

HAALBAARHEIDSTUDIE VOOR EEN WARMTENETWERK MET LAGE-ENERGIEWONINGEN ALS VERBRUIKERS EN EEN DIRECTE DIEPE GEOTHERMISCHE INSTALLATIE ALS BRON

Yanick Van Hoeymissen & Louis Ghesquiere

Master Industriële Wetenschappen Electromechanica, GROEP T – Leuven Engineering College
Vesaliusstraat 13, 3000 Leuven

Promotor: Prof. Dr. Ir. Dries Haeseldonckx
Energie, GROEP T – Leuven Engineering College, Vesaliusstraat 13, 3000 Leuven, dries.haeseldonckx@kuleuven.be

Copromotor: Ing. Tom Teunkens
Unit energie, Energieconcepten, Esendonk 4 2370 Arendonk

ABSTRACT

Bij directe diepe geothermie wordt er warm water uit de grond onttrokken. Met deze warmtebron kunnen lage-energiewoningen, door middel van een warmtenetwerk, worden voorzien van verwarming. De fysische en economische haalbaarheid van dergelijk project werd onderzocht voor de Vlaamse Kempen. Een simulatie werd gedaan op basis van een proefboring in Turnhout, die 23 m³/h water op een temperatuur van 37 °C naar het aardoppervlak bracht. Door de noden van de verbruikers en de verliezen van een warmtenetwerk te bestuderen kan worden besloten dat er 121 lage-energiewoningen in het warmtenetwerk geplaatst kunnen worden. De kosten van dergelijke installatie werden vergeleken met de installatiekosten van aardgas en huisbrandolie. Uit de resultaten van deze vergelijking bleek dat een geothermisch project rendabel kan worden na 8 en 18 jaar, voor respectievelijk huisbrandolie en aardgas. Door het ontbreken van een specifieke locatie in deze studie zijn de capaciteiten van de geothermische bron onzeker. Uit verder onderzoek bleek dat vooral het geleverde debiet door de bron en het aantal boorputten veel invloed hebben op de rendabiliteit. Tot slot kon een geothermisch project worden geoptimaliseerd door extra zonnepanelen en een warmtepomp. Mits de gekozen bron genoeg vermogen bezit, is een geothermisch project zowel fysisch als economisch haalbaar in de Vlaamse Kempen.

TREFWOORDEN

Directe diepe geothermie, Sensitiviteitsanalyse, Vlaamse Kempen, Warmtenetwerk

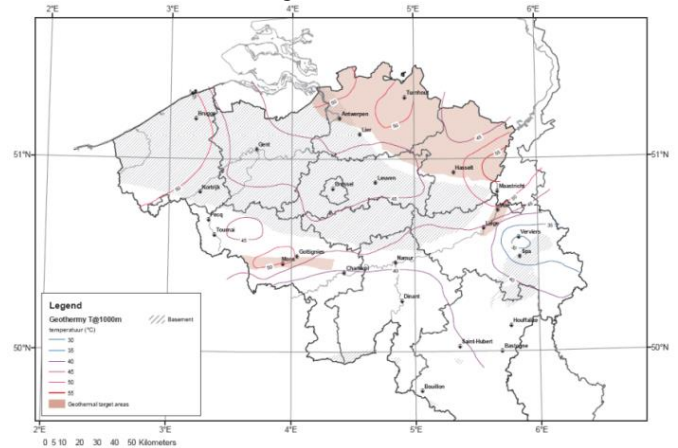
AFKORTINGEN EN SYMBOLEN

<i>Symbool/Afkorting</i>	<i>Betekenis</i>
\dot{m}	Massadebiet [kg/s]
\dot{q}	Warmtehoeveelheid [J/s]
C_p	Soortelijke warmte [J/kg·K]
ΔT	Temperatuur verschil [°C]
h_i	Convectiecoëfficiënt binnenzijde buis [W/m ² K]
h_o	Convectiecoëfficiënt buitenzijde buis [W/m ² K]
k	Conductiecoëfficiënt [W/mK]
D	Buitendiameter [m]
d	Binnendiameter [m]
v	Snelheid [m/s]
l	Lengte buizenetwerk [m]
$\Delta H' f$	Major losses [J/kg]
$\Delta H'' f$	Minor losses [J/kg]
K	K-waarde van een onderdeel
f	Wrijvingscoëfficiënt van Fanning
$NPSH_a$	Net Positive Suction Head available [m]
$NPSH_r$	Net Positive Suction Head required [m]
ρ	Massadichtheid van de vloeistof [kg/m ³]
g	Zwaarteveldsterkte [m/s ²]
WP	Warmtepomp
WW	Warmtewisselaar
ZP	Zonnepaneel

1 INLEIDING

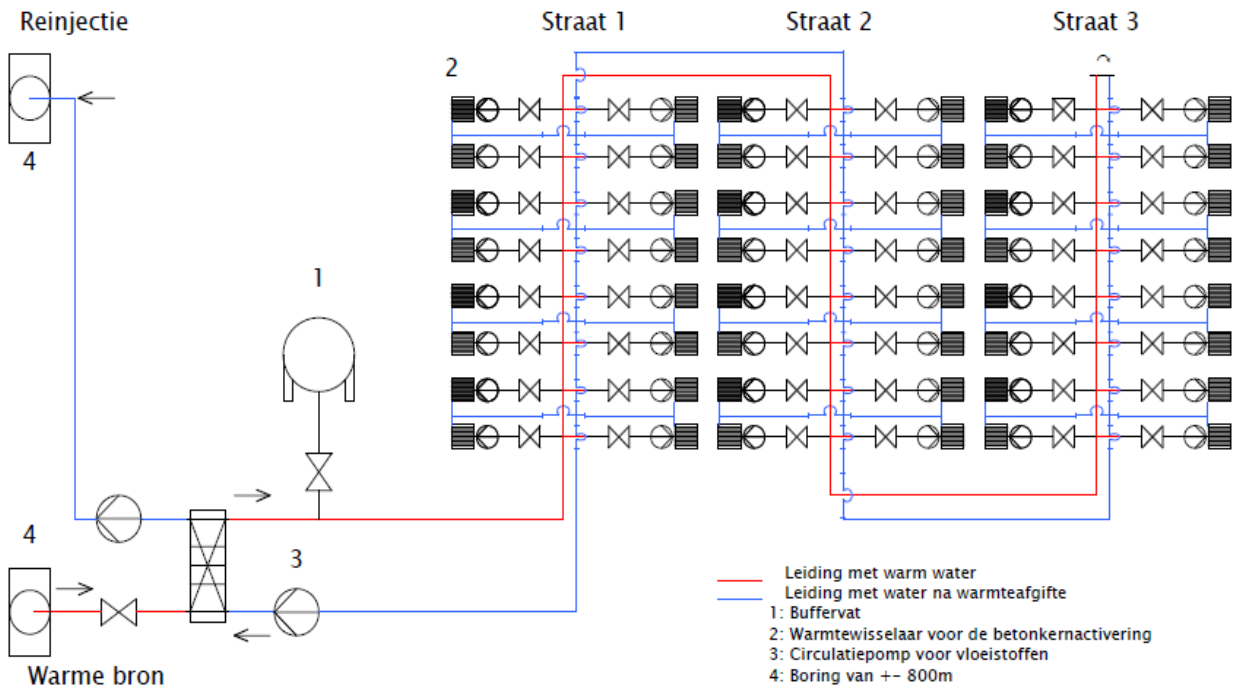
Diepe geothermie duidt op energie winnen uit de bodem op een diepte van minimum 500 m. Deze grens is wettelijk bepaald binnen een land en hangt af van de samenstelling van de bodem. In tegenstelling tot indirecte geometrie, gebeurt directe geothermie zonder een warmtepomp. Het doel van deze studie is de fysische en economische haalbaarheid onderzoeken van een eventuele directe diepe geothermische centrale die een warmtenetwerk aanstuurt en zo enkele K30-lage-energiewoningen van warmte kan voorzien. Er is bij deze studie enkel gefocust op de Vlaamse Kempen, omdat daar de meest geschikte bodem aanwezig is, zoals kan gezien worden in Figuur 1 waar in het roze de doelgebieden zijn aangeduid voor directe diepe

geothermie (1). De bodems van deze gebieden bezitten hogere warmtefluxen, wat wil zeggen dat de hoeveelheid warmte die door het oppervlakte stroomt, hoger ligt in deze gebieden dan in de overige gebieden van Vlaanderen. Een bodem is geschikt voor geothermie indien het een zandlaag bezit. Water kan makkelijker door een zandlaag stromen, die is ingesloten tussen twee minder doorlatende kleilagen (2).



Figuur 1: warmteflux verdeling over Vlaanderen (1)

Door middel van de spuitboorteknik, de goedkoopste en meestal ook de snelste techniek (3), wordt een put geboord van ± 800 m diep naar een waterhoudende laag. Het water zal door de ondergrondse druk in de laag deels zelfstandig naar het aardoppervlak komen. Er zal echter nog een pomp vereist zijn om de leidingverliezen op te vangen (4). Het warme water dat uit de boring omhoog komt, stroomt door een warmtewisselaar en moet na warmteafgifte terug worden geïnjecteerd in de aarde, om de ondergrondse waterhoeveelheid in balans te houden. Dit gebeurt door middel van één of meerdere reinjectieboringen naar gelang de absorbeerbaarheid van de bodem (4) (1). De warmtewisselaar aan de bron zorgt voor de warmteoverdracht van het grondwater naar een warmtenetwerk en zorgt ook voor een fysische scheiding tussen de bron en het warmtenetwerk om de schade aan de leidingen door het vervuilde grondwater te beperken. Het warmtenetwerk is een buizensysteem dat de warmte verdeelt gebruik makend van leidingen onder de grond en transporteert het warme water, met behulp van een pomp die de leidingverliezen opvangt, naar K30-lage-energiewoningen. Deze woningen gaan op hun beurt warmte van het netwerk aftappen via een warmtewisselaar. Omdat er is gefocust op een gemiddelde warmtevraag, is het warmtenetwerk ook voorzien van een buffervat, om piekvragen op te vangen. Figuur 2 is een vereenvoudigde weergave van het schema met de componenten.



Figuur 2: vereenvoudigd prinseschema van het standaard geothermisch systeem

In het verleden hebben er al enkele proefboringen plaatsgevonden rond de Vlaamse Kempen, zoals een boring in Meer, met een diepte van 1000 m kon deze boring 12 m³/h water van 37 °C naar het aardoppervlak brengen (1). Een andere proefboring in Turnhout bleek echter beter aan te sluiten bij deze studie doordat de diepte op 800 m lag, deze gaf een debiet van 23 m³/h en een watertemperatuur van 37 °C aan het aardoppervlak (5). Er is ook onderzocht wat er gebeurt indien de bron minder oplevert en wat indien het water zuiverder is, het opgeboorde water in Turnhout was sterk vervuild met zouten (5). Via synthetische lastprofielen, documenten die de energievraag per huis per uur bevatten, werd ondervonden wat het kritische verbruik van één K30-lage-energiewoning is. Bij dit verbruik is de gelijktijdigheidsfactor, een statistische factor die aangeeft dat niet alle huizen die gekoppeld zijn aan het netwerk gelijktijdig het kritische debiet nodig hebben, in rekening gebracht. Het resultaat was dat 121 lage-energiewoningen aan de bron in Turnhout aangesloten konden worden.

2 LITERATUURSTUDIE

2.1 Vlaamse Kempen

De regio voor deze studie beperkte zich tot de Vlaamse Kempen. Enerzijds omdat het bedrijf Energieconcepten, de opdrachtgever van deze studie, zich daar bevindt. Anderzijds bezit deze regio ook de hoogste warmteflux van België. Er komt dus meer warmtevermogen uit de bodem, wat het aantal potentiële verbruikers of woningen verhoogt. Voor geothermie in de regio Kortrijk-Gent-Brussel zal veel dieper geboord moeten worden (5).

2.2 Directe diepe geothermie

Via een diepe boring (± 800 m) wordt er warm water onttrokken uit de bodem. Nadat het grondwater warmte heeft afgegeven moet het verplicht worden gereïnjecteerd in de bodem (1). De afstand tussen de opboorput en de re-injectieput moet minimaal 1.500 m bedragen, zodat het warmtefront van de opboorput niet beïnvloed wordt (5). Door de druk in de aarde wordt het ondergrondse water naar het aardoppervlak gestuwd (1). Om de stuwkracht van het water te vergroten, moest er een pomp geplaatst worden op een diepte van 40 m. Aan de re-injectieput moet er een minimale druk zijn van 1 bar om het water helemaal naar beneden te stuwen (4).

2.3 Warmtenetwerk

Het warmtenetwerk zorgt voor transport van het warme water naar de verbruikers. Het is fysisch gescheiden van het water dat opgepompt werd uit de boorput door middel van een warmtewisselaar. Het warmtenetwerk wordt beschouwd als een gesloten kring. Na warmteafgifte aan de huizen wordt immers hetzelfde water opnieuw verwarmd met het warme water van de bron. Het warmtenetwerk wordt in deze studie beschouwd als het primaire netwerk. Aan elk huis staat ook een warmtewisselaar die het primaire van het secundaire netwerk scheidt. De warmtewisselaar aan de bron heeft een temperatuurterugval van 1 °C en kan met een debiet van 23m³/h werken (6). De warmtewisselaars aan de huizen hebben echter een temperatuurterugval van 11 °C (6), omdat deze veel minder contactoppervlakte hebben. Beide warmtewisselaars zijn platenwarmtewisselaars, deze worden veel gebruikt in toepassingen met warmtenetwerken (7) (8) (9) en zijn zeer efficiënt bij het uitwisselen van warmte in een fluidum-fluidum situatie (10). Bij de start van beide netwerken (primaire en

secundair) moet een pomp geplaatst worden die de leidingverliezen en ook de drukval over de warmtewisselaars compenseert.

2.4 Lage-energiewoningen

Dit onderzoek richtte zich specifiek op lage-energiewoningen. De reden hiervoor is dat lage-energiewoningen, of in dit specifieke onderzoek K30-lage-energiewoningen, slechts lage watertemperaturen nodig hebben om verwarming te voorzien. Een K30-lage-energiewoning kenmerkt zich door haar lage energievraag. Deze moet voor verwarming en koeling kleiner zijn dan, of gelijk zijn aan 30 kWh/m² per jaar (11). Een K30-lage-energiewoning is verder luchtdicht en compact gebouwd.

2.5 Betonkernactivering

Het type verwarmingssysteem dat gebruikt werd in de K30-lage-energiewoningen is betonkernactivering. Hierbij wordt een betonplaat opgewarmd gebruik makend van een leidingensysteem dat in de betonplaat ligt. Deze betonplaat kan in het plafond geplaatst worden, zodat deze langs beide kanten warmte kan afgeven. Het voordeel van betonkernactivering is dat het met lage watertemperaturen een huis kan verwarmen, zo zijn watertemperaturen tussen 29 °C (verwarmen) en 18 °C (koelen) al voldoende om een K30-lage-energiewoning te verwarmen/koelen (12). Betonkernactivering kan beschouwd worden als een warmtewisselaar met een temperatuurval van 4 °C (13) en werd in deze studie beschouwd als het secundaire netwerk. De lage snelheid waarmee de ruimte wordt opgewarmd, is echter een nadeel van betonkernactivering.

3 METHODOLOGIE

Hier wordt de methode gegeven die gevolgd is om tot de resultaten te komen. Het standaard geothermisch systeem, zonder uitbreidingen zoals zonnepanelen en warmtepomp, wordt hier bepaald op basis van de proefboring in Turnhout.

3.1 Randvoorwaarden en hypothesen

Alvorens de haalbaarheid kan worden onderzocht, dienen enkele parameters te worden bepaald. Ook de drukval in de leidingen, temperatuurverliezen en debieten moeten berekend worden. De veronderstelde prijzen en fysische aspecten moesten worden bepaald alvorens er resultaten konden worden berekend. Dit kon door een wiskundige benadering van het geothermisch systeem te maken.

3.1.1 Boring

De eerste parameters die werden aangenomen zijn de kosten van het onderhoud van de boorputten en de leidingen. Deze werden geschat tussen € 2.000 en € 10.000 per jaar (4). Dit interval werd gekozen gezien de variatie die er kan zijn in de graad van vervuiling bij het opgeboorde water. Dit keert ook terug bij de kosten per boorput en zal tussen € 300.000 en € 600.000 schommelen (4). In de standaard geothermische

installatie is gewerkt met twee putten. Eén om het water te onttrekken uit de bodem en één om te re-injecteren. Soms is echter de permeabiliteit van de grondlaag te slecht waardoor er meerdere re-injectieputten geboord moeten worden (4).

3.1.2 Energieprijzen

Om de geothermische installatie te vergelijken met andere energiebronnen moesten de klassieke energiebronnen ook bepaald worden. Al deze waarden zijn terug te vinden in Tabel 1. Met de som van de waarden per energiebron kan de werkings- en investeringskost van een aantal individuele installaties bepaald worden.

Tabel 1: aannamen i.v.m. energie

Type aannname	Geselecteerde waarde
Elektriciteitsprijs	€ 0,15 /kWh (14)
Aardgasprijs	€ 0,08 /kWh (15) (16)
Huisbrandolieprijs	€ 0,09 /kWh (17)
Kosten aardgasinstallatie	€ 4900 (18) (17)
Rendement	96% (19)
Aardgasinstallatie	
Onderhoudskosten	€ 75 /jaar (20)
aardgasinstallatie	
Kosten huisbrandolie installatie	€ 7200 (21) (22) (23)
	(18)
Rendement huisbrandolie-installatie	98% (24)
Onderhoudskosten	€ 75 /jaar (20)
huisbrandolie-installatie	
Prijsstijging huisbrandolie per jaar	2,58% (25)
Prijsstijging aardgas per jaar	3,94% (25)
Prijsstijging elektriciteit per jaar	2,32% (25)

3.1.3 CO₂-uitstoot

Om de CO₂-besparing te bepalen, zijn ook enkele aannamen gedaan. Voor de CO₂-bepaling van directe diepe geothermie is uitgegaan van een uitstoot veroorzaakt door de elektriciteit van de pompen. De indirecte CO₂-uitstoot is niet berekend omdat deze niet relevant is voor deze studie. De aangenomen uitstoot van elke andere energiebron is te vinden in Tabel 2.

Tabel 2: CO₂-uitstoot per energiebron (26)

Type energiebron	CO ₂ uitstoot
Elektriciteit	0,3 kg CO ₂ /kWh (27) (28)
Aardgas	1,9 kg CO ₂ /m ³ (29) (30)
Huisbrandolie	2,9 kg CO ₂ /l (29)
Zonnepanelen	60 g/kWh (31) (32) (33)

3.1.4 Warmtenetwerk

Ook het warmtenetwerk en de regeling ervan zijn bij benadering bepaald. In het standaard geothermisch systeem werden enkel de belangrijkste zaken geselecteerd. Omdat er geen specifiek gebied of bouwgrond werd aangeduid voor dit onderzoek werd er gerekend met een fictief gebied dat is gekenmerkt door de parameters uit Tabel 3. Deze geeft een visueel beeld van hoe het fictief netwerk is opgebouwd.

Tabel 3: benaderende parameters warmtenetwerk

<i>Type aanname</i>	<i>Geselecteerde waarde</i>
Aantal huizen per straat	40
Afstand tussen bron en injectie	1.500 m
Afstand tussen bron en begin van warmtenetwerk	2.500 m
Breedte huis	9 m
Afstand tussen twee straten	100 m
Extra marge	50 m
Totale lengte van warmtenetwerk	5.813 m

Ook zijn de leidingen voor het warmtenet op een diepte van 80 cm geplaatst waar de omgevingstemperatuur 6 °C bedraagt en niet afhankelijk is van het seizoen (34). Er is gekozen om te werken met stalen buizen (35) die

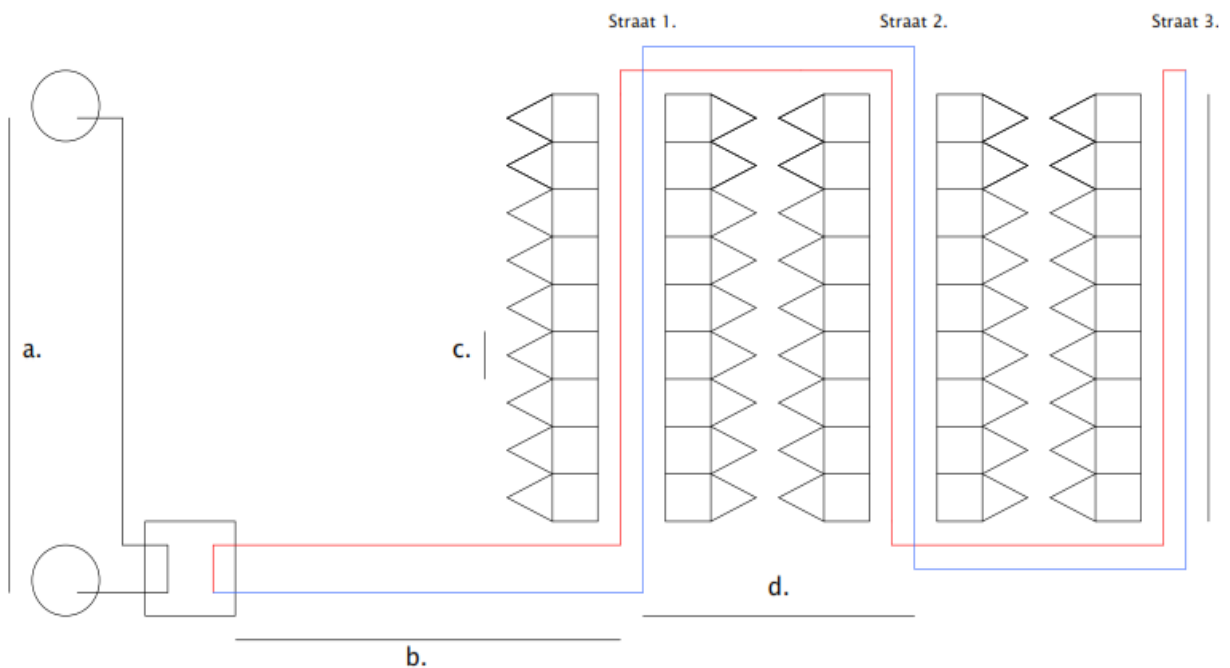
voorzien zijn van een PUR-isolatielaag, een ideaal buistype voor warmtenetwerken (36) (37). Er is in overleg met Energieconcepten gekozen om te werken met een watersnelheid van 1 m/s (38).

3.1.5 Warmtepomp

Als uitbreiding op het standaardsysteem zal ook onderzocht worden wat de situatie is indien er een warmtepomp geplaatst wordt, dewelke aan de bron geplaatst wordt omdat daar de energie van het water hoog is. Een warmtepomp levert extra energie aan een systeem doordat het de vloeistof in een kringproces stuwt. Door dit kringproces krijgt de vloeistof meer energie en kan het in deze toepassing meer lage-energiewoningen voorzien van warmte. Wel moet in rekening worden gebracht dat er hier geen sprake meer is van directe geothermie maar van indirecte.

Tabel 4: aannamen Warmtepomp

<i>Warmtepomp</i>	<i>Gekozen waarde</i>
Thermisch vermogen (kW)	160 (39)
Elektrisch vermogen (kW)	36 (39)
Kostprijs	€ 40.000 (38)
Onderhoudskosten	€ 280/jaar (40)



Figuur 3: visualisatie netwerk

3.1.6 Zonnepanelen

Nog als extra uitbreiding is de mogelijkheid om zonnepanelen te plaatsen onderzocht. Dit om het project CO₂-neutraler te maken en om de afhankelijkheid van de elektriciteitsprijzen te verminderen. Wel dient er in rekening gebracht te worden dat zonnepanelen een indirecte CO₂-uitstoot hebben en dus niet compleet CO₂ vrij zijn. Er is berekend hoeveel vermogen aan zonnepanelen er nodig is in het geothermisch systeem. De veronderstellingen voor de zonnepanelen zijn weergegeven in Tabel 5.

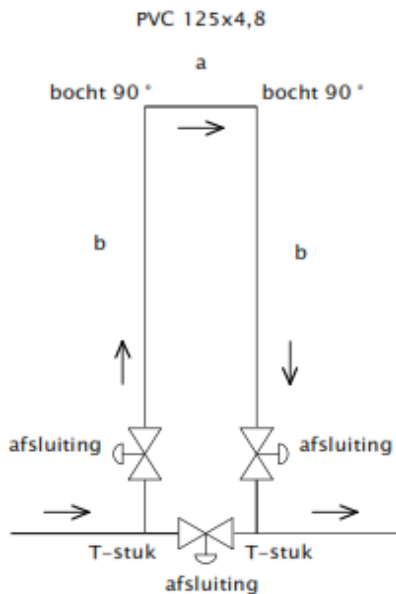
Tabel 5: prijsveronderstelling zonnepanelen

Type kost	Prijs
Verzekering zonnepanelen	€ 200 /woning (41)
Installatiekosten	€ 2 /Wp (42)

De zonnepanelen zijn niet exact berekend op de energievraag van de pompen. Ze leveren soms te veel elektriciteit waardoor deze elektriciteit verkocht kan worden om in gevallen van weinig zon weer elektriciteit te kunnen aankopen.

3.1.7 Koeling

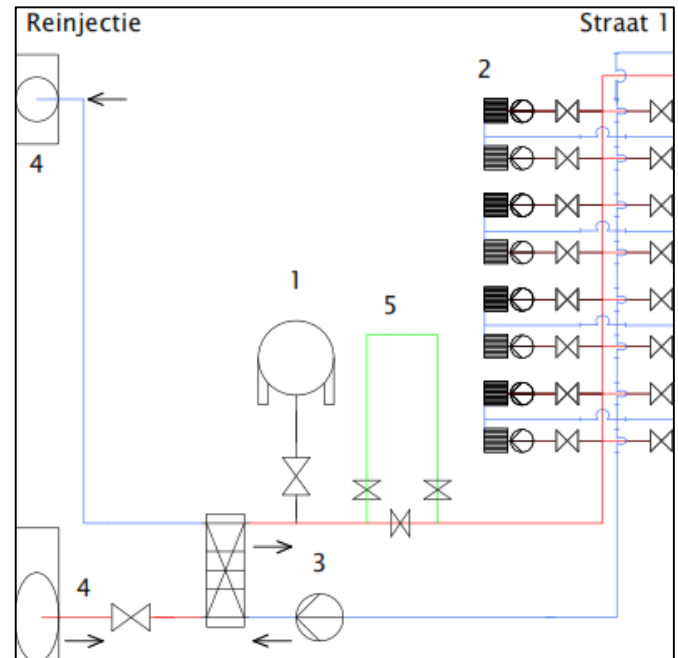
Als uitbreiding werd het standaard systeem voorzien van koeling. Omdat goed geïsoleerde huizen vaak te kampen hebben met hoge temperaturen tijdens de zomermaanden, is koeling van deze huizen noodzakelijk. Deze koeling werd mogelijk gemaakt door een extra vertakking aan het standaard warmtenetwerk. Deze extra vertakking verlengde het totale netwerk en bracht bijgevolg extra warmteverliezen met zich mee. Deze vertakking bestond niet uit geïsoleerde PUR-leidingen maar uit PVC-buizen, zodat de warmteverliezen sneller effect hebben.



Figuur 4: detail extra koelnetwerk

Tabel 6: legende van Figuur 5

Nr.	Onderdeel
1	Buffervat
2	WW huis
3	Grote pomp
4	Boorput van ± 800 m
5	Extra koelvertakking



Figuur 5: een deel van het prinseschema met koelnetwerk

Wanneer de koeling wordt ingeschakeld wordt allereerst de warmtebron afgesloten worden door een schakelaar. Vervolgens gaat het extra koelingsnetwerk open. Figuur 4 geeft het schematisch overzicht van het extra koelingsnetwerk weer, Figuur 5 laat zien waar het extra koelnetwerk zich bevindt in het prinseschema. De berekeningen voor het koelnetwerk komen later in deze studie aan bod. Deze manier van koelen zal vergeleken worden met een airconditioninginstallatie, waarvan de gebruikte parameters voor de kostprijsberekening worden weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7: aannamen airconditioning

Beschrijving	Waarde
Gemiddeld elektrisch verbruik	2.120 kWh
Totale kostprijs installatie	€ 2.954 (43)
Kost verbruik	€ 318 (44)
Onderhoudskosten	€ 85 /jaar (45)
Totale kosten eerste jaar	€ 3270
Kosten vanaf tweede jaar	€ 403
Levensduur	15 jaar (43)

3.2 Verbruik

Om de verbruiker te definiëren is eerst de warmtevraag onderzocht. Zo is een bepaald debiet bekomen en zijn de leidingen geselecteerd uit een catalogus.

3.2.1 Synthetische lastprofielen

Dit zijn profielen die weergeven hoeveel een huishouden per uur procentueel verbruikt. Zo kon het kritische debiet bepaald worden, aangezien het totale verbruik van een K30-lage-energiewoning berekend kan worden door het vermenigvuldigen van 30 kWh /jaar en het verwarmde oppervlak, dat 140 m² bedraagt (38). Via formule (II) kan het massadebiet voor het kritische moment bepaald worden.

$$\dot{m} = \frac{\dot{q}}{C_p \cdot \Delta T} \quad (\text{II})$$

Hierbij moest echter ook de gelijktijdigheidsfactor in rekening gebracht worden om tot een meer realistisch aantal afnemers te komen. Deze factor streeft naar 0.75 als er oneindig huizen aan het netwerk worden gekoppeld (46).

3.2.2 Debiet

Aangezien alle debieten (bron en huis) gekend waren kon er berekend worden hoeveel huizen er aan eenzelfde bron gekoppeld konden worden. Het debiet van de bron werd vergeleken met het product van het aantal huizen, de gelijktijdigheidsfactor (GF) en het kritische debiet (KD) van elk huis. Uit deze berekening blijkt dat er 121 huizen aan de geothermische bron gekoppeld kunnen worden (III).

$$\text{aantal huizen} = \frac{\dot{m}_{\text{bron}}}{KD \cdot GF} \quad (\text{III})$$

3.3 Temperatuurverlies

Het is belangrijk dat het water van het laatste huis in het warmtenetwerk, het kritische huis, nog voldoende warm is namelijk 29 °C in het slechtste geval. Hiervoor is de temperatuur van het water meer in detail onderzocht. Dit is gebeurd door de convectie en de conductie van de leiding te bepalen met de buitenwand.

3.3.1 Leidingen

Als eenmaal de debieten gekend zijn, kan een geschikte leiding gekozen worden. De leidingen werden gekozen uit een catalogus van geïsoleerde leidingen. De leidingen werden voorzien van een PUR-isolatie (47). De binnendiameter werd berekend met formule (V). Vervolgens werd een binnendiameter gekozen uit een catalogus (48), die het dichtst de berekende waarde

benadert. De buitendiameter volgde ook uit de catalogus, bij elke binnendiameter hoorde een buitendiameter. Na berekening werd er een binnendiameter van 125 mm bekomen en een buitendiameter van 225mm. De onttrokken warmtehoeveelheid per 100 m leiding werd via formule (IV) berekend

$$Q = \frac{T_{in} - T}{\frac{1}{h \cdot \pi \cdot d} + \frac{1}{k \cdot \pi \cdot 2} \cdot \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{h_o \cdot \pi \cdot D}} \cdot 100 \quad (\text{IV})$$

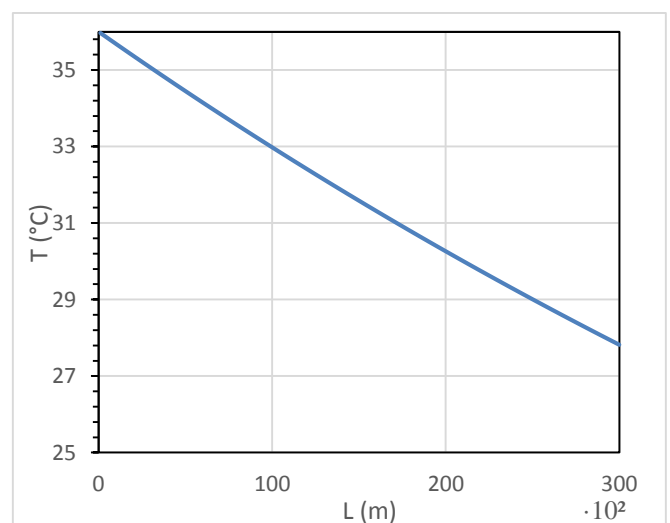
$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot v}} \quad (\text{V})$$

3.3.2 Maximale lengte netwerk

Via de onttrokken warmtehoeveelheid kan vervolgens de daling van de temperatuur worden berekend via formule (VI).

$$T_{uit} = T_{in} - \frac{Q_{\text{per } 100m}}{C_p \cdot \dot{m}} \quad (\text{VI})$$

Nadat per 100 m de temperatuurverliezen werden bepaald, kon de maximale lengte van het netwerk bepaald worden aangezien ook de minimale temperatuur aan de ingang van een betonkernactivering gekend is, namelijk 29 °C (12). Daaruit blijkt dat de temperatuur niet meteen een beperkende factor zal zijn voor het warmtenet aangezien het netwerk maximaal 25 km lang mag zijn, wat ruim voldoende is voor dit onderzoek.



Figuur 6: temperatuurverliezen

3.4 Drukval

Ook de druk dient onderzocht te worden in het warmtenetwerk, daarom werden de leidingverliezen berekend. Dit werd gedaan via formule (VII) voor de major-verliezen, wrijvingsverliezen tussen het water en de wand van de leidingen. Ook de minor-verliezen, verliezen ten gevolge van obstakels als kranen en bochten, zijn berekend via formule (VIII).

$$\Delta H' f = \frac{4 \cdot f \cdot l \cdot v^2}{2 \cdot D} \quad (\text{VII})$$

$$\Delta H'' f = \sum K \cdot \frac{v^2}{2} \quad (\text{VIII})$$

De totale verliezen werden berekend door major verliezen, minor verliezen en de drukvallen over de warmtewisselaars (6) om te zetten en op te tellen. Bij deze berekeningen zijn de K-waarden uit Tabel 8 gebruikt. Ook voor het extra koelnetwerk, dat later aan bod komt, zijn deze waarden gebruikt.

Tabel 8: aangenomen k-waarden (49)

<i>Naam</i>	<i>Waarde</i>
K-waarde T-stuk (vertakking)	1
K-waarde T-stuk (samen)	0,4
K-waarde afsluiting	3,2
K-waarde bocht	0,6

Door deze resultaten kon een pomp gekozen worden voor het primaire netwerk. De totale drukval voor het primaire netwerk bedraagt 420 kPa. Via enkele leveranciers is er een pomp geselecteerd met een opvoerhoogte van 49,5 m (50). Ook de pomp aan de huizen in het secundaire netwerk is op dezelfde manier bepaald. Deze pomp moest een druk kunnen opvangen van 32,5 kPa. Er werd gekozen voor een pomp met een opvoerhoogte van 4,08 m (51). Voor beide pompen is de $NPSH_A$ groter dan de $NPSH_R$. De $NPSH$ controle moet worden uitgevoerd om zeker te verhinderen dat er geen cavitatie optreedt in de pomp.

3.5 Regeling

Voor de regeling van het warmtenetwerk is de circulatietijd van het water berekend, $\text{circulatietijd} = v \cdot l$. Om te achterhalen hoe snel het water van de warmtebron naar het kritische huis stroomt, wordt de totale lengte door twee gedeeld. Tabel 9 geeft de bekomen waarden weer. Het deel met koeling komt later in de studie aan bod, aangezien eerst het standaard geothermisch systeem beschreven wordt. Voorlopig worden deze waarden aangenomen.

Tabel 9: circulatietijd

<i>Type</i>	<i>Circulatietijd</i>	<i>Kritisch huis</i>
Zonder koeling	1:43:05	0:51:33
Met koeling	2:02:36	1:01:18

Deze waarden zijn vooral belangrijk wanneer er een omschakeling gebeurt tussen koelen en verwarmen. Uit Tabel 9 valt af te leiden dat de koeling niet dezelfde reactietijd heeft als een airconditioning in een huis.

3.6 Andere componenten

Omdat de geothermische centrale niet bepaald is op het piekverbruik, moet er nog een buffervat voorzien worden. Dit is gebeurd door het piekvermogen te halen uit de synthetische lastprofielen en het te vermenigvuldigen met het aantal verbruikers en hiervan 75% te nemen (52), deze 75% omvat de gelijktijdigheidsfactor. Om de inhoud van het buffervat te bepalen moet het piekvermogen vermenigvuldigd worden met 25 omdat er ongeveer 25 l/kW wordt voorzien (53). Op die manier wordt een buffervat van 4.000l bepaald. Er werd ook geregeld gebruik gemaakt van verschillende bolkranen. Deze zijn net als alle andere componenten voorzien van een automatische sturing. Om de huizen te voorzien van sanitair warmwater en om het huis snel te verwarmen wanneer er lange tijd niemand aanwezig was, is een zonneboiler voorzien (38). Deze wordt verder niet besproken of berekend.

3.7 Kostprijs geothermische installatie

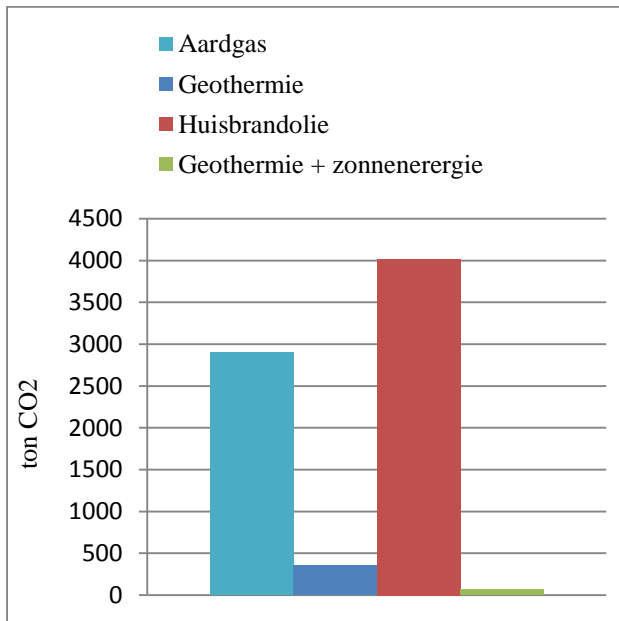
De kosten van de componenten werden voornamelijk verkregen bij sectorgebonden bedrijven. Ze zijn weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10: kosten van alle componenten in de basis-installatie

<i>Onderdeel</i>	<i>Eenheidsprijs (€)</i>	<i>Totale prijs(€)</i>
Buffervat 4.000 l	4.995 /stuk (38)	4.995
Isolatie buffervat	1.762 /stuk (38)	1.762
Leidingen	35,56 /12 m (48)	17.246,6
Levering leidingen	280 (48)	280
Mof voor leidingen	59,79 /stuk (48)	28.998,15
Bocht leidingen	143,32 /stuk (48)	716,6
Muurdoorgangmantel	9,37 /0.05m (48)	1.405,5
Expansiekussen	26,45 /stuk (48)	132,25
Eindkrimpmoffen	34,35 /stuk (48)	16659,75
Pomp	2.518,4 /stuk (51)	2.518,4
Pomp huis	345 /stuk (50)	41.745
Warmtewisselaar bron	22.900 /stuk (6)	22.900
Onderhoudskosten warmtenetwerk	7.500 / jaar (4)	7.500
Warmtewisselaar huis	185 /stuk (6)	22.385
Boring	400.000 /2boringen (4)	800.000
Plaatsing leidingen	30 /m (38)	174390
Kosten studie	7.500 /stuk (4)	7.500
Totaal		1.564.342
Prijs per huis		12.928

3.8 CO₂ uitstoot

In deze paragraaf van de studie wordt de besparing aan CO₂ uitstoot berekend, Tabel 2 geeft de hoeveelheid uitstoot voor elke gebruikte energiebron weer. Deze uitstoot wordt vervolgens vermenigvuldigd met het verbruik van alle 121 afnemers. Bij het standaard geothermische systeem wordt een gelijkaardige berekening uitgevoerd voor de 121 individuele pompen. Hun benodigde kWh is gekend uit hun datasheets (51), via Tabel 2 kan zo hun uitstoot worden bepaald. Ook de uitstoot van de pomp aan de bron wordt hierbij opgeteld. Voor alle energievormen wordt een periode van 30 jaar verondersteld. Deze berekening resulteert in Figuur 7, waaruit af te leiden valt dat geothermie een CO₂-besparing geeft. De uitbreiding waarbij er zonnepanelen worden geplaatst om de werkingskosten op te vangen van de standaard geothermische installatie, zal in een volgende paragraaf besproken worden. Hier wordt elektriciteit geleverd via de zonnepanelen en er is geen afhankelijkheid meer van de veranderende elektriciteitsprijzen.



Figuur 7: uitstoot van elke gebruikte verwarmingssystemen na 30 jaar, uitgedrukt in ton CO₂

3.9 Koeling

De koeling gebeurt door middel van een extra niet geïsoleerde vertakking aan het standaard netwerk. Als de koeling wordt ingeschakeld zal de warmtebron af het netwerk worden gekoppeld. Het water zal nu extra gekoeld worden door de leidingverliezen van het toegevoegde netwerk. Om de lengte van dit netwerk te bepalen, moet eerst de temperatuur van het retourwater gekend zijn. Figuur 8 geeft een overzicht van de watertemperaturen aan het kritische huis. De totale lengte van het netwerk bedraagt 5,81 km (Tabel 3) en het kritische huis bevindt zich op de helft van deze afstand, namelijk op 2,91 km van de bron. Uit Figuur 6 kan er besloten worden dat er nog water van 35°C aan het

kritische huis aanwezig is. Figuur 8 geeft het ergste scenario weer, waar de ingaande temperatuur aan de huizenkant slechts 9 °C bedraagt, een gemiddelde buitentemperatuur. Uit Figuur 8 wordt een retourtemperatuur verkregen van 20 °C, Indien formule (III) hierop wordt toegepast bedraagt de temperatuur van het water aan het begin van het extra koelnetwerk (de warmtebron is afgeschakeld) nog 19,6 °C. Dit water wordt nu gekoeld in het extra netwerk tot 18 °C, de koeltemperatuur bij K30-lage-energiewoningen. Met formule (III) kan nu de lengte bepaald worden van het koelnetwerk, er werd gekozen voor een koeldiameter die gelijk is aan de gewone netwerkdiameter om het debiet en de snelheid constant te houden, alle gegevens van de berekening zijn te vinden in Tabel 11.



Figuur 8: warmtewisselaar aan het kritische huis (6)

Tabel 11: aannamen voor extra koelnetwerk

Aanname	Waarde
Diameter extra PVC leiding	125 mm (54)
Wanddikte PCV leiding	4,8 mm (54)
Conductiecoëfficiënt (k)	0,19 W/m·°C (55)
Lengte extra koelnetwerk (2b + a op Figuur 4)	1.100 m
Afsluiting	€ 50 /stuk
T-stuk	€ 26,22 /stuk
Leidingen	€ 41,5 /stuk
Bocht	€ 21,45 /stuk
Plaatsing	€ 30 /m
Totaal per huis extra	€ 353

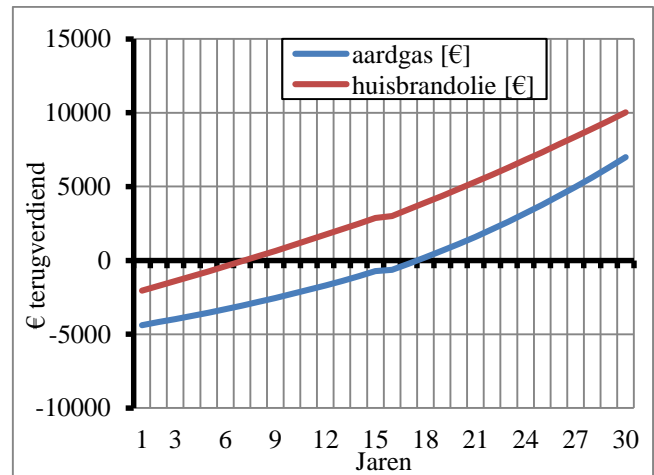
Ook de leidingverliezen dienen in rekening gebracht te worden, dewelke met formules (VI) en (VII) konden berekend worden. Na omzetting werd een drukval van 0,64 bar bekomen. Er was reeds besloten dat de frequentie gestuurde pomp aan de bron een opvoerhoogte heeft van 49,5 m of 4,85 bar en er is reeds besloten dat het standaard netwerk 4,20 bar vereist van een pomp. Er kan geconcludeerd worden dat er geen extra pomp nodig is voor het koelnetwerk, 4,85 bar – 4,20 bar = 0,65 bar > 0,64 bar. In Tabel 11 werd ook de bijkomende kost van het koelnetwerk berekend (54). Indien er wordt omgeschakeld van verwarming naar koeling duurt het 01:01:18 h, zoals in Tabel 9 is berekend, tot het huis gekoeld is. Een ander nadeel van deze koeling is wanneer een huis koeling wenst, wordt de hele wijk op het koelnetwerk gezet. Er kan natuurlijk voor een andere regeling gekozen worden. Zo kunnen, in een situatie waarbij de meerderheid koeling wenst, de overige bewoners verder verwarmen met de zonneboiler.

3.10 Vergelijking systemen

Er zal steeds worden vergeleken met het standaard geothermisch systeem, waarvoor de prijzen uit Tabel 10 zijn opgeteld. Deze totale kosten werden gedeeld door het aantal afnemers en bepaalden zo de investeringskost per huis. Als werkingskost voor het standaard geothermisch systeem werden de kosten van de elektriciteit van de pompen opgeteld en ook gedeeld door het aantal afnemers. Er werd rekening gehouden met een stijging van de werkingskosten. Dit is zowel het geval voor de standaard geothermische installatie als voor de 121 individuele verwarmingsmethodes. Deze 121 individuele verwarmingsmethodes zijn aardgas of huisbrandolie installaties. Zij hebben beide als investeringskost de aankoop van de installatie die in Tabel 1 te zien is. De werkingskosten zijn bij de individuele verwarmingssystemen het verbruik met de prijsstijging van de grondstof. Alle prijsstijgingen van alle gebruikte energievormen zijn terug te vinden in Tabel 1. De werkingskost per jaar kan vervolgens berekend worden door de werkings- en investeringskosten op te tellen. Hiervan zal de som van werkings- en investeringskost van een individueel verwarmingssysteem afgetrokken worden. Op die manier wordt het kostenverschil tussen een standaard geothermisch systeem en een individueel verwarmingssysteem duidelijk. Er dient opgemerkt te worden dat de investeringskosten van een standaard geothermisch systeem hoger liggen dan deze van de individuele verwarmingssystemen, waardoor er kan gesteld worden dat het standaard geothermisch systeem niet meteen rendabel zal zijn. Het systeem wordt rendabel vanaf het jaar dat de kosten van een geothermisch systeem lager liggen dan deze van een individueel verwarmingssysteem. De kosten per jaar worden steeds vergeleken met die van het jaar vooraf.

4 RESULTATEN

Hier wordt de vergelijking gemaakt tussen het standaard geothermisch systeem en 121 individuele installaties op aardgas of huisbrandolie. Het resultaat is te zien in Figuur 9, waaruit kan geconcludeerd worden dat huisbrandolie sneller en meer rendabel wordt dan aardgas. Uit Figuur 9 kan geconcludeerd worden dat een standaard geothermisch systeem in vergelijking met een installatie voor huisbrandolie na 8 jaar rendabel wordt. Bij de vergelijking met een aardgasinstallatie wordt dit 18 jaar. Bij jaar 15 is een schommeling in beide grafieken te zien. Dit is te verklaren door de levensduur van de pompen die 15 jaar bedraagt (51). Dus op jaar 15 moeten 122 nieuwe pompen geplaatst worden wat een extra investeringskost is.



Figuur 9: kosten van een standaard geothermisch systeem per huis vergeleken met de kosten van een huisbrandolie- en aardgasinstallatie

Om de terugverdientijd te verkleinen werden enkele uitbreidingen op het standaard geothermisch systeem overwogen. Meer specifiek het inschakelen van een warmtepomp. Deze warmtepomp wordt op het secundaire netwerk aangesloten zodat daar het beschikbare debiet aan warm water verhoogd wordt. Door het hogere debiet kunnen er meer K30-lage-energiewoningen aangesloten worden op het secundaire netwerk, wat ook de investeringskosten doet dalen. Een andere uitbreiding op het standaard geothermisch systeem is om het beschikbare warmtenetwerk ook als koeling te gaan gebruiken. Aangezien er al een buizenetwerk aanwezig is en de koelingstemperatuur haalbaar is, mits de inschakeling van een extra netwerk van niet geïsoleerde buizen. De kosten van dit extra netwerk werden dan vergeleken met de kosten van individuele installaties van aardgas en huisbrandolie die ook nog voorzien zijn van een airconditioning. Zoals uit Tabel 9 blijkt, is de reactietijd hierbij wel veel kleiner dan bij een airconditioning. Dus het inschakelen van de koeling heeft niet helemaal hetzelfde effect als dat van een airconditioning. Als laatste uitbreiding werd ook het inschakelen van zonnepanelen onderzocht, om zo de afhankelijk van de elektriciteitsprijzen te vermijden.

5 SENSITIVITEITSANALYSE

In dit deel van de studie worden de aannamen uit Tabel 1 variabel gesteld. Op die manier wordt de invloed van elke parameter gecontroleerd. Ook de uitbreidingen op het standaard geothermisch systeem worden gesimuleerd en hun financiële effecten worden onderzocht.

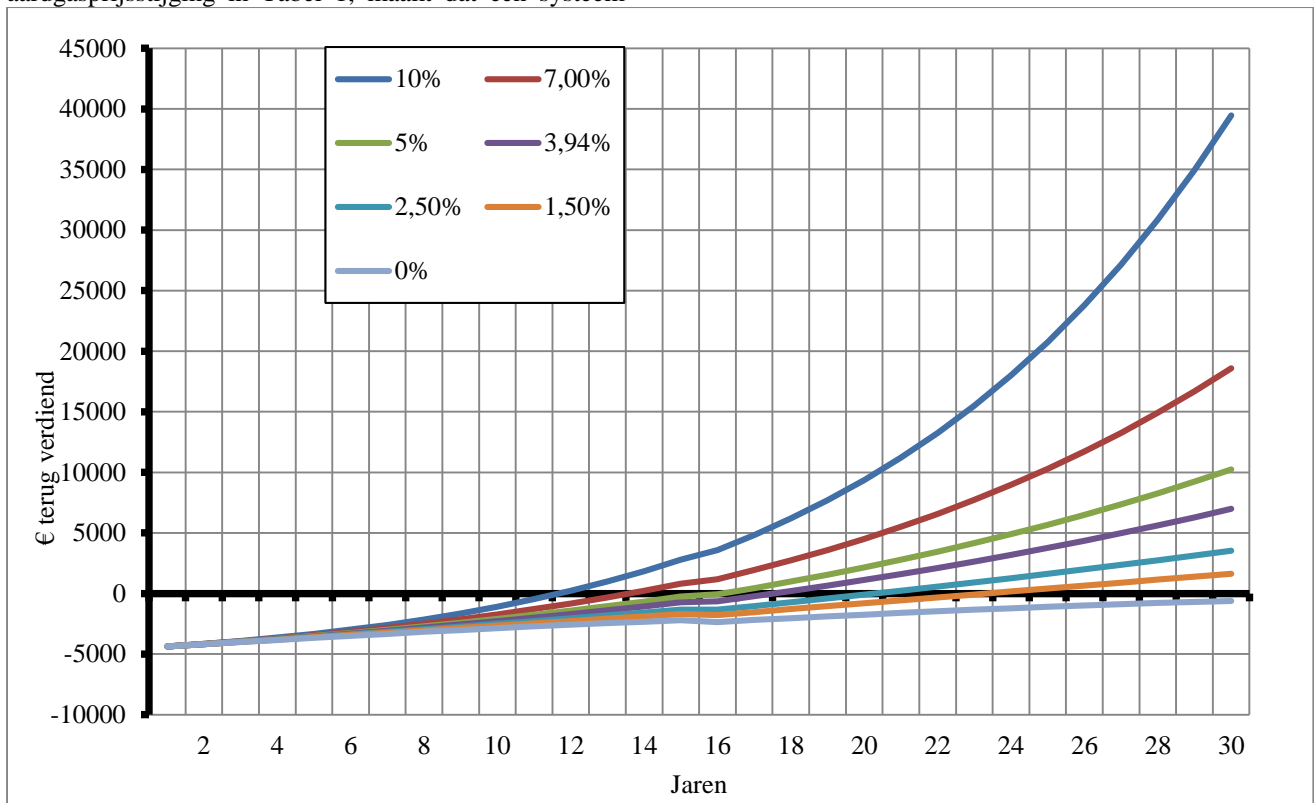
5.1 Parameters variabel stellen

De parameters die werden onderzocht zijn: de prijsstijging van de energiegrondstoffen, het geleverde debiet door de bron, de prijs per boring, de onderhoudskosten van het warmtenetwerk en het aantal boorputten. Steeds worden elk van deze waarden variabel gemaakt in een bepaald interval waar in het midden zich meestal de waarde van het standaard geothermisch systeem bevindt.

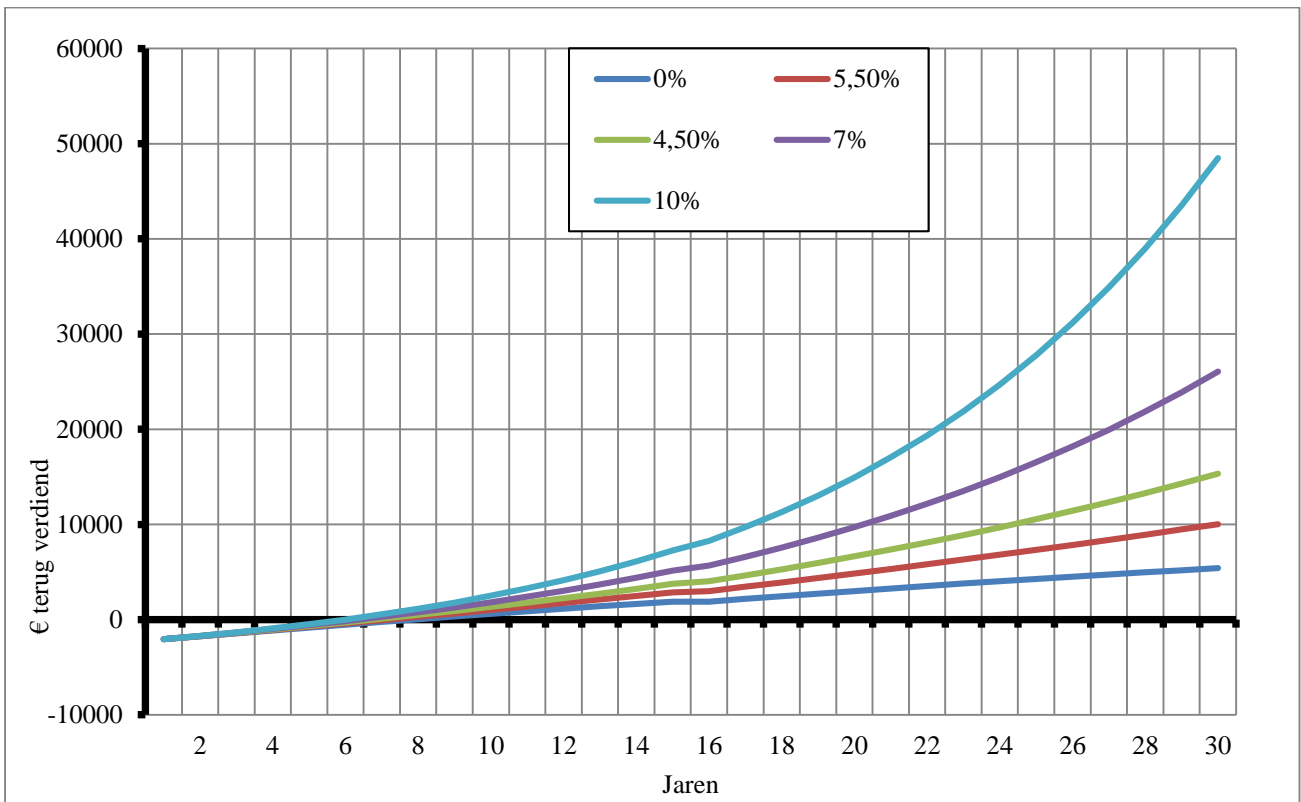
5.1.1 Prijsstijging

Eerst en vooral wordt de energieprijsstijging variabel gemaakt. Dit werd uitgevoerd voor zowel aardgas als huisbrandolie. Uit Figuur 10 valt af te leiden dat de aardgas prijsstijging een invloed heeft op de rendabiliteit van het standaard geothermisch systeem. Doordat de investeringskosten van een geothermische installatie hoog liggen, wordt de 0-as op Figuur 10 niet meteen gesneden. De waarde die is aangenomen, voor de aardgasprijsstijging in Tabel 1, maakt dat een systeem

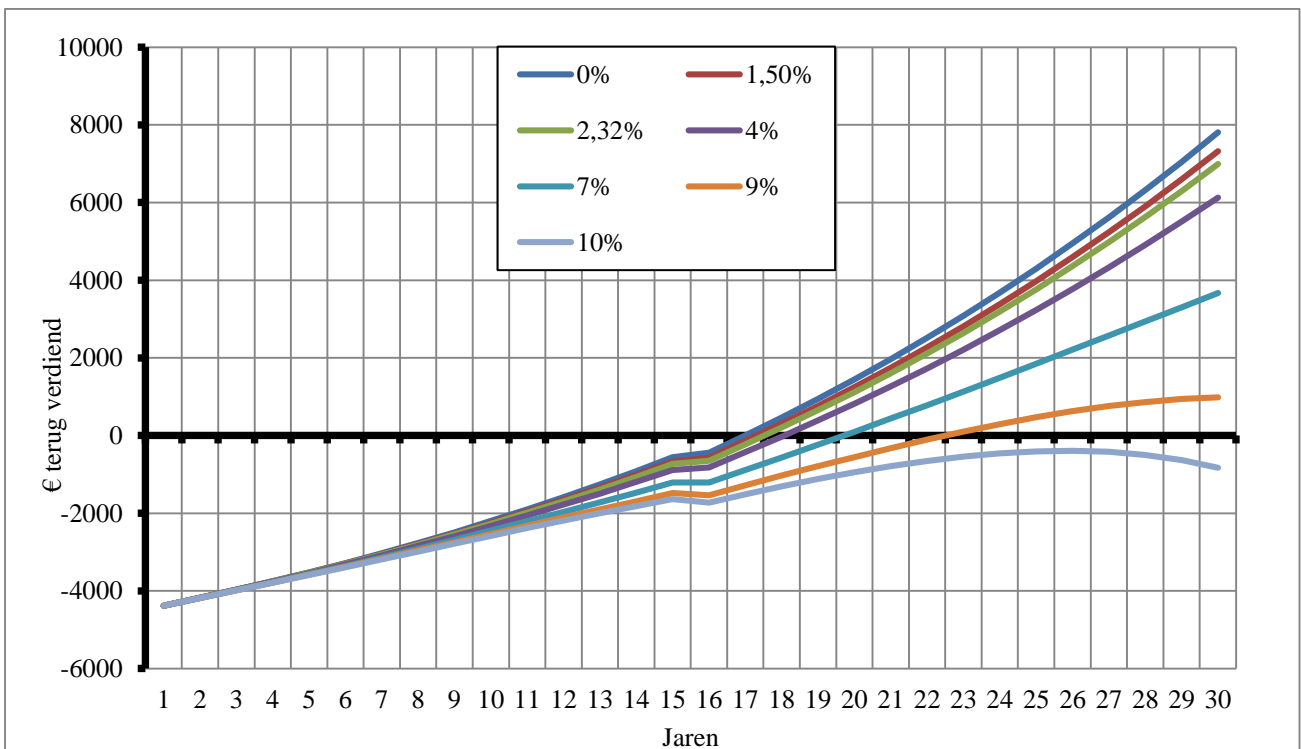
rendabel wordt vanaf jaar 8. Ook bij een stijging van 1,5% wordt het systeem nog steeds rendabel, maar wel pas na jaar 24. De aardgasprijsstijging moet ongeveer minimaal 1,5% bedragen. Bij lagere procenten is te zien dat de 0-as nooit gesneden wordt en het systeem nooit rendabel zal worden. Bij huisbrandolie is dit effect minder waar te nemen zoals te zien is in Figuur 11. Daar blijft het systeem steeds rendabel, zelfs bij 0% prijsstijging.



Figuur 10: variabele aardgasprijs stijging met een range van 0 tot 10%



Figuur 11: huisbrandolie prijs variabel gesteld met een range van 0 tot 10%



Figuur 12: Variabele stijging van de elektriciteitsprijs met interval 0 tot 10 %

Ook de elektriciteitsprijs wordt variabel gesteld, wat resulteert in een effect op de werkingskosten van de geothermische installatie. Uit Figuur 12 kan waargenomen worden dat bij hogere stijgingen van de elektriciteitsprijs de rechte lijn afvlakt naar beneden. Dit komt doordat de werkingskosten van de geothermische installatie groter worden dan de werkingskosten van de

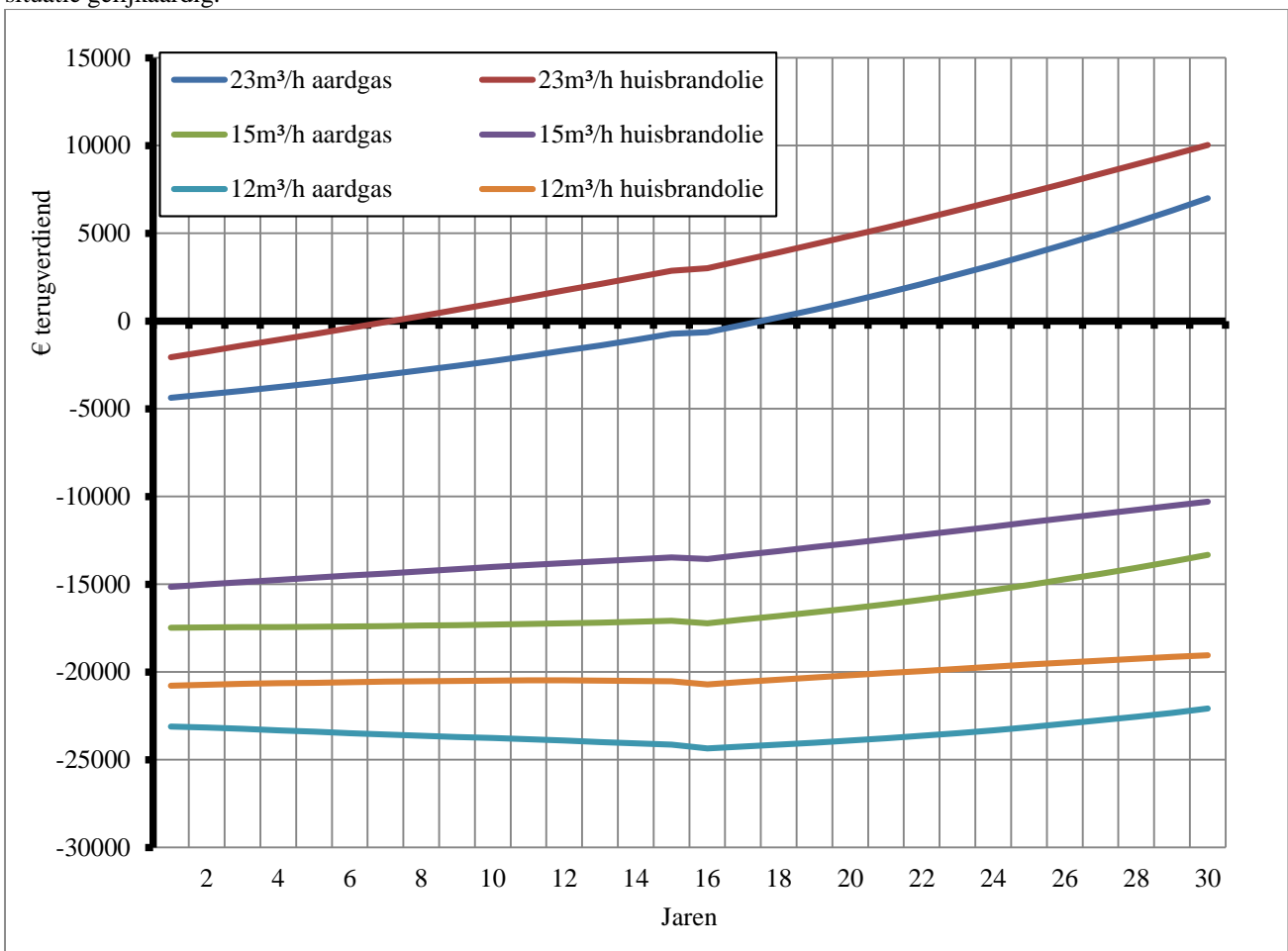
individuele aardgas installatie. Vanaf een stijging van 10 % wordt het systeem niet meer rendabel.

5.1.2 Variabel Debiet

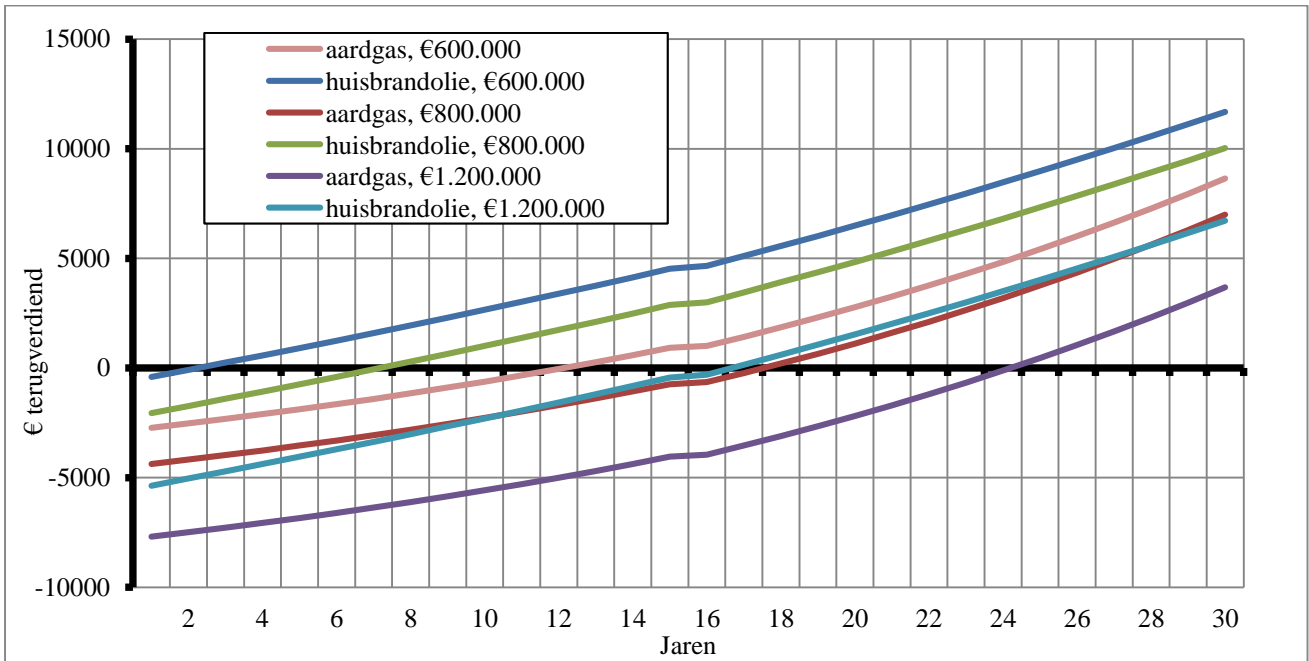
Vervolgens wordt het debiet van de boring variabel gesteld. Maar er zijn ook al andere proefboringen uitgevoerd in de Vlaamse Kempen die geen 23m³/h naar het oppervlakte brachten maar slechts 12 of 15 m³/h (1). Als het debiet verandert, dan daalt ook steeds het aantal afnemers. Met 15 m³/h kunnen er 49 K30-lage-energiewoningen voorzien worden van warm water met 12 m³/h kunnen er 39 K30-lage-energiewoningen aan het warmtenetwerk gekoppeld worden. Uit Figuur 13 blijkt dat er minimaal een debiet van 23 m³/h nodig is voor de vergelijking met aardgasinstallaties. Het probleem bij geothermie is dat het opgeboorde debiet nooit op voorhand met 100 % zekerheid kan worden bepaald (4) (1). Uit Figuur 13 is af te leiden dat meer zekerheid over het debiet belangrijk is om de investering minder risicovol te maken. In Duitsland en Nederland wordt daarom door de overheid een verzekering voorzien indien het verwachte debiet niet tot stand komt (5). Hier wordt later nog dieper op in gegaan. Een debiet van 15 m³/h is onvoldoende om het systeem rendabel te maken in vergelijking met individuele aardgasinstallaties. Wanneer de vergelijking met huisbrandolie wordt gemaakt is de situatie gelijkaardig.

5.1.3 Prijs per boring

De volgende parameter die variabel wordt gemaakt is de prijs per boring. Deze hangt van een aantal zaken af zoals de zuiverheid van het opgeboorde water en hoe groot de druk is die op het opgeboorde water zit. De aangenomen prijs, uit Tabel 10, is €800.000 voor twee boringen. Voor slechtere gevallen kan de prijs per boring €600.000 bedragen, in goede gevallen €300.000 (4) vandaar de gekozen waarde in Figuur 14. Per stijging van €100.000 stijgt de terugverdientijd met 5 jaar.



Figuur 13: Variabel debiet tussen 12 en 23 m³/h

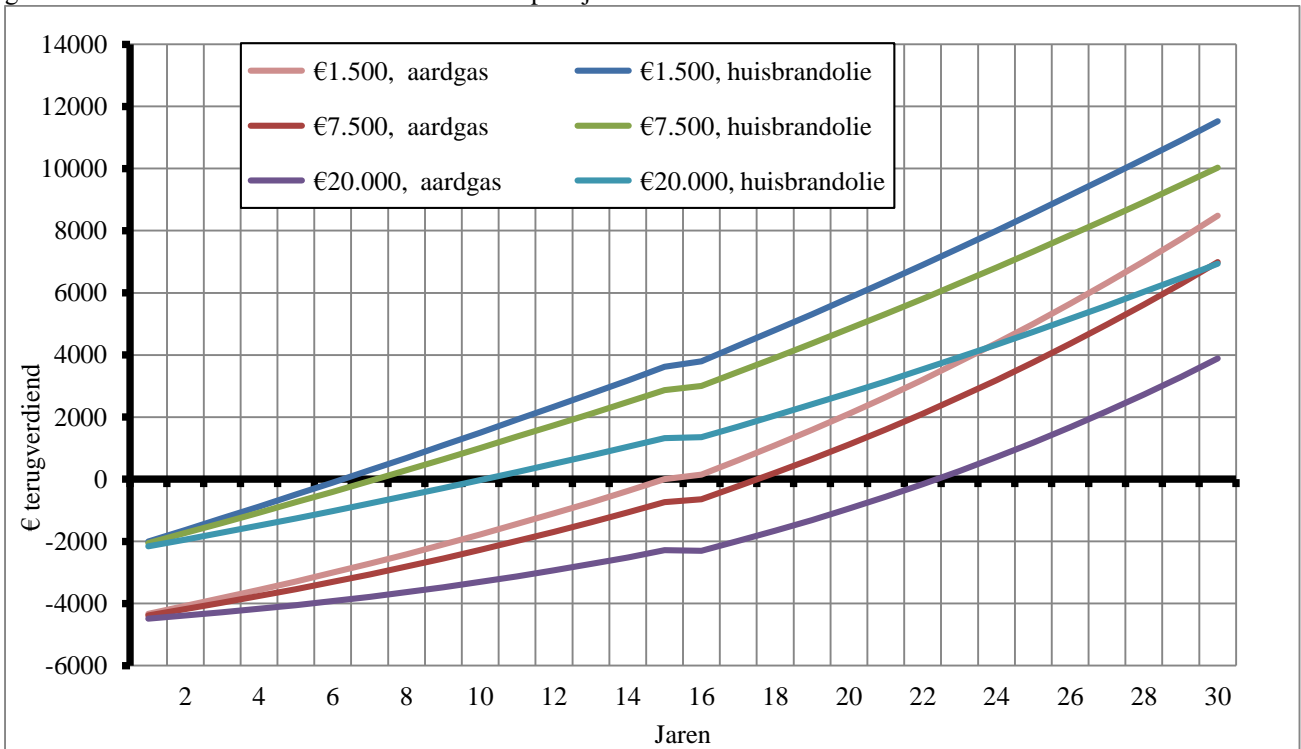


Figuur 14: Variabele prijs van de 2 boringen tussen € 600.000 en € 1.200.0

5.1.4 Onderhoudskosten warmtenetwerk

De volgende parameter die variabel wordt gemaakt, is de onderhoudsprijs van een geothermische installatie. Hiermee wordt het onderhoud bedoeld die de boring zelf vraagt, niet de onderhoudskosten van de pompen in het secundaire netwerk. Deze zijn nauwkeurig te bepalen. Ook dit hangt af van hoe zuiver/onzuiver het opgepompte water is en van de complexiteit van het netwerk. Zo kan het zijn dat er een extra vaste medewerker in dienst moet genomen worden. Dan wordt er € 20.000 per jaar

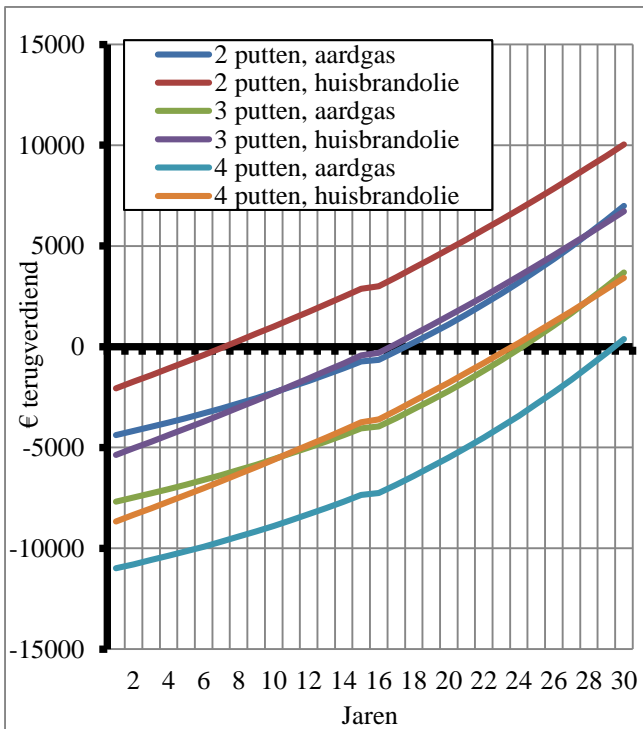
verondersteld als onderhoudskosten. In het standaard geval is € 7.500 voldoende. Als het water heel zuiver is, zijn de onderhoudskosten lager. In deze situatie veronderstellen we een kost van €1.500 (4) Indien er bijvoorbeeld in het ergste geval een extra persoon in dienst genomen moet worden, zal dit ten opzichte van het standaardgeval resulteren in een terugverdientijd toename van 5 jaar zoals te zien is in Figuur 15.



Figuur 15: variabele onderhoudskosten voor een standaard geothermisch system met €1.500 en €20.000 als interval

5.1.5 Aantal boorputten

Ook het aantal boorputten dat nodig is om het water te re-injecteren kan verschillend zijn, afhankelijk van de permeabiliteit van de bodem (4). Bij voldoende permeabiliteit moet er maar één re-injectieput geboord worden. Het aantal putten hangt af van plaats tot plaats. Men kan de permeabiliteit meestal wel op voorhand weten door gebruik te maken van een subsurfaceviewer (dit komt later in de studie aan bod). Uit **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** valt af te leiden dat een extra put de terugverdientijd met 7 jaar doet toenemen



5.1.6 Totale effecten parameters

Tabel 12 geeft een overzicht van de onderzochte parameters die een invloed hebben op de terugverdientijd van een geothermische installatie. Met “waarde tot rendabel” uit Tabel 12 wordt bedoeld, de waarde die maximaal of minimaal moet zijn totdat het systeem niet meer rendabel kan worden. Als de prijzen van huisbrandolie en aardgas met minder stijgen dan respectievelijk 0 en 1,5 % dan wordt het geothermisch systeem met de 121 K30-lage-energiewoningen als verbruikers nooit rendabel. Bij het debiet moet er wel een verschil genomen worden tussen de vergelijking met huisbrandolie en aardgas. De prijs per boring, onderhoudskosten en het aantal putten hebben niet meteen een maximale waarde, ze doen de terugverdientijd wel toenemen.

Tabel 12: Overzicht van de factoren met een effect op de terugverdientijd

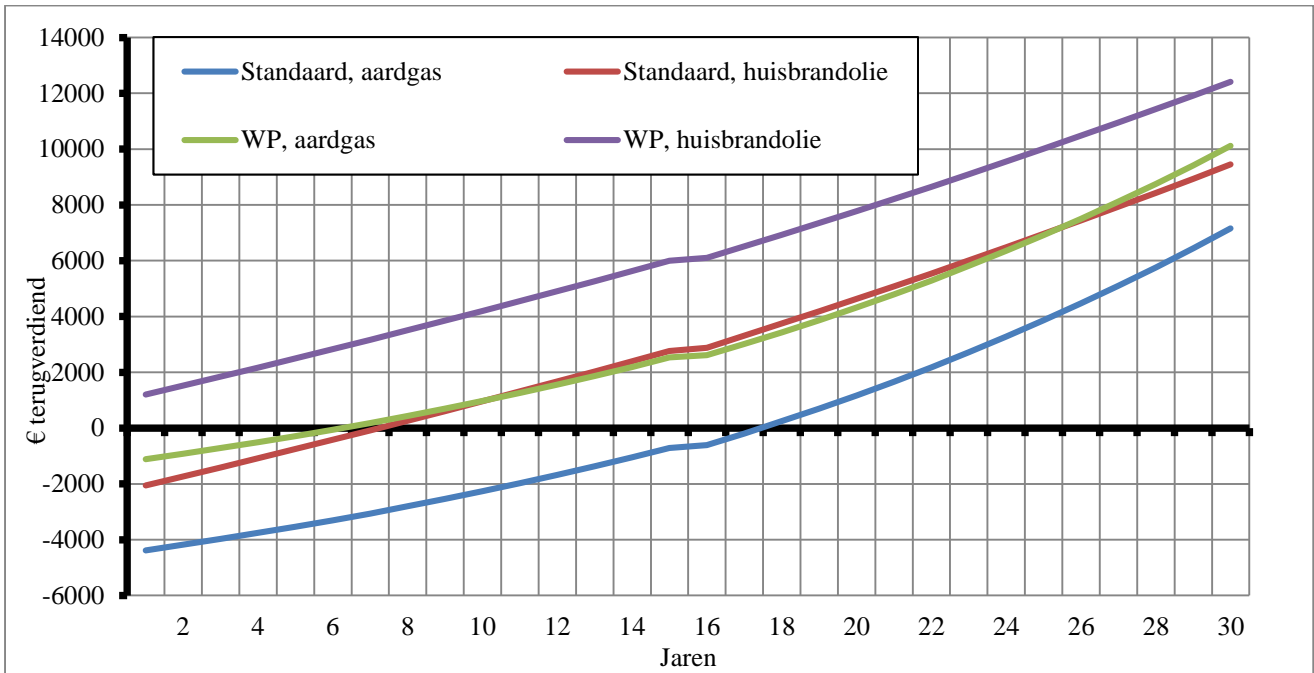
Parameter	Standaard waarde	waarde tot rendabel
Toename prijs aardgas	3,94 %	1,5 %
Toename prijs brandoliehuis	2,58 %	0 %
Toename prijs elektriciteit	2,32 %	9%
Debiet	23m ³ /h	23m ³ /h
Prijs per boring	400.000	/
Onderhoudskosten	7500	/
Aantal boorputten	2	/

5.2 Uitbreidingen van het standaard geothermisch-systeem

Uit de resultaten van het standaard geothermisch systeem is gebleken dat dergelijk systeem rendabel kan zijn, maar dat deze rendabiliteit sterk afhankelijk is van enkele parameters. Om het systeem sneller rendabel te maken zijn enkele uitbreidingen onderzocht.

5.2.1 Warmtepomp

Een eerste mogelijke uitbreiding is een warmtepomp toevoegen aan het primaire netwerk. De warmtepomp zelf vraagt echter energie in de vorm van elektriciteit. Deze elektriciteitskost wordt ook in rekening gebracht als werkingskost. Een ander nadeel is dat een warmtepomp meer CO₂-uitstoot levert. De aannamen hiervoor zijn allemaal te vinden in Tabel 2 waar de aannamen staan voor de twee, in cascade geschakelde, warmtepompen. Ook is er overwogen om niet met cascade warmtepompen te werken, maar met kleinere warmtepompen per huis aan het secundaire netwerk. Deze optie is financieel onhaalbaar en wordt bijgevolg niet verder behandeld. Uit Figuur 16 is te zien dat een warmtepomp wel degelijk de terugverdientijd verkort. Maar door de hoge werkingskost (door de stijging van de elektriciteitsprijs) is de stijging enkel grondig te merken in de terugverdientijd want in het bedrag dat terug verdiend wordt is er nauwelijks een verschil waar te nemen. Ook de investeringskost wordt kleiner aangezien de kosten van een warmtepomp beperkt zijn en er nu 200 K30-lage-energiewoningen aangesloten kunnen worden in plaats van de 121 bij het standaard geothermisch systeem

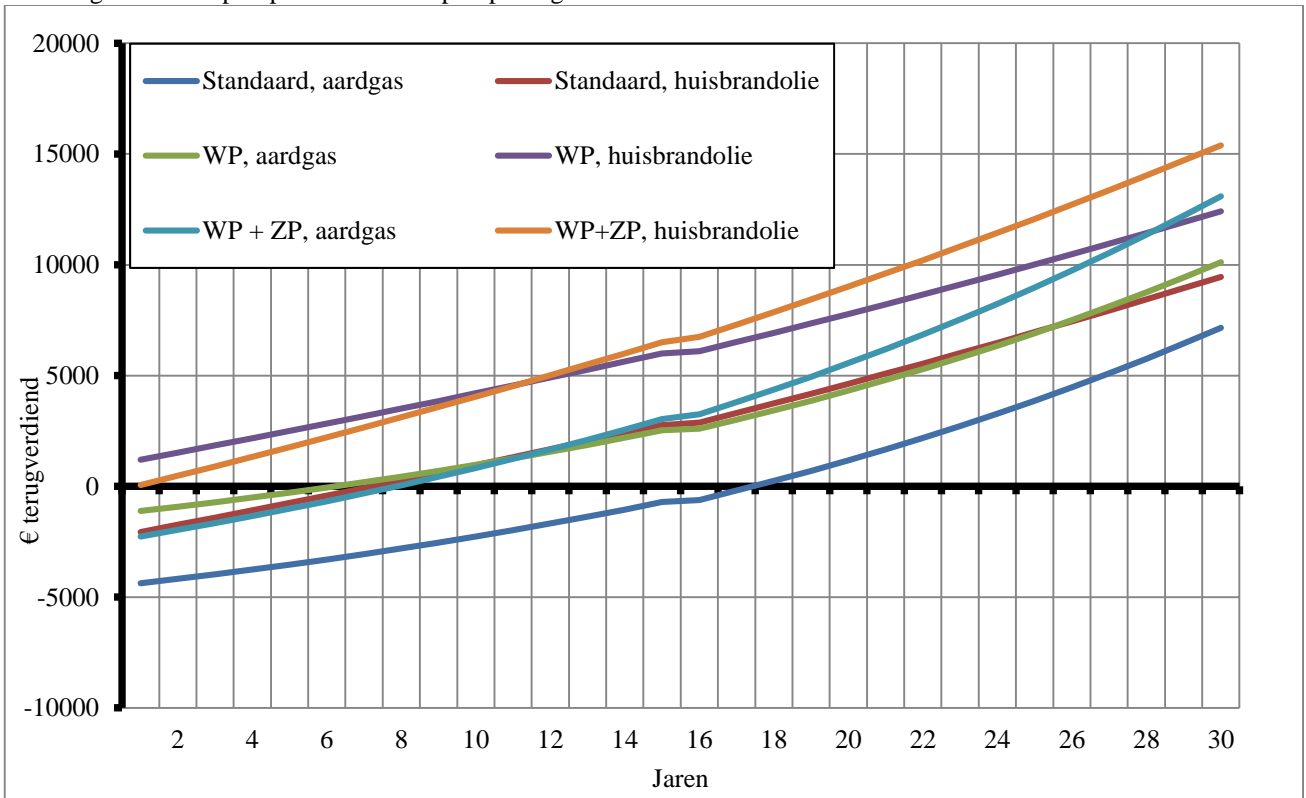


Figuur 16: het effect van een warmtepomp

5.2.2 Zonnepanelen

Door de toevoeging van een warmtepomp, neemt de invloed van de prijsstijging van elektriciteit op het geothermische systeem aanzienlijk toe. Om dit te compenseren werd het effect van zonnepanelen onderzocht. Er is berekend, met de aannamen uit Tabel 5, hoeveel vermogen aan zonnepanelen precies nodig is om de energie die de pompen en warmtepomp vragen te

compenseren. De kosten voor de zonnepanelen zijn in totaal € 250.000. Uit Figuur 17 is te zien dat de zonnepanelen een negatief effect hebben op de terugverdientijd, maar een positief effect op het terugverdiende bedrag. Dit komt door het feit dat de werkingskosten van het geothermisch systeem nu vast zijn en niet afhankelijk zijn van de energieprijzen.

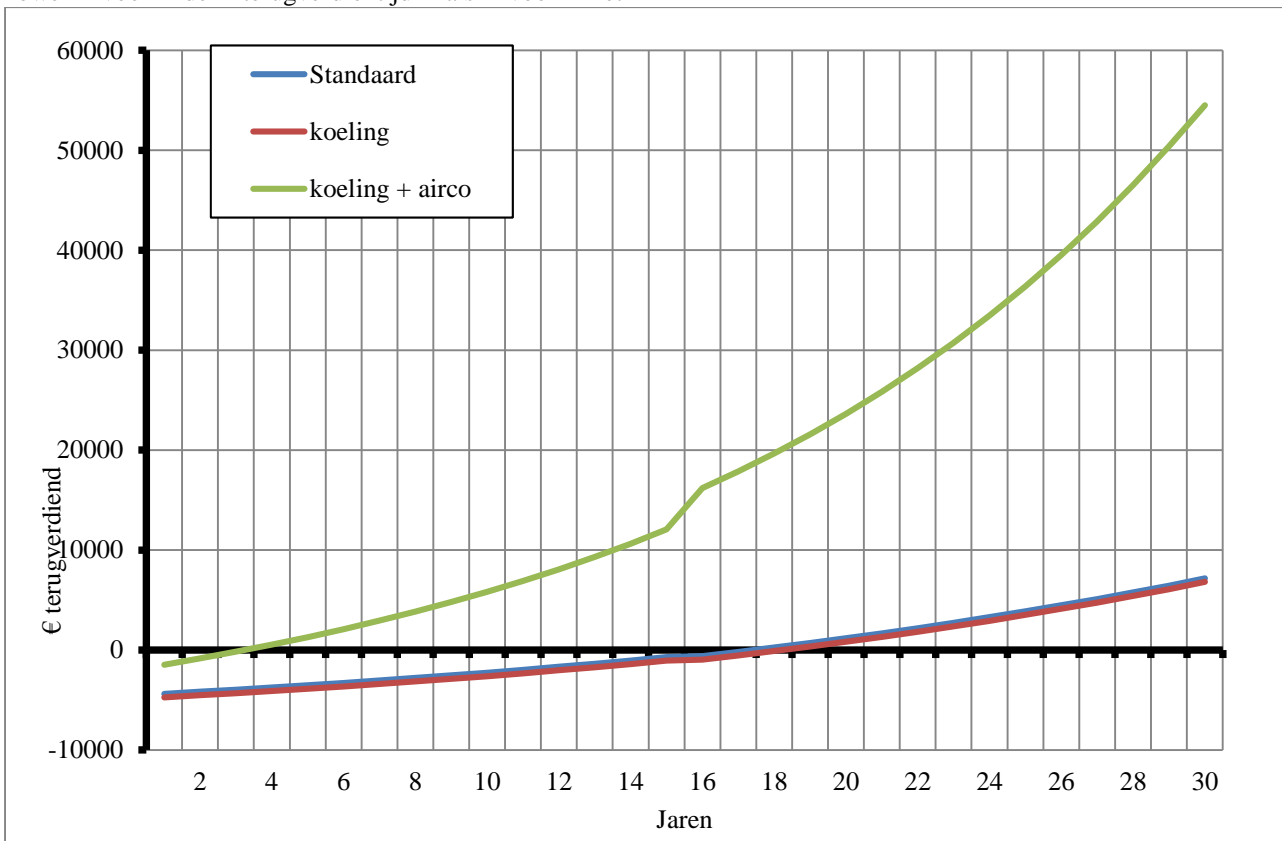


Figuur 17: Het effect van het toevoegen van zonnepanelen

5.2.3 Koeling

Figuur 18 geeft de vergelijking weer tussen verschillende koelconcepten. Er werden drie types vergeleken met elkaar, het standaard systeem t.o.v. aardgas, het standaardstelsysteem met extra koelnetwerk t.o.v. aardgas en het standaard systeem met koelnetwerk t.o.v. aardgas met een airconditioning per huis. Er valt te concluderen dat het extra koelnetwerk weinig invloed heeft op de terugverdientijd, er zal slechts een kleine extra kost bijkomen voor de verbruikers indien er gekozen wordt voor het extra koelnetwerk. Indien er echter wordt gekoeld met één airconditioning per huis zullen de investeringskosten en werkingskosten een stuk hoger liggen. In dit geval is een koelnetwerk zeer interessant, zowel voor de terugverdientijd als voor het

teruggewonnen bedrag na 30 jaar. De knik in de groene curve op jaar 15 is te wijten aan de aankoop van een nieuwe airconditioning, aangezien de levensduur hiervan 15 jaar bedraagt. Er dient wel opgemerkt te worden dat een airconditioning een snellere reactietijd heeft en onafhankelijk van andere huizen kan worden ingeschakeld, dit in tegenstelling tot het extra koelnetwerk.



Figuur 18: vergelijking van de systemen met koeling

6 DISCUSSIE

De haalbaarheid van een warmtenetwerk dat zijn energie haalt uit een geothermische installatie hangt af van veel factoren. Er werd reeds aangetoond dat, indien de parameters van de proefboring in Turnhout gehaald worden, het hele project rendabel kan worden. Hieronder zijn enkele beschouwingen behandeld die aan het licht kwamen tijdens het onderzoek.

1. Kosten

Een warmtenetwerk plaatsen met een geothermische bron zal veel tijd en geld kosten. De kosten zullen vooraf niet stabiel zijn, omdat veel factoren dat ook niet zijn. Er werd aangetoond dat de kosten voor een boring van rond de 800 m diepte variëren tussen € 300.000 en € 600.000, dit is een groot verschil. Er dient dan ook grondig onderzocht te worden wat het debiet precies zal zijn. Wanneer men zou merken dat de bron te weinig debiet levert nadat de bron geboord is, zal het project zeer moeilijk rendabel worden.

2. Haalbaarheid

Dit project blijkt fysisch haalbaar te zijn in de Vlaamse Kempen. De economische en fysische haalbaarheid hangen nauw samen. Indien men 121 huizen moet verwarmen met geothermie zal het debiet hier rechtstreeks uit volgen en ook de fysische haalbaarheid. In deze studie werd er eerst op zoek gegaan naar een fysische waarde (een proefboring) en daaruit is de economische haalbaarheid afgeleid. Het zou ook omgekeerd kunnen gebeuren, eerst een economische drempel opstellen en dan op zoek gaan naar een geschikte bron/gebied. De studie beschrijft geen specifiek gebied binnen de Vlaamse Kempen, hierdoor kan er moeilijker vertrouwd worden op een proefboring. Indien men als bedrijf dergelijk warmtenetwerk wil plaatsen met een geothermische bron, dient men best eerst een gebied vast te leggen op een plaats waar genoeg geothermisch potentieel is. Vervolgens kan de bodem grondig onderzocht worden dankzij tal van experimenten, documentatie en berekeningen. Op deze manier zal met zekerheid kunnen gezegd worden wat de bron zal leveren op een bepaalde plaats. Hieruit volgen dan alle economische conclusies en zal blijken of het financieel haalbaar is. Ook het feit dat de bron een levensduur van 30 jaar heeft, is een beperking want na 30 jaar zal er een nieuwe boring moeten voorzien worden om de huizen te verwarmen. Dit resulteert in een extra kost voor de eigenaars van de huizen. De vraag is of potentiële kopers zo'n extra kost na 30 jaar wel aantrekkelijk genoeg vinden. 30 jaar later zal de eerste bron wel weer bruikbaar zijn. Er zal dus slechts een kleine omschakelkost nodig zijn na 60 jaar. Men dient ook rekening te houden met

het feit dat een aardgas-installatie of andere installaties ook een beperkte levensduur heeft.

Ook dient er gedacht te worden aan wie het netwerk en de geothermische centrale zal beheren. Dit kan worden gedaan door de uitvoerder van het project. Er zal echter samengewerkt moeten worden met een elektriciteitsleverancier die zal moeten nagaan hoeveel warmte elk huis heeft opgenomen en hoeveel elektriciteitskosten de verbruikers moeten betalen voor pompen en sturing.

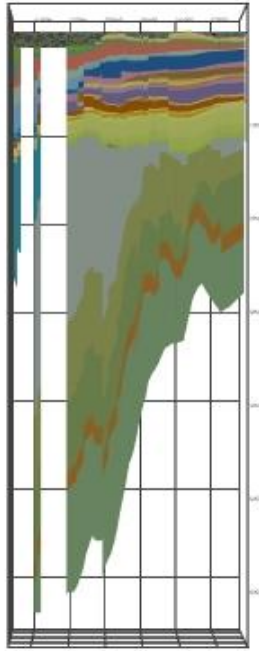
3. Overheid

Op het moment dat deze studie werd geschreven investeerde de overheid weinig in geothermie. Het VITO biedt wel enkele voorbeeldboringen, maar van subsidies en er is een voorstel ingediend dat mogelijk tot een wettelijk kader kan lijden voor geothermie. De overheid zou financiële steun moeten bieden aan dergelijke duurzame projecten door de onzekerheid van succes te investeren. Deze financiële bescherming is meer specifiek voor als er er reeds geboord is maar er is minder debiet dan berekend aan de bron. Ook de vergunningen die nodig zijn voor directe diepe geothermie zouden soepeler moeten zijn want dit duurt vaak zeer lang en wordt niet gauw gegeven omdat in België de prioriteit uit gaat naar waterontginning (56). Dit alles zou beter moeten om een geothermieproject aantrekkelijker te maken voor potentiële bedrijven.

7 TOEKOMSTIG ONDERZOEK

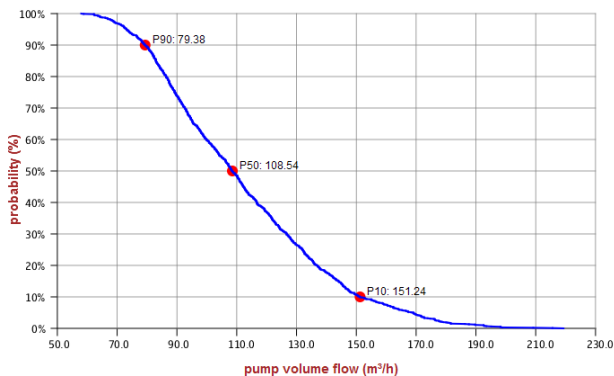
7.1 Overheid

Er is reeds aangehaald dat in het buitenland een verzekering aangeboden wordt door de overheid aan de boorfirma's. In Nederland heeft TNO (Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek) een rekenmodel ontwikkeld dat het indicatief geothermisch vermogen en het verzekeringsrisico van nieuwe projecten inschat. Boorfirma's hebben voorlopig niet de intentie om over te gaan op diepe geothermie, aangezien de variabele parameters (debiet, kosten per boring, onderhoudskosten) allemaal zeer moeilijk op voorhand te bepalen zijn. Vanuit de overheid is op 26 februari 2014 beslist om meer te investeren in geothermie (57). Zo is er eind 2013 door het departement leefmilieu, natuur en energie een 3D-simulatieprogramma ontwikkeld dat de lagen van de bodem weergeeft. Op die manier is dus het risico voor de boorfirma's verminderd. De boorfirma's kunnen het programma sinds 13 november 2013 zelf downloaden (58) en het heeft de naam Subsurfaceviewer. Via dit programma kan de boorfirma op voorhand alles perfect bepalen. Als er via het programma even een simulatie werd gedaan voor Turnhout werd Figuur 19 bekomen.



Figuur 19: doorsnede van de grondlagen in Turnhout via Subsurfaceviewer

Uit deze figuur kan de laag gekozen worden die aanwezig is op de gekozen diepte. Via de handleiding van het programma kan dan ook de naam van de laag gevonden worden. Op die manier kan dus perfect de permeabiliteit van de laag bepaald worden en dus ook het aantal putten dat nodig is (59). Om het debiet te kunnen inschatten moet vervolgens ook DoubletCalc ingeschakeld worden. Dit is het rekenmodel dat door TNO werd ontwikkeld. TNO meldt ons dat Vlaamse firma's dit ook reeds mogen gebruiken (60). Als alle parameters gekend zijn, berekent dit programma wat de kans is op elk debiet, zoals te zien is op Figuur 20. Daarnaast geeft het ook de kans om alle andere benodigde parameters, zoals op Figuur 21 weergegeven is. Hieruit blijkt dat de boorfirma's wel degelijk alle informatie ter beschikking hebben, maar hiervan niet op de hoogte zijn. De overheid zou men hierover kunnen informeren.



Figuur 20: output van DoubletCalc voor een ander voorbeeld

Monte Carlo cases (stochastic inputs)	P90	P50	P10
aquifer kH net (Dm)	16.99	24.88	38.09
mass flow (kg/s)	22.07	30.59	41.85
pump volume flow (m³/h)	78.8	109.1	149.4
required pump power (kW)	143.5	198.8	272.1
geothermal power (MW)	-3.88	-2.84	-2.05
COP (kW/kW)	-14.4	-14.3	-14.2

base case (median value inputs)	value
aquifer kH net (Dm)	21.0
mass flow (kg/s)	26.59
pump volume flow (m³/h)	94.9
required pump power (kW)	172.8
geothermal power (MW)	-2.48
COP (kW/kW)	-14.3

Aquifer Pressure at producer (bar)	248.84
Aquifer Pressure at Injector (bar)	248.8
Pressure difference at producer (bar)	21.23
Pressure difference at Injector (bar)	14.23
Aquifer temperature at producer (°C) *	12.56
Temperature at heat exchanger (°C)	12.43

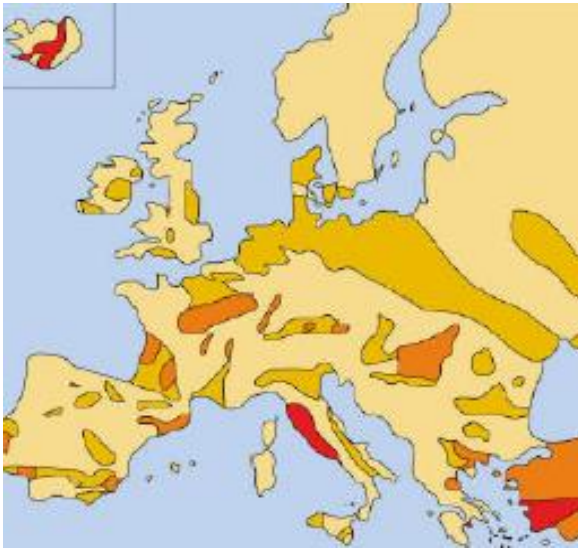
Figuur 21: output van DoubletCalc voor alle parameters

Vanuit het onderzoek wordt ook gesteld dat VITO mogelijk het model, dat ontwikkeld werd door TNO, kan overkopen om het geothermisch potentieel in Vlaanderen te benutten. Men mag dus veronderstellen dat de Vlaamse overheid het potentieel van geothermie begint in te zien, al moet gesteld worden dat het overkopen van het Nederlandse model verwoordt wordt als “eventueel” en niet als zeker. Ook moet gesteld worden dat dit model gekocht wordt binnen de komende vijf jaar (57). Indien men op de hoogte zou zijn van het potentieel dat aanwezig is en het ook rendabel kan worden, zou het kopen van het model sneller moeten gebeuren.

7.2 Buitenland

Zoals vermeld werd in Nederland door TNO al een model ontwikkeld dat de bijdrage bepaalt die de overheid moet voorzien als verzekering. Doordat in Nederland deze verzekering bestaat, is Nederland op België vooruit wat betreft diepe geothermie. Zo is er ook in Nederland een stappenplan voorhanden wanneer men wil starten met diepe geothermie (61). Uiteraard heeft de samenstelling van de Nederlandse grond hiermee veel te maken. Deze is meer geschikt voor geothermie dan de Belgische grond. Vreemd genoeg is binnen Europa, Duitsland de leider in geothermie. Ook daar steunt de overheid boorfirma's met een verzekering indien de put niet voldoende opbrengt (62). Ook Italië en Nieuw-Zeeland zijn grote gebruikers van Geothermie. Dit komt vooral doordat hun vulkanische bodem, waardoor er praktisch gegarandeerd zeer warm water naar boven komt ondanks een geringe diepte. In Nieuw-Zeeland wordt reeds 30 % van de energievraag geleverd door geothermie (63). Uiteraard zijn zulke toestanden in België onmogelijk, maar het feit dat een land als Duitsland voortrekker is

binnen de EU, moet de overheid doen inzien dat er een noodzaak is aan een verzekering voor boorfirma's. Daardoor kan een land als Duitsland, dat niet het grootste potentieel heeft, toch een leider zijn voor geothermie zoals op Figuur 22 te zien is.



Figuur 22: geothermisch potentieel in Europa (62)

8 CONCLUSIE

Een geothermische installatie die een warmtenetwerk voorziet van energie kan zowel fysisch als economisch haalbaar zijn in België. Meer bepaald is het ideaal om een geothermische centrale op te stellen in de Vlaamse Kempen wegens de aanwezigheid van een uitstekende bodem. Indien men uitgaat van een proefboring uit het verleden die 23 m³/h water op een temperatuur van 37 °C gaf, kan men 121 K30-lage-energiewoningen voorzien van warmte. De installatie van een standaard geothermische verwarming zou per huis € 12.900 kosten. Indien men dit vergelijkt met een aardgas of huisbrandolie-installatie wordt het standaard geothermisch systeem na respectievelijk 8 en 18 jaar rendabel. Wegens gebrek aan specifieke locatie in deze studie zijn de parameters van de bron onzeker, evenals de energieprijssijting van aardgas en huisbrandolie in de toekomst. Verder kan het aantal verbruikers nog verhoogd worden door een warmtepomp toe te voegen aan het netwerk en kunnen de elektrische kosten van de pompen en de sturing teruggedrongen worden met zonnepanelen. Er kan geconcludeerd worden dat er potentieel is voor geothermie in de Vlaamse Kempen. Indien men vooraf weet wat de bron zal leveren is een geothermische centrale, die een warmtenetwerk van energie voorziet, zowel fysisch als economisch rendabel.

9 DANKWOORD

Onze promotor, Prof. Dr. Ir. Dries Haeseldonckx, danken wij in het bijzonder voor zijn uitstekende en diepgaande technische feedback. Ook naar copromotor, Ing. Tom Teunkens gaat onze dank voor de technische antwoorden op al onze vragen en voor zijn belangrijke feedback. Een speciaal dankwoord aan Yves Geboers voor zijn hulp in verband met boringen. Zijn kijk vanuit de boorfirma

bracht ons veel informatie. Uiteindelijk worden ook alle ondernemingen bedankt die ons geholpen hebben met de prijsbepalingen en dergelijke. De tijd die zij voor ons vrijmaakten hebben we enorm gewaardeerd.

Bibliografie

1. **R.Dreesen, B.Laenen.** *Technology watch: geothermie en het potentieel in Vlaanderen.* s.l.: Vlaams Kenniscentrum Ondergrond, 2010.
2. **smartgeotherm.** Open systemen. *smartgeotherm.* [Online] 2013. <http://www.smartgeotherm.be/open-systemen/>.
3. **Watercycle Research Institute.** *Kennisdocument Putten(velden): Ontwerp, aanleg en exploitatie van pomp- en waarnemingsputten.* Nieuwegein : s.n., 2011.
4. **Yves Geboers.** *Diepteboring voor geothermie.* [interv.] Louis Ghesquiere en Yanick Van Hoeymissen. Februari 10, 2014.
5. **Dr.P. Dirven.** *Geothermie in Vlaanderen.* s.l.: Vlaamse Gewest, 1994.
6. **Alfa Laval.** *Platenwarmtewisselaar.* s.l., Brussel : Alfa Laval, 2014.
7. **Laval, Alfa.** District heating. *alfalaval.com.* [Online] 2014. <http://www.alfalaval.com/industries/hvac/heating/district-heating/Pages/district-heating.aspx>.
8. **Danfoss.** Danfoss Heat Exchangers Dedicated for District Heating Applications. *Danfoss.* [Online] 2014. <http://heating.danfoss.com/xxNewsx/c104fca2-0f7d-4db5-ba5a-739a3c36cf54.html>.
9. **Swep.** District energy. *swep.net.* [Online] 2014. http://www.swep.net/en/products_solutions/application_areas/Pages/application_district_energy.aspx.
10. **Yunus A. Cengel.** *Heat and Mass Transfer A Practical Approach.* 2009.
11. **Habitos.** Lage energiewoning: van definitie tot kostprijs. [Online] Habitos, mei 2011. [Cited: oktober 14, 2013.] <http://habitos.be.msn.com/nl/duurzaam-wonen/lage-energiewoning-van-definitie-tot-kostprijs-6146/>.
12. **Rietkerk, Jeroen.** Betonkernactivering . <http://sts.bwk.tue.nl/>. [Online] januari 2005 . [Cited: oktober 18, 2013.] http://sts.bwk.tue.nl/bps/onderwijs/software/matlab_femlab_simulink/Betonkernactivering.pdf.
13. **Echo.** ClimaDeck betonkernactivering: overzicht systemen. *Echobel.* [Online] 2012. [Cited: november 29, 2013.] <http://www.echobel.com/benl/utiliteitsbouw-climadeck-betonkernactivering-overzicht.asp?lang=benl&nav=3&subnav=3-21>.
14. **Mijn energie.** Tarieven elektriciteit vergelijken. [Online] VREG, 03 27, 2014. [Cited: 03 27, 2014.] <http://www.mijnergie.be/prijs-elektriciteit-vergelijken-?PHPSESSID=gk2e3qpa8mgvsm6fshnj67>.
15. **kachels.com.** *Wat kost gas nu daadwerkelijk?* [Online] 2014. [Cited: 03 28, 2014.] <http://www.kachels.com/veelgestelde-vragen/wat-kost-gas>.

16. **VREG.** omrekening van m³ naar kWh. [Online] 2012. [Cited: 03 28, 2014.] <http://www.vreg.be/aardgas-omrekening-van-m3-naar-kwh>.
17. **Informazout.** Mazoutprijs. [Online] 2014. [Cited: 03 27, 2014.] <http://www.informazout.be/nl/mazoutprijs>.
18. **Koninklijke Vereniging van Belgische Gasvaklieden.** Aardgas - voordeliger dan stookolie. *Aardgas.be*. [Online] 2012. [Cited: 05 9, 2014.] <http://www.aardgas.be/consumenten/financieel-plaatje/besparen-met-aardgas>.
19. Hoogrendementsketel – HR ketel. [Online] [Cited: 03 28, 2014.] <http://www.hoogrendementsketels.be/>.
20. Onderhoud CV-ketel. [Online] 2012. [Cited: 03 28, 2014.] <http://www.centraleverwarmingcv.be/onderhoud-cv-ketel.html>.
21. **Buderus.** *Onze oplossingen voor een lager verbruik !* 2014.
22. **Vliesman.** *Energiebesparende verwarmingsketels.* 2014.
23. **Bollaert, Mazouttank.** Mazouttank Prijzen . [Online] 2014. [Cited: 05 09, 2014.]
24. Met Optimaz & Optimaz-elite kiest u voor het hoogste rendement. *Mazoutprijs*. [Online] 2014. [Cited: 03 28, 2014.] http://www.informazout.be/nl/voordelen_optimaz_elite.
25. **Planbureau, Federaal.** *Energievooruitzichten voor België tegen 2030.* Brussel : Henri Bogaert , 2011. D/2011/7433/26.
26. **Anne Van Houtte.** Bereken uw CO₂ gehalte. *co2minderen.be*. [Online] 2009. [Cited: 3 28, 2014.] http://www.co2minderen.be/UW_CO2-PROFIEL/uw_co2-profiel.htm.
27. **U.S. Energy information administration.** How much carbon dioxide is produced per kilowatthour when generating electricity with fossil fuels? [Online] 04 2014. [Cited: 05 10, 2014.]
28. **Time for change.** CO₂ emission of electricity from nuclear power stations. [Online] 2012. [Cited: 05 09, 2014.]
29. **Brussels instituut voor milieubeheer.** *Energiebronnen voor warmwaterproductie .*
30. **OVAM.** *CO₂-calculator voor bodemsaneringsprojecten.* s.l. : Vlaamse Overheid, 2009.
31. **Brookhaven National Laboratory.** *Greenhouse-gas Emissions from Solar Electric- and Nuclear Power: A Life-cycle Study.* 2010.
32. **Spencer Tumbale & Vyshaali Jagadeesan .** Solar V.S Wind Energy. [Online] [Cited: 05 10, 2014.]
33. **E-on.** *Zonnenergie: feiten, cijfers, observaties.* s.l. : E-on.
34. **R. Lemmelä & Y.Sucksdorff.** *Annual variation of soil temperature at depths 20 to 700 cm.*
35. **Becquevort, P.** Aanleg van waterleidingen. *fvb.constructiv*. [Online] 2002. [Cited: Maart 26, 2014.] http://fvb.constructiv.be/~media/Files/Shared/FVB/Sanitair%20Installateur/NL/Waterleiding_for_web.pdf.
36. isoplus - Rigid Connection Systems. *isoplus-pipes.com*. [Online] 2014. <http://www.isoplus-pipes.com/en/products/rigid-connection-systems/>.
37. **Carnoy.** Stalen Buizen. *carnoy.be*. [Online] 2014. http://www.carnoy.be/producten/volgens_productgroep/buizen.
38. **Energieconcepten, Tom Teunkens van.** *K30 woningen.* [interv.] Yanick Van Hoeymissen en Louis Ghesquiere. Oktober 5, 2013.
39. **NIBE.** *Geavanceerde water/water warmtepompen voor grotere woningen en utiliteitsgebouwen.* 2012.
40. Praktisch duurzaam. [Online] 01 2011. [Cited: 03 28, 2014.] <http://www.praktischduurzaam.nl/verwarmen-met-een-warmtepomp/>.
41. **Roel Van Espen .** Wegen zonnepanelen op uw brandverzekering? *Knack*. 2013.
42. **EcoPuur.** Zonnepanelen reinigen, voor u getest! [Online] 09 1, 2012. <http://www.ecopuur.be/nieuws/zonnepanelen-reinigen-voor-u-getest>.
43. **Daikin.** Split sky air - Technical data. Oostende : Daikin, 2 2004.
44. **Goovaerts.** Stroomverbruik bij airconditioning. *waltergoovaerts*. [Online] 2013. <http://www.waltergoovaerts.be/airco/verbruik-airconditioning.php>.
45. **Verbrugghe, Dirk.** Airco onderhoud en reparatie bij u thuis in een straal van 20km rond Kortrijk. *Autoklima auto-airco*. [Online] Maart 3, 2012. <http://www.autoaircospecialist.be/onderhoud.html>.
46. **Ununiversität Leoben.** *roleum Engineering Technology.* Leoben : s.n., Petroleum Engineering Technology.
47. **Caulaert, Peter.** *Haalbaarheidsstudie warmtenet Brugge.* Brugge : Technum, 2012.
48. **Pieter-Jan Bloeyaert.** *Leidingen.* s.l. : Logostor, 2014.
49. **Frank Dochy .** *Thermodynamische tabellen en formularium.* 2012.
50. **Grundfos.** *Technische fiche pomp: TP 40-580/2 A-F-A-BAQE.* s.l. : Grundfos, 2014.
51. —. *Technische fiche pomp: ALPHA2 25-40 180.* s.l. : Grundfos, 2014.
52. **Ecobouwers.** [Online] 2012. <http://www.ecobouwers.be>.
53. **Sanitairweb.** Buffervaten info. *Duurzame energietechnieken.* [Online] 2003. [Cited: 03 15, 2014.] http://www.sanitairweb.be/buffervaten_info.html.
54. **PVCvoordeel.** PVC buis met gladde einden SN-4. *pvcvoordeel.nl*. [Online] 2014. http://www.pvcvoordeel.nl/pvc_buis/.
55. **Engineeringtoolbox.** Thermal Conductivity of some common Materials and Gasses. *engineeringtoolbox*. [Online] 2013. http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html.
56. **Vlaamse Overheid.** *Inventarisatie onderzoek van het gebruik van geothermie en het regelgevend kader daarrond.* Antwerpen : Kris Van Malderen, gedelegeerd bestuurder Antea Belgium nv, 2011.
57. **Vlaamse parlement.** *Voorstel van resolutie betreffende het ontwikkelen en bevorderen van diepe geothermie in Vlaanderen.* Brussel : Robrecht Bothuyne, Bart Martens, Liesbeth Homans, Tinne Rombouts,

Michèle Hostekint, Robrecht Bothuyne en Bart Martens, 2014.

58. **VITO**. *Eerste geologisch 3D-model maakt Vlaamse ondergrond zichtbaar voor iedereen*. s.l.: Joke Schauvliege, Vlaams minister van leefmilieu en cultuur, 2013.

59. **DVO**. *3D SubsurfaceViewer, voor visualisatie van het Geologisch 3D lagenmodel van Vlaanderen en het Brussels Hoofdstedelijk*. 2013.

60. **Hans Veldkamp**. *DoubletCalc in België*. 04 02, 2014.

61. **Het Platform Geothermie**. *Handboek Geothermie voor operators*. 2013.

62. *Inventarisatie onderzoek van het gebruik van geothermie en het regelgevend kader daarrond in relevante buitenlandse rechtsordes*. Antwerpen : Vlaamse overheid, 2011.

63. *Aardwarmte: al uw vragen beantwoord*. **Caroline Hoek**. 2011.