

Randvoorwaarden financiële rentabiliteit

Deelrapport werkpakket IV

Adviseur

Innoforte
Van Heemstraweg 56 d
6651 KH DRUTEN
T 048 - 75 10 375
E info@innoforte.nl
Contactpersonen: dhr. J.A.T. Seuren
dhr. J.J. Verheul

Adviseur

IF Technology
Velperweg 37
Postbus 605
6800 AP ARNHEM
T 026 - 35 35 555
F 026 - 35 35 599
E info@iftechnology.nl
Contactpersoon: dhr. K. Hellebrand

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Het kader	4
2.1	Uitbreiding van de centrale warmtevoorziening	4
2.2	Analyse op basis van de marginale kosten.....	6
3	Generiek rekenmodel	8
3.1	Het doel van het model	8
3.2	Modelvorming.....	8
3.3	Het gebruik van het model	12
3.4	Onzekerheden in het model.....	13
4	Analyse financiële randvoorwaarden	15
4.1	Afkaptemperatuur.....	15
4.2	Type afnemers	16
4.3	Diepte HTO	18
4.4	Energieprijsstijging	18
4.5	Type warmtebron	19
4.6	Stimuleringsmaatregelen	20
4.7	Investerings.....	21
4.8	Bronparameters.....	22
5	Beslisboom hogetemperatuuropslag.....	24
Bijlagen:		
1	Overzicht kentallen onderzoek	

1 Inleiding

Hogetemperatuuropslag geniet nog weinig naamsbekendheid in de markt. Momenteel geldt dat potentiële initiatiefnemers nog veelal onbekend zijn met de vereisten voor een financieel rendabele toepassing van hogetemperatuuropslag. Het in beeld brengen van de belangrijkste financiële voorwaarden kan de toepassing van deze techniek sterk bevorderen. Dit werkpakket kwantificeert de gevoeligheid van de rentabiliteit voor de belangrijkste financiële voorwaarden voor de toepassing van hogetemperatuuropslag.

De financiële rentabiliteit en het vaststellen van de belangrijkste randvoorwaarden is onderzocht aan de hand van een voor dit project ontwikkeld rekenmodel. Het model heeft enkel betrekking op de hogetemperatuuropslag en niet op de totale warmtevoorziening. De financiële bijdrage en de verduurzaming (CO₂ en primaire energie) van hogetemperatuuropslag voor de warmtevoorziening is daardoor beter zichtbaar.

In voorliggend rapport is de ontwikkeling en gebruik van het model omschreven, worden de resultaten van de financiële analyse behandeld en zijn de belangrijkste randvoorwaarden benoemd voor een succesvolle toepassing van hogetemperatuuropslag (HTO).

Het onderzoek maakt onderdeel uit van het SKB onderzoek met referentie: Toepassingsmogelijkheden van hogetemperatuuropslag bij verduurzaming energievoorziening gebouwde omgeving, 26.743/61335/RW d.d. 30 juni 2012.

2 Het kader

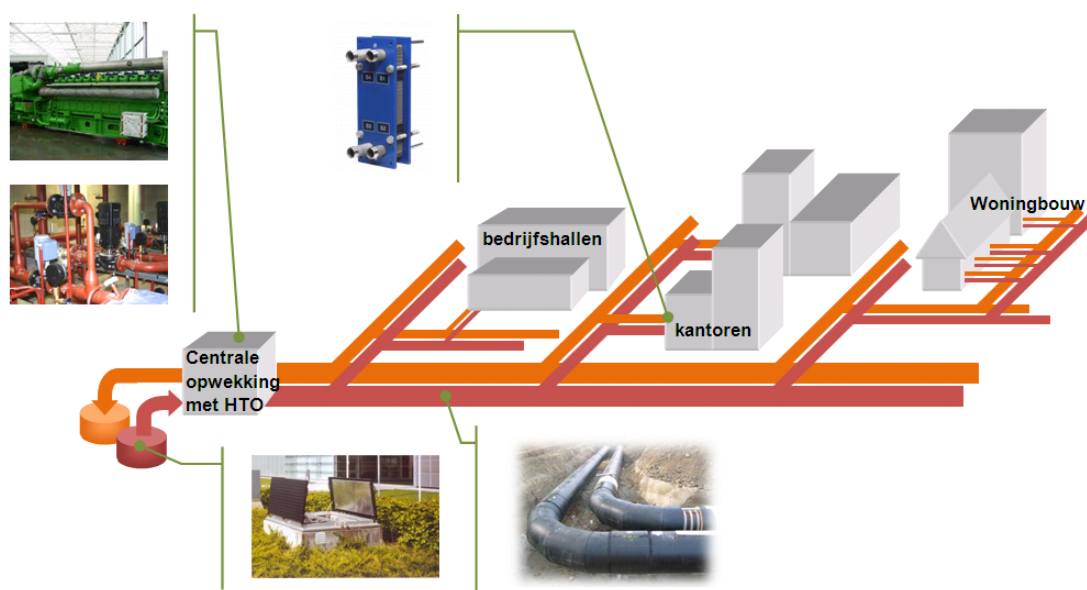
In dit hoofdstuk is het kader beschreven waarbinnen de financiële rentabiliteit van de hogetemperatuuropslag is onderzocht.

2.1 Uitbreiding van de centrale warmtevoorziening

Bij grootschalige nieuwbouw- of renovatieprojecten behoort een centrale warmtevoorziening tot de mogelijkheden voor het klimatiseren van de gebouwen, woningen, hallen e.d. De warmte wordt in dit geval centraal opgewekt. De warmtevoorziening bestaat over het algemeen uit meerdere warmtebronnen.

De toepassing van veel duurzame energiebronnen als geothermie, biomassa in combinatie met een warmte kracht koppeling (wkk) en industriële restwarmte vereist een zekere schaalgrootte van de warmtevraag. In de praktijk betekent dit meestal dat sprake zal zijn van een warmtenet waarmee de vraag van meerdere afnemers wordt gebundeld.

Het concept hogetemperatuuropslag functioneert als buffer en moet daarom altijd worden gecombineerd met andere warmtebronnen. De hogetemperatuuropslag maakt daarmee deel uit van de centrale warmtevoorziening voor het leveren van warmte. In onderstaand figuur is dit schematisch weergegeven.



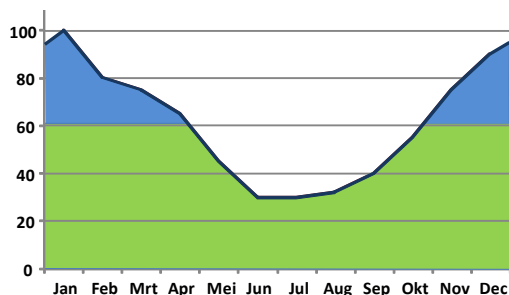
Figuur 2.1 Schematische weergave collectieve verwarming met opslag

Hogetemperatuuropslag verduurzaamt de piek

Het principe van de inzet van hogetemperatuuropslag kan het beste worden toegelicht aan de hand van een indicatief vraagprofiel.

Duurzame energiebronnen kennen in het algemeen hoge kapitaallasten en lage energiekosten. Bij conventionele warmtebronnen als aardgasgestookte ketels is deze verhouding juist andersom. Voor een economisch optimale bedrijfsvoering van de centrale warmtevoorziening dienen duurzame energiebronnen daarom zo veel mogelijk bedrijfsuren te maken.

De warmtevraag is dynamisch als gevolg van de temperatuurwisselingen tussen de seizoenen. De productiemiddelen dienen de dynamische vraag qua vermogen steeds te volgen. Het piekvermogen is slechts korte tijd nodig en zou derhalve per geproduceerde energie-eenheid erg kostbaar worden indien deze geproduceerd zou worden met kapitaalintensieve duurzame warmtebronnen. De algemene oplossing is de inzet van een duurzaam productiemiddel als basislasteenheid aangevuld met een conventionele aardgasgestookte ketel, zie figuur 2.2. De weergegeven percentages zijn indicatief.



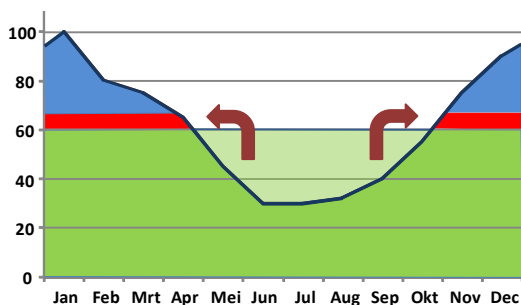
Figuur 2.2 Principe verdeling van de warmtelevering tussen de duurzame en de conventionele warmte bron

Warmtenet zonder HTO

20% van de opwek met cv-ketel

80% van de opwek duurzaam

In figuur 2.2 is zichtbaar dat niet de maximale capaciteit van de duurzame bron wordt benut in de zomer maanden. Door de duurzame bron wel maximaal in te zetten, kan tegen lage kosten warmte worden opgewekt en worden opgeslagen in de hogetemperatuuropslag voor benutting in de winter. Het aandeel warmtelevering met de conventionele bron (bijvoorbeeld de ketel) kan hierdoor worden gereduceerd. In onderstaande figuur is dit principe weergegeven. De weergegeven percentages zijn indicatief.



Figuur 2.3 Principe van de inzet van hogetemperatuuropslag

Warmtenet met HTO

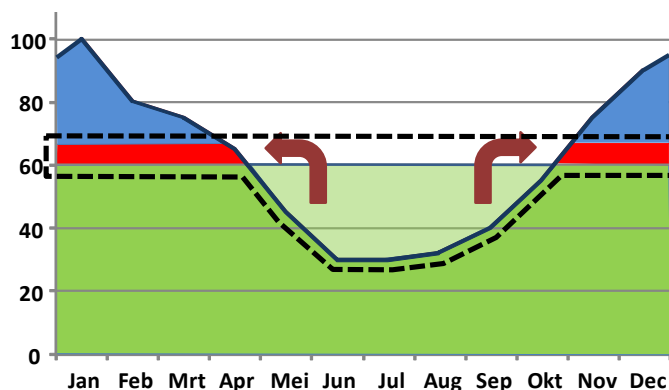
10% van de opwek met cv-ketel

10% van de opwek uit de HTO

80% van de opwek duurzaam

Scope van het onderzoek

Voorliggend onderzoek richt zich alleen op het effect van de toevoeging van hogetemperatuuropslag en de haalbare reductie van de pieklevering met de conventionele installatie, de ketel. Het onderzoek richt zich niet op de andere aspecten van de warmtevoorziening zoals het warmtenet e.d. In onderstaande figuur is de focus van het onderzoek weergegeven middels een zwart kader.



Figuur 2.4 Focus onderzoek hogetemperatuuropslag

Toevoeging van hogetemperatuuropslag kent economisch gezien de volgende potentiële voordelen:

- Langere bedrijfstijden van de duurzame (basis) warmtebronnen met lage marginale kosten, waardoor de integrale productiekosten per GJ daalt;
- Vermijden van kapitaallasten voor piekvermogen (ketels) voor zover deze ook daadwerkelijk met hogetemperatuuropslag kunnen worden gegarandeerd in de koudste maand;
- Vermijden van energiekosten voor de pieken. Dit betreft aardgas dat slechts gedurende de koudste periode van het jaar vrij kort nodig is. De verwachting is dat beschikbaarstelling van de capaciteit van dit aardgas in de toekomst kostbaarder zal worden vanwege het groeiende marktaandeel van duurzame bronnen die als basislastenheid worden ingezet;
- Met het vermijden van aardgas als gevolg van de inzet van een hogetemperatuuropslag wordt ook de CO₂ reductie vergroot. De CO₂ reductie van warmtenetten kan in de toekomst te gelde kan worden gemaakt in de vorm van het verkrijgen van CO₂ emissierechten indien de “domestic offsets” regeling wordt ingevoerd.

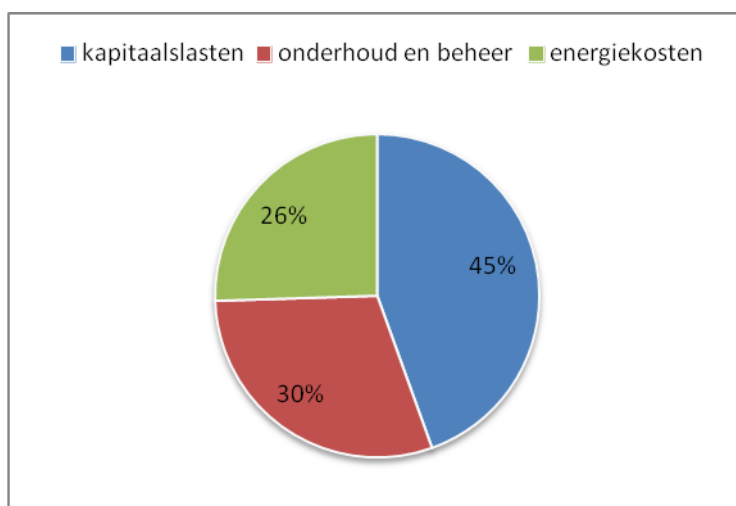
2.2 Analyse op basis van de marginale kosten

Om een goede indruk te krijgen van de economische haalbaarheid van de hogetemperatuuropslag is een marginale kostenanalyse uitgevoerd. Anders gezegd: Hoeveel kost elke extra opgewekte GJ met hogetemperatuuropslag en hoe groot zijn de vermeden kosten als gevolg van het minder hoeven opwekken van dezelfde GJ met aardgas en een ketel? Het resultaat van de analyse is een warmteprijs in €/GJ. Deze kunnen onderling worden vergeleken om te bepalen of het interessant is om hogetemperatuuropslag toe te passen.

De warmtekosten voor de hogetemperatuuropslag worden bepaald aan de hand van de jaarlijkse kosten voor:

- kapitaalslasten;
- elektriciteitsverbruik van de bronpompen;
- de warmte voor het laden van de hogetemperatuuropslag;
- onderhoud en beheer van de hogetemperatuuropslag;
- de geleverde warmte.

De invloed van de bovenstaande posten op de warmtekosten per GJ is in figuur 2.5 inzichtelijk gemaakt voor een willekeurig project met een bio-wkk. Omdat de kosten van de warmte van de bio-wkk op 0 €/GJ gesteld zijn betreffen de energiekosten enkel de elektriciteitskosten van de bronpompen van de HTO. In de situaties met geothermie en restwarmte zullen in het ene geval de elektriciteitskosten van de geothermiebron en in het andere geval de kosten om de restwarmte te leveren deel uitmaken van deze energiekosten.



Figuur 2.5 Gemiddelde jaarkosten hogetemperatuuropslag i.c.m. een bio wkk

Voor de gasgestookte ketel is het uitgangspunt dat enkel de energiekosten worden gerekend voor het bepalen van de warmtekosten per GJ. De ketel blijft noodzakelijk voor de centrale warmtevoorziening en als back-up. De kapitaallast en de kosten voor onderhoud en beheer van de ketel zijn in de variant met en zonder hogetemperatuuropslag gelijk.

3 Generiek rekenmodel

Om de belangrijkste financiële randvoorwaarden en gevoeligheden te kunnen bepalen voor een rendabele toepassing van hogetemperatuuropslag is een generiek rekenmodel opgezet. In dit hoofdstuk is omschreven hoe het model is opgebouwd en moet worden gebruikt.

3.1 Het doel van het model

Met het rekenmodel kan worden onderzocht of het vanuit economisch oogpunt haalbaar is om hogetemperatuuropslag toe te passen. Het resultaat is op quickscan niveau en kan aanleiding geven om de haalbaarheid van hogetemperatuuropslag in meer detail te onderzoeken.

3.2 Modelvorming

Het model is vormgegeven in Microsoft Excel. Onderstaand is de opbouw van het model toegelicht.

Opbouw van het model

Het model is opgebouwd uit een aantal tabbladen. Hierbij is de volgende indeling gehanteerd:

Input en resultaat	De warmtevraag (rekensheet)	Warmteopwekking (rekensheet)	Economie (rekensheet)	Uitgangspunten
Invoer over het type ontwikkeling, welk type warmtebron en waar in Nederland.	rekensheet waarin de warmtevraag van de opgegeven ontwikkeling wordt bepaald met behulp van energetische kentallen.	rekensheet waarin de warmteopwekking met en zonder hogetemperatuuropslag is uitgewerkt.	Rekensheet voor het bepalen van de warmteprijs van de hogetemperatuuropslag en de conventionele opwekking.	Overzicht van de economische uitgangspunten.
Inzicht in de warmteprijs, het milieuvoordeel en de terugverdientijd.	De uitkomst van de sheet vormt input voor de rekensheet "warmteopwekking"	De uitkomst van de sheet vormt input voor de rekensheet "economie"		Overzicht van de bodemgeschiktheid per regio.

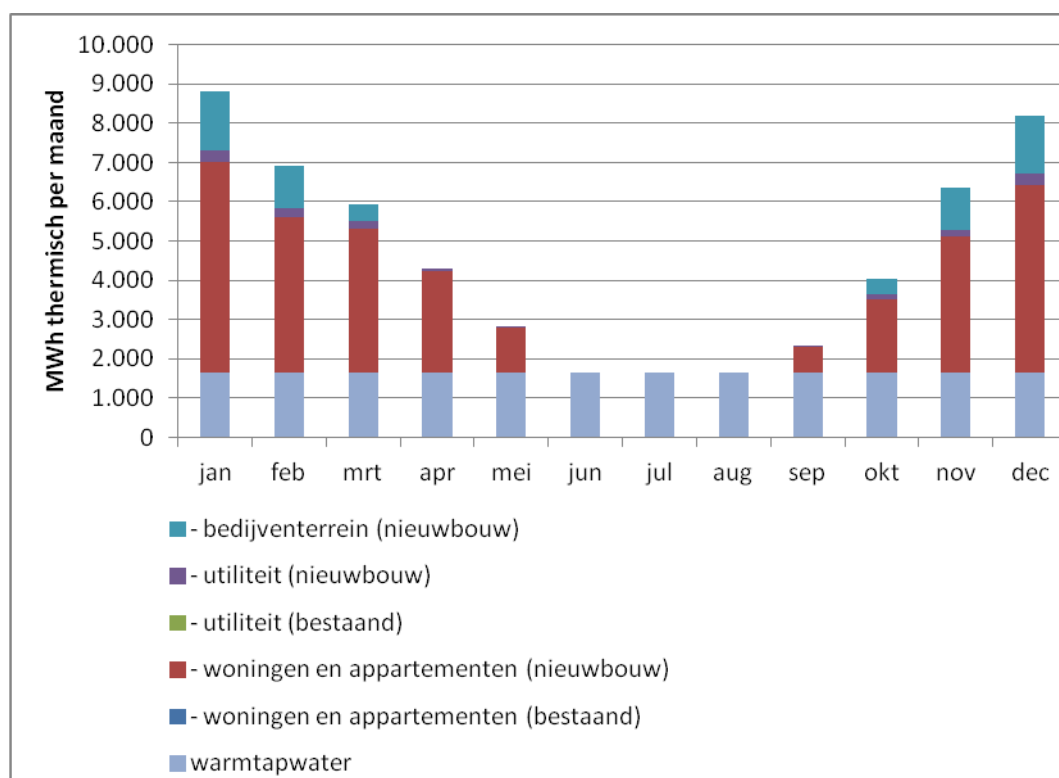
Figuur 3.1 Indeling tabbladen Excel

Input en resultaat

De gebruiker voert hier de gevraagde informatie in en krijgt direct een overzicht van de haalbaarheid op quickscan-niveau van de hogetemperatuuropslag.

De warmtevraag

De jaarlijkse warmtevraag van de ingevoerde ontwikkeling wordt berekend met behulp van energetische kentallen. Een overzicht van deze kentallen is opgenomen in bijlage 1 van dit rapport of terug te vinden in het model. De berekende warmtevraag wordt door middel van vaste percentages verdeeld over het kalenderjaar. Het resultaat van dit tabblad is een benadering van de verwachte warmtevraag per maand van de ingevoerde ontwikkeling. In onderstaande figuur is een voorbeeld van het warmteprofiel weergegeven voor gecombineerde woningbouw en utiliteit.



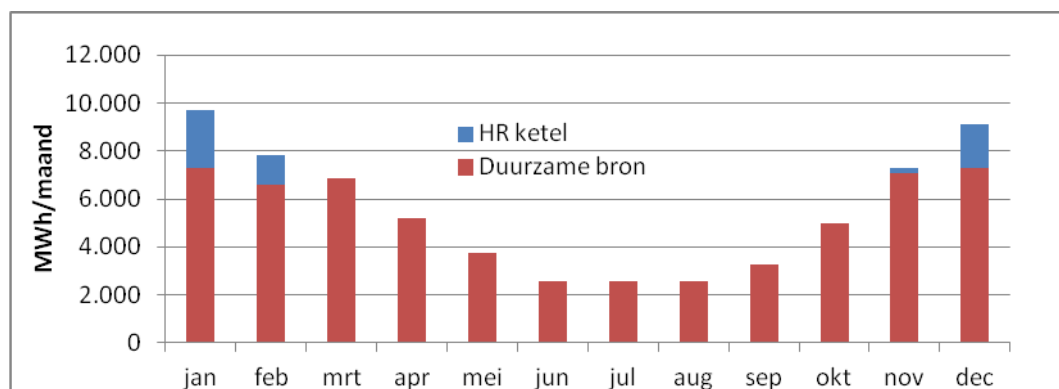
Figuur 3.2 Voorbeeld van een warmteprofiel voor woningen.

De warmteopwekking

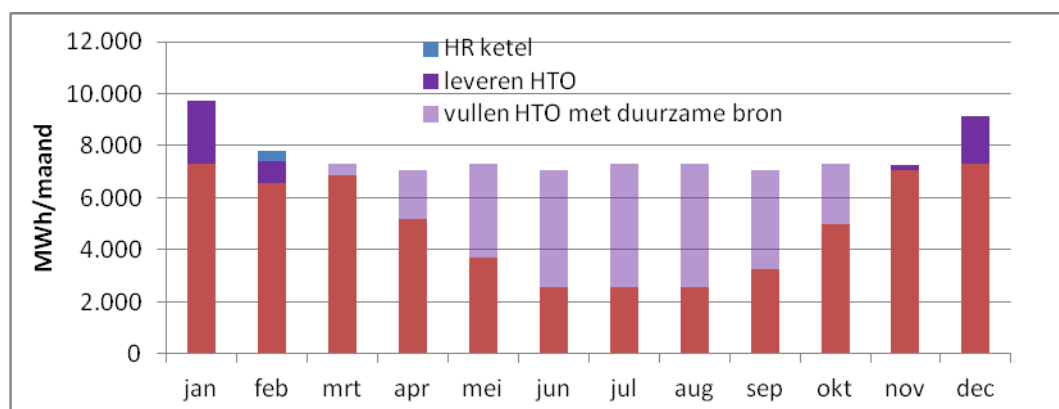
De warmte wordt geleverd met een duurzame bron (geothermie, restwarmte of biomassa) en een conventionele installatie, zie ook uitleg in paragraaf 2.1. De pieklevering wordt in alle concepten ingevuld met een aardgas gestookte ketel. In het rekenblad is een situatie met en zonder hogetemperatuuropslag uitwerkt. De bijdrage van de hogetemperatuuropslag is afhankelijk van de door de gebruiker ingevoerde input en reduceert het gasverbruik van de ketel.

Het maximale vermogen van de duurzame bron is bepalend voor de grootte van de warmtebehoefte in de pieken en de hoeveelheid restwarmte voor de opslag. Het maximale vermogen van de duurzame bron is als variabele waarde opgenomen in het model voor de financiële analyse. De warmtelevering in de pieken is hieraan gekoppeld en wordt automatisch berekend.

In onderstaande figuren is een voorbeeld van de uitkomst in het model van de centrale warmtevoorziening met en zonder hogetemperatuuropslag weergegeven.



Figuur 3.3 Warmtelevering zonder hogetemperatuuropslag



Figuur 3.4 Warmtelevering zonder hogetemperatuuropslag

Hogetemperatuuropslag

De capaciteit van de hogetemperatuuropslag is afhankelijk van het energieconcept (bron, temperaturen e.d.) en de bodemgeschiktheid op de projectlocatie. Om de bodemgeschiktheid zo goed mogelijk te benaderen moet de gebruiker de projectlocatie op gemeenteniveau opgegeven. In het model is een uitgebreide database opgenomen met bodemgegevens (op gemeenteniveau).

Een belangrijke juridische grens met financiële consequenties voor de toepassing van hogetemperatuuropslag is 500 meter diepte. De boorkosten tot 500 meter zijn relatief laag en dieper dan 500 meter hoog als gevolg van benodigde veiligheidsvoorzieningen in verband met het risico op het aanboren van koolwaterstoffen (olie en gas). Voor een uitgebreid overzicht van het juridisch kader wordt verwezen naar werkpakket II van het SKB onderzoek.

Om de gevoeligheid van diepe of ondiepe warmteopslag te onderzoeken is de bodemgeschiktheid van 0 tot circa 1.400 meter verwerkt in het rekenmodel. Op basis van voortschrijdend inzicht is de formatie van Maassluis als basis formatie ingevoerd als financieel meest aantrekkelijke formatie. In het model kan echter gevarieerd worden tussen de volgende formaties:

Tabel 3.1 Overzicht diepte formaties zoals verwerkt in model

Formatie	diepte [m-mv]		
	minimaal	maximaal	gemiddeld
Maassluis	75	510	270
Oosterhout	0	690	335
Breda	10	1.155	480
Brussel	5	1.390	645

Een belangrijke parameter om de haalbaarheid van hogetemperatuuropslag te onderzoeken is het opslagrendement. In het rekenmodel zijn de uitkomsten van werkpakket III verwerkt in een formule om het opslagrendement te bepalen op basis van de input van de gebruiker. Het berekende rendement met de formule is het opslagrendement van de warmte na 4 jaar. Tijdens de eerste drie jaren is het opslagrendement lager omdat de bodem nog onvoldoende geladen is. Vanaf jaar 4 wordt het rendement steeds stabiel.

Economie

Aan de hand van het profiel van de warmtevraag en de invulling met de verschillende opwekkers (duurzame bron, hogetemperatuuropslag en ketel) wordt de warmteprijs voor de hogetemperatuuropslag en de ketel bepaald. De financiële berekeningen en analyses zijn gemaakt op basis van financiële kentallen. In bijlage 1 zijn de gehanteerde kentallen opgenomen. De gepresenteerde kosten in dit tabblad zijn exclusief BTW.

De investeringen voor de hogetemperatuuropslag zijn sterk afhankelijk van de diepte en de capaciteit. In het model worden de investeringen benaderd aan de hand van de boorkosten per meter en een gestaffelde waarde voor de bovengrondse installatie. In combinatie met de bodemgegevens per gemeente wordt een inschatting gemaakt van de investeringen van de hogetemperatuuropslag.

In totaal zijn drie economische tabbladen opgesteld voor de drie duurzame bronnen: bio-wkk, geothermie en restwarmte. De opbouw van deze tabbladen is identiek, een marginale kostenanalyse voor de hogetemperatuuropslag. Er zit echter wel verschil in de benadering van de kosten voor de "restwarmte" waarmee de warmteopslag wordt geladen.

Hiervoor geldt:

- Bio-wkk: De warmte wordt de bio-wkk is “gratis”. In de situatie zonder opslag wordt deze warmte anders afgevoerd aan de buitenlucht.
- Geothermie: De extra kosten voor de “restwarmte” voor het laden van de opslag, zijn de elektriciteitskosten voor de pompen van de geothermische installatie. In de situatie zonder opslag zal de geothermie minder draaien.
- Restwarmte: De extra warmte moet worden ingekocht en worden verpompt. Hiervoor worden kosten gerekend in de financiële analyse.

Uitgangspunten

In het model zijn diverse tabbladen met uitgangspunten opgenomen. Een overzicht van de uitgangspunten is opgenomen in bijlage 1.

3.3 Het gebruik van het model

De input

Het model bestaat uit een “input en resultaten” sheet en verschillende rekensheets. De “input en resultaten” sheet vormt een samenvatting van de ingevoerde waarden en de uitkomst van het rekenmodel. De gebruiker is beperkt tot het gebruik van de “input en resultaten” sheet. De rekensheets zijn aan elkaar gekoppeld met formules en werken automatisch. In overleg met de auteurs van het model kunnen hier waarden worden aangepast.

Bij de input dienen de zwart omkaderde velden te worden ingevuld indien van toepassing. De gevraagde informatie moet deels door de gebruiker zelf worden aangedragen, zoals woningaantallen, m² utiliteit e.d. Daarnaast zijn er meerdere dropdown menu's opgenomen met keuzelijsten. Onderstaand een voorbeeld van de inputvelden en een dropdown menu.

Woningbouw aantal woningen [#] type woning [dropdown menu: nieuwbouw] indicatie woninggrootte [dropdown menu: nieuwbouw, bestaande bouw] aantal appartementen [#] type appartement [dropdown menu: bestaande bouw] indicatie omvang appartement [dropdown menu: klein]	Utiliteit BVO [-] [m ²] type [dropdown menu: nieuwbouw] kantoor [50%] overig [50%]	Bedrijventerrein uitgeefbare grond [40] [ha] maximale bebouwing [70%] verwachte warmtevraag [laag] aandeel kantoren [middel]	[button: Wat is het bouwplan?]
Centrale verwarmingsinstallatie duurzame bron [Bio WKK] opslagtemperatuur [90] aanvoertemperatuur warmtenet [35] [°C] retourtemperatuur warmtenet [25] [°C]			[button: Welke opwekking?]
Het resultaat: kansen voor hogetemperaturopslag?			
De hogetemperaturopslag aantal dublietten (bronnensparen) [1] #			[button: =]

Figuur 3.5 Voorbeeld gebruik dropdown menu's in model.

Het resultaat

De financiële haalbaarheid en de verwachte milieubesparing bij toepassing van hogetemperatuuropslag worden direct onder de inputvelden weergegeven. De volgende resultaten worden gepresenteerd:

- De hogetemperatuuropslag: technisch en energetische uitwerking van de opslag;
- Investerings en exploitatiekosten;
- De warmteprijs voor de hogetemperatuuropslag en de conventionele opwekking;
- Het jaarlijkse milieuvoordeel (CO₂ en primair aardgasverbruik);
- De terugverdientijd.

De vergelijking van de warmteprijs met hogetemperatuuropslag of conventioneel vormt de graadmeter voor de haalbaarheid van de hogetemperatuuropslag.

Voorwaarden

De berekende resultaten met het model zijn niet geschikt voor het maken van investeringsbeslissingen. Het model is enkel daarvoor bedoeld om inzicht te bieden in de kansen voor hogetemperatuuropslag. Een project specifiek onderzoek is te alle tijden noodzakelijk.

3.4 Onzekerheden in het model

Het model is opgebouwd met diverse kentallen en aannames. De belangrijkste onzekerheden in het model worden kort omschreven. De onzekerheden zijn meegenomen in de financiële analyse om de mate van invloed op de haalbaarheid van hogetemperatuuropslag te bepalen, zie hoofdstuk 4.

Bodemgeschiktheid

De toepassing van hogetemperatuuropslag is afhankelijk van de bodemgeschiktheid op de projectlocatie. Om de bodemgeschiktheid te benaderen is gebruik gemaakt van bodemgeschiktheidskaarten uit het SKB onderzoek Kansen voor ondiepe geothermie in de glastuinbouw, juni 2012. De bodemgeschiktheidskaarten zijn gemaakt aan de hand van beschikbare kaarten en boorgegevens en met behulp van interpolatie vertaald naar landdekkende kaarten. Dit betekent dat de berekende bodemparameters een bepaalde mate van onzekerheid hebben.

De onzekerheid van de bodemparameters hebben invloed op de haalbaarheid van de hogetemperatuuropslag. Een tegenvallend debiet kan ertoe leiden dat er meerdere bronnen benodigd zijn en het systeem dus duurder wordt. Afwijkende bodemparameters hebben effect op het thermisch opslagrendement en daarmee de warmteprijs voor de hogetemperatuuropslag. Om de onzekerheid van de bodemparameters te ondervangen is in de financiële analyse rekening gehouden met:

- Verschillende debieten;
- Afwijkend opslagrendement t.o.v. de berekende waarde.

Kentallen warmtevraag

De warmtevraag van de ontwikkeling wordt bepaald op basis van energetische kentallen. De berekende warmtevraag kan afwijken van de werkelijke warmtevraag. Voor de haalbaarheid van de hogetemperatuuropslag betekent deze onzekerheid dat er meer of minder warmte kan worden geladen. In de financiële analyse is deze onzekerheid onderzocht door naar verschillende groottes van warmteopslag te kijken, zie hoofdstuk 4.

Vraagprofiel

Het type ontwikkeling, de oriëntatie van het gebouw(en), de functie, omvang e.d. is zeer divers. Het berekende vraagprofiel is een grove benadering van de werkelijkheid. Een afwijkend vraagprofiel kan ertoe leiden dat er meer of minder warmte kan worden opgeslagen in de bodem. Deze gevoeligheid is onderzocht in hoofdstuk 4.

Economie

Investerings en exploitatiekosten

De kosten voor de hogetemperatuuropslag zijn sterk afhankelijk van de projectlocatie. In het model worden de investeringen en exploitatiekosten op quickscan-niveau bepaald met behulp van kentallen. In de gevoeligheidsanalyse is onderzocht wat het effect van afwijkende kosten is op de haalbaarheid van de opslag.

Energietarieven

De ontwikkeling van de energietarieven is sterk afhankelijk van de markt en laat daardoor een behoorlijke fluctuatie zien. In het model wordt gerekend met actuele energietarieven. Update van de tarieven is noodzakelijk. In de financiële analyse is gerekend met verschillende prijsstijgingen om de invloed hiervan te beoordelen.

CO₂-credits

De reductie van de uitstoot van CO₂ bij toepassing van hogetemperatuuropslag heeft een marktwaarde uitgedrukt in €/ton CO₂. Deze marktprijs is net als de energietarieven afhankelijk van de marktwerking. In de financiële analyse is gerekend met diverse marktprijzen om de invloed op de haalbaarheid te onderzoeken.

4 Analyse financiële randvoorwaarden

Met behulp van het model zijn diverse analyses uitgevoerd om belangrijkste parameters te bepalen die van invloed zijn op de rentabiliteit van de hogetemperatuuropslag. In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven. Zoals beschreven in paragraaf 2.1 richt de berekening zich alleen op het effect van een HTO op het aardgasverbruik van de piekketels. Voor de vergelijkbaarheid van de bodemopbouw is voor de berekeningen in dit hoofdstuk steeds dezelfde locatie gebruikt. In dit geval is dat Gorinchem waarbij in de basisvariant steeds de formatie van Maassluis gebruikt wordt voor de HTO. Daarnaast is tenzij anders vermeld een bio-wkk de bron van de duurzame warmte en is de temperatuur van het warmtenet 55°C.

Bij het lezen van dit hoofdstuk is het belangrijk om in het achterhoofd te houden dat de berekeningen gemaakt zijn met behulp van een (grove) modellering van de bodemopbouw in Nederland. Het herhalen van de berekeningen met locatiespecifieke gegevens zullen andere resultaten geven. Deze kunnen weliswaar in absolute waarden afwijken van onderstaande berekeningen maar zullen wel een vergelijkbare generieke tendens laten zien.

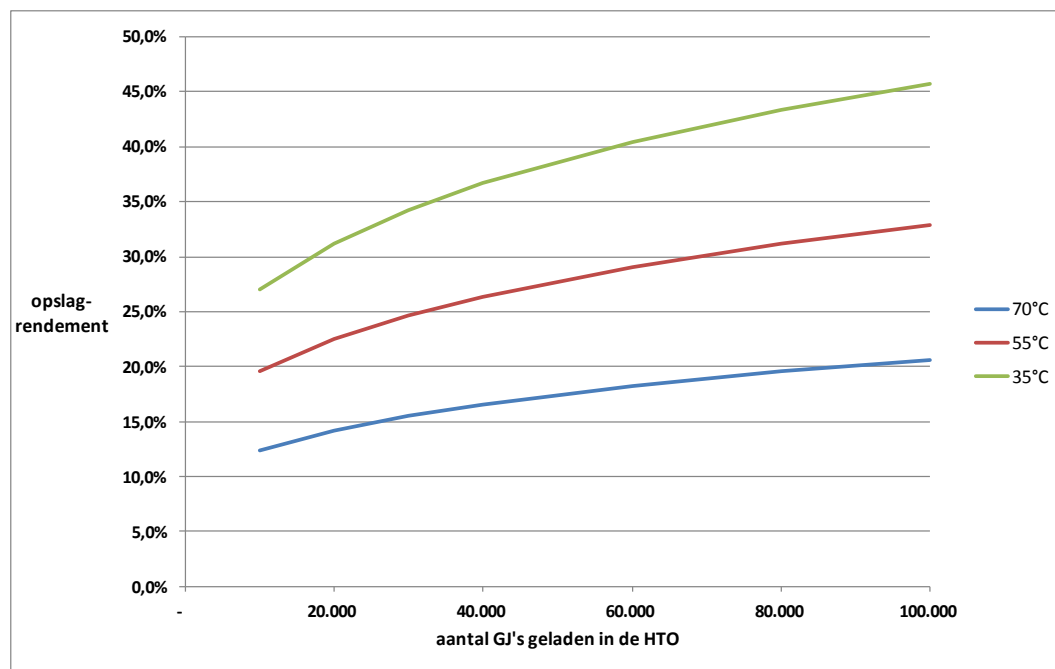
4.1 Afkaptemperatuur

De hoeveelheid warmte die nuttig uit de HTO kan worden onttrokken is afhankelijk van de minimale temperatuur waarop de warmte nog nuttig kan worden gebruikt. Door afkoeling en menging van het opslagen water neemt de temperatuur van de opgepompte warmte af over de maanden. Wordt deze temperatuur lager dan de zogenaamde “afkaptemperatuur” dan is er weliswaar nog warmte in de HTO aanwezig maar deze kan niet meer nuttig gebruikt worden in het warmtenet. Het gevolg hiervan is dat het praktische rendement van de HTO lager is dan het theoretische.

In onderstaande figuur is weergegeven wat de invloed is van de afkaptemperatuur op het opslagrendement. In de figuur is voor een afkaptemperatuur van 35, 55 en 70°C het opslagrendement weergegeven als functie van de hoeveelheid GJ's (van 90°C) die opgeslagen zijn in de HTO.

De figuur laat zien dat het opslagrendement afneemt bij toenemende afkaptemperatuur. Bij een afkaptemperatuur van 70°C komt het opslagrendement alleen bij hele grote projecten boven de 20%. Dit betekent dat in dat geval voor iedere GJ die geleverd wordt uit de HTO er minimaal 5 in de bodem gestopt moeten worden. Zelfs in situaties waarin de restwarmte gratis is resulteert dit niet meer in een rendabel project. Hierdoor is de HTO niet geschikt is voor projecten met een warmtenet van 70°C of hoger.

Vanwege het kunnen leveren van warm tapwater hebben echter de meeste projecten met woningbouw minimaal een leveringstemperatuur van 70°C. Deze projecten zijn om deze reden minder geschikt voor de toepassing van HTO.



Figuur 4.1 Invloed afkaptemperatuur op het opslagrendement

Figuur 4.1 laat verder zien dat het opslagrendement toeneemt bij toenemende projectomvang. Dit komt voornamelijk doordat hoe groter het volume van de bel warmte die opgeslagen is, hoe kleiner het warmteverlies per opgeslagen GJ. Het volume van de bel neemt namelijk toe met de derde macht toe terwijl het warmteverliezende oppervlak kwadratisch toeneemt. Om het warmteverlies laag en het opslagrendement hoog te houden zijn dus grote projecten nodig. Als de opslag van minimaal 50.000 GJ in de HTO als ondergrens genomen wordt dan is een project nodig van circa 4.500 woningen, 350.000 m² kantooroppervlak of een bedrijventerrein van 45 hectare.

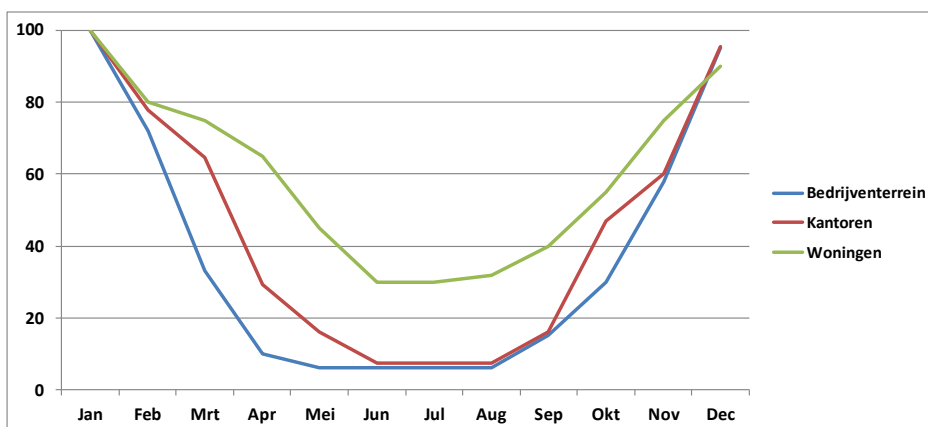
De opslagrendementen in figuur 4.1 zijn bepaald voor één projectlocatie. Het opslagrendement is sterk afhankelijk van de bodemeigenschappen op de projectlocatie. Voor een andere locatie kunnen de opslagrendementen dus wat hoger of lager liggen. Bovenomschreven conclusie is echter voor iedere locatie van toepassing.

4.2 Type afnemers

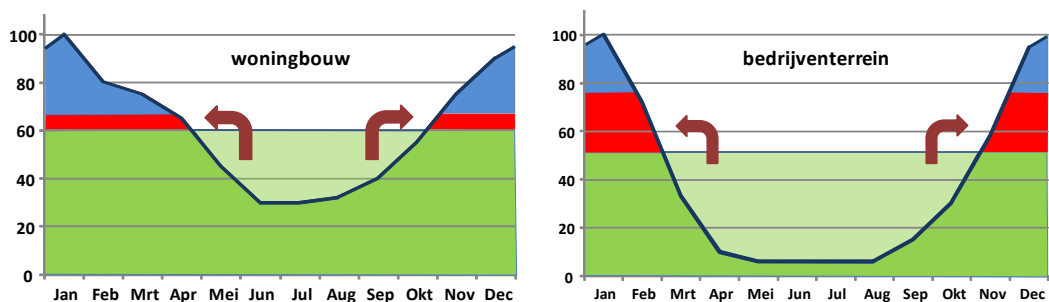
De warmtebehoefte van een warmtenet wisselt sterk over een jaar. Deze is onder te verdelen in warmte voor:

- ruimteverwarming;
- warmte voor het bereiden van tapwater bij de afnemers tapwaterbereiding;
- het compenseren van het warmteverlies van het leidingnet.

De warmtevraag voor tapwater en het warmteverlies is redelijk constant over het jaar terwijl de warmtevraag voor ruimteverwarming fluctueert met de buitentemperatuur. Dit resulteert in een typisch verloop van de warmtevraag over een jaar voor een project met woningen, bedrijven en kantoren. In onderstaande figuur is dit verloop weergegeven.



Figuur 4.2 Verdeling warmtevraag over een jaar



Figuur 4.3 Warmteoverschot in een jaar

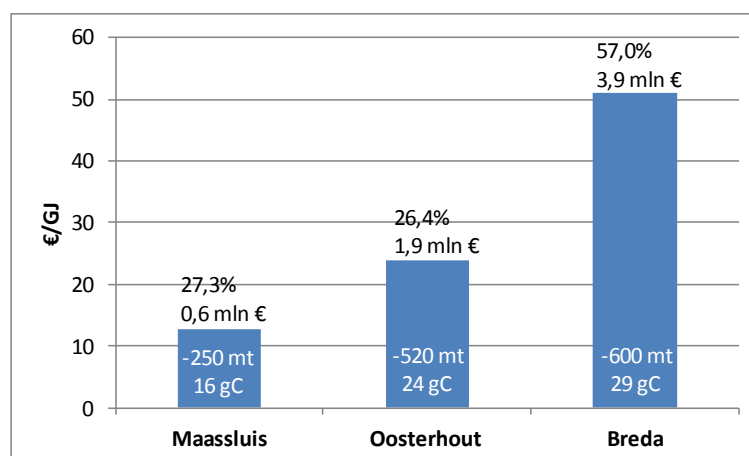
Figuur 4.3 laat zien dat door het verschil in het warmteprofiel er in een project met een bedrijventerrein een veel groter warmteoverschot is dan in een project met alleen woningen. De reden hiervoor is enerzijds dat op een bedrijventerrein geen warmte voor tapwaterbereiding geleverd hoeft te worden en anderzijds dat de verwarming van hallen al bij een buitentemperatuur van ongeveer 10°C wordt uitgeschakeld. Een project met kantoren zal een warmteoverschot hebben dat tussen dat van woningbouw en een bedrijventerrein in ligt. Zo'n project heeft namelijk ook geen behoefte aan warm tapwater, maar zal wel langer warmte voor ruimteverwarming vragen dan een bedrijventerrein.

Een groter warmteoverschot is gunstig voor HTO. Er is namelijk door het relatief lage opslagrendement (zie paragraaf 4.1) en behoorlijke hoeveelheid warmtelevering uit de HTO nodig om deze rendabel te kunnen bedrijven. In een woningbouwproject wordt de beschikbare hoeveelheid duurzame warmte al zodanig goed benut dat er te weinig overblijft voor de HTO. In het geval van woningbouw ligt daarom een combinatie met een bedrijventerrein of een kantoorlocatie meer voor de hand.

4.3 Diepte HTO

Afhankelijk van de locatie waar de HTO toegepast wordt wisselt het aantal en de diepte van de watervoerende lagen die geschikt zijn voor het toepassen van HTO. Iedere laag heeft zijn eigen specifieke kenmerken wat betreft temperatuur, permeabiliteit, dikte, ect. Deze kenmerken van een grondlaag kunnen niet afzonderlijk beschouwd worden maar bepalen gezamenlijk de geschiktheid van de betreffende laag. Zo lijkt een diepere aquifer vanwege de hogere omgevingstemperatuur geschikter dan een ondiepe aquifer maar kan, door bijvoorbeeld een hogere permeabiliteit, toch een opslagrendement hebben dat vergelijkbaar of maar beperkt hoger is dan dat van een ondiepere aquifer. In dat geval weegt de grotere investering die nodig is voor de diepere boring niet op tegen de voordelen van een hogere omgevingstemperatuur.

In onderstaande figuur is voor een woningproject met 4.500 woningen weergegeven wat het effect is op de prijs per GJ van een drietal grondlagen in Gorinchem. Per aquifer is tevens de investering, het opslagrendement en de omgevingstemperatuur weergegeven.



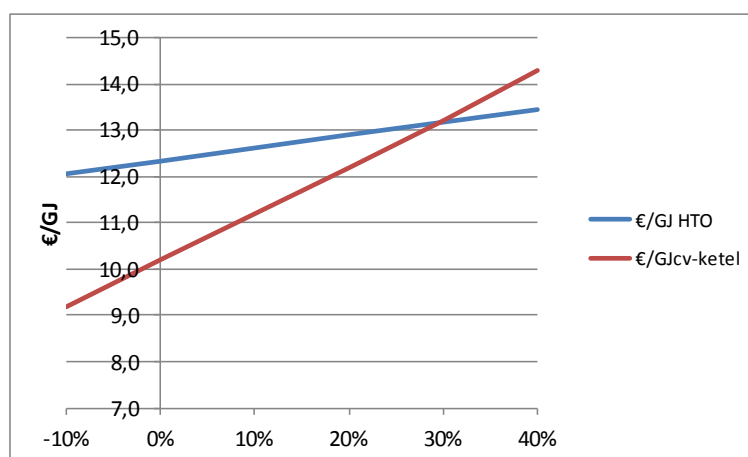
Figuur 4.4 Effect van de diepte van de aquifer

Figuur 4.4 laat zien dat de rentabiliteit van de HTO afneemt met de diepte van de aquifer. Zelfs het hoge opslagrendement van 57% in de Breda-formatie weegt niet op tegen de toename van de investeringskosten. Deze kosten nemen zo sterk toe omdat beneden een diepte van 500 meter er veel strengere veiligheidseisen gesteld worden aan boringen.

4.4 Energieprijsstijging

Zoals bij veel duurzame systemen is de rentabiliteit van HTO sterk afhankelijk van de prijs van conventionele opwekking van warmte. Omdat HTO ingezet wordt als alternatief voor het opwekken van piekwarmte, concurreert HTO met het opwekken van warmte met een gasgestookte cv-ketel. Een HTO heeft als voordeel dat er minder primaire energie verbruikt wordt en is daardoor minder gevoelig voor energieprijsstijgingen.

In figuur 4.5 is het effect van stijgende energieprijzen duidelijk zichtbaar. Hierin is voor een project met 350.000 m² kantoren en een bio-wkk het effect van het stijgen van de energieprijzen (gas en elektra) weergegeven. De grafiek laat zien dat de prijs per GJ voor een HTO minder snel stijgt dan voor een cv-ketel. Hierdoor wordt bij een energieprijzstijging vanaf 30% een HTO financieel concurrerend met de cv-ketel.



Figuur 4.5 Effect van de stijging van energieprijzen

De ontwikkeling van de energieprijzen is niet te voorspellen. De verwachting op basis van de historische trend is dat de prijzen zullen stijgen. Het wordt dan sneller interessant om HTO toe te passen. Bij welke prijsstijging de HTO economisch interessanter is dan de ketel is projectafhankelijk.

4.5 Type warmtebron

De HTO kan worden geladen met warmte uit diverse duurzame bronnen. Voor het rekenmodel is gekozen voor de opties bio-wkk, geothermie en restwarmte.

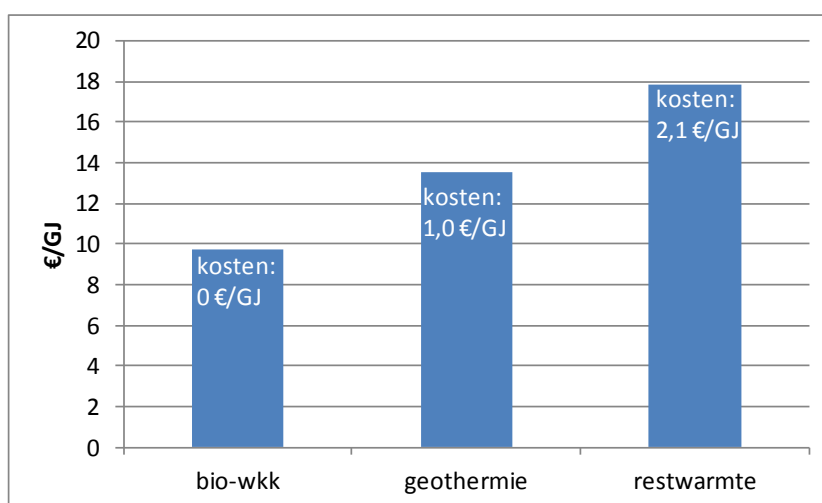
Bij de bio-wkk is het uitgangspunt dat deze in de zomerperiode op vol elektrisch vermogen blijft draaien vanwege de inkomsten vanuit de SDE op elektriciteit. De praktijk is nu dat op het moment dat er geen nuttige toepassing is voor de warmte deze met noodkoelers wordt vernietigd. Deze overtollige warmte wordt in het geval van HTO gebruikt om de bron te laden. In het rekenmodel heeft deze warmte een waarde van 0 €/GJ.

Bij geothermie zal in de zomerperiode de warmtevraag lager zijn dan wat de geothermische bron kan leveren. In dat geval zijn er twee mogelijkheden. In het geval zonder een HTO worden dan de bronpompen teruggeregeld zodat minder water opgepompt wordt. Is er wel een HTO dan kan de overtollige warmte daarin opgeslagen worden. Het voordeel hiervan is dat de (grote) investering in de geothermische bron beter benut wordt. De bronpompen van de geothermische bronnen zullen dan wel meer elektriciteit verbruiken. In het rekenmodel wordt voor geothermie alleen rekening gehouden met de kosten van het extra elektriciteitsverbruik van de bronpompen.

In het geval van restwarmte, bijvoorbeeld van een industrieel proces, zal er ook een warmteoverschot in de zomerperiode ontstaan die opgeslagen kan worden in de HTO.

Omdat het uitgangspunt is dat het industriële bedrijf op enige afstand staat van de woningen, kantoren of bedrijven is rekening gehouden met het elektriciteitsverbruik van de distributiepompen om de restwarmte naar de HTO te transporteren. Omdat er bij de industrie ook nog operationele kosten verbonden zijn aan het ter beschikking stellen van de restwarmte heeft deze in het rekenmodel een waarde van 2 €/GJ.

In onderstaande figuur is voor een project met en een bedrijventerrein van 45 hectare het verschil tussen de verschillende warmtebronnen weergegeven. De figuur laat duidelijk zien dat de prijs van de warmte met de HTO stijgt met het toenemen van de kosten van de overtollige warmte.

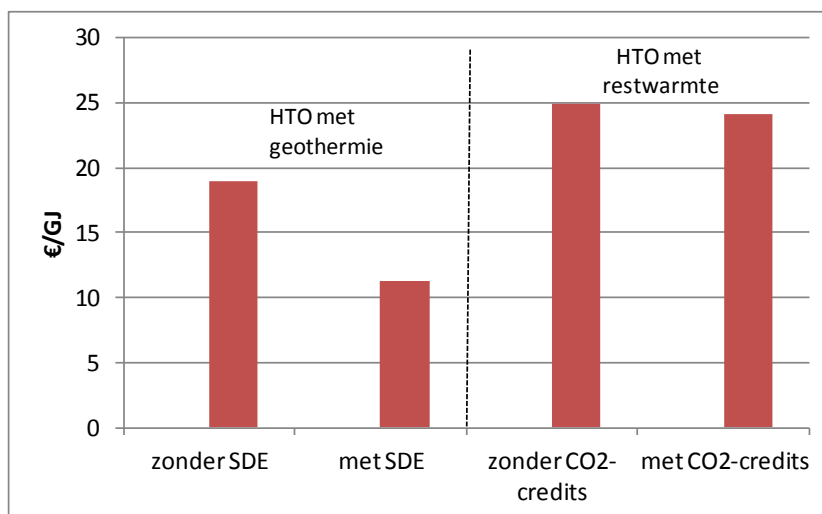


Figuur 4.6 Effect van het type duurzame warmtebron

4.6 Stimuleringsmaatregelen

Het rekenmodel houdt standaard rekening met het voordeel van de Energie Investerings Aftrek (EIA). Geothermie komt mogelijk ook nog voor andere stimuleringsmaatregelen in aanmerking. Specifiek wordt hierbij gedacht aan de SDE op warmte uit een geothermische bron en CO₂-credits die de industrie (of het warmtebedrijf) kan krijgen dankzij de levering van restwarmte.

In onderstaande figuur is voor een project met 4.500 woningen het effect weergegeven van een SDE-subsidie van 5,4 €/GJ of een prijs per CO₂-credit van 20 €/ton.



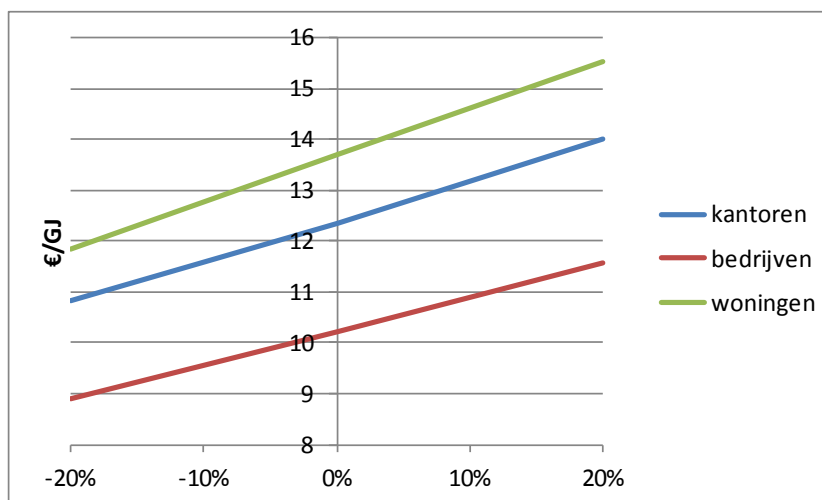
Figuur 4.7 Effect van het type duurzame warmtebron

De figuur laat zien dat het effect van de SDE-subsidie erg groot is. De subsidie is hierbij toegekend aan iedere GJ geothermische warmte die(nuttig) via de HTO geleverd is aan het warmtenet. Maar bij een subsidie van 5,4 €/GJ op een kostprijs van ongeveer 17 €/GJ is niet echt verwonderlijk. De CO₂-credits hebben veel minder impact. Dit komt omdat de CO₂-besparing relatief weliswaar groot is maar in absolute hoeveelheid maar beperkt is.

Toevoeging van stimuleringsmaatregelen hebben dus een positief effect op de rentabiliteit van HTO. De impact van de maatregelen verschilt per duurzame warmtebron.

4.7 Investerings

De warmtekosten van een HTO worden voor een belangrijk deel (ongeveer 45%) bepaald door de kapitaalslasten op de investering. Een mee- of tegenvaller in de investeringen van een HTO zullen daarom een groot effect hebben op de rentabiliteit. In onderstaande figuur is dit voor de drie soorten van projecten weergegeven.

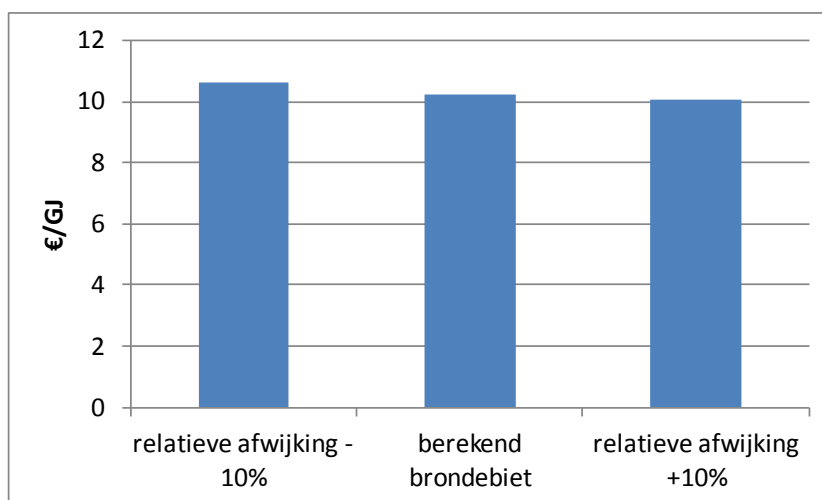


Figuur 4.8 Gevoeligheid investeringsniveau

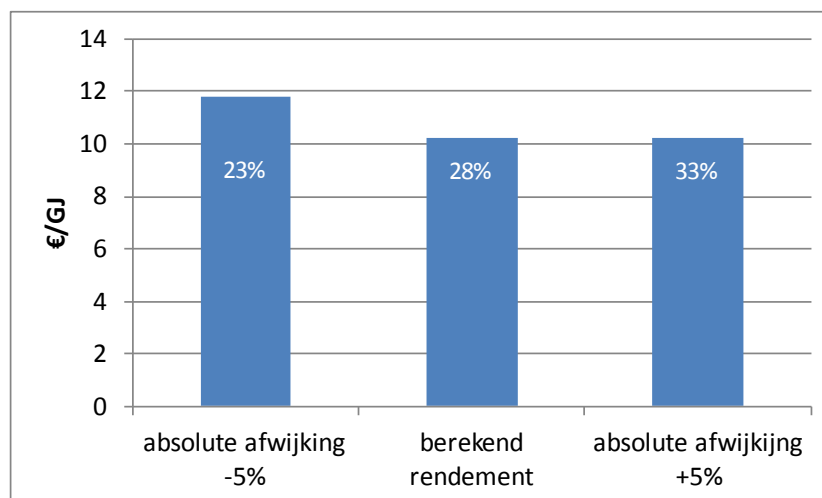
Door tijdens het ontwerpproces voldoende aandacht te besteden aan de kosten voor de HTO en het effect op de warmtekosten, kan deze onzekerheid steeds meer worden beperkt.

4.8 Bronparameters

Bij het aanboren van een aquifer bestaat er altijd een zekere mate van onzekerheid met betrekking tot de daadwerkelijke eigenschappen van de bron. De praktijkwaarden kunnen afwijken van de berekende waarden. In onderstaande figuren is de gevoeligheid weergegeven van een afwijkend brondebiet en opslagrendement.



Figuur 4.9 Gevoeligheid brondebiet



Figuur 4.10 Gevoeligheid opslagrendement

De figuren laten zien dat met name een tegenvallend opslagrendement een grote invloed heeft op de rentabiliteit. Een lager rendement betekent dat er minder GJ's door de HTO geleverd worden terwijl de kapitaalslasten gelijk blijven. Het effect van een beter opslagrendement dan verwacht is verwaarloosbaar omdat de hoeveelheid warmte die maximaal geleverd kan worden uit de HTO niet zo zeer bepaald wordt door de opgeslagen hoeveelheid maar vooral door het profiel van de warmtevraag. Deze laatste wijzigt niet bij een veranderd opslagrendement.

5 Beslisboom hogetemperatuuropslag

De rentabiliteit van HTO blijkt af te hangen van een groot aantal parameters. De parameter met het grootste effect is het opslagrendement. Het opslagrendement is afhankelijk van de bodemparameters en daarmee zeer locatie specifiek. De gepresenteerde rendementen in dit onderzoek zijn niet representatief voor andere locaties dan Gorinchem. De analyse is echter daarvoor bedoeld om de invloedsfactoren op de financiële haalbaarheid van hogetemperatuuropslag inzichtelijk te maken. De exacte hoogte van het rendement is hierbij minder van belang.

Het is essentieel dat het nuttige opslagrendement voldoende hoog is. Hiervoor is het belangrijk dat:

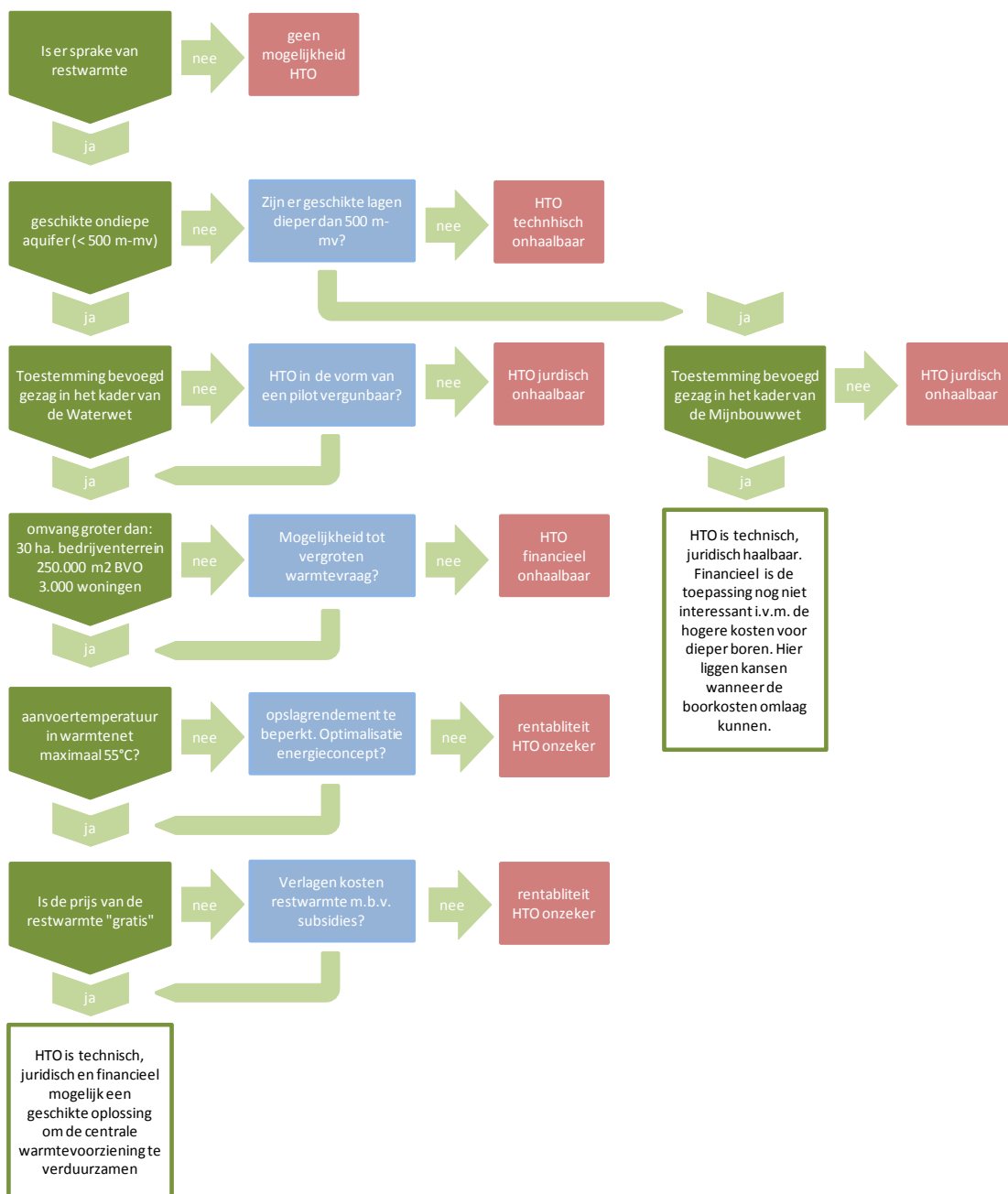
- er een laag met voor HTO geschikte eigenschappen aanwezig is:
 - o voldoende dik
 - o relatief hoge omgevingstemperatuur
 - o beperkte permeabiliteit
- de leveringstemperatuur van het warmtenet maximaal 55°C is
- het warmtenet voldoende groot is (de exacte omvang is locatie afhankelijk):
 - o minimaal ongeveer 3.000 tot 4.000 woningen
 - o minimaal ongeveer 30 tot 40 hectare bedrijventerrein
 - o minimaal 250.000 tot 300.000 m² kantoren
- er in de zomer een groot overschot is aan goedkope duurzame warmte (oplopend in kosten):
 - o restwarmte van een bio-wkk
 - o geothermische warmte
 - o restwarmte van de industrie

Het ondiep realiseren van HTO is interessanter dan dieper boren. Het realiseren van HTO in een laag ondieper dan 500 m-mv is echter in conflict met de voorschriften in de Waterwet. Overleg met bevoegd gezag is noodzakelijk. Meer informatie over het juridisch kader en de te nemen stappen is omschreven in het SKB onderzoek "Juridisch kader hogetemperatuuropslag" met referentie: /61335/RW, d.d. 30 juni 2012.

In een beperkt aantal situaties kan HTO, met bovenstaande uitgangspunten, concurreren met de opwekking van warmte met een cv-ketel. Dit is met name het geval voor grote bedrijventerreinen of voor combinaties van bedrijventerreinen met (een beperkte hoeveelheid) woningen of kantoren. Het is wel de verwachting dat de rentabiliteit van HTO naar de toekomst toe zal verbeteren en ook voor minder grote warmtenetten haalbaar wordt.

Dit omdat het enerzijds te verwachten is dat energieprijzen zullen stijgen en anderzijds doordat door het opbouwen van ervaring met geothermie de investeringskosten kunnen gaan dalen. Daarnaast zullen ook stimuleringsmaatregelen zoals de SDE en CO₂-credits helpen om de haalbaarheid te vergroten.

Boven omschreven conclusies zijn vertaald naar een beslisboom:



Figuur 5.1 Beslisboom

Bijlage 1

Overzicht kentallen onderzoek

Kentallen warmtevraag

Tabel 1 Overzicht warmtevraag bedrijventerrein

omvang warmtevraag	kantoor		hal	
	vermogen [W/m ²]	warmte [kWh/m ²]	vermogen [W/m ²]	warmte [kWh/m ²]
laag	35	45	40	55
middel	45	55	60	65
hoog	55	65	80	75

Tabel 2 Woningbouw nieuwbouw (EPC 0,6) volgens NVN 7125

type	woning			appartement		
	vermogen ¹⁾ [kW/wo]	warmte [MWht/wo]	tapwater [MWht/wo]	vermogen ¹⁾ [kW/wo]	warmte [MWht/wo]	tapwater [MWht/wo]
klein	3,7	3,7 ²⁾	3,6	2,0	2,0 ⁴⁾	2,6
groot	5,5	5,5 ³⁾	4,0	2,5	2,5 ⁵⁾	3,3

1) vermogen gebaseerd op basis van 1.000 vollasturen.

2) gemiddelde warmtevraag van een tussen- en een hoekwoning.

3) gemiddelde warmtevraag van een hoek- en een 2-onder-1-kap woning.

4) warmtevraag o.b.v. galerijflat

5) warmtevraag o.b.v. appartement

Tabel 3 Woningbouw bestaande bouw (o.b.v. gemiddeld gasverbruik)

type	woning			appartement		
	vermogen ¹⁾ [kW/wo]	warmte [MWht/wo]	tapwater [MWht/wo]	vermogen ¹⁾ [kW/wo]	warmte [MWht/wo]	tapwater [MWht/wo]
klein	10,6	10,6 ²⁾	3,6	7,0	7,0 ⁴⁾	2,6
groot	12,7	12,7 ³⁾	4,0	8,4	8,4 ⁵⁾	3,3

1) vermogen gebaseerd op basis van 1.000 vollasturen.

2) gemiddelde warmtevraag o.b.v. 1.500 m³ aardgasverbruik.

3) gemiddelde warmtevraag o.b.v. 1.800 m³ aardgasverbruik.

4) gemiddelde warmtevraag o.b.v. 1.000 m³ aardgasverbruik.

5) gemiddelde warmtevraag o.b.v. 1.200 m³ aardgasverbruik.

Tabel 4 Utiliteit nieuwbouw en bestaande bouw

type	bestaande bouw		nieuwbouw	
	vermogen [W/m ²]	warmte [kWh/m ²]	vermogen [W/m ²]	warmte [kWh/m ²]
overig	60	70	40	50
kantoor	80	90	55	65

Systeemrendementen

COP geothermie	20	
COP hogetemperatuuropslag	40	
COP restwarmte	50	
rendement piekketel	90%	Ho
rendement elektriciteitscentrale	41%	Ho
rendement warmte WKK	50%	Ho
rendement elektriciteit WKK	42%	Ho

Kentallen emissieberekeningen

CO2 emissie o.b.v. gas	1,78	[kg/m ³ a.e.]
CO2 emissie o.b.v. elektra	0,47	[kg/kWhe]
verbrandingswaarde aardgas	8,8	[kWh/m ³]
verbrandingswaarde aardgas	31,65	[MJ/m ³ o.w.]

Financiële kentallen investeringen

boorkosten ondiep (tot 500 m-mv)	500	[€/m]
boorkosten diep (> 500 m-mv)	1.300	[€/m]
bovengrondse installatie (debiet 25 tot 150 m ³ /h)	265-425	[k€/doublet]
reductie bovengrondse installatie bij meerdere doubletten	20%	

Energietarieven

gasprijs variabel deel WKK (geen REB)	0,25	[€/m ³ a.e.]
gasprijs variabel deel ketel tot 170.000 m ³ /jaar	0,39	[€/m ³ a.e.]
gasprijs variabel deel ketel boven 170.000 m ³ /jaar	0,29	[€/m ³ a.e.]
electriciteitsprijs inkoop (all-in) dagtarief	0,09	[€/kWhe]
electriciteitsprijs inkoop (all-in) nachttarief	0,05	[€/kWhe]
electriciteitsprijs verkoop (all-in) dagtarief	0,065	[€/kWhe]
electriciteitsprijs verkoop (all-in) nachttarief	0,045	[€/kWhe]
warmteprijs restwarmte in de zomer	2,00	[€/GJ]

Financiële uitgangspunten exploitatie

onderhoud en beheer opslag < 500 m-mv	6%	[%/investeringen]
onderhoud en beheer opslag > 500 m-mv	2%	[%/investeringen]
CO ₂ credits	10	[€/ton]
onderhoud en beheer Bio WKK	1,8	[€/ct/kWh]
onderhoud en beheer geothermie	(marginaal) 0,0	
onderhoud en beheer restwarmte	(marginaal) 0,0	
onderhoud en beheer ketel	2%	[%/investeringen]
WACC	8%	
afschrijving hogetemperatuuropslag	30	[jaar]
afschrijving ketel	20	[jaar]
afschrijving bio-wkk	12	[jaar]