan (putverstopping of verstoring van natuurlijke microbiële ecosystemen) dan bij het aanhouden van een drempel daaronder.

Het 40°C front rondom een HT bron is een gebied waar verondersteld wordt dat geen biologische verstoppingen kunnen optreden. Een warmtefront is na verloop van tijd niet scherp meer en daarom zal in de lauwere schil rondom HT bronnen wel degelijk een toename van biologische processen optreden, zolang die niet beperkt worden door limiterende factoren waaronder een zeer lage zuurstofpotentiaal, beperkte hoeveelheid organische stof of andere reduceerbare materialen. Het algemene milieubelang wordt niet gediend door situaties waarin grondwater bronsystemen vroegtijdig moeten worden afgeschreven. Vanwege het algemene belang is binnen het project "meer met bodemenergie" onder andere aandacht voor verdieping van dit onderwerp.

Bij opslag van water bij hoge temperaturen nemen de temperatuurverschillen van het water toe waardoor chemische evenwichten gaan verschuiven. Het belangrijkste onderscheid dat in de chemische neerslagtypen wordt gemaakt is die tussen veranderingen van pH evenwichten en verschuiving van redox-evenwichten. Bij verschillen in pH en temperatuur kan neerslag van calciumcarbonaat (ketelsteen) problemen veroorzaken en kan opkoling optreden door afzetting van koolstof op warmtewisselaars. Tegen ketelsteen en kalkafzetting in het bronfiltergebied kan HCl worden gebruikt waardoor de pH tijdelijk en lokaal lager komt te liggen.

Neerslag van metaaloxiden (ijzer en mangaan) treedt over het algemeen alleen op bij menging van zuurstofrijk water of toetreding van zuurstof in het grondwatercircuit. Dat wordt niet verwacht. Bij hogere temperaturen kan een verschuiving optreden naar andere oxidatoren. Daartegen zijn verschillende regeneratiemiddelen beschikbaar waaronder kaliumpermanganaat. De toepassing daarvan kan jaarlijks nodig zijn bij zeer hoge temperatuur systemen (80°C – 90°C).

6. MILIEUEFFECTEN

6.1. Grondwaterbronnen

6.1.1. Boorrisico's

Vanaf 2010 dienen boorbedrijven te zijn gecertificeerd waardoor het risico op een negatief effect wordt geminimaliseerd. Bij uitvoering dient aan het protocol (2101-1.0) strict te worden voldaan.

Het streven is om het risico tot en acceptabel niveau terug te brengen. Echter vanwege het grote aantal boringen kan ook bij zorgvuldig werken de kans op achterloopse bronnen niet worden uitgesloten.

6.1.2. Gebruikte materialen

Productie van PVC vraagt 45MJ/kg en voor dezelfde massa HDPE is 66 MJ nodig. Per bron van 150 m^3/uur is een energie-investering nodig tussen 30.000 en 60.000 Mj. Bij meerbron-systemen neemt het energetisch rendement toe maar dat geld dus ook voor de energie-investering.

Productie van PVC is een van de weinige processen waarvoor chloor wordt gebruikt. chloorproductie staat binnen de chemische industrie al decennialang op een negatieve manier in de belangstelling vanwege de grote risico's die gemoeid zijn met productie transport en verwerking. Gezien het doel van de MER en de beschikbaarheid van alternatieven wordt het chloorgebruik bij de productie van PVC niet verder bij de weging van de alternatieven betrokken.

Bij toepassing van injectietemperaturen hoger dan 40°C neemt de stijfheid van PVC en HDPE af. Vanaf die temperatuur wordt gecoat staal toegepast. De energiekosten per m stijgbuis zijn vrijwel gelijk aan die van PVC.

6.1.3. Effecten van levensduurverlengende maatregelen

De milieu-effecten van de verwarming van grondwater hangen sterk af van minimum en maximum temperaturen. De toepassing van de in §5.4 genoemde reagens is algemeen binnen de drinkwaterbereiding. De toepassing is gericht op het lokaal beïnvloeden van natuurlijke chemische en biologische (ecologische) evenwichten. Het effect is lokaal ongeacht de schaal waarop het wordt toegepast vanwege de gigantische buffercapaciteit van het natuurlijk systeem. Het effect is niet blijvend omdat de reactieproducten natuurlijke bestanddelen van de bodem zijn.

De directe omgeving van bronnen zal bij gebruik van injectietemperaturen die met enige regelmaat de 40°C grens overschrijden geen risico meer lopen op ontwikkeling van verstoppingsrisico's door ontwikkeling van een biofilm. De verstoppingsrisico's verschuiven bij toenemende temperatuur van biologische verstopping naar verstopping door neerslag en verschuiving van redoxevenwichten. Dat neemt niet weg dat bij HT-opslag in het projectgebied uitgestrekte overgangszones ontstaan waar de bodemtemperatuur in de biologisch optimale temperatuurzone komt. Daar zal het bodemleven qua intensiteit toenemen in situaties waar de temperatuur voorheen de limiterende factor was. Gezien de osmotische potentiaal van het grondwater door hoge zoutgehaltes ligt het niet voor de hand dat bodemleven zich ineens weelderig zal ontwikkelen. De waardering van dit milieu-effect, de toename aan horizontale thermische gradiënten, is filosofisch van aard vanwege

verschillende invalshoeken met betrekking tot biodiversiteit en de stabiliteit van omstandigheden en intrinsieke waarde van oud, stilstaand diep grondwater zoals die wordt genoemd door de Technische Commissie Bodembescherming (2009).

Tegenover de bovenstaande effecten staan enkele positieve milieu-effecten en effecten die een positieve invloed hebben op de bedrijfsvoering van opslagsystemen. Het is van groot belang dat het poriënsysteem in de directe omgeving van de bronnen optimaal blijft, immers het verlies van broncapaciteit zou een grote bedreiging vormen voor de kapitaal intensieve ondergrondse energieopslagsystemen. Vanuit zowel energetische overwegingen als overwegingen m.b.t. de onderdrukking van biologische verstoppingprocessen is een injectietemperatuur boven 40°C daarom zeer interessant.

6.1.4. Einde gebruik: achterlating van grondwaterbronnen

Het is zeker dat bronnen zullen worden afgeschreven en achtergelaten na gebruik van de ondergrond voor opslag van warmte en koude. De levensduur van omkerende grondwaterbronnen ligt bij goed onderhoud tussen 10 maar vaak veel langer dan 30 jaar. Het bestaan van niet natuurlijke verbindingen tussen watervoerende pakketten zoals in de vorm van de holle bronpijpen vormen een potentiële bron van toename van zoute kwel. Immers zout grondwater kan na breuk van de pijp op een gegeven moment een weg naar boven vinden. Zowel door onzorgvuldigheden bij bronaanleg als bij de bedrijfsbeëindiging van de systemen bestaat de mogelijkheid dat bronnen een blijvend lekpunt gaan vormen. De open bron kan effectief permanent worden afgesloten door ze vol te storten met een afdichtende zwellende klei. Ook bestaat de mogelijkheid om grondwaterbronnen integraal te verwijderen maar dat is zeer kostbaar en daarbij zijn de risico's op blijvende verbindingen tussen de watervoerende pakketten groter.

Tabel 6.1, Brongerelateerde milieueffecten naar temperatuur

temperatuurbereik [°C]	Materiaal gebruik	Regeneratiemiddelen	Levensduur indicatief [jr]
5-30	PVC / (HDPE)	Nvt	20-50
30-45	PVC / HDPE	Beperkt HCl	15-30
45-60	PVC / Staal	Beperkt HCl / KMnO4	15-30
60-85	Staal (divers)	Jaarlijks	10-30

Tabel 6.2, Milieueffecten intrinsiek verbonden met grondwaterbronnen per alternatief.

Effect bij 330 GWh	A Hydrologisch optimaal [aantal /30jr]	B Thermisch Optimaal [aantal /30jr]	C Hoge Temperatuur 45°C / 70°C
Ontwikkelwater per bron	<8850 m^3	<<8850 m^3	<3.450
Regeneratiewater totaal	9000 m^3/jr	15480 m^3/jr	2400 m^3/jr
kg Cl^- ‡ [totaal jr1] [jr2..jr30]	14000/ 240 (infiltratie)	11500/ 200 (infiltratie)	600+ /5+ / 600++/ 5++
Boormeters per GWh/jr	0.03	0.03 -0.04	0.03 / 0.01
PVC / staal per doublet	11000 kg / 0kg	11000 kg / 0kg	1260 kg / 4000 kg
Energie-investering† [../doublet]	138 MWh	138 MWh	16 MWh / 17 MWh
Regeneratiemiddelen	Zeer beperkt	Zeer beperkt	Beperkt / jaarlijks

† De energie-investering omvat ondergronds systeem (bronpijpen). Bronpompen,inpandige installaties en bovengrondse leidingen maken tevens deel uit van OEO installaties en worden buiten beschouwing gelaten evenals de vermeden energie-investeringen tbv andere energiesystemen.

‡ De chlorideconcentraties in wvp 2 en 3 verschillen sterk binnen het projectgebied en rekening moet worden gehouden met aanzienlijk hogere concentraties op grotere diepte dan de gemeten waarden (6000 – 8000 mg/l Cl^- voor wvp 2 en 11000 in wvp3 oplopend na menging tot 50% hogere concentraties in wvp 3).

6.2. Worst case stijghoogte effecten

De onttrekking en de infiltratie van grondwater zullen in de omgeving van de bronnen verandering en fluctuaties van de grondwaterstijghoogte veroorzaken en daarmee tevens

verandering van het locale ondergrondse stromingspatroon. De autonome stijghoogteverdeling en grondwaterstroming zonder grondwateronttrekkingen bestaat niet in werkelijkheid vanwege de bestaande rechten op onttrekking. Voor zowel de bestaande als de voorziene onttrekkingen ten behoeve van ondergrondse energie opslag geldt dat ze seizoensgebonden zijn en ’s zomers en ’s winters tegengesteld. De drukverandering is kortdurend en is afhankelijk van de elasticiteit van de sedimentpakketten vaak binnen een etmaal tot maximaal 10 dagen na staken van het pompen uitgedoofd.
De grondwateronttrekkingen ten behoeve van OEO in het derde watervoerend pakket veroorzaken een verkneding van het stijghoogtebeeld zoals is weergegeven in bijlage H6.1REF.

De 6 bijlagen die daarop volgen (BH6.1) geven aan in welke mate *veranderingen optreden ten op zichte van de natuurlijke situatie*. Deze verschilberekeningen zijn zowel voor watervoerend pakket 3 als voor watervoerend pakket 1 uitgevoerd zodat tevens te zien is hoe die zich aan het einde van ieder onttrekkings-injectieseizoen voortplanten in de ondiepe ondergrond.

Vergelijking van stijghoogte invloeden spitst zich toe op
1. de extremen van verlaging (t.b.v. zettingeffecten en verandering van infiltratie)
2. reikwijdte van het invloedsgebied (grondwaterstroming buiten projectgebied)

De extremen kunnen eenvoudig vergelijkbaar worden gemaakt door per alternatief de extremen naast elkaar te zetten. Deze staan samengevat in tabel 6.3 in §6.2.4.
De ruimtelijke reikwijdte van de verlagingen en verhogingen worden vergelijkbaar gemaakt door per alternatief de maximale afstand te meten tussen de positieve en negatieve 5 cm contouren in zowel het watervoerende pakket waarin de filters zich bevinden als in het eerste watervoerende pakket.

6.2.1. Alternatief A; Hydrologisch optimaal

Stijghoogte extremen zijn het gevolg van superpositie van verlagingen en verhogingen in geclusterde locaties.

Het invloedsgebied rondom het projectgebied is in sommige richtingen zeer uitgestrekt. De grote variatie in ligging en reikwijdte van het invloedsgebied wordt vooral bepaald door de aaneensluiting van verlaginggebieden van naastgelegen bronnen aan de flanken van het gebied. Twee extremen doen zich voor in de onderstaande twee richtingen:
1. In de noordelijke hoek is duidelijk een splitsing zichtbaar in het stijghoogteverschil tussen de beide flanken van het projectgebied.
2. In de zuidwesthoek zijn beide flanken min of meer toevallig met dezelfde brontypen ingevuld waardoor het onderling versterkte invloedsgebied vrijwel het gehele zuidwestelijke modelgebied beslaat.

De kruislingse inrichting heeft bij de berekende toevallige realisatie in het derde watervoerende pakket een 5 cm beïnvloedingsgebied met een maximale *doorsnede* van 5.100m. Daar waar brontypen aan de rand elkaar afwisselen reikt de invloed nauwelijks buiten het projectgebied. Daar waar de periferie van het puttenveld wordt bezet door hetzelfde brontype is de uitdoving vanuit de binnenzijde niet in staat om de aaneensluiting van beïnvloedingsgebieden aan de buitenzijde van het puttenveld te voorkomen. Bij zorgvuldige plaatsing van bronnen op een wijze die aaneensluiting van verlaging en verhogingsgebieden tegengaat zal zowel het beïnvloede oppervlak als de reikwijdte van het beïnvloedingsgebied afnemen.

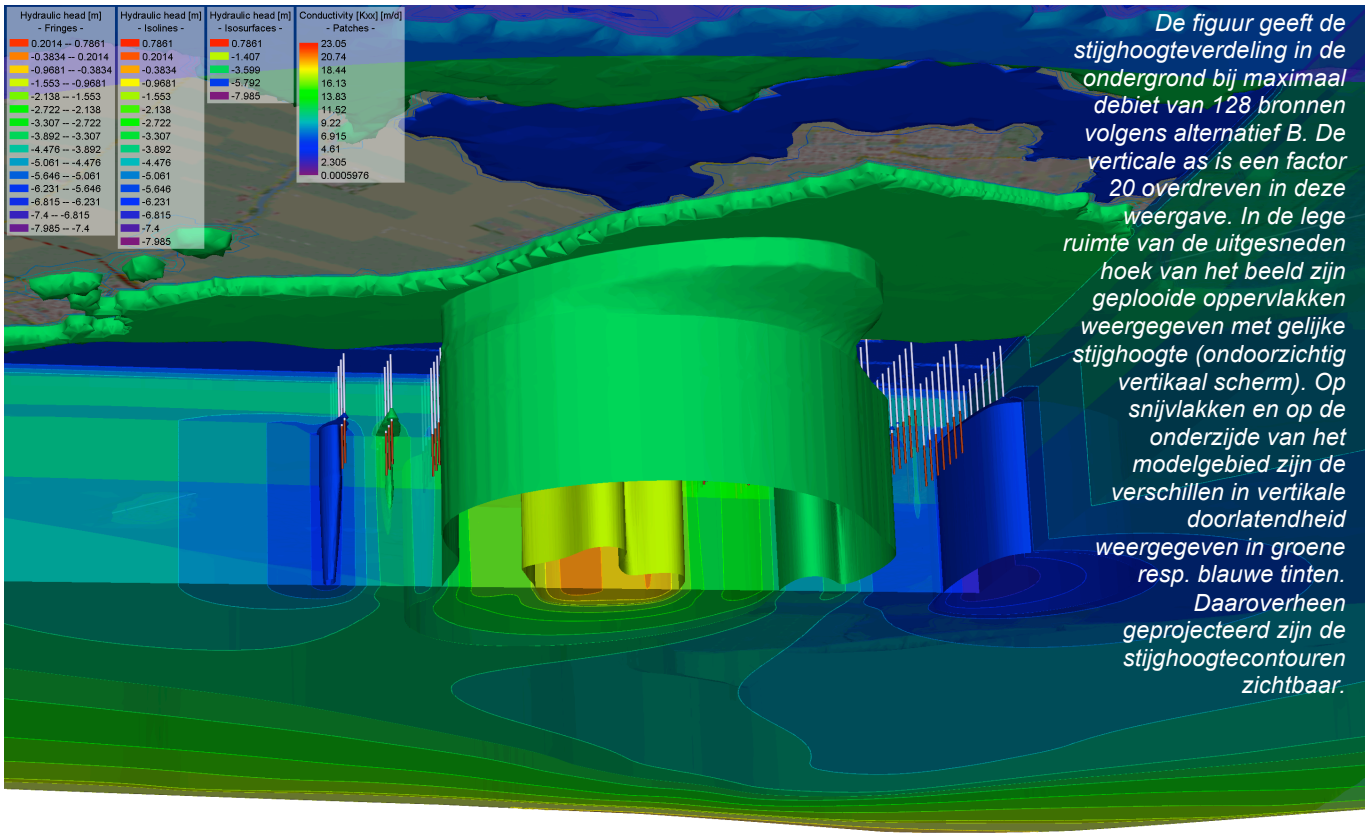
In watervoerend pakket 1 zijn de stijghoogte-effecten aan het eind van het seizoen eveneens merkbaar. Het beïnvloedingsgebied strekt zich daar vrijwel even ver uit en in dezelfde richting. De bovengenoemde plaatsingswijze, gericht op tegengaan van aaneengesloten rijen van het zelfde type in de periferie van het gebied zorgen zeker ook in het eerste watervoerende pakket voor een kleiner invloedgebied.

6.2.2. Alternatief B; Thermisch optimaal

De stijghoogte-extremen zijn hier vanwege de systematische clustering van onttrekking en injectie groter dan die van alternatief A.

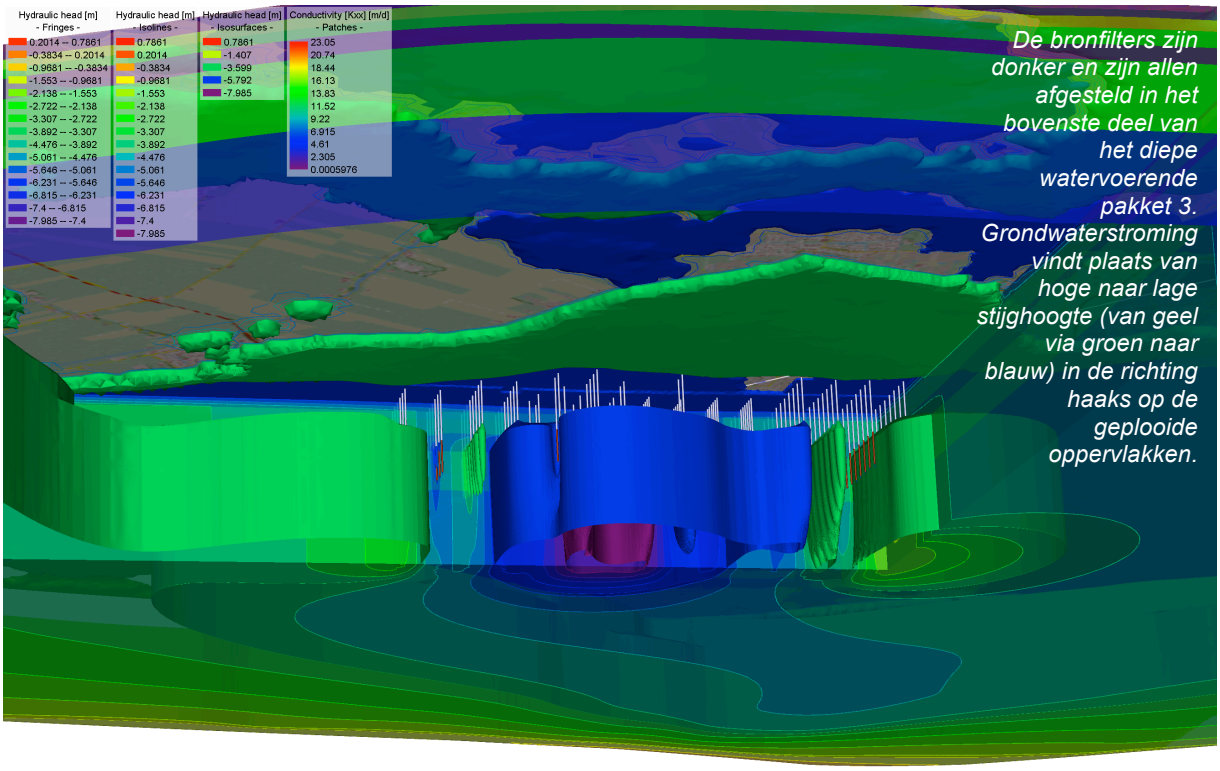
Het 5 cm invloedsgebied strekt zich vooral uit in de richtingen haaks op de eindclusters uit, en in de lijn van de clusters in het centrumgebied waar de bronnen kleiner zijn maar dichter op elkaar liggen. De reikwijdte van de 5 cm verlaging en verhogingsgebieden is 6.400 m.

Ook in dit alternatief is de beïnvloeding van stijghoogte in het eerste watervoerende pakket aan het einde van het seizoen vergelijkbaar met die in watervoerend pakket 3.



De figuur geeft de stijghoogteverdeling in de ondergrond bij maximaal debiet van 128 bronnen volgens alternatief B. De verticale as is een factor 20 overdreven in deze weergave. In de lege ruimte van de uitgesneden hoek van het beeld zijn geplooide oppervlakken weergegeven met gelijke stijghoogte (ondoorzichtig vertikaal scherm). Op snijvlakken en op de onderzijde van het modelgebied zijn de verschillen in vertikale doorlatendheid weergegeven in groene resp. blauwe tinten. Daaroverheen geprojecteerd zijn de stijghoogtecontouren zichtbaar.

Figuur 6.1, Onderaanzicht in Noordelijke richting onder de Westeinderplas door richting PrimAviera.



FEFLOW (R)

Figuur 6.2, Als figuur 6.1, bij omgekeerde stromingsrichting (aan het einde van het andere seizoen).

In figuur 6.1 is aan de driedeling van het beïnvloede volume te zien dat de grondwaterstroming niet beperkt is tot stroming tussen naast elkaar gelegen bronzones. Vanuit het centrale deel stroomt water met een grote boog haaks op de gewelfde oppervlakken van gelijke stijghoogte richting de uiterste zones met koude bronnen. In het daaropvolgende seizoen draait dat om. Dit stromingsveld is een logisch gevolg van het oneven aantal bronzones met aan beide buitenzijden van het gebied warme zones. De driedeling van het drukveld is een gevolg van het uiteentrekken van de brondebieten naar de noord en zuidzijde van het projectgebied. De driedeling van het invloedsgebied kan door een herinrichting van het zoneregime worden teruggebracht tot een twee-lobbig invloedsgebied.

Daartegenover staat dat deze vorm aanknopingspunten ook voordelen biedt. De scheidende lagen boven het injectiepakket bieden slechts een beperkte weerstand. Daardoor wordt grondwaterstroming opgewekt zowel horizontaal omtrekkend door het diepe, als vertikaal door het ondiepe watervoerende pakket. Beide vanuit de periferie naar het centrumgebied getrokken en andersom. De verticale stijghoogtegradiënt in de deklaag onder de Westeinder plassen zal daardoor toenemen in warmte omstandigheden, met als gevolg dat onder andere infiltratie in de Westeinder zal toenemen gedurende de zomerperiode. In welke mate hangt zeer sterk af van de werkelijke totale weerstand van de deklaag, en uiteraard die van de tweede scheidende laag. in de aanbevelingen opgenomen als aanvullend criterium voor gunning van bronlocaties in het zoneregime.

6.2.3. Alternatief C: HT opslag

De stijghoogte-effecten van dit alternatief zijn doorgerekend uitgaande van een zogenaamde monobron cluster. Injectie in de “tussenzandlaag” vindt plaats op dezelfde locatie als de bijbehorende onttrekking in het derde watervoerende pakket plaatsvindt, en omgekeerd. Vanwege de plaatsing van de HT opslag in het ondiepe tweede watervoerende pakket zijn in bijlage 6.1.C twee weergaven opgenomen van de 5cm invloedsgebieden, het eerste en tweede watervoerende pakket.

De hydrologische invloed van HT opslag wijkt *bij gelijk debiet* niet sterk af van de invloed van lage temperatuuropslag. De lagere viscositeit zorgt voor een lagere intree weerstand en daardoor zal de stijghoogteverandering of onttrekking in de bron minder zijn dan bij koude opslag. Het leidt feitelijk tot een toename van de doorlatendheid van de watervoerende pakketten (en ook van de scheidende lagen). Uitgaande van een *gelijk thermisch vermogen per oppervlakte-eenheid*, is met HT opslag een lager debiet gemoeid en zijn de stijghoogte-effecten kleiner. De verlaging in de bronnen blijft gelijk maar de uitdoving van het drukveld verloopt steiler en de invloed strekt zich daardoor minder ver uit. In de berekende situatie zijn bronnen geclusterd waardoor de “hydrologische” benuttingsgraad van de ondergrond naar verhouding gelijk is gebleven met die van de alternatieven A en B.

Superpositie van alternatief B met alternatief C

De stijghoogte-effecten in de clusterzone (alternatief C) worden in beperkte mate gedempt door gelijktijdige tegengestelde injectie en onttrekking met hetzelfde debiet in watervoerend pakket 3. Echter vanwege de semigespannen toestand van watervoerend pakket 2 is de compenserende werking van de diepere onttrekking en injectie niet zeer sterk. Door een goed doordachte inrichting van een puttenveld kan bij HTopslag tegelijkertijd zowel een hoog thermisch rendement worden bereikt als een beperking van de hydrologische invloed. Superpositie van onttrekking en injectiekegels kan zowel het hydrologisch invloedsgebied van geclusterde bronnen in watervoerend pakket 3 als die in watervoerend pakket 2 en 1 sterk beperken. Het berekenen van een dergelijke asymmetrische onttrekking voegt echter weinig toe aan de essentie van de MER maar valt eerder onder een detailuitwerking van een puttenveld zoals die volgen op vergunningverlening.

6.2.4. Gevolgen van stijghoogteveranderingen

De meetwijze om te komen tot een vergelijking van invloedsgebieden (maximale afstand tussen willekeurige bron en berekende positief of negatief 5cm verschilcontour) is bruikbaar omdat blijkt dat door de toevallige invulling van individuele bronnen grote gevolgen heeft voor de richting waarin verlaging en verhoging zich uitstrekt. Langs een vijfde deel van de omtrek van het projectgebied blijft de 5cm beïnvloedingscontour binnen het projectgebied zelf, en langs ruwweg een vierde deel van de omtrek strekt het invloedsgebied zich maximaal uit.

Tabel 6.3, Verzameltabel stijghoogte-effecten.

Doelparameter	A Hydrologisch optimaal	B Thermisch Optimaal	C Hoge Temperatuur
WVP1			
Pos-neg 5cm invloedsgebied	5100 m	6200 m	1050 m
Max stijghoogteverschil	0,67 m	0,82m	0,34 m
WVP3			
Pos-neg 5cm invloedsgebied	5100 meter	6400 meter	1100
Max stijghoogteverschil	+/-7,0m (cluster)	+/-9,3m (cluster)	+/- 9,7m

Van de LT opslag alternatieven met groot debiet geeft bronconfiguratie conform alternatief A de laagste stijghoogte effecten, maar de verschillen met alternatief B zijn niet groot. De

verschillen lijken bovendien voor een deel toe te schrijven aan verschillen in de toevallige ligging van broncombinaties aan de periferie van het projectgebied.

Bij het vaststellen van de effecten van de verlagingen moet vanuit de optiek om worst case effecten rekening gehouden worden met de extremen van verlaging en verhoging van stijghoogte in bronclusters. In §6.5 worden de zettingsberekeningen uitgewerkt uitgaande van de berekende extremen die zich voordoen binnen het projectgebied. Hieronder wordt ingegaan op de stijghoogteveranderingen in de omgeving buiten het projectgebied.

Grondwaterstanden en waterbalans op maaiveldniveau
Binnen het beïnvloedingsgebied bevinden zich natuurwaarden die gevoelig zijn voor veranderingen in de hydrologische standplaatseigenschappen. Een verandering van de infiltratieflux zoals wordt veroorzaakt door de beoogde grondwaterverplaatsingen van PrimAviera kan leiden tot een verandering van grondwaterstanden en tot verder doordringen van oppervlaktewater in tot voorheen door neerslag gedomineerde ecotopen. De invloed van stijghoogteveranderingen beperkt zich tot een verschuiving van de infiltratieflux over het jaar waardoor er een verschil bestaat tussen effecten in gebieden met zomerinfiltratie enerzijds en winterinfiltratie anderzijds.

De stijghoogteveranderingen als gevolg van de grondwaterverplaatsing in PrimAviera leiden tot verandering van infiltratie. De maximale stijghoogteverandering in watervoerend pakket 1 bij variant B +C ontstaat in de situatie waarin zowel in watervoerend pakket 2 als in 3 wordt geïnjecteerd of onttrokken in dezelfde zone. Dat betreft dan 0,75m een maatgevende (worst case) verandering. Bij een minimale deklaagweerstand van 2500 dagen over een laagdikte van 7m leidt die verlaging van in totaal 0,75 m tot een toename van de infiltratieflux met 0,2mm per dag. Uitgaande van de aanname dat die infiltratie stand houdt gedurende 150 dagen per jaar en dat die ten koste gaat van de neerslagcomponent in de profielvoorraad verdwijnt 30mm per jaar uit de wortelzone. Deze infiltratieverliezen zijn enkele ordegroottes kleiner dan de capaciteit voor laterale aanvulling door de venige bovengrond. Een meetbaar effect op grondwaterstanden (kwantiteit) wordt daarom niet verwacht. Echter, in de kernzones van neerslaggedomineerde ecotopen zoals die voorkomen op verschillende eilanden, leidt de zomerse toename van infiltratie in het gebied tot een toename van de invloed van oppervlaktewater ten koste van neerslagtype bodemwater (effect op kwaliteit). Deze invloed hangt af van de ligging van het gebied ten opzichte van de verlagingsgebieden. Toename van de infiltratieflux in de zomerperiode met neerslagtekort heeft grotere gevolgen dan dezelfde toename van infiltratie in de periode met neerslagoverschot. De toename van de infiltratieflux moet worden vergeleken met de autonome infiltratieflux om een beeld te krijgen van de veranderingen in de grondwatersamenstelling.

De bestaande peilverschillen tussen boezem en Haarlemmermeerpolder zorgen voor een infiltratiefluxdichtheid van 13cm in dezelfde periode van 150 dagen (uitgaande van een stijghoogtegradiënt van 3m over de deklaag van 7 m dikte. Deze infiltratieflux is niet seizoensgebonden waardoor de totale jaarlijkse infiltratieverliezen in de ordegrootte van 31cm liggen. Deze ordegrootte van de jaarlijkse infiltratieflux volgt ook uit de resultaten die door TNO zijn gepubliceerd in 2004 (rapport NITG 04-189-B, Fig. 15). Daarbij moet worden opgemerkt dat de infiltratie in de gevoelige eilandecotoop zeker niet hoger is dan wat volgt uit deze berekeningen.

De relatieve invloed van de stijghoogtegradiënt die het gevolg is van de grootschalige grondwaterverplaatsingen in PrimAviera op de infiltratie (toename van 10-15%) kan worden

aangehouden als een maat voor de toename van de invloed van oppervlaktewater ten koste van neerslag.

De toevallige ligging van bronnen, die nou een maal intrinsiek is aan de evaluatie van verschillende bronlocaties, heeft een grote invloed op de vorm en ligging van de verlaging en verhogingscontouren. De min of meer toevallige realisatie van het stijghoogteveld per alternatief is geen voorspeller van veranderingen op *specifieke locaties*. Wel geven ze een beeld van de herkomst en uitingsvorm van grondwaterverplaatsingen op de schaal die wordt voorzien voor de verschillende alternatieven. Daarin zit ook gelijk een aanknopingspunt voor sturing van de stijghoogte effecten voor zover het de ligging en vorm van de beïnvloedingsgebieden. Om een goed beeld te schetsen van de gevolgen van bronlocatiekeuze volgens de ordeningsvoorschriften uit Hoofdstuk 5, zouden per alternatief een aantal random realisaties moeten worden doorgerekend.

Mitigerende maatregelen gericht op stijghoogte beïnvloedingsgebieden
De hierboven geschetste veranderingen van kwel en infiltratie hangen samen met een ongunstige en onnodige *superpositie* van stijghoogte effecten van B met C. De beoogde bronconfiguratie gaat echter uit van *tegenwerking* van stijghoogte-effecten van grootschalige verplaatsingen in het derde watervoerende pakket door de effecten van de ondiepere HT opslagclusters. De geschetste toename van de stijghoogtegradiënt over de deklaag van 0,75m is daardoor 0,3 tot 0,5 m oftewel 45% tot 66%kleiner. Deze beoogde optimale situatie gaat echter uit van een volledige gecontroleerde broninrichting. Er bestaat echter een kans dat deze vertikale uitdoving door superpositie van tegengestelde stijghoogteveranderingen in het eerste watervoerende pakket door falen van systemen niet wordt gerealiseerd. Indien die situatie langdurig zou blijven bestaan zou de stijghoogtegradiënt uitkomen op maximaal 0,55m, en de infiltratie in de oever van de eilanden van de Westeinderplassen zou als gevolg daarvan met 20mm per jaar toenemen.

De seizoensdynamiek van de verlaging en verhoging heeft door *timing* ten opzichte van neerslagverdeling over het jaar een invloed op de gevolgen van de toename van de infiltratieflux. Toename van infiltratie bij neerslagoverschot beperkt de laterale toestroming van oppervlaktewater. Er zijn twee mogelijkheden om deze *timing* gunstig te beïnvloeden:

1. sturing van de stijghoogte uitdovingsgebieden;
2. ompoling van het seizoenseffect door ompoling van de zone-indeling.

Sturing
De ligging van uitdovingsgebieden kan worden “ontworpen” of in andere woorden “gericht” op kwetsbare locaties in de omgeving. De seizoensinvloed zal daardoor niet merkbaar zijn onafhankelijk van of alle systemen actief zijn of niet. Immers ze zijn gebonden aan de stijghoogte dipool-effecten van bronparen. In de praktijk bestaat echter weinig vrijheid voor de keuze van bronlocaties. De ruimtelijke inrichting van kavel en infrastructuur legt beperkingen op waardoor sturing van uitdovingszones vrijwel zeker leid tot toename van kosten voor oa leidinglengte. Door bij de bepaling van bronlocaties bewust te zijn van de superpositie van stijghoogte-effecten kan mogelijk wel een bijdrage worden geleverd aan de beperking van stijghoogte effecten.

Ompoling
De drie-lobbige vorm van de stijghoogte invloedsgebieden bij alternatief B (bijlage 6.1.B) is het gevolg van de verdeling van bronnen over een oneven aantal bronclusterzones (zie bijlage H1.2). De ompoling van alle bronzones zorgt voor een ompoling van de verlaging van

de stijghoogte onder de Westeinderplas gedurende de zomermaanden naar een toename daarvan. Dat leidt tot tegenwerking van de zomerse autonome infiltratie waardoor de negatieve invloed van het peilbeheer in de Haarlemmermeer afneemt. Dit gaat ten koste van een toename van de kweldruk in de zomer binnen de Haarlemmermeer.

Mitigerende maatregelen gericht op extreme stijghoogteveranderingen
In de praktijk zullen de extreme verlagingen worden voorkomen omdat een ontwerper het bronontwerp afstemt op de omgevingsdruk. Vooral de geleidelijke volloop van het gebied en geleidelijke uitgifte van kavels maakt het onwaarschijnlijk dat de grote verlagingen daadwerkelijk worden gerealiseerd. Deze beperking verondersteld wel dat gedurende de volloop van het gebied voorzieningen zinvol worden voor de meting van stijghoogtecondities al naar gelang het gebruik van grondwater toeneemt.

6.3. Worst case thermische effecten

De temperatuur van het grondwater zal significant veranderen. Vanwege de eis van een neutrale energiebalans wordt geen systematisch overschot van warmte of koude gecreëerd en zijn geen significante effecten te verwachten op kwaliteit en samenstelling van bodem en grondwater.

De bodemlagen waarin KWO plaatsvindt, behoren alleen nog bacteriologisch tot de biosfeer, zodat er geen gevolgen voor flora en fauna zijn.

Het grondwater in de betrokken watervoerende pakketten is niet verontreinigd. Effecten van de onttrekkingen op verontreinigingen zouden kunnen bestaan door verandering van grondwaterstroming van richting of qua snelheid.

Het project heeft geen andere gevolgen voor het milieu buiten Nederland dan dat het aan een niet-registreerbare vermindering van het broeikasgaseffect bijdraagt.

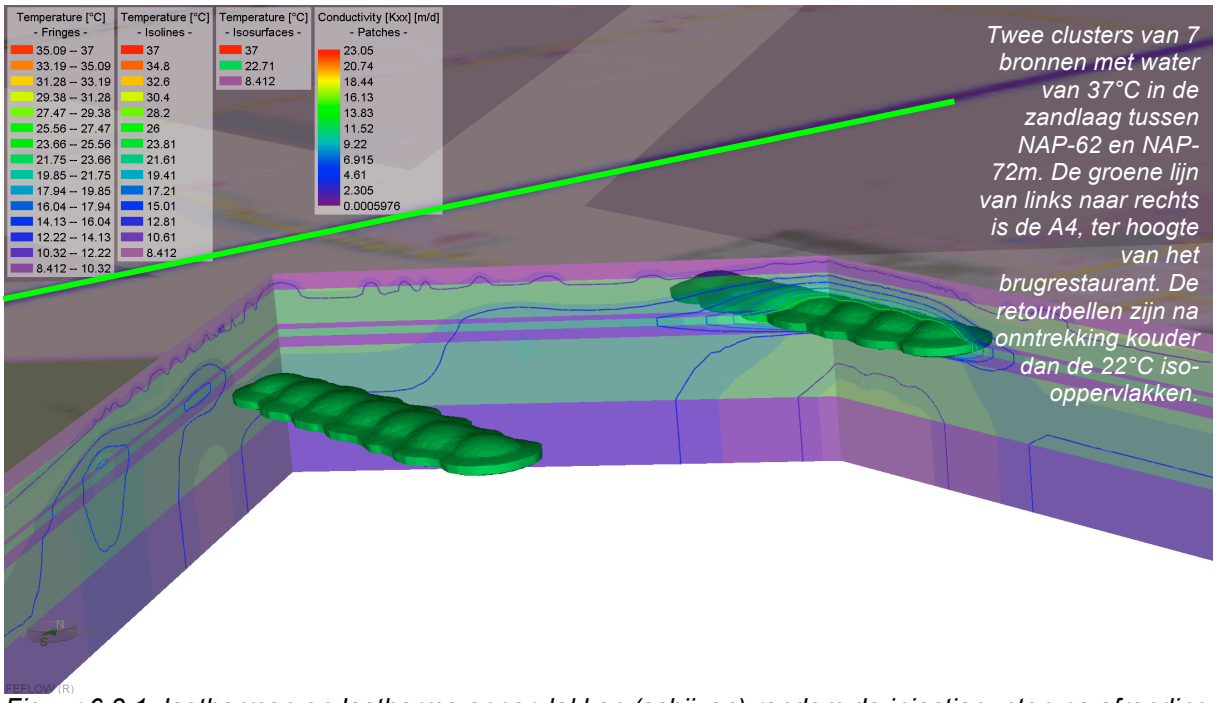
6.3.1. Alternatief A Hydrologisch optimaal
In bijlage 6.2.1 is weergeven hoever het thermisch invloedsgebied zich uitstrekt in het derde watervoerende pakket bij maximaal gebruik van het in de vergunning aangevraagde debiet na 20 jaar. Daaruit blijkt dat de dichte invulling van het gebied voor enkele bronnen op lange termijn ongunstige effecten heeft (aantrekken van ongewenste energie uit nabijgelegen bellen).

6.3.2. Alternatief B thermisch optimaal
In bijlage 6.2.2 is weergeven hoever het thermisch invloedsgebied zich uitstrekt in het derde watervoerende pakket bji maximaal gebruik van het in de vergunning aangevraagde debiet na 20 jaar. De zone indeling van bronnen heeft op de zeer lange termijn (>>20jaar) aanzienlijke voordelen boven kruislingse ligging van bronnen. Thermische dissipatie zorgt voor een graduele verhoging van de gehele zoneoppervlakte. Het bodemvolume onder de overgangszones, waar de thermische invloed van zowel warm als koud zich doet gelden, is dan goed afgebakend. De relatieve rendementsverschillen tussen alternatieven A en B voor de zeer lange termijn is niet gekwantificeerd.

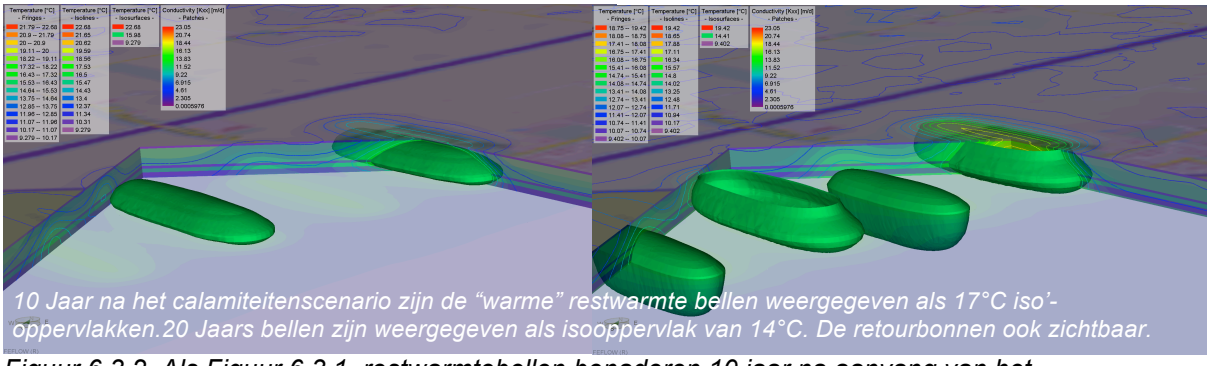
6.3.3. Alternatief C HT Opslag.
In bijlage 6.2.3 is weergeven hoever het thermisch invloedsgebied zich uitstrekt in het derde watervoerende pakket bij maximaal gebruik van het in de vergunning aangevraagde debiet na 20 jaar.

Langjarige thermische effecten calamiteitenscenario

In analogie met §6.2.3. is het verschil van effecten van C met beide alternatieven A en B dat de thermische benuttingsgraad van de bodem sterk is toegenomen. Dat heeft gevolgen voor de lange termijn effecten van achtergebleven “warmwaterbellen”. De berekening daarvan is verder doorgetrokken dan de effectberekening van alternatieven A en B. Deze “worst case effecten van HT opslag” doen zich voor bij abrupt staken van de bedrijfsvoering van het onttrekkings-systeem vlak na laden van restwarmte. De kans op het optreden van deze calamiteit is klein maar reëel. Deze initiële conditie is hieronder in figuur 6.3.1 weergegeven zoals ze zich voortdoet aan het einde van 20 jaar normaal gebruik. De warme grondwaterbellen en retourbellen zijn vervolgens 500 jaar gevolgd om te zien in hoeverre deze zich verplaatsen onder invloed van geleiding, regionale grondwaterstroming met dispersie, en dichtheidsstroming met dispersie.

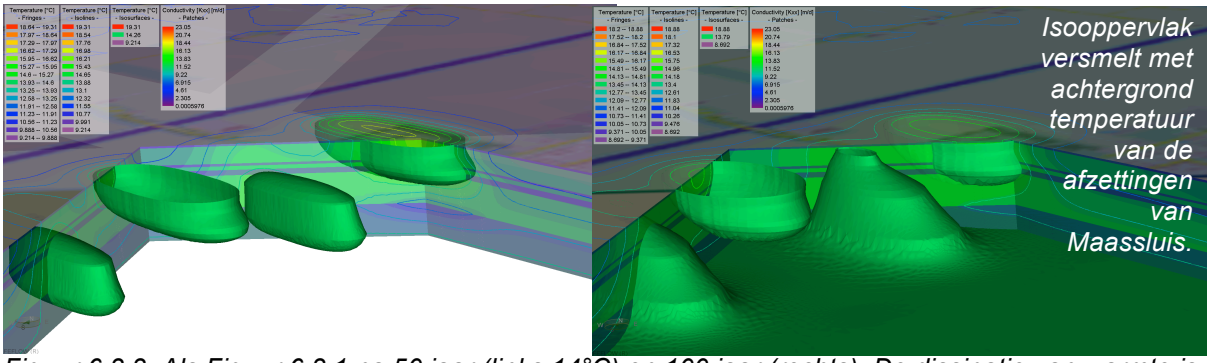


Figuur 6.3.1, Isothermen en Isotherme oppervlakken (schijven) rondom de injectiepunten na afronding van de 20ste laadfase van water van 37°C in formatie van Sterksel Zandpakket 2. Let op, de temperatuur van de isotherme oppervlakken in de volgende figuren neemt af in de tijd.

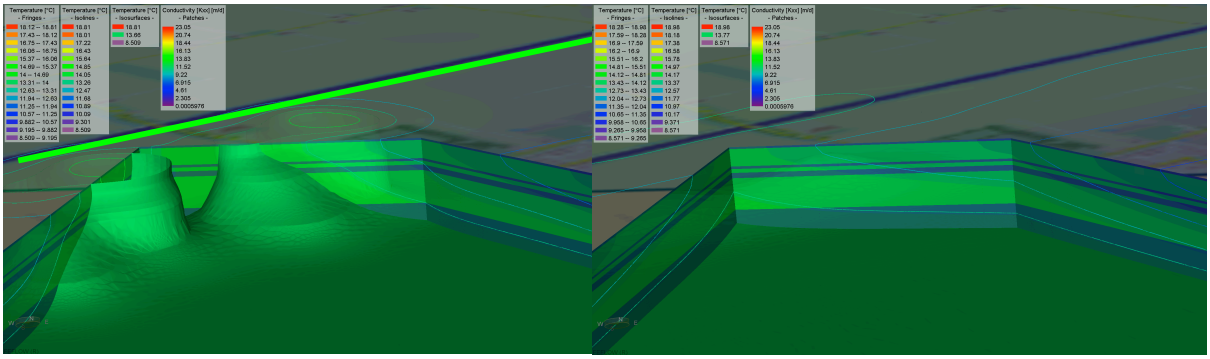


Figuur 6.3.2, Als Figuur 6.3.1, restwarmtebellen benaderen 10 jaar na aanvang van het calamiteitenscenario het maaiveld (links) en na 20jaar (rechts) bereikt de deklaag bereikt een

temperatuur van 17°C. Het 20jaars' iso-temperatuuroppervlak van dan 14°C laat dan ook de retourbron-restbellen zien die niet zijn opgedreven.



Figuur 6.3.3, Als Figuur 6.3.1 na 50 jaar (links 14°C) en 100 jaar (rechts), De dissipatie van warmte is dan zover gevorderd dat de temperatuur van de bel overeenkomt met die van de diepere ondergrond.



Figuur 6.3.5, Als Figuur 6.3.1 na 200 jaar (links) en na 500 jaar (rechts).

De door warmte beïnvloede zone op maaiveldniveau strekt zich dan uit tot aan de A4. De maaiveldtemperatuur kan niet worden berekend met de methode die hier gebruikt is omdat de warmteflux afhankelijk van het landgebruik aan de atmosfeer zal worden overgedragen in de vorm van een toename van bodemvochtverdamping (latente warmteflux) en een toename van de temperatuur van het kweldeel in het drainwater. Het thermisch vermogen dat wordt ontwikkeld door de warme bel zorgt in de onverzadigde zone voor een toename van bodemleven en daardoor mogelijk tot een toename van de hoogte van de permanent gereduceerde (zuurstofarme) zone in de ondergrond.

Het ontwikkelde thermische vermogen wordt voor een beperkt deel via geleiding overgedragen aan de onverzadigde zone boven het drainageniveau. Deze warmtestroom wordt tegengewerkt door de infiltratie van neerslagoverschot. In periodes van langdurig neerslagtekort of als de bodem wordt afgeschermd door een kas, kan deze geleidings-warmtestroom de temperatuur aan het aardoppervlak beïnvloeden. Dat leidt in principe tot een toename van de latente warmteflux (bodemverdamping en gewastranspiratie door verlenging van het groeiseizoen). De geleidingswarmtestroom door de onverzadigde zone is een klein deel van de totale warmtestroom naar het aardoppervlak. Zelfs als de ondergrondtemperatuur meetbaar stijgt is het de vraag of het leidt tot een significante toename van de verdamping en gewastranspiratie. De verdampingswarmte van water is immers zo groot dat slechts een kleine toename van de waterbalanspost "verdamping" compensatie kan bieden voor de geleidings-warmtestroom uit de diepte. Per mm bodemwaterverdamping wordt 22,5 kJ aan de bodem onttrokken. Dat is voldoende om een

53 mm hoge waterkolom met 10°C af te koelen. Deze verdamping gaat in principe ten koste van de lokale waterbalans.

Aangezien het grootste deel van het gebied waar de warmtebel aan het aardoppervlak verschijnt bezet wordt door niet grondgebonden teelten onder glas valt weinig op voorhand te zeggen over de gevolgen van deze temperatuurstijging. In situaties van landbouwkundig gebruik, waar gedurende de zomermaanden normaal gesproken watergelimiteerde stress voorkomt bij vegetatie en gewassen, zal deze stress toenemen. De mate waarin dit zal optreden wordt bepaald door teelt, specifieke locatiekenmerken (waterbergend vermogen en drainage-intensiteit) en vooral van oppervlaktewaterbeheer. Daartegenover staat dat de toename van de lengte van het teeltseizoen voor veel teelten een veel grotere opbrengstvermeerdering met zich meebrengt dan de opbrengstverlaging die het gevolg is van droogtestress.

De periode waarin de grootste temperatuurtoename wordt verwacht, tussen 10 en 100 jaar na de abrupte beëindiging van de grondwateropslag moet ervanuit worden gegaan dat het landgebruik mogelijk gevoeliger is voor klimaatverandering. De gevolgen daarvan zijn speculatief.

Kwalitatieve prognose voor effecten bij injectie op veel hogere temperaturen.
De intentie om grondwater op te slaan bij temperaturen tussen 45 en 70°C zoals voorzien in energieconcept 3 gaat gepaard met vergelijkbare effecten met dien verstande dat:

1. de warmte zich sneller omhoog verplaatst,
2. de effecten eerder merkbaar zijn,
3. de warmteflux aan maaiveld toeneemt,
4. de effecten van kortere duur zijn,
5. de effecten zich voor een groot deel binnen de kavel voordoen en waarschijnlijk geheel binnen het projectgebied blijven.

Voorgenomen bedrijfsbeëindiging na onttrekking van de opgeslagen warmte
Naast het lot van de twee “warme” bronclusters is ook het lot gevolgd van de uitgenutte warmtevelden. De temperatuur daarvan ligt komt overeen met de voorgenomen wijze van beëindiging van de bedrijfsvoering van de opslag. Deze warme bellen hebben een veel kleiner dichtheidsverschil waardoor de hoeveelheid warmte gedurende veel langere tijd vrij komt aan de oppervlakte.

6.3.4. Samenvatting

De effecten van OEO zijn per alternatief verzameld en weergegeven in tabel 6.4.

Tabel 6.4, Verzameltabel thermische effecten

Doelparameter	A Hydrologisch optimaal	B Thermisch Optimaal	C Hoge Temperatuur
Deklaag	Nvt	Nvt	14°C T=20jr bij (40°C injectie)
WVP1			
Invloedsgebied	Binnen kavelgrens	Binnen kavelgrens	500 m buiten kavelgrens
Beïnvloeding aanvang	Nihil‡	Nihil	20 jaar‡
Beïnvloeding einde	Nihil	Nihil	200 jaar tot 1000 jaar
WVP3			1100
Invloedsgebied	0 m	0 m	Nvt, beperkt tot SDL2
Beïnvloedingsperiode	Nihil†	Nihil	Nvt, koude opslag tbv balans

‡ Bij alternatieven A en B dringt bij normaal functioneren van het systeem nauwelijks warmte door in Watervoerend pakket 1. De HT opslagvariant is beoordeeld aan de hand van de worst case uitkomst.
† Diffusie en dispersie zorgen gedurende de verblijftijd van het beïnvloede water >500jaar voor nivellering van de verschillen. Berekening van de uitdovingstijd die gemoeid is met eventuele "slechtst denkbare situatie" conform de 500-jaars berekening van alternatief C is niet uitgevoerd vanwege de beperkte meerwaard van de resultaten. De schijnbare zekerheid die wordt geleverd door deterministische numerieke modellen voegt geen waarde toe aan de resultaten, en het doet geen recht aan de werkelijkheid zonder de onzekerheidsstructuur van het gebruikte model voor dat doel inzichtelijk te maken.

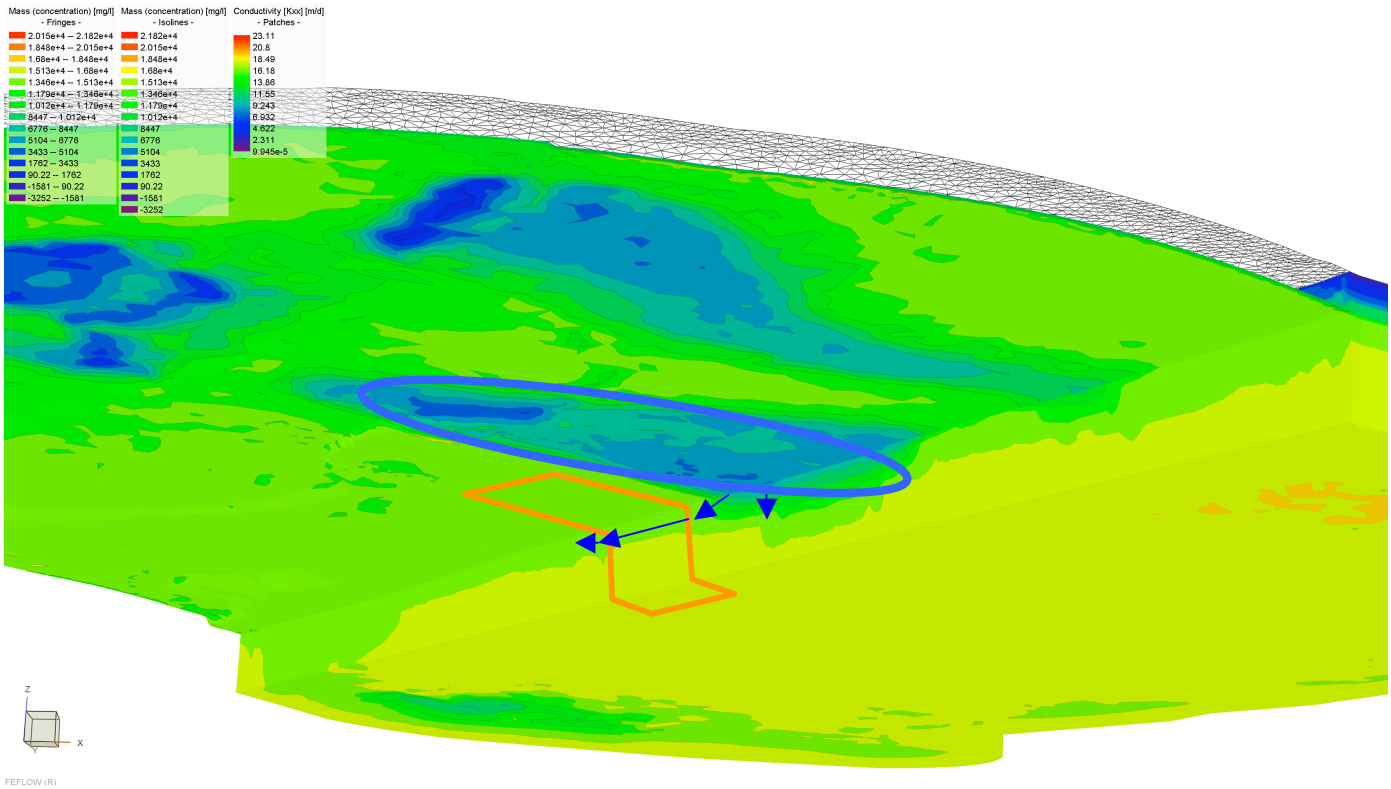
De berekende minimale en maximale stijghoogte is indicatief omdat de modellen onderling verschillend zijn qua ruimtelijke discretisatie van het numerieke netwerk. De kans bestaat daarnaast dat de toevallige ligging van bronnen die nou een maal intrinsiek is aan de evaluatie van verschillende bronlocaties verschillen veroorzaakt die niet toegeschreven zouden moeten worden aan de configuratie. Deze ruiscomponent is neutraal maar hierdoor kan wel een vals positieve of vals negatieve uitslag ontstaan. De combinatie van honderden bronnen maakt het mogelijk om de configuraties te beoordelen op gemiddelde verschillen omdat daarmee de fout wordt verdeeld over positieve en negatieve onterechte toegewezen uitschieters.

In de praktijk zullen de extreme verlagingen niet optreden omdat een ontwerper zijn bronpompontwerpfase afstemt op de omgevingsdruk en daarbij wordt niet zoals in deze synthetische simulatiesituatie "tegen de klippen op" doorgepompt.
Deze aanpak veronderstelt wel dat gedurende de volloop van het gebied voorzieningen zinvol worden voor de meting van stijghoogtecondities al naar gelang het gebruik van grondwater toeneemt.

De berekende afstand waarover de verlagingen en verhogingen nog merkbaar zijn verschillen, maar voor zowel A als B geldt dat niet de configuratie het grote verschil maakt maar invulling van de randen van het gebied. Daar waar brontypen elkaar afwisselen reikt de invloed nauwelijks buiten het projectgebied. Daar waar zoals in variant A de periferie van het puttenveld wordt bezet door hetzelfde brontype is de uitdoving van de binnenzijde niet in staat om de aaneensluiting van beïnvloedingsgebieden te voorkomen.

6.4. Verzilting

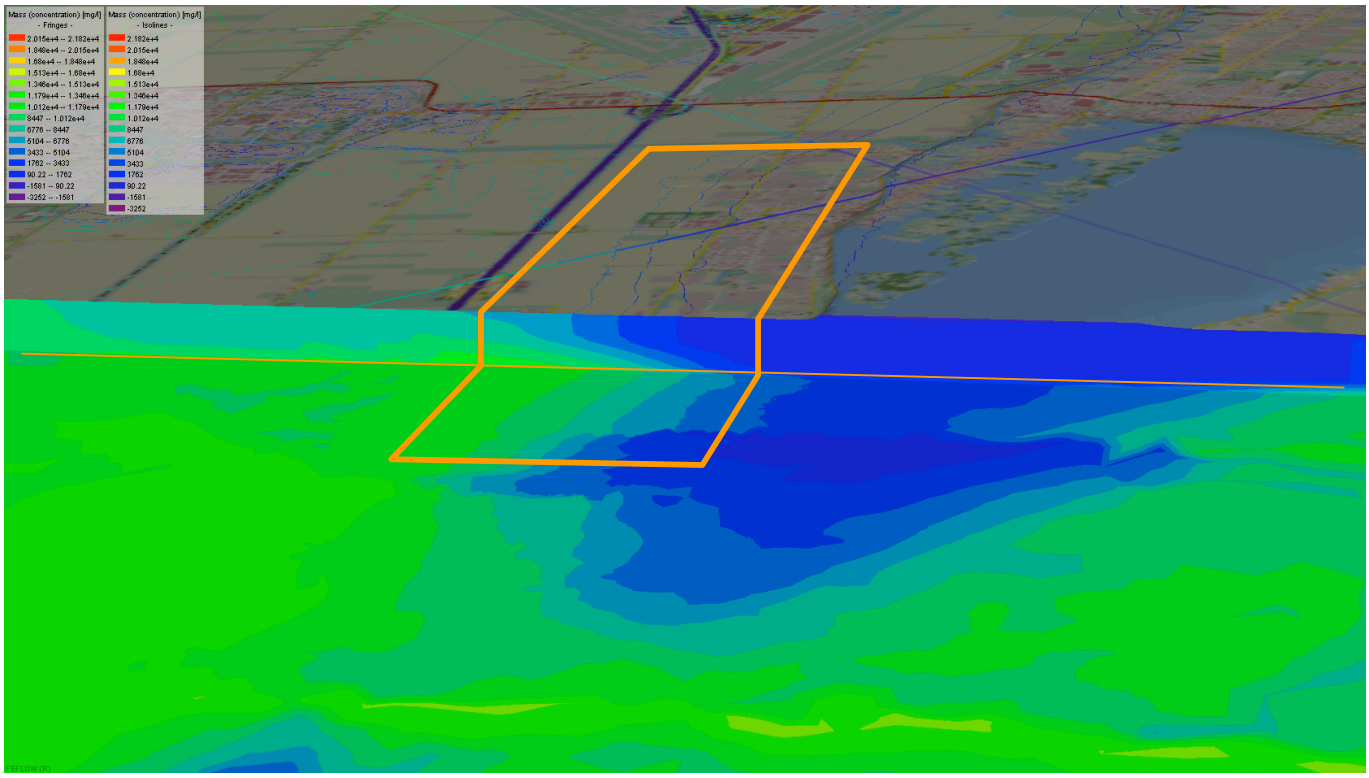
De concentratie van opgelost zout in het grondwater in watervoerend pakket 3 neemt toe in de diepte. In figuren 6.4A en 6.4B is een dwarsdoorsnede weergeven met zoutgehalte in de ondergrond haaks op de centrale as van projectgebied.



Figuur 6.4, Onderaanzicht van chlorideconcentratie in 2010 in het derde watervoerende pakket langs vertikale dwarsdoorsnede haaks op de centrale as van PrimAviera, en horizontale dwarsdoorsnede op NAP-85m scheidende laag.

De infiltratie van zout (blauw) water onder de Westeinder plas drijft grondwater in het injectiepakket ter plaatse van het projectgebied overwegend horizontaal. De opwaardse component in de grondwaterstroming neemt relatief toe wat te zien is aan een beperkte kwel door de tweede scheidende laag aan de westzijde van het projectgebied. Dezelfde kwelflux drijft de restwarmtebellen omhoog zoals zichtbaar is aan figuren 6.3 en 6.5.

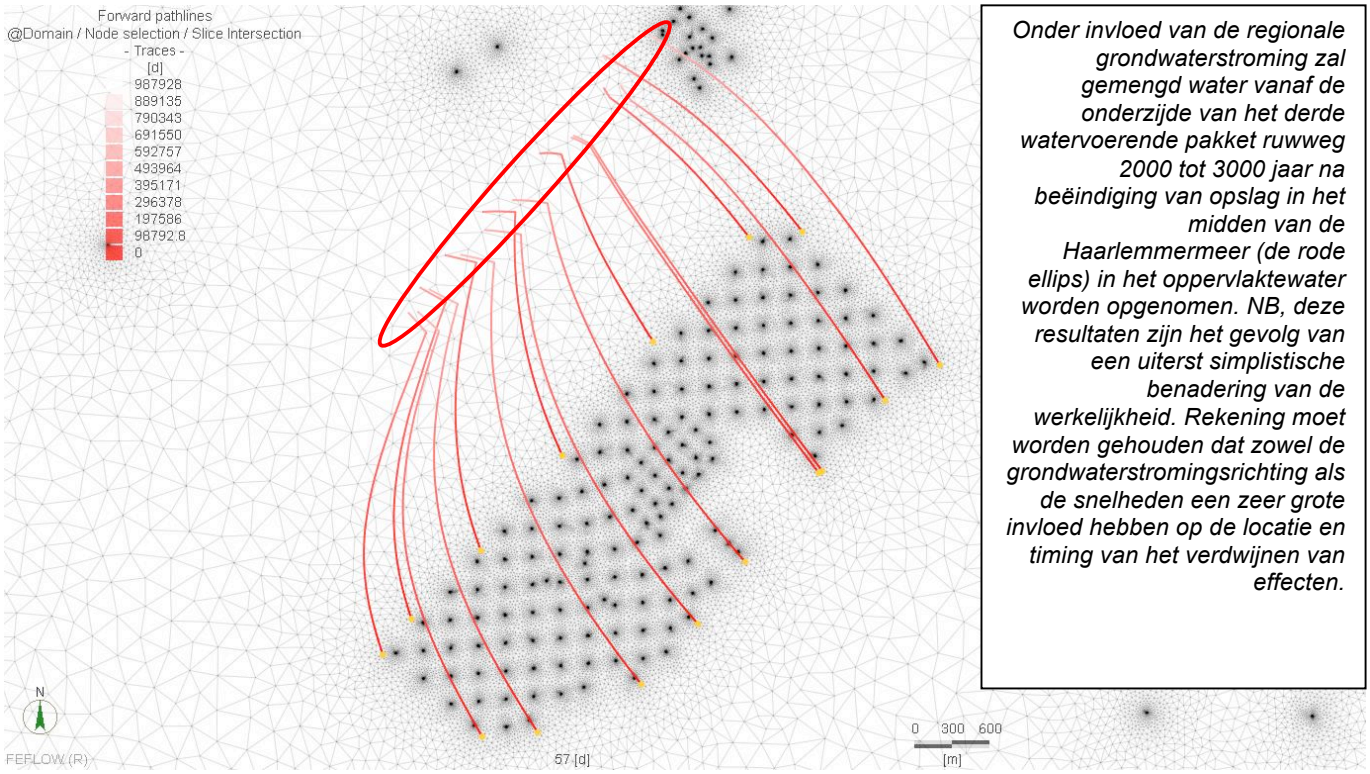
De jaarlijkse vermenging van miljoenen m^3 grondwater zorgt na 20 jaar voor een vrijwel homogeen zoutgehalte in het derde watervoerende pakket binnen de contouren van het projectgebied. Aan de bovenzijde van het derde watervoerende pakket neemt de zoutconcentratie toe en aan de onderzijde neemt het iets af. Deze menging van zout met zoet water is niet berekend. Een dergelijke berekening vereist toevoeging van zouttransport aan de thermische 20jaarsberekeningen. Deze zijn uitgevoerd op een wijze die rekening houd met dichtheidsverschillen en viscositeitsverschillen en deze vragen het uiterste van de beschikbare hardware.



Figuur 6.4B, Als 6.4 bovenaanzicht op NAP-60 m, ter hoogte van bovenzijde van scheidende laag 2.

Na berekening van de zoutconcentratie onder invloed van menging zouden daarna minimaal 2 berekeningen uitgevoerd moeten worden voor transport gedurende de komende 1000 jaar om te komen tot een verschilberekening van zoute kwel. In het licht van de regionale berekeningen die door TNO zijn uitgevoerd in de eerder genoemde rapportages uit 2004 en 2009 is de onzekerheid over de autonome ontwikkelingen als gevolg van klimaatverandering op de ontwikkeling van zoute kwel te groot om de losstaande component van ondergrondse energieopslag te berekenen.

De modelberekeningen geven wel zicht op de grondwaterstromingsrichting en snelheid. Die verandert niet wezenlijk omdat het verticale massa-evenwicht niet verandert. Daarom zal de kwelstroom vanuit het derde watervoerende pakket gericht blijven naar het midden van de Haarlemmermeer. Daar zal over vele honderden jaren de zoutconcentratie in het kwelwater verder toenemen. In figuur 6.5 is door middel van particle tracking een gebied afgebakend waar volgens het effectmodel de veranderingen zich doen gelden, en wanneer deze invloed verdwijnt. Van alle effectberekeningen heeft deze de grootste onzekerheid. Zowel locatie als periode waarin dit effect zich voordoet zijn gevoelig voor bijvoorbeeld horizontale doorlatendheden (Kh) van watervoerende pakketten en weerstand van de deklaag. Het gebruik van de conservatieve waarden voor de Kh van WVP1, 2 en 3 hebben als gevolg dat in werkelijkheid de effecten zich eerder zullen voordoen en sneller zullen verdwijnen. De plaats in de polder waarin de kwelwatersamenstelling zal veranderen zal in werkelijkheid verder naar het midden van de polder liggen, waardoor de reistijd weer toeneemt. Voor de 500jaars berekening van het lot van warm water onder alternatief C geldt in principe hetzelfde, afgezien van het feit dat de onzekerheid van doorlatendheid van wvp 1 minder onzeker is dan die van wvp3.



Onder invloed van de regionale grondwaterstroming zal gemengd water vanaf de onderzijde van het derde watervoerende pakket ruwweg 2000 tot 3000 jaar na beëindiging van opslag in het midden van de Haarlemmermeer (de rode ellips) in het oppervlaktewater worden opgenomen. NB, deze resultaten zijn het gevolg van een uiterst simplistische benadering van de werkelijkheid. Rekening moet worden gehouden dat zowel de grondwaterstromingsrichting als de snelheden een zeer grote invloed hebben op de locatie en timing van het verdwijnen van effecten.

Figuur 6.5, Ruimtelijke en temporele afbakening van invloed van grondwatermenging.

Ondanks dat de in figuur 6.5 beschreven termijn van duizenden jaren het gevolg is van extreme extrapolatie in de tijd is er geen twijfel over de grondwaterstromingsrichting in het gebied. Bij handhaving van de oppervlaktewaterpeil instellingen in de Haarlemmermeer zal het door PrimAviera beïnvloede water naar verloop van tijd in het midden van het gebied worden opgenomen in het oppervlaktewater, om vervolgens via boezemwater naar zee te worden afgevoerd. De invloed van ingrepen in het oppervlaktewaterpeil op de grondwaterstromingsrichting en snelheid is nihiel voor situaties waarbij de Haarlemmermeerpolder blijft bestaan. Het “ontpolderen” van de Haarlemmermeer zou zorgen voor een vrijwel volledig uitblijven van geohydrologische effecten.

6.5. Zettingen

Grondwateronttrekking en grondwaterinjectie hebben gevolgen voor de mechanische spanningen in de bodem. Zettingen ontstaan overal waar de drukverlaging in de waterfase moet worden overgenomen door spanning in het korrelskelet. Daar waar deze drukverlaging groter is dan de maximale spanningen die zich in het verleden hebben voorgedaan kan de zetting aanzienlijk zijn. Een deel van deze zetting is reversibel, vanwege de elasticiteit van zand, maar zettingen in kleihoudende lagen en in veen is over het algemeen irreversibel. De zetting doet zich vooral voor in klei en veenpakketten.

De beoogde onttrekkingsdiepte is voor watervoerend pakket 2 tussen NAP -62 en -72 meter, en voor Watervoerend pakket 3 tussen NAP-85 en -175 meter. De kleilagen die daarboven en daartussen liggen zijn al 10duizenden jaren onderhevig aan samendrukking door de massa van de bovenliggende sedimentpakketten. Deze kleilagen zijn daarom vaak zeer vast en kunnen nog maar weinig poriënvocht afstaan, zelfs al zou de spanningstoename groot zijn.

6.5.1. Berekende zettingen

De zettingen in het gebied zijn berekend op basis van de verlagingen zoals die staan weergegeven in bijlage 6.1. De berekeningen staan toegelicht in bijlage 7. De berekende zetting blijkt gering te zijn, namelijk minder dan 0,07 m. Het grootste deel van de zetting komt uit de scheidende laag tussen het eerste en tweede watervoerend pakket. Van de scheidende laag zijn alleen boorstaten beschikbaar. Deze geven alleen inzicht in de bodemopbouw. In de zettingsberekening is daarom uitgegaan van geschatte, pessimistische samendrukkingseigenschappen, zodat een bovengrenswaarde van de zetting is berekend.

Significante waterstandsverlagingen strekken zicht uit tot enkele honderden meters van de onttrekkingsbronnen in het geval van geclusterde opstellingen. De berekende zettingen, welke optreden in de scheidende laag op een diepte van ca. 81 m, zullen in het geval van de geclusterde bronnen meetbaar zijn aan het aardoppervlak. In het geval van de kruislingse bronopstelling zal door herverdeling van spanningen (boogwerking) redelijkerwijs geen verschilzetting waarneembaar zijn aan het maaiveld.

Daarnaast moet worden bedacht dat in de zettingsberekening is aangenomen dat de verlaging van de waterdruk permanent is, gedurende 30 jaar. In werkelijkheid zal de stijghoogte (waterdruk) verlaging in elke bron slechts maximaal 200 dagen per jaar optreden. Ook zal het merendeel van de tijd met een lager debiet worden onttrokken, waardoor de verlagingen in de praktijk lager zijn dan waarmee is gerekend. Hierdoor zal het zettingsproces nog langzamer of niet tot ontwikkeling komen dan is berekend.

Bodemdaling in het gehele gebied

Vanwege de simultane onttrekking van tientallen miljoenen m^3/jr met 140 bronnen die voorzien wordt bij de toepassing van grootschalige LT OEO zal over het gehele projectgebied de bodem dalen. De boogspannings-reductiefactor is relevant voor vervormingen aan het maaiveld zoals die normaal gesproken getoetst worden met het oog op te verwachten schade aan gebouwen en funderingen. De zettingen in de ondergrond kunnen als gevolg van superpositie van de zettingskegels leiden tot maaivelddalingen *in clusterzones* van maximaal 7cm. Boogspannings overname is daarbij niet meer van toepassing.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een dikte van het derde watervoerende pakket van 100 m met daaronder een niet-compacteerbare basis. Gezien de grote diepte en als gevolg daarvan de sterk toenemende korrelspanning onder deze 190m grens is zetting van die sedimentpakketten onwaarschijnlijk. Echter goede gegevens met betrekking tot de samendrukkingseigenschappen ontbreken en als gevolg daarvan moet rekening gehouden worden met een zettingsbijdrage aan de bovengenoemde 7 cm vanuit die diepere afzettingen.

Onttrekkingen zoals die voorzien zijn in alternatief C vinden plaats onder een iets minder grote druk vanwege de hogere injectietemperatuur en. Daarnaast heeft de afzetting in werkelijkheid naar verwachting een hogere doorlatendheid dan waarmee gerekend is in het model voor alternatief C. De verlagingen bij het beoogde debiet zijn daardoor aanzienlijk lager dan die zijn voorzien voor de bronnen in watervoerend pakket 3.

Concluderend kan worden gesteld dat de energieopslag slechts een geringe en praktisch verwaarloosbare verschilzetting teweeg zal brengen met het oog op schade aan gebouwen

en funderingen. De zettingen aan het maaiveld worden verwacht bij bronclusters. Daling van maaiveld zorgt bij gelijkblijvende peilinstellingen voor relatieve stijging van de grondwaterstanden bij gelijkblijvende autonome ontwikkelingen m.b.t. verzilting. De alternatieven A en B hebben aldus gevolgen voor de waterstaatkundige toestand en indirect voor de kwaliteit van oppervlaktewater.

Opbarsting
De aanwezigheid van wellen in de Haarlemmermeer geeft aan dat het gebied kritisch is met betrekking tot opbarstingsrisico's. De huidige toestand kan bij toename van kweldruk onder invloed van zeespiegelstijging verslechteren met als gevolg een toename van de zoutlast van het oppervlaktewatersysteem. Het streven naar peilopzet in de veenweide gebieden en in de duinen zal worden nagevolgd in de Haarlemmermeer. Peilopzet verlaagt de kweldruk en heeft een gunstige invloed op de stabiliteit van de deklaag.
Voor een inschatting van de opbarstingsrisico's moeten meer gegevens worden verzameld over samenstelling en opbouw van deklaag en over de daadwerkelijke stijghoogteveranderingen in het eerste watervoerende pakket.

Laterale demping van stijghoogteverschillen door nabijgelegen tegengestelde onttrekkings/injectiekegels kan in het grondwaterstromingsmodel worden onderzocht maar daarmee kunnen geen uitspraken worden gedaan over ruimtelijke verspreiding van risico's. Clustering van bronnen zorgt voor een toename van opslagrendement ten koste van een toename van zetting en opbarstingsrisico's vanwege superpositie van positieve en negatieve drukveranderingen.

Tabel 6.5, Verzameltabel zettingen en opbarstingsrisico's

Doelparameter	Referentie	A Hydrologisch opt	B Thermisch Opt.	C Hoge Temperatuur
Deklaag opbarsting	±†	+	+	++
Zettingen maximaal	Nvt	7cm	7cm	3cm

† ± autonoom risico, + risico beperkt, monitoring stijghoogte wvp1, ++ risico aanwezig, toetsing boorprofiel opnemen in voorschriften.

De zettingen en risico's met betrekking tot opbarsting zijn het grootst bij injectie in geclusterde ondiepe bronnen. De diepte waarop wordt onttrokken in het derde watervoerend pakket is zo groot dat de relatieve toename van de belastingen (zetting) zoals berekend bij alternatief A en B beperkt blijft. Het onttrekken van grondwater uit de zandlaag van Watervoerend pakket 2 zoals is voorzien in alternatief C leidt tot een toename van de *snelheid* van de zettingen maar niet tot een toename van de maximale eindzetting. De variabiliteit van de weerstand van scheidende laag 1 is een belangrijke onzekerheidsfactornaar. Toevallige afwezigheid van deze weerstand kan lokaal zorgen voor een toename van de stijghoogte-effecten in watervoerend pakket 1 en daardoor voor toename van het opbarstingsrisico.

Beheersing van opbarstingsricio's is eenvoudig door bij een geleidelijke toename van de OEO capaciteit de dynamiek van de daadwerkelijke stijghoogte van de reeds bestaande systemen te evalueren en te betrekken bij ontwerp van de beoogde uitbreiding. Door vanaf het begin rekening te houden met toenemende bronafstand hoeven deze beperkingen niet te leiden tot grote toename van de kosten van opslagsystemen. Dat is vooral van toepassing bij alternatief C vanwege de geleidelijke toename van de clustering van HT opslag in het tweede watervoerende pakket. Beoordeling van stabiliteit kan eenvoudig aan de hand van sonderingen en beoordeling van laagopbouw op basis van boorprofielen.
Boorwerkzaamheden moeten de

6.6. Energieverbruik versus milieueffecten

De energetische prestaties van het projectgebied worden bij gelijke technologie vooral bepaald door de mate van systeemintegratie. Twee uitersten zijn denkbaar namelijk een volledig ontbreken van uitwisseling tussen bedrijven met als tegenpool de vergaande integratie van rendementsverhogende energietechnieken via centraal transport en opslagfaciliteiten. De beschikbaarheid van restwarmte en mogelijk ook aardwarmte uit geothermie maken het zinvol om opslag van koude en warmte los te koppelen zoals beschreven in diverse energieconcepten in hoofdstuk 2. Daarmee ontstaan drie voordelen:

1. De opslag van warmte en koude kunnen beter op de gebruiker worden afgestemd;
2. De dekkingsgraad van laagwaardige warmte en koude kan toenemen ten koste van de inzet van koolwaterstoffen of andere hoogwaardige energiebronnen;
3. Een eventueel collectief overschot van warmte kan centraal worden gecompenseerd door efficiënte koeling met collectieve droge koelers.

Nadelen van deze fysieke scheiding zijn :

a. een toenemende complexiteit van uitwisseling, opbrengst- en kostenverdeling;
b. een verder toenemende investeringslast, met mogelijkheden voor compensatie door een groter rendement en langere levensduur.

Ondergrondse Energie Opslag vormt daarmee geen alternatief voor WKK, Geothermie, of andere warmtebronnen zoals wel het geval is bij toepassing van warmtepompen *in plaats van* WKK, HR ketels of geothermische warmte. De seizoensopslag biedt mogelijkheden tot optimalisatie van de opbrengst van warmte en koude waarmee een bijdrage wordt geleverd aan de concurrentiekracht van duurzame energiesystemen.

Tabel 6.6 Primair energieverbruik per alternatief vergeleken met milieueffecten

alternatief	Verbruik¥ per jaar [M^3aeq/m^2]	E-investering ondergronds† [MWh/GWh]	±5 cm stijghoogte Afstand	MaaiveldT Calamiteit Max T [°C]	Verzilting Periode	Micro-biologie	Chemie	Ecologie	Zetting Max [cm]	Zetting Rand [cm]
WKK-	11	+/-	Nvt.	nvt	Nvt	nvt	nvt	Nvt	-10	-10
A	7.9 – 44‡	0,20	5100 m	-	3000 jaar	-	-	-	-<17	<<-17
B	7.9 – 44	0,21	6200 m	-	3000 jaar	-	-	+/-	-<17	<<-17
C <45°C	8	0,55	1100 m	17	<500 jaar	+/-	-	+	-<13	<<-13
C <80°C	5.3	0,18	1100 m	>17	500 jaar	+	--	+	-<13	<<-13

† Eenmalige investering gebaseerd op 30 jaar levensduur, gedeeld door opgeslagen hoeveelheid energie in 1ste bedrijfsjaar in GWh.
‡ De waarden lopen sterk uiteen afhankelijk van de verhouding tussen inzet van verschillende energieconcepten en het aandeel gesloten kas.
¥ Het verbruik betreft energie in m^3 genormaliseerd aardgas. Dat gaat gepaard met uitstoot van 1,78 kg CO_2/m^3 aeq.

De gevolgen van alle opslagvarianten nemen af naar mate het debiet en de opslagdiepte afnemen en, daarmee samenhangend, de opslagtemperatuur oploopt. De uitwerking van Alternatief C met HTopslag tussen 65 en 75 m diepte zorgt voor een sterke afname van de kapitaallasten en hoeveelheid PVC/staal voor de bronnen. De effecten zijn groter en sneller merkbaar aan het maaiveld. Daartegenover staat dat een groot deel van de effecten van opslag sneller verdwenen zijn en dat ze zich minder ver uitstrekken vanaf de projectocatie.

6.7. Meest Milieuvriendelijke Alternatief

Het MMA wordt gevormd door een combinatie van bronzones in watervoerend pakket 2 en 3, alternatieven B + C, onder de 3 voorwaarden dat

I. injectie en onttrekking boven elkaar plaatsvindt in de twee watervoerende pakketten, en
II. het totale debiet wordt beperkt tot 60 miljoen m^3 per jaar, en
III. dat de zone-indeling wordt omgepoold van 8 w/7koud naar 8koud en 7 warm indien het tegengaan van infiltratie in de Westeinder plassen in de zomer prevaleert boven de kwel in de Haarlemmermeer en de infiltratie ten noorden en ten zuiden van PrimAviera.

De voorgenomen activiteit beoogt de optimale inzet van grondwater gebaseerd op grootschalige inzet van warmtepompen met een grote diversiteit van bedrijfstemperaturen in combinatie met opslag van restwarmte op temperatuurniveaus tot 85°C in het tweede watervoerende pakket. Dat komt overeen met het MMA.

De verwachtingen ten aanzien van de grootschalige opslag van water met temperaturen tot 28°C zijn teruggelopen en als gevolg daarvan is het vergunnen van de totale opslagcapaciteit van het gebied nu niet noodzakelijk. De effecten zijn berekend voor een debiet van in totaal 21600 m^3 per uur (75m^3/hr·ha verdeeld over 285ha in wvp3), 18000 (63m^3/hr·ha, verdeeld over 285ha in wvp3), en 1680 m^3 per uur (37m^3/hr·ha, verdeeld over 45ha in wvp2 en 3). Gezien de effecten van grootschalige grondwateronttrekkingen en het irreversibele karakter van sommige effecten is een plafond van het totale jaardebiet wenselijk. De volgende capaciteit volstaat:

a. WVP 3: 12000 m^3 per uur (80 bronnen a 150 m^3 per uur
b. WVP 2: 5000 m^3 per uur (166 bronnen a 30 m^3 per uur,

Groene elektriciteit

Grootschalige veranderingen van de energiemix zullen doorslaggevende invloed hebben op de CO_2 uitstoot van de verschillende energieconcepten. Bij ingebruikname van kernenergiecentrales, grootschalige CO_2 afvang en opslag bij kolencentrales, of bij succesvolle uitrol van lange-afstand DC Hoogspanningsnetwerken (windenergiedistributie) zal de prestatie van warmtepompsystemen snel en spectaculair verbeteren en concurrerend worden met WKK systemen op CO_2 uitstoot. De opslagcapaciteit in de ondergrond kan als gevolg daarvan mogelijk zelfs binnen de volloopperiode leiden tot overschrijding van de aangevraagde capaciteit door de opslagbehoefte. In die situatie is het zone-systeem van alternatief B superieur aan het kruislingse patroon van alternatief A, vanwege het hogere “zeer lange termijn opslagrendement”.

Het zoneregime van alternatief B +C biedt daarnaast verschillende voordelen:

1. voor de houder van de gewenste parapluvergunning :een helder afwegingskader;
2. voor investeerders en derden biedt ze bescherming van belangen en duidelijkheid;
3. voor de gemeente biedt het mogelijkheden om de ruimtelijke aspecten in ruimtelijke plannen te verankeren.

De ompoling van warme en koude bronclusterzones zoals genoemd onder mitigerende maatregelen in §6.2.4 draagt, zelfs in situaties waarbij de volledige aangevraagde capaciteit van de ondergrond wordt benut, bij aan het *terugdringen* van eutrofiëringproblematiek in neerslag-gedomineerde ecotopen die het gevolg is van peilbeheer in de Haarlemmermeer.

Deze positieve invloed op het milieu gaat ten koste van de oppervlaktewaterkwaliteit van het Polderwater als gevolg van een toename van de zomerse kwelflux in de polder zelf. Netto is het effect op infiltratie in beide polariteiten van alternatief B neutraal. Gezien de EHS status van de Westeinder plassen en de ligging binnen het hydrologisch invloedsgebied dat uitstraalt vanuit het midden van het projectgebied valt de ompoling van de zones te prevaleren.

Bij onvolledig gebruik van de capaciteit in de ondergrond zullen de effecten van opslag aanzienlijk minder zwaar uitpakken. De zoneconfiguratie heeft in die situatie van onderbenutting een vierde voordeel ten op zichte van kruislingse plaatsing :

4. combinatie van vrijheid voor keuze van optimale bronlocaties met tegenwerking van de stijghoogte-effecten door verderafgelegen bronclusters.

Daarnaast heeft de *ondiepe* HT opslag het volgende voordeel boven diepe HT opslag *en* diepe LT opslag :

5. de kosten die samenhangen met monitoring en of beheersing van calamiteiten zijn aanzienlijk lager.

Dit laatste argument weegt zwaarder naarmate de opslagtemperatuur oploopt. Bij verschuiving van de energieopslagcapaciteit of vermogen van LT naar HT opslag nemen de te verplaatsen hoeveelheden water af met een verhouding van 3:1 bij 45°C tot 6:1 bij opslag tot 80°C. De zettingseffecten die zich kunnen voordoen in het gehele projectgebied zullen daardoor afnemen ten opzichte van de berekende zettingen bij zeer grootschalige OEO met hetzelfde vermogen. De *maximale* verlagingen en verhogingen nemen maar beperkt af. Deze hebben echter nauwelijks zettingen tot gevolg.

De mogelijkheid tot benutting van het derde watervoerende pakket voor LT opslag gaat daarbij niet verloren en kan bij veranderingen van de competetiviteit van warmtepompsystemen op kosten, CO_2-uistoot of aardgasverbruik zo worden ingericht dat stijghoogte-effecten van derde en tweede watervoerend pakket worden tegengegaan *binnen dezelfde bronzones.*

Bestaande systemen in het projectgebied zijn geplaatst in watervoerend pakket 2. De thermische invloedsgebieden daarvan dienen te vallen binnen de nog vast te stellen contouren van warme en koude zones.

De lokale thermische onbalans die het gevolg is van opslag van water met temperaturen boven 28°C wordt *per aquifer* (op enige afstand van de HT opslag) of *op dezelfde locatie* in een andere aquifer gecompenseerd. Daarbij wordt gebruik gemaakt van koude verliezen die optreden bij seizoensopslag van koude overschotten.

Vanwege de voortdurende onbekendheid van effecten van verhoogde temperaturen in opslagsystemen zal monitoring van fysische, chemische en biologische toestand bijdragen aan kennis en inzicht in processen waarover momenteel nog vragen bestaan. Ontwikkeling van monitoringmethoden (zoals microchip capillary electrophoresis technology) en procesautomatisering kunnen in de nabije toekomst leiden tot sterke toename van inzicht en daardoor tot beheersbaarheid van fysische en chemische risico’s

7. EVALUATIE

7.1. Aandachtspunten

Energieverbruik per oppervlakte-eenheid kas.
Ondergrondse Energie Opslag maakt inzet van laagwaardige warmte en koude mogelijk waardoor de inzet van aardgas wordt verminderd. Cruciaal voor het succes van inzet van laagwaardige warmte is het aanpassen van de minimumeisen van de energiegebruikers. De nadelige milieueffecten van de opslag van laagwaardige warmte moeten worden afgewogen tegen de voordelen ervan. De voordelen worden uitgedrukt in energieverbruik per oppervlakte-eenheid kas. In de richtlijnen voor de MER is echter aangegeven dat de prestaties van de verschillende alternatieven moeten worden vergeleken op het niveau van eenheden product. Deze prestatie-indicator gaat uit van de verwachtingen dat gekoelde teelten leiden tot kwaliteitsverhoging en verhoging van de intensiviteit van de teelten. Echter de huidige ontwikkelingen geven aan dat die voordelen niet specifiek kunnen worden toegeschreven aan toepassing van gesloten kasconcepten.

Er bestaan grote verschillen tussen teelten in warmte- en koudebehoefte. De marktontwikkelingen van energieprijzen en productopbrengst leiden tot een toename van flexibel inzetbare kastypen. Gedurende de levensduur van de schil (kas) moeten ze geschikt blijven voor verandering van teelten. Hetzelfde geld voor de energie-infrastructuur binnen de bedrijven. De vergelijking per eenheid product voor PrimAviera verliest het daardoor snel van de actualiteit vanwege mutaties in de oppervlakteverhoudingen van teelten. In plaats van een prestatie-analyse waarin een groot aantal vraag-aanbod ontwikkelingsscenario's zijn uitgewerkt is daarom gekozen voor universele energie-verbruiks-prestatieindicator : *Genormaliseerde m^3 aardgasequivalent per m^2 kasoppervlak per jaar.*

Superpositie van milieu-effecten van inpoldering en ondergrondse energieopslag
Verschillende milieueffecten zijn gevolg van de hydrologische omstandigheden van het Haarlemmermeergebied. Deze autonome eigenschappen zijn in sommige opzichten spectaculair en uitzonderlijk. Deze omstandigheden bieden zowel voordelen als nadelen. De milieueffecten van grootschalige OEO worden toegevoegd aan de autonome ontwikkelingen die samenhangen met een van de grotere waterstaat kundige werken uit het verleden. De inpoldering van de Haarlemmermeer heeft een invloed op de hydrologie tot op een afstand van tientallen kilometers.

Het voordeel van het peilbeheer van de Haarlemmermeer is dat de hydrologie zo sterk wordt beïnvloed dat er geen twijfel bestaat over het lot van grondwater zolang het peilbeheer van de Haarlemmermeer in stand wordt gehouden. De invloed van OEO op de stijghoogte in het *eerste watervoerende pakket* is echter een aandachtspunt voor beheer omdat de stabiliteit van de deklaag onder de autonome condities al in het geding is. De invloed van OEO op de chemische en fysieke toestand van *diep* grondwater is in termen van volume, energie-inhoud en zoutconcentraties aanzienlijk. Deze invloed uit zich echter niet aan het maaiveld omdat de autonome ontwikkelingen die samenhangen met het handhaven van polderpeil omdat de effecten optreden over termijnen die de menselijke schaal overschrijden en daarnaast over de gehele effect-duur neutraal zijn.

Volloop van het gebied

De projectie van bronlocaties op het projectgebied is in werkelijkheid aanzienlijk ingewikkelder en grilliger dan hetgeen in de MER is onderzocht. Zelfs als er beperkte opslagcapaciteit zal worden gerealiseerd is er weinig vrijheid voor de keuze van bronlocaties omdat de kosten van de bovengrondse inpassing van leidingen en bronnen een belangrijk onderdeel uitmaken van de economische haalbaarheid van OEO. Het gevolg daarvan is dat de ruimtelijke inrichting van bronnen niet primair gericht wordt op de vanuit milieu-oogpunt gewenste uitdoving van stijghoogte-invloeden of anders het perfect clusteren van bronnen van hetzelfde type. Om gedurende de volloop toch zekerheden te bieden naar eventueel toekomstig gebruik van de ondergrond heeft het zone-regime van alternatief B een sterke voorkeur boven de kruislingse ligging van bronnen van alternatief A.

7.2. Onzekerheidsanalyse

De beschikbare middelen om de milieu-effecten in kaart te brengen moeten zo goed / doelmatig mogelijk worden verdeeld over de posten die critisch zijn voor de vergunningverlening. De kwaliteit van de bepaling van de milieu-effecten wordt onder andere bepaald door de volgende aspecten:

omgevingsinformatie

I. metingen
   - a. bodemeigenschappen
     - i. monstername
     - ii. meten van hydraulische eigenschappen
   - b. laagdiepte/dikte
   - c. grondwaterdruk/stijghoogte
   - d. grondwatersamenstelling

II. verwerking en distributie meetgegevens
   - a. interpolatie horizontaal/vertikaal
   - b. opbouw ondergrondmodel
     - i. afzettingsgeschiedenis
     - ii. fysische aspecten
     - iii. chemische aspecten

numeriek simulatiemodel

III. gebruik van geïnterpreteerde en verwerkte meetgegevens
   - a. vaststellen doelen voor ondergrondmodel
     - i. maximale stijghoogte-invloed
       1. zetting en opbarsting
       2. grondwaterstroming
     - ii. maximale thermische invloed
       1. ruimteclaim
       2. energiebalans
       3. langjarige verschillen
   - b. opbouw grondwaterstromingsmodel
     - i. vereenvoudiging laagopbouw
     - ii. verfijning laagopbouw
     - iii. keuze horizontale knooppuntdichtheid
     - iv. keuze modelrandafstand en modeldikte
   - c. vaststellen initiële toestand en autonome processen/trend
   - d. vaststellen verwachtte grondwateronttrekkingen
     - i. broneigenschappen, debietverdeling en locaties
     - ii. temperatuurverloop
   - e. vaststellen worst case condities voor verwachtte onttrekkingen

IV. rapportage (beoordelingsplatform)
   - a. onderscheid reële en mogelijke effecten
   - b. greep op schaalverhoudingen
   - c. beperking van verwachtingen ten aanzien van voorspelbaarheid

7.2.1. Grondwaterstromingsmodel

De totale samengestelde onzekerheid in de modelresultaten is niet gekwantificeerd. Toetsing van het model is uitgevoerd aan de hand van reproduceerbare gegevens met het oog op de effecten van de ingrepen (zoutgehalte, stijghoogteverhang en boorgatwandsnelheden).

kwantitatieve onzekerheidsanalyse.

Om een oordeel te kunnen vellen over de kwaliteit van numerieke modelberekeningen kan gebruik worden gemaakt van statistische hulpmiddelen/software zoals PEST, SCEM-UA en UNCSAM. Daarmee kan het onderzochte ondergrondmodel worden onderworpen aan vele manipulaties van alle relevante variabelen binnen de kansdichtheidsfunctie van de betreffende variabelen. Deze aanpak heeft over het algemeen per invoer-variabele 5 verschillende waarden nodig. Voor een 13 tot 15 laags 3Dmodel waarin tegelijkertijd verschillende invloeden worden meegenomen (stroming van water met verschillende in massa, temperatuur en viscositeit) betekend dat ongeveer 40 potentiële invloedrijke variabelen waarvan interactie niet kan worden uitgesloten. Daardoor zijn 100 tot 250 modelberekeningen nodig om te komen tot een optimale modelinstelling. Aangezien de rekentijd van dit modeldomein afhankelijk van het rekendoel tussen 1 en 11 etmalen ligt (bij gebruik van zware PC's) is een goede kwantitatieve onzekerheidsanalyse een disproportioneel zware taak. Daarom is gekozen voor worst case parameters in combinatie met toetsing aan de hand van globale indicatoren langjarig zouttransport, snelheid en verlaging bij bronnen en ligging en vorm van stijghoogtedieptepunt in de polder.

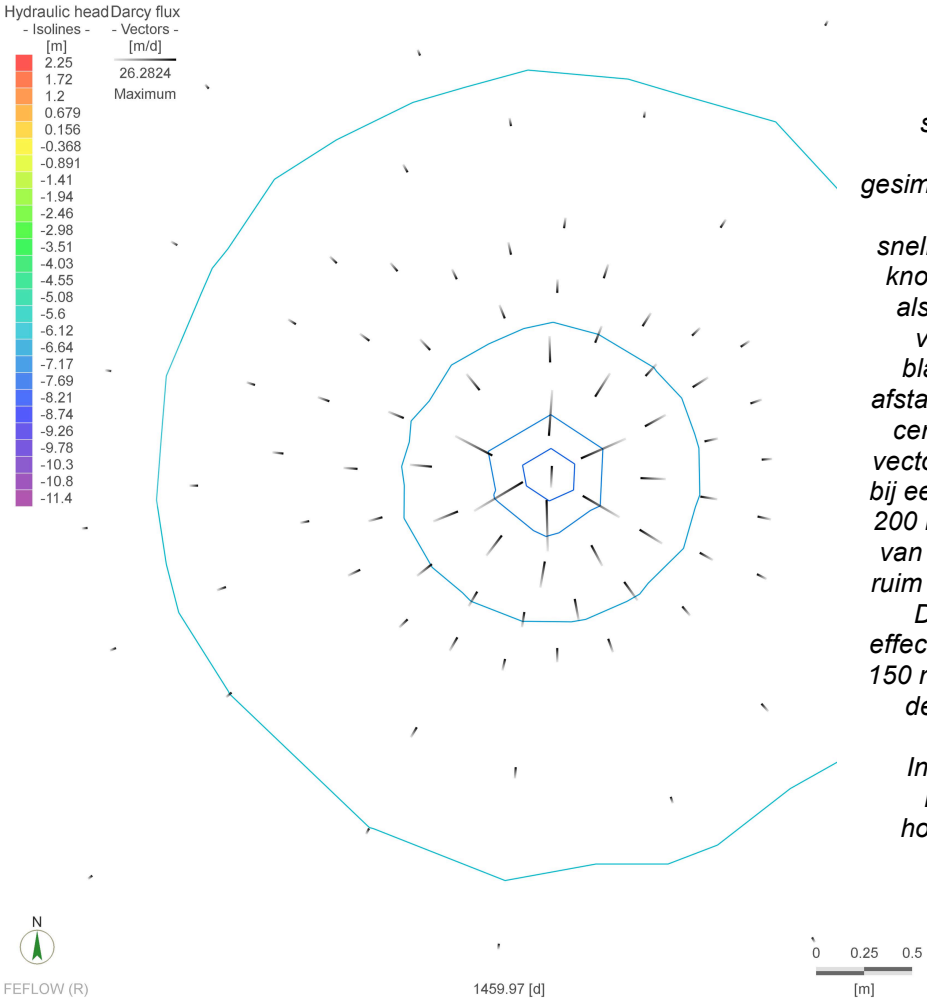
Invoergegevens

De keuze voor het gebruik van REGISII voor de opbouw van geohydrologische modellen is efficiënt en reproduceerbaar. De hydraulische eigenschappen van de modellagen zijn getoetst in eerdere modelstudies en geschikt bevonden voor geohydrologisch onderzoek. Een veelgebruikte aanpassing van REGIS kentallen betreft een verdubbeling van de horizontale doorlatendheid van de sedimentpakketten die deel uitmaken van watervoerende pakketten. Een verdubbeling van deze horizontale doorlatendheid zorgt voor een sterke beperking van stijghoogte-effecten. Een dergelijke aanpassing zou voor watervoerend pakket 3 betekenen dat de stijghoogteinvloed in de bovenliggende pakketten veel minder uitgesproken zou zijn. De handhaving van de originele REGIS waarden is conservatief en leidt zodoende mogelijk tot een onderschatting van de beschikbare capaciteit. De boordiepte van de belangrijkste boring in het gebied is te beperkt (100 m) om de conservatieve waarden aan te passen. Indien blijkt bij de eerste boringen dat de capaciteit van de ondergrond inderdaad veel groter is dan in deze MER is aangenomen zullen de effecten van de OEO installaties beperkt blijven.

Modelrandstijghoogtes zijn afgeleid uit isohypsenbeelden die zijn berekend op basis van vereenvoudigde aquifer indelingen. Bij gebrek aan stijghoogtegegevens die passen bij de ruimtelijke discretisatie van de REGIS modellagen, en omwille van eenvoud is gekozen om de modelrand daarom te kiezen op of net buiten de boezem van de Haarlemmermeer. De vertikale stijghoogteverschillen tussen watervoerende pakketten liggen aan de westzijde niet ver uit elkaar, en de vertikale weerstand tussen de kleilagen is daar niet groot. De fouten die het gevolg zijn van deze "slordige" aanpak liggen ver buiten het interessegebied.

Boorgatwandsnelheid

De verschillen tussen gemeten en berekende stijghoogte moeten zo klein mogelijk zijn. Daarbij zijn vooral de extremen relevant en die treden op in de nabije omgeving van bronnen. Boorgatwandsnelheden (figuur 7.1) en stijghoogteverlagingen en verhogingen in bronnen vormen voor de effectberekeningen een scherp toetsingscriterium.



Figuur 7.1, Illustratie van toetsing op boorgatwandsnelheid en stijghoogteverlaging in de omgeving van een gesimuleerde grondwaterbron. In het model worden snelheden berekend op ieder knooppunt, en weergegeven als vectoren. De eerste ring van knooppunten (tweede blauwe contour) ligt op een afstand van 50-60 cm van het centrale bronknooppunt. De vectorlengte in dit figuur geeft bij een onttrekkingsdebiet van 200 m^3/uur en een filterlengte van 60 m snelheden aan van ruim 1 m/uur, net op de norm. De grootste bronnen in de effectmodellen zijn kleiner (tot 150 m^3/uur). Bij infiltratie geldt de strengere infiltratienorm van 0.89m/uur (NVOE). Infiltratie van koud water is maatgevend vanwege de hogere viscositeit bij lagere temperaturen.

Toevalligheid vorm stijghoogte-invloedsgebied en invloedsafstand

De schaal van de onttrekkingen en de aantallen bronnen vormen een grote reeks herhalingen waardoor de effecten van modelonzekerheid buiten het projectgebied goed kunnen worden vertrouwd. Dat houdt in dat willekeurige andere bronconfiguraties niet zomaar tot gevolg kunnen hebben dat de afstand waarover het 5cm invloedsgebied zich uitstrekt groter wordt dan wat met deze bronconfiguraties is berekend.

Vereenvoudigingen van de laagopbouw

De tijdafhankelijke berekeningen van transport van miljoenen m^3 water per jaar met dichtheidsverschillen en viscositeitsverschillen onder invloed van temperatuur en concentratie van opgeloste zouten vragen enorme aantallen rekenstappen. De schaal van het gebied dat in het model moet worden opgenomen is daarnaast zo groot dat sterke vereenvoudigingen nodig zijn geweest om de effecten te kunnen berekenen op de beschikbare hardware. Deze vereenvoudigingen hebben invloed op de uitkomsten van de

berekeningen. De concessies die zijn gedaan aan de horizontale en verticale discretisatie zijn gericht op het bereiken van een model waarmee de worst case condities voor de stijghoogteveranderingen kunnen worden berekend.

De modelresultaten zijn in kaart gebracht per modellaag en daaruit is verscheidende malen een verbeteringscyclus doorlopen (beoordeling-toeschrijving-modelaanpassing). Aanpassingen en controles leidden zo tot de uiteindelijke acceptatie van modellen. De ontwikkeling van zoutconcentraties en stijghoogte gedurende 159 jaar zijn vergeleken met gemeten waarden en modelberekeningen die voor andere doelen zijn uitgevoerd. Daarna is met dezelfde uitgangspunten het driehoeksgrid opgebouwd voor alternatief B. Voor alternatief C is een andere laagopbouw gebruikt voor filterstellingen in het tweede watervoerende pakket. Alle modellen werken met dezelfde randvoorwaarden en initiële condities, zoals berekend met het model “voor 2010”.

7.2.2. Gevoeligheid modelrandligging

Een belangrijke consequentie van de modelrandkeuze (net buiten de Haarlemmermeerboezem) is dat het 5cm invloedsgebied op minder dan 1xspreidingslengte afstand ligt van de modelrand. Het is daardoor onduidelijk of er sprake is van interactie tussen de modelrandstijghoogte en de conclusies over de 5cm beïnvloedingsafstand.

Hetzelfde geldt voor de voortplanting van stijghoogte-effecten in de diepte. In de alternatieven A en B is de onderste modellaag begrensd op NAP-300m. Bij de regionale grondwaterstromingsberekeningen (TNO-2004) is ook het vierde watervoerende pakket (onder Maassluis) betrokken bij de berekeningen. De keuze voor een diepere geohydrologische basis zou tot gevolg hebben dat de berekende hydrologische effecten minder ingrijpend lijken, wat afbreuk doen aan de worst case benadering.

7.2.3. Discretisatie horizontaal en vertikaal

De berekening van de initiële condities van stijghoogte en stroming met transport van zout en warmte rekening houdend met effecten van dichtheid en viscositeit is moeizaam te realiseren met een modelnetwerk dat tegelijkertijd geschikt is voor de effectberekeningen. De berekening van langjarig zouttransport vraagt een hoge dichtheid van het modelgrid in de westflank van de Haarlemmermeer terwijl de effectberekeningen van 140 bronnen juist een hoge dichtheid van knooppunten noodzakelijk maakt in het projectgebied. De nadruk is gelegd op de laatste waardoor de berekeningen van zouttransport lokaal onrealistische waarden laten zien. In figuur 4.3 is duidelijk te zien dat de zoutmassa in de kwelzone in de Haarlemmermeer direct langs de boezem te hoog uitpakt en in de infiltratiezone aan de zuidpunt schiet de zoutconcentratie “onder nul”. Verdere inspanningen om deze afwijkingen van het zouttransportmodel te verbeteren zoals toevoegen van verschillende extra modellagen of verdere verdichting van de modelgebieden met sterke stijghoogte-gradiënten van 159 jaar zijn niet gerechtvaardigd gezien de doelstelling van het project. De resultaten bevestigen de bekende situatie dat de inpoldering van de Haarlemmermeer zeer grootschalige gevolg heeft op de hydrologie van het gebied.

numerieke instellingen ter onderdrukking van instabiliteit

De schaal van het model in aantallen knooppunten ligt net onder de grens van wat met 6GB DDR2 ramgeheugen nog kan worden gedraaid. De rekentijd voor 20jaars berekeningen met 2 verschillende onttrekkingsregimes bedraagt 11 etmalen op een dualcore 3.4GHz cpu. De uitzonderlijk grote berekende debieten vormen een bijzonder fenomeen voor de werkelijkheid en voor de hardware. Om met deze moeizaam passende randvoorwaarden (grote

knooppuntafstanden) toch stabiele berekeningen te krijgen is bij de berekeningen “voor 2010” gebruik gemaakt van de shock capturing techniek waardoor de dispersiecoëfficiënt dynamisch en volautomatisch werd vergroot bij modelzones waar de gradiënten van concentratie, stijghoogte of temperatuur te sterk toenam. Daardoor ontstaan lokaal balansfouten in de zoutmassa en als gevolg daarvan zal mogelijk het vertikale transport op verschillende modelranden onrealistische waarden hebben aangenomen. De effecten van die fouten zijn vermengd met werkelijk optredende effecten en niet traceerbaar zo lang ze geen fysisch onmogelijke situaties veroorzaken zoals negatieve concentraties.

7.3. Samenvatting onzekerheidsanalyse

De schaal van de onttrekkingen is zo groot dat bij correcte berekening van boorgatwandsnelheden en stabiel warmtetransport aangenomen kan worden dat de veel tragere autonome grondwaterstroming ook kan worden vertrouwd. Hetzelfde geldt voor de langjarige berekeningen die aangeven dat de berekende zoutmassa in de ondergrond na 159 jaar niet sterk afwijkt van hetgeen in de ondergrond daadwerkelijk wordt aangetroffen. Hierover valt veel meer te zeggen vanwege de arbitraire initiële horizontaal homogene zoutconcentraties in de ondergrond. De rand-stijghoogtes passen niet goed op de verschillende modellagen, de correctie voor zoutwaterstijghoogte in zoetwaterstijghoogte is grof en de historische peilinstellingen zijn niet exact uitgewerkt.

Door gebruik te maken van de zeer uitgebreide databases voor hydrologische berekeningen wordt voortgeborduurd op de waardevolle erfenis van bodemonderzoek uit het verleden. Onderzoek naar regionale milieutoestand, grondwatervoorraden en klimaatverandering zoals die in het verleden door onder andere ICW en TNO-NITG zijn uitgevoerd bieden gezamenlijk een ongekend beeld op de context van de milieu-effecten van grootschalige OEO in PrimAviera. Door gebruik te maken van dezelfde datasets en de bouw van een zeer gedetailleerd grondwaterstromingsmodel is de totale ruis die samenhangt met berekening van *effecten* van de grootschalige grondwaterverplaatsing beperkt. Door voor de effectberekeningen conservatieve waarden aan te houden is de kans dat effecten worden onderschat veel kleiner dan dat ze worden overschat. Voor de belangrijkste effecten die samenhangen met de stabiliteit van de ondergrond (zettingen en opbarsting) is gebruik gemaakt van contextgegevens zoals boringen en reële verlagingen en verhogingen in grote OEO bronnen.

8. LITERATUUR

Advies duurzaam gebruik van de bodem voor Warmte-Koudeopslag, Technische commissie bodem, TCB S045, 6 oktober 2009.

Advies voor richtlijnen voor het milieueffectrapport: Ondergrondse Energie Opslag PrimAviera te Rijsenhout, Rapportnummer 2275-30 Commissie voor de milieueffectrapportage, 17 juli 2009.

Van den Berg et. Al., 1976, Hydrologie en waterkwaliteit van Midden West Nederland, ICW regionale studies 9.

Buildesk, Second opinion semi gesloten kassen (2010), Evaluatie gekoelde teelten MEIregeling, iov Ministerie van LNV en Productschap Tuinbouw.

Carrera V, et al, Computational and conceptual issues in the calibration of seawater intrusion models, Hydrogeology Journal (2010) 18: 131-145

Feflow 6.0-x64, 2010, (www.feflow.info) DHI-Wasy Gmbh

Goudswaard P, Koolwijk E, Schlattman S, Energieagenda vraagt om nieuw bodembeleid, Cogen Projects, September 2009, iov Innovatienetwerk.

Grondwaterverordening Noord Holland Provincie Noord Holland, 1999

Handboek Milieumaatregelen Glastuinbouw GLAMI, 2000

Hecht-Mendez J, et a, Evaluating MT3DMS for Heat Transport Simulation of Cosed Geothermal Systems. Ground Water vol. 48, No. 5 (741-756)

Juridisch kader energieopslag, concept-knelpuntanalyse i.o.v. SIKB IF Technology, 01-09-2006

MLU for windows (Multilayer Unsteady state)
Journal of Hydrology 90, p. 231-249 (1987) and 225: p. 1-18 and p. 19-44 (1999)
(www.microfem.com/products/mlu.html) K. Hemker

Ontwerpnormen voor bronnen voor Koude-warmteopslag i.o.v. Novem IF Technology, 03-2001

Ontwerprichtlijnen ondergrondse energieopslag NVOE, 11-2006

Oude Essink G, et al. Zoet zout studie provincie Flevoland, TNO Bouw en Ondergrond (2008)

Oude Essink G, et al, Verkennende studie klimaatverandering en verzilting grondwater in zuid-Holland, TNO Buow en Ondergrond (2008) U-R0322/A, i.o.v. Provincie Zuid-Holland

PrimAviera te Rijssenhout, Masterplan gebruik ondergrond i.o.v. SGN IF Technology, 19-08-2008

Provinciaal Milieubeleidsplan 2002-2006 Provincie Noord Holland, 2006

Provinciaal Waterplan 2010-2015 Provincie Noord Holland, 2008

Ruijs, M.N.A. PrimAviera onder de loep, SWOT analyse LEI rapport 2010-031

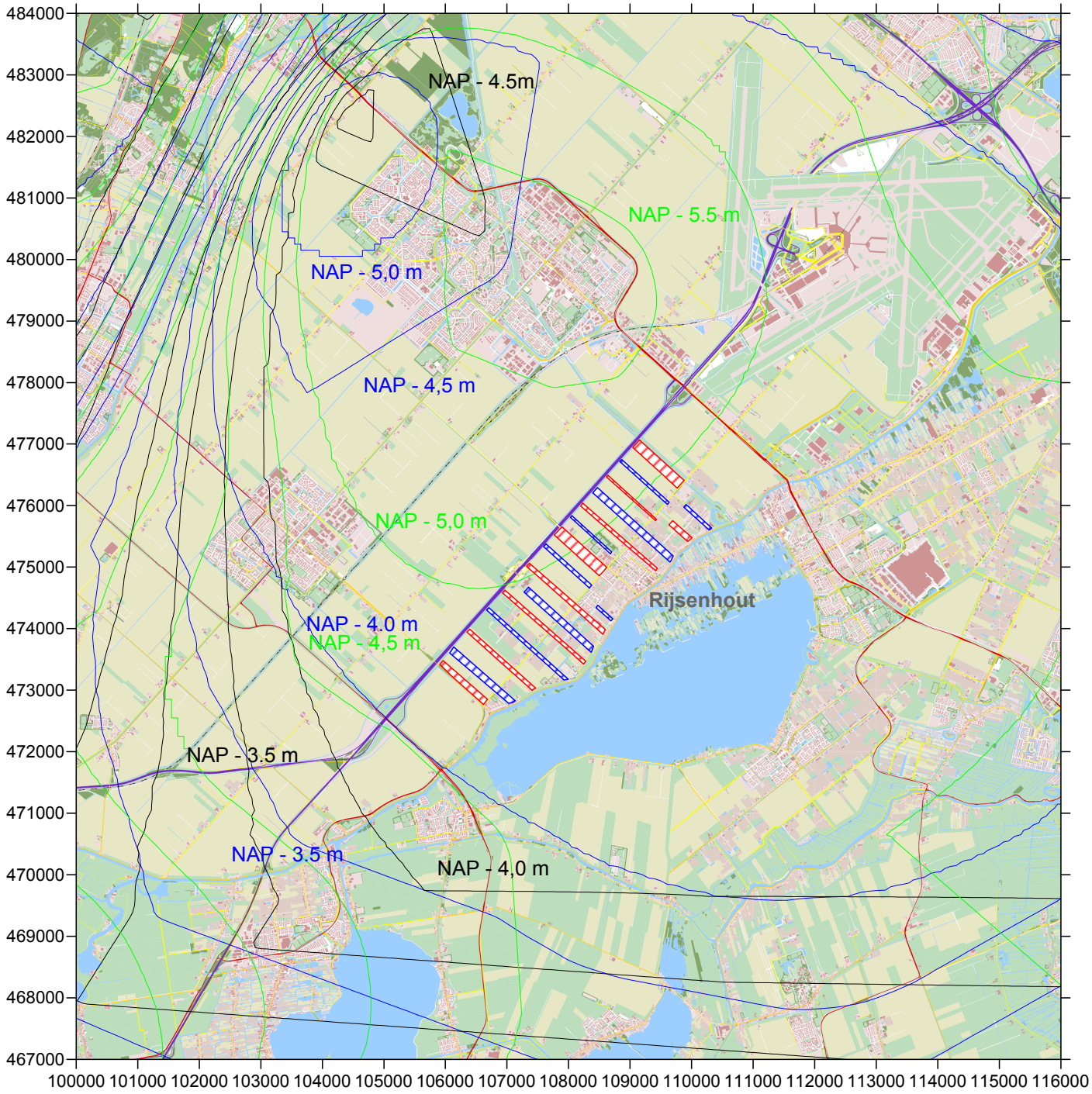
Sijpheer N, Energiebesparing in Datahotels, ECN (2008), ECN-E-08-019

Stuyfzand P.J. , Hydrochemistry and Hydrology of the Coastal Dune area of the Western Netherlands, 1993, KIWA.

Uitwerking Masterplan en Beeldkwaliteit PrimAviera,Oranjewoud e.a., 03-07-2008, i.o.v. SGN

9. BIJLAGEN

Bijlage H1-2 Zone-indeling grondwateronttrekkingen “Masterplan gebruik ondergrond”, ligging van Geohydrologische Dwarsdoorsneden, boorlocaties en andere grondwaterwinningen in het gebied.



zonemarkering warme en koude bronnen

Isohypsen eerste watervoerende pakket

Isohypsen tweede watervoerend pakket

Isohypsen derde watervoerend pakket

plangebied PrimAviera

plangebied reconstructie noord

plangebied reconstructie zuid

schaal 1 : 80.000

OVERZICHT PLANGEBIED PRIMAVIERA, RECONSTRUCTIE RIJSENHOUT ZUID EN NOORD MET ZONE-INDELING MASTERPLAN GEBRUIK ONDERGROND

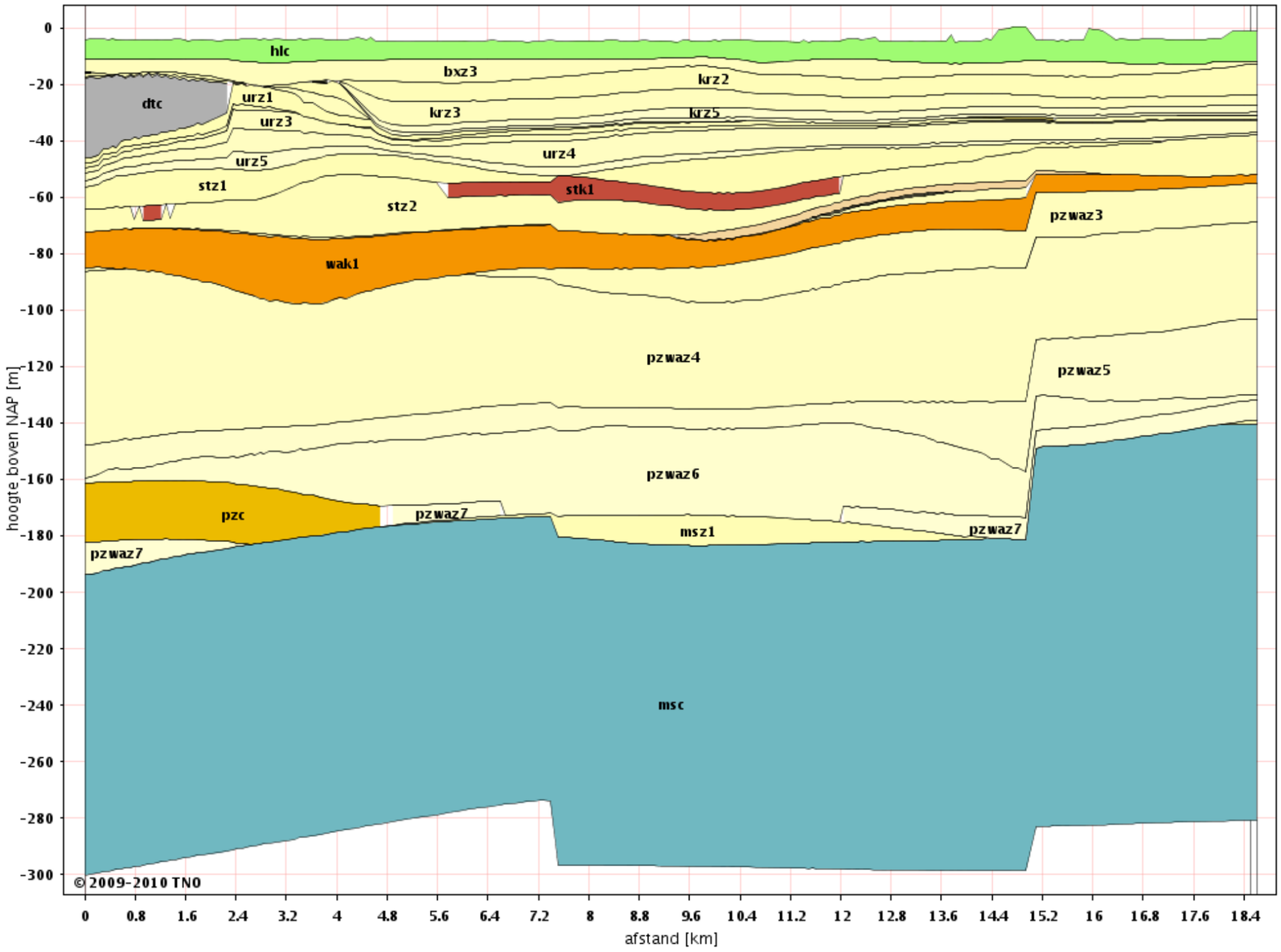
ONDERGRONDSE ENERGIEOPSLAG PRIMAVERA TE RIJSENHOUT

Opdr. : 1307-0101-010
Bijlage : 1

Bijlage H1-3A geologische dwarsdoorsnede “parallel, langs A4”

Lagen

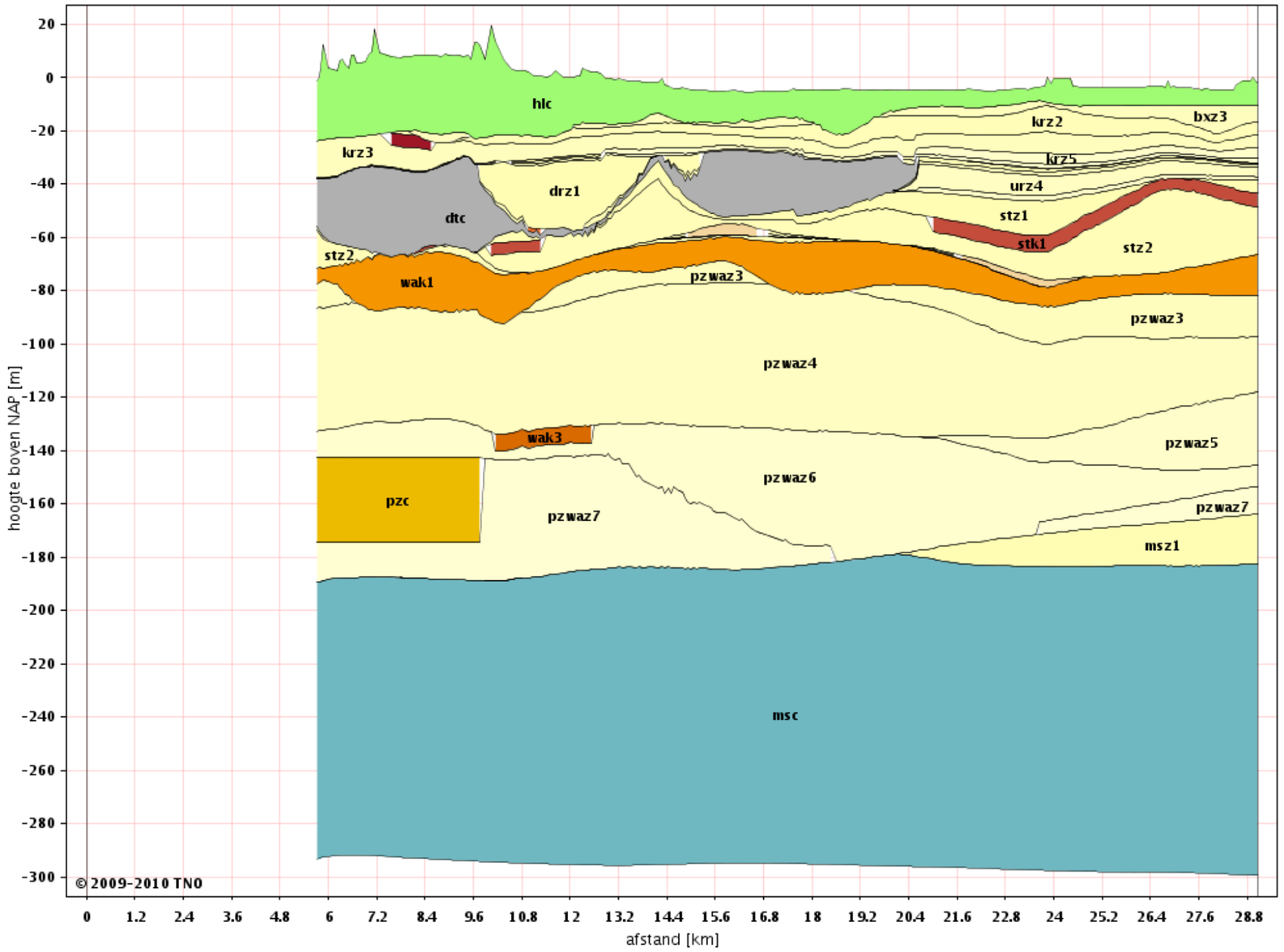
hlc	01.1-Holocene afzettingen - Holoceen complex
bxz3	02.7-Form. van Boxtel - Boxtel z3
krz2	04.2-Form. van Kreftenheye - Kreft. z2
krk1	04.3-Form. van Kreftenheye - Kreft. k1
krz3	04.4-Form. van Kreftenheye - Kreft. z3
krz5	04.7-Form. van Kreftenheye - Kreft. z5
krz6	04.9-Form. van Kreftenheye - Kreft. z6
eez1	05.3-Form. van Eem-Woudenberg - Eem z1
eez2	05.5-Form. van Eem-Woudenberg - Eem z2
eez3	05.7-Form. van Eem-Woudenberg - Eem z3
drz1	06.1-Form. van Drente - Drente z1
druik1	06.2-Form. van Drente - Drente Uitdam k1
drz2	06.3-Form. van Drente - Drente z2
dtc	07.1-Gestuwde afzettingen - complex
urz1	09.1-Form. v. Urk, b. Form. v. Peelo - Urk z1
urz2	09.3-Form. v. Urk, b. Form. v. Peelo - Urk z2
urz3	09.5-Form. v. Urk, b. Form. v. Peelo - Urk z3
urz4	11.1-Form. van Urk, onder Form. Peelo - Urk z4
urz5	11.3-Form. van Urk, onder Form. Peelo - Urk z5
stz1	12.1-Form. van Sterksel - Sterksel z1
stk1	12.2-Form. van Sterksel - Sterksel k1
stz2	12.2-Form. van Sterksel - Sterksel z2
syk1	14.2-Form. van Stramproy - Stramproy k1
syz2	14.3-Form. van Stramproy - Stramproy z2
syz3	14.5-Form. van Stramproy - Stramproy z3
syz4	14.7-Form. van Stramproy - Stramproy z4
pzwaz2	15.03-Form. van Peize-Waalre - Peize-Waalre z2
wak1	15.04-Form. van Peize-Waalre - Waalre k1
pzwaz3	15.05-Form. van Peize-Waalre - Peize-Waalre z3
pzwaz4	15.07-Form. van Peize-Waalre - Peize-Waalre z4
pzwaz5	15.09-Form. van Peize-Waalre - Peize-Waalre z5
wak3	15.10-Form. van Peize-Waalre - Waalre k3
pzwaz6	15.11-Form. van Peize-Waalre - Peize-Waalre z6
pzc	15.12-Form. van Peize-Waalre - Peize complex
pzwaz7	15.13-Form. van Peize-Waalre - Peize-Waalre z7
msz1	16.1-Form. van Maassluis - Maassluis z1
msc	16.2-Form. van Maassluis - Maassluis complex



Bijlage H1-3B, Geologische formaties sectie “Haaks op projectgebied ter hoogte van boring 121”

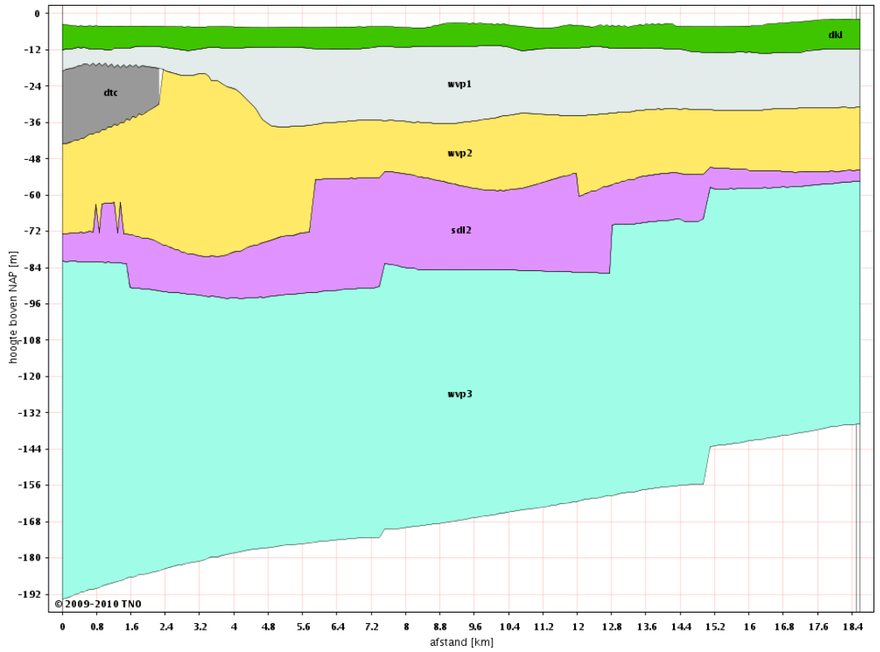
Lagen

hlc	01.1-Holocene afzettingen - Holoceen complex
bxz3	02.7-Form. van Boxtel - Boxtel z3
krz2	04.2-Form. van Kreftenheye - Kreft. z2
krz3	04.4-Form. van Kreftenheye - Kreft. z3
krz5	04.7-Form. van Kreftenheye - Kreft. z5
krz6	04.9-Form. van Kreftenheye - Kreft. z6
drz1	06.1-Form. van Drente - Drente z1
drz2	06.3-Form. van Drente - Drente z2
drz3	06.5-Form. van Drente - Drente z3
dtc	07.1-Gestuwde afzettingen - complex
urz1	09.1-Form. v. Urk, b. Form. v. Peelo - Urk z1
urk1	09.2-Form. v. Urk, b. Form. v. Peelo - Urk k1
urz2	09.3-Form. v. Urk, b. Form. v. Peelo - Urk z2
urz3	09.5-Form. v. Urk, b. Form. v. Peelo - Urk z3
urz4	11.1-Form. van Urk, onder Form. Peelo - Urk z4
urz5	11.3-Form. van Urk, onder Form. Peelo - Urk z5
stz1	12.1-Form. van Sterksel - Sterksel z1
stk1	12.2-Form. van Sterksel - Sterksel k1
stz2	12.2-Form. van Sterksel - Sterksel z2
syk1	14.2-Form. van Stramproy - Stramproy k1
syz3	14.5-Form. van Stramproy - Stramproy z3
syz4	14.7-Form. van Stramproy - Stramproy z4
pzwaz2	15.03-Form. van Peize-Waalre - Peize-Waalre z2
wak1	15.04-Form. van Peize-Waalre - Waalre k1
pzwaz3	15.05-Form. van Peize-Waalre - Peize-Waalre z3
pzwaz4	15.07-Form. van Peize-Waalre - Peize-Waalre z4
pzwaz5	15.09-Form. van Peize-Waalre - Peize-Waalre z5
pzwaz6	15.11-Form. van Peize-Waalre - Peize-Waalre z6
pzc	15.12-Form. van Peize-Waalre - Peize complex
pzwaz7	15.13-Form. van Peize-Waalre - Peize-Waalre z7
msz1	16.1-Form. van Maassluis - Maassluis z1
msc	16.2-Form. van Maassluis - Maassluis complex

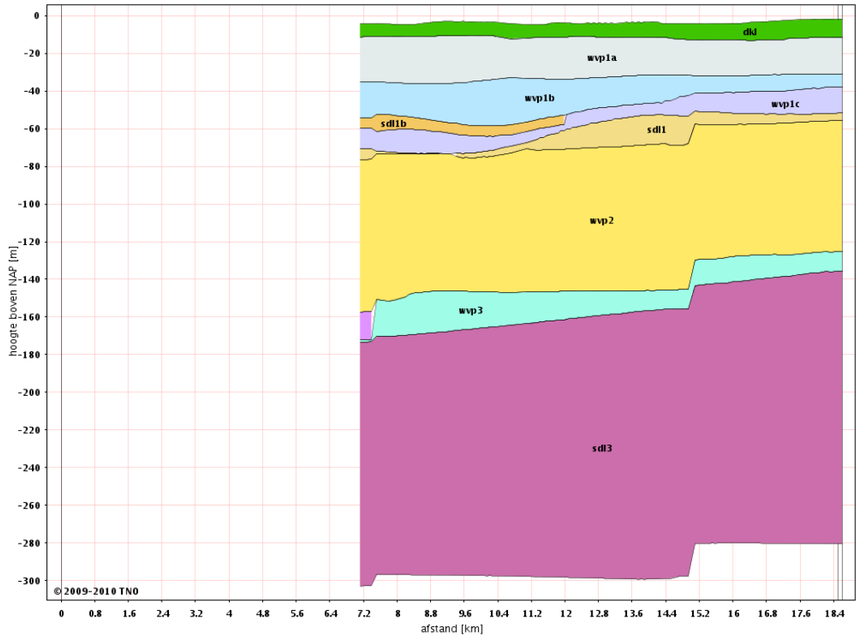


Bijlage H1-3C, GeoHydrologische indeling secties “Parellel A4/lengteas”

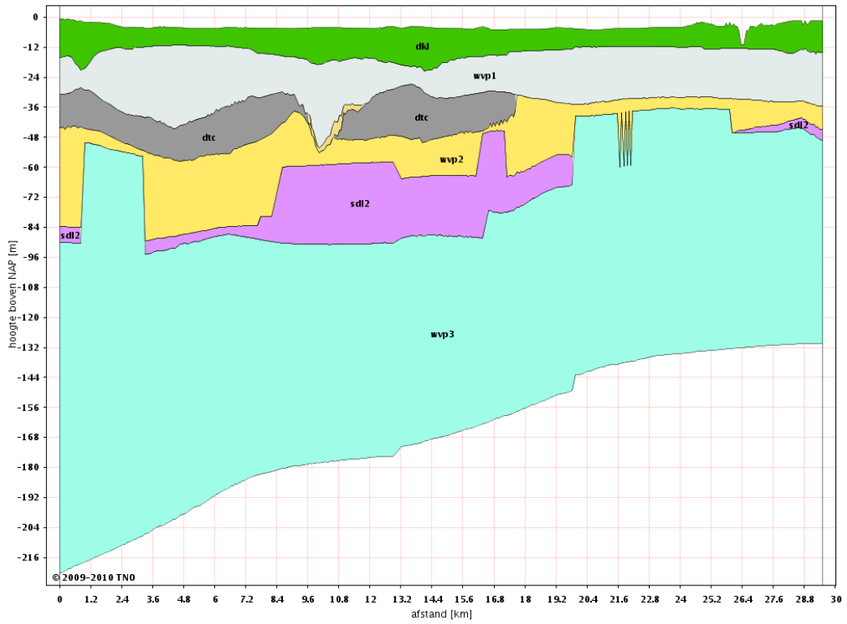
Middenparallel Zuid Holland



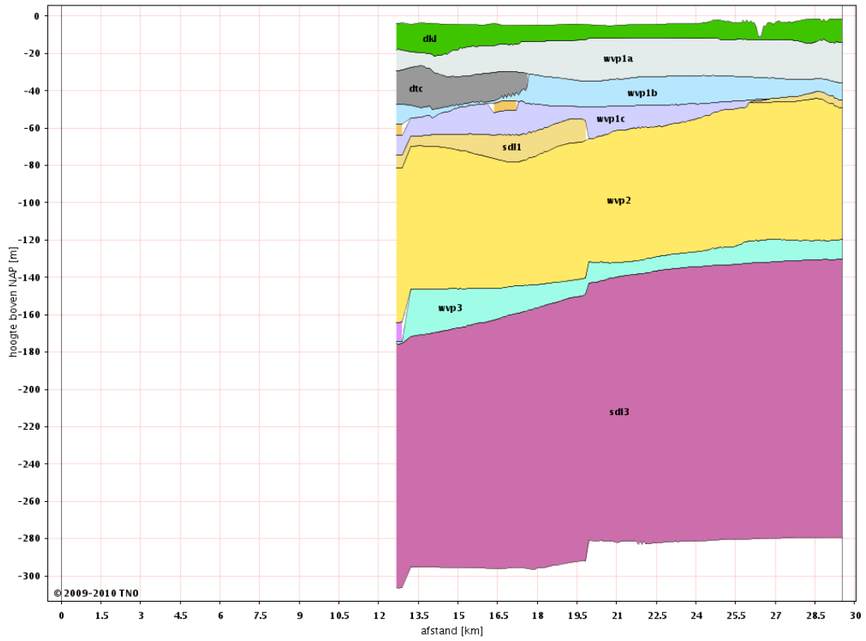
Noord Holland



Westparallel Zuid Holland



Noord Holland



NITG-nummer: B31A0121

X-coordinaat (m): 108700

Y-coordinaat (m): 474050

Coordinatensysteem: RD2000

Plaatsnaam: Rijsenhout

Maaiveldhoogte (meter t.o.v. NAP): -3,8

Einddiepte (meter beneden maaiveld): 100,25

Datum boring: 21-9-1998

Eigenaar: NITG-TNO

Uitvoerder: Haitjema, H., Dedemsvaart

K gem 1e w	40,76
K gem 2e w	66,45
K gem 3e w	29,87

ALGEMENE GEGEVENS LITHOLOGIE

Beschrijver lagen: Wilde, W. de

Organisatie besch RGD

Beschrijvingsmeth Standaard Boor Beschrijvingsmethode, versie 4

Nat/Droog beschre Nat sediment

Datum laagbeschr 21-9-1998

Kwaliteitcode besc B

LITHOLOGIE LAGEN

Bovenkant laag (m- maaiveld)	Onderkant laag (m	dikte	Kleur	Hoofdgrondsoort	M63	Khor	kD	Zandmediaanklasse	Lutum %	Bijmenging silt	Bijmenging zand	Bijmenging grind	Bijmenging humus	Kalkgehalte
0	0,6	0,6	bruin	zand		180		matig fijn	---	---	---	---	---	kalkrijk
0,6	1	0,4	zwart	veen	---			---	---	---	---	---	---	---
1	1,6	0,6	grijs-bruin	klei	---			---		40 matig siltig	---	---	matig humeus	kalkloos
1,6	4	2,4	grijs	klei	---			---		36 matig siltig	zwak zandig	---	---	kalkrijk
4	7	3	grijs	zand		170	8,03	24,08 matig fijn	---	---	---	---	---	kalkrijk
7	11	4	grijs	zand		330	30,25	121,00 zeer grof	---	---	---	matig grindig	---	kalkrijk
11	12	1	grijs	zand		300	25,00	25,00 zeer grof	---	---	---	zwak grindig	---	kalkrijk
12	13,25	1,25	grijs	zand		240	16,00	20,00 matig grof	---	---	---	---	---	kalkrijk
13,25	13,4	0,15	bruin	veen	---			0,00 ---	---	---	---	---	---	---
13,4	15,25	1,85	grijs	zand		310	26,69	49,38 zeer grof	---	---	---	---	---	kalkrijk
15,25	16,25	1	licht-grijs	zand		400	44,44	44,44 zeer grof	---	---	---	sterk grindig	---	kalkrijk
16,25	18,25	2	licht-bruin	zand		400	44,44	88,89 zeer grof	---	---	---	sterk grindig	---	kalkrijk
18,25	20,25	2	licht-bruin	zand		350	34,03	68,06 zeer grof	---	---	---	zwak grindig	---	kalkarm
20,25	22,25	2	licht-bruin	zand		380	40,11	80,22 zeer grof	---	---	---	matig grindig	---	kalkloos
22,25	23,25	1	licht-bruin	zand		300	25,00	25,00 matig grof	---	---	---	---	---	kalkloos
23,25	24,25	1	licht-bruin	zand	---			0,00 zeer grof	---	---	---	matig grindig	---	---
24,25	26,25	2	licht-grijs	zand		300	25,00	50,00 matig grof	---	---	---	zwak grindig	---	kalkrijk
26,25	27,25	1	licht-bruin	zand		400	44,44	44,44 zeer grof	---	---	---	sterk grindig	---	kalkrijk
27,25	30,25	3	licht-bruin	zand		600	100,00	300,00 uiterst grof	---	---	---	sterk grindig	---	kalkarm
30,25	32,25	2	licht-grijs	zand		250	17,36	34,72 matig grof	---	---	---	zwak grindig	---	kalkrijk
32,25	33,25	1	grijs	zand		500	69,44	69,44 uiterst grof	---	---	---	sterk grindig	---	kalkrijk
33,25	35,25	2	grijs	zand		420	49,00	98,00 zeer grof	---	---	---	matig grindig	---	kalkrijk
35,25	37,25	2	grijs	zand		700	136,11	272,22 uiterst grof	---	---	---	sterk grindig	---	kalkloos
37,25	38,25	1	grijs	zand		700	136,11	136,11 uiterst grof	---	---	---	sterk grindig	---	kalkloos
38,25	39,25	1	grijs	zand		180	9,00	9,00 matig fijn	---	---	---	zwak grindig	---	kalkrijk
39,25	41,25	2	grijs	zand		550	84,03	168,06 uiterst grof	---	---	---	sterk grindig	---	kalkrijk
41,25	42,25	1	grijs	zand		360	36,00	36,00 zeer grof	---	---	---	sterk grindig	---	kalkrijk
42,25	43,25	1	grijs	zand		360	36,00	36,00 zeer grof	---	---	---	---	---	kalkrijk
43,25	44,25	1	grijs	zand		340	32,11	32,11 zeer grof	---	---	---	zwak grindig	---	kalkrijk
44,25	46,25	2	grijs	zand		300	25,00	50,00 matig grof	---	---	---	---	---	kalkrijk
46,25	49,25	3	grijs	zand		280	21,78	65,33 matig grof	---	---	---	---	---	kalkrijk
49,25	50,25	1	grijs	zand		230	14,69	14,69 matig grof	---	---	---	---	---	kalkrijk
50,25	53,25	3	grijs	zand		230	14,69	44,08 matig grof	---	---	---	---	---	kalkrijk
53,25	54,25	1	grijs	zand		410	46,69	46,69 zeer grof	---	---	---	sterk grindig	---	kalkrijk
54,25	55,6	1,35	grijs	zand		350	34,03	45,94 zeer grof	---	---	---	matig grindig	---	kalkrijk
55,6	61,9	6,3	grijs	klei	---			0,00 ---		40 matig siltig	---	---	---	kalkrijk
61,9	62,25	0,35	grijs	zand		420	49,00	17,15 zeer grof	---	---	---	sterk grindig	---	kalkrijk
62,25	63,25	1	grijs	zand		350	34,03	34,03 matig grof	---	---	---	zwak grindig	---	kalkrijk
63,25	65,25	2	grijs	zand		420	49,00	98,00 zeer grof	---	---	---	sterk grindig	---	kalkrijk
65,25	66,25	1	grijs	zand		600	100,00	100,00 uiterst grof	---	---	---	sterk grindig	---	kalkrijk
66,25	67,25	1	grijs	zand		560	87,11	87,11 uiterst grof	---	---	---	sterk grindig	---	kalkrijk
67,25	68,25	1	grijs	zand		420	49,00	49,00 zeer grof	---	---	---	matig grindig	---	kalkrijk
68,25	69,25	1	grijs	zand		360	36,00	36,00 zeer grof	---	---	---	sterk grindig	---	kalkrijk
69,25	71,25	2	grijs	zand		600	100,00	200,00 uiterst grof	---	---	---	sterk grindig	---	kalkrijk
71,25	73,25	2	licht-grijs	klei	---			0,00 ---		38 matig siltig	---	---	---	kalkrijk
73,25	74,5	1,25	grijs	zand		250	17,36	21,70 matig grof	---	---	---	---	---	kalkrijk
74,5	74,9	0,4	bruin	veen	---			0,00 ---	---	---	---	---	---	---
74,9	76,6	1,7	grijs	klei	---			0,00 ---		40 matig siltig	---	---	---	kalkloos
76,6	78	1,4	bruin	veen	---			0,00 ---	---	---	---	---	---	---
78	79,25	1,25	grijs-bruin	klei	---			0,00 ---		40 matig siltig	---	---	---	kalkloos
79,25	80,25	1	licht-bruin-grijs	klei	---			0,00 ---		44 matig siltig	---	---	---	kalkloos
80,25	81,25	1	groen	klei	---			0,00 ---		48 matig siltig	---	---	---	kalkloos
81,25	82,25	1	grijs	zand		225	14,06	14,06 matig grof	---	---	---	---	---	kalkloos
82,25	85,25	3	grijs	zand		250	17,36	52,08 matig grof	---	---	---	zwak grindig	---	kalkarm
85,25	89,25	4	grijs	zand		400	44,44	177,78 zeer grof	---	---	---	zwak grindig	---	kalkarm
89,25	90,25	1	grijs	zand		240	16,00	16,00 matig grof	---	---	---	---	---	kalkarm
90,25	91,25	1	grijs	zand		280	21,78	21,78 matig grof	---	---	---	matig grindig	---	kalkrijk
91,25	93,25	2	grijs	zand		360	36,00	72,00 zeer grof	---	---	---	matig grindig	---	kalkrijk
93,25	95,25	2	grijs	zand		300	25,00	50,00 matig grof	---	---	---	zwak grindig	---	kalkrijk
95,25	96,25	1	grijs	zand		300	25,00	25,00 matig grof	---	---	---	---	---	kalkrijk
96,25	98,25	2	grijs	zand		300	25,00	50,00 matig grof	---	---	---	---	---	kalkrijk
98,25	100,25	2	grijs	zand		400	44,44	88,89 zeer grof	---	---	---	matig grindig	---	kalkrijk

Vertikale discretisatie ondergrond PrimAviera met

laagnaam	"voor 2010" [ID]	altA,B [ID]	alt C [ID]	diepte [m NAP]	dikte [m]	vorm	k ‡ [m.d^{-1}]	c of kD [d]	Thermisch [W/m.K]	[Mj/m^3.K]
deklaag	1	1	1	-0.5	9.5	hoogte peil Westeinder	0.002	6333		
grenslaag 1	1	1	1	-10	1.0					
grenslaag 2	2	2	1	-11	0.1					
watervoerend pakket 1a	3	3	2	-11.1	10.9	binnen modelgebied vlak	20	218		
watervoerend pakket 1b	5	3	2	-22	11.0		20	218		
watervoerend pakket 1c	6	3	3	-33	11.0		20	218		
DTC	3	4	3	-44	10.9	NW van PrimAviera	20	218		
genslaag 2	8	5	4	-54.9	0.1					
scheidende laag 1a	9	5	4	-55	10.0		0.005	2000		
grenslaag 3	10	5	5..7	-65	0.1					
watervoerend tussenpakket	11	5	8	-65.1	9.8	binnen modelgebied vlak	50	490		
grenslaag 4	12	5	9..11	-74.9	0.1					
scheidende laag 1b	13	5	12	-75	10.0	binnen modelgebied vlak	0.005	2000		
grenslaag 5	14	6..8	12	-85	0.1					
watervoerend pakket 2	15	9	13	-85.1	9.9	binnen modelgebied vlak	15	149		
bovenhelftfilter	16	10	14	-95	30.0	binnen modelgebied vlak	25	750		
onderhelftfilter	17	11	14	-125	30.0	binnen modelgebied vlak	25	750		
filtermarge onderzijde	18	12	14	-155	20.0	binnen modelgebied vlak	15	300		
dieper wvp 2	19	13	14	-175	24.0	scheefgesteld	15	360		
Maassluis	20	14		-199	101.0		0.500	202		
Maassluis				-300						
Oosterhout										

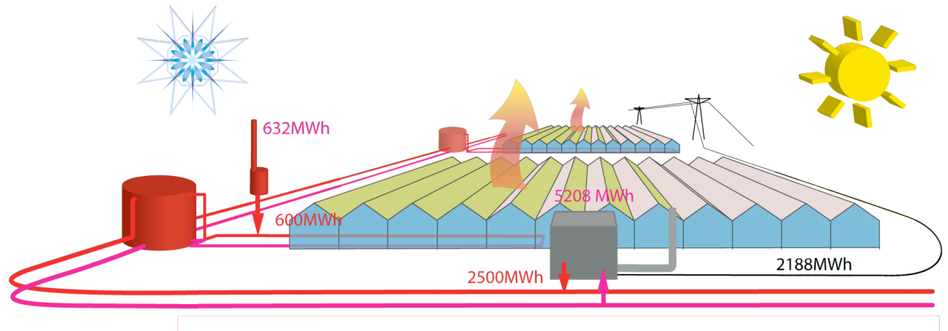
‡ K waarde geschat op basis van m50/60^2

Feflow input	0.0176471	
K model	T	Chloride
[10^{-4}m/s]	[C]	[mg/l]
0.000173611	12.092647	50
0	12.188824	50
0	12.427412	50
2.314814815	12.582353	50
2.314814815	12.737294	50
2.314814815	12.889059	50
2.314814815	12.905294	50
0	12.969706	300
0.000578704	13.058824	500
0	13.147941	1000
5.787037037	13.235294	1000
0	13.322647	1000
0.000578704	13.411765	1000
0	13.500882	2000
1.736111111	13.589118	2000
2.893518519	13.941176	4000
2.893518519	14.470588	6000
1.736111111	14.911765	10000
1.736111111	15.3	15000
0.05787037	16.402941	15000
0		

Bijlage H2.1 Referentie energieconcept,

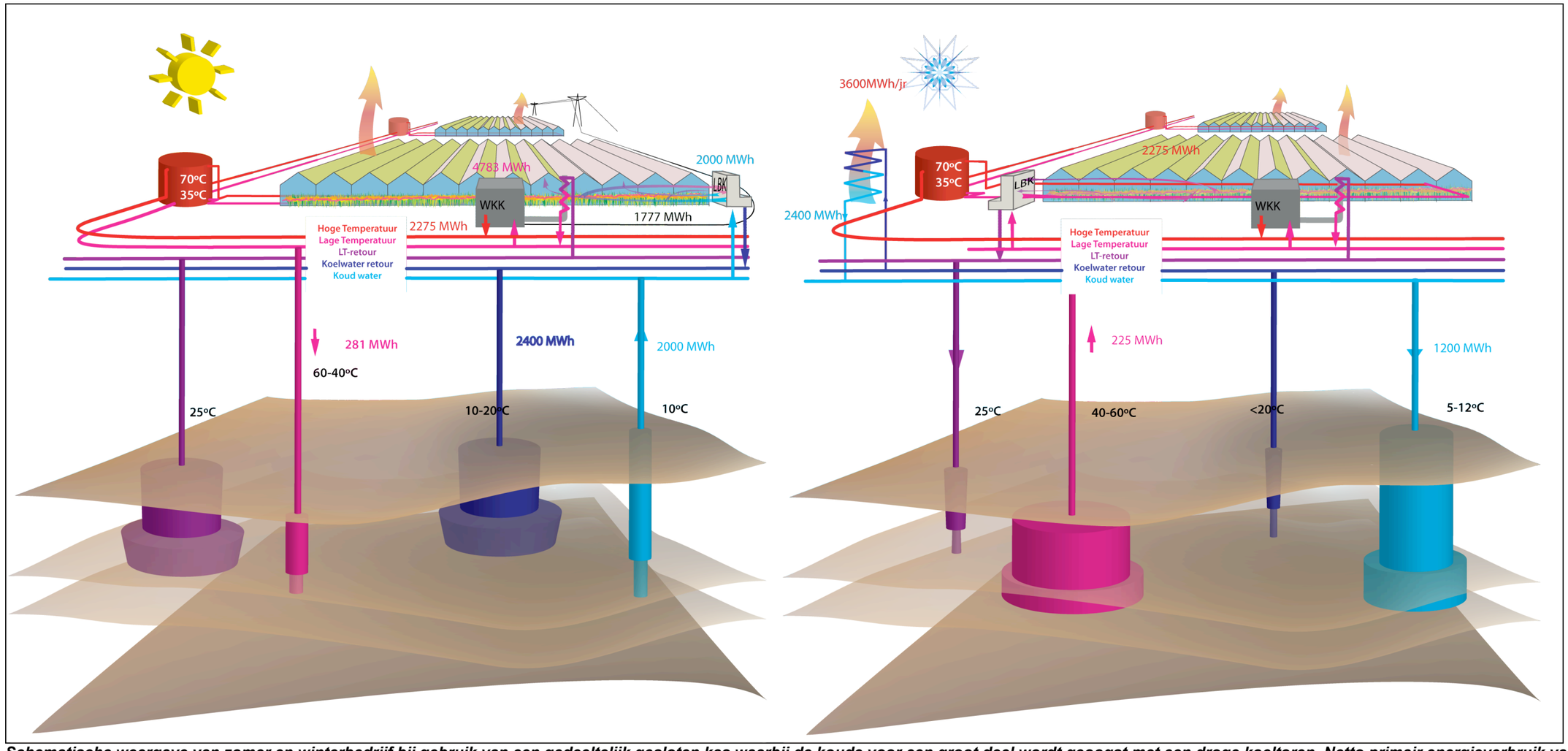
De schematische overzichten van energieconcepten van Hoofdstuk 2 zijn gebaseerd op een aantal van de energieconcepten die staan beschreven in “Energieagenda vraagt nieuw bodembeleid” Cogen Projects 2009. In de onderstaande schema’s worden per concept de systeemcomponenten weergegeven die een grote rol spelen. Berekende energetische prestaties beschrijven jaargemiddelden. De figuren beschrijven energiestromen zonder zonne-energie. Deze is buiten de vergelijking gehouden ondanks dat deze in feite een bron is van laagwaardige warmte. De kentallen gelden voor tomatenteelt (beperkte energievraag) die voor een deel van de teelten in PrimAviera maatgevend zijn. De bijdrage van opslag aan de systeemprestaties neemt toe bij toenemende koudevraag en bij toename van mogelijkheden tot lokale uitwisseling van energiestromen. Doorrekenen van de energetische prestaties van de verschillende teelten bij verschillende energieconcepten is niet relevant voor de MER aangezien de bijdrage van OEO in ieder concept sterk afhangt van onder andere het daadwerkelijk gerealiseerde niveau van systeemintegratie.

Systeemcomponenten	Vermogen en dekking	Levering per component	
Referentie Warmte Kracht Koppeling met etmaalbuffer			
open kas :	100%		
gesloten kas :	0%		
warmtebehoefte gemiddeld	35m3/m2jr (3100MWh/hajr)		Prestatie-indicator
thermisch vermogen WKK :	0.6 MWth/ha		
primair energieverbruik WKK	.... 5208MWh/hajr		
warmtedekking WKK	81%		
WKK rendement	42% elektrisch 48% thermisch	Netlevering ... 4861MWh/hajr Warmtelevering .... 2500 MWh/hajr	
ketelrendement	95%		
primair energieverbruik ketel	... 632MWh	Warmtelevering ... 600 MWh/hajr	
Netto primair energieverbruik	111000 m3/hajr		Prestatie-indicator



Schematische weergave van jaarlijkse energiestromen conform referentie-alternatief.

Bijlage H2.2 Semi-Gesloten kas met 4 bronsysteem



Schematische weergave van zomer en winterbedrijf bij gebruik van een gedeeltelijk gesloten kas waarbij de koude voor een groot deel wordt geoogst met een droge koeltoren. Netto primair energieverbruik van dit concept ligt op 7.9m^3/m^{2}jr.

Semi gesloten kas met gescheiden OEO 10-15-25-45°C ,WKK, Koeltoren

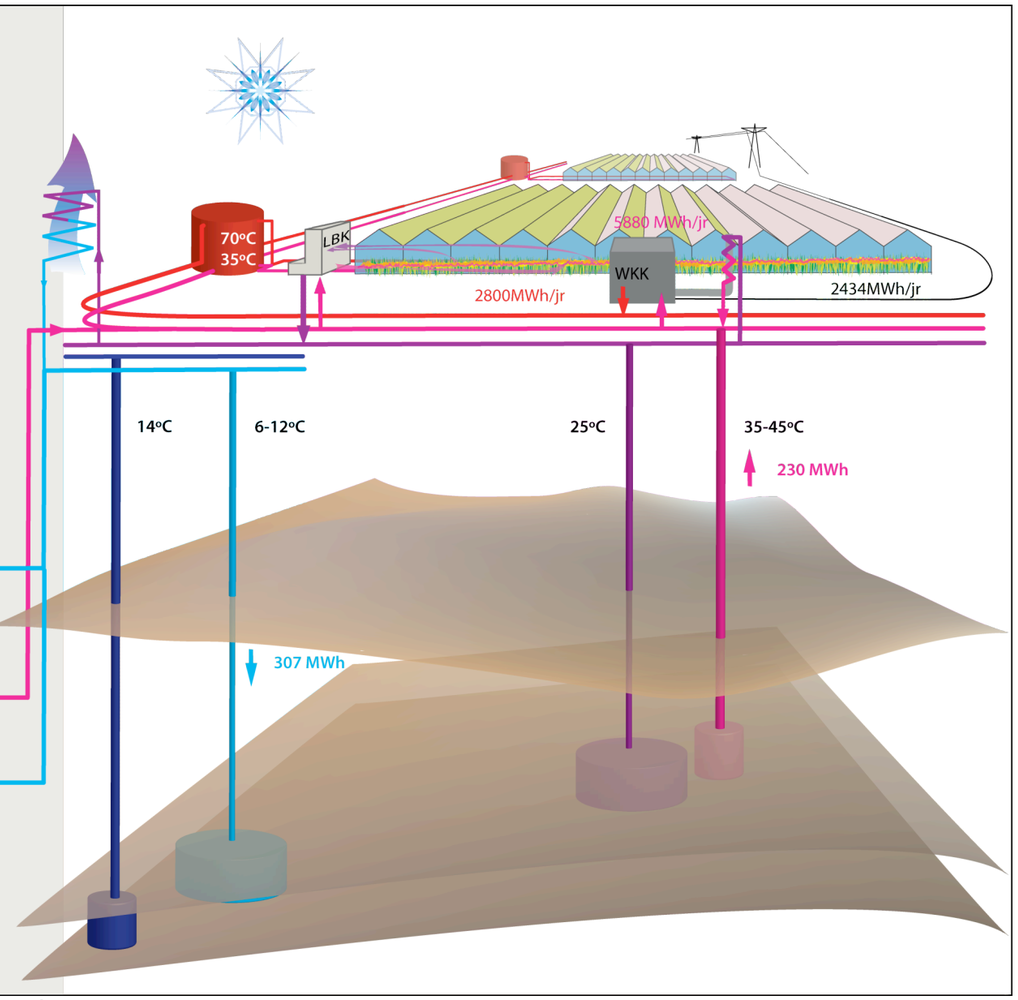
warmte uitnutting	65°C circuit Rookgascondensor op WKK >32°C Zeer Lage Temperatuur Verwarming koeltoren		totaal oppervlak		
opslag	etmaalbuffer ondiepe opslag van warmte en koude		(50% van lage temperatuur warmte direct inzetbaar) (50% in seizoensopslag)		
open kas :	0%				
gesloten kas :	100%				
warmtebehoefte gemiddeld	35 m³/m²jr	(3100 MWh/hajr)			
koude behoefte	...	(2000 MWh/hajr)			
WKK					
thermisch vermogen WKK :	0.3 MWth/ha				
primair energieverbruik WKK	....	4734 MWh/hajr			
warmtedekking WKK	96%				
WKK rendement	42% elektrisch		Netlevering	...	1777 MWh/hajr
			Eigen gebruik	...	122 MWh/hajr
	54% thermisch		Warmtelevering	....	2275 MWh/hajr
opslag 40°C - 25°C					
Warmteopslag rendement	80%		Warmtelevering	...	225 MWh/hajr
hoeveelheid opgeslagen warmte	...	281 MWh/hajr (12.3% WKK levering)			
verlies warmte ondergrond	...	56 MWh/hajr			
elektriciteitsverbruik opslag	8 MWh/hajr				
opslag 10°C - 15°C					
koudeopslag rendement	90%		Koudelevering	...	2000 MWh/hajr
hoeveelheid opgeslagen koude	...	2400 MWh/hajr			
verlies koude ondergrond	...	400 MWh/hajr			
elektriciteitsverbruik opslag	80 MWh/hajr				
Koeltoren					
inzet warme dagen	tot 25°C uit TSA, gemiddeld <<20°C naar opslag groot deel van het kasoppervlak ZLTV		koude levering	... m³/m²jr	2400 MWh/hajr
elektriciteitsgebruik koeltoren	...	40MWh/hajr (eigen WKK)			
Inzet koude dagen	**<20°C uit warme opslag, <10°C naar opslag**		**koude levering**	**... m³/m²jr**	**1200 MWh/hajr**
elektriciteitsgebruik koeltoren	...	40MWh/hajr (eigen WKK)			
Netto primair energieverbruik	79000 m³/hajr				

Gegevensblok behorende bij het energieconcept 5 Bijlage H2.2

Bijlage H2.3A Open kas met gedeeld 4bron systeem in Winterbedrijf

Open kas met OEO 30-45°C ,Warmte Kracht Koppeling, Datacenter-restwarmte

warmte uitnutting door	65°C circuit Rookgascondensor op WKK >32°C Zeer Lage Temp. Verwarming			in totaal ervlak		
opslag	etmaalbuffer ondiepe opslag van warmte en koude			(50% van lage temperatuur warmte direct inzetbaar) (50% in seizoensopslag)		
open kas :	100%					
gesloten kas :	0%					
warmtebehoefte gemiddeld	35 m³/m²jr	(3100 MWh/hajr)h				
thermisch vermogen WKK :	0.5	MWth/ha				
primair energieverbruik WKK	4527	MWh/hajr				
warmtedekking WKK	96%					
WKK rendement	42% elektrisch			Netlevering	...	1866 MWh/hajr
				Eigen gebruik	...	36 MWh/hajr
	54% thermisch			Warmtelevering	....	2156 MWh/hajr
WKK warmte						
Warmteopslag rendement	80%			Warmtelevering	...	230 MWh/hajr
hoeveelheid opgeslagen warmte	289	MWh/hajr	(13.3% WKK levering)			
verlies warmte ondergrond	58	MWh/hajr				
Koudeopslag rendement	85%			Koudelevering	0	
Restwarmte						
Beschikbaar restwarmte	8.3 m³/m²jr		(23% behoefte)			
	33°C	minimum met 23°C retour , 23% van het kasoppervlak ZLTV				
hoeveelheid restwarmte in opslag	289	MWh/hajr	(70%)			
verlies warmte ondergrond	59	MWh/hajr				
compensatie opslag koude	307	MWh/hajr				
elektriciteitsgebruik opslag	...	MWh/hajr				
Netto primair energieverbruik	52000	m³/hajr				

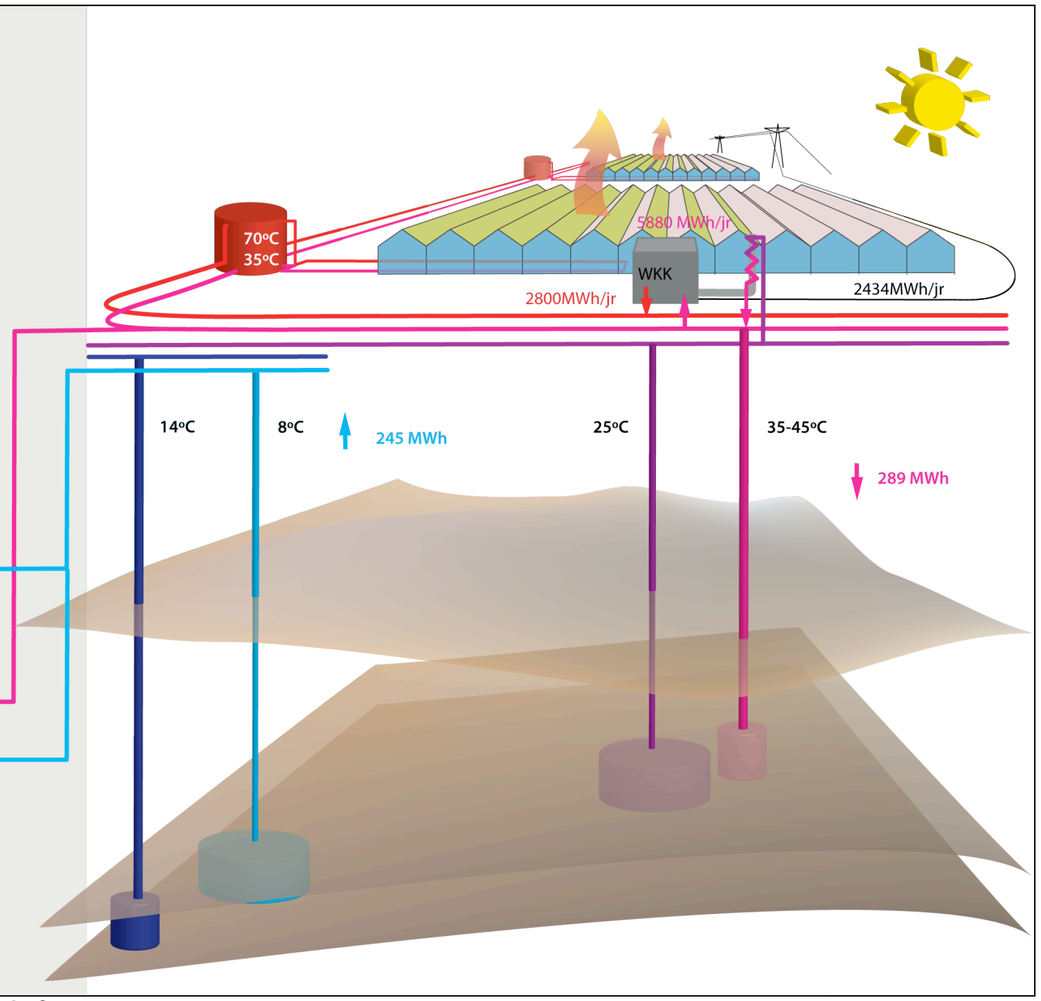


Schematische weergave van winterbedrijf met jaarlijkse energiestromen in open kas met WKK restwarmteopslag en koudeopslag.

Bijlage H2.3.B Open kas met gedeeld 4bron systeem in Zomerbedrijf

Open kas met OEO 30-45°C ,Warmte Kracht Koppeling, Datacenter-restwarmte

warmte uitnutting door	65°C circuit Rookgascondensor op WKK >32°C Zeer Lage Temp. Verwarming					
opslag	etmaalbuffer ondiepe opslag van warmte en koude			(50% van lage temperatuur warmte direct inzetbaar) (50% in seizoensopslag)		
open kas :	100%					
gesloten kas :	0%					
warmtebehoefte gemiddeld	35	m³/m²jr	(3100 MWh/hajr)h			
thermisch vermogen WKK :	0.5	MWth/ha				
primair energieverbruik WKK	527	MWh/hajr				
warmtedekking WKK	96%					
WKK rendement	42% elektrisch			Netlevering	...	1866 MWh/hajr
				Eigen gebruik	...	36 MWh/hajr
	54% thermisch			Warmtelevering	....	2156 MWh/hajr
WKK warmte						
Warmteopslag rendement	80%			Warmtelevering	...	230 MWh/hajr
hoeveelheid opgeslagen warmte	289	MWh/hajr	(13.3% WKK levering)			
verlies warmte ondergrond	58	MWh/hajr				
Koudeopslag rendement	85%			Koudecompensatie	...	245 MWh/hajr
elektriciteitsverbruik opslag	16	MWh/hajr				
Restwarmte						
Beschikbaar restwarmte	8.3	m³/m²jr	(23% behoefte)			
	33°C min. met 23°C retour , 23% van het kasoppervlak ZLTV					
hoeveelheid restwarmte in opslag	289	MWh/hajr	(70%)			
verlies warmte ondergrond	58	MWh/hajr				
compensatie opslag koude	0	MWh/ha				
elektriciteitsgebruik opslag		MWh/hajr				
Netto primair energieverbruik	52000 m³/hajr					

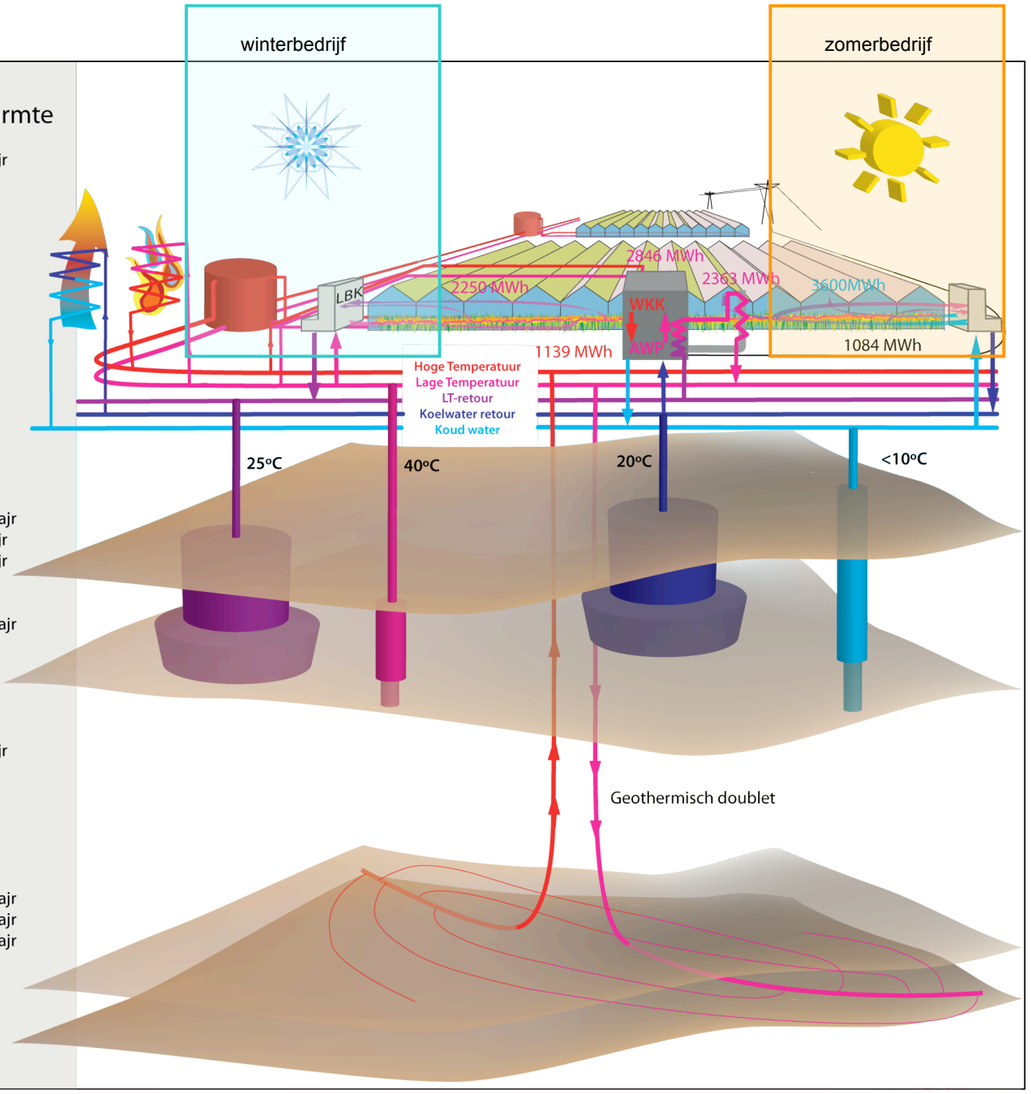


Schematische weergave van zomerbedrijf met jaarlijkse energiestromen in open kas met WKK restwarmteopslag en koudeafname.

Bijlage H2.4 Semi gesloten kas met Absorptiewarmtepomp

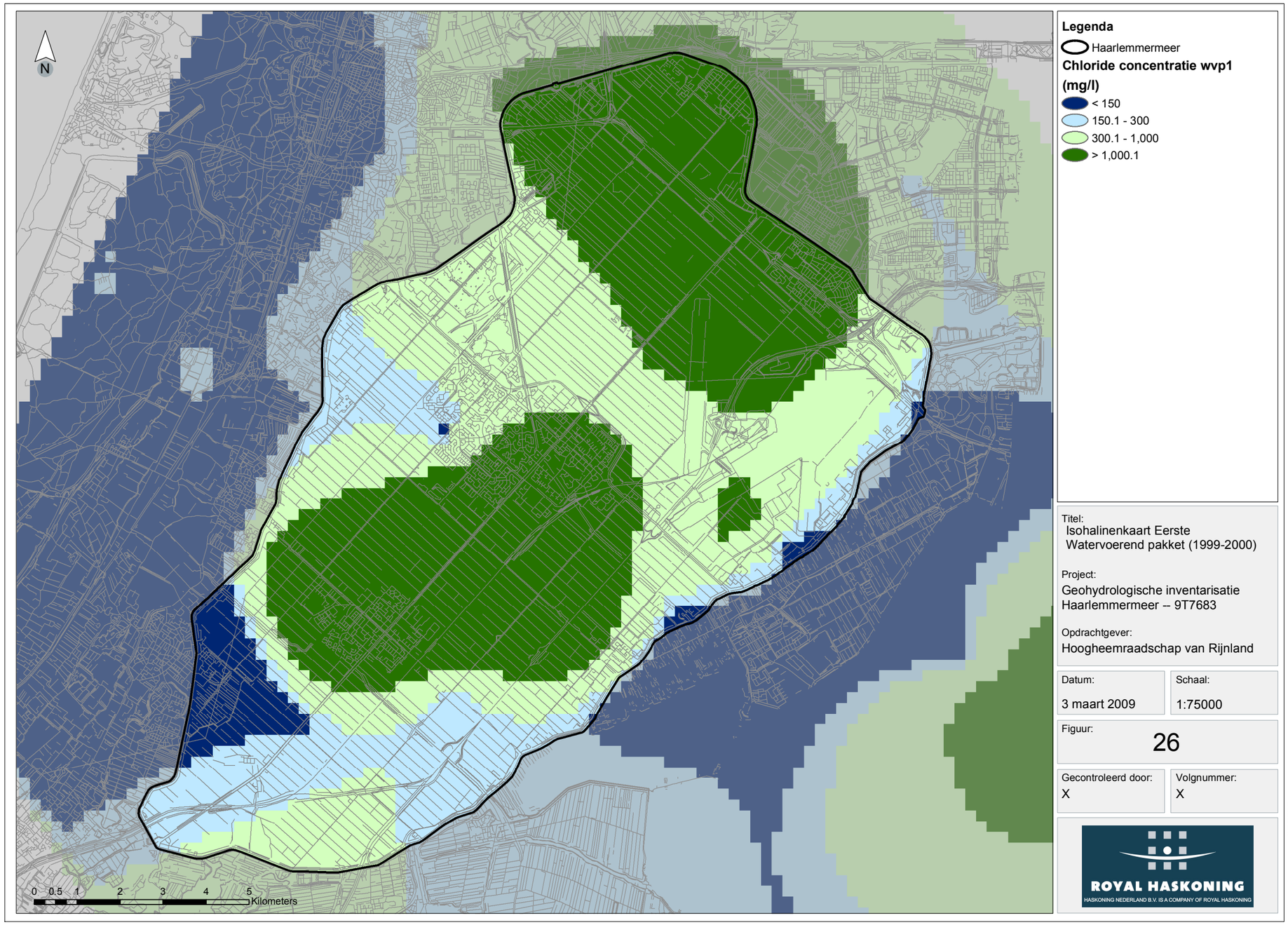
Semi gesloten kas met Absorptiewarmtepomp, gescheiden OEO 10-15-25-40°C, WKK of aardwarmte

warmte winning	HR ketel met 65°C circuit		Warmtelevering	...	250 MWh/hajr
warmte uitnutting	Rookgascondensor op WKK				
	>32°C Zeer Lage Temperatuur Verwarming		totaal oppervlak		
koude winning	koeltoren mogelijk minimaal				
opslag	etmaalbuffer		(50% van lage temperatuur warmte direct inzetbaar)		
	ondiepe opslag van warmte en koude		(50% in seizoensopslag)		
open kas :	0%				
gesloten kas :	100%				
warmtebehoefte gemiddeld	35 m³/m²jr	(3100 MWh/hajr)			
koude behoefte	...	(2000 MWh/hajr)			
WKK					
thermisch vermogen WKK :	0.29 MWe/ha				
primair energieverbruik WKK	....	4734 MWh/hajr			
warmtedekking WKK	96%				
WKK rendement	42% elektrisch		Netlevering	...	1702 MWh/hajr
			Eigen gebruik	...	194 MWh/hajr
	54% thermisch		Warmtelevering	....	427 MWh/hajr
opslag 40°C - 25°C					
Warmteopslag rendement	80%		Warmtelevering	...	2250 MWh/hajr
hoeveelheid opgeslagen warmte	...	2363/4 MWh/hajr (25% AWP levering)			
verlies warmte ondergrond	...	113 MWh/hajr			
elektriciteitsverbruik opslag	24 MWh/hajr				
opslag 10°C - 15°C					
koudeopslag rendement	90%		netto Koudelevering	...	877 MWh/hajr
hoeveelheid opgeslagen koude	...	1170 MWh/hajr (75% AWP levering)			
verlies warmte ondergrond	...	199 MWh/hajr			
elektriciteitsverbruik opslag	80 MWh/hajr				
Absorptie Warmte Pomp	groot deel van het kasoppervlak ZLTV				
vermogen	0.19 MW				
inzet warme dagen	condensorzijde 25% direct / 75% via opslag		koude levering	... m³/m²jr	1170 MWh/hajr
	compressorzijde opwerken 30°C naar 40°C		warmtelevering	... m³/m²jr	1936 MWh/hajr
inzet koude dagen	40°C uit warme opslag via ZLTV		netto warmtelevering	... m³/m²jr	2250 MWh/hajr
elektriciteitsgebruik	...	8 MWh/hajr (eigen WKK)			
koeltoren	<10°C naar opslag	koude levering			
	...	>75 MWh/hajr (eigen WKK)	koude	... m³/m²jr	1200 MWh/hajr
Netto primair energieverbruik	80000 m³/hajr				

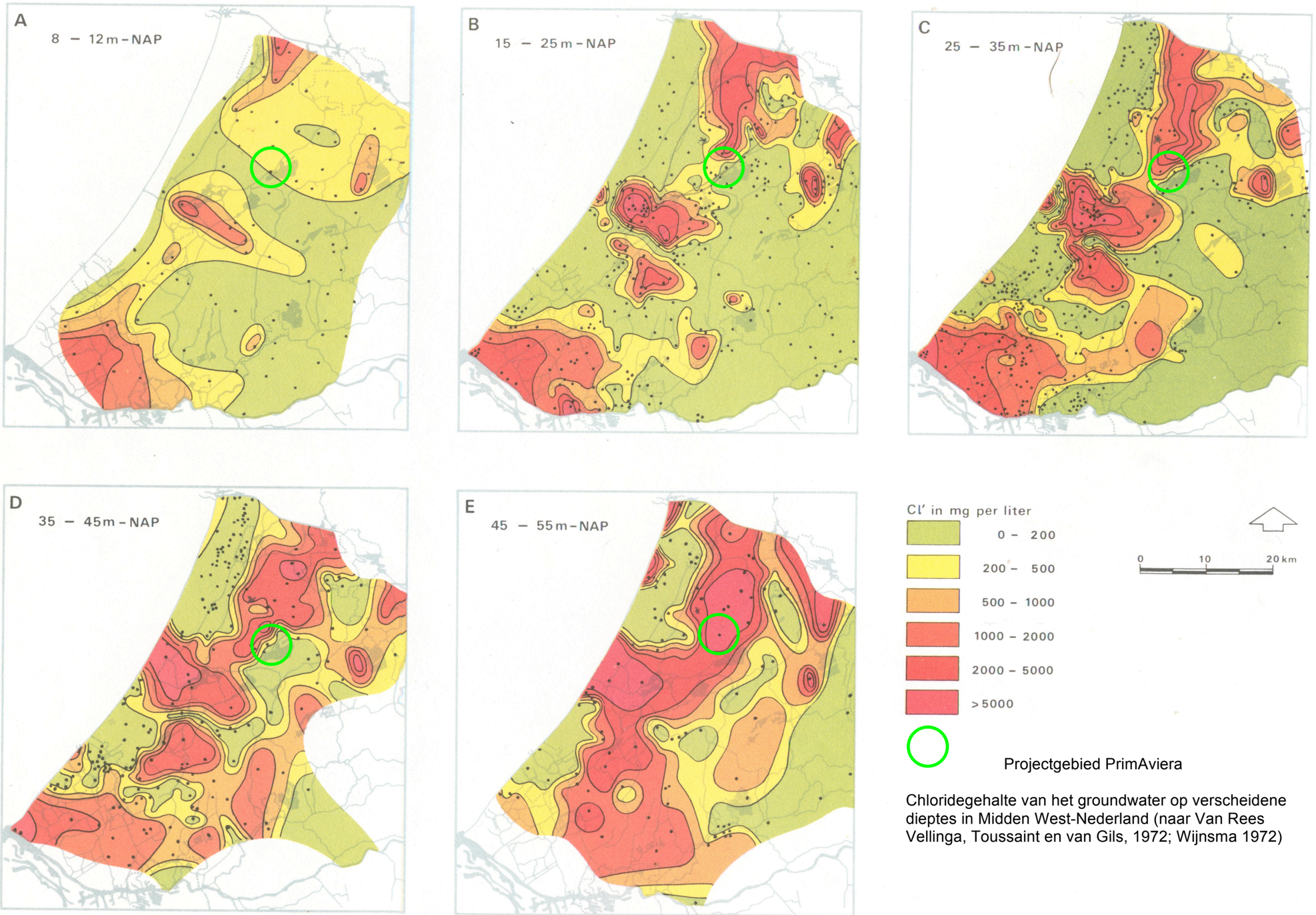


Schematische weergave van jaarlijkse energiestromen in semi gesloten kas met WKK warmte aangedreven Absorptiewarmtepomp, gescheiden OEO en koeling door koeltoren.

Bijlage H4-2 A, Verspreiding van chloride in de omgeving van de Haarlemmermeer

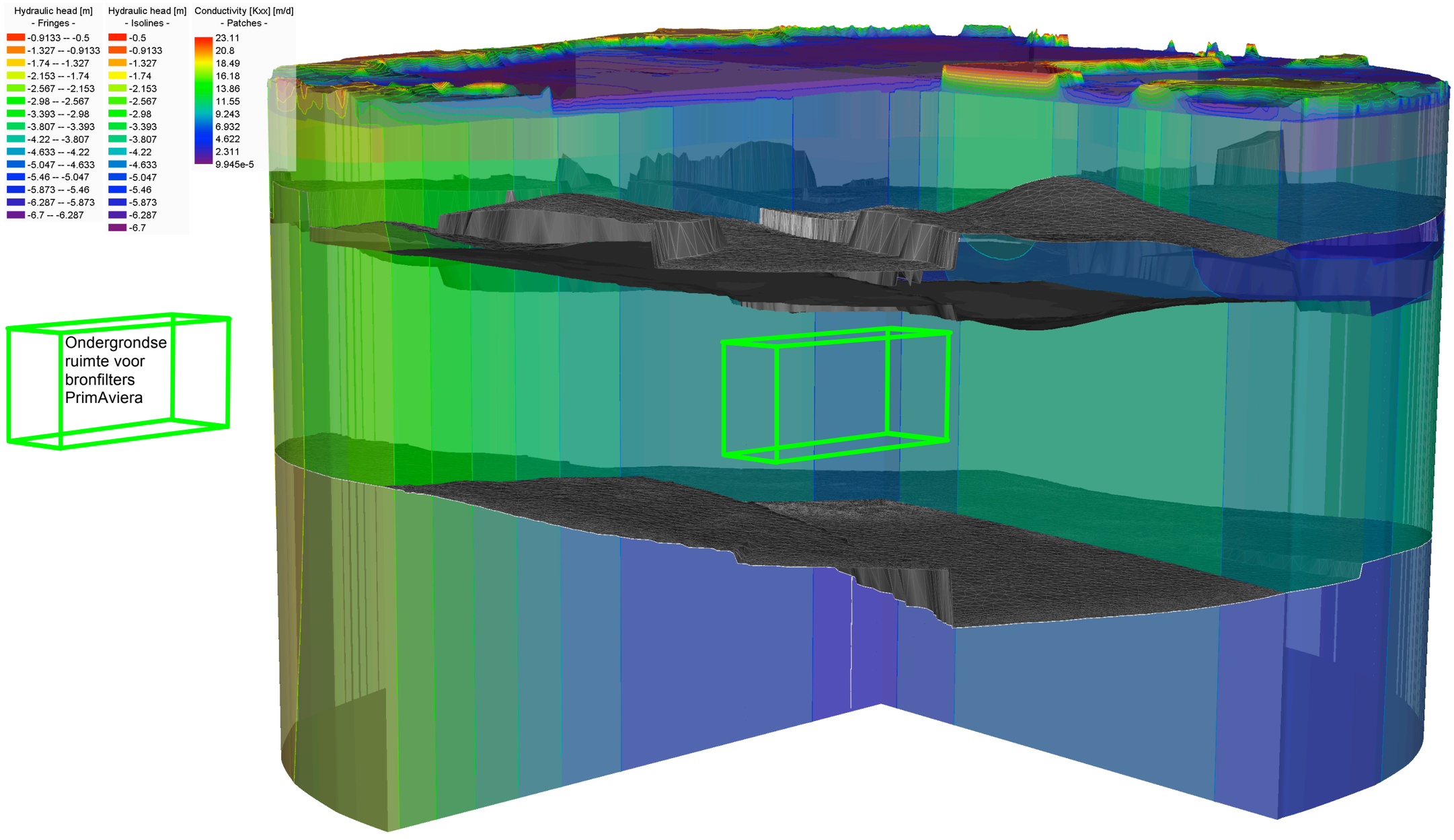


Bijlage H4-2 B, Chloridekaarten ICW 1972

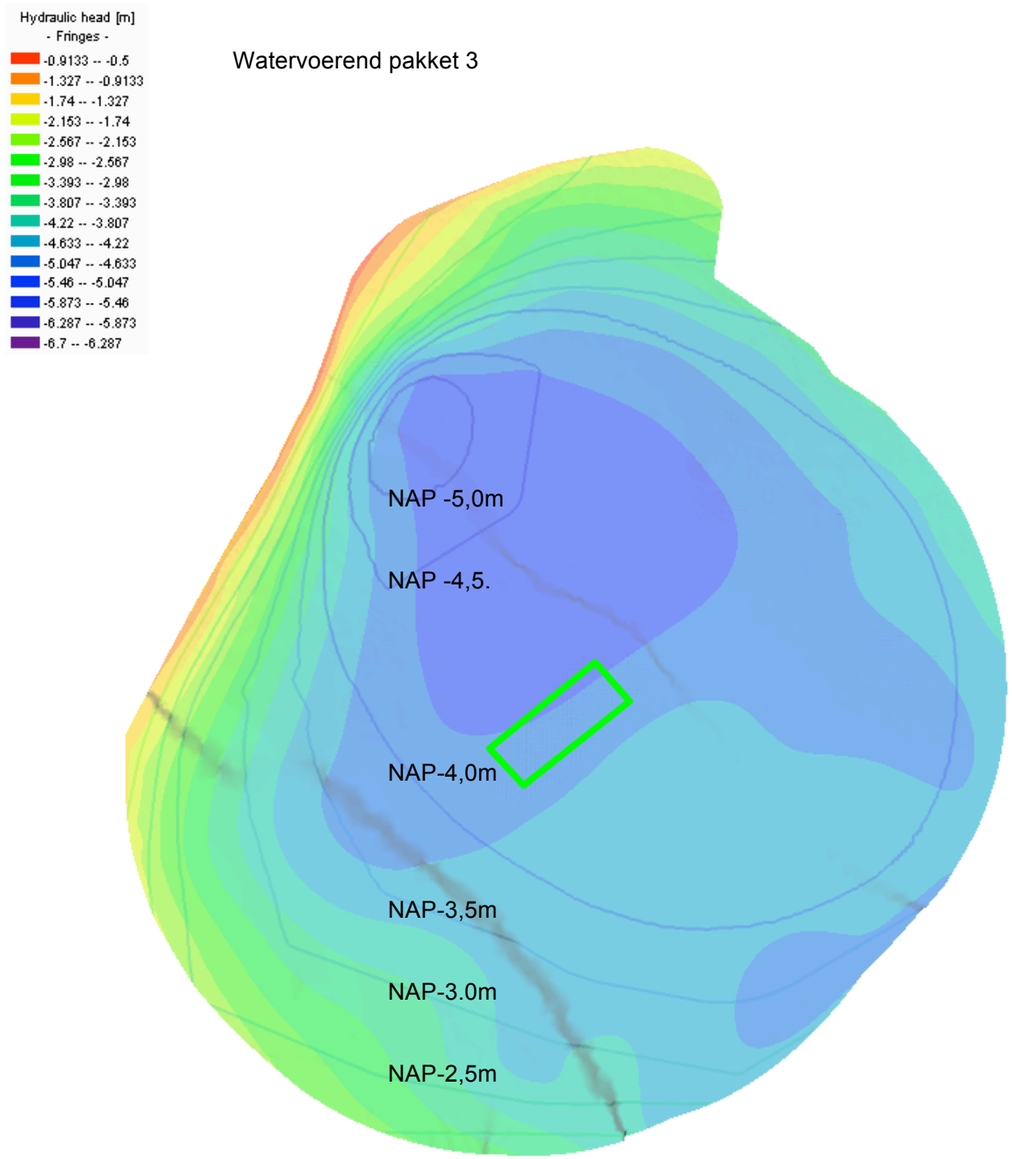


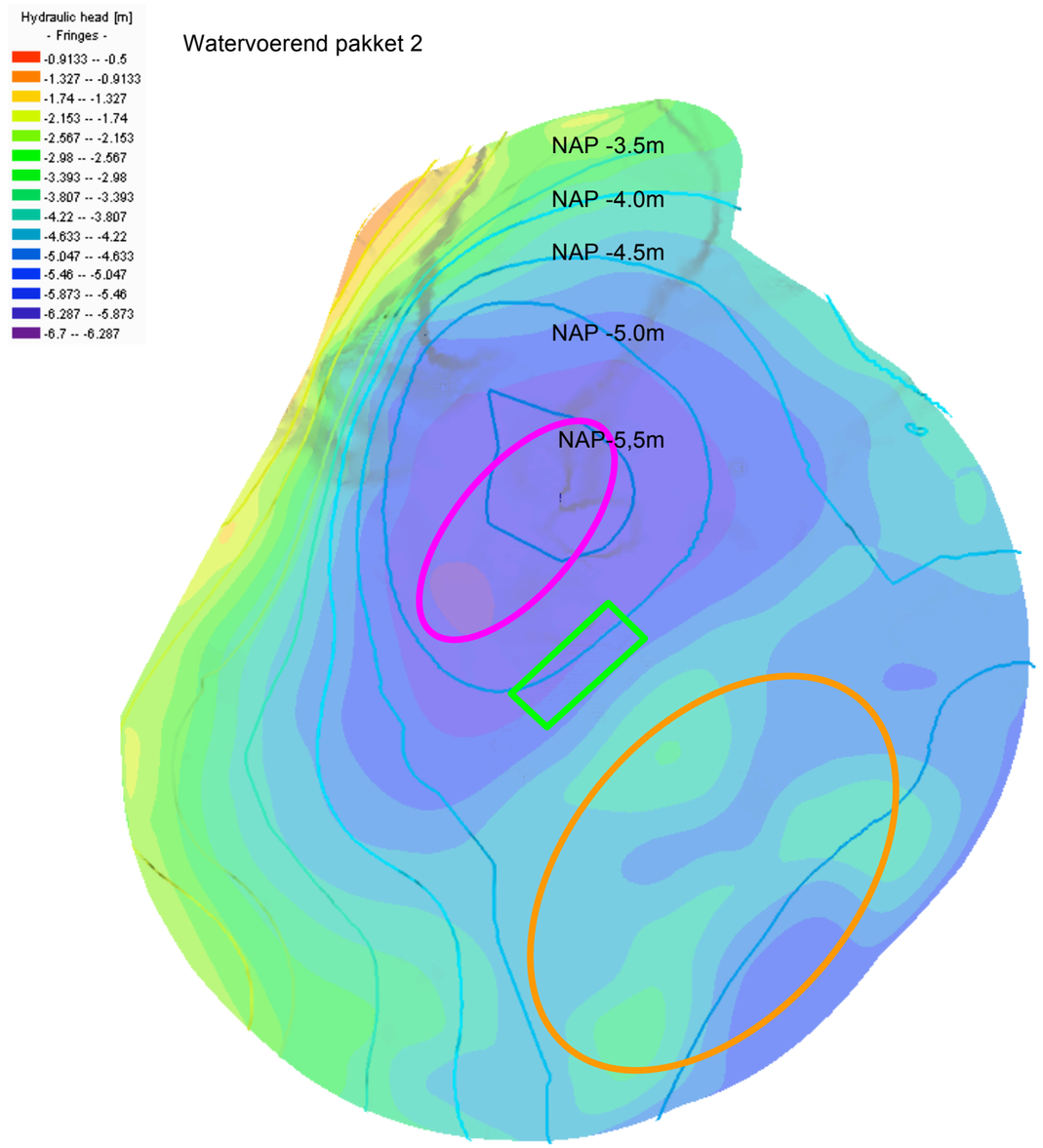
Chloridegehalte van het groundwater op verscheidene dieptes in Midden West-Nederland (naar Van Rees Vellinga, Toussaint en van Gils, 1972; Wijnsma 1972)

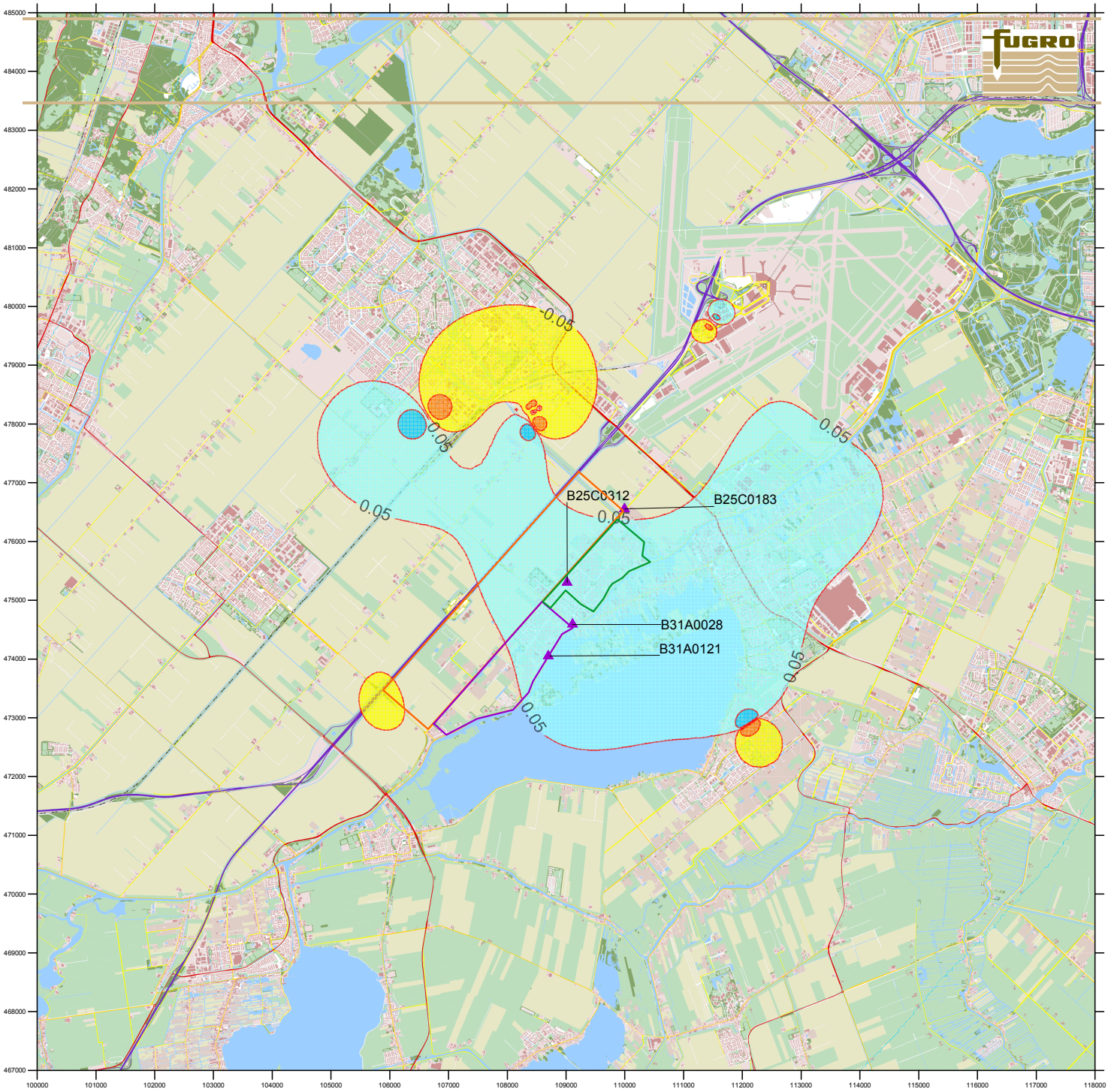
Bijlage H4.3.A, Stijghoogtekaarten interessegebied “berekende stijghoogteverdeling”



Bijlage H4.3.B Berekende stijghoogte en isohypsen REGISII Zuid Holland.







5
0.25
0.05
-0.05
-0.25
-5

Verlaging en verhoging van stijghoogte [meters waterkolom], in derde watervoerend pakket.

plangebied PrimAviera

plangebied reconstructie noord

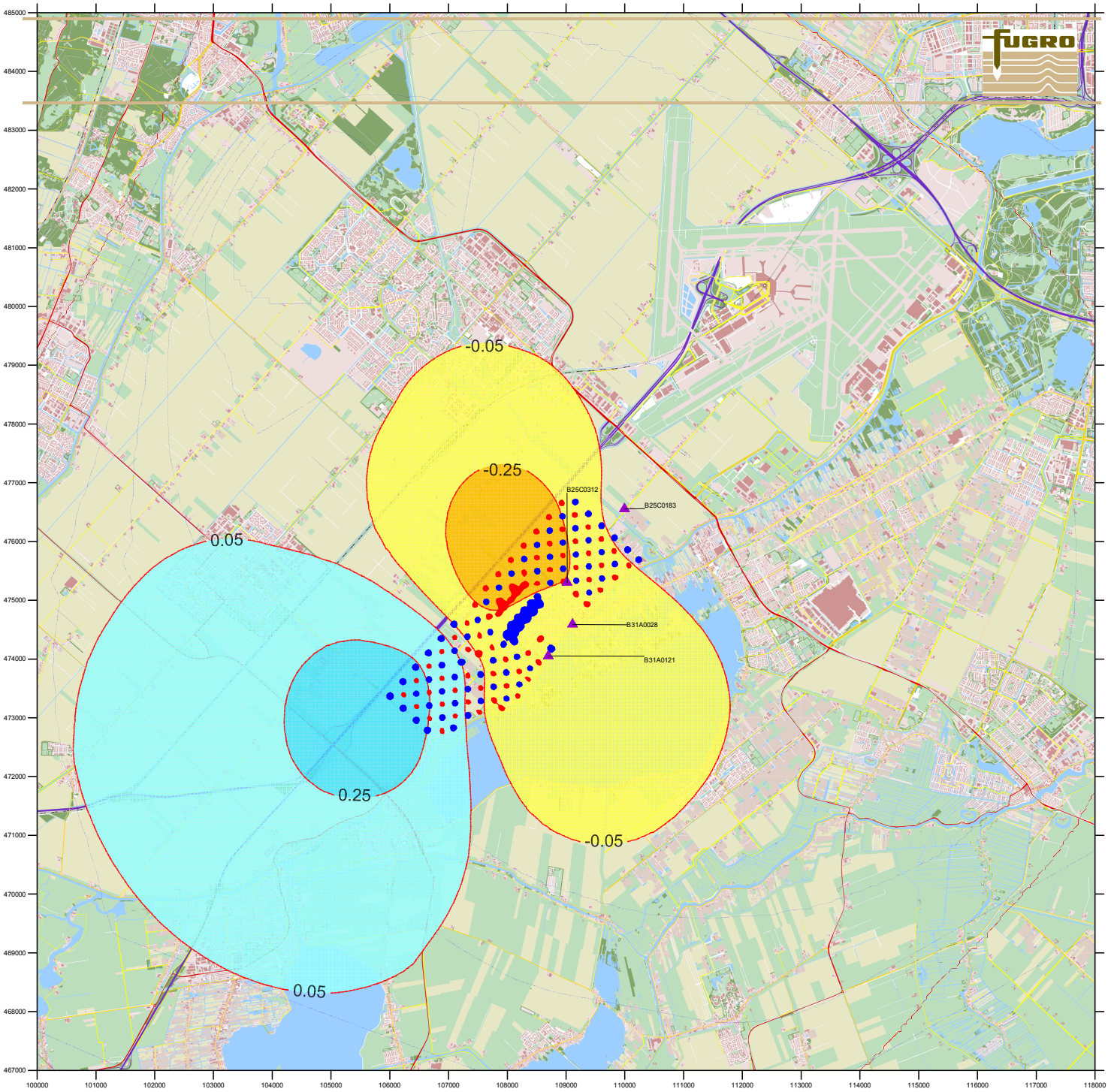
plangebied reconstructie zuid

schaal 1 : 75.000

HYDROLOGISCH INVLOEDSGEBIED ANDERE SYSTEMEN, VERSCHILLEN MET DE NORMALE STIJGHOOGTE TIJDENS KOUDE INJECTIE

ONDERGRONDSE ENERGIEOPSLAG PRIMAVERA TE RIJSENHOUT

Opdr. : 1307-0101-010
Bijlage : 6.1.REF



5
1
0.05
-0.05
-1
-5

Verlaging en verhoging van stijghoogte [meters waterkolom], in eerste watervoerend pakket.

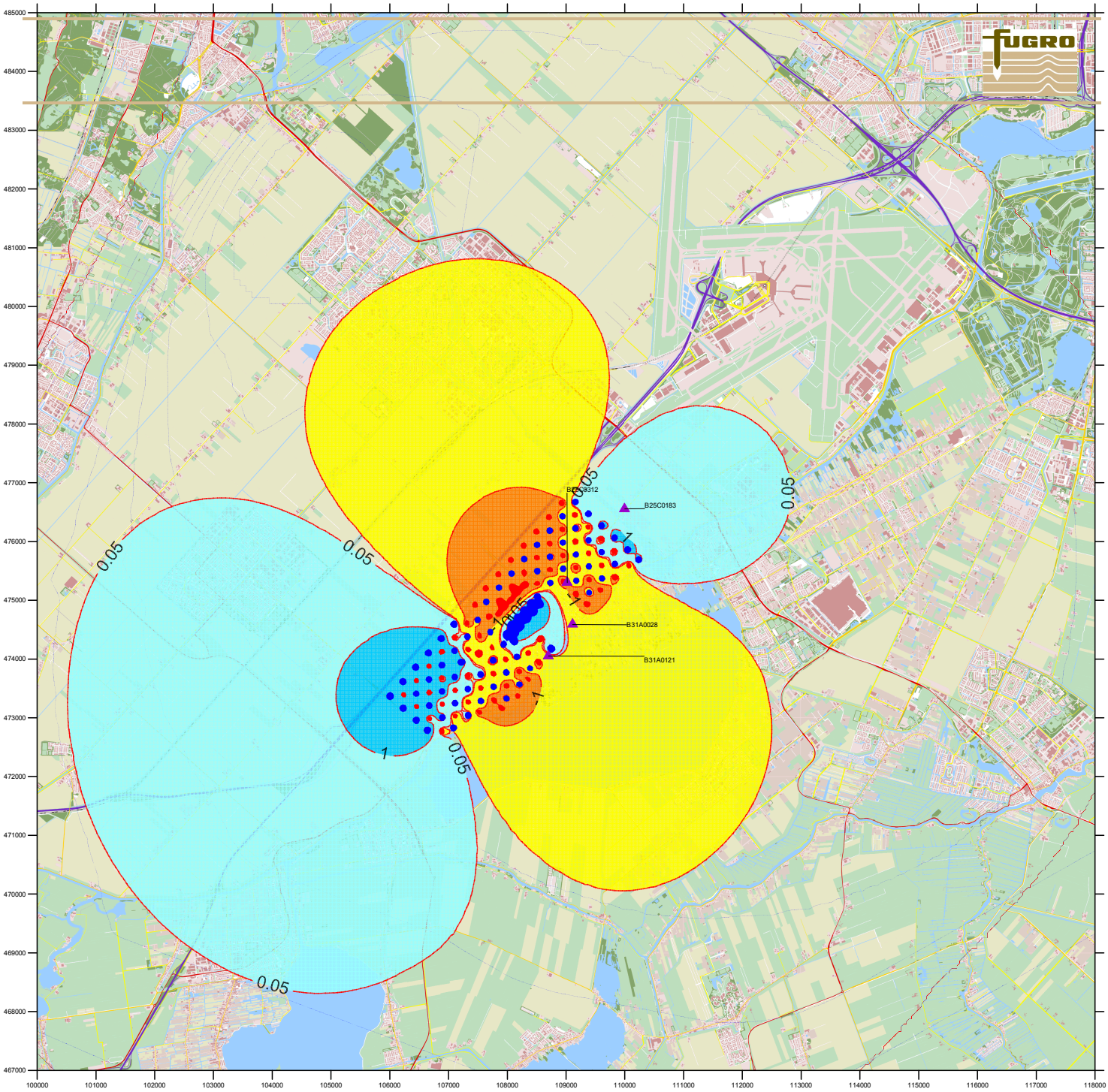
temperatuurindicatie toegevoegd ter illustratie van herkomst van verlaging en verhoging van stijghoogte.

schaal 1 : 75.000

HYDROLOGISCH INVLOEDSGEBIED ALTERNATIEF HYDROLOGISCH OPTIMAAL, VERSCHILLEN MET DE NORMALE STIJGHOOGTE TIJDENS KOUDE INJECTIE

ONDERGRONDSE ENERGIEOPSLAG PRIMAVERA TE RIJSENHOUT

Opdr. : 1307-0101-010
Bijlage : 6.1.A



Verlaging en verhoging van stijghoogte [meters waterkolom],
in derde watervoerend pakket.

5
1
0.05
-0.05
-1
-5

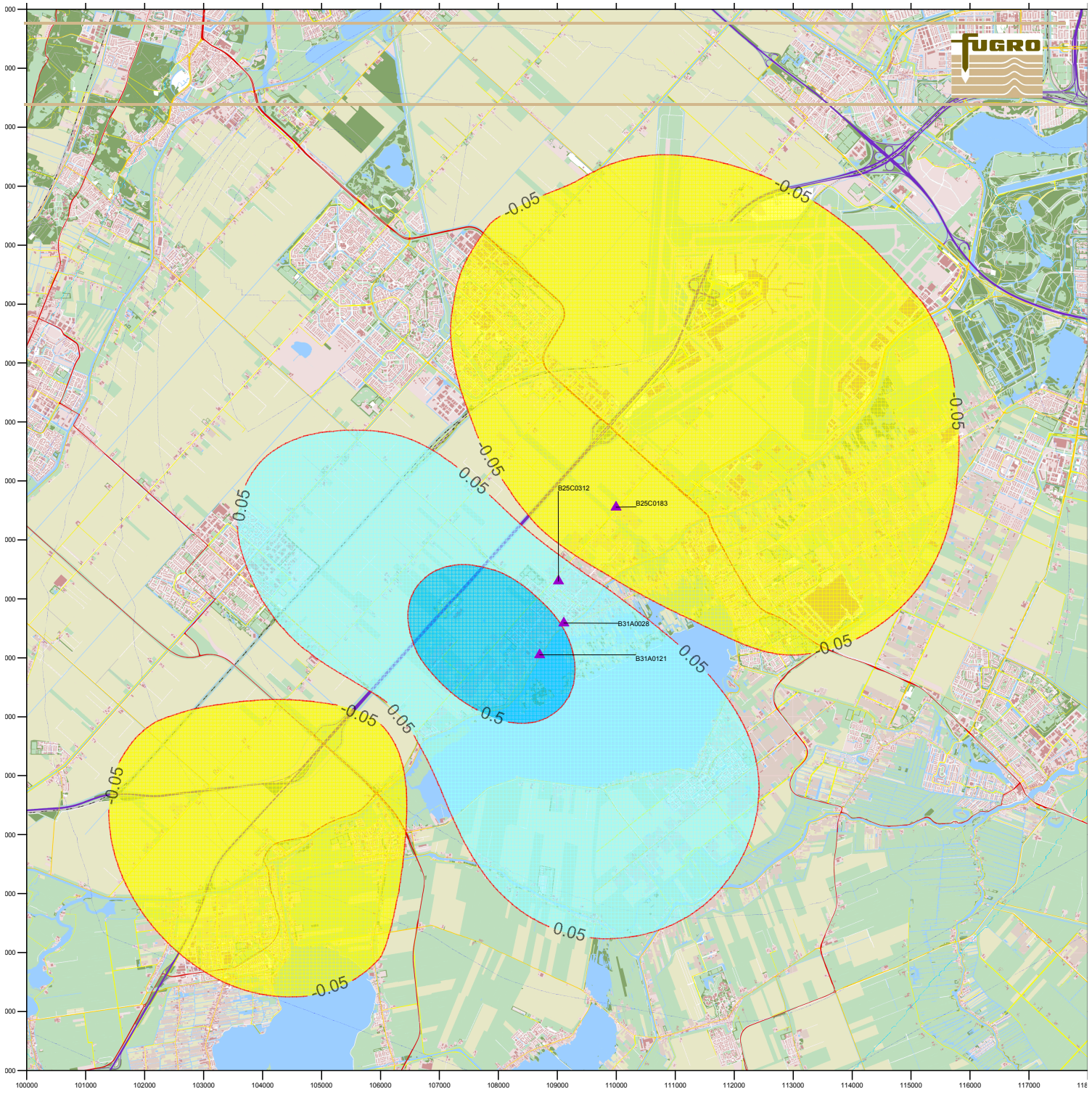
temperatuurindicatie toegevoegd ter illustratie van herkomst
van verlaging en verhoging van stijghoogte.

schaal 1 : 75.000

HYDROLOGISCH INVLOEDSGEBIED ALTERNATIEF HYDROLOGISCH OPTIMAAL, VERSCHILLEN MET DE NORMALE STIJGHOOGTE TIJDENS KOUDE INJECTIE

ONDERGRONDSE ENERGIEOPSLAG PRIMAVERA TE RIJSENHOUT

Opdr. : 1307-0101-010
Bijlage : 6.1.A



Verlaging en verhoging van stijghoogte [meters waterkolom],
in eerste watervoerend pakket.

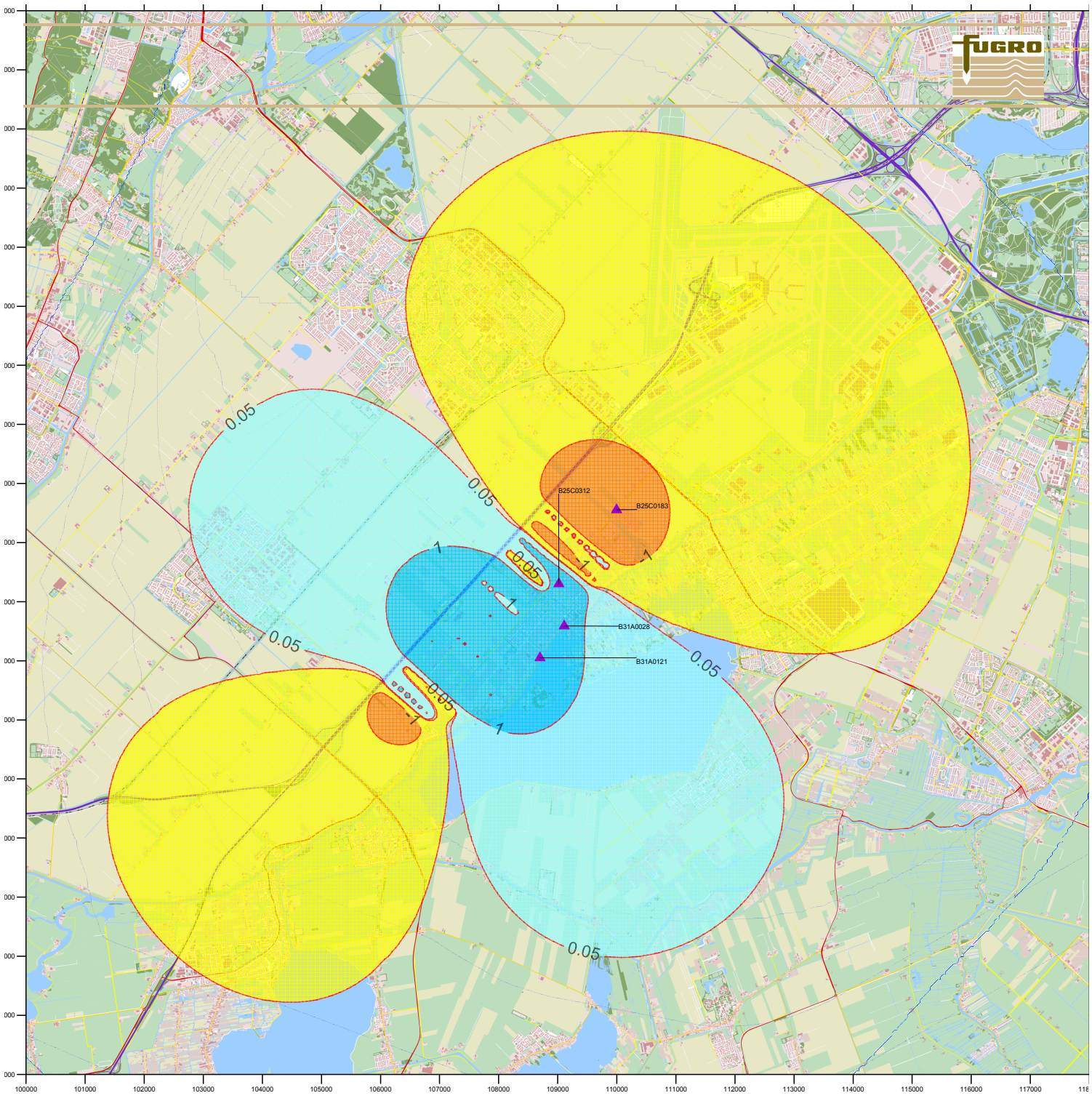
1
0.5
0.05
-0.05
-0.5
-1

schaal 1 : 75.000

HYDROLOGISCH INVLOEDSGEBIED ZONEVERBAND,
VERSCHILLEN MET DE NORMALE STIJGHOOGTE TIJDENS KOUDE INJECTIE

ONDERGRONDSE ENERGIEOPSLAG PRIMAVERA TE RIJSENHOUT

Opdr. : 1307-0101-010
Bijlage : 6.1.B WVP1



Verlaging en verhoging van stijghoogte [meters waterkolom], in derde watervoerend pakket.

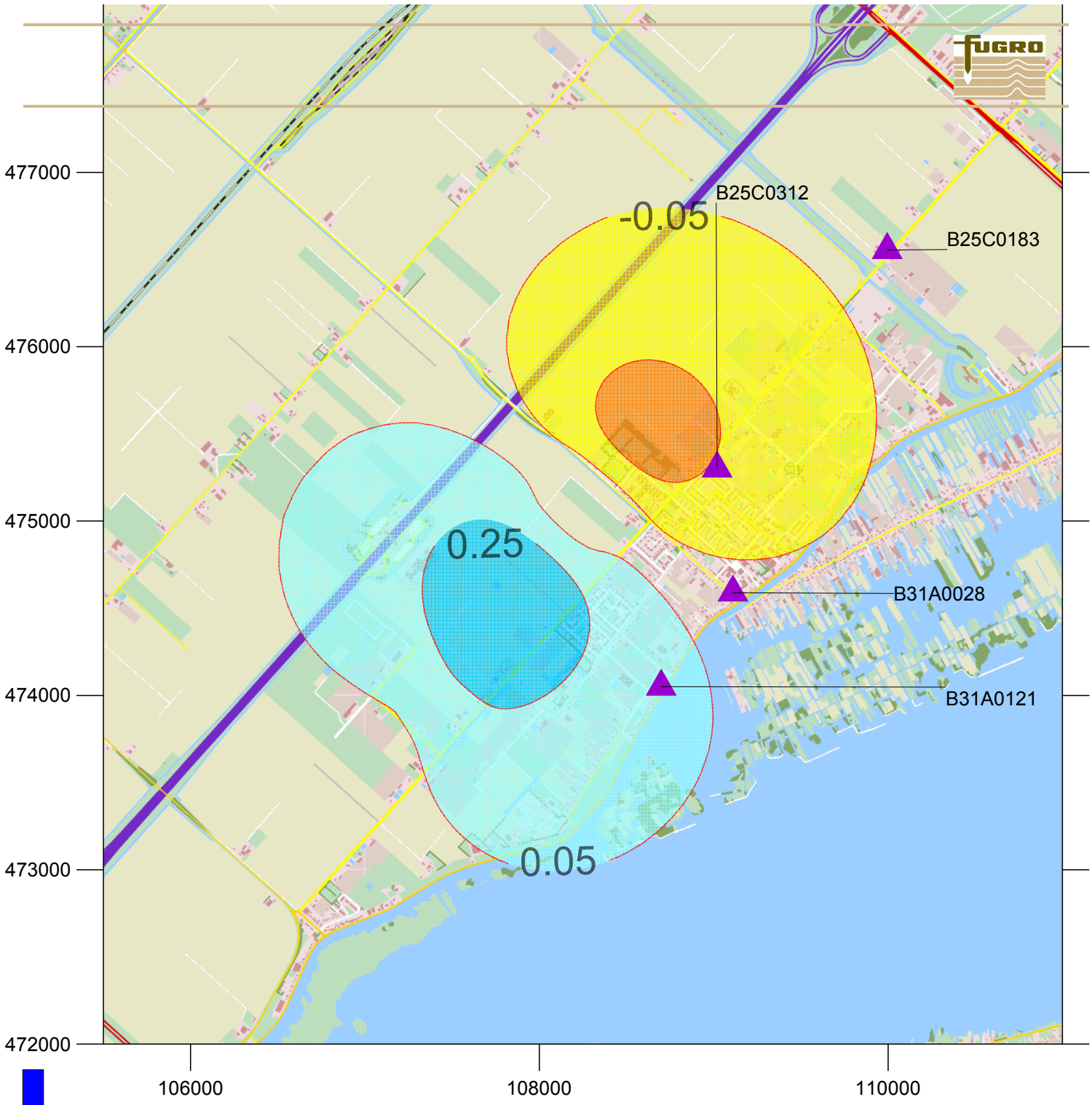
5
1
0.05
-0.05
-1
-5

schaal 1 : 75.000

HYDROLOGISCH INVLOEDSGEBIED ALTERNATIEF ENERGETISCH OPTIMAAL, VERSCHILLEN MET DE NORMALE STIJGHOOGTE TIJDENS KOUDE INJECTIE

ONDERGRONDSE ENERGIEOPSLAG PRIMAVERA TE RIJSENHOUT

Opdr. : 1307-0101-010
Bijlage : 6.1.B



0.5
0.25
0.05
-0.05
-0.25
-0.5

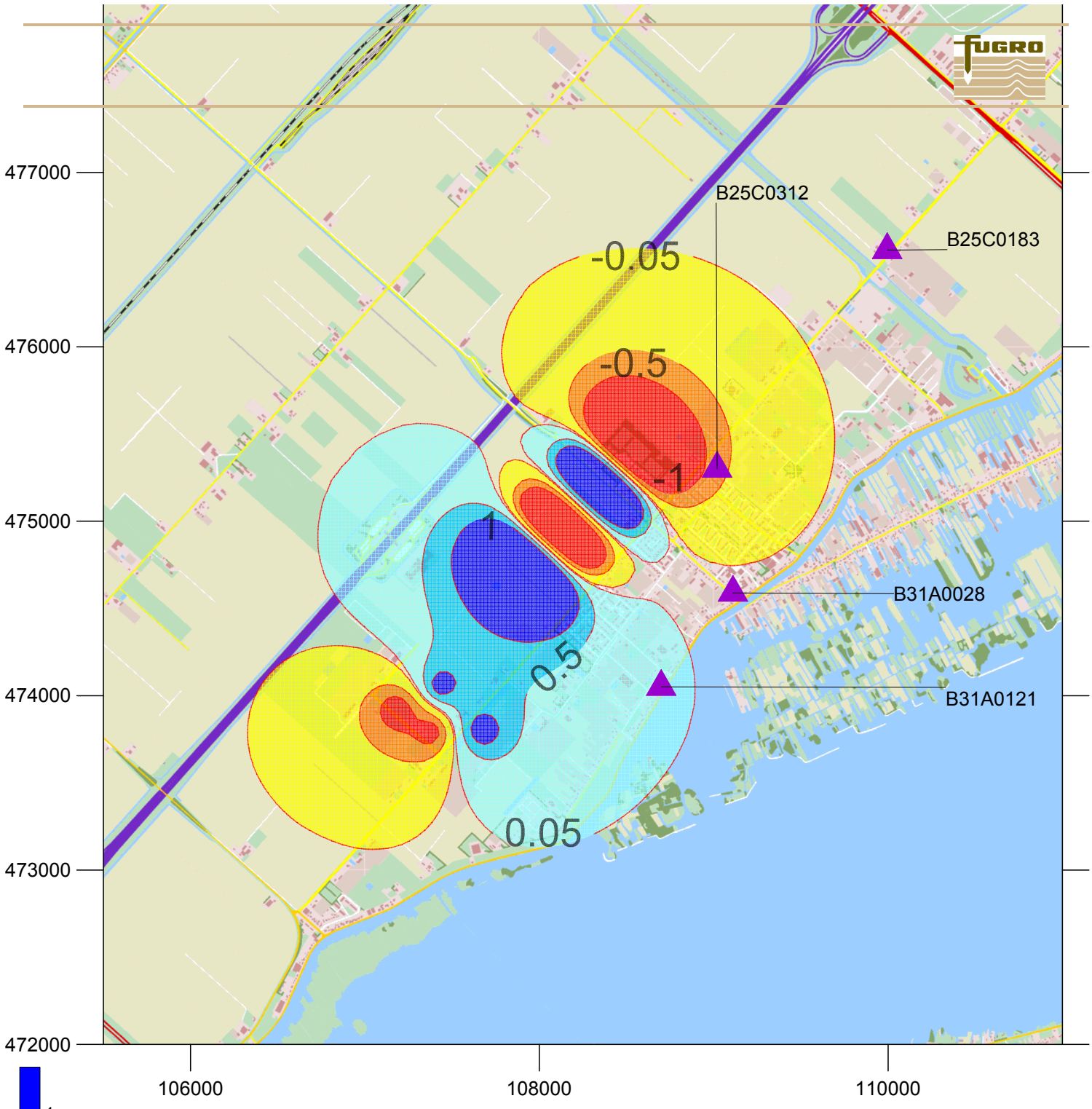
Verlaging en verhoging van stijghoogte [m waterkolom]
in eerste watervoerend pakket

schaal 1 : 16.000

OVERZICHT PLANGEBIED PRIMAVIERA, RECONSTRUCTIE RIJSENHOUT ZUID EN NOORD
HYDROLOGISCH INVLOEDSGEBIED WATERVOEREND PAKKET 1.

ONDERGRONDSE ENERGIEOPSLAG PRIMAVERA TE RIJSENHOUT

Opdr. : 1307-0101-010
Bijlage : 6.1.C WVP1



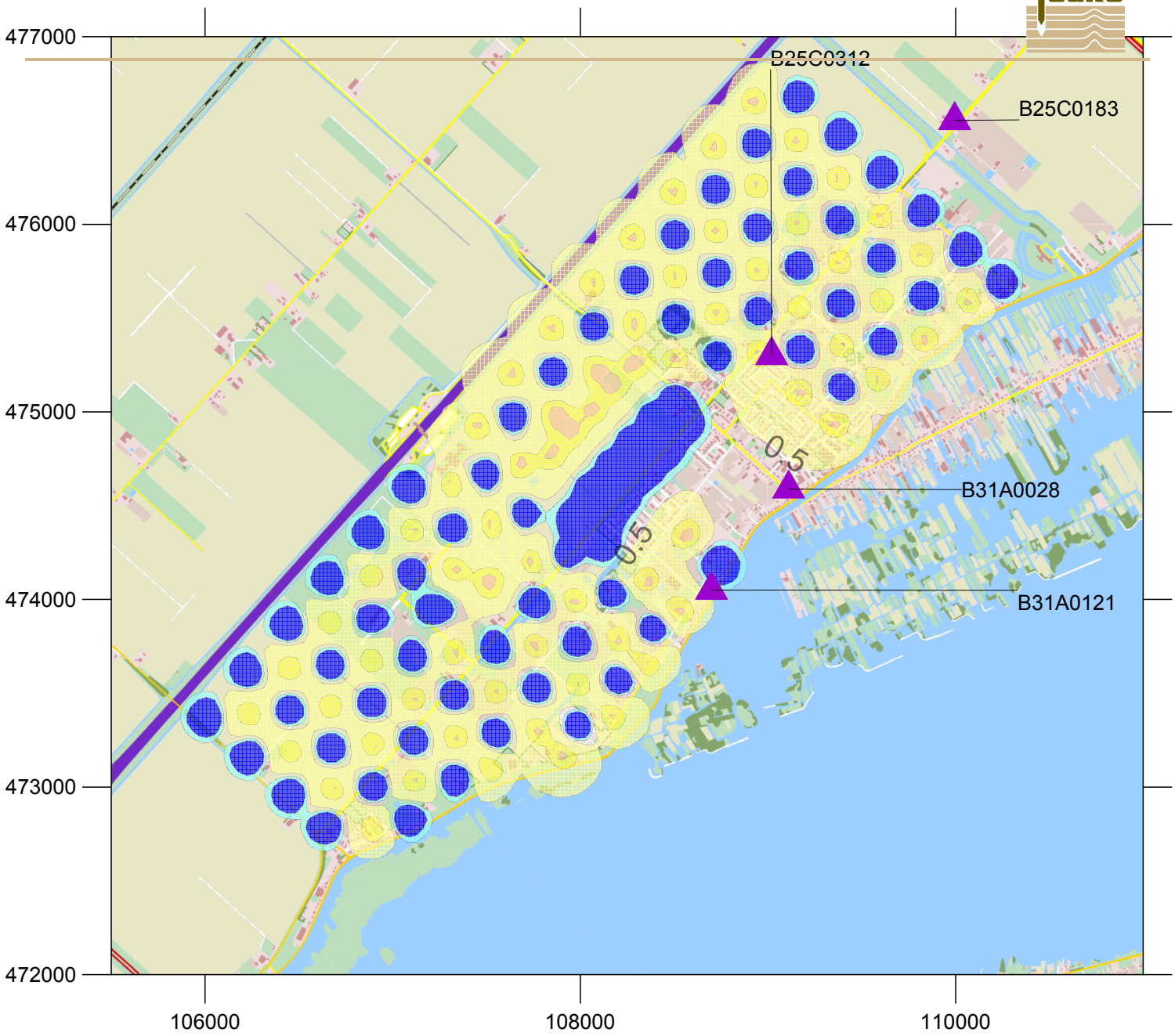
Verlaging en verhoging van stijghoogte [m waterkolom],
in eerste watervoerend pakket

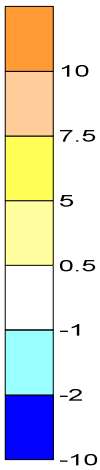
schaal 1 : 16.000

OVERZICHT PLANGEBIED PRIMAVIERA, RECONSTRUCTIE RIJSENHOUT ZUID EN NOORD
HYDROLOGISCH INVLOEDSGEBIED HT OPSLAG IN WATERVOERENDE PAKKET 2.

ONDERGRONDSE ENERGIEOPSLAG PRIMAVERA TE RIJSENHOUT

Opdr. : 1307-0101-010
Bijlage : 6.1.C WVP2



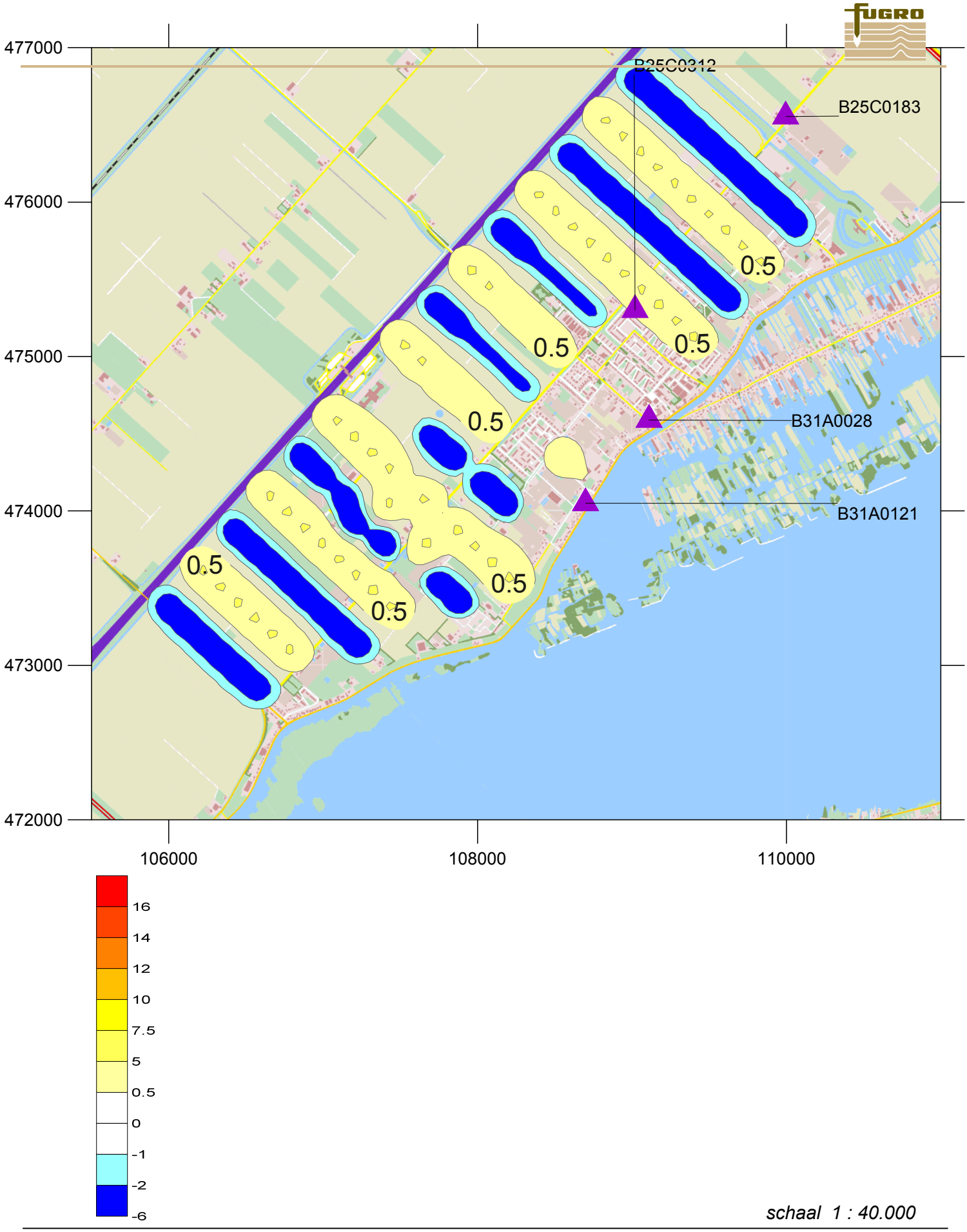


schaal 1 : 40.000

THERMISCH INVLOEDSGEBIED,
VERSCHILCONTOUREN NA KOUDE INJECTIE ALTERNATIEF A

ONDERGRONDSE ENERGIEOPSLAG PRIMAVERA TE RIJSENHOUT

Opdr. : 1307-0101-010
Bijlage : 6.2.1

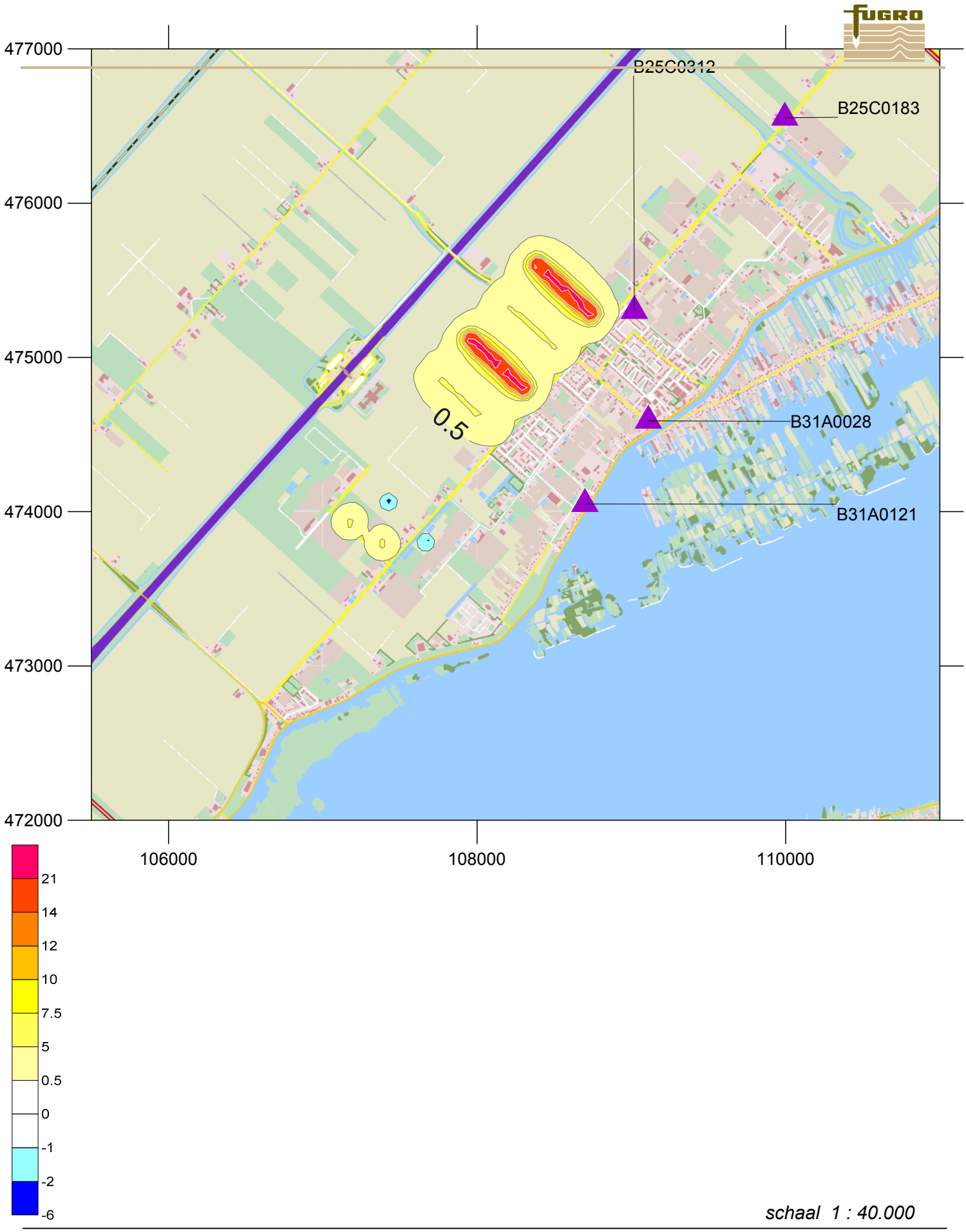


schaal 1 : 40.000

THEMPERATUURVERSCHILLEN MET OMGEVING NA 20STE KOUDE INJECTIE

ONDERGRONDSE ENERGIEOPSLAG PRIMAVERA TE RIJSENHOUT

Opdr. : 1307-0101-010
Bijlage : 6.2.2



schaal 1 : 40.000

THERMISCH INVLOEDSGEBIED ALTERNATIEF C, HT OPSLAG NA 20 JAAR IN WVP2.

ONDERGRONDSE ENERGIEOPSLAG PRIMAVERA TE RIJSENHOUT

Opdr. : 1307-0101-010
Bijlage : 6.2.C

Bijlage H6.3, Grondmechanische effecten

Door stijghoogteverlagingen in het opslagpakket kunnen cohesieve grondsoorten als klei en veen worden samengedrukt, met maaiveldzakkingen en zakkingen van op staal gefundeerde bebouwing of infrastructuur tot gevolg. De mate waarin zettingen daadwerkelijk optreden hangt af van de zettingsgevoeligheid van de ondergrond en van de grootte en het verloop van de stijghoogteverlagingen.

Berekeningsmodel
De zettingen zijn berekend met de formule van Koppejan (samenvoeging van de formules van Terzaghi en Buisman), die in grote lijnen als volgt kan worden geschreven:

$$w = H \cdot \left(\frac{1}{C_p} \cdot U + \frac{\log t}{C_s}\right) \cdot \ln\left(\frac{\sigma'_{v;z;o} + \Delta\sigma'_{v;z}}{\sigma'_{v;z;o}}\right)$$

waarin:
- w = zetting (primair + secundair) in m
- H = laagdikte in m
- C_p = primaire samendrukkingscoëfficiënt (-)
- C_s = secundaire samendrukkingscoëfficiënt (-)
- U = consolidatiegraad (-)
- t = tijd in dagen; voor 30 jaar, log t = circa 4
- $\sigma'_{v;z;o}$ = oorspronkelijke verticale korrelspanning in kPa
- $\Delta\sigma'_{v;z}$ = verticale korrelspanningsverhoging in kPa

Het optreden van de zettingen is een tijdsafhankelijk proces. Enerzijds is sprake van het uitdrijven van water (primaire zetting door consolidatie gedurende de hydrodynamische periode), anderzijds treedt kruip op (ook secundaire zetting genoemd). De berekende zettingen betreffen theoretische eindzettingen en zullen pas na geruime tijd worden bereikt. Hiervoor wordt meestal een periode van circa 30 jaar (10000 dagen) in acht genomen.

De lengte van deze periode (t_e) is afhankelijk van de laagdikte, de doorlatendheid van de samendrukbare lagen en de afstromingsmogelijkheden van het uit te persen water. De hydrodynamische periode is met de volgende formule berekend:

$$t_e = \frac{T \cdot (a \cdot h)^2}{c_v}$$

waarin:
- t_e = hydrodynamische periode in jaren
- h = laagdikte samendrukbaar pakket in m
- c_v = consolidatiecoëfficiënt in m²/s
- T = tijdfactor; praktisch einde van de consolidatie bij T=2
- a = constante; bij tweezijdige afstroming a=0,5;
  bij eenzijdige afstroming a=1

Op de projectlocatie is als gevolg van de verlagingen door de energieopslag sprake van eenzijdige afstroming. De verlaging van de waterspanning geschiedt in het tweede en derde watervoerend pakket, onder de eerste scheidende laag. Het grondwater zal daarom alleen

naar beneden willen afstromen. De factor a in bovenstaande formule heeft daarom de waarde 1,0.

Het verband tussen de consolidatiegraad U en de tijdfactor T is benaderd volgens:

$$U_v(\Delta t) = \left(\frac{T^3}{0{,}5 + T^3}\right)^{1/6}$$

waarin: $U_v(\Delta t)$ = consolidatiegraad na tijdsduur Δt (-)

De zetting die in de hydrodynamische periode optreedt, bestaat deels uit primaire en deels uit secundaire zetting. Na het verstrijken van de hydrodynamische periode treden alleen nog secundaire zettingen op.

Bodemschematisering en parameters
Voor de bodemopbouw is gebruik gemaakt van de TNO-boring (B31A0121) op de projectlocatie en sonderingen uit Fugro archief uit de omgeving. In de zettingsberekeningen is de bodemopbouw volgens Tabel B7.1 gebruikt. De bijbehorende grondparameters zijn gegeven in Tabel B7.2. Deze waarden zijn geschat op basis van tabel 1 van NEN6740:2006 en ervaring.

Figuur B7.1: Bodemschematisering

Voor de stijfheidsparameters zijn pessimistische waarden aangehouden, zodat een bovengrens van de te verwachten zetting is berekend. Een mogelijke vroegere voorbelasting, die leidt tot stijver grondgedrag, is niet in rekening gebracht omdat in het

projectgebied geen grondwaterbronnen aanwezig zijn die vergelijkbare verlagingen kunnen hebben veroorzaakt, aldus (p_g = 0).

Tabel B7.1: Schematisering en representatieve waarden grondparameters

Nr.	Grondlaag	Bovenkant laag [m NAP]	γ_{sat} [kN/m^3]
1	Zand losgepakt	-5,0	19
2	VEEN	-5,6	12
3	KLEI slap	-6,0	14
4	ZAND matig vastgepakt	-9,0	20
5	VEEN	-18,3	12
6	ZAND matig vastgepakt	-18,4	20
7	ZAND vastgepakt	-25,0	20
8	KLEI matig vast	-60,6	17
9	ZAND matig vastgepakt	-66,9	20
10	KLEI matig vast	-76,3	17
11	ZAND matig vastgepakt	-78,3	20
12	VEEN	-79,5	12
13	KLEI matig vast	-79,9	17
14	VEEN	-81,6	12
15	KLEI matig vast	-83,0	17
16	ZAND matig vastgepakt (derde watervoerend pakket)	-86,3	20

Tabel B7.2: Representatieve waarden grondparameters

Nr.	Overconsolidatie	Stijfheid en consolidatie		
	p_g [kPa]	C'_p [-]	C'_s [-]	c_v [m^2/s]
1	0,0	200	-	-
2	0,0	7,5	30	$1 \cdot 10^{-7}$
3	0,0	7,0	80	$1 \cdot 10^{-7}$
4	0,0	600	-	-
5	0,0	7,5	30	$1 \cdot 10^{-7}$
6	0,0	600	-	-
7	0,0	1000	-	-
8	0,0	15	160	$1 \cdot 10^{-7}$
9	0,0	600	-	-
10	0,0	15	160	$1 \cdot 10^{-7}$ *)
11	0,0	600	-	-
12	0,0	7,5	30	$1 \cdot 10^{-7}$ *)
13	0,0	15	160	$1 \cdot 10^{-7}$ *)
14	0,0	7,5	30	$1 \cdot 10^{-7}$ *)
15	0,0	15	160	$1 \cdot 10^{-7}$ *)
16	0,0	600	-	-

*) vanwege eenzijdige afstroming is in de berekening een 4 x zo lage waarde ingevoerd.

Berekende zetting
In de zettingsberekening is als belasting de hiervoor berekende verlaging van de waterspanning ingevoerd conform de maximale verlagingen die worden bereikt bij onttrekking volgens het zoneregime, namelijk:

- Grondwaterstand NAP -6,0 m; verlaging nihil
- Klei laagnr. 10 NAP -6,0 m; verlaging 1,8 m in hart bronnenveld
- Zand laagnr. 11 NAP -6,0 m; verlaging 1,8 m in hart bronnenveld
- Veen laagnr. 12 NAP -6,0 m; verlaging 2,2 m in hart bronnenveld
- Klei laagnr. 13 NAP -6,0 m; verlaging 3,8 m in hart bronnenveld
- Veen laagnr. 14 NAP -6,0 m; verlaging 5,0 m in hart bronnenveld
- Klei laagnr. 15 NAP -6,0 m; verlaging 8,0 m in hart bronnenveld
- Zand laagnr. 16 NAP -6,0 m; verlaging 8,0 m in hart bronnenveld

De bovengenoemde verlagingen van de grondwaterstand en stijghoogten treden alleen op ter plaatse van de onttrekkingsbronnen. Hoe groter de afstand tot deze bronnen, hoe kleiner de verlaging, zoals zichtbaar is in bijlagenreeks 6.1. In het derde watervoerend pakket (laagnr. 16) is verder verondersteld dat over de gehele hoogte (tot NAP-190 m) de bovengenoemde verlaging (8 m) ontstaat. Dit is een realistische aanname.

In Figuur 2 is het berekende verloop van de zetting in de tijd geschetst. Vanwege de eenzijdige afstroming verloopt het zettingsproces zeer langzaam in de tijd. Volledige consolidatie wordt pas bereikt na circa 47 jaar. De berekende zettingen zijn in Tabel B7.3 samengevat.

Tabel B7.3: Berekende zetting

Afstand tot bronnen [m]	Verlaging waterspanning in 2e w.v.p. [m]	Berekende zetting na 10000 dagen [m]	Berekende eindzetting (volledige consolidatie) [m]
0	8	0,070	0,071

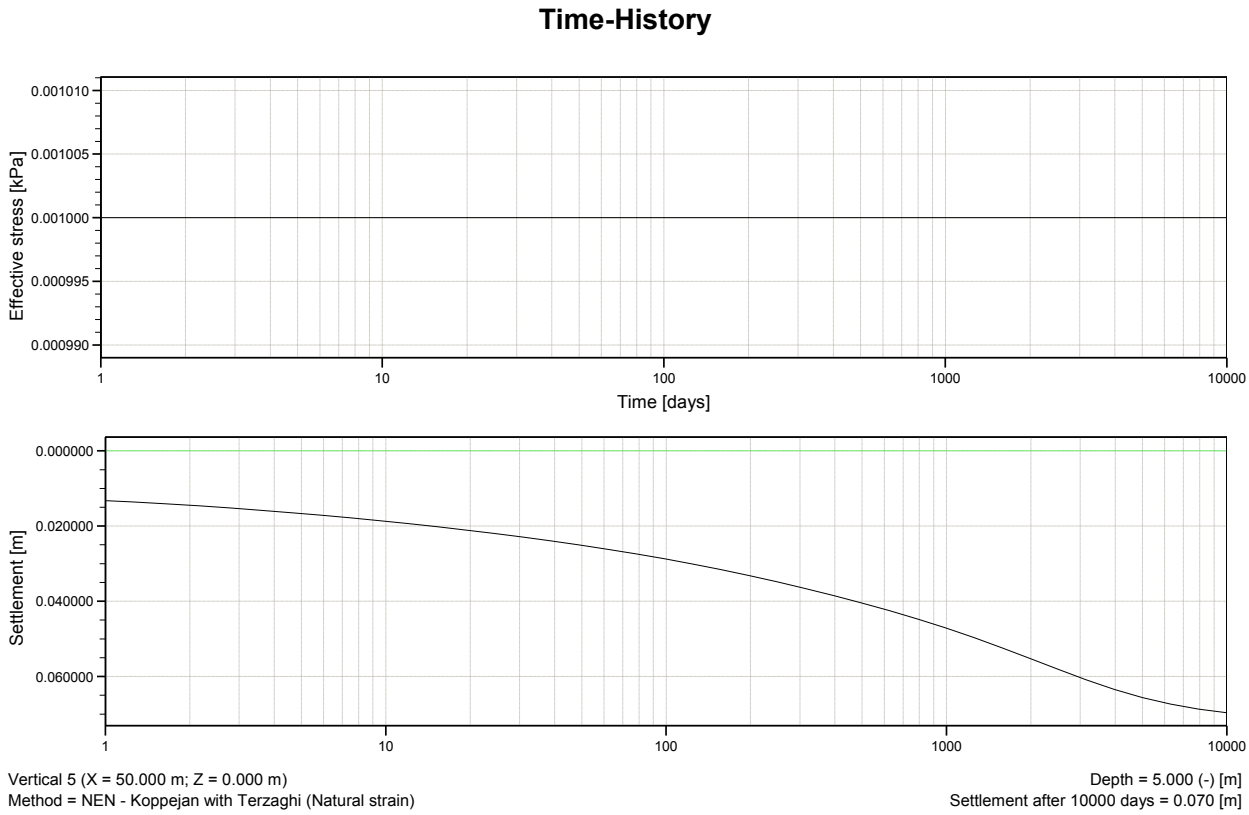
Opmerkingen:
- De onnauwkeurigheid in de berekende zetting bedraagt circa 50%.
- De zetting is berekend voor grenstoestand 2 (BGT).

Het berekende zettingsverloop over de diepte is gegeven in Tabel B7.4.

Tabel B7.4: Berekend verloop van de zetting over de diepte

Nr.	Grondlaag	Aandeel in de zetting [%]
1	Zand losgepakt	0
2	VEEN	0
3	KLEI slap	0
4	ZAND matig vastgepakt	0
5	VEEN	0
6	ZAND matig vastgepakt	0

7	ZAND vastgepakt	0
8	KLEI matig vast	0
9	ZAND matig vastgepakt	0
10	KLEI matig vast	7
11	ZAND matig vastgepakt	Nihil
12	VEEN	4
13	KLEI matig vast	9
14	VEEN	30
15	KLEI matig vast	34
16	ZAND matig vastgepakt (Derde watervoerend pakket)	15



Figuur 2: Zettingsverloop als functie van tijd