

Bodemenergieplan Waarderpolder en Oostradiaal

Gemeente Haarlem

Opdrachtgever

Gemeente Haarlem
Afdeling milieu
Postbus 511
2003 PB HAARLEM
Contactpersonen: dhr. M. van Someren
mevr. G. Ruijterman

Adviseur bodemenergie

IF Technology
Velperweg 37
Postbus 605
6800 AP ARNHEM
T 026 - 35 35 555
Contactpersonen: mevr. S.E. de Boer
dhr. M. Braakhekke

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Kader.....	3
1.2	Doelstelling project.....	6
1.3	Leeswijzer	7
2	Inventarisatie bodem en belangen	9
2.1	Geohydrologie.....	9
2.2	Aanwezige en toekomstige belangen	12
3	Duurzame energielevering	16
3.1	Inrichting plangebied	16
3.2	Energetische uitgangspunten	17
3.3	Bodempotentieel	19
4	Uitwerking bodemenergieplan.....	21
4.1	Plankaart bodemenergie	21
4.2	Thermische randvoorwaarden	23
4.3	Afweging bodemenergievariant	25
5	Orderingsregels	27
5.1	Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen	27
5.2	Juridische status	27
5.3	Orderingsregels Bodemenergieplan	28
6	Milieueffecten	31
6.1	Hydrologische effecten	31
6.2	Thermische effecten	32
6.3	Potentieel milieuvoordeel door ordening van de ondergrond	33
Bijlagen		
1	Aanwezige grondwaterbelangen en archeologie	
2	Toelichting energieconcepten	
3	Plankaart Bodemenergie Waarderpolder	
4	Orderingsregels Bodemenergieplan	
5	Begripsomschrijving	

1 Inleiding

1.1 Kader

De gemeente Haarlem heeft de ambitie om in 2030 klimaatneutraal te zijn. Voor het behalen van deze doelstelling wil zij het gebruik van duurzame bodemenergie stimuleren. Het principe van bodemenergie is dat in de zomer wordt gekoeld met winterkoude en in de winter wordt verwarmd met zomerwarmte.

Het bedrijventerrein Waarderpolder ligt ten oosten van het centrum van Haarlem. (zie Figuur 1.1.) Binnen het gebied zijn momenteel tussen de 1.000 en 1.100 bedrijven aanwezig. Het bedrijventerrein heeft een aanzienlijk aandeel in het totale energieverbruik van de gemeente Haarlem. Ingenieursbureau DWA heeft in 2010 een onderzoek uitgevoerd naar het verduurzamen van de verschillende energiestromen¹. Een van de conclusies van het onderzoek is dat het gebruik van bodemenergie een kansrijke methode is voor het verduurzamen van het bedrijventerrein.

Daarnaast is aan de zuidgrens van de Waarderpolder een grootschalige herontwikkeling in het gebied rond de Amsterdamse Vaart gepland onder de naam Oostradiaal. De oostelijke entree van Haarlem wordt volledig aangepast, waardoor ruimte ontstaat voor herontwikkeling. Dit biedt ook kansen voor de inzet van bodemenergie bij de nieuwe ontwikkelingen. De gemeente Haarlem wil door onder andere de toepassing van bodemenergie zowel het bedrijventerrein Waarderpolder als het aangrenzende plangebied Oostradiaal verduurzamen. Het bodemenergieplan Waarderpolder beschrijft voor beide deelgebieden de mogelijkheden voor bodemenergie.

Een gevolg van het stimuleren van het gebruik van bodemenergie is dat de drukte in de ondergrond zal toenemen. Er is behoefte aan een plan om ruimtelijke ordening aan te brengen bij de verdergaande toepassing van bodemenergiesystemen binnen het gebied. Deze ruimtelijke ordening is enerzijds nodig om de uitbreiding rond bestaande bodemenergiesystemen goed te reguleren en anderzijds om de capaciteit van de ondergrond bij de aanleg van nieuwe systemen optimaal te benutten.

De optimale ordening in de ondergrond is 3-dimensionaal en heeft dus ook een duidelijke verticale component. Om deze redenen heeft de gemeente Haarlem voor het gebied een bodemenergieplan laten opstellen.

Sinds 1 juli 2013 is het Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen van kracht. Dit besluit biedt mogelijkheden om de ruimtelijke ordening van bodemenergiesystemen juridisch te verankeren. In dit kader zal de gemeente Haarlem het plangebied van het bodemenergieplan via een gemeentelijke verordening ook aanwijzen als interferentiegebied (zie

¹ DWA, 2010. Energieonderzoek Waarderpolder. Referentie: 9651ds203ns

hoofdstuk 5). Het bodemenergieplan zal aan de provincie Noord-Holland worden aangeboden met het verzoek om het te betrekken bij vergunningverlening voor open systemen.



Figuur 1.1 Begrenzing van het plangebied

1.1.1 Principe energieopslag

De toepassing van bodemenergie in het plangebied kan via twee technisch verschillende principes worden gerealiseerd. Open systemen waarbij grondwater wordt opgepompt en geïnfiltreerd (WKO) of gesloten systemen waarbij warmte en koude via geleiding wordt onttrokken aan de bodem (BWW of bodemwarmtewisselaars). Binnen beide principes bestaan verschillende technische varianten. In deze paragraaf worden de systemen nader beschreven. Een begripsomschrijving is opgenomen in bijlage 5.

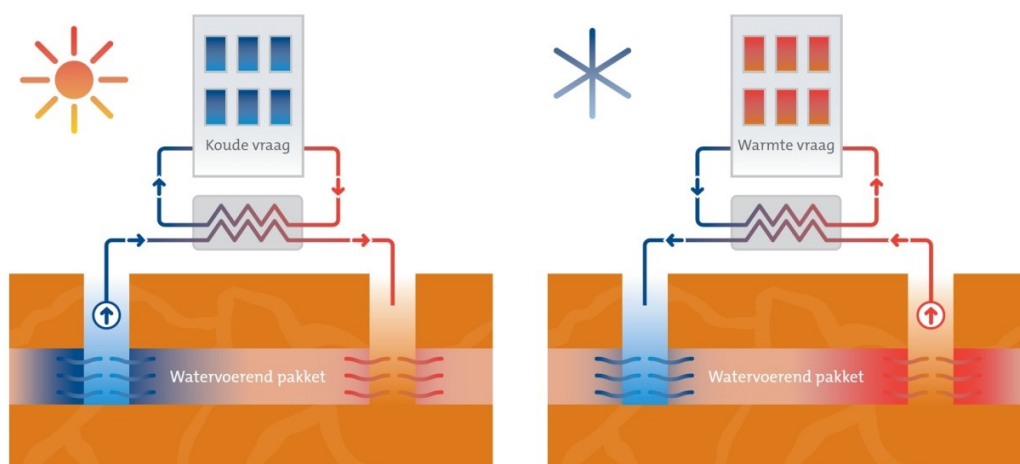
Open systemen

Het principe van energieopslag in de bodem via open systemen is dat in de zomer wordt gekoeld met winterkoude en in de winter wordt verwarmd met zomerwarmte. Een andere term voor deze vorm van bodemenergie is warmte-/koudeopslag (WKO).

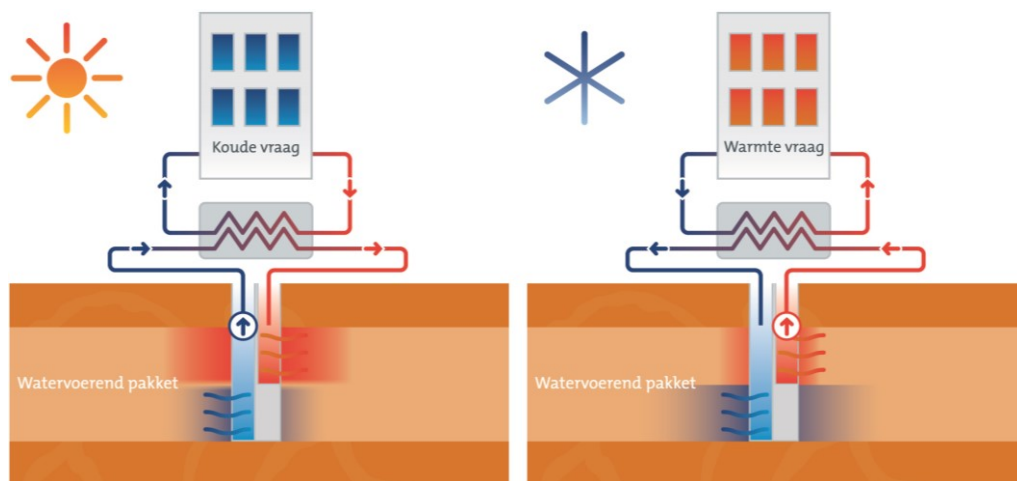
De koude en warmte wordt door middel van bronnen met behulp van grondwater in een ondergrondse watervoerende laag opgeslagen en hieruit onttrokken. Dit kan door een doubletsysteem (Figuur 1.2), een monobronsysteem (Figuur 1.3) of een recirculatiesysteem (Figuur 1.4). Deze systemen worden ook wel open systemen of grondwatersystemen genoemd. Het verschil tussen doubletsystemen en monobronsystemen enerzijds en recirculatiesystemen anderzijds, is dat bij doubletsystemen en monobronsystemen sprake is van een warm en een koud bronfilter. In de zomer wordt water via het koude bronfilter opgepompt en via het warme bronfilter geïnfiltreerd. In de winter is de stro-

mingsrichting tegengesteld. Bij recirculatiesystemen is sprake van een continue onttrekkingsbron en een infiltratiebron, hetgeen betekent dat de stromingsrichting het gehele jaar door gelijk is. In de rest van het rapport zal worden gesproken van open systemen indien het gaat om doubletsystemen, monobronsystemen en recirculatiesystemen.

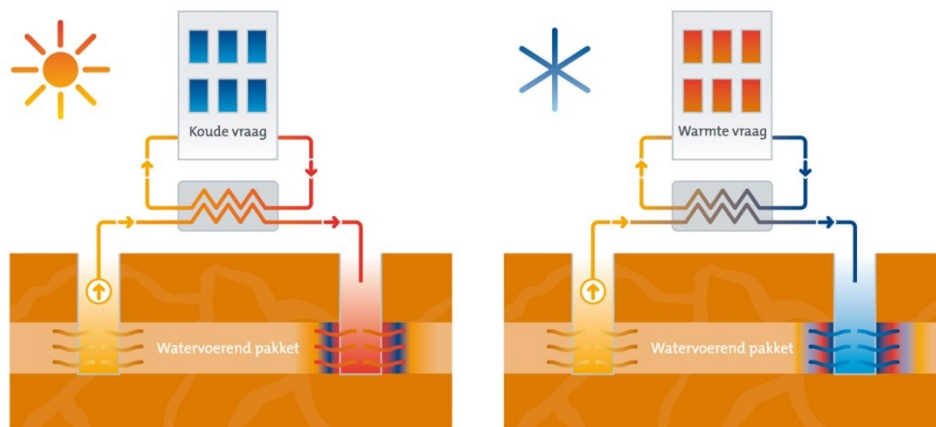
Als voorwaarde voor de toepassing van open WKO-systemen is tot 1 juli 2013 altijd gesteld dat een balans tussen warmte en koude opslag noodzakelijk is. Op basis van het Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen dat vanaf 1 juli 2013 in werking is getreden mag een bodemenergiesysteem ook resulteren in een koudeoverschot.



Figuur 1.2 Principeschema van een doubletsysteem (open systeem)



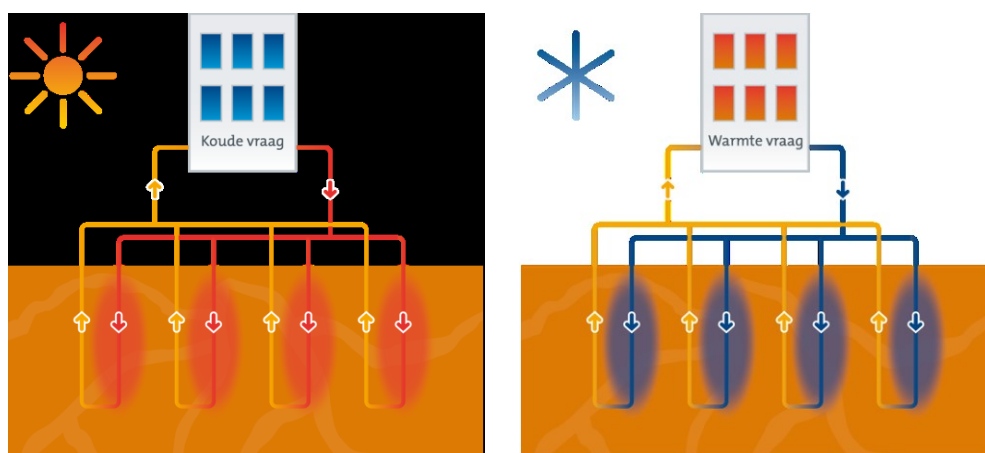
Figuur 1.3 Principeschema van een monobronsysteem (open systeem)



Figuur 1.4 Principeschema van een recirculatiesysteem (open systeem)

Gesloten systemen

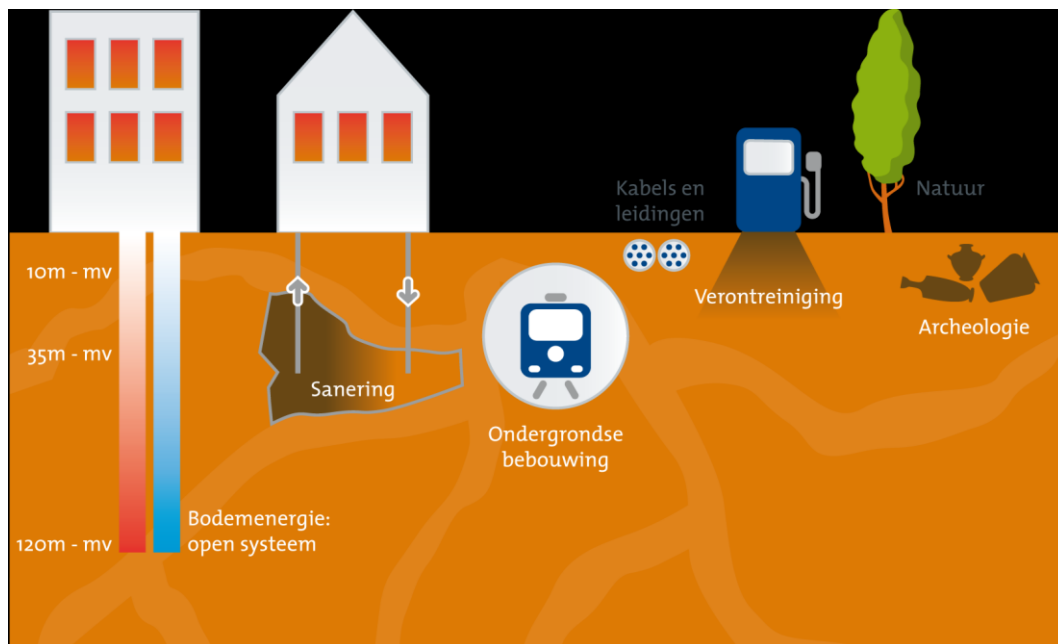
Tevens kan energie aan de bodem worden onttrokken op basis van geleiding met behulp van bodemwarmtewisselaars (Figuur 1.5). Hierbij wordt geen grondwater onttrokken, maar wordt energie toegevoerd of onttrokken door middel van geleiding. Systemen met bodemwarmtewisselaars worden ook wel gesloten systemen genoemd. In het vervolg zal worden gesproken van gesloten systemen indien het om deze bodemwarmtewisselaar-systemen gaat.



Figuur 1.5 Principe van een bodemwarmtewisselaarsysteem (gesloten systeem)

1.2 Doelstelling project

Gezien de ontwikkelingen die in en rondom de Waarderpolder en de Oost-radiaal zijn gepland, zal de drukte in de ondergrond bij toepassing van grootschalige energieopslag sterk toenemen. Het gevaar bestaat dat verschillende initiatieven voor bodemenergie elkaar en/of andere gebruikers van de ondergrond gaan beconcurreren, bijvoorbeeld door negatieve interactie met bestaande bodemenergiesystemen. Of nieuwe systemen worden geprojecteerd op locaties waar de aanleg van ondergrondse bouwwerken zoals een parkeerkelder of tunnel gepland zijn (Figuur 1.6).



Figuur 1.6 Overzicht van gebruikers van de ondergrond

Regie is gewenst om een optimaal en duurzaam gebruik van de ondergrond te borgen, zodat ongewenste interferentie (negatieve interactie) tussen bodemenergiesystemen onderling of met andere ondergrondse gebruikers wordt voorkomen. Voortijdige ordening van de ondergrond kan voorkomen dat individuele systemen die nu worden aangelegd, de aanleg van toekomstige systemen belemmeren.

Daarnaast dient het bodemenergieplan als stimulering voor de toepassing van bodemenergie. Het plan biedt direct duidelijkheid over de technische mogelijkheden en optimale opbrengsten van open systemen. Open bodemenergiesystemen zijn altijd vergunningplichtig. Dit plan vereenvoudigt de vergunningaanvraag van open systemen. Door de optimale ordening van warme en koude zones in het gebied biedt het plan de potentiële gebruikers feitelijk ook fysiek meer ruimte om bodemenergie toe te passen.

1.3 Leeswijzer

Het bodemenergieplan is als volgt opgebouwd:

Inventarisatie (hoofdstuk 2)

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de geohydrologische eigenschappen van de ondergrond ter plaatse. Daarnaast brengt dit hoofdstuk de huidige gebruikers van de ondergrond in de omgeving van de Waarderpolder in kaart.

Duurzame energielevering (hoofdstuk 3)

Hoofdstuk 3 beschrijft het plangebied Waarderpolder. Op basis van het recente energieverbruik is in dit hoofdstuk de gewenste toekomstige koude- en warmtelevering gekwantificeerd.

Uitwerking bodemenergieplan (hoofdstuk 4)

Dit hoofdstuk beschrijft hoe de ordening van de ondergrond kan worden vormgegeven in het bodemenergieplan. Tevens worden de randvoorwaarden voor het opstellen van de bodemenergieplankaart toegelicht. De bij de kaart behorende ordeningsregels worden toegelicht in hoofdstuk 5.

Beleid (hoofdstuk 5)

Hoofdstuk 5 behandelt de ordeningsregels waaraan nieuwe initiatiefnemers van bodemenergie in het plangebied zich moeten houden. Tevens wordt ingegaan op relevante wetgeving en beleidsaspecten zoals het Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen en de juridische verankering van het bodemenergieplan.

Milieueffecten (hoofdstuk 6)

In dit hoofdstuk zijn de milieuvoordelen van de toepassing van bodemenergie in de Waarderpolder gekwantificeerd. Daarnaast wordt ook ingegaan op de effecten van het bodemenergieplan op de omgeving en wordt het milieuvoordeel bepaald.

2 Inventarisatie bodem en belangen

Voor het toepassen van bodemenergie is een aantal aspecten van belang die zowel technisch als juridisch van aard zijn. De uitwerking van het bodemenergieplan vindt plaats aan de hand van een inventarisatie van de belangrijkste randvoorwaarden:

1. Bovengrondse inrichting in het plangebied (beschikbare ruimte voor bronpositionering);
2. Energievraag van de bouwontwikkelingen;
3. Geohydrologische opbouw ondergrond;
4. Overige bestaande en toekomstige ondergrondse functies en belangen;
5. Thermische randvoorwaarden.

De afweging van deze randvoorwaarden leidt tot een ordeningsplan van de ondergrond waarbij kansen voor combinatie van functies worden benut en negatieve interactie tussen verschillende gebruikers wordt geminimaliseerd. In dit hoofdstuk worden alle relevante aspecten behandeld.

2.1 Geohydrologie

Het technisch goed functioneren van een bodemenergiesysteem is afhankelijk van een aantal bodemeigenschappen. Belangrijkste voorwaarde is dat in de bodem een geschikte watervoerende laag aanwezig is, die voldoende capaciteit biedt voor de opslag van koude en warmte. Daarnaast zijn de grootte en de richting van de grondwaterstroming van belang bij het positioneren van de bronnen. Thermische interactie tussen de warme en koude bellen dient te worden voorkomen in verband met rendementsverlies. Tenslotte dient de grondwaterkwaliteit te worden beschouwd in verband met de materiaalkeuze van de bronnen en het mogelijke risico op bronverstopping bij menging van verschillende watertypen.

2.1.1 Bodemgeschiktheid

Uit Figuur 2.1 volgt dat op de locatie drie watervoerende lagen aanwezig zijn: een eerste, tweede en derde watervoerende pakket. De tweede scheidende laag ontbreekt in het gehele gebied, waardoor het tweede en derde watervoerende pakket een gecombineerde watervoerende laag vormen.

Deklaag

De deklaag bestaat uit veen, klei en fijn zand. De dikte van deze deklaag is in het gebied circa 15 m.

Eerste watervoerende pakket

Het eerste watervoerende pakket tussen 15 en 55 m-mv bestaat uit overwegend grof zand. Het pakket is geschikt voor de toepassing van kleinschalige open systemen en voor de toepassing van gesloten systemen.

Het toepassen van kleinschalige open systemen in het eerste watervoerende pakket is onder voorwaarden toegestaan (zie ook de ordeningsregels in bijlage 4). Het bodemenergieplan schrijft echter geen zoekgebieden voor koude en warme bronnen van open systemen in het eerste watervoerende pakket voor.

Eerste scheidende laag

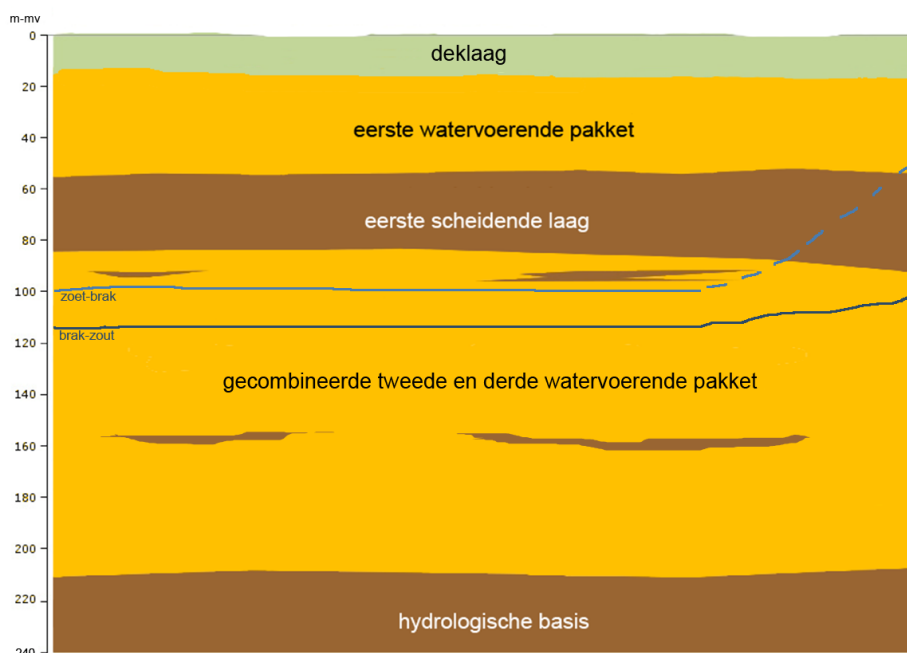
De eerste scheidende laag tussen 55 en 85 m-mv bestaat uit klei, leem en lokale zandlagen. Vanwege de dikte van de laag, circa 30 meter, treedt weinig tot geen interactie op tussen het eerste en het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket. Deze laag is geschikt voor de toepassing van gesloten systemen.

Gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket

Op basis van boorbeschrijvingen uit het archief van TNO Bouw en Ondergrond (DINO Loket) blijkt dat op de locatie geen aaneengesloten scheidende laag tussen het tweede en derde watervoerende pakket voorkomt. Derhalve kunnen beide watervoerende pakketten als één geheel worden beschouwd. Het pakket bestaat uit matig grof tot uiterst grof zand met enkele lokale kleilagen.

Het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket biedt bodemtechnisch gezien de beste mogelijkheden voor de toepassing van grootschalige open bodemenergiesysteem van circa 90 tot zeker 180 m-mv. Derhalve wordt in het vervolg van het bodemenergieplan uitgegaan van opslag en winning van bodemenergie via open systemen in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket. Het bodemenergieplan focust op een optimaal gebruik en indeling van dit watervoerende pakket.

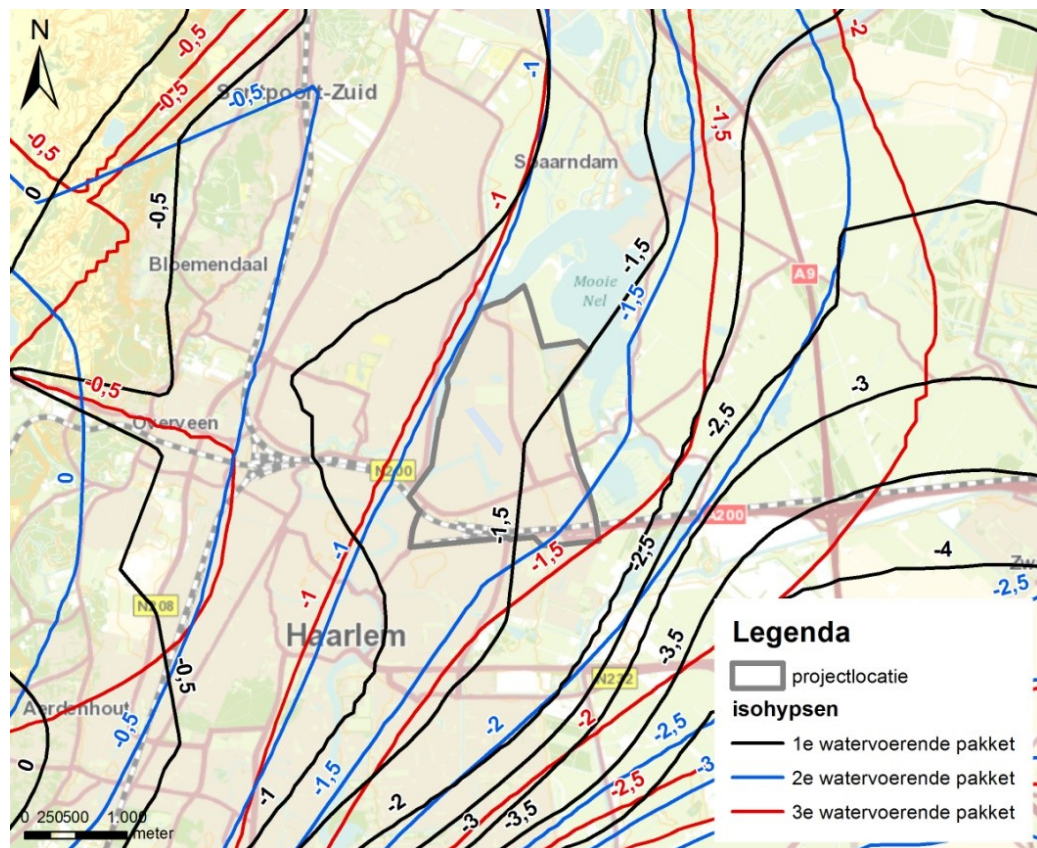
Het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket is tevens geschikt voor gesloten systemen. Aangezien de gemeente Haarlem de ontwikkeling van open bodemenergiesystemen wil stimuleren, wordt er voor gekozen de gesloten systemen in principe niet in het tweede en derde watervoerende pakket toe te staan (zie ook paragraaf 5.3).



Figuur 2.1 Doorsnede (W-O) van de ondergrond (bron: REGIS, TNO)

2.1.2 Grondwaterstroming

Figuur 2.2 presenteert het stijghoogteverloop in het eerste en het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket (bron: REGIS, TNO).



Figuur 2.2 Stijghoogteverloop in de watervoerende pakketten (Bron: REGIS, TNO)

Het grondwater in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket stroomt in zuidoostelijke richting met een snelheid van 10 à 20 meter per jaar. Deze stroomsnelheid vormt geen beperking voor de inrichting van het bodemenergieplan.

2.1.3 Grondwaterkwaliteit en -temperatuur

Uit gegevens van de grondwaterkwaliteit (bron: REGIS, TNO) blijkt dat de overgang van zoet naar brak grondwater zich op circa 100 m-mv bevindt, bovenin het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket. De overgang van brak naar zout grondwater bevindt zich op circa 110 m-mv. Het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket bevat grotendeels zout grondwater.

Aan de oostkant van het plangebied is een steile gradiënt aanwezig en ligt het zoet-/brakgrensvlak aanzienlijk ondieper (zie ook Figuur 2.1). Uit onderzoek van Omegam² en Geodelft³ volgt dat ook in de noordkop van de Waarderpolder de overgang van zoet naar brak grondwater ondieper ligt en onderin het eerste watervoerende pakket zout grondwater voorkomt.

Tijdens het startoverleg voor het bodemenergieplan Waarderpolder op 20 april 2011 heeft de provincie Noord-Holland aangegeven dat de ligging van het zoet-/brakgrensvlak geen aandachtspunt vormt voor de toepassing van bodemenergie in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket. Toepassing lijkt mogelijk maar uit de vergunningaanvraag en berekeningen moet blijken dat er daadwerkelijk geen negatieve effecten zijn. Negatieve effecten worden aangetoond door effectberekeningen. Veranderingen van stijghoogten, freatische standen en fluxen moeten worden berekend. Vervolgens moet hieruit worden afgeleid of en hoe de grondwaterkwaliteit verandert. De reden hiervoor is dat de zoete grondwatervoorraad bovenin het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket en in het eerste watervoerende pakket te gering is voor grootschalige drinkwaterwinning. Het gehele pakket kan dus worden gebruikt voor de toepassing van bodemenergie. Tevens is in het overleg van 19 juli 2011 besproken dat dit ook geldt voor het eerste watervoerende pakket in het noordelijke en oostelijke deel van het plangebied.

Uit temperatuurmetingen blijkt dat het grondwater in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket een gemiddelde temperatuur heeft van circa 12,5 °C. De temperatuur van het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket is geschikt voor de toepassing van bodemenergie.

2.2 Aanwezige en toekomstige belangen

Bij de toepassing van bodemenergie dient rekening te worden gehouden met reeds aanwezige en toekomstige belangen. Bij de behandeling van de vergunningaanvraag in het kader van de Waterwet maakt de provincie een afweging van de invloed op deze belangen. Belanghebbenden mogen namelijk geen negatieve invloed ondervinden van het beoogde bodemenergiesysteem. Het risico op negatieve interactie wordt bepaald door de grootte en configuratie van de beoogde systemen, de bodemopbouw en de afstand (zowel verticaal als horizontaal) tot de aanwezige belangen. Bijlage 1 geeft een overzicht van de aanwezige belanghebbenden in de omgeving van de Waarderpolder. In de onderstaande paragrafen zijn de diverse belanghebbenden apart toegelicht. In deze inventarisatie zijn alle aanwezige en toekomstige belangen meegenomen die op het moment van inventarisatie bekend zijn.

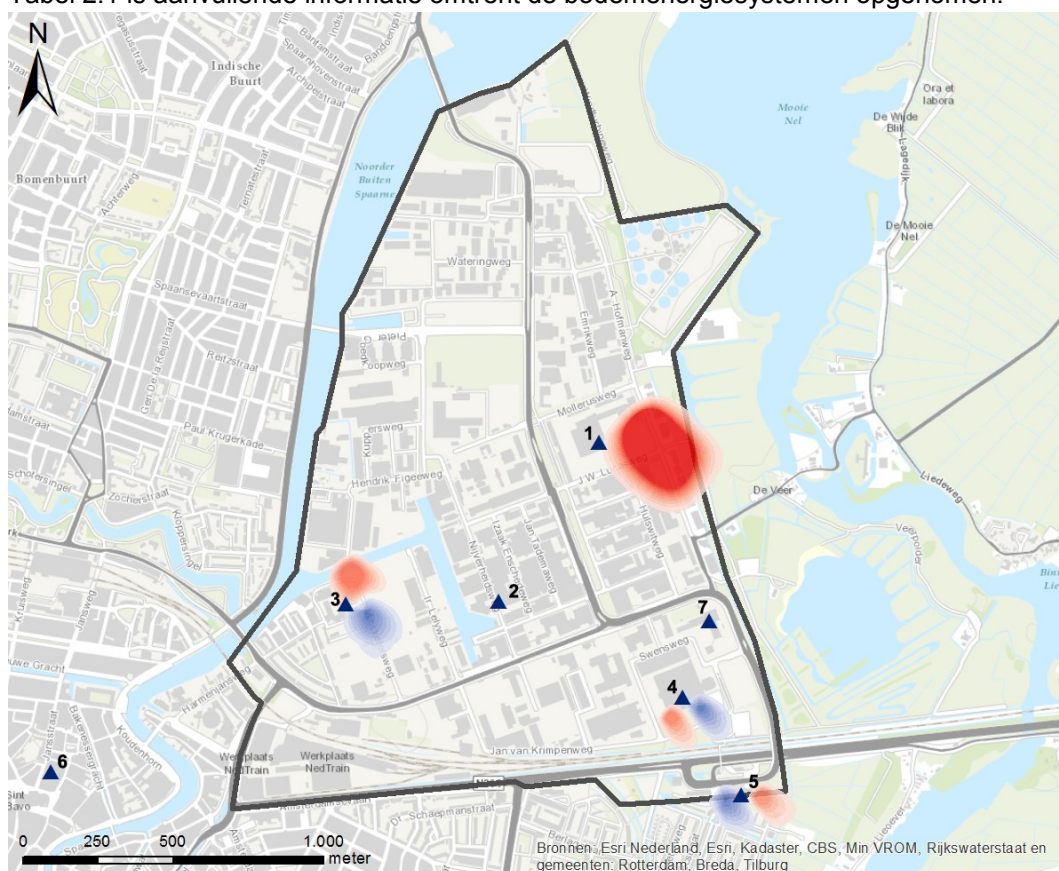
2.2.1 Grondwatergebruikers

Bij de provincie Noord-Holland is een overzicht opgevraagd van de aanwezige grondwateronttrekkingen in de omgeving van de Waarderpolder. Uit dit overzicht blijkt dat in en rondom het plangebied zeven vergunde en/of bestaande onttrekkingen ten behoeve van bodemenergie aanwezig zijn. De bodemenergiesystemen zijn opgenomen in Figuur 2.3. In

² Omegam, 1995. Eindverslag van het nader bodemonderzoek derde fase op het voormalige terrein van de firma RIDS te Haarlem. Referentie: project (12)6834.5

³ Geodelft, 2003. Saneringsplan RIDS – tussentijds rapport (CONCEPT). Referentie: CO-395360.28

Tabel 2.1 is aanvullende informatie omtrent de bodemenergiesystemen opgenomen.



Figuur 2.3 Vergunde bodemenergiesystemen inclusief, indien bekend, het thermische invloed gebied

Tabel 2.1 Grondwateronttrekkingen ten behoeve van WKO binnen 1 km van de projectlocatie (mei 2014)

naam	locatie	filterdiepte [m-mv]	vergunde hoeveelheid [m³/jaar]
Evoswitch*	1	... - 170	1.450.000
Staforsta BV	2	23 - 52	24.700
Nieuwe Energie	3	... - 180	440.000
IKEA	4	... - 149	620.000
Oostpoort	5	... - 145	180.000
Rechtbank	6	?	260.000
Teva Pharmachemie	7	90 - 150	1.435.000

* Evoswitch is reeds vergund in 2010 maar nog niet gerealiseerd in 2014

Van de bodemenergiesystemen uit Tabel 2.1 bevindt het systeem van Staforsta BV zich in het eerste watervoerende pakket. De overige systemen zijn vergund in het tweede en derde watervoerende pakket.

Verder zijn nog diverse tijdelijke en permanente onttrekkingen aanwezig in de deklaag en het eerste watervoerende pakket. Zie bijlage 1 voor de ligging van de overige onttrekkingen in de deklaag en het eerste watervoerende pakket.

Gezien de dikte van de eerste scheidende laag zal weinig tot geen interactie optreden tussen het eerste en het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket. Deze

onttrekkingen vormen zodoende geen aandachtspunt voor toepassing van bodemenergie in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket. Bij toepassing van bodemenergie in het eerste watervoerende pakket kunnen de onttrekkingen evenwel een aandachtspunt vormen.

2.2.2 Natuurgebieden

Volgens de website van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (www.synbiosys.alterra.nl) zijn binnen een straal van 2 km van de locatie geen Vogelrichtlijn-, Habitatrichtlijn- of Natuurbeschermingswetgebieden aanwezig. De projectlocatie grenst aan de oostzijde aan een gebied dat valt onder de (Provinciale) Ecologische Hoofdstructuur.

2.2.3 Verontreinigingen

Bij de gemeente Haarlem is navraag gedaan naar de verontreinigingssituatie op de locatie. De bodem op en rondom het RIDS-terrein, in het noorden van de Waarderpolder (zie bijlage 1), is sterk verontreinigd met onder andere chloorbenzenen, chloorfenolen en benzeen. Deze mobiele verontreinigingen zijn doorgedrongen tot aan de basis van het eerste watervoerende pakket, tot circa 55 m-mv. De gemeente Haarlem werkt op dit moment met NV Afvalzorg aan een saneringsplan voor het RIDS-terrein.

In het midden en zuiden van de Waarderpolder komen nog mobiele verontreinigingen voor van onder andere een gasfabriek (aromaten, pak, cyaniden, minerale olie) een verontreiniging met ftalaten en VOCI's en verontreinigingen met minerale oliën. Volgens de informatie van de gemeente Haarlem zijn deze verontreinigingen minimaal aanwezig tot aan de basis van de deklaag. Plaatselijk zijn de verontreinigingen zelfs doorgedrongen tot in de top van het eerste watervoerende pakket. De verontreinigingen zullen niet direct worden beïnvloed door de toepassing van bodemenergie met open systemen in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket. Ze vormen evenwel een aandachtspunt in de realisatiefase, wanneer de bronnen worden geboord. Aanvullende maatregelen in de vorm van een saneringsplan zijn dan waarschijnlijk noodzakelijk vanuit de Wet bodembescherming (Wbb). Daarnaast zijn de verontreinigingen direct een aandachtspunt bij toepassing van zowel open als gesloten bodemenergiesystemen in het eerste watervoerende pakket. In de plankaart zijn de verontreinigingslocaties opgenomen.

2.2.4 Aardkundige waarden

Ten oosten van de Waarderpolder is een aardkundige monument aanwezig (zie bijlage 1). Aardkundige monumenten vormen voor elke vorm van vergraving dieper dan 1 m-mv een belemmering. Elke verstoring door een booractiviteit ten behoeve van bodemenergie is, ongeacht de diepte, in principe niet toegestaan (provinciaal beleid). Gezien de afstand tot het plangebied vormt dit geen aandachtspunt voor de toepassing van bodemenergie.

2.2.5 Archeologie en gevoelige bebouwing

Op basis van de Archeologische Beleidskaart Haarlem (ABH) en het bestemmingsplan Waarderpolder zijn de aanwezige archeologische belangen vastgesteld (zie bijlage 1). Volgens de ABH geldt het centrum van Haarlem, dat aan het zuidwestelijke deel van het plangebied grenst, als een terrein met een hoge archeologische verwachting (cat. 1b).

Volgens het bestemmingsplan Waarderpolder zijn op het terrein enkele gebieden aanwezig met een middellage tot middelhoge archeologische verwachting (cat. 4, 3 en 2). De

archeologische belangen zijn een aandachtspunt bij de toepassing van gesloten systemen en de toepassing van open systemen in het eerste watervoerende pakket.

In Haarlem zijn gebouwen aanwezig die zijn gefundeerd met (houten) palen. Houten palen zijn gevoelig voor grondwaterstandveranderingen. Met name bij verlagingen van de grondwaterstand bestaat de kans op paalrot. Bij toepassing van bodemenergie in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket is de invloed op de grondwaterstand minimaal. Bij toepassing van open systemen in het eerste watervoerende pakket vormen houten palen en zettingen een aandachtspunt.

2.2.6 Infrastructuur en waterkeringen

In de zuidwesthoek van het plangebied zullen meerdere parkeerkelders onder woningen worden gerealiseerd. In het plangebied zijn enkele bovengrondse en ondergrondse watergangen aanwezig of gepland. Direct ten zuiden van de Waarderpolder ligt de spoorlijn tussen Amsterdam en Haarlem en bevindt zich het station Spaarnwoude.

Alle infrastructurele werken bevinden zich in de deklaag. Ook hiervoor geldt dat geen negatieve effecten zullen optreden bij onttrekking in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket, aangezien dit minimale effecten heeft op de grondwaterstand in deklaag. De watergangen en parkeerkelders vormen wel aandachtspunten bij het bepalen van de bronlocaties. Bij toepassing van open systemen in het eerste watervoerende pakket kunnen parkeerkelders eveneens een aandachtspunt vormen.

In het zuidelijke deel van het plangebied, langs de Amsterdamse Vaart, liggen boezemkeringen (zie bijlage 1). Waterkeringen vormen een belangrijk aandachtspunt bij het kiezen van de bronlocaties en bij het realiseren van gesloten systemen.

De spoorlijn en de waterkeringen vormen tevens aandachtspunten ten aanzien van zetting indien open systemen in het eerste watervoerende pakket worden gerealiseerd.

2.2.7 Kabels en leidingen

In het plangebied zijn een aantal belangrijke kabels en leidingen aanwezig, zoals gasleidingen, (hoofd)waterleidingen en drukriolering. Aanwezige en geplande kabels en leidingen vormen een aandachtspunt tijdens de ontwerpfase van bodemenergiesystemen. Het betreft voornamelijk de inpassingsmogelijkheden van bronnen en bijbehorend leidingwerk. Dit vraagt in stedelijk gebied om afstemming met de gemeente Haarlem en kabel- en leidingbedrijven.

Bij de toepassing van open systemen in het eerste watervoerende pakket dient rekening te worden gehouden met het optreden van zettingen rond de diverse hoofdleidingen.

In de plankaart bodemenergie zijn alleen de belangrijkste leidingen weergegeven (hoofdwaterleiding, gas en drukriool). Afstemming van het leidingwerk dient altijd plaats te vinden met de gemeente Haarlem. Door deze afstemming in een vroeg stadium mee te nemen, kan bodemenergie in de (her-)ontwikkeling worden geborgd.

3 Duurzame energielevering

Dit hoofdstuk beschrijft de indeling van het plangebied Waarderpolder. Tevens worden de te doorlopen stappen besproken om tot de energetische uitgangspunten van het bodem-energieplan te komen: hoeveel bronnen zijn er in welk deelgebied nodig?

3.1 Inrichting plangebied

Het plangebied Waarderpolder beslaat ruim 3,1 km². Voor de uitwerking van het duurzaam energieconcept is de Waarderpolder onderverdeeld in een aantal deelgebieden. Figuur 3.1 presenteert de indeling van het plangebied in deelgebieden. De indeling van de gebieden is gebaseerd op de bovengrondse inrichting van het gebied, de verwachte omleiding van verkeer en geplande ontwikkelingen rondom de Oostradiaal en als laatste de beschikbare gegevens over de warmte- en koudevraag.



Figuur 3.1 Plangebied Waarderpolder

De bovengrondse indeling van het plangebied bepaalt in belangrijke mate waar warme en koude bronnen worden gepositioneerd. Op dit moment is nog niet bekend welke kavels in de toekomst gebruik zullen maken van bodemenergie. Rekening houdend met de overige randvoorwaarden wordt gestreefd het bodemenergieplan dusdanig in te richten dat elk gebouw in de directe nabijheid van een zoekgebied voor warme en een zoekgebied voor koude bronnen ligt. Om die reden zijn de stroken breed ontworpen en gelijkmatig over alle deelgebieden verdeeld.

3.2 Energetische uitgangspunten

Om de energetische uitgangspunten te bepalen zijn de volgende stappen doorlopen (Figuur 3.2). De energetische uitgangspunten zijn in overleg met het parkmanagement van de Waarderpolder en de gemeente Haarlem vastgesteld. Dit overleg heeft plaatsgevonden op 31 mei 2011.



Figuur 3.2 Stappenplan van gasverbruik naar debiet en waterhoeveelheid

Gebouwszijdige energievraag

Gegevens over het gemiddelde gasverbruik per postcode zijn gebruikt om de energievraag te bepalen. Hierbij is een marge van 15% toekomstige groei aangehouden. Vervolgens zijn deze getallen gecontroleerd aan de hand van het rapport 'Energieonderzoek Waarderpolder' uit 2010, opgesteld door Joulz. Op basis van het verbruik is de hoeveelheid warmte en koude berekend die per deelgebied benodigd is (gebouwszijdige energievraag). Hierbij is uitgegaan van 1.200 vollasturen bij warmtelevering en 1.000 vollasturen bij koudelevering.

In de deelgebieden 2 en 4 t/m 8 worden ontwikkelingen verwacht. De energievraag voor deze ontwikkelingen is ingeschat op basis van het kaveloppervlak en vervolgens opgeteld bij de huidige energievraag per deelgebied. Tabel 3.1 geeft de gebouwszijdige energievraag per deelgebied weer.

Tabel 3.1 Gebouwszijdige energievraag per deelgebied

deelgebied	verwarming		koeling	
	vermogen [kW _t]	warmtevraag [MWh _t /jaar]	vermogen [kW _t]	koudevraag [MWh _t /jaar]
1	18.300	21.900	30.500	204.400
2	10.200	10.300	14.300	10.000
3	-	-	-	-
4	4.800	5.200	5.000	3.600
5	23.700	27.300	13.500	10.000
6	9.300	10.600	5.500	4.100
7	7.200	7.200	10.400	7.200
8	30.400	35.900	12.000	9.300

Bodemzijdige energievraag

De gebouwzijdige energievraag is vertaald in de bodemzijdige energievraag. Dit is de hoeveelheid warmte en koude die aan de bodem moet worden onttrokken om de gevraagde hoeveelheid energie te leveren. De bodemzijdige energievraag wijkt doorgaans enigszins af van de gebouwzijdige energievraag, vooral bij de warmtelevering. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat bij warmtelevering doorgaans geen sprake is van directe verwarming, maar ook conventionele energie nodig is voor de warmtepomp of voor eventuele ketels. De bodemzijdige energievraag wordt berekend aan de hand van een energieconcept. De meest voorkomende energieconcepten zijn het monovalente concept en het bivalente concept. Uitleg over de verschillende energieconcepten is te vinden in bijlage 2.

Het energieconcept van de ontwikkelingen in de Waarderpolder is in dit stadium nog niet vastgesteld. Het bodemenergieplan moet derhalve zodanig worden ingericht, dat alle energieconcepten kunnen worden toegepast. Gekozen is voor een monovalent concept, waarbij in toekomst ook kan worden gekozen voor een bivalent concept. Het monovalente energieconcept heeft het grootste ruimtebeslag op de ondergrond. De optimale ordening van dit ondergrondse ruimtegebruik wordt door dit bodemenergieplan geborgd. In Tabel 3.2 is de bodemzijdige energievraag per deelgebied weergegeven.

Tabel 3.2 Bodemzijdige energievraag per deelgebied

deelgebied	verwarming		Koeling	
	vermogen [kW _t]	warmtevraag [MWh _t /jaar]	vermogen [kW _t]	koudevraag [MWh _t /jaar]
1	13.700	16.400	30.500	204.400
2	7.700	7.700	14.300	10.000
3	-	-	-	-
4	3.600	3.900	5.000	3.600
5	17.700	20.400	13.500	10.000
6	6.900	8.000	5.500	4.100
7	5.400	5.400	10.400	7.200
8	22.800	26.900	12.000	9.300

Debiet en waterhoeveelheid

De bodemzijdige energievraag is omgerekend naar een benodigd debiet en een waterverplaatsing per seizoen. De getallen zijn weergegeven in Tabel 3.3.

Hierbij wordt in de meeste gevallen gekeken naar de warmtevraag. Op basis hiervan is het benodigde debiet en de benodigde waterhoeveelheid per seizoen bepaald. In deelgebied 1 bevinden zich enkele datacenters, die vooral een hoge koudevraag kennen. In dit deelgebied is de koudevraag leidend. Het debiet is berekend aan de hand van het gevraagde vermogen, de waterverplaatsing is berekend op basis van de energievraag.

Tabel 3.3 Debiet en waterverplaatsing per deelgebied		
deelgebied	debiet [m ³ /uur]	waterverplaatsing [m ³ /seizoen]
1	4.026	30.297.000
2	1.101	1.107.000
3	-	-
4	522	558.000
5	2.550	2.937.000
6	997	1.144.000
7	781	781.000
8	3.271	3.869.000
totaal	13.246	40.693.000

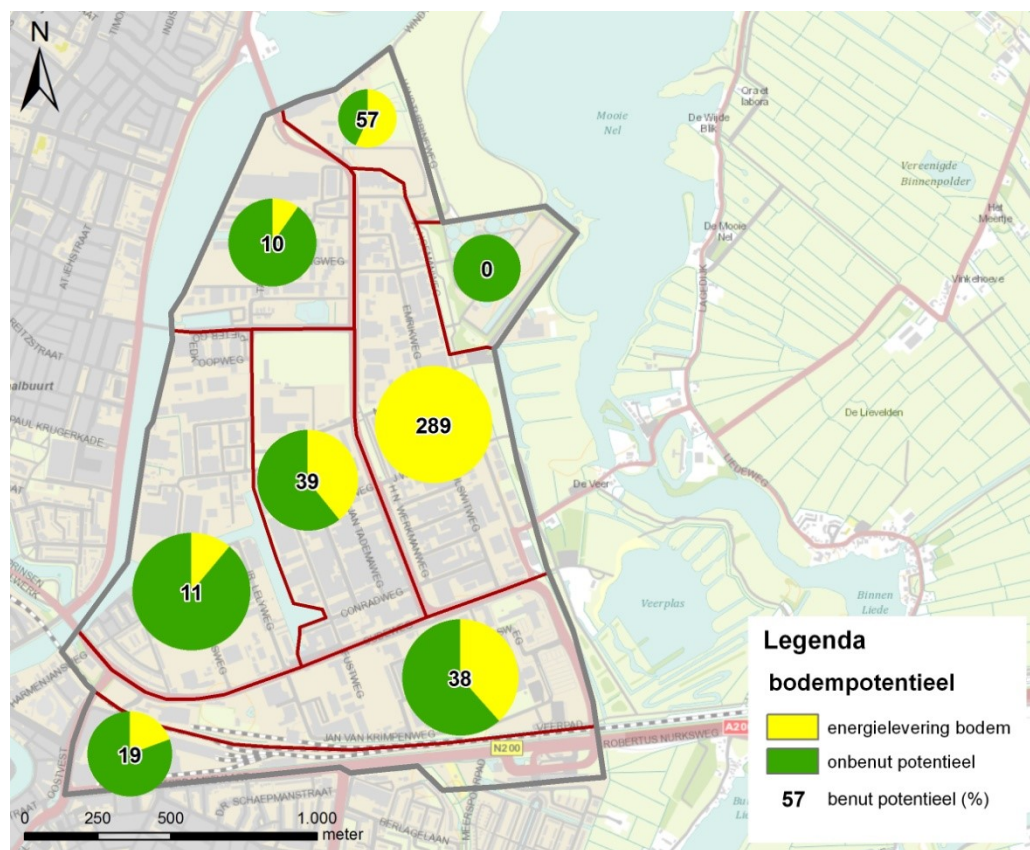
3.3 Bodempotentieel

De vraag is of de beschikbare bodemopslagcapaciteit voldoende is om aan de gewenste vraag te voldoen.

Op basis van het bruto oppervlak en de beschikbare dikte van het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket (vastgesteld op 70 m) is berekend dat de bodem in totaal circa 383.300 MWh per seizoen aan thermische energie kan leveren. De totale bodemzijdige energievraag is berekend door per deelgebied de leidende energievraag per seizoen te sommeren (zie Tabel 3.2). In deelgebied 1, 2 en 7 is de koudevraag leidend en in de overige deelgebieden is de warmtevraag leidend. Voor de volledige invulling van het plangebied is in totaal 280.800 MWh per seizoen benodigd. Hieruit volgt dat het bodempotentieel van het plangebied de energievraag overstijgt.

Wanneer het bodempotentieel per deelgebied wordt beschouwd (zie Figuur 3.3), blijkt dat in deelgebied 1 de capaciteit van de bodem onvoldoende is. Dit wordt veroorzaakt door twee datacentra die een zeer hoge koudevraag hebben. Het tekort kan worden opgevangen door het overschot aan capaciteit in de belendende deelgebieden. Vooralsnog (2014) maken de datacentra echter geen gebruik van bodemenergie. Eén van de datacentra (Evoswitch) heeft wel een vergunning, maar maakt hier in 2014 geen gebruik van.

Conclusie is dat er in totaal meer dan voldoende capaciteit in de ondergrond aanwezig is om de bedrijven van warmte/koude te voorzien. Wel verschilt de verhouding tussen bodempotentieel en bovengrondse energievraag per deelgebied. Opgemerkt wordt dat de bovengrondse inrichting van het plangebied en bestaande ondergrondse functies de toepassingsmogelijkheden voor bodemenergie kunnen beperken, waardoor in de praktijk het beschikbare potentieel niet volledig benut kan worden.



Figuur 3.3 Bodempotentieel van de verschillende deelgebieden

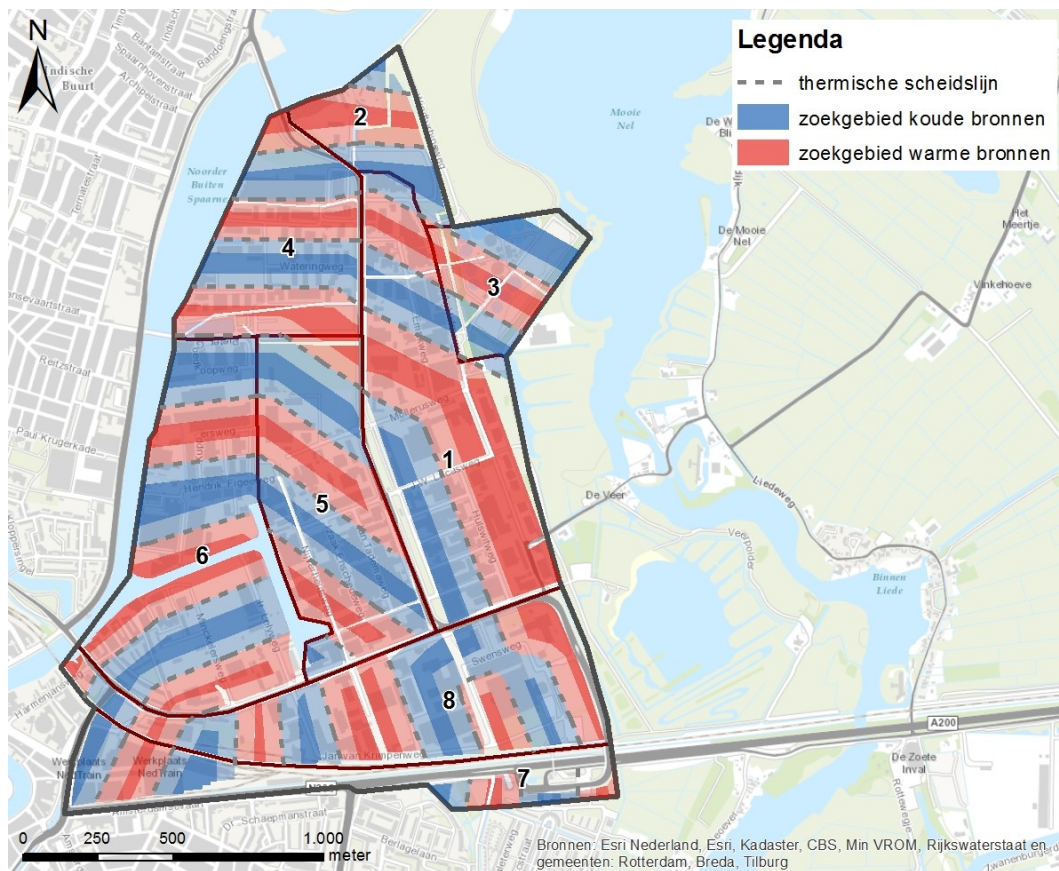
4 Uitwerking bodemenergieplan

Dit hoofdstuk beschrijft hoe ondergrondse ordening kan worden vormgegeven in een bodemenergieplan. Hierbij wordt op conceptueel niveau beschreven aan welke randvoorwaarden de positionering van koude en warme bronnen binnen het plangebied moet voldoen. Het plan is zodanig opgesteld dat het toepasbaar is voor de meest geschikte energieconcepten en geschikt is voor de invulling door middel van zowel individuele energievoorziening (per gebouw) als collectieve systemen.

Gezien de wensen van de gemeente Haarlem om de ondergrond optimaal te benutten voor bodemenergie zijn er keuzes gemaakt ten aanzien van de toepassing van systemen. Het bodemenergieplan is in de eerste plaats gericht op open bodemenergiesystemen in het tweede en derde watervoerende pakket. In de ordening zullen evenwel ook regels worden opgesteld ten aanzien van het gebruik van de ondergrond voor gesloten systemen. Er wordt echter geen advies gegeven over de hoeveelheid lussen en de dimensionering van gesloten systemen. Voor de dimensionering van open systemen zal een eerste aanzet worden gegeven, omdat deze systemen een grotere ruimtelijke impact (invloedsfeer) hebben.

4.1 Plankaart bodemenergie

Figuur 4.1 presenteert de inrichtingskaart van het gehele plangebied. In bijlage 3 is de plankaart opgenomen op A3-formaat.



Figuur 4.1 Plankaart bodemenergie

De plankaart geeft de voorkeurslocaties voor het positioneren van de bronnen weer middels de zoekgebieden voor koude bronnen (donker blauwe zones) en warme bronnen (donker rode zones).

De afstand tussen de koude en warme zoekgebieden is bepaald op basis van systemen die gedimensioneerd zijn op de maximale waterhoeveelheid (zie paragraaf 4.2.2). Kleinere systemen kunnen ook buiten de aangegeven zoekgebieden in de lichtrode en lichtblauwe zones geplaatst worden. Voorwaarde is dat voldoende afstand wordt aangehouden tot aan de thermische scheidslijn om thermische interactie te voorkomen. Bij voorkeur moeten de bronnen op minimaal 1,25 maal de thermische straal vanaf de thermische scheidslijn staan (zie bijlage 5 voor de definitie van de thermische straal).

Afwijkingen van het plan zijn toegestaan als kan worden aangetoond dat dit geen nadelige gevolgen heeft voor andere (toekomstige) bodemenergiebelangen.

De belangrijkste randvoorwaarden voor de inrichting van het bodemenergieplan zijn:

- de bovengrondse inrichting van het plangebied: de beschikbare ruimte voor bronpositionering (hoofdstuk 2 en 3);
- de bodemgeschiktheid, ondergrondse functies en belangen en de energievraag (hoofdstuk 2 en 3);
- de thermische randvoorwaarden.

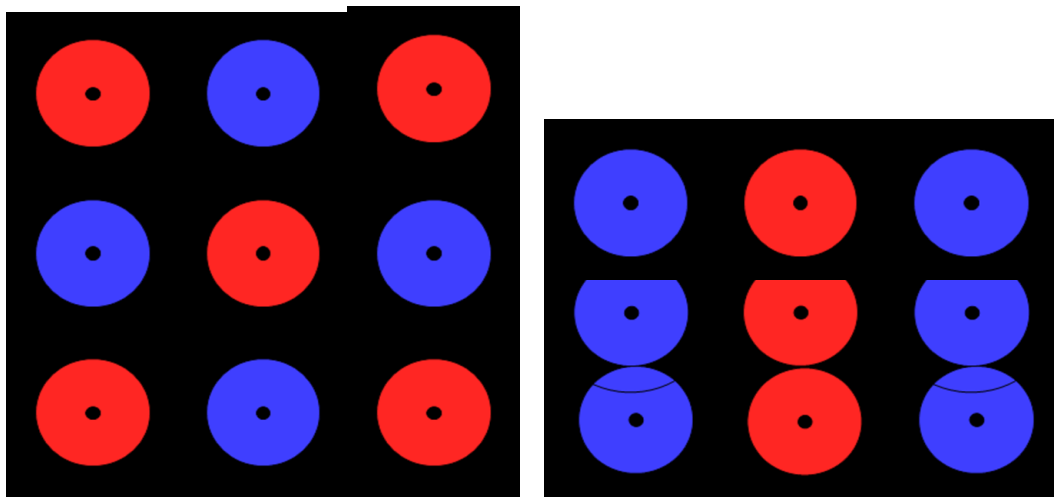
Om maximaal rendement van het bodemenergiesysteem te garanderen, geldt een aantal thermische randvoorwaarden, die worden uitgewerkt in paragraaf 4.2.

De plankaart bodemenergie staat niet op zichzelf. In paragraaf 5.3. zijn de ordeningsregels opgenomen waaraan moet worden voldaan bij de aanleg en het gebruik van een bodemenergiesysteem.

4.2 Thermische randvoorwaarden

4.2.1 Ordeningsprincipe

Om te zorgen dat bodemenergiesystemen thermisch gezien optimaal functioneren en de hydrologische effecten acceptabel zijn, gelden in de praktijk twee ordeningspatronen voor de bronnen: een dambordpatroon en een strokenpatroon (zie Figuur 4.2).



Figuur 4.2 Dambordpatroon (links) versus strokenpatroon (rechts)

Dambordpatroon

Een dambordpatroon gaat uit van een repeterend patroon, waarbij koude en warme bronnen elkaar afwisselen met vaste onderlinge afstanden.

Voordeel van dit patroon is dat de effecten op de grondwaterstand die optreden als gevolg van het onttrekken en infiltreren van grondwater minimaal zijn. Nadeel is dat de opslagcapaciteit van de ondergrond minder efficiënt wordt gebruikt, omdat tussen iedere koude en warme bron voldoende tussenruimte moet worden gelaten om thermische interactie tussen de koude en warme bel te voorkomen.

Strokenpatroon

Een strokenpatroon gaat uit van een afwisseling van koude en warme stroken met een vaste onderlinge afstand in het gebied. Koude bronnen mogen in de koude stroken worden geplaatst en warme bronnen in de warme stroken. Het voordeel van het strokenpatroon is dat de opslagcapaciteit van de ondergrond efficiënter wordt benut dan bij het dambordpatroon. Een nadeel van het strokenpatroon is dat de hydrologische effecten groter zijn dan bij het dambordpatroon.

Omdat de bronnen in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket worden gepositioneerd, is geen uitdemping van hydrologische effecten vereist. Er is daarom ge-

kozen voor het strokenpatroon. Hiermee wordt ingezet op optimale benutting van de ondergrond.

4.2.2 Afstand tussen warme en koude stroken

Tussen de koude en de warme bronnen is een zekere minimale afstand nodig om te voorkomen dat interactie plaatsvindt tussen de opgeslagen koude en warmte. De benodigde afstand tussen de koude en warme bronnen is afhankelijk van de filterlengte van de bronnen, de hoeveelheid water die per seizoen per bron wordt verplaatst en de doorlatendheid van het pakket.

Filterlengte

Om de beschikbare ruimte in de ondergrond zo veel mogelijk te benutten, is in de meeste deelgebieden gekozen voor een zo groot mogelijke filterlengte. In de bodem is tenminste 60 meter aan geschikte zandlagen aanwezig om een filter te plaatsen. Voor de bepaling van de breedte van de warme en koude stroken is uitgegaan van een maximale benutting van de filterlengte van 60 meter.

In deelgebied 4 is de energievraag per gebruiker gemiddeld lager dan in de andere deelgebieden. Dit betekent dat naar verwachting kleinere bronnen zullen worden gerealiseerd, die een kleinere filterlengte nodig hebben. Daarom is gekozen om in deelgebied 4 uit te gaan van een filterlengte van 40 m.

Waterverplaatsing

Om het bodemenergieplan zo flexibel mogelijk te houden, is gekozen om het strokenpatroon en de bronafstand voor de deelgebieden verschillend vorm te geven. Als gevolg hiervan verschilt de maximaal te onttrekken waterhoeveelheid per doublet tussen de deelgebieden onderling. Het strokenpatroon in de deelgebieden 1, 2, 3 en 5 t/m 8 is ingericht op een maximaal brondebiet van 225 m³/uur. Dit is een debiet wat in de praktijk nog technisch uitvoerbaar is. Het strokenpatroon in deelgebied 4 is gebaseerd op een maximaal brondebiet van 100 m³/uur.

In deelgebied 2, 3, 4 t/m 8 en het noordelijke deel van deelgebied 1 is uitgegaan van 1.200 equivalente vollasturen (omgerekend het aantal uren dat een systeem op vol vermogen moet draaien om aan de energievraag te voldoen). De maximale waterverplaatsing op basis van ontwerpnormen bedraagt 270.000 m³/seizoen in de deelgebieden 2, 3, 5 t/m 8 en het noordelijke deel van deelgebied 1 en 120.000 m³/seizoen in deelgebied 4. In het zuidelijke deel van deelgebied 1 is rekening gehouden met de grote koudevraag van de datacentra. Uitgangspunt is hier 2.000 equivalente vollasturen en een maximale waterverplaatsing van 450.000 m³/seizoen.

Afstand tussen warme en koude strook

Op basis van het bovenstaande bedraagt de afstand tussen de rand van de warme strook en de rand van de koude strook 120 m in de deelgebieden 2, 3 en 5 t/m 8. In deelgebied 4 bedraagt de strookafstand 90 m, in het zuidelijke deel van deelgebied 1 bedraagt de strookafstand 160 m.

Tabel 4.1 geeft een overzicht van bovengenoemde uitgangspunten voor de bepaling van de afstand en breedte van de stroken.

Tabel 4.1 Uitgangspunten voor positionering warme en koude stroken

deelgebied	filterlengte [m]	debiet [m³/uur]	waterverplaat-sing[m³/seizoen]	strookafstand [m]
1	60	225	450.000	160
2, 3, 5 t/m 8	60	225	270.000	120
4	40	100	120.000	90

4.2.3 Keuze oriëntatie strokenpatroon

De oriëntatie van het strokenpatroon is bepaald op basis van verschillende factoren. In de deelgebieden 1, 6, 7 en 8 zijn reeds bodemenergiesystemen vergund en/of gerealiseerd. De positionering van de bronnen van deze systemen bepaalt in hoge mate de oriëntatie van de stroken in deze gebieden. In deelgebied 4 is sterk rekening gehouden met de bovengrondse infrastructuur (voornamelijk oost-west georiënteerd).

Tot slot is waar mogelijk rekening gehouden met de grondwaterstroming in het gecombineerde tweede en derde pakket. De stroming is gericht naar het zuidoosten. In het noordelijke deel van deelgebied 1 en in deelgebied 5 zijn de stroken in het verlengde van de grondwaterstroming gepositioneerd.

4.3 Afweging bodemenergievariant

Op basis van de thermische randvoorwaarden, de energievraag per deelgebied en de aanwezige grondwaterbelangen is vastgesteld hoe bodemenergie het best kan worden toegepast. Hierbij is de volgende onderverdeling gehanteerd: open systemen versus gesloten systemen.

Open systemen

Op basis van de gewenste energievraag en vermogens wordt geconcludeerd dat het gebruik van het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket het beste aansluit bij de energievraag van de Waarderpolder. Het strokenpatroon van het bodemenergieplan is ontworpen voor de toepassing van open systemen in dit pakket.

Ook het eerste watervoerende pakket, tussen 15 en 55 m-mv, is in principe beschikbaar voor de toepassing van open bodemenergiesystemen, mits nauwkeurige afstemming plaatsvindt met de aanwezige belangen. Belangrijk zijn vooral de aanwezigheid van mobiele verontreinigingen, zettinggevoeligheid van de deklaag, de overgang van zoet naar zout grondwater en de aanwezigheid van andere grondwateronttrekkingen. Op het RIDS-terrein in deelgebied 4 is het eerste watervoerende pakket sterk verontreinigd. Hier is de combinatie van een open systemen met sanering wellicht kansrijk. Het maximale debiet bedraagt in dat geval 40 m³/uur. Het bodemenergieplan voorziet niet in een ordening van het eerste watervoerende pakket.

Gesloten systemen

Voor het gehele plangebied geldt, dat de toepassing van gesloten systemen in principe alleen is toegestaan in het eerste watervoerende pakket en de eerste scheidende laag (tot een maximale diepte van 80 m-mv). Voor de toepassing van gesloten systemen zijn beleidsregels opgesteld door de gemeente Haarlem. Een van de beleidsregels is dat gesloten systemen niet zijn toegestaan in het openbaar gebied.

Tevens wordt overwogen om onder voorwaarde kleine gesloten systemen ook in het tweede en derde watervoerende pakket toe te staan. De interactie van deze kleine systemen met de grotere open systemen is namelijk zeer gering. Voorwaarde voor plaatsing

van een gesloten systeem in het tweede en derde watervoerend pakket is dat het een optimaal gebruik van de ondergrond niet frustreert. Daarnaast kan de eigenaar/exploitant van het kleine gesloten systeem bij toekomstige aanleg van open systemen geen beroep doen op negatieve interactie van zijn gesloten systeem.

Aandachtspunten bij de aanleg van gesloten systemen zijn reeds aanwezige grondwateronttrekkingen, aanwezig kabel- en leidingwerk, grondwaterverontreinigingen en ondergrondse infrastructuur. De zoekgebieden op de plankaart zijn alleen bedoeld voor de toepassing van open systemen in het tweede en derde watervoerende pakket.

5 Ordeningsregels

5.1 Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen

Per 1 juli 2013 is het Wijzigingsbesluit Bodemenergiesystemen van kracht. Het besluit is geen zelfstandig besluit maar wijzigt vijf bestaande besluiten, te weten het Activiteitenbesluit, Besluit lozen buiten inrichtingen, Besluit bodemkwaliteit, Waterbesluit en Besluit omgevingsrecht. Het Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen heeft vier belangrijke doelen:

- de vergunningverlening voor open systemen vereenvoudigen;
- de vergunningverlening voor gesloten systemen regelen;
- het voorkomen van interferentie tussen open bodemenergiesystemen onderling, tussen gesloten systemen onderling, en tussen open en gesloten systemen;
- het borgen van de kwaliteit van de aanleg van bodemenergiesystemen door middel van onder andere het invoeren van certificering van bedrijven.

Door de invoering van het besluit is de regelgeving voor open en gesloten systemen veranderd. De provincie Noord-Holland blijft bevoegd gezag voor open systemen. De gemeente Haarlem is bevoegd gezag voor de gesloten systemen geworden. Dat betekent dat de gemeente vanaf 1 juli 2013 gesloten systemen kan gaan registreren en hierop handhaven. Het voorliggende bodemenergieplan vormt samen met de bijbehorende ordeningsregels (zie paragraaf 5.3) de basis voor de toepassing van open bodemenergiesystemen in het plangebied.

5.2 Juridische status

Het bodemenergieplan zal aan de provincie worden aangeboden met het verzoek om het te betrekken bij vergunningverlening voor open systemen. De provincie toetst in dat geval bij de vergunningverlening van open WKO systemen aan de ordeningsregels van dit bodemenergieplan. Daarnaast is de provincie voornemens om binnen het plangebied de kleine open bodemenergie systemen (< 10 m³/uur) ook vergunningplichtig te maken.

Voor gesloten systemen is sinds 1 juli 2013 de gemeente Haarlem bevoegd gezag. De aspecten van het bodemenergieplan die betrekking hebben op gesloten systemen zijn op gemeentelijk niveau juridisch verankerd. Gemeente Haarlem is voornemens om via een gemeentelijke verordening een interferentiegebied aan te wijzen. De contour van het interferentiegebied komt overeen met het plangebied van dit bodemenergieplan. De gevolgen van het aanwijzen van een interferentiegebied is dat kleine gesloten systemen (< 70 kW) ook vergunningplichtig zijn. Bij de vergunningverlening van gesloten systemen wordt getoetst aan beleidsregels van de gemeente Haarlem. Deze beleidsregels komen overeen met de ordeningsregels voor gesloten systemen zoals beschreven in dit bodemenergieplan.

De gemeente Haarlem is voornemens de beleidsregels en de verordening gelijktijdig met het bodemenergieplan vast te stellen.

5.3 Ordeningsregels Bodemenergieplan

Bij de aanleg en het gebruik van een bodemenergiesysteem binnen het plangebied bodemenergie dient te worden gehandeld volgens de hieronder opgenomen ordeningsregels. De ordeningsregels zijn ook separaat opgenomen in bijlage 4.

Hele plangebied

- De ordeningsregels zijn alleen van toepassing op open bodemenergiesystemen. Voor gesloten systemen heeft de gemeente Haarlem een verordening en beleidsregels vastgesteld waarmee de toepassing van gesloten systemen is verankerd. Het eerste watervoerende pakket, tussen 15 en 55 m-mv, is in principe beschikbaar voor de toepassing van open bodemenergiesystemen, mits nauwkeurige afstemming plaatsvindt met de aanwezige belangen.
- Het maximale debiet van een open bodemenergiesysteem in het eerste watervoerende pakket mag niet meer dan 40 m³/uur bedragen om te veel invloed op andere belangen te voorkomen.
- Het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket is aangewezen voor de toepassing van grootschalige open bodemenergiesystemen. Voor het plaatsen van de filters van de warme en de koude bronnen wordt gebruik gemaakt van het traject dieper dan 90 m-mv. Hiervoor gelden onderstaande specifieke ordeningsregels.

Ordering open bodemenergiesystemen in tweede en derde watervoerende pakket

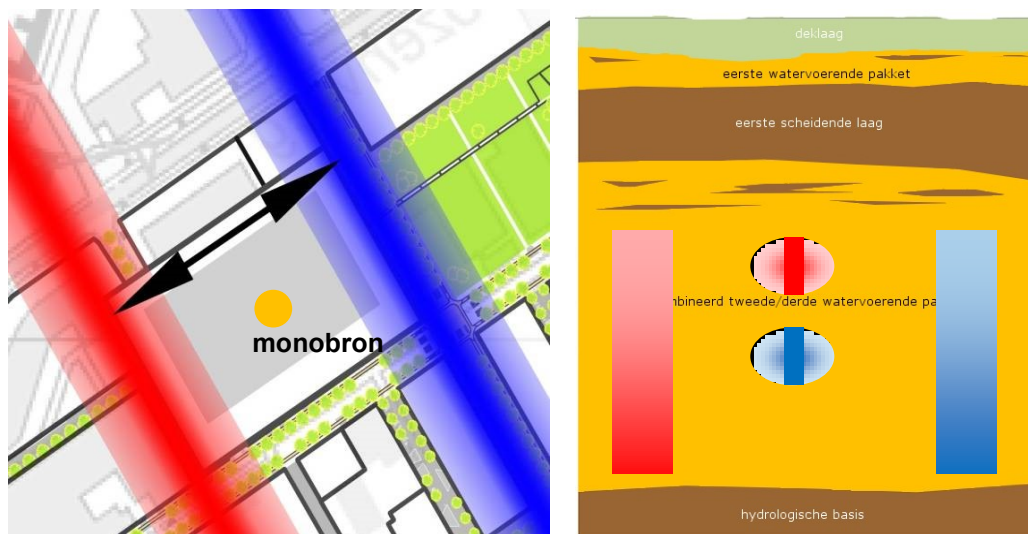
- Monobronnen zijn alleen toegestaan als ze geen negatieve interferentie veroorzaken op bestaande en in de toekomst te ontwikkelen bodemenergiesystemen. Monobronnen dienen bij voorkeur te worden gepositioneerd op het grensvlak tussen de warme en koude strook (Figuur 5.1).
- De warme en koude bronnen, gedimensioneerd op maximale waterverplaatsing, dienen te worden gepositioneerd binnen de op de plankaart aangegeven “zoekgebieden warme en koude bronnen”.
- De warme en koude bronnen, gedimensioneerd op een lagere dan maximale waterverplaatsing, kunnen ook worden gepositioneerd buiten de op de plankaart aangegeven “zoekgebieden warme en koude bronnen”, mits de bronnen bij voorkeur op minimaal 1,25 maal de thermische straal vanaf de thermische scheidslijn staan.
- Het maximale debiet van een bodemenergiesysteem in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket mag niet meer dan 225 m³/uur bedragen. In deelgebied 4 bedraagt het maximale debiet 100 m³/uur.
- Tussen bronnen van hetzelfde type in een doubletsysteem, dus tussen twee koude of twee warme bronnen, bedraagt de afstand minimaal 30 m bij een debiet van 225 m³/uur. Indien het debiet kleiner is, vermindert de minimale afstand evenredig.
- Voor systemen waarvan bronnen van hetzelfde type in elkaars thermische invloedsgebied liggen (de thermische straal van beide systemen overlapt), dient de infiltratietemperatuur van een nieuw systeem minder dan 3°C af te wijken van het bestaande systeem.

Aanvullende ordeningsregels voor de zones Oostradiaal en Verontreinigingslocatie

- Op verontreinigingslocaties kan een systeem geplaatst worden indien is aangetoond dat het systeem geen negatief effect heeft op verspreiding, concentraties en afbraakpotentieel. Hierbij dient in contact te worden getreden met de gemeente Haarlem en kan gevraagd worden om een saneringsoplossing.
- In deelgebied 7 en 8 (zone Oostradiaal) kan een systeem geplaatst worden indien is aangetoond dat het systeem geen belemmeringen zal opleveren voor de ontwikkelingen die worden voorzien in verband met de gebiedsvisie Oostradiaal.

Afwijken van de ordeningsregels

Er kan afgeweken worden van de ordeningsregels van het Bodemenergieplan indien is aangetoond dat de ruimte, plaats en configuratie van het systeem een gelijkwaardig gebruik van bodemenergie oplevert en redelijkerwijs in de toekomst te ontwikkelen bodemenergiesystemen niet belemmert.



Figuur 5.1 Monobronsysteem op grensvlak van warme en koude strook

6 Milieueffecten

Dit hoofdstuk beschrijft de milieuvoordelen die het bodemenergieplan biedt en de effecten die de toepassing van het plan heeft op de omgeving. Paragraaf 6.1 en 6.2 gaan nader in op respectievelijk de hydrologische en thermische effecten die optreden indien het bodemenergieplan maximaal wordt geïmplementeerd. Hierbij is uitgegaan van de toepassing van bodemenergie in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket. Paragraaf 6.3 beschrijft de CO₂-emissiereductie die met het uitvoeren van het bodemenergieplan maximaal kan worden behaald.

6.1 Hydrologische effecten

Met behulp van het hydrologisch model MLU zijn berekeningen uitgevoerd om de maximale hydrologische effecten inzichtelijk te maken die optreden indien het bodemenergieplan maximaal zou worden geïmplementeerd, uitgaande van een volledige balans tussen warmte en koude. De maximale (absolute) grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen in de watervoerende pakketten zijn in Tabel 6.1 weergegeven.

Tabel 6.1 Maximale grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen

watervoerende laag	Eenheid	zomer- en wintersituatie
deklaag	[m]	< 0,05
eerste watervoerende pakket	[m]	0,15
tweede en derde watervoerende pakket	[m]	2,7

Om de stijghoogte- en grondwaterstandveranderingen te berekenen is een stationaire berekening uitgevoerd, waarbij in alle deelgebieden de gehele energievraag met bodemenergie wordt geleverd. De gemodelleerde systemen draaien tegelijkertijd en oneindig op maximaal debiet. In de praktijk draait een bodemenergiesysteem slechts gedurende een zekere periode op maximaal debiet. Daarnaast zal het niet voorkomen dat alle systemen tegelijkertijd op maximaal debiet draaien. Ook zal naar verwachting niet de gehele energievraag met bodemenergie worden geleverd. De resultaten van de berekeningen zijn daarom een overschatting van de werkelijk optredende effecten.

De berekende grondwaterstandveranderingen bedragen minder dan 5 cm. Deze veranderingen zijn zodanig klein ten opzichte van de natuurlijke grondwaterfluctuaties (circa 50 cm), dat aan maaiveld aanwezige belangen niet nadelig worden beïnvloed.

De maximale effecten op de stijghoogte in het opslagpakket bedragen 2,7 m. De verwachting is dat de stijghoogte bij de bronnen van bestaande systemen wordt beïnvloed door de beoogde energietoeslag. In een aantal gevallen is de beïnvloeding positief: de maximale verandering wordt onder invloed van de nieuwe systemen verminderd als gevolg van uitdamping. In een aantal gevallen is de beïnvloeding negatief en worden de effecten op de stijghoogte versterkt.

Dit vormt een aandachtspunt bij de vergunningaanvraag op grond van de Waterwet van nieuwe systemen. In deze vergunningaanvraag moet de precieze beïnvloeding op de bestaande energieopslagsystemen worden gekwantificeerd.

6.2 Thermische effecten

Om een idee te geven wat de thermische effecten zullen zijn bij een volledige invulling van het bodemenergieplan, is een klein onderdeel van het plangebied doorgerekend. Hierbij is gekozen voor het oostelijke deel van deelgebied 8, waar veel ontwikkelingen worden verwacht en de drukte in de ondergrond groot is. In totaal zijn zes doubletten op maximaal debiet doorgerekend. De thermische berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van het programma HstWin-2D. Figuur 6.1 presenteert de berekende temperatuurcontouren in de zomersituatie na 20 jaar energieopslag.



Figuur 6.1 Thermische invloedsgebieden in de zomersituatie

Uit Figuur 6.1 blijkt dat de afstand tussen de koude en warme bronnen groot genoeg is om thermische beïnvloeding te voorkomen. Geconcludeerd kan worden dat het bodemenergieplan dusdanig is opgesteld dat ook in drukke gebieden aan de energievraag kan worden voldaan.

Voor de berekeningen is uitgegaan van een energetische balans in de bodem. Uit de figuur blijkt dat hiermee thermische interactie tussen koude en warme zoekgebieden wordt voorkomen. Een meer of mindere mate van energetische balans is noodzakelijk om het thermisch rendement van de energieopslagsystemen te waarborgen.

6.3 Potentieel milieuvoordeel door ordening van de ondergrond

De toepassing van energieopslag levert een aanzienlijke energiebesparing ten opzichte van conventionele koelings- en verwarmingstechnieken zoals een compressie koelmachine en een gasverwarming (cv). Het milieuvoordeel, dat in belangrijke mate bepaald wordt door de keuze van de referentiesituatie en de invulling van het duurzame energie-concept, kan oplopen tot circa 30% voor verwarming en circa 80% voor koeling.

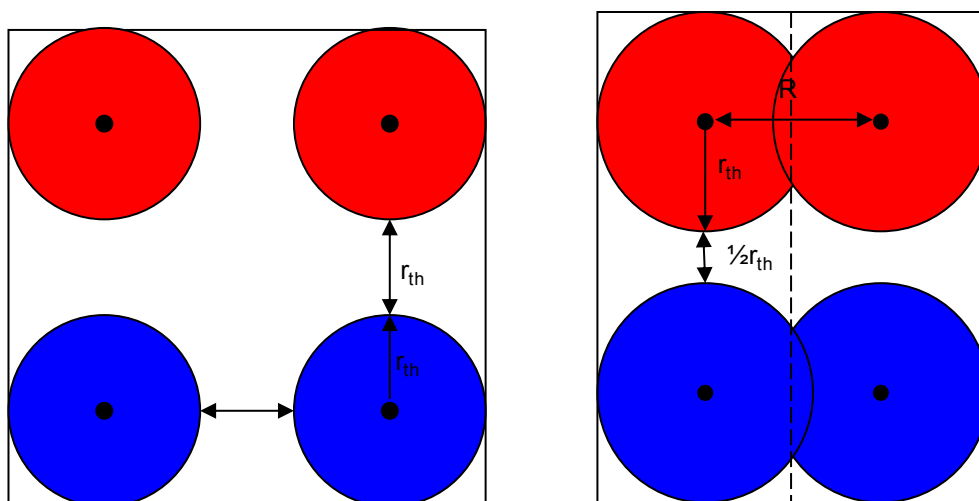
Ordening van de ondergrond door middel van een bodemenergieplan heeft als doel een optimaal gebruik van de ondergrond voor het aspect bodemenergie te borgen. Door rekening te houden met toekomstige gebruikers wordt het beschikbare bodempotentieel efficiënt gebruikt: In de uitgewerkte geordende situatie kunnen meer koude en warme bronnen worden geplaatst dan in een ongeordende situatie ("Wie het eerst komt, wie het eerst pompt"-beleid). Dit levert milieuwinst.

In de volgende alinea's is aan de hand van een theoretische beschouwing en een praktijk analyse de potentiële CO₂-uitstootreductie door ordening van de ondergrond gekwantificeerd. Op basis hiervan is het potentiële milieuvoordeel van het bodemenergieplan Waarderpolder in beeld gebracht.

6.3.1 Theoretische beschouwing

Ter bepaling van de potentiële milieuwinst door ordening van de ondergrond maakt deze paragraaf een vergelijking tussen twee theoretische cases:

- Case 1: Deze vertegenwoordigt de positionering van de bronnen zonder ordening van de ondergrond en/of voorafgaande onderlinge afstemming tussen initiatiefnemers. Uitgangspunt voor de bronpositionering vormen de ontwerpnormen conform de NVOE-richtlijnen [Lit. 6] (zie figuur 6.1 (links)).
- Case 2: Deze vertegenwoordigt de positionering van de bronnen conform een orderingsplan. Hierbij is de afstemming tussen energieopslagsystemen onderling en interactie met overige grondwaterbelangen geanalyseerd, resulterend in een efficiënte en optimale broninrichting van het plangebied (zie figuur 6.1 (rechts)).



Figuur 6.2 Ondergronds ruimtebeslag zonder ordening (links) en met ordening(rechts) (r_{th} = thermische straal)

Figuur 6.2 (links) beschrijft het ondergronds ruimtebeslag voor case 1, conform de NVOE-richtlijnen. De bronafstand dient minimaal 3x de thermische straal (r_{th}) te bedragen. Hierdoor is de tussenruimte tussen de koude en warme bel circa 1x de thermische straal.

Wanneer wel ordening plaatsvindt door middel van een bodemenergieplan wordt vooraf nagedacht over de onderlinge afstemming tussen bodemenergiesystemen en de invloed op overige grondwatergebruikers. Hierdoor kunnen de bronnen dichter bij elkaar worden gepositioneerd (Figuur 6.2, rechts). In dit geval vormen de ordeningsregels van het bodemenergieplan een belangrijke aanvullende randvoorwaarden bij het positioneren van bronnen. De provincie toetst bij vergunningverlening of aan deze voorwaarden is voldaan.

Berekening ondergronds ruimtegebruik

Het ondergronds ruimtegebruik voor beide cases is gekwantificeerd. De benodigde afstand tussen een koude en een warme bron is afhankelijk van de thermische straal. Deze thermische straal is afhankelijk van de filterlengte van de bronnen en de hoeveelheid water die per bron wordt verplaatst (en de waterdoorlatendheid).

In situatie 1 (figuur 6.1 links) bedraagt de thermische straal circa 40 meter. In situatie 2 (figuur 6.1 rechts) moet bij de berekening van de thermische straal rekening worden gehouden met het feit dat de bellen elkaar niet kunnen overlappen (in tegenstelling tot wat in de figuur is weergegeven). Het warme (of koude) water kan zich richting de naastgelegen bron niet verder dan halverwege verspreiden (tot aan de stippellijn), waardoor er meer water in de andere richtingen zal stromen. Dit heeft als gevolg dat de thermische straal groter is dan in situatie 1. De thermische straal in situatie 2 bedraagt circa 49 meter.

Op basis van bovengenoemde getallen is het ruimtebeslag van de twee situaties vergeleken. Tabel 6.2 geeft de resultaten weer.

Tabel 6.2 Ruimtegebruik van twee doubletten			
situatie	lengte [m]	breedte [m]	oppervlakte [m ²]
1	200	200	40.000
2	220	120	26.400

In situatie 1 wordt 40.000 m² gebruikt om twee doubletten te positioneren, in situatie 2 26.400 m². Dit betekent dat bij ordening van de ondergrond (situatie 2) slechts 66% van het oppervlak benodigd is ten opzichte van een toestand zonder ordening (situatie 1). Hieruit volgt dat bij ordening van de ondergrond middels een bodemenergieplan het ruimtegebruik circa 35% efficiënter is.

6.3.2 CO₂- emissiereductie

Om de reductie in CO₂-uitstoot door de toepassing van energieopslag te kwantificeren, is het duurzame energieconcept (monovalente warmte- en koudelevering) vergeleken met het conventionele energieconcept. Bij het duurzaam energieconcept wordt uitgegaan van verwarming en koeling middels KWO. Bij de conventionele energielevering wordt uitgegaan van verwarming met gasketels en koeling met elektrisch aangedreven koelmachines (compressiekoelmachines). Voor de berekeningen zijn de kentallen uit Tabel 6.4 is gehanteerd.

Tabel 6.3 Kentallen rendementen en basisgegevens

ketel	
thermisch rendement	85,0%
compressiekoelmachine	
coefficient of performance (COP)	3,5
warmtepomp	
coefficient of performance (COP)	4,0
grondwatersysteem	
coefficient of performance (COP)	40,0
aardgas	
energie-inhoud aardgas	35,17 MJ/m ³
CO ₂ -gehalte	1,795 kg/m ³
elektriciteitscentrale	
elektrisch rendement	41,40%
CO ₂ -gehalte	0,566 kg/kWh _e

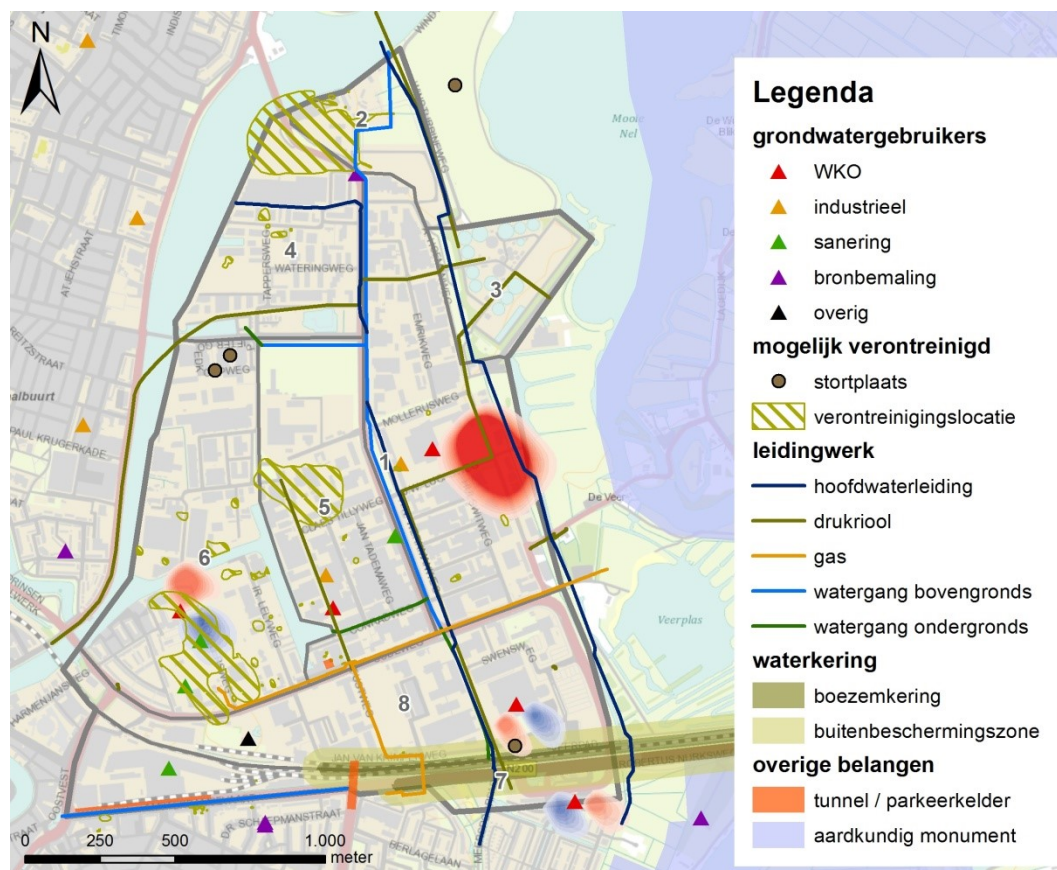
Bronnen: - Protocol monitoring duurzame energie – update 2006 (Senter Novem, 2006)
 - Cijfers en tabellen 2007 (Senter Novem, 2007)

Indien alle ontwikkelingen worden meegenomen, dus ook de reeds vergunde energieopslagsystemen, bedraagt de totale CO₂-uitstoot voor deze duurzame energievoorziening 56.900 ton CO₂. De uitstoot in de referentiesituatie bedraagt 98.000 ton.

Uitgaande van een efficiënter ondergronds ruimtegebruik van 20 - 35 % levert het bodemenergieplan Waarderpolder een maximale potentiële milieuwinst op van 6.200 tot 14.400 ton CO₂ per jaar. Hierbij wordt uitgegaan van het feit dat zonder ordening een deel van de energievraag zal worden opgevangen conventionele energie.

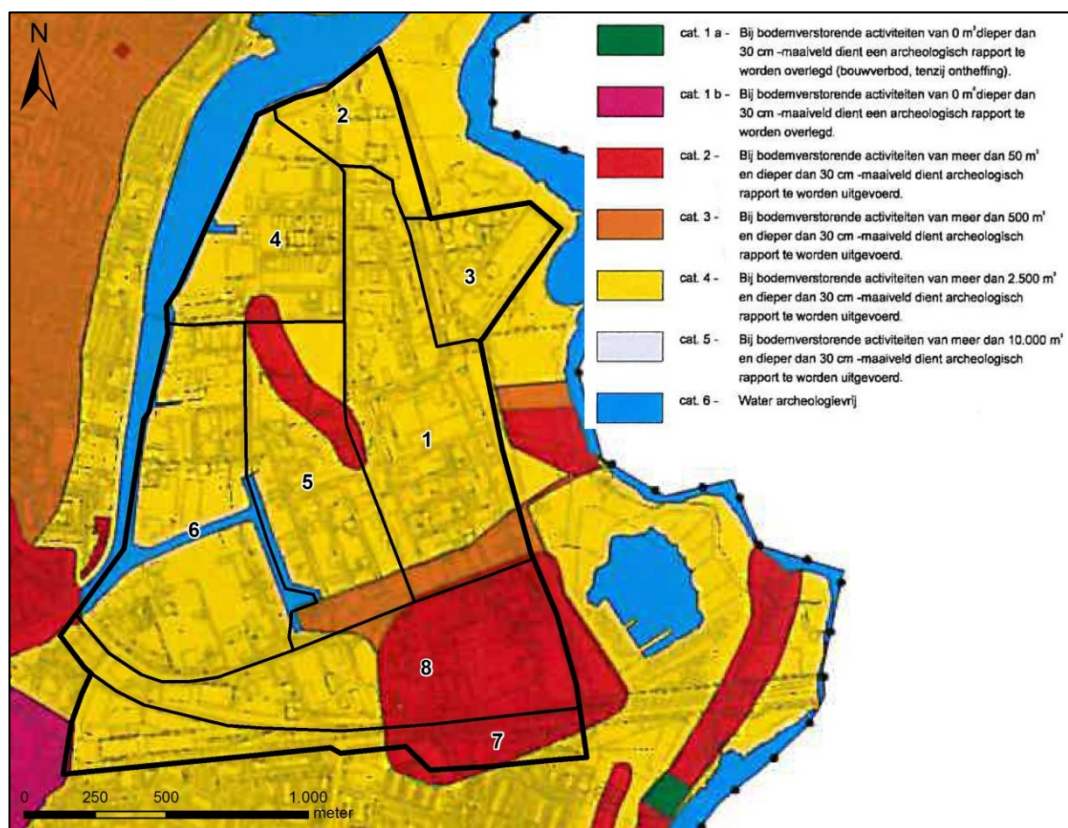
Bijlage 1

Aanwezige grondwaterbelangen en archeologie



Figuur 1 Aanwezige grondwaterbelangen

N.B. In dit figuur zijn niet alle bestaande leidingen opgenomen. De belangrijkste elektriciteits- en datanetwerken zijn hier niet vermeld.



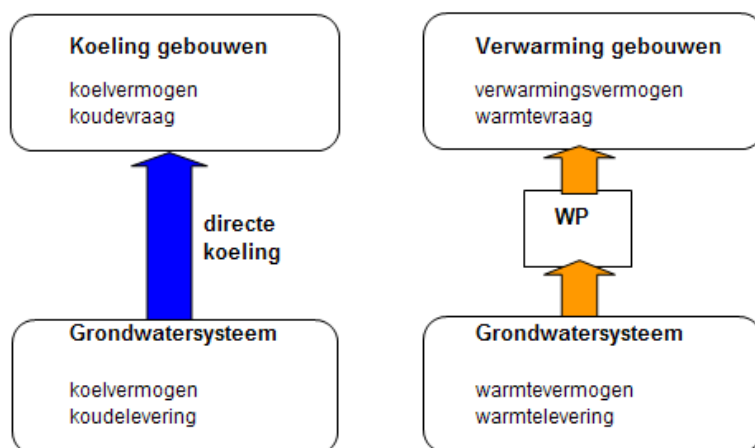
Figuur 2 Archeologische verwachting op en rond de projectlocatie (bron: Archeologische Beleidskaart Haarlem, gemeente Haarlem)

Bijlage 2

Toelichting energieconcepten

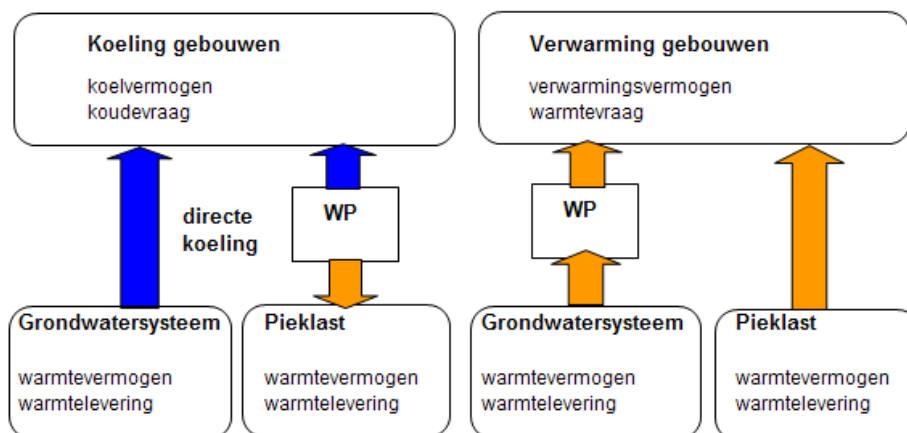
Het energieconcept bepaalt in welke mate de energieopslag wordt ingezet om in de gebouwzijdige energievraag te voorzien. Er bestaan verschillende varianten.

In het monovalente energieconcept wordt de totale koudelast direct vanuit het grondwatersysteem geleverd. De warmtelast wordt geleverd door de combinatie warmtepomp met grondwatersysteem (zie figuur 1). Bij dit energieconcept is de hoeveelheid warmte en koude die een energieopslagsysteem moet leveren het grootst.



Figuur 1 Monovalente koude- en warmtelevering

De tweede variant is het bivalente energieconcept. Bij dit concept wordt de basislast voor koeling en verwarming geleverd met het energieopslagsysteem. De pieklast van de koeling wordt geleverd met warmtepompen die als compressie-koelmachines functioneren. De pieklast van de verwarming en het warm tapwater wordt door stadsverwarming of relatief goedkope ketels geleverd. Figuur 2 geeft dit concept weer.



Figuur 2 Bivalente koude- en warmtelevering

Bijlage 3

Plankaart Bodemenergie Waarderpolder

Bijlage 4

Orderingsregels Bodemenergieplan

Hele plangebied

- De orderingsregels zijn alleen van toepassing op open bodemenergiesystemen. Voor gesloten systemen heeft de gemeente Haarlem een verordening en beleidsregels vastgesteld waarmee de toepassing van gesloten systemen is verankerd. Het eerste watervoerende pakket, tussen 15 en 55 m-mv, is in principe beschikbaar voor de toepassing van open bodemenergiesystemen, mits nauwkeurige afstemming plaatsvindt met de aanwezige belangen.
- Het maximale debiet van een open bodemenergiesysteem in het eerste watervoerende pakket mag niet meer dan 40 m³/uur bedragen om te veel invloed op andere belangen te voorkomen.
- Het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket is aangewezen voor de toepassing van grootschalige open bodemenergiesystemen. Voor het plaatsen van de filters van de warme en de koude bronnen wordt gebruik gemaakt van het traject dieper dan 90 m-mv. Hiervoor gelden onderstaande specifieke orderingsregels.

Ordering open bodemenergiesystemen in tweede en derde watervoerende pakket

- Monobronnen zijn alleen toegestaan als ze geen negatieve interferentie veroorzaken op bestaande en in de toekomst te ontwikkelen bodemenergiesystemen. Monobronnen dienen bij voorkeur te worden gepositioneerd op het grensvlak tussen de warme en koude strook (Figuur 5.1)
- De warme en koude bronnen, gedimensioneerd op maximale waterverplaatsing, dienen te worden gepositioneerd binnen de op de plankaart aangegeven “zoekgebieden warme en koude bronnen”.
- De warme en koude bronnen, gedimensioneerd op een lagere dan maximale waterverplaatsing, kunnen ook worden gepositioneerd buiten de op de plankaart aangegeven “zoekgebieden warme en koude bronnen”, mits de bronnen bij voorkeur op minimaal 1,25 maal de thermische straal vanaf de thermische scheidslijn staan.
- Het maximale debiet van een bodemenergiesysteem in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket mag niet meer dan 225 m³/uur bedragen. In deelgebied 4 bedraagt het maximale debiet 100 m³/uur.
- Tussen bronnen van hetzelfde type in een doubletsysteem, dus tussen twee koude of twee warme bronnen, bedraagt de afstand minimaal 30 m bij een debiet van 225 m³/uur. Indien het debiet kleiner is, vermindert de minimale afstand evenredig.
- Voor systemen waarvan bronnen van hetzelfde type in elkaars thermische invloedsgebied liggen (de thermische straal van beide systemen overlapt), dient de infiltratietemperatuur van een nieuw systeem minder dan 3°C af te wijken van het bestaande systeem.

Specifieke ordeningsregels voor de zones “Oostradiaal” en “Verontreinigingslocatie”

- Op verontreinigingslocaties kan een systeem geplaatst worden indien is aangetoond dat het systeem geen negatief effect heeft op verspreiding, concentraties en afbraakpotentieel. Hierbij dient in contact te worden getreden met de gemeente Haarlem en kan gevraagd worden om een saneringsoplossing.
- In deelgebied 7 en 8 (zone Oostradiaal) kan een systeem geplaatst worden indien is aangetoond dat het systeem geen belemmeringen zal opleveren voor de ontwikkelingen die worden voorzien in verband met de gebiedsvisie Oostradiaal.

Afwijken van de ordeningsregels

Er kan afgeweken worden van de ordeningsregels van het Bodemenergieplan indien is aangetoond dat de ruimte, plaats en configuratie van het systeem een gelijkwaardig gebruik van bodemenergie oplevert en redelijkerwijs in de toekomst te ontwikkelen bodemenergiesystemen niet belemmert.

Bijlage 5

Begripsomschrijving

a. het plan:

het bodemenergieplan Waarderpolder van de gemeente Haarlem;

b. bodemenergiesystemen:

verzamelnaam voor open en gesloten energiesystemen waarmee gebruik wordt gemaakt warmte-/koudeopslag;

c. debiet :

de hoeveelheid water, die per tijdseenheid door een open bodemenergiesysteem aan de bodem wordt onttrokken of daarin weer wordt geïnfiltreerd, uitgedrukt in kubieke meters per uur;

d. gesloten systeem:

bodemenergie-installatie waarmee gebruik wordt gemaakt van de bodem voor de levering van warmte of koude door middel van een gesloten circuit van leidingen, met inbegrip van het bovengrondse deel van de installatie. Bij een gesloten systeem wordt geen grondwater opgepompt;

e. maaiveld:

het hoogteniveau van het afgewerkte terrein;

f. open systeem:

bodemenergie-installatie waarmee van de bodem gebruik wordt gemaakt voor de levering van warmte of koude door grondwater te onttrekken en na warmte-uitwisseling in de bodem terug te brengen (infiltreren), met inbegrip van het bovengrondse deel van de installatie;

g. recirculatiesysteem:

open bodemenergiesysteem waarbij, in tegenstelling tot monobronsysteem en doubletsystemen, sprake is van één permanente onttrekkingsbron en een infiltratiebron, hetgeen betekent dat de stromingsrichting het gehele jaar door gelijk is;

h. doublet systeem:

een open bodemenergiesysteem waarbij gebruik wordt gemaakt van één of meerdere combinaties van een warme en een koude bron, de infiltratie- en onttrekkingsbron wisselen seizoensafhankelijk binnen hetzelfde watervoerend pakket;

i. interferentiegebied:

gebied binnen de gemeente Haarlem waarin ordening van bodemenergiesystemen wenselijk is met het oog op het voorkomen van negatieve onderlinge beïnvloeding van meerdere bodemenergiesystemen of ter bevordering van het doelmatig gebruik van bodemenergie;

j. monobronstelsysteem:

een open bodemenergiesysteem waarbij een onttrekkingsfilter en een infiltratiefilter boven elkaar in één bronput binnen hetzelfde watervoerend pakket worden geplaatst;

k. warmte-/koudeopslag (WKO):

een energiesysteem dat gebruikmaakt van grondwater waarbij energie (warmte en koude) middels het grondwater in de bodem worden opgeslagen en onttrokken;

l. thermische straal:

de thermische straal kan gezien worden als de afstand in het watervoerende pakket tot waar de temperatuur beïnvloed wordt, gezien vanaf de infiltratiebron, als er geen verliezen naar de omgeving zijn. De thermische straal is als volgt gedefinieerd:

$$r_{th} = \sqrt{(c_w * Q) / (c_a * H * \pi)}$$

Waarbij:

r_{th} : thermische straal van de opgeslagen warmte of koude [m]

c_w : warmtecapaciteit van water [J/m³K]

c_a : warmtecapaciteit van de aquifer [J/m³K]

Q : waterverplaatsing per seizoen [m³]

H : filterlengte [m]