

Een duurzame configuratie voor de kas in Andel

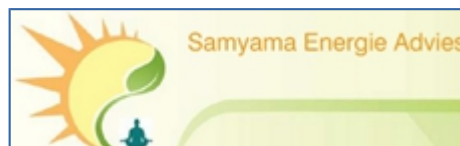
Voor:

Ron van Dijk
Groenland biologische kwekerij, vestiging Andel
Middenweg 20
4281 KH, Andel

Schrijver:

Benjamin Visser, M.sc.
Samyama Energie Advies
Bethlehemweg 11
3513 CV, Utrecht
06 336 122 90

KvK nummer: 60 400 412
Btw-nummer: NL 24 77 30 90 7 B01



Wat ga ik onderzoeken?

In dit energieadvies worden een aantal alternatieve duurzame energiebronnen onderzocht voor de locatie in Andel. In het referentiesysteem (systeem 1) worden zowel elektriciteit en gas van het net onttrokken. Het alternatieve systeem 2 is een combinatie van hoogrendement zonnecollectoren, warmte-koude-opslag en een windmolen voor de elektriciteitsdekking. Voor dit systeem worden de opties geïntegreerd onderzocht op kosten en energetische bijdrage.

Beoogde resultaten:

1. LCOE – 'Levelized Cost of Energy'. Dit is bovenstaande NCW teruggerekend naar €/kWh en €/m³. Hierdoor is makkelijker te vergelijken met de huidige kosten van gas en elektriciteit.
2. Percentage duurzame energie. De Duurzame opties worden gestapeld, en bij elke stapeling wordt gekeken wat het aandeel is in de totale energievraag. Bij elke stapeling hoort eveneens de voor die situatie geldende LCOE (€/kWh en €/m³).

Als de tijd het toelaat:

1. Inventarisatie van subsidies. Gekeken wordt welke subsidies het beste kunnen worden aangevraagd. Mogelijkheden zijn een SDE+ subsidie of een energie investeringsaftrek (EIA). Wanneer kunnen deze het beste worden aangevraagd? Wat is daarvoor nodig?
2. Installateurs. Een voorstel wordt gedaan voor de meest geschikte leveranciers van de energiesystemen (collectoren, PV, WKO en biomassaketel). Het liefst komen deze uit de buurt, en hebben een goede kwaliteit-prijs-verhouding.

Omschrijving systemen:

Systeem 1: referentiesysteem

Het referentiesysteem betreft de kas van 1,9 hectare in Andel, met tomaten, paprika en aubergines in de teelt. Het telen van deze gewassen is zeer energie-intensief, vooral in de vorm van warmte. De energievraag op jaarbasis is ongeveer 700.000 m³ gas en 60-70 kW elektriciteit. Het huidige energiesysteem is een gasbrander die het water verwarmt en deze warmte middels buizen over de grond verspreidt in de kas. Electra, ook van het net, wordt gebruikt voor verlichting, sorteer- en verpakkingsmachines, aandrijving van ventilatiekleppen en wagentjes. Verder ligt er in de directe omgeving een stuk land van 4 hectare.

Systeem 2: Geïntegreerd systeem met zonnecollectoren, WKO en windmolen.

U geeft aan te willen kijken naar zonnecollectoren, biomassaverbranding en fotovoltaïsche panelen (PV). Gezien de grote energievraag (zowel warmte als elektriciteit), zullen geen van deze duurzame energiebronnen afzonderlijk het geheel kunnen dekken. Bij nader inzien kan al een voorselectie gemaakt worden van systeemcomponenten. Een biomassaketel kan worden uitgesloten, omdat er een enorme aanvoer houtsnippers nodig is voor de huidige energievraag (ongeveer 1 truck van 30 ton per week). Verder is er gekozen voor een windmolen in plaats van zonnepanelen (PV) en wel om 3 redenen: (1) een windmolen is veel goedkoper en praktischer, (2) een veld PV panelen zou veel ruimte vergen, en die ruimte wordt al (deels) opgeëist door de zonnecollectoren, en (3) een windmolen levert de geproduceerde stroom veel gelijkmatiger over het jaar heen, terwijl zonne-PV het grootste gedeelte levert in de zomer. Dit is echter zeer onpraktisch, gezien de meeste elektriciteit nodig is in de wintermaanden voor de pompen en warmtepomp. Een gasboiler is ook onderdeel van het voorgestelde systeem en wel voor de levering van CO₂, maar daarvan worden geen investeringskosten meegerekend maar enkel de gaskosten. Het voorgestelde systeem bestaat uit 3 gesloten circuits van waterstromen, waar elk een hoeveelheid warmte wordt toegevoegd.

Component 1: het eerste en voornaamste circuit is het kascircuit. Deze infrastructuur ligt er nu al en bestaat uit warmtepijpen en een gasketel. De gasketel zal ook in het nieuwe systeem functioneel blijven, maar dan enkel geschaald voor de CO₂ toevoer. De hierbij ontstane warmte zal tevens worden gebruikt voor de warmtevoorziening. Een ander component is een warmtewisselaar die warmte overneemt van het tweede circuit: de zonnecollectoren.

Component 2: hoge rendement zonnecollectoren.

Moderne, hogere rendement zonnecollectoren zijn 2-delige, vacuüm buizen met een 'heat pipe' en een absorberend vlak binnenin. Door het vacuüm en speciale coating in de binnenste buis ontsnapt er geen warmte door straling of stroming. Deze zonnecollectoren hebben een optisch rendement van ongeveer 75% en zijn in staat hoge temperaturen te leveren (90°C werk- en 200°C begrenzings temperatuur). Verder bestaat dit circuit uit transmissiepijpen, een anti-vriesvloeistof als medium, vloeistofpompen en een warmtepomp. Deze warmtepomp hevelt een voorverwarming vanuit het derde circuit (de WKO) over naar het zonnecollectorencircuit.

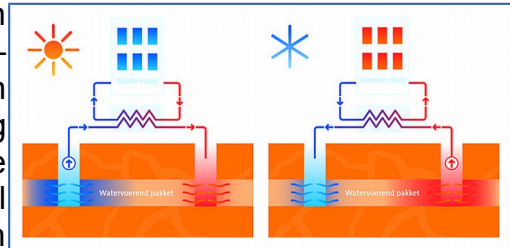


Component 3: Warmte-koude-opslag.

Een derde component in dit geïntegreerd systeem is de warmte-koude-opslag (WKO). Een WKO systeem is een seizoenbuffersysteem voor warmte, d.w.z dat overtollige warmte in

de zomer ondergronds wordt opgeslagen in een reservoir (watervoerend pakket), waarna die in de winter weer wordt benut. Het is niet zozeer een duurzame energiebron, maar meer een besparingsmaatregel: er wordt geen energie opgewekt, maar de bestaande energie wordt beter benut (over de seizoenen heen).

De opstelling bestaat eigenlijk uit twee reservoirs: een warme en een koude. Belangrijk bij een WKO-opstelling is dat er geen disbalans ontstaat tussen beide reservoirs, oftewel dat er niet meer warmte mag worden onttrokken (in de winter) dan dat er warmte aan toe wordt gevoegd (in de zomer). Vaak is dit wel het geval, en moet er in de zomer bijgestookt worden om weer voldoende warmte in het warmtereservoirs te krijgen. Dit druist tegen de doelstelling van 'besparing' in, maar in combinatie met zonnecollectoren is dit een uitstekende opstelling. Overtollige warmte van de zonnecollectoren wordt dan in de zomer ondergronds opgeslagen middels de WKO. Ook voor WKO is er voldoende ruimte nodig: er zijn twee ondergrondse warmte-koude-reservoirs nodig die ver genoeg uit elkaar vandaan moeten liggen dat ze niet naar elkaar gaan lekken. Hiervoor kan ook de 4 hectare land gebruikt worden, eventueel in combinatie met een collectorenreeks en windmolen.



De infiltratietemperatuur is maximaal 25 °C, het water verliest een paar graden over de seizoenswisseling heen, wordt bij 20-25 °C opgepompt en na warmteafgifte weer met +/- 10 °C teruggepompt in het koudereservoir. Het water gaat langs een warmtepomp, die de warmte overhevelt van WKO naar het collectorcircuit.

Component 4: Windmolen.

Voor de elektriciteitsvoorziening is een windmolen een goede keuze. Doordat een groot deel van het land beschikbaar wordt gesteld voor een zonnecollectorsysteem, zal een windmolen gezien zijn beperkte landgebruik een goede keuze zijn. Een ander pluspunt is de gelijkmatige(re) verdeling van stroomopwekking, gezien deze minder seizoensgebonden is dan zonnepanelen (PV).

Afbakening van het onderzoek

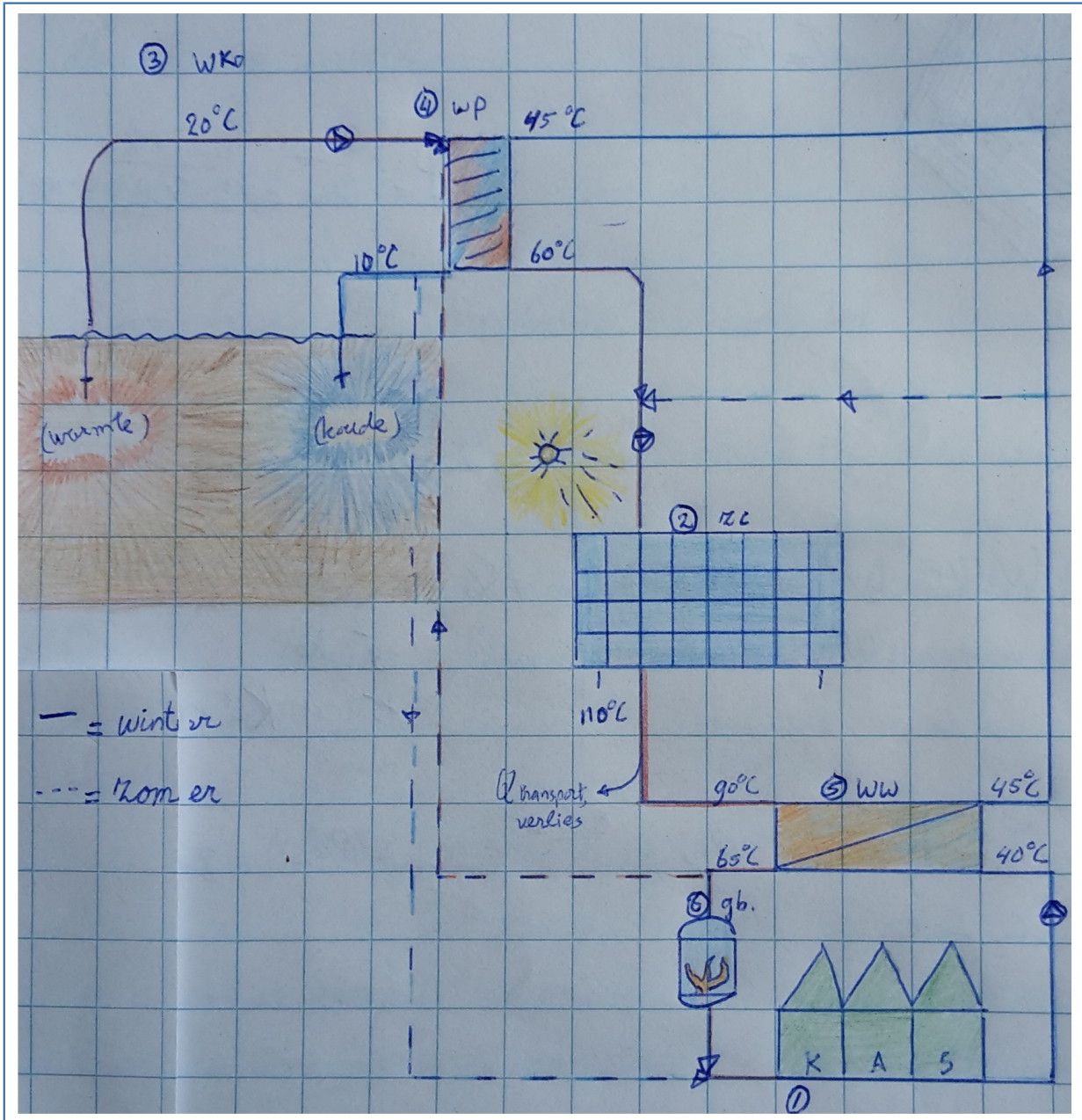
Gezien de omvang van het energieadvies is het belangrijk om een goede afbakening te maken. Het voorgestelde systeem bestaat uit drie gesloten circuits, zoals eerder genoemd. Het veld zonnecollectoren levert een fractie R_{zon} van de totale warmtevraag. In de zomer ontstaat er overproductie door een te grote zonbestraling, en deze overbodige warmte wordt opgeslagen in de bodem (aquifers) middels WKO. Hier wordt ook overtollige warmte uit de kas in opgeslagen. De WKO levert deze warmte weer in de winter als voorverwarming voor de zonnecollectoren. Die leveren dan de uiteindelijke energie aan de kas. Voor dit systeem is extra energie nodig voor pompen en de warmtewisselaar. Die electra wordt geleverd door een windmolen die deze en de huidige vraag dekt.

Laatste uitgangspunt is dat is uitgegaan van een (semi)gesloten kas. 's Zomers is er veel warmte beschikbaar in de kas die kan worden opgeslagen in de WKO. De kas wordt dan gekoeld met 10 °C koud water uit het koudereservoir. Een ander voordeel van een (semi)gesloten kas is dat de CO₂ concentratie beter beheerst kan worden en zodoende verhoogd kan worden naar 800 ppm. Hierdoor kan de fotosynthese-efficiëntie van de planten verhoogd worden naar 97% (voor tomaat) met een grotere oogst als resultaat.

Wat nu volgt is een schematische tekening van het duurzame energiesysteem. Er wordt

dan eerst een energetische balans opgemaakt, waarna dan een financiële opmaak en resultaten volgen. Als laatste komen een aantal onzekerheden aan het bod komen die moeten worden onderzocht in een volgend stadium.

Energetische balans



Figuur [1] boven illustreert de schematische opbouw van het duurzame scenario. Deze bestaat uit de volgende onderdelen:

- (1) kas met warmteleidingen,
- (2) zonnecollectoren,
- (3) Warmte/Koude-opslag,
- (4) Warmtepomp,
- (5) Warmtewisselaar,
- (6) Gasboiler.

De energieballans ziet er als volgt uit:

$$Q_{\text{kas}} = Q_{\text{gasboiler}} + Q_{\text{zon}} + Q_{\text{wko}} + Q_{\text{warmtepomp}} - (Q_{\text{zon, verlies}} + Q_{\text{wko, verlies}} + Q_{\text{warmtewisselaar, verlies}}) \quad [\text{Formule 1}]$$

Waar Q staat voor de hoeveelheid warmte in Mwh_{thermisch} per maand. In bijlage 2 staan de specifieke berekeningen per component. Het doel is om de gehele warmte- en energievraag duurzaam te leveren. Om tot die dekking te komen zijn er een aantal stappen geprioriteerd (en volgens figuur [1] hierboven genummerd):

(1) Maak een warmteprofiel. In bijlage 1 is het warmte- en koudeprofiel weergegeven van een standaard tomaten-, paprika- en komkommerkas van 7 hectare in 's Gravenzande in Den Haag. Dit voorbeeldprofiel is teruggeschaald naar 1,9 hectare en 700.000 m³ gasverbruik in Andel. De totale energievraag is aan de hand van dit profiel verdeeld over 12 maanden: het zogenaamde maandprofiel.

(2) Voor de warmtelevering is een fractie R_{zon} gekozen die gedekt zal worden door de zonnecollectoren. Ik heb gekeken naar fracties van 20%, 50% en 96% zonnewarmte. Als het hele systeem is geschaald in excel, is de precieze fractie te vinden waarbij de gehele jaarlijkse warmtevraag precies gedekt wordt door alle voorgestelde duurzame maatregelen.

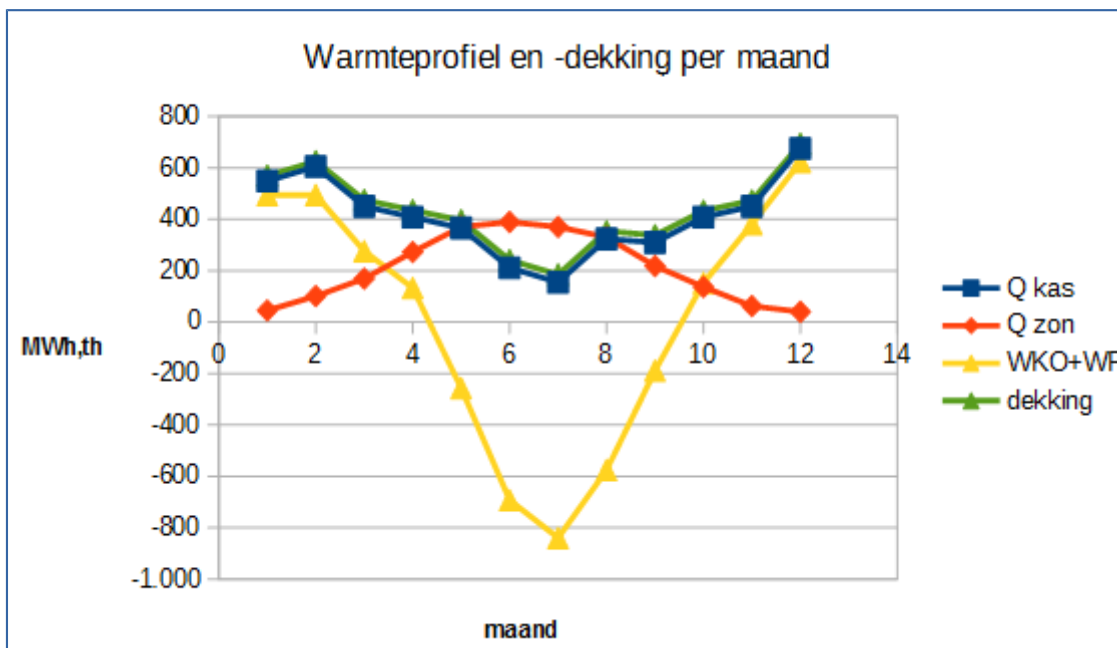
(3) Vervolgens wordt de WKO geschaald. Een WKO systeem bestaat uit één of meer doubletten (paren) van aquifers onder de grond, van ongeveer 30-100 meter diep. Ik heb gerekend op een (semi)gesloten kas in de zomer, onder andere omdat de hitte in de zomer opgeslagen kan worden. Het WKO systeem slaat dus (1) overtollige warmte van de collectoren én (2) verwarming uit de kas op. Verder is gerekend met een warmteverlies van 25% van zomer naar winter.

(4) De meest gangbare en efficiënte manier om de warmte uit de WKO over te hevelen naar het circuit van de zonnecollectoren is met een warmtepomp met COP 4. COP staat voor 'Coefficient of Performance' en staat voor $\frac{Q_{\text{geleverd}}}{W_{\text{warmtepomp}}} = COP(\text{van } 4)$ oftewel de warmtepomp verricht een arbeid W , en de geleverde energie Q_{geleverd} bestaat uit de WKO-warmte en de warmte van de warmtepomp ($Q_{\text{geleverd}} = Q_{\text{wko}} + W_{\text{wp}}$). Hoe hoger de COP, hoe beter de warmtepomp dezelfde hoeveelheid warmte uit de WKO weet te halen met minder arbeid. Hoe hoger de COP des te duurder de warmtepomp. Voor warmtepompen met COP's van minimaal 4 is subsidie te krijgen, vandaar dat met een COP van 4 wordt gerekend.

(5) Een warmtewisselaar brengt de warmte over van het zoncollectoren-circuit naar het kas-circuit. Warmtewisselaars bestaan uit vlakke-plaat of buiswisselaars van een goed geleidend materiaal met een warmtegeleidingscoëfficiënt (UA in W/K*m² zoncollector). Slechte warmtewisselaars met lagere UA lekken warmte weg van het zoncollector circuit. Hier is een efficiëntie genomen van 90% voor de warmtewisselaar.

(6) Het laatste deel van de energielevering wordt gedaan door de gasboiler. Die is enkel geschaald op de levering van CO₂ aan de kas. Uitgangspunt daarbij is een CO₂ dosering van 800 ppm, waarbij de lichtefficiëntie van de fotosynthese (van tomaten en paprika's) 97% is ten opzichte van de efficiëntie bij 1000 ppm. Hiervoor is aangenomen dat er 15 kg CO₂/m² nodig is, oftewel 157.000 m³ aardgas/jaar. Bijlage 2 geeft de gedetailleerde berekening van deze CO₂ vraag.

De leidende factor is dus de in te geven zonnefractie $R_{z\text{on}}$, waarna alle andere componenten worden geschaald op grootte. Onderstaand figuur 2 geeft op een grafische manier weer hoe de warmtevraag wordt gedekt. De blauwe lijn is de warmtevraag van de kas. De rode lijn is de opbrengst van de zonnecollectoren. Opvallend is de top-dal verhouding van beide lijnen: als de kas het minst energie nodig heeft, produceren de collectoren het meest. Dit wordt gelukkig opgeslagen in de WKO, de gele lijn. De gele lijn vertegenwoordigt in totaal dus 3 warmtestromen: (1) de warmteafgifte van de kas (als die gekoeld wordt), (2) het overschot van de zonnecollectoren (als $Q_{z\text{on}} - Q_{\text{kas}} > 0$), en (3) de warmteafgifte van de warmtepomp. De gele oppervlakte onder de 0-lijn is even groot als beide gele oppervlakten boven de 0-lijn. De zonfractie $R_{z\text{on}}$ waarbij de totale warmtevraag precies dekkend is, is 47%. Onderstaande tabellen 1, 2 en 3 weergeven de gebruikte kerngetallen en verdere details.



Tabel 1: KAS specificaties		
Oppervlakte	19.000	m ²
Gasverbruik	700.000	m ³ /jaar
Q,kas	6.222	Mwh,th/jaar
CO ₂ dosering	15	kg/m ²
totaal dosering CO ₂	285.000	kg/jaar
molaire massa CO ₂	44,01	g/mol
molaire massa CH ₄	16,04	g/mol
dichtheid CH ₄	0,66	kg/m ³
benodigde CH ₄	157.406	m ³ /jaar
Q gasboiler	1.399	MWh,th / jaar
CH ₄ + 2 O ₂ = CO ₂ + 2 H ₂ O + 54800 kJ/kg warmte.		

Tabel 1 geeft de specificeringen van de kas en CO₂ dosering. Gebaseerd op de molaire verhouding van gasverbranding is er 157.406 m³/jaar nodig om 800 ppm CO₂ in de kas te behouden.

Tabel 2 hieronder geeft de specificeringen van de zonnecollectoren. Bij een zonnefractie van 47% is het gehele systeem precies dekkend. Hiervoor is 6.409 m² meter aan

(appertuur)oppervlakte aan collectoren nodig. Appertuuroppervlakte is het gedeelte in de collector dat werkelijk door het zonlicht wordt verwarmt. Dit oppervlakte maal 3,24 resulteert in het werkelijke oppervlakte, oftewel 2,08 hectare aan zonnecollectoren. Een goede omrekeningsfactor voor de zonneopbrengst is 450 kWh_{th} per vierkante meter. Als de WKO-warmte is overgeheveld aan het collectorcircuit, voegen de zonnecollectoren nog eens 2505 MWh_{th} per jaar toe (verliezen in pijpen en warmtewisselaar al verrekend).

Tabel 2: ZONNECOLLECTOR specificaties		
fractie R zon/totaal	47%	
G opbrengst	0,450	Mwh/m ² .zonc.
Capaciteit ZonneClr	2.505	Mwh/jaar
A solar (m ²)	6.409	m ² appertuur
A solar (ha)	2,08	ha totaal
Collectorverlies	10%	
Warmtew. Verlies	10%	

Tabel 3 hieronder geeft de WKO-specificaties. De totale warmteopslag is 2.757 Mwh_{th}/jaar. Na een energieverlies van 25% is er weer 2.106 Mwh_{th}/jaar aan warmte beschikbaar voor de wintermaanden. De aquifers hebben een gezamenlijk debiet van 422.702 m³/jaar, waarvoor twee pompen nodig zijn met een capaciteit van elk 120 m³/uur. Als de WKO ook de warmte uit de kas opslaat, kan deze ongeveer 43% van de totale warmtevraag dekken.

Tabel 3: WKO specificaties		
fractie R wko/totaal	43%	
Capaciteit WKO	11,6	kWh/m ³
Capaciteit warmte	2.106	MWh th (w)
Capaciteit koelte	2.809	MWh th (k)
Grootte doubletten	422.702	m ³ / jaar (w + k)
WKO verlies	25%	
COP warmtepomp	4	
Capaciteit pompen	120	m ³ /h
Energie pompen	13	kWe bij 120 m ³ /h wa

Financiële analyse en resultaten

Bovenstaande grafieken en tabellen gaven de details weer voor de componenten die de warmtevraag dekten. Wat nu nog nodig is voor de financiële analyse is (1) het totale elektrisch energieverbruik, (2) de geschikte dekking voor het elektriciteitsgebruik, (3) de investeringskosten per component en (4) mogelijke subsidies. Tabellen 4, 5 en 6 onderaan geven de details voor deze onderwerpen. Het elektriciteitsgebruik voor iedere component staat in ieder betreffende tabel, maar wordt pas samengevat in tabel 6. Nu eerst de financiële bespreking van tabel 4 en 5.

Tabel 4 hieronder geeft de financiële details weer voor de zonnecollectoren. Ik heb de investeringskosten voor de collectoren geschat op 260 € / m². Onderhoudskosten liggen op de 1-2% van de totale investering. Dit is gebaseerd op een Deens project voor stadsverwarming. Het Europees kennisplatform www.solar-district-heating.eu deelt zeer uitgebreide en gefundeerde wetenschappelijke en praktijkervaring over zonnecollectoren. Gezien de afwezigheid van grote zonnevelden in Nederland (enkel dakinstallaties) zal hun informatie als basis dienen voor Andel. Verder ben ik uitgegaan van een afschrijvingsperiode van 15 jaar, waarover ook de SDE+ subsidie wordt verstrekt, en een discontovoet van 5%. de totale investering voor het zonnecollectorsysteem is 1.666.228 € met jaarlijks onderhoud van 33.325 € / jaar. In bijlage 3 is een overzicht te vinden waar die kosten precies uit bestaan.

Tabel 4: ZONCOLLECTOREN financieel	
Investing	260 € / m ²
Onderhoud	2,00% % van Investering
Electriciteitsgebruik	5 kWh,e / Mwh,th
Warmteopwekking ZC	2.505 MWh,th / jaar
Totaal electra	13 MWh,e / jaar
Afschrijvingsperiode	15 jaar
Discontovoet	5%
Totale Investering	1.666.228 €
Onderhoud	33.325 € / jaar

Tabel 5 hieronder geeft de details voor het WKO systeem. De investering van 77 € / Mwh_{th} geldt voor de warmte- en koudevraag tezamen. Hier is uitgegaan van een afschrijvingsperiode van 20 jaar en discontovoet van 5%. Er is geen SDE+ subsidie beschikbaar voor WKO installaties, maar wel een EIA (Energie Investeringsaftrek). De totale investering is 373.231 € met onderhoudskosten van 11.197 € / jaar. Bijlage 3 geeft een gedetailleerde kostenverdeling.

Tabel 5: WKO financieel	
Investing	77 € / Mwh,th
Onderhoud	3,0% % van Investering
Electriciteitsgebruik	25 kWh,e / Mwh,th
Totale w/k-vraag	4.915 MWh,th / jaar
Totaal electra	123 MWh,e / jaar
Afschrijvingsperiode	20 jaar
Discontovoet	5%
Total Investering	380.280 €
Onderhoud	11.408 € / jaar

Tabel 6 hieronder geeft de details weer van de elektriciteitsvoorziening. Zoals eerder besproken is gekozen voor een windmolen omdat die minder ruimte inneemt en meer rendeert. Een derde voordeel is de betere verdeling van elektriciteit over het jaar heen. De meeste elektriciteit is voor de warmtepomp en WKO-waterpompen, en die draaien voornamelijk in de winter. PV panelen wekken dan juist het minst op, maar bij een windmolen is dat beter verdeeld over het jaar heen. Wind is namelijk minder seizoensgebonden dan zon.

Pompen en warmtepomp verbruiken jaarlijks 850 MWh_e. Daar komt nog een hoeveelheid van 400 MWh_e bij van het huidig gebruik (uitgaande van 80 kW_e elektrisch vermogen en een belasting van 5.000 uur per jaar). Totale elektriciteitsgebruik komt dan op 615 MWh_e en hiervoor is een V52 – 850 kW_e windmolen geschikt. Afschrijvingsperiode is 15 jaar en verdiscontering van 5%. Ook hier is een SDE+ subsidie voor te verkrijgen over een looptijd van 15 jaar. Dergelijke windmolen kost 1.1470.500 € met jaarlijkse onderhoudskosten van 30.000 € aan onderhoud en 20.000 € aan teruggeleverde stroom.

Tabel 6: WINDMOLEN V52 – 850 kW _e	
Investering	1350 € / kW _e
Netkosten	11 € / kW / jaar
Onderhoud	0,011 € / kWh / jaar
E verbruik nieuw	866 Mwh,e/yr
Huidig vermogen	80 kW _e
Huidig E verbruik	400 Mwh,e/yr (a)
Totaal E verbruik	1.266 Mwh,e/yr
Vermogen nodig	659 kW _e
Vermogen V52 molen	850 kW _e
Afschrijfperiode	15 jaar
Disconto voet	5,0%
Investering	1.147.500 €
Netkosten	9.350 € / yr
Onderhoud	20.570 € / yr
Terugleveringsprijs	0,046 € kWh * jaar
Totaal teruglevering	19.304 € / jaar

De uiteindelijke kosten/kosten-batenanalyse wordt als volgt berekend:

$$kve = \frac{\alpha * I + (O - S) + F}{E}, \text{ waar:}$$

[formule 2]

- kve = Kosten van energie (in € / m³ gas equivalent of € / kWh_e)
- α = annuïteitsfactor
- I = Investeringskosten voor warmte of electriciteit (€)
- O-S = Onderhoud en Subsidies met elkaar verrekend (€)
- F = 'Fuel' oftewel brandstofkosten van gas (€)
- E = Energie (m³ gas eq. Of kWh_e)

Deze berekening wordt in deze verkennende fase gebruikt, en geldt als de kosten en baten in de toekomst als constant worden beschouwd. Ik ga uit van constante onderhoudskosten (alhoewel dit niet aannemelijk is). De subsidies zijn ook constant en worden jaarlijks verstrekt over een periode van 15 jaar voor zonnecollectoren en windmolen. Dus onderhoud en subsidie zijn constant en worden dan met elkaar verrekend.

De annuïteitsfactor is dan als het ware een weergave van de jaarlijkse kapitaalkosten (afschrijving + premie voor de bank voor het lenen van geld + inflatie). Het wordt als volgt berekend:

$$\alpha = \frac{r}{1 - (1+r)^{-L}} \text{ waar:} \quad [\text{formule 3}]$$

r = discontovoet of bankrente
L = afschrijvingsperiode

Tabel 7 hieronder geeft een overzicht van de te verkrijgen subsidies. Een SDE+ 2015 subsidie is aan te vragen voor de zonnecollectoren en windmolen met een looptijd van 15 jaar. De jaarlijkse subsidie is te berekenen als (subsidie – voorlopig correctiebedrag)* E_{subsidie}. De subsidie per MWh is in verschillende fases van het jaar verschillend. Voor de WKO is geen SDE te verkrijgen, dus geldt een belastingvoordeel (EIA aftrek). Van de initiële investeringskosten is 41,5% af te trekken van de jaaromzet. Als daar 25% belasting over wordt betaald is deze subsidie dus netto waard 41,5% * 25% = 10,4%. Dit bedrag wordt van de investering (bij α * I in formule 2) afgetrokken en niet als subsidie (S in formule 2) verrekend in de kve berekening. Terugverdiertijden zijn 5 jaar (collectoren), 10 jaar (windmolen)¹ en 3 jaar (WKO).

Indien de zonnecollectoren of -panelen niet op een dak geplaatst worden maar in een veldopstelling of aan een gevel (in het zicht), dan zal een omgevingsvergunning in het kader van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht vereist zijn. Meer informatie met betrekking tot het vereiste van een omgevingsvergunning is te vinden bij het 'omgevingsloket' van Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland (www.rvo.nl).

Tabel 7: SUBSIDIES	SDE+ 2015	Solar collectors	WINDMOLEN V52 – 850 kWe	WKO gesloten systeem
voorlopig correctiebedrag	€ / MWh	55	39	
Subsidie	€ / MWh	130 v.a. fase 7 (21 sept)	86 vanaf fase 3 (11 mei)	EIA (aftrekbaar) 41,5%
E,totaal, subsidiabel	Mwh	3.140	1.632	totaal subs 10,3%
Subsidie per jaar	€	235.515	76.704	39.169
Terugverdiertijd	jaar	5	10 (6)	3

Tabel 8 hieronder geeft een algeheel overzicht van de financiële resultaten: investering, onderhoud, subsidies, annuïteitsfactor, terugverdiertijden, en uiteindelijk de kosten van energie (kve). Twee opmerkingen: (1) gaskosten zijn voor het gemak verrekend met de onderhoudskosten van de zonnecollectoren; (2) van de onderhoudskosten van de windmolen is een klein bedrag afgetrokken voor teruglevering van een resterende hoeveelheid opgewekte stroom.

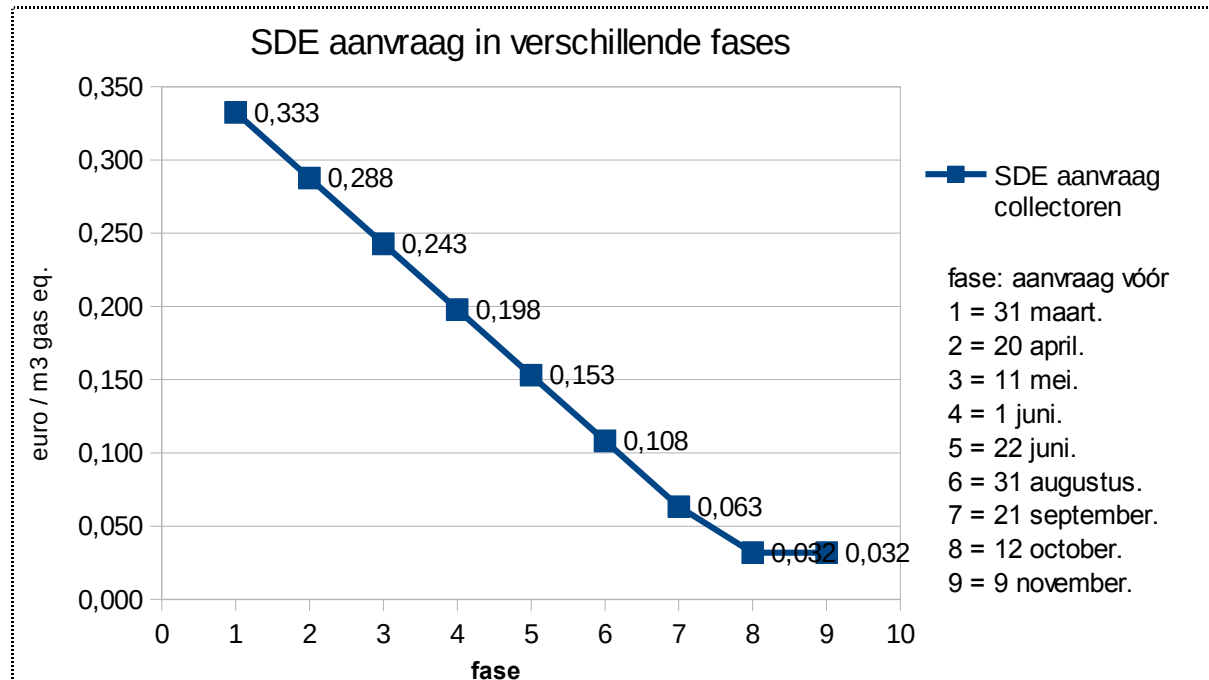
Over de gehele levensduur van het alternatieve scenario betaalt u 6,3 ct/m³ gas eq. (equivalent staat voor de duurzame warmte omgerekend naar de energiehoeveelheid van 700.000 gas/jaar). Voor elektriciteit zult u in het vervolg maar 2,7 ct/kWh betalen. Al met al zijn dit zeer positieve (voorlopige) conclusies. De investeringen zijn hoog, maar met de subsidies is de terugverdiertijd van alle onderdelen tezamen zo'n 6 jaar.

¹ . De terugverdiertijden zijn berekend als het aantal jaar waarin de investeringen zich zouden terugbetalen door inkomsten uit subsidies + vermeden uitgaven (dus de besparing van 700.000 m³ gas en 80 kW_e huidig electriciteitsgebruik). De windmolen heeft dan een terugverdiertijd van 10 jaar, omdat deze is gebaseerd op een besparing van 400 Mwh_e aan elektriciteit. In werkelijkheid is de terugverdiertijd van de windmolen 6 jaar, als wordt gekeken naar de winst van alle opgewekte stroom. De duurzame maatregelen gaan tezamen echter 3x meer stroom verbruiken dan het huidige verbruik. Dit extra stroomverbruik is natuurlijk geen 'besparing', dus wordt de terugverdiertijd berekend over de huidige 400 MWh_e (oftewel de stroom die de 80 kW_e opwekken).

Tabel 8: kosten-baten	Investering (€)	Onderhoud (€/jr)	Subsidie (€ / jr)	Afschrijving (jr)	Bankrente
Zonnecollectoren	1.666.228	33.325	235.515	15	5,0%
WKO	380.280	11.408	39.169	20	5,0%
Windmolen	1.147.500	10.616	76.704	15	5,0%
Gaskosten		47.222			

	Annuiteitsfactor α	Energie (m3 & kWh)	Kve met subsidie (€/m3 gas-eq. & €/kWh)	Terugverdientijd (jr)
Zonnecollectoren	9,6%	700.000	0,063/m3,gas	5
WKO	8,0%			3
Windmolen	9,6%	1.632.000	0,027/kWh,e	10 (6) (6 jaar voor alle Inv.)

Onderstaande figuur 2 geeft de invloed weer van het moment van SDE aanvraag op de kostprijs van energie. De aanvraag is in fases ingedeeld, en hoe eerder je de SDE aanvraagt hoe zekerder je bent van toezegging, maar ook hoe lager het subsidiebedrag. Hoe later je aanvraagt, hoe hoger het bedrag, maar ook hoe groter de kans dat de pot leeg is. Hierdoor creëert de overheid toch een impuls om eerder aan te vragen, en hoeft dus minder uit te keren. Uit efficiëntieoogpunt is dit dus een redelijk slimme maatregel, al blijft het voor velen een raadsel waarom dit zo is opgezet. In dit energieadvies is uitgegaan van een SDE toekenning in fase 7, die voor 21 september moet zijn aangevraagd en goedgekeurd, waardoor het uiteindelijke investeringsbedrag voor Andel uitkomt op 6,3 ct per kuub gas equivalent.



Onzekerheden

Ik heb niet alle tijd gekregen om een gedetailleerde analyse nog verder uit te werken. Een aantal onderwerpen zullen nog een belangrijke invloed hebben op het uiteindelijke kostenplaatje. Andere factoren zullen niet zozeer een grote invloed hebben, maar zullen beter geschaald moeten worden waardoor dan een beter kostenplaatje ontstaat. Ik zal een

paar onderwerpen behandelen die ik graag verder zou willen onderzoeken mocht daar in een volgend stadium interesse voor zijn.

1. Gedetailleerd energieprofiel. Zoals eerder al onderling besproken kan met een goed energieprofiel, liefst dag- of weekgebaseerd, een betere afstemming worden gemaakt. Dit profiel geeft inzicht in de uitschieters in warmte- en koudevraag. Hierdoor kunnen de gasketel, warmtepomp en waterpompen beter worden berekend op grootte.

2. Nu is een energiebalans opgemaakt gebaseerd op het jaarlijkse energieverbruik. Het liefst wil ik een balans maken gebaseerd op de buitentemperatuur, en de veel voorkomende graaddagen. Hierdoor worden de WKO, collectorensysteem en kasverliezen beter berekend. Met een energie/massabalans gebaseerd op temperatuurverlopen kan ik ook beter de warmtepomp en warmtewisselaar schalen. Deze taken worden echter goed doorgerekend in de voorbereidende fase door een ingenieursbureau.

3. Wellicht zou een ander type WKO systeem ook grote invloed hebben op het uiteindelijke kostenplaatje. Nu is een open systeem (met aquifers) onderzocht, maar er zijn ook andere systemen: boorholtes (Lage Temperatuur Opslag LTO), tanks (Midden Temp. Opsl.) en andere bassins (Hoge Temp. Opsl.). Een voorbeeld is een gesloten, geïsoleerd bassin dat veel hogere temperaturen opslaat (tot 90 °C) waardoor er minder opslagvolume nodig is, minder pompenergie en er een veel hoger opslagrendement wordt bereikt. Ik zou nog kunnen uitzoeken welk systeem het beste geschikt is voor Andel.

4. Meer gedetailleerde input zou het kostenplaatje nog verder kunnen aanscherpen, zoals het jaarlijkse elektriciteitsverbruik (in MWh_e), de CO₂ behoefte en de behoefte voor koeling.

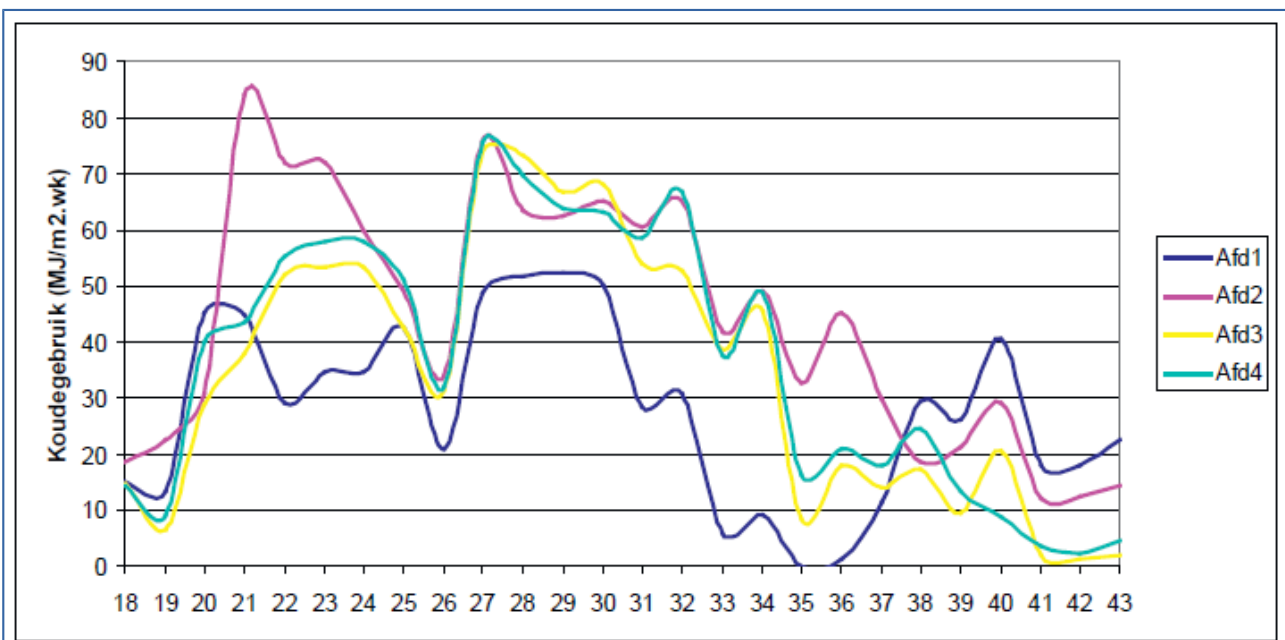
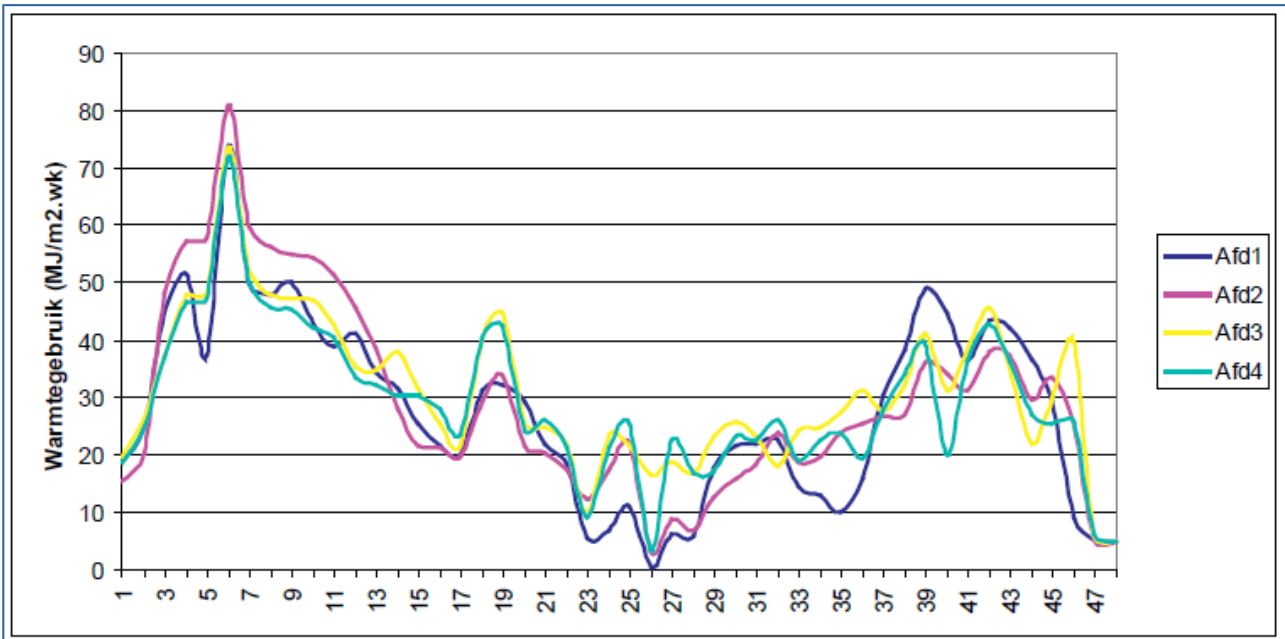
Conclusie

Met dit voorlopig energieadvies is uitgezocht of een alternatieve, duurzame energievoorziening voor de kas in Andel kosteneffectief zou zijn. De voorlopige cijfers stemmen zeer positief. Een geïntegreerd systeem met zonnecollectoren als warmtevoorziening, warmte-koudeopslag als buffer en een windmolen voor de elektriciteitsdekking is mogelijk tegen een gereduceerd energietarief. Als de collectoren 47% van de warmtevraag zouden dekken, de WKO 43% en de gasboiler de resterende 10%, zouden de totale investeringskosten 3,2 miljoen zijn. Over de betreffende levensduren en bijbehorende verdisconteringen, kunnen deze bedragen omlaag naar 6,3 ct/m³ gas eq en 2,7 ct/kWh_e. Vergelijk dit nu met 30 ct/m³ gas voor warmte uit gasverbranding, en 9 ct/kWh_e voor stroom.

Voor de zonnecollectoren is ongeveer 2,1 hectare land nodig. Op dezelfde 4 hectare past dan nog een windmolen met een diameter van 52 meter (850 kW_e). Op hetzelfde terrein wordt ondergronds nog een WKO systeem geïnstalleerd met een totale warmte- en koudedebiet van 423.000 m³ per jaar. Voor de windmolen en zonnecollectoren is een SDE subsidie te verkrijgen, en voor het WKO-systeem een EIA belastingaftrek. Deze subsidies maken de investering mede rendabel. De grootste variabele op deze energiekostprijzen is het moment waarop de subsidie wordt aangevraagd.

De uiteindelijke financiële cijfers hebben een onzekerheidsmarge van ongeveer 20-40% en zal duidelijker worden naarmate er meer tijd is voor kostenraming.

Bijlage 1: Voorbeeld warmte- en koudeprofiel in MJ/m²*wk in 's Gravenzande, 7 hectare.



Bijlage 2: Formuleberekeningen voor de schaling

$$1. \underline{Q_{kas}} = V_{gas} \text{ (m}^3\text{/jaar)} * LHV_{gas} \text{ (MJ/m}^3\text{)} / 3600 \text{ (MJ/Mwh}_{th}\text{)}$$
$$= 700.000 * 31,65 / 3600$$

= 6222,22 Mwh_{th} verdeeld over 12 maanden. Waar:

V_{gas} = jaarlijks gasverbruik

LHV_{gas} = Lage calorische waarde van methaangas in MJ per m³.

$$2. \underline{Q_{gasboier}} = V_{co2} \text{ (kg CO}_2\text{/m}^2\text{)} * A_{kas} * \frac{M, CH_4 \text{ (g/mol)}}{M, CO_2 \text{ (g/mol)}} * \rho_{gas} \text{ (kg/m}^3\text{)} * LHV_{gas}$$
$$\text{ (MJ/m}^3\text{)} / 3600 \text{ (MJ/Mwh}_{th}\text{)}$$

$$= 15 * 19000 * \frac{16,04}{44,01} * 0,66 * 31,65 / 3600$$

= 1399 Mwh_{th} gelijk verdeeld over 12 maanden. Waar:

V_{co2} = Verbruik van CO₂ per m²

A_{kas} = oppervlakte van de kas

$M_{ch4,co2}$ = Molaire massa's van Koolstofdioxide en Methaangas

ρ_{gas} = dichtheid van gas

$$3. \underline{Q_{zon}} = A_{zoncollector} \text{ (m}^2\text{)} * G_{zonopbrengst} \text{ (kWh}_{th}\text{ / m}^2\text{ * jaar)} * \eta_{overdracht} / 1.000 \text{ (kWh/MWh}_{th}\text{)}$$
$$= 6.409 * 450 * 0,87 / 1.000$$

= 2.505 Mwh_{th} verdeeld over 12 maanden volgens warmteprofiel. Met:

A_{kas} = Oppervlakte van zonnecollectors

$G_{zonopbrengst}$ = De opgewekte zonne-energie per m² *jaar

$\eta_{overdracht}$ = efficiëntiefactor die rekening houdt met verliezen in pijpen en warmtewisselaar.

$$4. \underline{Q_{wko}} = \eta_{wko} * Q_{kas,zomerkoeling} \text{ (Mwh}_{th}\text{ / maand)} + Q_{zon} \text{ (Mwh}_{th}\text{ / maand)} \text{ (als } Q_{zon} - Q_{kas,winterverwarming} > 0; \text{ dus als er overproductie is). Waar:}$$

η_{wko} = de opslagefficiëntie van de WKO van zomer naar winter. Hier 75% genomen.

$$5. \underline{Q_{warmtepomp}} \text{ (} W_{wp}\text{)} = Q_{wko} / (\text{COP}-1) \text{ en COP} = Q_{geleverd} / W_{wp} \text{ oftewel } (Q_{wko} + W_{wp})/W_{wp}. \text{ Waar:}$$

Q_{wp} oftewel W_{wp} = de electra die de warmtepomp verbruikt om de WKO warmte over te hevelen naar het collector circuit.

COP = Coefficient of performance

$Q_{geleverd}$ = is de uiteindelijke warmte overgedragen aan het collector circuit, en bestaat uit de WKO warmte en de verbruikte electra van de warmtepomp.

Bijlage 3: kostenoverzicht zonnecollectoren en WKO

ZONNECOLLECTOREN (m2)		6.409
Landkosten (3 ha)		55.300
solar collectors (+ pipes, pumps, ant		1.281.700
hekken en grondwerk		55.300
transmissiepijpen		196.300
control system		52.100
consultancy		25.600
Totaal & € /m2		1.666.300
Onderhoudskosten	1 euro/Mwh-th	
Electriciteitsgebruik	5 kWh/MWh-th	
O&M+/- 1-2% van investering		

Bron: 'Training course on Solar District Heating' (SDH solar district heating, 2008).

[http://www.solar-district-](http://www.solar-district-heating.eu/Portals/0/Publicdownloads/SDH_WP4_Task4.1_training_slides_rev04.pdf)

[heating.eu/Portals/0/Publicdownloads/SDH_WP4_Task4.1_training_slides_rev04.pdf](http://www.solar-district-heating.eu/Portals/0/Publicdownloads/SDH_WP4_Task4.1_training_slides_rev04.pdf)

WKO (m3 warm+koud)		4.915
Bronnen en putbehuizingen		94.515
Pompkamers, bronkoppen en leidingwerk in putbehuizingen (inc. Bronpompen en frequentieregelaars)		65.121
Transportleidingwerk (inclusief graafwerk)		41.000
leidingwerk en appendages in technische ruimte (inclusief warmtewisselaars)		30.340
Regeling en bekabeling		37.000
Warmtepomp		37.000
Subtotaal 1		304.976
Onvoorzien (10% over subtotaal 1)		30.401
Subtotaal 2		335.377
Aanvraag vergunning Grondwaterwet, excl. Leges		6.068
Lozingsvergunning		3.034
Engineering en begeleiding voor adviseur (12% over subtotaal 2)		35.801
Totale investeringskosten		380.280

Bron: 'Kansen voor lage-temperatuurwarmte in combinatie met warmtepompen en ondergrondse energie-opslag bij (bijna) gesloten kassen' (KEMA & IF Technology, 2002).

[file:///C:/Users/ben/Downloads/KEMA_2002_warmtepompen%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ben/Downloads/KEMA_2002_warmtepompen%20(1).pdf)

Bijlage 4: benodigheden voor een gedetailleerdere energieballans

1. Energieprofielen: om goede ontsluiting van de duurzame energieopties te maken, heb ik het energieprofiel nodig van de kas in Andel. Dit zijn de gebruiksgegevens (gas in m³ en electra in kWh) op uur- of weekbasis, voor een heel jaar. Het liefst heb ik deze ook nog van 3 jaren (5 jaar geleden, 3 jaar geleden en afgelopen jaar), omdat ik dan het gemiddelde kan nemen, en kan corrigeren voor graaddagen. Met dit energieprofiel kunnen de energieopties optimaal worden afgestemd op je dag-nacht en seizoensgebruik. Deze gegevens zijn te verkrijgen bij uw huidige energieleverancier.
2. €/kWh en €/m³ retailprijs voor electriciteit en gas: hoeveel betaalt u voor de energie? Inkoopprijs + alle bijkomende belastingen .
3. T_{kas} : Temperatuurprofiel in de kas(delen), per dag of week, over het jaar.
4. $T_{boiler, in}$ en $T_{boiler, uit}$: In- en uitlaattemperaturen van het warme water. Wat zijn de benodigde temperaturen van het verwarmingswater als deze de kas (1) ingaat en (2) uitgaat? Dit is hetzelfde als de in- en uitlaattemperatuur van de boiler.
5. $T_{kas, zomer}$: Wat is de kastemperatuur in de zomer, en tot hoever moet die dalen? Hierbij kunt u de temperaturen per maand of week geven. Dit houdt ook verband met de isolatiewaarde van de kas. Deze waarden zijn belangrijk om uit te zoeken hoeveel er gekoeld moet worden in de zomer, en hoeveel die koeling oplevert voor de WKO.
6. Is de saldering ook van toepassing op tuinderijen? Zo ja, dan is een PV capaciteit te installeren voor het jaarlijkse elektriciteitsverbruik van 60-70 kW; zo nee, dan is de zomercapaciteit te installeren, in de winter wordt dan ingekocht van het net².
7. Co₂ stroom: is een specifieke co₂ stroom noodzakelijk voor de kas, nu geleverd door de gasbrander, maar later eventueel door een biomassaketel?

2 . U gaf aan liever geen WKK te installeren, omdat de leverprijs aan het net laag is. U wilt dan waarschijnlijk zo min mogelijk rekening houden met het net, en zo zelfvoorzienend mogelijk te zijn. Dan hebt u toch te maken met seizoensgebonden energievraag. Warmte van de zonnecollectoren is op te slaan in de WKO installatie. Maar electriciteit niet. Kunt u salderen, d.w.z. leveren en nemen van het net, waarna u dit aan het einde van het jaar verrekent, dan kunt u voor de volle 60-70 kW vermogen aan PV installeren. Is dit niet het geval, dan moet onderzocht worden wat het voordeligst is: (1) een kleiner vermogen opstellen en in de winter afnemen van het net; of (2) de volle capaciteit installeren en terugleveren aan het net.