

Energievisie Halvinkhuizen Putten

Business case en haalbaarheid warmte-/koudevoorziening Halvinkhuizen





Datum 9 januari 2024
Referentie PR09936/MvA/2024.01.09
Betreft Energievisie Halvinkhuizen Putten
Behandeld door J. Smolenaars
Gecontroleerd door Martijn van Aarssen
Versienummer Definitief

OPDRACHTGEVER

Gemeente Putten
Fontanusplein 1
3881 BZ Putten

Contactpersoon
Toon van Nuland

ADVISERUR

IF Technology BV
Velperweg 37
6824 BE Arnhem

Contactpersoon
Martijn van Aarssen - m.vanaarssen@iftechnology.nl

INHOUDSOPGAVE

Management samenvatting	5
1 Inleiding	8
1.1 Opdracht	8
1.2 Leeswijzer	9
2 Energie inventarisatie	10
2.1 Bouwkundige uitgangspunten	10
2.2 Energetische uitgangspunten	10
3 Potentie omgevingsbronnen	12
3.1 Bodemenergie	12
3.1.1 Gesloten bodemsystemen	12
3.1.2 Warmte- en koudeopslag (open systeem)	13
3.2 Lucht- /waterwarmtepompen	14
4 Energieconcepten	16
4.1 Beoordelingsmatrix	16
4.2 Voorkeursconcepten	18
4.2.1 Individuele lucht- /waterwarmtepompen	18
4.2.2 Bodemlussen in combinatie met individuele warmtepompen	19
4.2.3 Collectieve WKO in combinatie met individuele warmtepompen	19
5 Financiële analyse	21
5.1 Uitgangspunten financiële analyse	21
5.2 investeringskosten Individuele concepten	21
5.3 Investerings- en exploitatiekosten - WKO- bronnet	22
5.4 Exploitatiemodel WKO-bronnet	22
5.5 Resultaat business case WKO-bronnet	23
5.6 Bewonerslasten	24
6 Elektriciteitsverbruik	26
6.1 Warmte- en koudevoorzieningen in de woningen	26
6.2 Huishoudelijk elektriciteitsverbruik	27
6.3 Elektriciteitsverbruik openbare ruimte	28
7 Conclusie en aanbevelingen	30
Bijlage 1 Geohydrologisch onderzoek	32
Bodemopbouw	32
Technische en juridische aspecten	32
Juridisch kader	38
Open bodemenergiesystemen	39
Gesloten bodemenergiesystemen	41
Vergunningen in de openbare ruimte	41
Conclusies en aandachtspunten Geohydrologisch onderzoek	42
Conclusies	42
Aandachtspunten	42
Bijlage 2 Blokschema	44
Bijlage 3 Zonne-energie	45

PT-panelen	45
PVT-panelen	45
Bijlage 4 Toelichting beoordelingscriteria	46
Individuele lucht/waterwarmtepomp	46
Bodemplussen i.c.m. met individuele warmtepompen	47
Zonnecollector i.c.m. warmtepomp	48
Collectieve lucht/waterwarmtepomp	49
Bodemplussen i.c.m. collectieve warmtepomp	50
WKO i.c.m. individuele warmtepomp	51
Bijlage 5 Uitgangspunten business case	53
Bijlage 6 Elektriciteitsberekeningen	55

Management samenvatting

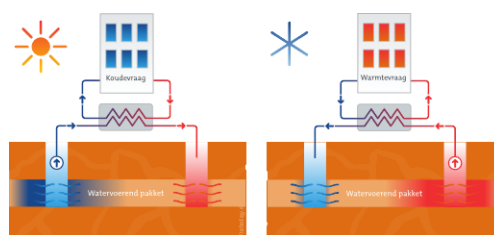
Ontwikkeling Halvinkhuizen krijgt vorm

In de gemeente Putten ontwikkelen diverse partijen ten zuiden van de Van Geenstraat de wijk Halvinkhuizen. In deze ontwikkeling zullen in een periode van 10 tot 15 jaar 1.300 woningen ontwikkeld worden. Gezien de omvang van deze opgave is de aanleg gefaseerd in fases van 300 woningen met Halvinkhuizen 1 als eerste fase. Deze ontwikkeling bestaat voor 35% uit gestapelde bouw en 65% uit grondgebonden woningen. 30% van de ontwikkeling is aangewezen als sociale woningbouw.

Duurzame energievoorziening en duurzame bronnen onderzocht

Voor Halvinkhuizen wordt onderzocht wat de meeste geschikte duurzame warmte-/koudevoorziening is. Daarbij rekening houdend met alle betrokken stakeholders, waaronder ontwikkelaars, gemeente, Woningstichting Putten en het belang van de toekomstige bewoners. De gemeente wenst grip te houden op de ontwikkeling om zo een gewenst systeem voor alle stakeholders te realiseren.

In Putten is bekeken welke lokale duurzame energiebronnen aanwezig zijn. De bodem biedt goede mogelijkheden zowel voor collectieve open bodemenergie als voor individuele/collectieve gesloten bodemenergie. Ook de buitenlucht of thermische zonnenergie biedt een duurzame bron van warmte.



Voorkeursconcepten zijn bepaald

Gemeente Putten heeft opdracht gegeven om een concretiseringslag te maken voor de meeste geschikte warmte-/koudevoorziening voor Halvinkhuizen te Putten waarbij ook de kosten verder worden gekwantificeerd. In overleg met de gemeente en ontwikkelaars zijn verschillende energieconcepten beoordeeld op een groot aantal criteria waaronder piekbelasting, duurzaamheid, faseerbaarheid, betaalbaarheid, eigenaarschap, ruimtelijke impact, circulariteit en doelmatig gebruik van de bodem. Vanuit deze beoordeling zijn drie voorkeursconcepten gekozen om verder uit te werken. Dit zijn de volgende concepten:

- Individuele lucht-/waterwarmtepompen;
- Individuele bodemlussen in combinatie met individuele warmtepompen;
- Collectieve warmte-/koudeopslag (WKO) in combinatie met individuele warmtepompen.

Financiële analyse is uitgewerkt

Voor deze energieconcepten is op haalbaarheidsniveau een dimensionering bepaald. Op basis hiervan is de financiële impact berekend, zowel voor de toekomstige bewoners, alsook voor de ontwikkelaars.

De collectieve variant is vanuit een warmtebedrijf beschouwd dat de realisatie en exploitatie van het collectieve deel van de energievoorziening vorm geeft. De individuele varianten komen volledig in eigendom bij de toekomstige bewoners.

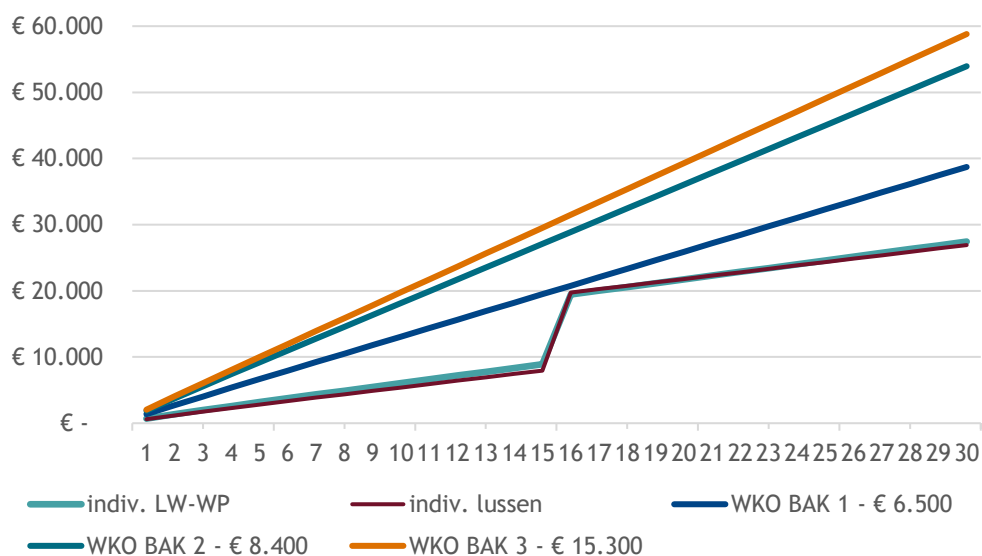
De financiële analyse is als volgt onderzocht:

- Voor de individuele concepten worden de investeringskosten inzichtelijk gemaakt. Dit zijn de kosten die de ontwikkelaar kwijt is tijdens realisatie.

- Voor de collectieve variant wordt bepaald door de rentabiliteit van de businesscase van het warmtebedrijf. De investeringskosten, operationele kosten en omzet van het warmtebedrijf wordt inzichtelijk gemaakt om de bijdrage aansluitkosten, de zogenaamde BAK, te bepalen welke de ontwikkelaars moeten betalen.
- Voor de individuele en het collectieve concept worden de bewonerslasten inzichtelijk gemaakt door een 'total cost of ownership' berekening (TCO). Dit zijn de bewonerslasten gedurende een bepaalde tijd. Een gebruikelijke exploitatieperiode voor een warmtebedrijf is 30 jaar, deze periode wordt dan ook toegepast voor de bewonerslasten.

Het resultaat van de financiële analyse is opgenomen in onderstaande tabel en grafisch weergegeven in de figuur.

Concept	Eenheid	Kosten/BAK ontwikkelaar	Cumulatieve bewonerslasten
Individuele lucht/waterwarmtepomp	€	8.400	27.400
Individuele bodemplussen	€	15.300	26.900
WKO bronnet - BAK1	€	6.500	58.800
WKO bronnet - BAK2	€	8.400	53.900
WKO bronnet - BAK3	€	15.300	38.600



In de figuur is te zien dat in vergelijking met de volledig individuele variant met bodemplussen de collectieve variant dicht in de buurt komen van elkaar, zeker wanneer de terugkerende herinvesteringen meegenomen worden in de individuele variant.

Elektriciteitsvraag in beeld voor Halvinkhuizen

De gemeente Putten wenst de energieopgave voor de toekomstige wijk vanuit een integrale benadering te bekijken. De belasting van het elektriciteitsnet vormt hierbij een steeds belangrijker criterium vanwege de beperkte capaciteit welke nog beschikbaar is voor nieuwe ontwikkelingen in Putten en omgeving op het elektriciteitsnet. Om de juiste keuzes te kunnen maken is het voor de

gemeente belangrijk om inzichtelijk te hebben wat de toekomstige elektriciteitsvraag en piekvermogen van het gebied gaat zijn. Deze zijn in kaart gebracht voor de drie voorkeursconcepten. Het resultaat staat in onderstaande tabel waaruit duidelijk naar voren komt dat de bodemgekoppelde systemen een veel lagere elektriciteitspiek hebben dan de lucht gekoppelde systemen. Daarmee hebben de eerste genoemde warmtepompen de voorkeur om zo een lagere piekbelasting op het elektriciteitsnet te bereiken.

	Elektriciteitsverbruik	E-piekvermogen
	MWhe	kWe
Lucht-/water warmtepompen	501	510
Bodemplussen met warmtepompen	368	282
WKO met individuele warmtepompen	355	282

Voorkeursvariant bepalen

De keuze van een duurzame warmte-/koudevoorziening voor Halvinkhuizen is op basis van voorgaande analyse niet éénduidig. De collectieve WKO met individuele warmtepompen per woning scoort goed, waarbij het verschil voor de bewoner gering is mits de ontwikkelaar voldoende bijdraagt.

De verschillende stakeholders hebben verschillende belangen. Financieel/organisatorische aspecten wegen zwaar voor de ontwikkelaars en de bewoners willen een duurzame en betaalbare oplossing met voldoende grip. Voor gemeente Putten is naast het realiseren van een leefbare wijk, van belang om ook andere maatschappelijke belangen te wegen. Hierin moet de gemeente een standpunt innemen ten aanzien van gewenste richting in de ontwikkeling van een duurzame wijk, gebruik buitenruimte, geluidsbelasting, gebruik ondergrond en beschikbare netcapaciteit.

Aanbeveling

Vervolg stap is een verdere uitwerking maken van de integrale energievoorziening voor warmte koude én elektriciteit voor Halvinkhuizen. In samenspraak met de netbeheerder en provincie wordt duidelijkheid verkregen of de toekomstige netcapaciteit grenzen stelt aan de beschikbare opties. Vervolgens worden de financiële, organisatorische en maatschappelijke aspecten integraal gewogen in samenwerking met alle stakeholders waaronder gemeente, provincie, ontwikkelaars, woningstichting Putten, (toekomstige) bewoners en netbeheerders. In de vorm van een pilot 'Circulaire energie voor Halvinkhuizen' kan dit verder vorm krijgen.

1 Inleiding

In de gemeente Putten ontwikkelen diverse partijen ten zuiden van de Van Geenstraat de wijk Halvinkhuizen. In deze ontwikkeling zullen in een periode van 10 tot 15 jaar 1.300 woningen ontwikkeld worden. Gezien de omvang van deze opgave is de aanleg gefaseerd in fases van 300 woningen. De eerste van deze fases is Halvinkhuizen 1. Figuur 1.1 is een visualisatie van de ontwikkeling. Deze ontwikkeling bestaat voor 35% uit gestapelde bouw en 65% uit grondgebonden woningen. 30% van de ontwikkeling is aangewezen als sociale woningbouw.



Figuur 1.1 | Visualisatie van de toekomstige ontwikkeling Halvinkhuizen 1 te Putten.

1.1

OPDRACHT

Gemeente en ontwikkelaars zijn zoekende naar de meeste geschikte warmte-/koudevoorziening voor Halvinkhuizen te Putten. Bij de ontwikkeling van fase 1 van Halvinkhuizen is een groot aantal stakeholders betrokken, waaronder ontwikkelaars, gemeente, Woningstichting Putten, en het belang van de toekomstige bewoners moet ook niet worden vergeten. De gemeente wenst grip te houden op de ontwikkeling om zo een gewenst systeem voor alle stakeholders te realiseren. Gezien de kenmerken van Halvinkhuizen, waaronder een weidse opzet, gefaseerde aanleg en beperkte lokale duurzame energiebronnen, is er niet één in het oog springend voorkeurscenario. Hier is behoefte aan een concretisering waarbij ook de kosten verder worden gekwantificeerd. De vraag is om voor Halvinkhuizen de voorkeurscenario's te definiëren en hiervan de kosten te kwantificeren. Daarnaast is er behoefte om de voorkeurscenario's te toetsen aan de interesse en kunde van de markt. Deze toets is separaat uitgevoerd in een marktconsultatie.

1.2 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 worden allereerst de uitgangspunten van de ontwikkeling vastgesteld. Hierbij wordt de bouwkundige opgave vertaald in een energievraag welke als uitgangspunt dient voor de dimensionering van de systeemconcepten. In hoofdstuk 3 worden de omgevingsbronnen van duurzame energie in kaart gebracht. De match tussen de omgevingsbronnen en de energetische uitgangspunten bepaalt de geschiktheid van de systeemconcepten. In hoofdstuk 4 wordt de longlist van energieconcepten beschreven. In een separate sessie met ontwikkelaars en de gemeente Putten zijn, op basis van de kwalitatieve analyse welke is bijgevoegd in Bijlage 4, de 3 voorkeursconcepten bepaald. Deze 3 concepten zijn in hoofdstuk 5 financieel doorgerekend en hieruit volgen de benodigde investeringskosten en de bewonerslasten. Vanwege de beperkte beschikbare elektrische capaciteit in het gebied is in hoofdstuk 6 ook de impact op het elektriciteitsnet in kaart gebracht. Het voorliggende onderzoek sluit af met conclusies en advies voor vervolg.

2 Energie inventarisatie

Om tot een onderbouwde keuze te komen voor de voorkeursscenario's is het belangrijk om de projectkarakteristieken scherp te hebben. Daarom wordt in dit hoofdstuk aandacht besteed aan de bouwkundige aspecten en energetische uitgangspunten.

2.1 BOUWKUNDIGE UITGANGSPUNTEN

Voor de inventarisatie van de verwachte warmte- en koudevraag is de typologie en grootte van de ontwikkeling inzichtelijk gemaakt. Het aantal woningen is afkomstig vanuit het woningbouwprogramma van de gemeente Putten. Voor de berekening is onderscheid gemaakt tussen gestapelde bouw, rijwoningen, twee-onder-één-kap woningen en vrijstaande woningen, zie Tabel 2.1. In deze berekening zijn de boven-beneden woningen opgenomen bij de gestapelde bouw.

Aan de hand van de indicatieve boven- en onderkant van de prognose uit het woningbouwprogramma is per woningtype een gemiddeld oppervlakte vastgesteld. Het oppervlak van de vrijstaande woningen is niet gespecificeerd, hier is gebruik gemaakt van een reguliere grootte.

Tabel 2.1 | Ontwikkelgegevens toekomstige woningen Halvinkhuizen.

Ontwikkeling	Aantal	Gemiddeld oppervlak (m ²)	Totaal oppervlak (m ² GO)
Gestapeld	165	60	10.000
Rijwoning	109	105	11.400
Twee-onder-één-kap woning	28	145	4.100
Vrijstaande woning	8	125	1.000
Totaal	310	85	26.500

2.2 ENERGETISCHE UITGANGSPUNTEN

De gehanteerde kentallen in dit onderzoek zijn gebaseerd op de BENG-norm. De benodigde vermogens en energievragen zijn onderverdeeld in ruimteverwarming, tapwaterverwarming en koeling. Het benodigde tapwatervermogen is afhankelijk van het energieconcept. In de energetische inventarisatie is rekening gehouden met individuele opwekking van warmtapwater. Als de warmtepomp tapwater produceert dan gaat dit verwarmde water naar een boilervat. Doordat het gevulde boilervat een groot vermogen aan tapwater kan leveren hoeft de warmtepomp niet gedimensioneerd te worden op het tapwaterverbruik. In plaats daarvan worden de individuele combiwarmtepompen juist uitgelegd op het benodigde vermogen voor ruimteverwarming. De gebruikte energetische kentallen in deze studie zijn weergegeven in Tabel 2.2.

Tabel 2.2 | Energetische kentallen

Ontwikkeling	Ruimteverwarming		Tapwaterverwarming		Koeling	
	Vermogen [W/m ²]	Vraag [kWh/m ²]	Vermogen [W/m ²]	Vraag [kWh/m ²]	Vermogen [W/m ²]	Vraag [kWh/m ²]
Gemiddeld appartement	35	33	-	28	15	12
Gemiddelde rijwoning	35	37	-	22	15	12
Gemiddelde twee-onder-één-kap woning	35	40	-	20	15	12
Gemiddelde vrijstaande woning	35	45	-	19	15	12

De benodigde vermogens en energiehoeveelheden zijn weergegeven in Tabel 2.3. Hierbij valt op dat de warmtevraag (960 MWh/jaar) groter is dan de koudevraag (318 MWh/jaar). Dit betekent dat wanneer er gebruik wordt gemaakt van seizoensopslag in de bodem er een onbalans zal ontstaan op jaarbasis tussen de hoeveelheid opgeslagen koude en warmte. Zowel juridisch als technisch is een mate van energiebalans noodzakelijk voor een langjarig goed rendement van de installatie. Dat houdt in dat aanvullend warmte moet worden geladen met zomerwarmte die bijvoorbeeld afkomstig kan zijn uit de zon, warme buitenlucht of oppervlaktewater.

Tabel 2.3 | Energetische inventarisering

Ontwikkeling	Ruimteverwarming		Tapwaterverwarming		Koeling	
	Vermogen [kW]	Vraag [MWh/jaar]	Vermogen [kW]	Vraag [MWh/jaar]	Vermogen [kW]	Vraag [MWh/jaar]
Appartementen	350	330	-	280	150	120
Rijwoningen	399	422	-	251	171	137
Twee-onder-één-kap woningen	145	165	-	83	62	50
Vrijstaande woningen	34	43	-	18	14	12
Totaal	927	960	-	631	397	318

3 Potentie omgevingsbronnen

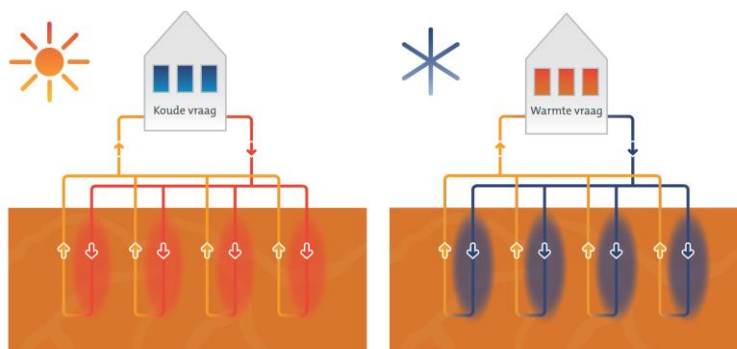
Om de woningen op een duurzame wijze van warmte en koude te voorzien kunnen verschillende energiebronnen gebruikt worden. In deze studie is gekeken naar de toepassing van bodemenergie en lucht-/waterwarmtepompen. In Bijlage 3 is zonne-energie toegelicht. Deze warmtebron is getoetst bij de beoordelingscriteria, maar als voorkeursscenario niet geselecteerd en dus niet uitgewerkt in een businesscase.

3.1 BODEMENERGIE

De bodem vormt een potentiële energiebron of kan dienstdoen als energieopslag, waar gedurende de winter en zomerperiode energie aan kan worden onttrokken. In dit onderzoek worden een tweetal technieken behandeld, namelijk een individueel gesloten bodemenergiesysteem en een collectief open bodemenergiesysteem. In Bijlage 1 is het geohydrologisch onderzoek en de toetsing haalbaarheid van bodemenergie weergegeven. Hierin wordt de mogelijkheid van de toepassing van gesloten en open bodemenergie op locatie omschreven. De belangrijkste bevindingen uit dit onderzoek worden in onderstaande paragrafen benoemd.

3.1.1 Gesloten bodemsystemen

Gesloten bodemenergiesystemen bestaan uit bodemlussen die in verticale boorgaten in de bodem worden aangebracht. Doormiddel van geleiding kan de vloeistof in de bodemlus warmte afgeven of onttrekken aan de omgeving. Belangrijk verschil met een open systeem is dat er **geen** grondwater wordt onttrokken en wordt geïnfiltrerd. Een gesloten bodemenergiesysteem is interessant voor kleinere ontwikkelingen¹ zoals (vrijstaande) grondgebonden woningen. Het principe van een gesloten bodemenergiesysteem is weergegeven in Figuur 3.1.



Figuur 3.1 | Schematische weergave gesloten bodemsysteem

De belangrijkste conclusies uit het geohydrologisch onderzoek voor gesloten systemen zijn de volgende:

- De opbouw van de bodem op de locatie van Halvinkhuizen Putten is geschikt voor het toepassen van een gesloten bodemenergiesysteem.
- De ondergrond is tot 230 m-mv geschikt voor het plaatsen van bodemlussen.
- Er zijn geen technische en juridische risico's aanwezig die de realisatie van een gesloten bodemenergiesysteem op de locatie in de weg staan.

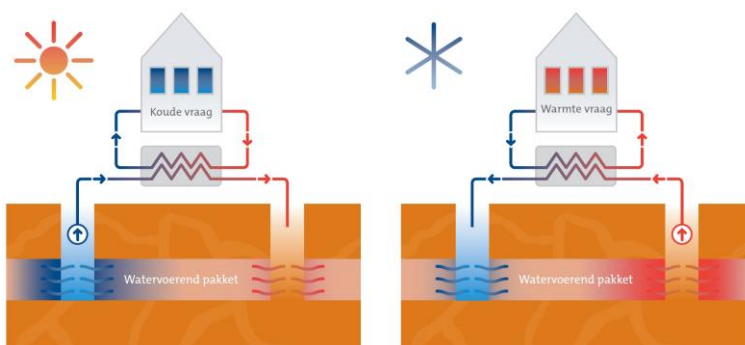
¹ Als vuistregel kan gehanteerd worden dat ontwikkelingen onder de 100 kW interessant zijn voor gesloten systemen.

Hierbij moet wel rekening gehouden worden met de volgende aandachtspunten:

- Vanwege de hoge grondwatersnelheid kan er alleen warmte en koude worden uitgewisseld met de natuurlijke temperatuur van het grondwater. Dit is gunstig voor een systeem met een koude overschot aangezien de opgebouwde koude immers wegstroomt.
- Nabij de projectlocatie zijn meerdere gesloten bodemenergiesystemen aanwezig.
- Grootschalige toepassing van gesloten bodemlussen vraagt uitgebreide modellering van de thermische effecten in de ondergrond. Daarmee wordt voorkomen dat onderlinge negatieve interferentie optreedt. Dit kan via aanwijzing van een interferentiegebied worden geborgd voor de ontwikkeling.
- De noodzaak bestaat mogelijk om een deel van de infrastructuur behorende bij het gesloten bodemenergiesysteem (bodemplussen, kabels, leidingen) te realiseren in de openbare ruimte. Afstemming met de gemeente is noodzakelijk.

3.1.2 Warmte- en koudeopslag (open systeem)

Open bodemenergiesystemen, ook wel warmte-/koudeopslag (WKO) genoemd, bestaan uit bronnen die grondwater onttrekken en infiltreren. Energie in de vorm van warmte en koude wordt opgeslagen in een ondergrondse watervoerende laag. Deze energie wordt vervolgens onttrokken om te verwarmen (in combinatie met warmtepompen) of te koelen. In Figuur 3.2 is de globale werking van een WKO schematisch weergegeven. In de winter wordt de opgeslagen warmte in de WKO gebruikt om de gebouwen te verwarmen. In de zomer wordt koeling geleverd en warmte opgeslagen in de WKO.



Figuur 3.2 | Schematische weergave van een warmte- en koudeopslag (WKO).

De belangrijkste conclusies uit het geohydrologisch onderzoek voor gesloten systemen zijn de volgende:

- De opbouw van de bodem op de locatie van Halvinkhuizen Putten is geschikt voor het toepassen van een open bodemenergiesysteem.
- Geadviseerd wordt om de bronfilters tussen 100 - 230 m-mv te realiseren.
- De eigenschappen van de bodem zijn toereikend voor een debiet van ca. 150 m³/uur met één doublet. Dat is een gunstig maximaal debiet dat in algemene zin rendabel gerealiseerd kan worden.
- Op basis van de beschikbare informatie wordt op dit moment nader geohydrologisch onderzoek niet nodig geacht.
- Er zijn geen technische en juridische risico's aanwezig die de realisatie van een open bodemenergiesysteem op de locatie in de weg staan.

Hierbij moet wel rekening gehouden worden met de volgende aandachtspunten:

- De grondwatersnelheid in dit gebied ligt erg hoog. Vanwege de hoge grondwatersnelheid zal warmte en koude verloren gaan bij een doublet. Toch wordt verwacht dat het rendement hoger zal liggen in vergelijking met een recirculatiesysteem waarbij steeds één kant wordt opgepompt. Tevens hoeft door de hoge grondwatersnelheid technisch geen 100% energiebalans vanuit de bodem te zijn. Of het juridisch wordt toegestaan om een (gedeeltelijk) koude overschot te laten ontstaan in de bodem dient nagevraagd te worden bij het bevoegd gezag.
- In het freatisch watervoerende pakket is sprake van een redoxovergang. De overgang in waterkwaliteit mag niet worden aangetrokken door de bronnen van het open bodemenergiesysteem, omdat dit tot bronverstopping kan leiden. Geadviseerd wordt om bronfilters vanaf 100 m-mv, onder de eerste scheidende laag, te plaatsen. Toepassing van een recirculatiesysteem vergroot het risico op bronverstoppingen als gevolg van de redoxovergang.
- Nabij de projectlocatie zijn meerdere gesloten bodemenergiesystemen aanwezig waarmee rekening gehouden moet worden bij inpassing van een open bodemenergiesysteem.
- De noodzaak bestaat om een deel van de infrastructuur behorende bij het grondwatersysteem (bronnen, kabels, leidingen) te realiseren in de openbare ruimte. Afstemming met de gemeente is noodzakelijk.

Nu de potentie van de bodem bepaald is kan dit gekoppeld worden aan de energievraag zoals weergegeven in Tabel 2.3. Middels een blokschema van het energieconcept zijn de energiestromen inzichtelijk gemaakt bij een koppeling van de woningen op een WKO-systeem, zie Bijlage 2. Uit het blokschema komt naar voren dat het hele ontwikkelgebied een debiet nodig heeft van circa 150 m³/uur. In totaal is er dus 1 WKO-doublet nodig om de woningen in fase 1 van warmte en koude te voorzien.

3.2 LUCHT-/WATERWARMTEPOMPEN

De lucht-/waterwarmtepomp gebruikt de buitenlucht als energiebron. Lucht met de buitentemperatuur wordt langs een warmtewisselaar (de buitenunit, zie Figuur 3.3) geleid waar de energie onttrokken wordt. Aan de binnenkant stroomt een medium langs deze warmtewisselaar en zo wordt de energie uit de lucht overgedragen aan de warmtepomp waar de warmte verder wordt opgewaardeerd om ruimteverwarming en warmtapwater te produceren. Buitenlucht als energiebron is in potentie onbeperkt.



Figuur 3.3 | Voorbeeld buitenunit lucht-/waterwarmtepomp, enkele woning (links) of een collectieve warmtepomp (rechts).

Een lucht-/waterwarmtepomp heeft als voordeel dat als deze, als individuele bron ingezet wordt, flexibel en gefaseerd ingezet kan worden. Daarnaast kan de lucht-/waterwarmtepomp jaarrond leveren, waardoor seizoensopslag niet nodig is. Het rendement van een luchtwaterwarmtepomp is daarentegen afhankelijk van de buitentemperatuur. In de zomer is de buitenlucht warm, terwijl koeling gevraagd wordt. In de winter is de buitenlucht koud, terwijl dan de meeste verwarming gevraagd wordt. Daardoor is het rendement van de warmtepomp tijdens de winter relatief laag, wanneer juist de grootste warmtevraag is. De lucht-/waterwarmtepomp verbruikt dan ook meer elektriciteit dan andere duurzame energietechnieken.

4 Energieconcepten

Met behulp van de bepaalde energetische uitgangspunten voor de nieuwbouw ontwikkeling en de aanwezige energiebronnen in het gebied kan onderbouwd worden welke energieconcepten goed toepasbaar zijn voor de toekomstige ontwikkeling van Halvinkhuizen. In samenspraak met de gemeente Putten en ontwikkelaars zijn de volgende concepten beoordeeld:

- Individueel
 - Lucht-/waterwarmtepompen
 - Bodemlussen in combinatie met een individuele warmtepomp
 - Zonnecollectors in combinatie met een individuele warmtepomp
- Collectief
 - Lucht-/waterwarmtepomp
 - Bodemlussen in combinatie met een collectieve warmtepomp
 - WKO om combinatie met individuele warmtepompen

De concepten zijn allereerst kwalitatief beoordeeld op basis van de vastgestelde beoordelingscriteria:

- Piekbelasting
- Duurzaamheid
- Faseerbaarheid
- Betaalbaarheid
- Eigenaarschap
- Ruimtelijke impact
- Circulariteit
- Doelmatig gebruik bodem

Op basis van de kwalitatieve beoordeling zijn, in samenspraak met Gemeente en ontwikkelaars, 3 voorkeursconcepten bepaald. In onderstaande paragrafen wordt de keuze voor deze voorkeursconcepten toegelicht.

4.1 BEOORDELINGSMATRIX

In Figuur 4.1 is een overzicht van de scores per concept opgenomen. Per concept is een beknopte toelichting gegeven van de algehele prestatie op de gegeven criteria. Een toelichting per concept score is te vinden in Bijlage 4.

	Piekbelasting	Duurzaamheid	Faseerbaarheid	Betaalbaarheid	Eigenaarschap	Ruimtelijke impact	circulariteit	doelmatig gebruik bodem
individueel								
1 lucht/water warmtepomp	2	3	5	4	5	2	5	5
2 bodemlussen i.c.m. individuele warmtepomp	4	5	5	3	4	4	2	2
3 zonnecollector i.c.m. warmtepomp	2	3	5	3	4	4	5	5
collectief								
4 lucht/water warmtepomp	3	2	3	2	2	2	3	5
5 bodemlussen i.c.m. collectieve warmtepomp	4	3	3	2	2	4	2	2
6 WKO i.c.m. individuele warmtepomp	4	5	4	3	3	4	3	4

Figuur 4.1 | Beoordelingsmatrix

1. Individuele lucht-/waterwarmtepompen

Doordat dit project bestaat uit veel grondgewonden woningen welke ruim zijn opgezet is de keuze voor een lucht-/waterwarmtepompen voor de hand liggend. Lucht-/waterwarmtepompen zijn relatief goedkoop in aanschaf en zorgt qua faseerbaarheid en eigenaarschap voor weinig complexiteit. Nadeel is dat de lucht-/waterwarmtepompen in vergelijking tot de andere concepten laag scoort op duurzaamheid en dat de warmtepomp in de winter een grotere elektriciteitsvraag heeft, wat een negatief effect op de piekbelasting heeft. Daarnaast hebben lucht-/waterwarmtepompen een niet geringe auditieve impact.

2. Bodemlussen in combinatie met individuele warmtepompen

De stedenbouwkundige opzet van de buurt leent zich goed voor de toepassing van individuele gesloten bodemenergiesystemen. Bodemenergiesystemen zijn relatief duur in aanschaf maar verbruiken minder elektriciteit, waardoor dit concept goed scoort op het gebied van piekbelasting en duurzaamheid. Door de individuele aanpak is dit concept gefaseerd aan te leggen en komt de warmtepomp in volledig eigendom van de eigenaar. De individuele bodemlussen hebben een kleinere ruimtelijke impact in vergelijking met lucht-/waterwarmtepompen. Dit concept scoort echter slecht op circulariteit en op doelmatig gebruik van de ondergrond.

3. Zonnecollectoren in combinatie met individuele warmtepompen

De meeste warmte is nodig in de wintermaanden en dit zijn tevens de maanden met het minste zonlicht. Daarnaast wordt in dit concept in de zomermaanden actief gekoeld. Dit concept kent in de wintermaanden een rendement (Coëfficiënt of Performance = COP) gelijk aan de lucht/waterwarmtepomp. Het gaat hier om een individuele inpassing en het scoort hiermee goed op faseerbaarheid en eigenaarschap. De zonnecollectoren liggen op de daken en zijn het enige dat vanaf de straat zichtbaar is. Dit betekent dat de ruimtelijke impact klein is en dat hier geen gebruik gemaakt hoeft te worden van de bodem. Zowel de warmtepomp als de zonnecollectoren zijn relatief makkelijk te verwijderen en te recyclen.

4. Collectieve lucht-/waterwarmtepomp

Net als in het individuele concept heeft de lucht-/waterwarmtepomp een lage COP en moet actief koude opwekken. Doordat tijdens de distributie van warmte, warmteverlies optreedt, scoort het lager op piekbelasting en duurzaamheid dan de individuele variant. Doordat dit concept gebruik maakt van een collectieve warmtepomp en een warmtenet laag op faseerbaarheid. In dit concept moet een grote warmtepomp geplaatst worden die geluid produceert en moet worden geïnstalleerd op een centrale plek. Hierdoor scoort dit concept laag op ruimtelijke impact. Dit concept heeft geen impact op de diepere bodem, maar door het warmtenet scoort dit concept gemiddeld op circulariteit.

5. Collectieve bodemlussen in combinatie met een collectieve warmtepompen

Net als bij het individuele concept resulteert het gebruik van bodemlussen een in een goede COP en dus lage piekbelastingen en hoge duurzaamheid. Daarnaast kan passief gekoeld worden. In dit concept wordt gebruik gemaakt van een warmtenet met een centrale warmtepomp die in beheer is van een warmtebedrijf. Hierdoor scoort dit concept matig op de faseerbaarheid en eigenaarschap. Dit is een kostbare variant die ook nog eens lastig te recyclen is door het warmtenet en de vele bodemlussen. Het concept scoort goed op ruimtelijke impact. De grootste impact van dit concept is op de doelmatigheid van de bodem. De grote hoeveelheid bodemlussen kunnen een negatief effect op elkaar hebben en de mogelijkheden in volgende fases van de ontwikkeling belemmeren.

6. Collectieve WKO in combinatie met individuele warmtepompen

Door het gebruik van een WKO ligt het elektriciteitsgebruik van dit concept relatief laag. Dit heeft een positief effect op de piekvraag en duurzaamheid. Door de individuele warmtepompen maar de collectiviteit van het bronnet scoort dit concept middelmatig op faseerbaarheid. De impact van de WKO en het warmtenet wegen relatief zwaar op de betaalbaarheid. Vanwege de collectieve infrastructuur zal het eigendom ook niet bij de bewoners komen te liggen. Doordat het hier gaat om een enkele ondergrondse WKO scoort dit concept goed op ruimtelijke impact en doelmatig gebruik van de ondergrond. Voor het systeem is wel ondergrondse infrastructuur nodig en dit gaat ten koste van de circulariteit.

4.2 VOORKEURSCONCEPTEN

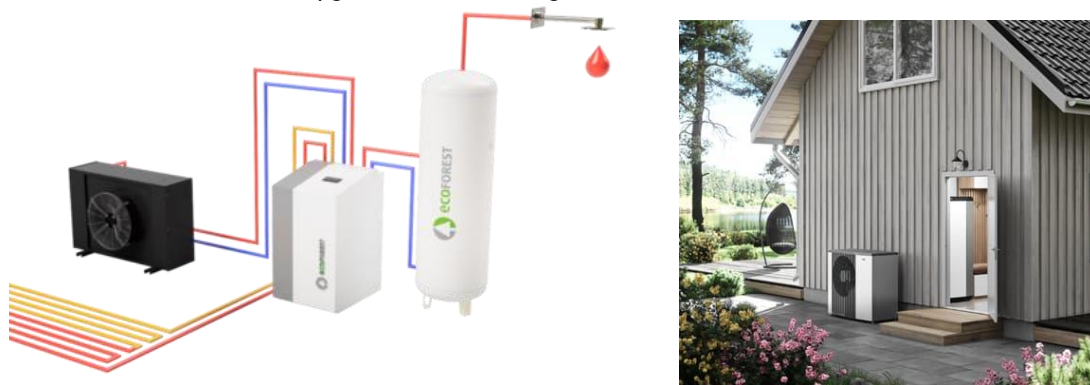
Met behulp van de bepaalde energetische uitgangspunten (hoofdstuk 2), de beoordelingsmatrix en een overleg met de gemeente en ontwikkelaars zijn drie voorkeursconcepten gekozen om verder uit te werken. Dit zijn de volgende concepten:

- Individuele lucht-/waterwarmtepompen;
- Individuele bodemlussen in combinatie met een individuele warmtepompen;
- Collectieve WKO in combinatie met een individuele warmtepompen.

Op deze drie concepten wordt in de volgende paragrafen een toelichting gegeven en in hoofdstuk 5 worden de concepten financieel uitgewerkt.

4.2.1 Individuele lucht-/waterwarmtepompen

Bij een lucht-/waterwarmtepompsysteem is de gebruikte energiebron de buitenlucht. De buitenlucht wordt langs een warmtewisselaar geleid (de buitenunit, zie zwarte installatie in Figuur 4.2) waar de energie uit onttrokken wordt. De onttrokken warmte wordt vervolgens door de warmtepomp verder opgewaardeerd zodat deze benut kan worden voor ruimteverwarming. Voor warm tapwater kan de warmte opgewaardeerd worden naar een hoge temperatuur en opgeslagen worden in het buffervat. Bij een hoog verbruik van warm tapwater, bij douchen bijvoorbeeld, wordt het warm water uit het vat gebruikt. Op een rustiger moment kan het buffervat weer aangevuld worden. Lucht-/waterwarmtepomp kan ook omgekeerd werken, waarbij warmte juist naar buiten toe wordt afgevoerd. Hiermee kan de woning worden gekoeld. Het binnendeel van de warmtepomp staat normaliter in het huis opgesteld en heeft de grote van een koelkast.



Figuur 4.2 | Lucht-/waterwarmtepomp. Bron: Eplucon en Nibe.eu

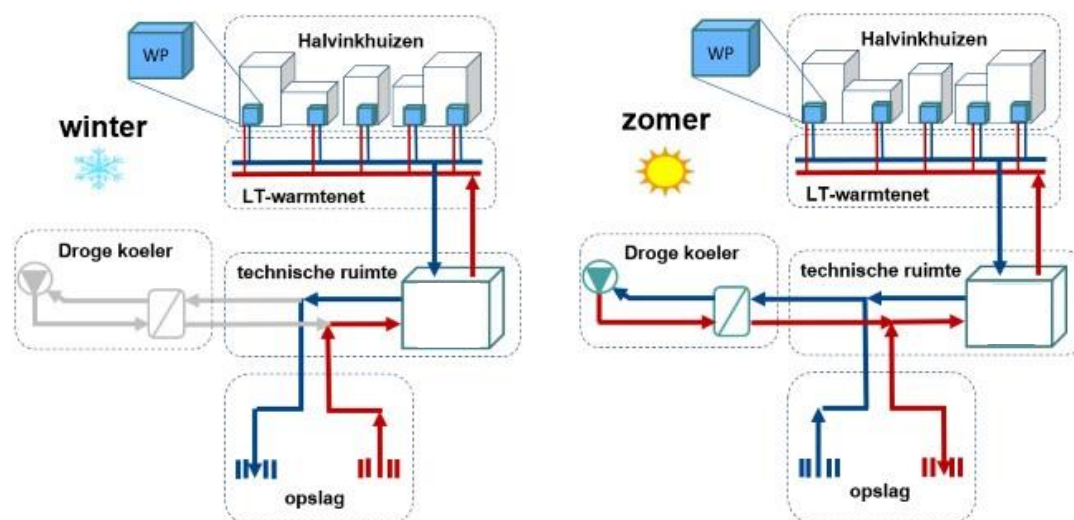
Voor deze studie is het uitgangspunt dat zowel grondgebonden woningen als appartementen gebruik maken van individueel opgestelde (combi)warmtepompen.

4.2.2 Bodemlussen in combinatie met individuele warmtepompen

Het concept met individuele bodemlussen is in grote lijnen hetzelfde als het lucht-/waterwarmtepomp concept. Het verschil zit in de aangesloten energiebron. Waar lucht-/waterwarmtepompen aangesloten zijn op een buitenunit, maakt dit concept gebruik van bodemlussen die warmte en koude uitwisselen met de bodem. De bodem is vrijwel niet weersafhankelijk en heeft daarmee jaarrond een constantere temperatuur. De capaciteit van de bodem is voldoende om met 1 enkele lus binnen de maximale diepte van 230 meter voldoende vermogen te leveren voor de geplande woningen.

4.2.3 Collectieve WKO in combinatie met individuele warmtepompen

Voor het collectieve concept is de WKO de warmte- en koudebron voor de buurt. In de zomer wordt de warmte uit de warme bron onttrokken en via een warmtewisselaar in de technische ruimte overgebracht op het distributienet. Omdat het water hier nog niet opgewaardeerd is naar hoge temperatuur, spreken we hier over een bronnet. De lage temperatuur wordt via het bronnet naar de woningen gebracht waar het met een (combi)warmtepomp opgewaardeerd wordt voor ruimteverwarming of tapwater. Net als in de twee concepten hierboven wordt voor tapwater gebruik gemaakt van een buffervat. In de zomermaanden levert de WKO koude. Hiermee kunnen woningen passief gekoeld worden. In Figuur 4.3 is het systeemconcept globaal weergegeven.



Figuur 4.3 | systeemconcept collectieve WKO met individuele warmtepomp

In Figuur 4.4 is de inpassing van het bronnet geschetst en de huisaansluitingen voor de ontwikkeling van Halvinkhuizen 1. Met behulp van deze schets is het aantal strekkende meters bronnet en huisaansluitingen berekend. In deze kaart is nog geen locatie aangewezen voor de WKO, mede omdat de inpassing nog flexibel is en eenvoudig binnen de ontwikkeling ingepast kan worden. De kosten hiervoor zijn wel meegenomen in de business case.



Figuur 4.4 | Inpassingsschet bronnet Halvinkhuizen 1 met bronnet en huisaansluitingen

De berekening die ten grondslag ligt aan de dimensionering van het WKO-systeem is weergegeven middels een blokschema in Bijlage 2.

Regeneratie

Het uitgangspunt voor dit onderzoek is een WKO-systeem dat in balans draait, dit wil zeggen dat het systeem elk jaar evenveel warmte als koude onttrekt aan de bodem. Wij hanteren dit uitgangspunt, omdat dit een regulier uitgangspunt is voor een vergunning waterwet en de efficiëntie van het systeem verhoogt. Mogelijk dat hier een uitzondering op kan worden gemaakt gezien de hoge grondwaterstroming waardoor de geïnjecteerde koude afstroomt en een beperkt effect heeft op de efficiëntie van het systeem, dit kan in een vervolfase worden uitgezocht. Met behulp van regeneratietechnieken is het mogelijk om deze onbalans te herstellen. Vanwege de beperkte warmtebronnen in het gebied is een droge koeler hierin de meest logische optie. Er komt ook een supermarkt in het gebied, deze kan ook een deel van de (rest)warmte van de eigen koelmachines voor herstellen van de energiebalans voorzien. Een aansluiting daarop is in deze fase echter nog onzeker. Het vervolg gaat uit van een droge koeler.

5 Financiële analyse

In hoofdstuk 4 zijn de drie voorkeursscenario's bepaald. Voor deze energieconcepten wordt de financiële impact berekend, zowel voor de toekomstig bewoners, alsook voor de ontwikkelaars. Een collectieve variant wordt meestal door één bedrijf geëxploiteerd, namelijk het Warmtebedrijf. De collectieve variant wordt dan ook vanuit het Warmtebedrijf beschouwd. De individuele varianten komen in eigendom bij de toekomstige bewoners.

Concreet worden de volgende punten in dit hoofdstuk onderzocht:

- Voor de individuele concepten worden de investeringskosten inzichtelijk gemaakt. Dit zijn de kosten die de ontwikkelaar kwijt is tijdens realisatie.
- De bijdrage aansluitkosten (BAK) voor de collectieve variant wordt bepaald door de rentabiliteit van de businesscase van het Warmtebedrijf. De investeringskosten (CAPEX), operationele kosten (OPEX) en omzet van het Warmtebedrijf wordt inzichtelijk gemaakt om de BAK, welke de ontwikkelaars moeten betalen, te bepalen.
- Voor de individuele en het collectieve concept worden de bewonerslasten inzichtelijk gemaakt middels een 'total cost of ownership' berekening (TCO). Een gebruikelijke exploitatieperiode voor een Warmtebedrijf is 30 jaar, deze periode wordt dan ook toegepast voor de bewonerslasten.

5.1 UITGANGSPUNTEN FINANCIËLE ANALYSE

In de financiële uitwerking is rekening gehouden met de uitgangspunten uit Bijlage 5. De gehanteerde kosten-kentallen in dit project zijn gebaseerd op kennis en ervaring van IF Technology op basis van gerealiseerde projecten, uitgevoerde onderzoeken, offertes en begrotingen van ontwerpen. Aangezien het hier de haalbaarheidsfase betreft, dient rekening gehouden te worden met een onzekerheidsmarge van +/- 30%. In nakomende fasen zal steeds verder worden toegewerkt naar een definitief concept, waarmee de onzekerheidsmarge afneemt. Alle bedragen, tenzij anders vermeld, zijn exclusief BTW.

5.2 INVESTERINGSKOSTEN INDIVIDUELE CONCEPTEN

De investeringskosten voor de individuele warmte-/koudevoorziening worden direct door de ontwikkelaar betaald. Voor deze concepten hoeft dan ook geen businesscase te worden opgezet. De kosten zijn gebaseerd op een gemiddelde woninggrootte in het projectgebied, gebaseerd op de uitgangspunten zoals vermeld in hoofdstuk 2. In de investeringskosten zitten zowel de kosten voor de warmtepomp, buffer (als onderdeel van de (combi)warmtepomp, buiten unit en/of bodemlus, alsook de kosten voor de aanleg.

Tabel 5.1 | Investeringskosten individuele concepten

Component	Eenheid	Individuele lucht/waterwarmtepompen	Individuele bodemlussen
Warmtepomp	€/weq	8.400	9.500
Bodemlus	€/weq	-	5.800
Totaal	€/weq	8.400	15.300

5.3 INVESTERINGS- EN EXPLOITATIEKOSTEN - WKO-BRONNET

Tabel 5.2 geeft inzicht in de initiële investeringen (CAPEX). De CAPEX-kosten zijn alle investeringen die eenmalig plaatsvinden aan het begin van het project. Op basis van de onderstaande tabel valt nog niets te zeggen over de organisatie van de warmtevoorziening. Er zullen één of meerdere partijen moeten komen die het systeem gaan ontwikkelen, realiseren en exploiteren, waarbij de exploitatie ook weer in verschillende handen kan komen met verschillende eigenaren van het systeem. Voor de uitwerking van de businesscase wordt echter aangenomen dat realisatie en exploitatie van het systeem bij het Warmtebedrijf ligt. De individuele warmtepompen worden verhuurd aan de bewoners die middels een eigen elektriciteitsleverancier warmte kunnen opwekken.

Tabel 5.2 | Kosten realisatie energieconcept (CAPEX). Bedragen zijn exclusief btw.

Parameters	Eenheid	WKO - bronnet
CAPEX		Nieuwbouw
Leidingwerk en bronnet	€	1.251.000
WKO	€	405.000
Centrale techniek	€	130.000
Individuele warmtepompen	€	2.945.000
Bouwkundige voorziening	€	100.000
Droge koeler	€	50.000
Aansluitkosten trafo	€	25.000
Ontwerp en advies (10%)	€	490.000
Onvoorzien (5%)	€	245.000
Totaal	€	5.641.000

Tabel 5.3 geeft inzicht in de operationele kosten (OPEX). Dit zijn alle terugkerende kosten op jaar-basis. De OPEX is grofweg in drie groepen te verdelen: kosten door elektriciteitsverbruik, kosten in verband met onderhoud en beheer van de systemen en als laatste managementkosten voor klanten-service en contractbeheer. In de tabel zijn de kosten weergegeven voor 2023 en daarbij wordt gerekend met het geschatte elektriciteitstarief van 2023. Zie Bijlage 5 voor hoe dit tarief en het tarief voor de jaren daarna is bepaald.

Tabel 5.3 | Jaarlijkse kosten exploitatie (OPEX). Bedragen zijn exclusief btw.

Parameters	Eenheid	WKO - bronnet
OPEX		Nieuwbouw
Elektrakosten pompen (WKO, bronnet & regeneratie)	€	35.000
Onderhoud en beheer	€	55.000
Managementkosten	€	18.600
Totaal	€	160.000

5.4 EXPLOITATIEMODEL WKO-BRONNET

Omdat het Warmtebedrijf enkel warmte levert welke nog niet geschikt is voor gebruik, mag het Warmtebedrijf hier geen variabel GJ-tarief voor in rekening brengen. Wel wordt een vastrechtstarief gevraagd t.a.v. de aansluiting op het Warmtenet, deze is gemaximaliseerd door de Autoriteit Consument & Markt (ACM). Het ACM bepaalt jaarlijks de maximale kleinverbruikerstarieven voor warmte en koude.

De huur van de warmtepomp is niet gemaximaliseerd. Deze dient dus separaat door de aanbestedende partij te worden bepaald in samenspraak met het Warmtebedrijf. Hierbij is het realistisch om niet meer te vragen dan het Warmtebedrijf nodig heeft om de individuele warmtepomp te financieren en te onderhouden, met noemt dit ook wel de exploitatiewaarde. Het huurtarief en de uitgangspunten waarop het huurtarief is vastgesteld zijn opgenomen in Tabel 5.4.

Tabel 5.4 | Uitgangspunten huur warmtepomp

Parameters	Eenheid	WKO - bronnet
Investeringskosten warmtepomp	€	9.500
Onderhoud en beheer	%	1
Levensduur warmtepomp	Jaren	15
Huur warmtepomp (excl. BTW)	€/maand	81

Het door het ACM gemaximaliseerde vastrechttarief voor bronwarmte en koude staat in Tabel 5.5.

Tabel 5.5 | Vastrecht tarieven bronwarmte en koude (excl. BTW)

Parameters	Eenheid	WKO - bronnet
Vastrecht warmte	€/jaar	249,15
Vastrecht koude	€/jaar	226,02

5.5 RESULTAAT BUSINESS CASE WKO-BRONNET

Met behulp van de berekende CAPEX, OPEX en omzet kan ook de onrendabele top met een gegeven projectrendement worden bepaald. In Tabel 5.6 staan de belangrijkste financiële waarden uit dit onderzoek weergegeven, namelijk het projectrendement (IRR), de weighted average cost of capital (WACC) en de onrendabele top.

Te beginnen bij de WACC. De WACC geeft aan hoeveel de investeerders beloond worden voor hun financiële bijdrage aan het project. De WACC wordt uitgedrukt in een percentage en bestaat grofweg uit twee componenten. Zo wordt het project gefinancierd met eigen vermogen en vreemd vermogen. Op het eigen vermogen wordt rendement betaald aan aandeelhouders en over het vreemd vermogen wordt rente betaald over leningen.

Het projectrendement zegt iets over het te verwachten rendement op een investering. Dit rendement wordt bepaald door alle kasstromen (kosten en opbrengsten) gedurende het project te verdisconten. In de businesscase is het projectrendement gelijkgesteld aan de WACC. Daarmee rendeert het project dus precies genoeg om te voldoen aan de financiële verplichtingen van de investeerders. De totale onrendabele top is de hoeveelheid geld die nodig is om het vastgestelde rendement te behalen. De bijdrage aansluitkosten (BAK) geeft aan wat de kosten voor de ontwikkelaar zijn zodat het Warmtebedrijf de onrendabele top kan dekken.

Tabel 5.6 | Financiële output business case

Parameters	Eenheid	WKO - individuele warmtepompen
projectrendement (IRR)	%	6,6
Weighted average cost of capital (WACC)	%	6,6
BAK	€/weq	6.500
totale onrendabele top	M€	2.013.000

Uit Tabel 5.1 & Tabel 5.6 blijkt dat de investeringskosten welke voor rekening komen van de ontwikkelaar, bij het collectieve concept aanmerkelijk lager ligt dan bij de individuele concepten. De huur van de warmtepomp en de BAK zijn echter communicerende vaten. In eerste instantie is het huurtarief bepaald a.d.h.v. de exploitatiewaarde van de warmtepomp. Maar de huur van de warmtepomp kan dus ook bepaald worden door een gewenste BAK vast te stellen. Hierdoor kunnen bij gelijke kosten voor de ontwikkelaar de kosten tussen de concepten voor de bewoners worden vergeleken. Tabel 5.7 geeft de berekende huurtarieven waarbij de BAK gelijk is gesteld aan de investeringskosten van de individuele concepten.

Tabel 5.7 | Huurtarief bij vastgestelde BAK voor de WKO bronnet

Parameters	Eenheid	Referentie LW-WP	Referentie bodemlussen
BAK WKO-bronnet	€	8.400	15.300
Huurtarief	€/maand (excl. BTW)	70,0	34,9

5.6 BEWONERSLASTEN

De bewonerslasten worden bepaald aan de hand van een 'total cost of ownership' analyse over de looptijd van het project. Hierbij worden dus enkel de lasten van de bewoners meegenomen. De initiële investering voor de individuele varianten is voor rekening van de ontwikkelaars, evenals de BAK van de collectieve variant. De herinvestering van de warmtepompen na 15 jaar bij de individuele concepten komt wel voor rekening van de bewoners aangezien deze het volledig eigendom hebben. In de collectieve variant wordt de herinvestering gedragen door het Warmtebedrijf. De methodiek voor het gehanteerde prijsscenario van de elektra is toegelicht in Bijlage 5, de overige uitgangspunten staan in Tabel 5.8.

Tabel 5.8 | uitgangspunten bewonerslasten

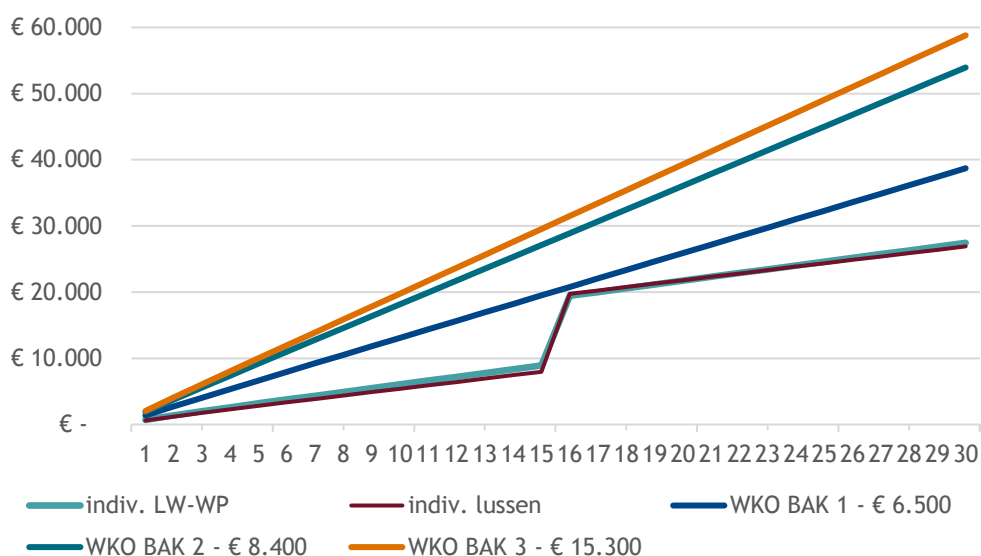
Parameters	Eenheid	waarde
Projectperiode	Jaar	30
Levensduur warmtepomp	Jaar	15
Onderhoud en beheer individuele warmtepompen	%	3
Vastrecht tarief bronnet als percentage van maximaal ACM-tarief	%	100

De resultaten van de bewonerslasten met daarbij de investeringskosten voor de ontwikkelaars zijn weergegeven in Tabel 5.9. Voor het WKO-bronnet zijn de bewonerslasten weergegeven voor verschillende BAK's, om zo het vergelijk te kunnen maken met de individuele concepten. De bewonerslasten zijn weergegeven inclusief BTW.

Tabel 5.9 | Bewonerslasten gedurende een projectperiode van 30 jaar

Concept	Eenheid	Kosten/BAK ontwikkelaar	Cumulatieve bewonerslasten
Individuele lucht/waterwarmtepomp	€	8.400	27.400
Individuele bodemplussen	€	15.300	26.900
WKO bronnet - BAK1	€	6.500	58.800
WKO bronnet - BAK2	€	8.400	53.900
WKO bronnet - BAK3	€	15.300	38.600

Uit Tabel 5.9 blijkt dat de bewonerslasten van de twee individuele varianten erg dicht bij elkaar liggen over een projectperiode van 30 jaar. De individuele lucht/waterwarmtepomp heeft een hoger elektraverbruik, maar heeft een lagere herinvestering na 15 jaar. De vaste kosten welke door de bewoners vergoed moeten worden aan het Warmtebedrijf voor het WKO-bronnet wegen niet op tegen het vervallen van de herinvestering, dit blijkt ook uit Figuur 5.1.



Figuur 5.1 | Bewonerslasten gedurende een projectperiode van 30 jaar voor BAK 1, BAK 2 en BAK3 (zie Tabel 5.9)

6 Elektriciteitsverbruik

De gemeente Putten wenst de energieopgave voor de toekomstige wijk vanuit een integrale benadering te bekijken. De belasting van het elektriciteitsnet vormt hierbij een steeds belangrijker criterium vanwege de beperkte capaciteit welke nog beschikbaar is voor nieuwe ontwikkelingen in Putten. Om de juiste keuzes te kunnen maken is het voor de gemeente belangrijk om inzichtelijk te hebben wat de toekomstige elektriciteitsvraag en piekvermogen van het gebied gaat zijn. Dit hoofdstuk behandelt de E-vermogensvraag en energievraag van de volgende onderwerpen:

- warmte- en koudevoorzieningen in de woningen;
- huishoudelijk elektriciteitsverbruik;
- elektriciteitsverbruik in openbare ruimte (o.a. stadsverlichting en gemalen).

6.1 WARMTE- EN KOUDEVOORZIENINGEN IN DE WONINGEN

Op basis van kennis en ervaring kan IF Technology een inschatting maken voor het elektriciteitsverbruik van de warmte- en koudevoorzieningen in de woning. Aan de berekeningen in dit onderzoek liggen de volgende uitgangspunten ten grondslag:

- E-vermogen bepaald op basis van de koudste dag van het jaar, buitentemperatuur van -10°C ;
- de lucht-/waterwarmtepomp is op 75% van het ruimteverwarmingsvermogen gedimensioneerd. De overige 25% wordt geleverd met behulp van een elektrisch verwarmingselement (COP van 1);
- De warmtepompen aangesloten op een bodemlus of de WKO zijn op 80% ruimteverwarmingsvraag gedimensioneerd. De overige 20% levert het E-verwarmingselement.

De onderste twee punten hebben wat extra toelichting nodig. De ontwikkelaars/particulieren hebben keuze in verschillende type warmtepompen. Ze kunnen ervoor kiezen om een grotere warmtepomp aan te schaffen, waarmee jaarrond (dus ook bij -10°C) het volledige vermogen geleverd kan worden. Een andere optie is juist een wat kleinere warmtepomp te kiezen, waarbij de pieklevering plaatsvindt met een elektrisch verwarmingselement (COP van 1). Wij verwachten dat veel partijen een kleinere warmtepomp aanschaffen. Hiermee kan (flink) bespaard worden op de investeringskosten, terwijl de elektriciteitskosten voor de bewoner maar gering toenemen. Deze pieklevering vindt namelijk maar enkele uren per jaar plaats.

In 0 is voor de verschillende varianten toegelicht hoe de resultaten in Tabel 6.1 tot stand zijn gekomen. De concepten met bodemlussen en WKO scoren erg goed, aangezien de COP voor ruimteverwarming en tapwaterproductie erg hoog liggen. Daarnaast kan met behulp van een bodemenergiesysteem (zowel open als gesloten) passieve koeling geleverd worden in de zomer. De lage E-piekvraag van deze varianten zijn dan ook te verklaren door de constante bodemtemperatuur, waarmee ook op de koudste dagen van het jaar een hoge COP behaald kan worden. De hogere warmtevraag en piek van de lucht-/waterwarmtepomp is dan ook te verklaren door de lagere COP, zeker in de wintermaanden.

Tabel 6.1 | Elektriciteitsvraag en E-piekvraag per variant.

	Elektriciteitsverbruik	E-piekvermogen
	MWhe	kWe
Lucht-/water	501	510
Bodemlussen	368	282
WKO met individuele warmtepompen	355	282

6.2 HUISHOUDELIJK ELEKTRICITEITSVERBRUIK

Het huishoudelijke elektriciteitsverbruik is gebaseerd op de cijfers van CBS. In de Statline van CBS staat het volgende omschreven over het gemiddelde elektriciteitsverbruik in Nederland ²:

In Statline van CBS zijn gemiddelde elektriciteitsgebruik 2.790 kWh per woning (2018, [14]). Met een gemiddelde gebruiksoppervlakte van 119 m² per woning betekent dit 23,5 kWh/m².

In deze studie richten we ons zowel op het gebouwgebonden als niet-gebouwgebonden gebruik van de woningen. Het gebouwgebonden verbruik vertegenwoordigt circa 9,94 kWh/m² (denk aan verlichting en ventilatie in een woning). Het niet-gebouwgebonden verbruik vertegenwoordigt circa 13,56 kWh/m² (denk aan koelkast, vaatwasser, stofzuiger, etc.). Het gemiddelde elektriciteitsverbruik van de woningen komt daarmee uit op circa 23,5 kWh/m²/jaar.

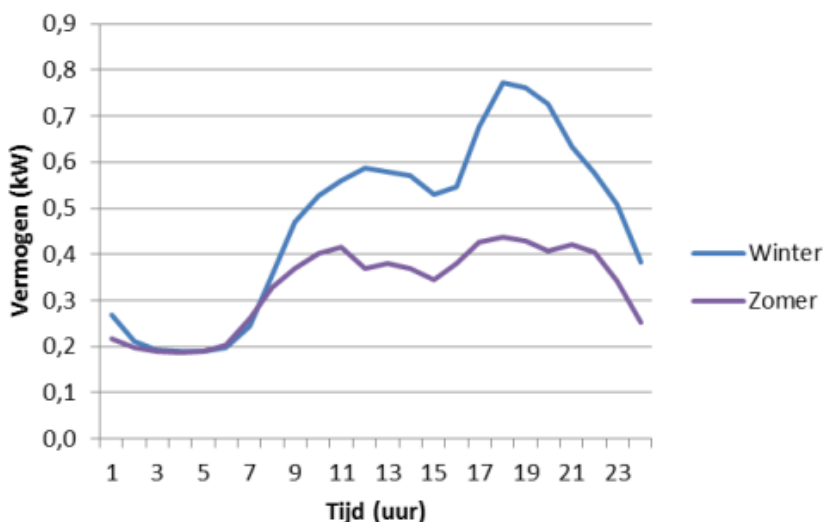
Tabel 6.2 | Huishoudelijk elektriciteitsverbruik.

	Totaal oppervlak woningen	Elektriciteitsverbruik	Elektriciteitsverbruik
	m ²	kWh/m ² /jaar	MWh/jaar
Gebouwgebonden verbruik ³	26.500	9,94	260
Niet-gebouwgebonden verbruik		13,56	360
Totaal verbruik woning	26.500	23,5	620

De E-piekbelasting van woningen is gedurende de avonduren het hoogst, zie Figuur 6.1. Het weergegeven gebruikersprofiel representeert een gemiddeld huishouden. In werkelijkheid ligt de piekvraag van een individueel huishouden stukken hoger dan de genoemde 0,8 kW, bijvoorbeeld wanneer apparaten als wasdrogers, föhns of waterkokers aanstaan. Op wijkniveau vindt het verbruik van deze apparaten echter zelden synchroon plaats.

² ECW, Uniforme maatlat, Rapport Uniforme Maatlat versie 5.0, bladzijde 18. Link: <https://www.expertisecentrum-warmte.nl/documenten/uniforme+maatlat+documenten/default.aspx#folder=1960155>

³ Deze berekening is nodig om te bepalen hoeveel PV-panelen nodig zijn om de ENG-norm te halen.



Figuur 6.1 | Gebruiksprofiel gemiddeld huishouden. Bron: Variabilisering transporttarieven, CE Delft.

Voor het bepalen van de E-piekbelasting van de hele wijk ligt de focus op de E-vermogensvraag tussen 18:00u en 19:00u. Daarbij wordt de aanname gemaakt dat de woningen in Halvinkhuizen een soortgelijk gebruikersprofiel hebben als in Figuur 6.1. Voor een vervolgfase is het verstandig om het elektrische piekvermogen voor de woningen in Halvinkhuizen nauwkeuriger te bepalen. Daarbij moet worden opgemerkt dat Figuur 6.1 het profiel is van een niet geëlektrificeerde woning.

Tabel 6.3 | Huishoudelijke E-piekbelasting

E-piekvermogen woning	Aantal woningen	E-piekvermogen totaal
kWe	-	kWe
0,8	310	250

6.3 ELEKTRICITEITSVERBRUIK OPENBARE RUIMTE

De kentallen voor het elektriciteitsverbruik in de openbare ruimte komen uit een eerdere studie met een soortgelijke opgave en zijn aangeleverd door een gemeente. In deze studie werd gekeken naar het elektraverbruik van straatverlichting, riolering gemaal en het rondpompen van drinkwater. De kentallen zijn op basis van verbruik per huishouden. In Tabel 6.4 Zijn de kengetallen toegepast op de situatie van Halvinkhuizen.

Tabel 6.4 | Elektriciteitsverbruik openbare ruimte

	Kentallen elektraverbruik	Aantal huishoudens	Totaal verbruik
	kWhe/jaar/huishouden	-	MWhe/jaar
Riolering gemaal	5	310	1,55
Straatverlichting	28,5	310	8,85
Drinkwater	38,3	310	11,85
Totaal	-	-	22,25

Ook voor de openbare ruimte kan de elektrische piekbelasting worden bepaald. Met uitzondering van straatverlichting is de aanname gemaakt dat de E-piekbelasting van de bovenstaande posten constant is gedurende de dag. Voor straatverlichting is het uitgangspunt dat de lantaarnpalen 10 uur per dag branden.

Tabel 6.5 | E-piekbelasting openbare ruimte

E-piek riolering/drinkwater/waterpeil	E-piek straatverlichting	E-piekvermogen
kWe	kWe	kWe
1,36	2,1	3,46

Aandachtspunt: enkele elektraposten behorende tot de openbare ruimte zijn niet meegenomen in deze studie. Dit zijn:

- COAX/Glasvezel(/Telefonie)
- Mobiele telefonie
- Rioolwaterzuivering
- E-mobiliteit

7 Conclusie en aanbevelingen

Keuze systeemconcepten

In voorliggend onderzoek zijn de meeste geschikte systeemconcepten voor Halvinkhuizen vastgesteld in samenspraak met de gemeente en ontwikkelaars. Hiervoor zijn de kwalitatieve en kwantitatieve verschillen uitgewerkt. De longlist uit hoofdstuk 4 geeft een eerste aanzet van beschikbare systeemconcepten voor Halvinkhuizen. Deze longlist is aan de hand van de opgestelde criteria teruggebracht naar de meest realistische opties. De overige systeemconcepten voldoen onvoldoende aan de eisen van zowel de gemeente als ontwikkelaars. De volgende concepten zijn het meest geschikt:

1. Individuele lucht-/waterwarmtepompen
2. Individuele bodemlussen
3. WKO bronnet

De individuele concepten zijn organisatorisch eenvoudig in aanleg aangezien de realisatie volledig in lijn kan lopen met de fasering van de bouw, daarnaast zijn de ontwikkelaars onderling niet afhankelijk van elkaar zoals bij een collectief concept. Daarnaast zijn bij het collectieve open bodemenergiesysteem de technische uitdagingen mogelijk groter vanwege de hoge grondwaterstromen, in deze fase lijkt de realisatie van een WKO echter haalbaar.

Resultaat financiële analyse

De systeemconcept zijn voor fase 1 van Halvinkhuizen uitgewerkt en vertaald naar een financiële analyse. Bij een marktconforme huurprijs voor de warmtepomp bij het WKO bronnet zijn de stichtingskosten voor de ontwikkelaar lager dan bij de individuele concepten. Dit leidt echter wel tot hogere bewonerslasten. Omdat bewonerslasten en de BAK voor het WKO bronnet communicerende vaten zijn, dalen de bewonerslasten aanzienlijk wanneer de BAK gelijk wordt gesteld aan de stichtingskosten van de individuele concepten. De bewonerslasten blijven ook in dit geval nog hoger dan bij de individuele concepten. De hogere kosten van het WKO bronnet zijn te verklaren doordat de gebiedsontwikkeling een relatief lage bebouwingsdichtheid kent, hierdoor is er relatief veel infrastructuur nodig per gerealiseerde aansluiting.

Maatschappelijk afweging systeemconcepten

Naast de financiële resultaten zijn maatschappelijke afwegingen mogelijk ook zwaarwegend. De lucht-/waterwarmtepompen hebben een aanzienlijke auditieve impact. De bodemlussen hebben dit niet, maar leggen wel een zwaar beslag op de bodem. Wanneer heel Halvinkhuizen wordt voorzien van bodemlussen komt de beschikbare capaciteit onder druk te staan. Daarnaast is dit vanuit circulariteit niet wenselijk aangezien de lussen aan het einde van de levensduur in de bodem blijven zitten. Het financiële aspect zal dus samen met aspecten zoals ruimtelijke impact en circulariteit gewogen moeten worden.

Netcongestie problematiek

Daarnaast is netcongestie een serieus aandachtspunt. In de omgeving van Putten is mogelijk te weinig ruimte op het hoogspanningsnet om zowel Halvinkhuizen als de verduurzaming van de bestaande bouw van voldoende capaciteit te voorzien. Lucht-/waterwarmtepompen leggen een aanzienlijk groter beslag op de netcapaciteit dan bodemlussen of een collectief systeem. Tevens

worden maatschappelijke kosten ten aanzien van een eventuele verzwarende van het elektranet niet meegenomen in voorliggende studie. Geadviseerd wordt om allereerst in overleg met de netbeheerder te bepalen wat mogelijk is met de beschikbare netcapaciteit.

Voorkeursvariant bepalen

De keuze van een duurzame warmte-/koudevoorziening voor Halvinkhuizen is dus niet éénduidig. Er komt eenvoudigweg niet één variant als beste uit de bus op alle fronten. Overigens scoort de collectieve WKO met individuele warmtepompen per woning behoorlijk goed, zeker wanneer de bijdrage aansluitkosten van de ontwikkelaars op het niveau van de individuele warmtepomp met bodemlus wordt vastgesteld. In dat geval is het verschil voor de bewoner gering.

De verschillende stakeholders hebben verschillende belangen. Financieel/organisatorische aspecten wegen mogelijk voor de ontwikkelaars zwaar. De bewoners willen een duurzame en betaalbare oplossing en tegelijkertijd ook grip hebben op de eigen energievoorziening en -inkoop. Vanuit het perspectief van de gemeente Putten is naast het realiseren van een leefbare wijk, van belang om ook andere maatschappelijke belangen te wegen. Dit betreft met name een politieke keuze waar de gemeente een standpunt in zal moeten nemen ten aanzien van:

- gebruik buitenruimte: voor inpassing trafohuisjes, inpassing collectieve bronnet
- geluidsbelasting: bij (grootschalige) toepassing van lucht/water warmtepompen
- gebruik ondergrond: voor vele (individuele) bodemlussen of één WKO
- netcapaciteit: zoals beschreven en ook in het licht van toekomstige verduurzaming (en elektrificatie) van geheel Putten.

Aanbeveling

Vervolg stap is een verdere uitwerking maken van de integrale energievoorziening voor Halvinkhuizen. Daarbij speelt naast de warmte- en koudevoorziening ook de elektriciteitsopgave een rol. In een verdere uitwerking kan in samenspraak met de netbeheerder en provincie duidelijkheid verkregen worden in hoeverre de toekomstige netcapaciteit mogelijk grenzen stelt aan de beschikbare opties. Dit kan in de afweging van de varianten worden meegenomen om vervolgens de financiële, organisatorische en maatschappelijke aspecten integraal te wegen. Dat kan in samenwerking met alle stakeholders waaronder gemeente, ontwikkelaars, woningstichting Putten, (toekomstige) bewoners en netbeheerders worden uitgewerkt.

Bijlage 1 Geohydrologisch onderzoek

BODEMOPBOUW

De bodemopbouw op de locatie en in de directe omgeving is beschreven op basis van de volgende gegevens:

- Grondwaterkaart van Nederland;
- Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem (REGIS);
- Boorbeschrijvingen uit het archief van TNO Bouw en Ondergrond via DINoloket;
- Boorbeschrijvingen van een nabijgelegen open bodemenergiesysteem;

De verwachte bodemopbouw op de locatie is weergegeven in Tabel 7.1.

Tabel 7.1 | Bodemopbouw

diepte [m-mv]*	lithologie	geohydrologie
0 - 100	matig grof tot uiterst grof zand met enkele klei-/leemlaagjes	freatisch watervoerende pakket (gedeeltelijk gestuwd)
100 - 105	klei en matig fijn zand	1 ^e scheidende laag
105 - 230	matig grof tot uiterst grof grindig zand met enkele kleilagen. Vanaf 190 m-mv naar verwachting fijner zand	2 ^e watervoerende pakket
> 230	klei en fijn zand	hydrologische basis

*het maaiveld bevindt zich op circa 12,5 m+NAP

Bodemgeschiktheid

Open bodemenergiesysteem

De bodem is geschematiseerd in twee watervoerende pakketten. Het freatische watervoerende pakket is niet geschikt voor een open bodemenergiesysteem wegens de aanwezigheid van een re-doxovergang. In deze studie ligt de focus op het gebruik van het tweede watervoerende pakket voor de toepassing van het beoogde open bodemenergiesysteem. Dit pakket is op basis van de verwachte bodemopbouw geschikt voor een open bodemenergiesysteem met de beoogde broncapaciteit van 148 m³/uur. Eventuele technische en/of juridische aandachtspunten kunnen de haalbare broncapaciteit beperken.

Gesloten bodemenergiesysteem

Op basis van de verkregen gegevens en de huidige (boor)technieken wordt geconcludeerd dat de bodemopbouw op de locatie tot grote diepte (230 m-mv) geschikt is voor het toepassen van boorgaten met bodemlussen ten behoeve van gesloten bodemenergiesystemen.

TECHNISCHE EN JURIDISCHE ASPECTEN

In

Tabel 7.2 zijn de relevante technische en juridische aspecten opgenomen die van invloed zijn op de werking van een open bodemenergiesysteem in het tweede watervoerende pakket. In en onder de tabel zijn de aandachtspunten, risico's of belemmeringen nader toegelicht en is beschreven of aanvullend onderzoek noodzakelijk is.

Tabel 7.2 | Technische en juridische aspecten open en gesloten bodemenergiesysteem

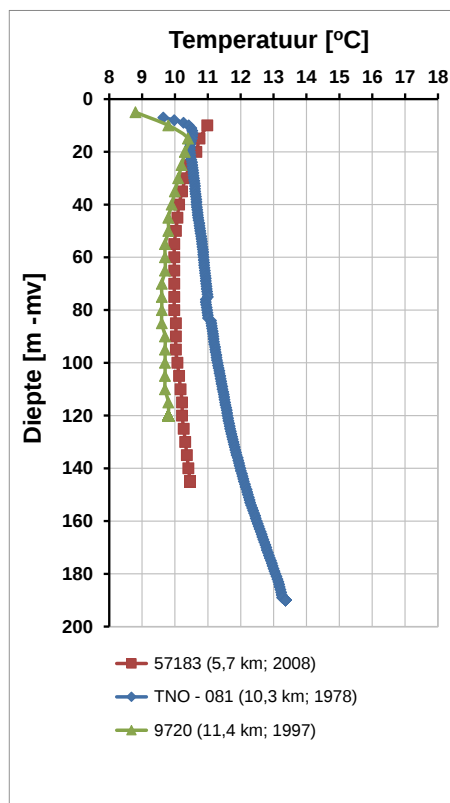
onderwerp	open	gesloten	toelichting
bodemopbouw			
thermische parameters	nvt	✓	1 Geschikt. Nader toegelicht
doorlaatvermogen	✓	nvt	geschikt
dikte pakket	✓	nvt	voldoende dik
doorboren veenlagen/bruinkool-lagen	✓	nvt	niet aanwezig
opbarsten bron	✓	nvt	risico beperkt vanwege diepte opslagpakket
grondwater			
maaiveld	✓	✓	12,5 m NAP
grondwaterstand	✓	✓	9,2 m NAP (8,6 - 9,9 m NAP) (bron: peilbuis B32E1079-001)
stijghoogte freatisch watervoerende pakket	✓	✓	7,8 m NAP (7,5 - 8,2 m NAP) (bron: peilbuis B32E0063-002 en RE-GIS)
stijghoogte 2 ^e watervoerende pakket	✓	✓	8,4 m NAP (8,1 - 8,7 m NAP) (bron: peilbuis B32E0063-003 en RE-GIS)
artesisch grondwater	✓	✓	niet aanwezig
grondwaterstroming	⚠	⚠	2 zeer hoge stroomsnelheden. Circa 100 m/jaar (W) in het freatische watervoerende pakket en circa 85 m/jaar (WNW) in het 2 ^e watervoerende pakket
zoet/brak/zout-overgangen	✓	nvt	zoet-/brak- en brak-/zoutgrensvlak: dieper dan 230 m-mv, geen beïnvloeding verwacht
gas	✓	nvt	geen aanwijzingen voor verhoogde gasdruk. Vanwege gebrek aan data aandachtspunt bij realisatie
deeltjes	✓	nvt	geen verhoogd risico op deeltjes
redox	⚠	nvt	3 redoxovergang aanwezig in freatisch watervoerende pakket
belangen			
bodemenergieplan of interferentiegebied	✓	✓	niet gelegen in bodemenergieplan of interferentiegebied
grondwateronttrekkingen	✓	✓	meerdere grondwateronttrekkingen in de omgeving. Deze bevinden zich vooral boven in het freatisch watervoerende pakket en vormen daarom geen risico
open bodemenergiesystemen	✓	✓	geen open bodemenergiesystemen aanwezig binnen 500 m
gesloten bodemenergiesystemen	⚠	⚠	4 diverse gesloten bodemenergiesystemen in de omgeving
zettingen	✓	nvt	noemenswaardige zetting wordt niet verwacht
grondwaterbescherming	✓	✓	niet gelegen in een boringsvrije zone of nabij een waterwingebied
natuurbelangen	✓	✓	geen beschermde natuur aanwezig binnen 500 m
archeologie	⚠	⚠	5 projectlocatie ligt in een gebied van hoge archeologische verwachting.
aardkundig waardevol gebied	✓	✓	niet gelegen in een aardkundig waardevol gebied
verontreinigingen	✓	✓	geen diepe grond(water)verontreinigingen op of nabij de projectlocatie bekend (bron: Omgevingsrapport Gelderland)
waterkering	✓	✓	geen waterkering aanwezig binnen 500 m
spoor	✓	✓	geen spoor aanwezig binnen 500 m
begraafplaats	✓	✓	geen begraafplaats aanwezig binnen 500 m
ondergrondse infrastructuur	⚠	⚠	6 niet uitgewerkt in deze bodem & belangen studie
✓ geschikt, geen belemmering of aandachtspunt			⚠ aandachtspunt of risico ⚠ hoog risico of belemmering

1. Thermische parameters

De thermische parameters relevant voor gesloten bodemenergiesystemen staan weergegeven in Tabel 7.3. Deze zijn gebaseerd op de handleiding VDI 4640 BLATT/ PART 1. In Figuur 7.1 staan de temperatuurprofielmetingen weergegeven op basis van de Database bodemtemperatuurprofielmetingen TNO en IF Technology. Uit beide gegevens blijkt dat de thermische parameters geschikt zijn voor een gesloten bodemenergiesysteem.

Tabel 7.3 | Thermische parameters geohydrologische pakketten

geohydrologie	temperatuur [°C]	warmtegeleidingscoëfficiënt [W/(m·K)]	warmtecapaciteit [MJ/(m³·K)]
onverzadigd freatisch watervoerende pakket	11	0,4	2,5
verzadigd freatisch watervoerende pakket (gedeeltelijk gestuwd)	10 - 11	2,3	2,5
1 ^e scheidende laag	10 - 11	1,8	2,5
2 ^e watervoerende pakket	11 - 13	2,3	2,5
hydrologische basis	13	2,1	2,5



Figuur 7.1 | Bodemtemperaturen binnen een straal van 12 km van de projectlocatie (bron: Database bodemtemperatuurprofielmetingen TNO en IF Technology)

2. Grondwaterstroming

Open bodemenergiesysteem

De snelheid van de grondwaterstroming in het beoogde opslagpakket is erg hoog (ruim 80 m/jaar). Hierbij is aangenomen dat de doorlatendheid van het 2^e watervoerende pakket 30 m/dag is gebaseerd op de data van nabijgelegen pompproeven. Het grondwater stroomt vanaf de Veluwe richting het Nuldernauw. Als gevolg van de hoge snelheid, kunnen de opgeslagen warmte en koude in korte tijd wegstromen. De kans bestaat dan dat een aanzienlijk deel van de geïnjecteerde warmte dan wel koude dus niet meer terug wordt gewonnen. Dit betekent ook dat op het moment dat er een koude overschot is, er niet per se dat de warmte- en koudelevering vanuit de bodem in balans moet zijn. Hierbij moet wel bij het bevoegd gezag nagevraagd worden of er een netto koude overschot in de bodem mag ontstaan.

Bij het eventuele ontwerp van het systeem dient rekening gehouden te worden met deze hoge grondwaterstroming. Op het moment dat de koude en warme bron loodrecht op de grondwaterstromingsrichting en met voldoende afstand tussen elkaar geplaatst worden, zullen de warme en koude bron niet met elkaar interfereren. Ondanks dat er warmte en koude verloren zal gaan door de hoge grondwaterstroming, zal het temperatuurverschil tussen de warme en koude bron hoger zijn dan bij een recirculatiesysteem. Hierdoor is het rendement van een (opslag)doublet hoger dan een recirculatiesysteem, waarbij altijd de natuurlijke temperatuur van het grondwater wordt gebruikt. Ook wordt bij een recirculatiesysteem altijd één richting opgepompt, waardoor het risico op putverstoppingen als gevolg van redoxreacties hoger is dan bij een doubletsysteem waarbij heen en weer wordt gepompt (zie nadere toelichting onder punt 2).

Gesloten bodemenergiesysteem

Uit de energie-inventarisatie blijkt dat de warmte- en koudelevering vanuit de bodem in balans zijn. De hoge grondwaterstroming in zowel het freatische als tweede watervoerende pakket (beide hoger dan 80 m/jaar) zorgt ervoor dat de bodem rond de bodemlussen beperkt afkoelt of opwarmt. Dit is gunstig voor systemen met een koude overschot. De opgebouwde koude stroomt dan weg en er wordt warmte uitgewisseld met de natuurlijke temperatuur van het grondwater. Hierdoor hoeft de warmte- en koudelevering in de bodem niet per definitie in balans te zijn. Bij het bronontwerp dient er dus rekening gehouden te worden dat er alleen warmte en koude uitgewisseld kan worden met de natuurlijke grondwatertemperatuur.

3. Redox

Een redoxgrens is een overgang van (sub)oxisch (zuurstof- en nitraatrijk, ijzerloos) grondwater naar gereduceerd (ijzerrijk en zuurstof- en nitraatloos) grondwater. Bij menging van (sub)oxisch grondwater met gereduceerd grondwater vinden redoxreacties plaats, waarbij ijzer(hydr)oxiden worden gevormd. Deze ijzer(hydr)oxiden, beter bekend als roest, zetten zich af in de bronnen, het verbindend leidingwerk en de warmtewisselaars. De neerslag van ijzer(hydr)oxiden in het grondwatersysteem leidt tot verstopping van de bronnen, wat grote nadelige gevolgen heeft voor de werking van het bodemenergiesysteem. Deze problematiek is vaak moeilijk beheersbaar.

Om ijzerverstopping te voorkomen worden bodemenergiesystemen daarom vaak zo ontworpen dat alleen (sub)oxisch of alleen gereduceerd water verpompt wordt. Dit betekent dat de bronfilters bij voorkeur in een watervoerend pakket zonder redoxgrens of op voldoende afstand van de redoxgrens worden geplaatst.

Op de projectlocatie zijn gestuwde afzettingen aanwezig. In deze afzettingen kan zuurstofrijk infiltrerend regenwater tot grote diepte doordringen. Op basis van waterkwaliteitsgegevens van een nabijgelegen bron wordt op een diepte van 75 m-mv nog zuurstof- en nitraatrijk grondwater (ijzer- en mangaanarm) aangetroffen. Op grotere dieptes wordt vervolgens nagenoeg geen zuurstof en nitraat meer aangetroffen. Verder laten de boorbeschrijvingen op de nabijgelegen projectlocatie de Schauw een kleurovergang van bruin/rood naar grijs zien op een diepte van circa 75 m. Uit deze informatie lijkt de overgang in waterkwaliteit (de redoxgrens) zich in het freatisch watervoerende pakket te bevinden.

Gezien de redoxgrens zich waarschijnlijk onder in het freatisch watervoerende pakket bevindt, bestaat het tweede watervoerende pakket naar verwachting uit gereduceerd grondwater. De verticale afstand tussen de redoxovergang en bronfilter moet voldoende groot zijn zodat de redoxovergang niet wordt aangetrokken door de bronnen. Lokale klei of leemlaagjes tussen de redoxovergang en het bronfilter kunnen de risico's op verstoppingen minimaliseren.

In de boorbeschrijving van de Schauw zijn afsluitende kleibijmengingen en kleilagen te vinden tussen circa 100 - 105 m-mv. Hierom wordt geadviseerd om de bronfilters vanaf 105 m-mv te installeren zodat de risico's op putverstopping als gevolg van redoxreacties geminimaliseerd worden.

In verband met de overgang in waterkwaliteit wordt geadviseerd geen recirculatiesysteem toe te passen op de projectlocatie. Bij een recirculatiesysteem wordt uit één bron alleen grondwater onttrokken en in een andere bron geïnfiltrerd. Het risico op het aantrekken van de waterkwaliteitsovergang in de bronnen is daarmee significant hoger dan bij een doubletsysteem.

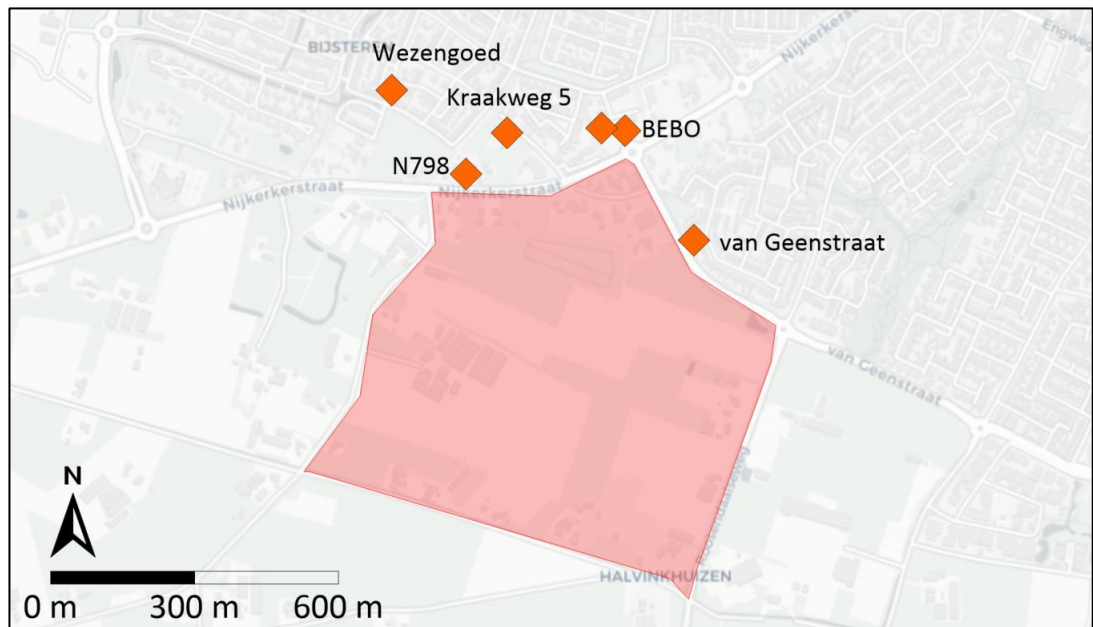
Gezien er bij gesloten systemen geen grondwater onttrokken en geïnfiltrerd wordt, vormt de aanwezigheid van een redoxovergang geen aandachtspunt bij een gesloten bodemenergiesysteem.

4. Gesloten bodemenergiesystemen

Uit het overzicht van de gesloten bodemenergiesystemen van de provincie Gelderland blijkt dat binnen een straal van 250 m zes gesloten bodemenergiesystemen tot in het tweede watervoerende pakket aanwezig zijn. Deze systemen zijn in Tabel 7.4 weergegeven.

Tabel 7.4 | Gesloten bodemenergiesystemen binnen een straal van 250 m van de projectlocatie

locatie	afstand en richting t.o.v. project	diepte
Van Geenstraat (ID: 567301)	< 50 m ten Noordoosten	185 m
N798 (ID: 531235)	< 50 m ten Noordwesten	138 m
BEBO woningen Nijkerkerstraat (N5020) (2 systemen)	110 m ten Noorden	150 en 165 m
Kraakweg 5 (ID: 516641)	140 m ten Noorden	150 m
Wezengoed (ID: 583263)	240 m ten Noordwesten	175 m

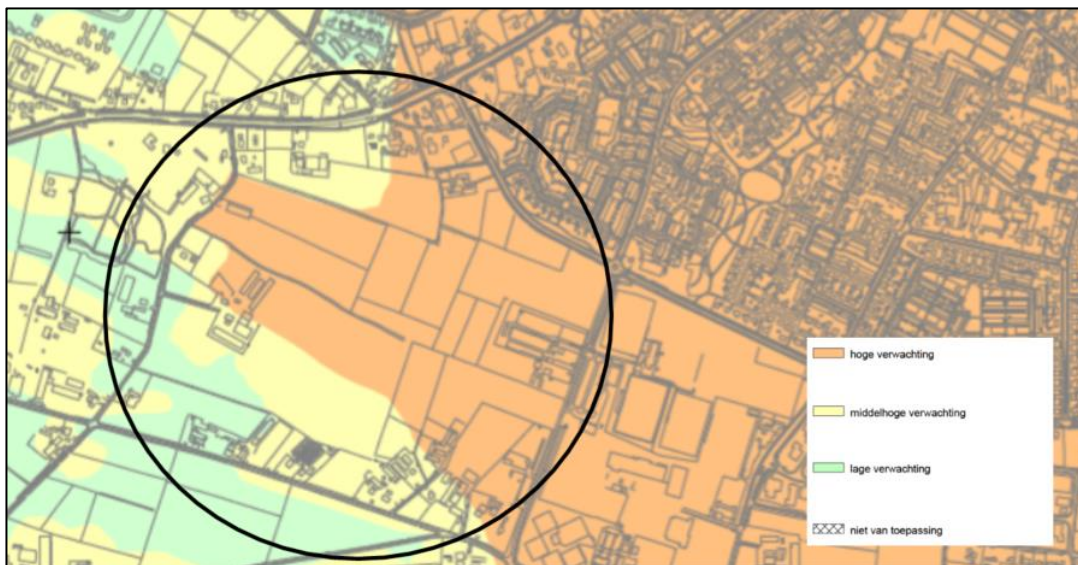


Figuur 7.2 | Overzicht bekende gesloten bodemenergiesystemen rondom de projectlocatie (rood omkaderd) en nabij gelegen gesloten bodemenergiesysteem cluster (oranje ruiten)

De aanwezige gesloten bodemenergiesystemen mogen niet negatief beïnvloed worden door het beoogde open of gesloten bodemenergiesysteem voor Halvinkhuizen. Door bij de inpassing van het beoogde systeem rekening te houden met de aanwezige gesloten bodemenergiesystemen, kan de invloed beperkt worden. De hoge grondwaterstroomsnelheid vormt hierbij een aandachtspunt.

5. Archeologie

De projectlocatie ligt deels in een gebied van hoge archeologische verwachting (Figuur 7.3). Bij ruimtelijke ontwikkelingen met een verstoringsoppervlak groter dan 100 m² en dieper dan 40 centimeter beneden maaiveld is archeologisch onderzoek verplicht. Een bouw- of aanlegvergunning is voor deze werkzaamheden nodig.



Figuur 7.3 | Ligging archeologisch verwachtingszones rond projectlocatie (zwart omcirkeld). Bron: Archeologische beleidskaart Gemeente Putten

6. Ondergrondse infrastructuur

Bij de inpassing van de bronnen, kabels en leidingen op eigen terrein dient rekening gehouden te worden met de aanwezige en toekomstige ondergrondse infrastructuur. Indien de bronnen, kabels en leidingen van het beoogde open bodemenergiesysteem niet volledig op eigen terrein gerealiseerd worden, moeten ook de aanwezige ondergrondse kabels en leidingen in de openbare ruimte geïnventariseerd worden via een Klic-melding. De werkzaamheden hiervoor dienen in een volgende fase nader uitgewerkt te worden. Aanvullend moeten de bronlocaties en de kabels- en leidingtracés in dat geval afgestemd worden met de gemeente en dienen hiervoor vergunningen aangevraagd te worden.

Bij voorkeur wordt bij de inpassing van het open bodemenergiesysteem voldoende afstand tot de gebouwdelen gehouden. Een afstand van minimaal 3 meter van de gevel dient aangehouden te worden om de bron technisch te kunnen realiseren. Een minimale afstand van 10 x de boordiameter dient aangehouden te worden ten opzichte van funderingspalen om grondontspanning bij de fundering te voorkomen. Indien blijkt dat onvoldoende afstand aangehouden kan worden, moet ter bescherming van de fundering een verloren stalen casing worden geplaatst. Overleg met de bouwconstructeur over dit thema is in dat geval verplicht.

JURIDISCH KADER

Zowel bij open als gesloten bodemenergiesystemen dient aan alle wettelijke eisen voldaan te worden met betrekking tot de zorg- en vergunningplicht ten aanzien van het gebruik van de bodem, het gebruik van grondwater (bij een open bodemenergiesysteem) en het vrijkomen en afvoeren van grond en grondwater. Een overzicht van de benodigde vergunningen en meldingen, inclusief doorlooptijden is hieronder weergegeven en in Tabel 7.5 samengevat. De (toekomstige) vergunninghouder is verantwoordelijk voor het aanvragen van de benodigde vergunningen en toestemmingen en voor het voldoen van eventuele leges, precario of degeneratievergoedingen.

Tabel 7.5 | Benodigde vergunningen en acties voor een open en/of gesloten bodemenergiesysteem op gemeentegrond in Putten

vergunning/melding	bevoegd gezag	doorlooptijd
open bodemenergiesysteem		
m.e.r.-beoordelingsplicht	provincie Gelderland	6 weken
Waterwet	provincie Gelderland	8 weken (reguliere procedure) of 6 maanden (uitgebreide procedure)
lozingen	waterschap Vallei en Veluwe/ gemeente Putten	afhankelijk van de gekozen optie (verwachting maximaal 8 weken)
werkwater	waterschap Vallei en Veluwe	afhankelijk van de gekozen optie (verwachting maximaal 8 weken)
Omgevingsvergunning	gemeente Putten	6 tot 8 weken (reguliere procedure) of 6 maanden (uitgebreide procedure)
gesloten bodemenergiesysteem		
melding gesloten bodemenergiesysteem (Activiteitenbesluit of Besluit lozen buiten inrichtingen)	gemeente Putten	4 weken voorafgaand aan realisatie
Omgevingsvergunning Beperkte Milieutoets (OBM)	Gemeente Putten	8 weken
werkwater	Waterschap Vallei en Veluwe	afhankelijk van de gekozen optie (verwachting maximaal 8 weken)
mogelijk benodigde vergunningen voor realisatie van zowel open als gesloten systemen		
watervergunning o.b.v. de Keur	waterschap Vallei en Veluwe	8 weken
vergunning kabels en leidingen	gemeente Putten	8 weken
zakelijk recht van opstal	niet van toepassing	circa 2 - 4 weken, na ontvangst van de omgevingsvergunning
bouwplaatsvergunning en tijdelijke verkeersmaatregel	gemeente Putten	1 week

Open bodemenergiesystemen

M.e.r.-beoordelingsplicht

Voor elke vergunningaanvraag voor een open bodemenergiesysteem in het kader van de Waterwet dient een formele m.e.r.-beoordeling uitgevoerd te worden. Voor open bodemenergiesystemen met een waterverplaatsing van minder dan 1.500.000 m³/jaar geldt een vormvrije m.e.r.-beoordeling en hoeft bij het indienen van de vergunningaanvraag Waterwet geen m.e.r.-beoordelingsbesluit toegevoegd te worden. De m.e.r.-beoordeling kan plaatsvinden parallel aan de procedure van de vergunningaanvraag Waterwet. Middels een korte notitie wordt het initiatief aangemeld voor de m.e.r.-beoordeling.

Waterwet

Het onttrekken en infiltreren van grondwater ten behoeve van een open bodemenergiesysteem is vergunningplichtig in het kader van de Waterwet. Hiervoor dienen de effecten van het open bodemenergiesysteem in een effectenstudie te worden gekwantificeerd. Het bevoegd gezag voor deze vergunning is de provincie Gelderland. De proceduretijd voor het aanvragen van de vergunning Waterwet bedraagt circa 8 weken. In het geval van complexe omgevingsbelangen kan de provincie hiervan afwijken en de uitgebreide procedure (6 maanden) van toepassing verklaren. Aan de vergunningaanvraag Waterwet zijn in Gelderland op basis van de legesverordening kosten verbonden. Dit zijn eenmalige kosten voor het in behandeling nemen van de vergunningaanvraag. De eenmalige leges voor een open bodemenergiesysteem bedragen circa €1.700,-.

Belangrijke aandachtspunten uit het beleid van de provincie Gelderland zijn:

- De infiltratietemperatuur in de bronnen mag niet hoger zijn dan 25°C.
- Gestreefd moet worden naar een bodemzijdige energiebalans op jaarbasis. Het veroorzaken van een (beperkt) koudeoverschot in de bodem is in sommige gevallen onder voorwaarden toegestaan. Het veroorzaken van een warmteoverschot in de bodem is niet toegestaan.
- De productiviteit bedraagt per seizoen gemiddeld ten minste 0,00465 MWh/m³ geretourneerd grondwater (dit betekent dat het temperatuurverschil tussen het onttrokken en geïnfilterde water minimaal 4°C is).
- Verzilting van zoet grondwater is niet toegestaan.
- Het in werking hebben van een open bodemenergiesysteem leidt niet tot zodanige interferentie met een eerder geïnstalleerd open of gesloten bodemenergiesysteem dat het doelmatig functioneren van een van de desbetreffende systemen kan worden geschaad.
- Andere belangen binnen het invloedsgebied van het open bodemenergiesysteem mogen niet nadelig worden beïnvloed (zoals verontreinigingen, natuur, landbouw, archeologie, bebouwing en infrastructuur).
- Open bodemenergiesystemen zijn niet toegestaan in waterwingebieden en niet of beperkt in grondwaterbeschermingsgebieden en boringvrije zones.

Lozingen

Bij realisatie en het onderhoud van de bronnen komt grondwater vrij. Dit grondwater moet geloosd worden. Mogelijkheden om te lozen zijn op het oppervlaktewater, riool, afvoeren per as of deels via een filter in de bronnen injecteren. Hiervoor moet een vergunning worden aangevraagd bij het bevoegd gezag. De aanvraag van de vergunning voor lozen kan pas in een later stadium uitgevoerd worden als de periode van uitvoering bekend is.

Werkwater

Om het boorgat in stand te houden, dient tijdens het boren van de grondwaterbronnen een overdruk in het boorgat te worden gecreëerd t.o.v. de stijghoogtes in de (te doorboren) watervoerende pakketten. Hiervoor wordt (werk)water in het boorgat gepompt. Volgens de regels van de BRL SIKB 2101 dient het werkwater van goede kwaliteit te zijn, waarbij de waterkwaliteit aan de geldende streefwaarden voldoet. Dit betekent dat alleen drinkwater en grondwater (geen oppervlaktewater) in aanmerking komen voor gebruik als werkwater bij de boring. Bij gebruik van grondwater dient een vergunning (of melding) te worden aangevraagd bij het bevoegd gezag.

Omgevingsvergunning

Volgens de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (WABO) Artikel 2.1 is voor het bouwen van een bouwwerk een vergunning vereist. Voor de aanleg van putbehuizingen (als zijnde bouwwerk)

moet, afhankelijk van de gemeente, mogelijk een omgevingsvergunning worden aangevraagd bij de gemeente.

Gesloten bodemenergiesystemen

Melding aanleg gesloten bodemenergiesysteem

Voor gesloten bodemenergiesystemen moet bij het gevoegd gezag de Melding aanleg gesloten bodemenergiesysteem buiten inrichtingen (Besluit lozen buiten inrichtingen voor niet bedrijfsmatige activiteiten) of de Melding gesloten bodemenergiesystemen binnen inrichtingen (Activiteitenbesluit milieubeheer voor bedrijfsmatige activiteiten) worden gedaan. De melding moet minimaal vier weken voorafgaand aan realisatie worden ingediend en wordt meestal ingediend door de (boor)aannemer.

Vergunningplicht

Indien het bodemzijdig vermogen van het gesloten bodemenergiesysteem groter dan of gelijk is aan 70 kW of binnen een interferentiegebied ligt, moet bij het bevoegd gezag - naast de melding - ook de Omgevingsvergunning Beperkte Milieutoets worden aangevraagd. De vergunning moet minimaal acht weken voorafgaand aan realisatie worden aangevraagd en wordt meestal aangevraagd door de (boor)aannemer.

Werkwater

Om het boorgat in stand te houden, dient tijdens het boren van de gaten t.b.v. gesloten bodemenergiesystemen een overdruk in het boorgat te worden gecreëerd t.o.v. de stijghoogtes in de (te doorboren) watervoerende pakketten. Hiervoor wordt (werk)water in het boorgat gepompt. Volgens de regels van de BRL SIKB 2101 dient het werkwater van goede kwaliteit te zijn, waarbij de waterkwaliteit aan de geldende streefwaarden voldoet. Dit betekent dat alleen drinkwater en grondwater (geen oppervlaktewater) in aanmerking komen voor gebruik als werkwater bij de boring. Bij gebruik van grondwater dient een vergunning (of melding) te worden aangevraagd bij het bevoegd gezag.

Vergunningen in de openbare ruimte

Vergunning kabels en leidingen

Voor het aanleggen van kabels en leidingen in de openbare ruimte moet een vergunning worden aangevraagd bij de gemeente. In de aanvraag dient middels maatvoering het exacte tracé aangegeven te worden.

Zakelijk recht van opstal

Indien bronnen, putbehuizingen en leidingen van het open bodemenergiesysteem (deels) gelegen zijn in de openbare ruimte, dient vaak notarieel een zakelijk recht van opstal tussen de gemeente en de (toekomstige) eigenaar te worden gevestigd. Hiervoor dient een opstalakte te passeren bij de notaris nadat de omgevingsvergunning is verleend.

Bouwplaatsvergunning en tijdelijke verkeersmaatregel

Voor het boren van bronnen en de aanleg van putbehuizingen en leidingwerk waarbij (tijdelijk) gebruik wordt gemaakt van gemeentegrond als bouwterrein, zijn mogelijk een bouwplaatsvergunning en een tijdelijke verkeersmaatregel vereist. Deze vergunning en maatregel moeten worden aangevraagd bij de gemeente.

CONCLUSIES EN AANDACHTSPUNTEN GEOHYDROLOGISCH ONDERZOEK

Conclusies

Op basis van het uitgevoerde vooronderzoek en de toetsing op haalbaarheid, zijn de volgende conclusies getrokken ten aanzien van de toepassing van een open of gesloten bodemenergiesysteem voor dit project:

Open bodemenergiesysteem

- De opbouw van de bodem op de locatie van Halvinkhuizen Putten is geschikt voor het toepassen van een open bodemenergiesysteem.
- Geadviseerd wordt om de bronfilters tussen 100 - 230 m-mv te realiseren.
- De eigenschappen van de bodem zijn toereikend voor een debiet van 148 m³/uur met één doublet.
- Op basis van de beschikbare informatie wordt op dit moment nader geohydrologisch onderzoek niet nodig geacht.
- Er zijn geen technische en juridische risico's aanwezig die de realisatie van een open bodemenergiesysteem op de locatie in de weg staan.

Gesloten bodemenergiesysteem

- De opbouw van de bodem op de locatie van Halvinkhuizen Putten is geschikt voor het toepassen van een gesloten bodemenergiesysteem.
- De ondergrond is tot 230 m-mv geschikt voor het plaatsen van bodemlussen.
- Er zijn geen technische en juridische risico's aanwezig die de realisatie van een gesloten bodemenergiesysteem op de locatie in de weg staan.

Aandachtspunten

De aandachtspunten die uit deze bodem en belangen studie naar voren zijn gekomen, zijn als volgt beschreven:

Open bodemenergiesysteem

- Vanwege de hoge grondwatersnelheid zal warmte en koude verloren gaan bij een doublet. Toch wordt verwacht dat het rendement hoger zal liggen in vergelijking met een recirculatiesysteem. Tevens hoeft er door de hoge grondwatersnelheid niet een energiebalans vanuit de bodem te zijn. Of er echter een koude overschot mag ontstaan in de bodem dient nagevraagd te worden bij het bevoegd gezag.
- In het freatisch watervoerende pakket is sprake van een redoxovergang. De overgang in waterkwaliteit mag niet worden aangetrokken door de bronnen van het open bodemenergiesysteem, omdat dit tot bronverstopping kan leiden. Geadviseerd wordt om bronfilter vanaf 100 m-mv, onder de eerste scheidende laag, te plaatsen. Toepassing van een recirculatiesysteem vergroot het risico op bronverstoppingen als gevolg van de redoxovergang.
- Nabij de projectlocatie zijn meerdere gesloten bodemenergiesystemen aanwezig.
- De noodzaak bestaat mogelijk om een deel van de infrastructuur behorende bij het grondwatersysteem (bronnen, kabels, leidingen) te realiseren in de openbare ruimte. Afstemming met de gemeente is noodzakelijk.

Gesloten bodemenergiesysteem

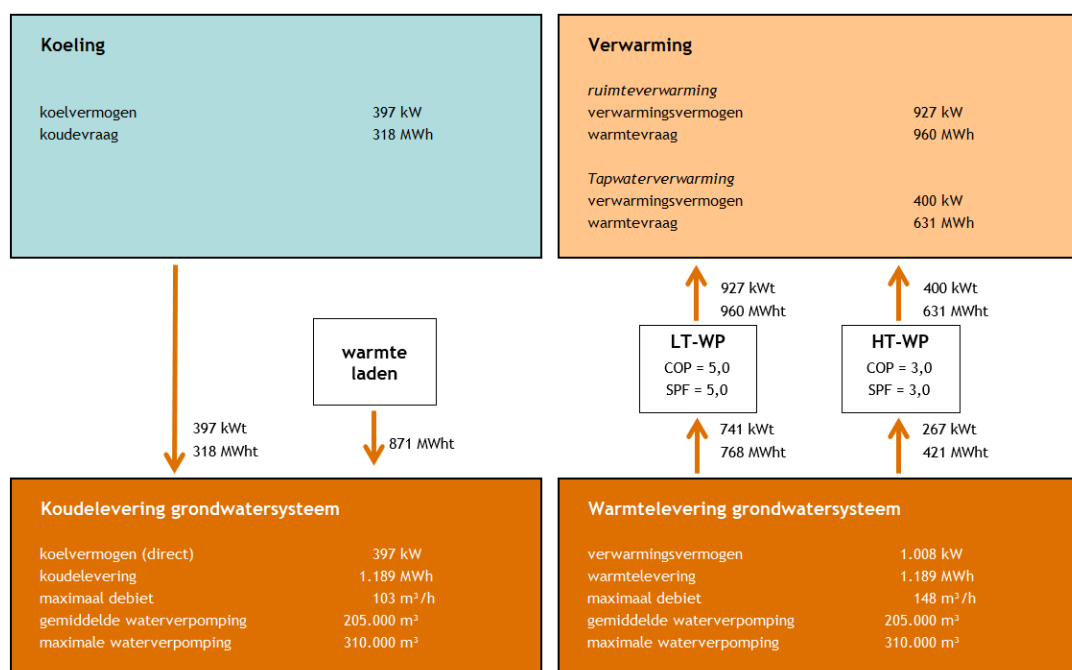
- Vanwege de hoge grondwatersnelheid kan er alleen warmte en koude worden uitgewisseld met de natuurlijke temperatuur van het grondwater. Dit is gunstig voor een systeem met een koude overschot aangezien de opgebouwde koude immers wegstroomt.
- Nabij de projectlocatie zijn meerdere gesloten bodemenergiesystemen aanwezig.
- Grootschalige toepassing van gesloten bodemlussen vraagt uitgebreide modellering van de thermische effecten in de ondergrond. Daarmee wordt voorkomen dat onderlinge negatieve interferentie optreedt. Dit kan via aanwijzing van een interferentiegebied worden geborgd voor de ontwikkeling.
- De noodzaak bestaat mogelijk om een deel van de infrastructuur behorende bij het gesloten bodemenergiesysteem (bodemplussen, kabels, leidingen) te realiseren in de openbare ruimte. Afstemming met de gemeente is noodzakelijk.

Bijlage 2 Blokschema

Op basis van de energetische uitgangspunten is een blokschema opgesteld, zie Figuur 7.4. Het blokschema maakt de verschillende energiestromen visueel en geeft (globaal) de dimensionering van het open bodemenergiesysteem weer.

Bij de ingeschatte warmte- en koudevraag is een open bodemenergiesysteem nodig met een debiet van circa 150 m³/h. De jaarlijkse grondwaterverplaatsing wordt ingeschat op circa 205.000 m³ per jaar. Op basis van het ingeschatte haalbare debiet is er 1 doublet nodig om het gevraagde vermogens en energiehoeveelheden te leveren.

Uit het blokschema blijkt dat een monovalent WKO-systeem een onbalans heeft van circa 870 MWh per jaar. Om deze onbalans recht te trekken is er behoefte aan regeneratie van warmte.



Figuur 7.4 | Blokschema Halvinkhuizen

Bijlage 3 Zonne-energie

Zonthermie is het genereren van warmte door het opvangen van zonne-energie middels thermische zonnepanelen. Er zijn twee gangbare technieken om deze warmte te winnen, er kan warmte direct uit zonnestraling worden gewonnen middels PT panelen, of er kan een thermische module achter een PV-paneel (PVT-panelen) worden opgesteld om naast elektriciteit zo ook indirect warmte uit de atmosfeer te halen.

PT-PANELEN

PT-panelen kunnen zowel op individuele basis als collectieve basis worden toegepast. Voornamelijk in de zomer worden grote hoeveelheden warmte gevangen door de PT-panelen. Deze warmte wordt dan direct geleverd aan de woningen of, bij weinig vraag naar warmte, opgeslagen in een WKO. Bij een individuele toepassing worden de PT-panelen vaak zonneboilers genoemd. Deze zonneboilers liggen op het dak en leveren gedurende de zomerperiode warm water van circa 60 °C. Wel moet hierbij worden opgemerkt dat de individuele PT toepassing in combinatie met een andere techniek, zoals een warmtepomp, moet worden toegepast om ook in de winter warm water te kunnen blijven leveren.

Voor collectief gebruik van zonne-energie is een vorm van (seizoens)opslag nodig om de overtollige warmte van de zomermaanden op te slaan. De potentie van zonthermie hangt rechtstreeks samen met de beschikbare grond. In theorie kunnen genoeg panelen geplaatst worden, als men bereid is de openbare ruimte daarvoor te benutten. Per hectare is er een mogelijke opbrengst van ca. 2.100 MWh aan warmte. Het inzetten van dakoppervlak om een collectief systeem te regenereren is geen realistische optie. Doordat het systeem versnipperd raakt over de wijken nemen de kosten enorm toe. Bij grootschalig inzet van zonthermie is het dus onontkoombaar om geclusterde aaneengesloten stukken land aan te wijzen als productielocatie.

PVT-PANELEN

Met behulp van thermische panelen (PVT-panelen) kan warmte geoogst worden uit zonenergie en tevens de opbrengst van de elektriciteit opwek worden vergroot (koeling van PV-panelen). De typische jaarlijkse opbrengst aan warmte van deze panelen (productietemperatuur +/- 20 °C) bedraagt 725 kWh/m². Een standaard grootte voor de panelen is +/- 1,70 m².

PVT-panelen zijn voornamelijk interessant om op individuele basis (per woning) toe te passen. De woningen krijgen dan een individuele warmtepomp die de PVT-panelen als energiebron gebruiken. Voor een groot collectief systeem lijken PVT-panelen niet direct een aantrekkelijke oplossing vanwege de versnippering over de wijk.

Bijlage 4 Toelichting beoordelingscriteria

Deze bijlage betreft een toelichting op de scores van Figuur 4.1.

INDIVIDUELE LUCHT/WATERWARMTEPOMP

Piekbelasting

De individuele lucht/waterwarmtepomp is beoordeeld met een 2. Een Lucht/waterwarmtepomp maakt gebruik van de buitentemperatuur. In de wintermaanden, wanneer de warmtevraag het hoogst is, is de buitentemperatuur het laagst. Dit resulteert in een lage COP en daarmee een hoge elektriciteitsvraag. COP staat voor “coëfficiënt of performance” en geeft de verhouding tussen geleverde warmte en benodigde elektriciteit weer⁴. De hoge elektriciteitsvraag leidt tot een hoge piekbelasting.

Duurzaamheid

Voor duurzaamheid scoort dit concept een 3. Zoals in de voorgaande paragraaf is aangegeven heeft de lucht/waterwarmtepomp in de wintermaanden een lage COP. Dit wordt echter gecompenseerd met een hoog opwekkingsrendement gedurende de zomer wanneer er tapwater bereid wordt met een hoge buitentemperatuur als bron voor de warmtepomp. De lucht/waterwarmtepomp kent daardoor een redelijk gemiddeld opwekkingsrendement voor warmte. Daarnaast moet er echter wel actief koude worden opgewekt gedurende de zomer. Hierbij wordt warmte afgestaan aan de warme buitenlucht waardoor er relatief veel elektriciteit benodigd is.

Faseerbaarheid

Voor faseerbaarheid is dit concept met een 5 beoordeeld. Bij lucht/waterwarmtepompen gaat het om een individueel warmteconcept. Het plaatsen van nieuwe warmtepompen loopt gelijk aan de bouw van woningen en is onafhankelijk van de volloop.

Betaalbaarheid

Voor betaalbaarheid is de score een 4. In dit concept is alleen een aanschaf van een lucht/waterwarmtepomp en de buitenunit nodig. Dit is voordeliger ten opzichte van de andere concepten.

Eigenaarschap

De individuele lucht/waterwarmtepomp is beoordeeld met een 5. De lucht/waterwarmtepompen zijn in bezit van de woningeigenaar. Hierdoor zijn zij niet afhankelijk van een warmtebedrijf.

Ruimtelijke impact

Voor ruimtelijke impact hebben lucht/waterwarmtepompen een 2 gescoord. De buitenunit van de lucht/waterwarmtepompen staan in het zicht en produceren geluid. Zeker wanneer de gehele wijk van lucht-/waterwarmtepompen wordt voorzien heeft dit een aanzienlijke auditieve impact.

⁴ Bij een COP van 4 levert de warmtepomp 4 kWh warmte met de inbrengt van 1 kWh elektriciteit.

Circulariteit

Op circulariteit scoort dit concept een 5. Gezien de warmtepomp en buitenunit niet in de ondergrond geplaatst worden zijn ze vrij makkelijk te verwijderen en te recyclen. Tevens kunnen separate onderdelen worden vervangen. Een aandachtspunt is het koudemiddel, synthetische koudemiddelen belasten het milieu bij einde levensduur, daarentegen worden steeds meer warmtepompen ontworpen met natuurlijke koudemiddelen.

Doelmatig gebruik van bodem

Op deze toetsingsgrond zijn de lucht/waterwarmtepompen met een 5 beoordeeld. Zowel de buitenunit als de warmtepomp zijn bovengrondse inpassingen. Hierdoor hebben ze geen invloed op de ondergrond.

BODEMLUSSEN I.C.M. MET INDIVIDUELE WARMTEPOMPEN

Piekbelasting

Op het beoordelingscriteria piekbelasting is dit concept beoordeeld met een 4. Bodemlussen maken gebruik van de temperatuur van de ondergrond. De bodemtemperatuur op enige diepte wordt niet beïnvloed door de buitentemperatuur. Hierdoor kan de bodemlus een constante temperatuur aanleveren aan de warmtepomp. Dit resulteert in een hogere COP en dus lagere piekbelastingen.

Duurzaamheid

Op duurzaamheid scoort deze variant een 5. Zoals bij piekbelasting is aangegeven levert de bodemlus een constante temperatuur aan de warmtepomp deze is lager dan de luchtwaterwarmtepomp in de zomer, maar hoger dan de luchtwaterwarmtepomp in de winter, de opwekking jaarrond van warmte is iets hoger dan de lucht/waterwarmtepomp. Daarnaast levert een bodemlus passieve koeling in de zomer.

Faseerbaarheid

Op faseerbaarheid is dit concept met een 5 beoordeeld. Net als bij het concept van de individuele lucht/waterwarmtepompen gaat het hier om een individueel concept. Hierdoor kan dit concept gelijktijdig met de ontwikkeling uitgerold worden.

Betaalbaarheid

Op het gebied van betaalbaarheid scoort dit concept een 3. Dit systeem bestaat uit twee onderdelen de bodemlus en de warmtewisselaar. Het plaatsen van een bodemlus is prijzig, zeker in vergelijking met een buitenunit. De kosten dalen aanzienlijk wanneer je deze lussen in bulk kan aanleggen, aangezien de voorrijkosten van de aanleg hoog zijn.

Eigenaarschap

Op eigenaarschap is dit concept beoordeeld met een 4. Voor de grondgebonden woningen krijgt iedere woning een eigen bodemlus met warmtepomp. De appartementencomplexen maken gebruik van een gedeelde bodemlus. Dit betekent een iets grotere mate van afhankelijkheid van de medebewoners welke op dezelfde streng zitten.

Ruimtelijke impact

Op ruimtelijke impact scoren de individuele warmtelussen een 4. De lussen liggen ondergronds en de warmtepompen zijn binnenpandig, het geluidsniveau van een inpandige water/waterwarmtepomp is laag. De lussen produceren geen geluid en kunnen onder de woning worden weggewerkt.

Circulariteit

Dit concept is op het gebied van circulariteit beoordeeld met een 2. Voor dit concept wordt een groot aantal bodemplussen aangelegd. Deze lussen zijn gemaakt van plastic en kunnen niet worden hergebruikt. Aan het einde van de levensduur zullen deze lussen dan ook in de grond blijven liggen en zal er een nieuwe voorziening moeten worden getroffen voor de warmte-/koudevoorziening.

Doelmatig gebruik van bodem

Op doelmatigheid van de bodem is dit concept beoordeeld met een 2. Voor dit concept moeten een grote hoeveelheid bodemplussen in de ondergrond aangebracht worden. De lussen kunnen elkaars productiviteit verlagen en kunnen effect hebben op de omliggende ontwikkelingen. Wanneer geheel Halvinkhuizen van gesloten lussen wordt voorzien is de capaciteit van de ondergrond mogelijk de beperkende factor.

ZONNECOLLECTOR I.C.M. WARMTEPOMP

Piekbelasting

Op piekbelasting is dit concept beoordeeld met een 2. De maanden waar de warmte van de zonnecollectoren het meest nodig zijn, zijn de wintermaanden. Dit zijn tevens de koudste maanden en de maanden met het minste zonlicht. Een individueel concept met zonnecollectoren en een warmtepomp heeft dus een lage COP vergelijkbaar met een lucht/waterwarmtepomp. Dit resulteert in een hoge piekbelasting.

Duurzaamheid

Voor duurzaamheid scoort dit concept een 4. Zoals in de voorgaande paragraaf is aangegeven heeft een zonnecollector in de wintermaanden een lage COP. Dit wordt echter gecompenseerd met een hoog opwekkingsrendement gedurende de zomer wanneer er tapwater bereidt wordt met een hoge buitentemperatuur als bron. De warmtepomp kent daardoor een goed opwekkingsrendement voor warmte. Daarnaast moet er echter wel actief koude worden opgewekt gedurende de zomer. Hierbij wordt warmte afgestaan aan de warme buitenlucht waardoor er relatief veel elektriciteit benodigd is.

Faseerbaarheid

Op faseerbaarheid scoort dit concept een 5. Net als de twee concepten hiervoor gaat het om een individueel concept. Deze kan gelijk aan de fasering van het gebied worden gerealiseerd.

Betaalbaarheid

Op het gebied van betaalbaarheid is dit concept beoordeeld met een 3. Om genoeg warmte te kunnen produceren moet een groot aantal zonnecollectoren aangelegd worden. Dit is relatief kostbaar.

Eigenaarschap

Op eigenaarschap scoort dit concept een 4. Voor de grondgebonden woningen kunnen de collectoren op de eigen daken gelegd worden. Bij de appartementencomplexen zijn de collectoren collectief en is er een afhankelijkheid van de medebewoners.

Ruimtelijke impact

Voor ruimtelijke impact heeft dit concept een 4 gescoord. De collectoren zijn zichtbaar op de daken van de woningen. Echter in tegenstelling tot de lucht/waterwarmtepompen produceren ze geen geluid.

Circulariteit

Op circulariteit scoren de zonnecollectoren een 5. Zowel de warmtepomp als de zonnecollectoren zijn relatief makkelijk te verwijderen en te recyclen. losse componenten kunnen vervangen worden.

Doelmatig gebruik van bodem

Op dit beoordelingscriterium is het concept beoordeeld met een 5. Zowel de zonnecollectoren als de warmtepomp zijn bovengrondse inpassingen. Hierdoor hebben ze geen invloed op de ondergrond.

COLLECTIEVE LUCHT/WATERWARMTEPOMP

Piekbelasting

Op piekbelasting scoort de collectieve lucht/waterwarmtepomp een 3. Net als in het individuele concept is de lucht/waterwarmtepomp afhankelijk van de temperatuur van de buitenlucht. Aangezien deze temperatuur 's winters laag ligt, heeft de warmtepomp 's winters een lage COP. De collectieve warmtepomp heeft een centrale aansluiting en dus ook een enkele grote elektriciteitskabel nodig. Een groot vermogen door een enkele kabel is makkelijker in te richten dan in het individuele concept. Vandaar dat de collectieve variant iets beter scoort dan de individuele warmtepompen.

Duurzaamheid

Op duurzaamheid scoort dit concept een 2. Door de lage efficiëntie van de warmtepomp gedurende de winter is de elektraconsumptie relatief hoog. Omdat de warmte centraal wordt opgewekt en naar de woningen wordt gedistribueerd kenmerkt dit concept zich ook door relatief veel warmteverliezen. Deze moeten extra worden opgewekt naast de door de bewoners geconsumeerde warmte. Tevens is er een separate voorziening nodig voor de koeling.

Faseerbaarheid

Op faseerbaarheid is dit concept beoordeeld met een 3. De centrale installatie zal in één keer aangelegd moeten worden en in de beginjaren wordt deze niet volledig benut. Tevens moet het leidingnet met de bouw van de wijk meegroeien, dit brengt beperkingen voor de locatie van de centrale techniek.

Betaalbaarheid

Voor betaalbaarheid scoort dit concept een 2. Voor dit concept is een geïsoleerd leidingnet, technische ruimte en grote lucht/waterwarmtepomp nodig, dit zijn kostbare elementen. Tevens zijn de operationele kosten ook relatief hoog door het hoge elektraverbruik.

Eigenaarschap

Op het gebied van eigenaarschap scoort dit concept een 2. Gezien het hier over een collectief systeem gaat zijn de warmtebron, het warmtenet en de afleversets in de woningen zelf in bezit van het warmtebedrijf.

Ruimtelijke impact

Voor de ruimtelijke impact heeft dit concept een 2 gescoord. Ergens in de buurt komt een centrale technische ruimte te staan met de grote lucht/waterwarmtepomp. De centrale technische ruimte heeft effect op de uitstraling van het gebied en de warmtepomp produceert geluid. Zeker in een projectgebied met enkel laagbouw is de inpassing van een grote lucht/waterwarmtepomp een aandachtspunt.

Circulariteit

Voor circulariteit scoort dit concept een 3. Een industriële warmtepomp wordt meestal niet in één keer afgeschreven, separate onderdelen kunnen vervangen worden wat de levensduur verlengt. Het geïsoleerde leidingnet is opgebouwd uit verschillende materialen waarin kunststoffen zijn verwerkt die mogelijk lastig te recyclen zijn.

Doelmatig gebruik van bodem

Op dit beoordelingscriteria scoort deze variant een 5. Bij dit concept wordt de ondergrond niet gebruikt. Hierbij heeft het ook geen invloed op de ondergrond van de andere ontwikkelingen.

BODEMLUSSEN I.C.M. COLLECTIEVE WARMTEPOMP

Piekbelasting

Op piekbelasting presteert de collectieve variant met gesloten lussen gelijk een de individuele variant. “Op het beoordelingscriteria piekbelasting is dit concept beoordeeld met een 4. Bodemlussen maken gebruik van de temperatuur van de ondergrond. De bodemtemperatuur op enige diepte wordt niet beïnvloed door de buitentemperatuur. Hierdoor kan de bodemlus een constante temperatuur aanleveren aan de warmtepomp. Dit resulteert in een hogere COP en dus lagere piekbelastingen.”

Duurzaamheid

Op duurzaamheid scoort deze variant een 5. Zoals bij piekbelasting is aangegeven levert de bodemlus een constante temperatuur aan de warmtepomp deze is lager dan de luchtwaterwarmtepomp in de zomer, maar hoger dan de luchtwaterwarmtepomp in de winter, de opwekking jaarrond van warmte is iets hoger dan de lucht/waterwarmtepomp. . Daarnaast levert een bodemlus passieve koeling in de zomer.

Duurzaamheid

Op duurzaamheid scoort dit concept een 3. Zoals aangegeven kent de warmtepomp door de constante bodemtemperatuur een gunstig opwekkingsrendement. Teven kan koude passief worden opgewekt. De warmtedistributie heeft wel een significant negatieve impact op de duurzaamheid, doordat de warmte vanuit de centrale warmtepomp naar de woningen moet worden gedistribueerd.

Faseerbaarheid

Op faseerbaarheid is dit concept beoordeeld met een 3. De centrale installatie zal in één keer aangelegd moeten worden en in de beginjaren wordt deze niet volledig benut. Tevens moet het leidingnet met de bouw van de wijk meegroeien, dit brengt beperkingen voor de locatie van de centrale techniek.

Betaalbaarheid

Op betaalbaarheid scoort dit concept een 2. Voor dit concept is een warmtenet, technische ruimte en een groot aantal bodemlussen nodig. Dit zijn kostbare investeringen. De operationele kosten zullen relatief gunstig zijn voor een collectief concept doordat het onderhoud aan gesloten lussen minimaal is.

Eigenaarschap

Op het gebied van eigenaarschap scoort dit concept een 2. Gezien het hier over een collectief systeem gaat zijn de warmtebron, het warmtenet en de afleversets in de woningen zelf in bezit van het warmtebedrijf.

Ruimtelijke impact

Op ruimtelijke impact scoort dit concept een 4. Bij dit concept ligt zowel het warmtenet en de bodemlussen ondergronds. Alleen de technische ruimte is bovengronds zichtbaar, maar kan worden ontworpen in de stijl van de omliggende bebouwing.

Circulariteit

Op circulariteit scoort dit concept een 2. Zowel de warmtelussen als het warmtenet zijn niet herbruikbaar. De lussen zijn gemaakt van plastic en kunnen niet worden hergebruikt. Aan het einde van de levensduur zullen deze lussen dan ook in de grond blijven liggen en zal er een nieuwe voorziening moeten worden getroffen voor de warmte-/koudevoorziening.

Doelmatig gebruik van bodem

Voor doelmatig gebruik van de bodem scoort dit concept een 2. Voor dit concept moeten een grote hoeveelheid bodemlussen in de ondergrond aangebracht worden. De lussen kunnen elkaars productiviteit verlagen en kunnen effect hebben op de omliggende ontwikkelingen. Wanneer geheel Halvinkhuizen van gesloten lussen wordt voorzien is de capaciteit van de ondergrond mogelijk de beperkende factor.

WKO I.C.M. INDIVIDUELE WARMTEPOMP

Piekbelasting

Op piekbelasting scoort de WKO een 4. Een WKO balanceert het tekort en teveel gedurende de seizoenen. Warmte wordt zomers opgeslagen in de bodem en 's winters benut. De temperatuur brontemperatuur van een WKO ligt gemiddeld hoger dan de brontemperatuur van een gesloten lus. Dit resulteert in een hogere COP en hiermee een lagere piekvraag.

Duurzaamheid

Op duurzaamheid is dit concept beoordeeld met een 5. De constante relatief hoge temperatuur zorgt voor een erg hoog rendement van de individuele warmtepompen. Daarnaast is het bij dit concept ook mogelijk om passieve koeling te leveren. In vergelijking tot gesloten lussen is er wel meer pompenergie nodig voor de distributie van de centrale WKO tot aan de woningen. Gesloten lussen en een openbodemennergiesysteem met individuele warmtepompen zijn gelijkwaardig qua duurzaamheid.

Faseerbaarheid

Voor faseerbaarheid scoort dit concept een 4. Net als bij de andere collectieve concepten is er een aanzienlijke voorinvestering voor de centraal opgestelde techniek. Het bronnet kan echter gefaseerd worden aangelegd. Dit bronnet is minder kapitaalintensief dan een geïsoleerd warmtenet. Tevens valt een aanzienlijk deel van de investering samen met de oplevering van de woning, namelijk de individueel opgestelde warmtepompen.

Betaalbaarheid

Op betaalbaarheid scoort dit concept een 3. Voor dit concept is een warmtenet, een technische ruimte en een WKO nodig. Dit zijn kostbare investeringen, maar vanwege de lage operationele kosten scoort dit concept beter dan de andere 2 collectieve concepten.

Eigenaarschap

Dit concept scoort een 3 op eigenaarschap. De WKO en het warmtenet zijn in het bezit van het warmtebedrijf. De individuele warmtepompen kunnen echter aan de bewoners worden verhuurd, waardoor de consument de vrijheid heeft om zelf haar energie op te wekken met een eigen gekozen elektriciteitsleverancier. De bewoner blijft natuurlijk wel afhankelijk van het centrale bronnet en daarmee het aangewezen warmtebedrijf, hiervoor zal het warmtebedrijf ook een vastrechttaarif bij de bewoners in rekening brengen.

Ruimtelijke impact

Voor ruimtelijke impact scoort dit concept een 4. Alleen de technische ruimte is bovengronds zichtbaar, maar kan worden ontworpen in de stijl van de omliggende bebouwing. Wanneer er een droge koeler nodig is om aan de vergunning waterwet te voldoen heeft dit wel een significante negatieve impact op de ruimtelijke kwaliteit, zowel visueel als auditief.

Circulariteit

Op circulariteit is dit concept beoordeeld met een 3. Voor dit concept moet een warmtenet en een WKO aangelegd worden. Doordat voor een WKO maar 1 doublet nodig is, is het materiaalgebruik veel minder dan bij gesloten lussen. Het bronnet bestaat uit materiaal waardoor het makkelijker te recycleren is dan een geïsoleerd bronnet.

Doelmatig gebruik van bodem

Op dit onderdeel scoort dit concept een 4. De WKO heeft invloed op de ondergrond, maar stringente voorwaarden van de vergunning Waterwet welke voor een WKO benodigd is, is de impact kleiner dan bij gesloten lussen. Daarnaast kan er gestuurd worden op een balans van de WKO, waardoor de bodem netto niet afkoelt of opwarmt. De bodem lijkt bij het toepassing van WKO's dan ook niet belemmerend voor de realisatie van geheel Halvinkhuizen.

Bijlage 5 Uitgangspunten business case

In deze bijlage is een overzicht van de uitgangspunten van de business case gegeven. Deze uitgangspunten gelden voor het collectieve scenario. De tabel wordt gevolgd door de onderbouwing van het gehanteerde scenario voor de elektrakosten.

Tabel 7.6 | Organisatorische en financiële uitgangspunten business case

Parameter	Eenheid	Waarde
algemeen		
vereist rendement op eigen vermogen	%	15
rente op lening	%	3,0
aandeel eigen vermogen (EV)	%	30
aandeel vreemd vermogen (VV)	%	70
vermogenskostenvergoeding (WACC)	%	6,6
disconteringsvoet	%	6,6
CAPEX		
indexering investeringskosten	%	2,0
project looptijd	jaren	30
afschrijving (exclusief bronnet & WKO)	jaren	15
Afschrijving WKO	jaren	30
Afschrijving leidingwerk WKO & bronnet	jaren	50
startjaar investering	jaar	0
herinvestering individuele warmtepompen	jaar	15
OPEX		
indexering operationele kosten	%	2,0
startjaar operatie	jaar	1
volloopsценario	jaren	2
netbeheerder elektriciteit	-	Liander
omzet		
startjaar omzet	jaar	1
vastrechttarief als percentage van het ACM-maximum	%	100
Energie-investeringsaftrek (EIA) voordeel op Capex	%	11

Elektriciteitsprijs

De variabele elektriciteitsprijs is opgebouwd uit de groothandelsprijs en belasting. Voor beide onderdelen hebben we een scenario opgesteld voor de komende 30 jaar en samen bepalen die de variabele elektriciteitsprijs voor de komende 30 jaar. Voor de groothandelsprijs hebben we het midden prijsscenario gebruikt uit de klimaat en energieverkenning 2022⁵. Dit scenario geeft geschatte groothandelsprijzen tot en met 2030. Na 2030 hebben we het tarief geschat op basis van de prijs in 2030

⁵ <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2022-klimaat-en-energieverkenning-4838.pdf>

en een standaard indexatiepercentage. Voor het belastingtarief baseren we ons op het Belastingplan 2023⁶. In dit belastingplan worden de belastingen op gas en elektra voor de komende jaren tot en met 2030 gegeven. De belasting op elektriciteit zal de komende jaren dalen. Na 2030 hebben we het tarief geschat op basis van de prijs in 2030 en een standaard indexatiepercentage. Het consumententarief wordt bepaald door een opslag te rekenen van de energieleverancier. Deze is bepaald op basis van het verschil tussen de groothandelsprijs en de consumentenprijs in 2021.

⁶ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/09/20/memorie-van-toelichting-belastingplan-2023>

Bijlage 6 Elektriciteitsberekeningen

In deze studie is zowel gekeken naar de elektriciteitsvraag (MWh_e) op jaarbasis als naar de elektrische piekbelasting (kVA). In Tabel 7.7 en

Varianten	Ruimteverwarming				
	Vermogen (kW)	COP (-)	Elektrisch vermogen met warmtepomp (kWe)*	Elektrisch verwarmingselement met COP van 1	Totaal geleverd elektrisch vermogen (kWe)
LWWP	3,0	2,0	1,12	0,75	1,87
BLWP	3,0	5,5	0,43	0,60	1,03
WKO indiv. WP	3,0	5,5	0,43	0,60	1,03

Tabel 7.8 is weergegeven hoe, met behulp van de energetische uitgangspunten van hoofdstuk 2, de elektriciteitsvraag en piekbelasting berekend zijn.

Energieverbruik voor warmte- en koudelevering aan woningen:

Varianten	Ruimteverwarming			Tapwaterproductie			Koeling			Elektra per woning		Aantal woningen	Totaal MWhe
	Vraag (MWh)	SCOP (-)	Verbruik elektra (MWhe)	Vraag (MWh)	SCOP (-)	Verbruik elektra (MWhe)	Vraag (MWh)	SCOP (-)	Verbruik elektra (MWhe)	Elektriciteitsverbruik per woning (MWhe)			
LWWP	3,1	4,8	0,65	2,04	3,00	0,68	1,02	3,5	0,29	1,62		310	501
BLWP	3,1	5,5	0,56	2,04	3,50	0,58	1,02	25,0	0,04	1,19		310	368
WKO indiv. WP	3,1	5,5	0,56	2,04	3,50	0,58	1,02	-	-	1,14		310	355

Tabel 7.7 | Electravraag Halvinkhuizen per concept

Elektriciteitspiek in de winter bij -10 °C:

Varianten	Ruimteverwarming				Totaal geleverd elektrisch vermogen (kWe)	Gelijktijdigheidsfactor (-)	Veiligheidsfactor (-)	Aantal woningen	Totaal kWe
	Vermogen (kW)	COP (-)	Elektrisch vermogen met warmtepomp (kWe)*	Elektrisch verwarmingselement met COP van 1					
LWWP	3,0	2,0	1,12	0,75	1,87	0,80	1,10	310	510
BLWP	3,0	5,5	0,43	0,60	1,03	0,80	1,10	310	282
WKO indiv. WP	3,0	5,5	0,43	0,60	1,03	0,80	1,10	310	282

Tabel 7.8 | Piekbelasting Halvinkhuizen per concept

* In variant LWWP is de aanname dat de warmtepomp 75% van het vermogen levert. De overige 25% wordt geleverd met het elektrisch verwarmingselement (COP van 1). Het elektrisch vermogen is hier dus als volgt bepaald: $3,0 * 0,75 / 2 + 3,0 * 0,25 = 1,87$ kWe. Varianten BLWP & WKO zijn uitgelegd op 80%.

IF Technology **Creating energy**



Velperweg 37
6824 BE Arnhem
Postbus 605
6800 AP Arnhem

T 026 35 35 555
E info@iftechnology.nl
I www.iftechnology.nl

NL60 RABO 0383 9420 47
KvK Arnhem 09065422
BTW nr. NL801045599B01

IF Technology **Creating energy**