

# **Een verkenning van de energietransitiepaden voor de Nederlandse glastuinbouw**

*Jaap Sok*

*Juni 2012*



# Een verkenning van de energietransitiepaden voor de Nederlandse glastuinbouw

Jaap Sok

**MSc Thesis Business Economics**

Vakcode 80424

Supervisie vanuit

WUR            ir. G. W. J. Giesen

Accon avm    A. J. P. Wagemans AA FB

Juni 2012

## VOORWOORD

*“Het vraagstuk van de luchtverontreiniging, de milieuverontreiniging, het klimaatbederf en de waterbevuiling is in elk geval zo ernstig, dat er meer mensen van leven dan eraan sterven.”*

*– Jan Reijs, in: Raam (1971)*

Nog altijd zijn er twee kampen: be-amers en tegensprekers van het broeikas effect. Een ding is zeker: de economieën in Europa en andere werelddelen zijn gebouwd op een energievoorziening die afhankelijk is van fossiele brandstoffen. De Nederlandse glastuinbouw voorziet hoofdzakelijk in zijn energiebehoefte door het gebruik van aardgas. Schaalvergroting en intensivering enerzijds en innovatie anderzijds, hebben in deze sector geleid tot een hoog maar efficiënt gebruik van het gas. Maar hoe vergaat het de sector in de komende decennia op dit gebied?

De uitstoot van het broeikasgas CO<sub>2</sub> door de glastuinbouw is geplafonneerd en elk jaar wordt het plafond verlaagd met ongeveer drie procent. Dit terwijl CO<sub>2</sub> ook gebruikt wordt voor de groei van het gewas. Verder is er op de wereldmarkten van fossiele brandstoffen veel gaande. Naast toenemende schaarste van makkelijk winbare voorraden is er ook meer prijsvolatiliteit. En hoe ontwikkelt de vraag naar elektriciteit zich in de toekomst? Dit is ook niet onbelangrijk, aangezien de glastuinbouwsector een netto energieproducent van elektriciteit is geworden door de omarming van het gebruik van warmtekrachtinstallaties.

Alternatieve energiebronnen bieden mogelijk uitkomst voor deze onzekerheden. Zon, wind, diepe geothermie en biomassa zijn veelbesproken vormen van hernieuwbare energie. De afhankelijkheid van fossiele brandstoffen kan in ieder geval worden teruggedrongen door energiebesparende maatregelen. Op dit gebied zijn er veel initiatieven gaande, zoals meer isolatie in de kas en het doorvoeren van andere temperatuurregimes. Een andere serieuze mogelijkheid is om samenwerking te zoeken met andere partijen die beschikking hebben over energie.

Dit onderzoek is verricht voor Accon avm. Allereerst wil ik dhr. Wagemans bedanken voor zijn begeleiding vanuit de organisatie. Vanaf de eerste ‘kantoordag’ ben ik keurig opgevangen en heeft het mij sindsdien aan niets ontbroken. Verder wil ik ook dhr. Giesen bedanken, die vanuit de universiteit mij intensief heeft willen begeleiden tot het resultaat wat u nu voor u hebt.

Jaap Sok

*Juni 2012*

## INHOUDSOPGAVE

Lijst met figuren en tabellen.....	III
Samenvatting.....	IV
1 INTRODUCTIE.....	1
1.1 Achtergrond.....	1
1.2 Probleemstelling.....	4
1.3 Onderzoeksdoelstelling.....	4
1.4 Onderzoeksvragen.....	4
1.5 Methodologie.....	5
1.6 Leeswijzer.....	5
2 ENERGIE IN DE NEDERLANDSE GLASTUINBOUW.....	6
2.1 Energievraag en –aanbod wereldwijd.....	6
2.2 Huidige energiebronnen en technieken.....	9
3 DE INSTITUTIONELE OMGEVING.....	12
3.1 Energietransitie in de glastuinbouw.....	12
3.2 Regulerende instituties.....	13
3.3 Normatieve en cognitieve instituties.....	15
4 HERNIEUWBARE ENERGIEBRONNEN.....	18
4.1 Huidige toepassing van hernieuwbare bronnen.....	18
4.2 Zonne-energie.....	19
4.3 Windenergie.....	21
4.4 Diepe geothermie.....	23
4.5 Energie uit biomassa.....	25
4.6 Veranderingen in de CO <sub>2</sub> -voorziening.....	27
5 AANVULLENDE OPTIES.....	28
5.1 Besparen op energiegebruik.....	28
5.2 Efficiënter gebruik van fossiele brandstoffen.....	29
5.3 Samenwerken.....	30

6 MODELLERING VAN ENERGIE IN DE KAS.....	33
6.1 Opzet van het basis LP-model.....	33
6.2 Resultaten van het basis LP-model.....	38
6.2.1 Technische resultaten.....	38
6.2.2 Economische resultaten.....	41
6.3 Gevoeligheidsanalyse gasprijs.....	44
6.4 Scenarioanalyses.....	45
6.4.1 Warmtevraagreductie.....	45
6.4.2 Samenwerken met RWZI.....	46
7 CONCLUSIES EN DISCUSSIE.....	47
8 REFERENTIES.....	51
BIJLAGE I – berekening vaste kosten installaties.....	55
BIJLAGE II – technische resultaten van de gevoeligheidsanalyse en de scenarioanalyse	56
BIJLAGE III – overzicht schaduwrijzen.....	59
BIJLAGE IV – overzicht gereduceerde kosten.....	61

## LIJST MET FIGUREN EN TABELLEN

Tabel 1.1: Energiebaten en -lasten naar bedrijfstype, per gemiddeld bedrijf (voorlopige cijfers 2010).....	1
Figuur 1.1: Programma Kas als Energiebron: één integrale aanpak volgens het principe van de Trias Energetica met 7 transitiepaden.....	3
Figuur 2.1: De hoeveelheid energie die primair beschikbaar is gekomen voor verbruik in Nederland, opgedeeld naar de bron of drager van energie .....	8
Figuur 2.2: Energieverbruik ten behoeve van warmte in de glastuinbouw.....	9
Figuur 2.3: Elektriciteit in de glastuinbouw.....	10
Tabel 3.1: Samenhang tussen productclaims.....	16
Tabel 2.2: Sterkte-zwakteanalyse van de energiehuishouding in de glastuinbouw.....	17
Figuur 4.1: Productie van hernieuwbare energie opgedeeld naar bron en toepassing in de glastuinbouw .....	18
Figuur 4.2: Aanbod bij het onttrekken van warmte uit oppervlaktewater en warmtebehoefte in de kas.....	20
Figuur 4.3: Langjarig jaargemiddelde van de windsnelheid op 100 meter hoogte in de periode 1981 – 2010.....	21
Tabel 4.1: Bijproducten (of biomassa-reststromen) onderscheiden naar primaire, secundaire en tertiaire bijproducten.....	24
Figuur 4.4: WarmteAtlas Nederland, ingezoomd op glastuinbouw rondom Venlo.....	25
Figuur 5.1: Illustratie van een samenwerkingsinitiatief waarbij kassen warmte leveren aan een nabijgelegen woonwijk.....	30
Figuur 5.2: Het sluiten van kringlopen van energie en CO <sub>2</sub> door samenwerking tussen een glastuinbouwbedrijf en een champignonkwekerij.....	32
Tabel 6.3: Energieopbrengst uit 1m <sup>3</sup> aardgas (31,65 MJ) per gebruikte techniek.....	34
Tabel 6.4: Vereenvoudigde structuur van het LP-model.....	35
Tabel 6.3: Jaarbehoefte van warmte, elektriciteit en CO <sub>2</sub> in de kas.....	36
Tabel 6.4: Warmtebehoefte en geproduceerde warmte in m <sup>3</sup> a.e./m <sup>2</sup> .....	39
Figuur 6.4: Invulling van de warmtebehoefte door WKK, buffer en ketel naar kwartaal.....	40
Tabel 6.5: Elektriciteitsbehoefte en geproduceerde en ingekochte elektriciteit in kWh/m <sup>2</sup>	40
Tabel 6.6: CO <sub>2</sub> -behoefte en geproduceerde en ingekochte CO <sub>2</sub> in kg/m <sup>2</sup> .....	41
Tabel 6.7: Operationele kosten van de energiehuishouding van een kas van 5 hectare...	41
Tabel 6.8: Schaduwrijzen in Euro's van het basisresultaat.....	42
Tabel 6.9: Doelfunctiecoëfficiënt minus gereduceerde kosten in Euro's van het basisresultaat.....	43
Tabel 6.10: Economische resultaten van de gevoeligheidsanalyse.....	44
Tabel 6.11: Economische resultaten van de scenarioanalyses.....	45

## SAMENVATTING

Het gemiddelde glastuinbouwbedrijf wordt gekenmerkt door een hoge productie; met de intensivering van de productie stijgt ook de vraag naar energie die nodig is voor de teeltoptimalisatie. De prijsvolatiliteit en de onzekerheid op lange termijn van stijgende fossiele energieprijzen leiden ertoe dat energie een steeds grotere kostenpost wordt in de glastuinbouw. De onderzoeksdoelstelling luidde: 'de identificatie van economisch haalbare opties om de energievraag veilig te stellen voor de lange termijn'. Bestudering van literatuurbronnen, interviewafname en de ontwikkeling van een lineair programmeringsmodel (LP) zijn de gebruikte methodieken voor het behalen van de onderzoeksdoelstelling.

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat de Nederlandse glastuinbouw, door de omarming van aardgas als bron van energie, afhankelijk is van ontwikkelingen op internationale energiemarkten, met name voor die van gas en elektriciteit. Deze afhankelijkheid is niet sectorspecifiek, maar is op nationaal en Europees niveau een feit. Beleid en regelgeving stimuleren het gebruik van hernieuwbare energiebronnen met als primair doel een verminderde afhankelijkheid van fossiele energie. Naast deze regulatieve instituties, wordt het institutionele kader ook bepaald door normatieve en cognitieve instituties, zoals de visie op ondernemerschap en de rol van de media bij de visievorming rond (intensief) energiegebruik en uitstoot van CO<sub>2</sub>. Gebruik van hernieuwbare energie blijkt in veel gevallen moeilijk inpasbaar te zijn, aangezien niet aan de eisen van een betrouwbare en constante levering van grote hoeveelheden energie voldaan kan worden. De hoge energievraag kan hoe dan ook worden teruggedrongen met besparingsmaatregelen en efficiënter gebruik van fossiele energie. Daarnaast biedt samenwerking met andere partijen, zoals een nabijgelegen industrie, mogelijkheden om via een andere weg de energievraag in te vullen.

Uit de optimalisatie met het LP-model blijkt dat in de zomermaanden de warmtekrachtinstallatie draait om de CO<sub>2</sub>-vraag in te vullen waardoor er meer warmte wordt geproduceerd dan gevraagd. Verder blijkt in het 3<sup>e</sup> kwartaal in de daluren dat het goedkoper is om elektriciteit in te kopen in plaats van zelf te produceren met de warmtekrachtinstallatie. Schaduwrijzen tonen aan dat een reductie van de warmtevraag, vooral 's nachts, tot aanzienlijke besparingen kan leiden. Verder blijkt de aangenomen grootte van de warmtebuffer niet optimaal te zijn in het model en kunnen er kosten worden bespaard door deze te vergroten. Een belangrijk inzicht is dat het gecombineerd opwekken in een vaste verhouding van warmte & elektriciteit en warmte & CO<sub>2</sub> niet optimaal blijkt te zijn; meer flexibiliteit zou tot kostenbesparingen leiden. Dit kan worden gezien als een nadelig effect van het gebruik van de warmtekrachtinstallatie.

Uit een gevoeligheidsanalyse van de commoditygasprijs waarin een prijsstijging van 15% (€ 0,30) en 35% (€ 0,35) ceterus paribus wordt voorzien, blijkt het evenwicht weinig robuust. Twee scenarioanalyses zijn uitgevoerd die een indicatie kunnen geven of er kosten kunnen worden bespaard ten opzichte van de situatie met een commoditygasprijs van € 0,30. De optimalisering van het eerste scenario, een reductie in de warmtevraag met 12,5%, geeft een besparing van 11,5% (€ 59.150,-) op jaarbasis. In het tweede scenario wordt het gebruik van biogas gesimuleerd. Uit de resultaten blijkt dat het voeden van een ketel met biogas leidt tot een besparing van 4% (€ 20.017,-) op jaarbasis.



# 1 INTRODUCTIE

## 1.1 ACHTERGROND

Een van de opvallende zaken in de Nederlandse glastuinbouwsector is de belangrijke rol van energie. Afhankelijk van de gekozen teelt(en) is energie nodig voor de vochthuishouding, licht, warmte en koude. Het gemiddelde glastuinbouwbedrijf wordt gekenmerkt door een hoge productie per m<sup>2</sup>; met de intensivering van de productie stijgt ook de vraag naar energie die nodig is voor de teeltoptimalisatie. Een benchmarkstudie laat zien dat de glastuinbouw tot een van de meest energie-intensieve sectoren behoort (Blom *et al.*, 2010).

Tabel 5.1: Energiebaten en -lasten naar bedrijfstype, per gemiddeld bedrijf (voorlopige cijfers 2010)

	Glasgroente		Snijbloemen		Pot- en perkplanten	
	€	%	€	%	€	%
Totale baten	2.045.000	100	1.036.000	100	1.747.000	100
w.v. energie	481.000	24	31.000	3	59.000	3
Totale lasten	1.852.000	100	1.011.000	100	1.633.000	100
w.v. energie	561.000	30	239.000	24	204.000	12
Energiebaten minus -lasten	-80.000		-208.000		-145.000	

Bron: de Bont *et al.* (2011)

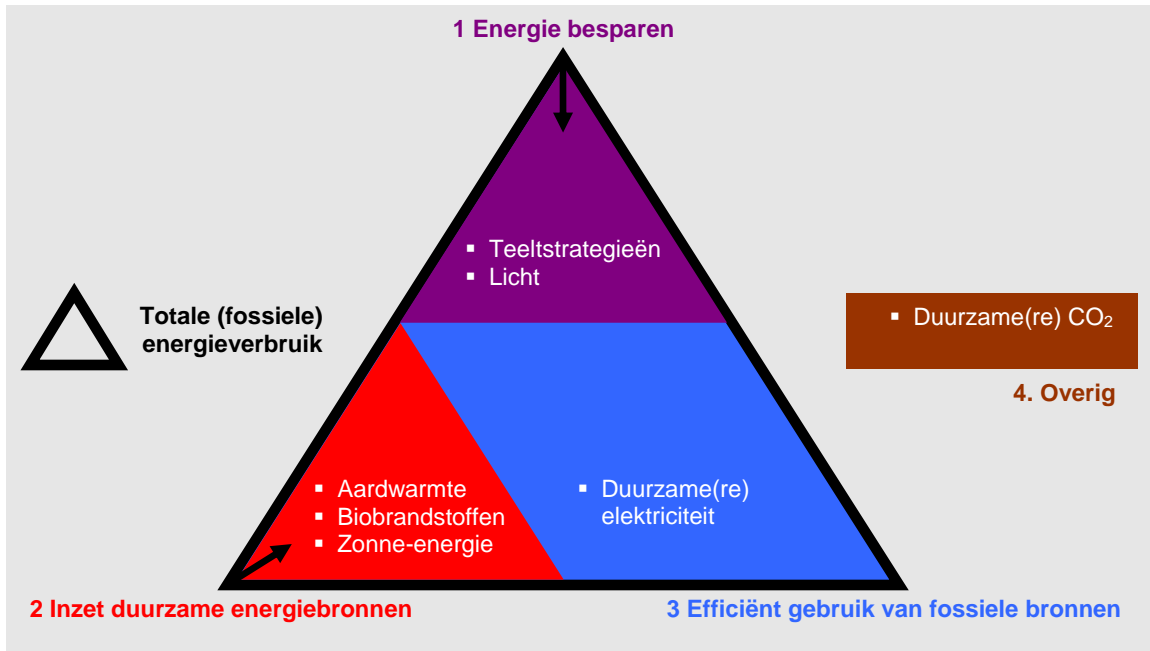
Tabel 1.1 laat zien dat energie een serieuze kostenpost is voor alle bedrijfstypes in de glastuinbouwsector. Van een gemiddeld glasgroentebedrijf in 2010 was energie een kostenpost van 30% van het totaal. Echter, aan de batenkant werd aan de productie van overtollige energie (elektriciteit) verdiend. Voor andere bedrijfstypes ziet de energiehuishouding er anders uit; de baten afkomstig van energie waren voor de andere bedrijfstypes slechts 3%. Hiertegenover staan weer lagere energielasten, maar netto vallen ze hoger uit. Over het algemeen kan gesteld worden dat energie een belangrijke kostenpost is die veel aandacht verdient.

Naar schatting wordt 60 – 70% van het glastuinbouwareaal van energie voorzien door gebruik van warmtekrachtinstallaties (Buurma *et al.*, 2011). De reden voor deze toepassing is voornamelijk de energetische efficiëntie die bereikt kan worden wanneer de gegenereerde elektriciteit en vrijkomende warmte nuttig gebruikt wordt (Smit en van der Velden, 2008). Daarbij kan de vrijkomende CO<sub>2</sub>, na reiniging, gebruikt worden in de kas als 'CO<sub>2</sub>-bemesting' ter bevordering van de groei van het gewas. Een warmtekrachtinstallatie kan voor verschillende doeleinden ingezet worden: voor de productie van CO<sub>2</sub> om de gewasgroei te bevorderen en/of voor de productie van elektriciteit voor belichting en netlevering. (Smit en van der Velden, 2008; Koolwijk en Peeters, 2011). Geproduceerde warmte die niet gebruikt kan worden op het moment van productie kan worden opgeslagen voor gebruik op een later moment, bijvoorbeeld in de nacht- en ochtenduren. Als gevolg van sterk volatiele energieprijzen – zowel aan de input- als aan de outputzijde – is het soms mogelijk om de warmtekrachtinstallatie in te zetten voor het genereren van extra elektriciteit omdat een lage gasprijs en/of een hoge prijs van elektriciteit dan leidt tot een gunstiger energiekostenbalans voor de tuinder, aangegeven door de zogenaamde sparkspread. De sparkspread is de marge die ontstaat als gevolg van prijsverschillen van gas als input en elektriciteit als output voor

de warmtekrachtinstallatie. Om de sparkspread van een warmtekrachtinstallatie op een glastuinbouwbedrijf te berekenen moeten zaken als belastingen, onderhoudskosten, subsidieopbrengsten en vermeden stookkosten meegenomen worden (Vakblad voor de Bloemisterij, 2012). De prijsvolatiliteit van energieprijzen brengt ook risico's met zich mee, bijvoorbeeld bij het afsluiten van inkoopcontracten voor gas en verkoopcontracten voor elektriciteit. Een verkeerde inschatting van de prijsontwikkelingen van energie kan leiden tot grote verliezen.

Naast deze kortetermijnrisico's bij gebruik van een warmtekrachtinstallatie voor het opwekken van elektriciteit speelt onbetwistbaar de onzekerheid op lange termijn van stijgende energieprijzen. Fossiele brandstofvoorraden nemen af met als gevolg dat energie een steeds grotere kostenpost wordt wanneer olie, gas en elektriciteit worden ingezet als energiebron. Niet verwonderlijk ontstaat daarmee een vraag naar alternatieve bronnen van energie om in de eerste plaats aan de warmtebehoefte in de kas te voldoen. Behalve de stijgende prijzen van fossiele brandstoffen is er ook een toenemende aandacht voor het klimaat. Een afname van het gebruik van fossiele brandstoffen zal broeikasgasemissies verminderen, die worden gezien als de belangrijkste oorzaak van de klimaatveranderingen. Op verschillende beleidsniveaus zijn doelen gesteld voor een toename van hernieuwbare energieproductie en -gebruik evenals voor het terugdringen van broeikasgasemissies. De Europese Unie (EU) heeft de zogenaamde 20/20/20-doelstellingen voor energie en klimaat opgesteld. Deze houden in dat broeikasgasemissies moeten dalen met 20% ten opzichte van 1990, een aandeel van 20% duurzame energie behaald moet worden van het totale energieverbruik en een efficiënter gebruik van fossiele brandstoffen resulterend in een toename van de energie-efficiëntie met 20%. Iedere lidstaat heeft de opdracht gekregen een Nationaal Actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen te schrijven waarin vermeld wordt hoe het aandeel hernieuwbare energie gehaald zal worden (Europese Unie, 2009). Nederland moet bijdragen met een aandeel hernieuwbare energie van 14% van haar nationale energieverbruik in 2020. Voor het reduceren van broeikasgasemissies wil de EU een emissieplafon invoeren met een Europees emissiehandelssysteem (ETS). De laatste doelstelling, een energie-efficiëntie met 20%, is indicatief en niet bindend (Ministerie van EL&I, 2011).

Met diverse sectoren heeft de nationale overheid afspraken gemaakt om bij te dragen aan het behalen van de doelstellingen, zo ook met agrosectoren waaronder de glastuinbouwsector. De afspraken (convenanten) gemaakt met de glastuinbouwsector zijn opgenomen in het programma Kas als Energiebron (Ministerie van EL&I, 2010).



Figuur 1.1: Programma Kas als Energiebron: één integrale aanpak volgens het principe van de Trias Energetica met 7 transitiepaden.

In het programma Kas als Energiebron wil men werken volgens het principe van de Trias Energetica (figuur 1). Op drie fronten wordt gewerkt aan de vermindering van het totale (fossiele) energieverbruik. In de eerste plaats moet er energie bespaard worden met nieuwe teeltstrategieën. Hiervoor is een programma opgezet onder de naam Het Nieuwe Telen (HNT) waarin er aandacht is voor isolatie, ontvochtiging, ventilatie en verwarming in de kas met als doel minder energieverbruik. Vanuit een andere richting wordt ingezet op het toepassen van nieuwe (duurzame) energiebronnen zoals aardwarmte en zonne-energie. Verder wordt gekeken naar de energie-efficiëntie van huidige technieken die fossiele brandstoffen benutten. Hierbij moet vooral gedacht worden aan het verder optimaliseren van wk-technieken.

Ongeacht het feit dat de glastuinbouwsector netto een elektriciteitsproducent is geworden door de grootschalige implementatie van warmtekrachtinstallaties wordt er dus nagedacht over de energievoorziening op lange termijn, mede gezien de afnemende sparksread van warmtekrachtinstallaties. Fossiele brandstofvoorraden worden schaarser en op de verwachte toename van elektriciteitsgebruik wordt op nationaal niveau al geanticipeerd door het plannen en/of bouwen van nieuwe projecten zoals kolencentrales en windmolenparken (Koolwijk en Schlatmann, 2011). Bovendien spelen politieke factoren een belangrijke rol waaronder de geformuleerde doelstellingen voor hernieuwbare energie en het klimaat en de daarbij horende overheidsinstrumenten, zoals belastingvoordelen, overheidsgaranties en subsidieverstrekkings. De huidige macro-economische ontwikkelingen in samenhang met beleid en regelgeving is een aspect waar rekening mee gehouden dient te worden; het institutionele kader kan zomaar veranderen. Ter illustratie: het lagere energietarief voor de glastuinbouw voor gas lijkt gerechtvaardigd te zijn (Blom *et al.*, 2010), maar staat ter discussie.

## 1.2 PROBLEEMSTELLING

Opdrachtgever Accon avm is geïnteresseerd in onderzoek naar het veiligstellen van de energievoorziening in de glastuinbouw op de lange termijn. De toekomstige energievoorziening is een onzekere factor voor zowel ondernemers die warmtekrachtinstallaties gebruiken alsook zij die op andere wijze in hun energievraag voorzien. Er is behoefte aan meer duidelijkheid over economisch haalbare opties voor de toekomst.

## 1.3 ONDERZOEKSDOELSTELLING

Het doel van dit onderzoek is de identificatie van economisch haalbare opties om de energievraag in de glastuinbouw veilig te stellen voor de lange termijn.

## 1.4 ONDERZOEKSVRAGEN

Ter beantwoording van de onderzoeksdoelstelling zijn een vijftal onderzoeksvragen geformuleerd.

1. Wat is de rol van energie in de glastuinbouw?

Korte toelichting: inleidende vraag die moet leiden tot een kenschets van energieproductie en –gebruik in de glastuinbouw waarin trends en markt- en prijsontwikkelingen worden beschreven. Ook moet duidelijk worden wat de huidige energiebronnen en technieken zijn.

2. Wat is het institutionele kader waarbinnen het vraagstuk energie in de glastuinbouw zich bevindt?

Korte toelichting: beleid op EU en nationaal niveau schept kaders waarbinnen tuinders strategische beslissingen nemen voor de toekomst van hun bedrijf, zo ook met betrekking tot de energievoorziening. Naast deze formele spelen ook informele instituties een rol. Een voorbeeld hiervan is de maatschappelijke legitimatie voor het bedrijven van tuinbouw. Indien gewenst is het mogelijk om het institutionele kader samen te vatten in een sterkte-zwakteanalyse voor een gemiddeld glastuinbouwbedrijf.

3. Welke alternatieve energiebronnen zijn er voor de glastuinbouw?

Korte toelichting: energie kan op verschillende wijzen verkregen worden. In de glastuinbouw worden nu vooral fossiele bronnen aangewend. Een alternatieve mogelijkheid is energie uit hernieuwbare bronnen. Meest voorkomende vormen hiervan zijn zon, wind, geothermie en biomassa. Per bron worden bestaande of in de nabije toekomst toepasbare technieken besproken. Voorbeeld: ter verkrijging van energie uit biomassa moeten eerst conversietechnieken worden aangewend zoals vergisting, vergassing, verbranding of fermentatie.

4. Wat zijn andere serieuze mogelijkheden om de energiebehoefte in de glastuinbouw veilig te stellen?

Korte toelichting: verbeteringen in de huidige energievoorziening kunnen snel voordelen opleveren resulterend in een afnemende vraag naar energie. Hierbij kan

gedacht worden aan nieuwe teeltstrategieën waaronder teeltmethoden en opzet gebouwen/kassen. Samenwerking met andere actoren die (overtollige) energie produceren is ook een manier om in de energiebehoefte te voorzien. Een biogasproducent die stroom produceert met een warmtekrachtinstallatie maar geen bestemming heeft voor de vrijkomende warmte is hiervan een voorbeeld.

5. Welke energiebronnen en daarbij behorende technieken (vraag 3) en andere mogelijkheden (vraag 4) zijn kansrijke opties voor implementatie?

Korte toelichting: De opties voortgekomen uit de twee vorige onderzoeksvragen vormen het uitgangspunt bij deze vraag. Mogelijke criteria voor de toepasbaarheid op kortere termijn: gewenste productstromen, staat van de techniek, beschikbaarheid van de bron(nen) en instituties. Kansrijke opties worden verder geanalyseerd met een lineair programmeringsmodel (LP).

## **1.5 METHODOLOGIE**

Deze studie is vooral bedoeld als verkennend (exploratief) onderzoek. Een belangrijk deel van de benodigde informatie kan worden verkregen door het bestuderen van literatuurbronnen.

Informatie wordt ook verkregen door semigestructureerde interviews af te nemen met experts uit de praktijk. Binnen de opdrachtgever zijn er experts op het gebied van energie, maar ook tuinbouwers en andere actoren kunnen worden geïnterviewd.

Op basis van de bevindingen uit literatuuronderzoek en gehouden interviews wordt een hulpmiddel (rekenprogrammatuur) ontwikkeld. Dit zal een LP-model zijn waarmee de energiehuishouding in een kas gesimuleerd kan worden. Een betrouwbare representatie van een dergelijke energiehuishouding geeft de mogelijkheid voor verdere analyses, zoals het interpreteren van schaduw prijzen en gereduceerde kosten. Verder kan gedacht worden aan gevoeligheidsanalyses van bepaalde variabelen, zoals de gasprijs. Daarbij kunnen ook scenarioanalyses uitgewerkt worden en vervolgens getoetst met het LP-model. Deze scenario's kunnen worden vastgesteld op basis van informatie verkregen uit voorgaande hoofdstukken.

## **1.6 OPZET VAN HET RAPPORT**

Hoofdstuk 1 vormt de introductie op het onderzoek. In hoofdstuk 2 wordt geschetst hoe de Nederlandse energievraag zich verhoudt tot het aanbod wereldwijd en welke gevolgen dit heeft voor de Nederlandse glastuinbouw als grootverbruiker van fossiele energie. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 gezien hoe de institutionele omgeving hierop reageert. In hoofdstuk 4 staat de vraag centraal welke hernieuwbare energiebronnen toepassingsgeschikt zijn in de glastuinbouwsector. Daarbij zijn ook andere, aanvullende opties mogelijk; deze worden beschreven in hoofdstuk 5. In het zesde hoofdstuk wordt de energiehuishouding van een kas beschreven met een LP-model en vervolgens geanalyseerd. Hierop volgt het laatste hoofdstuk waarin de conclusies staan beschreven, gevolgd door een discussieparagraaf.

## 2 ENERGIE IN DE NEDERLANDSE GLASTUINBOUW

De intensivering van de productie in combinatie met stijgende prijzen van fossiele brandstoffen zorgen voor stijgende energielasten in de Nederlandse glastuinbouw. Op langere termijn – met schaarser wordende fossiele energiebronnen – is het de verwachting dat energie een steeds grotere kostenpost zal worden wanneer de huidige productiemethode doorgezet wordt. In dit hoofdstuk staat de eerste onderzoeksvraag centraal: *Wat is de rol van energie in de Nederlandse glastuinbouw?* Deze vraag moet leiden tot een kenschets van de energiehuishouding in de glastuinbouw en factoren die daar invloed op hebben. Paragraaf 2.1 beschrijft de wereldenergiesituatie en aanverwante markt- en prijsontwikkelingen. In paragraaf 2.2 wordt ingegaan op de huidige energiebron en technieken die gebruikt worden voor om in de energiebehoefte te voorzien.

### 2.1 ENERGIEVRAAG EN –AANBOD WERELDWIJD

Fossiele energiebronnen zijn eindig, terwijl op dit moment wereldwijd de vraag ernaar toeneemt vooral in Aziatische landen en het Midden-Oosten. Voor de meest fossiele bronnen geldt dat er wereldwijd nog voldoende conventionele voorraden aanwezig zijn, alleen bij aardolie wordt een schaarste verwacht (Ministerie van EL&I, 2011). Het aanbod aardgas zal een centrale rol gaan spelen in de wereldvraag naar energie, mede door de groei in de winning van onconventioneel (moeilijk winbaar) gas en de mogelijkheden voor het gebruik van vloeibaar gas (LNG). Ook voor olie zijn er grote onconventionele voorraden maar de winning ervan gaat gepaard met hoge kosten en extra broeikasgasemissies. De olieprijs op langere termijn zal hierdoor beïnvloed worden (IEA, 2010). Niet (volledig) benutte fossiele energievoorraden – zoals in de Kaspische regio – kunnen significant bijdragen aan de energiezekerheid wereldwijd, maar de financiering en aanleg van de benodigde grensoverschrijdende infrastructuur voor transport, het investeringsklimaat en de onzekerheid over de exportvraag vormen barrières (IEA, 2010).

Verwacht wordt dat de vraag naar elektriciteit wereldwijd zal groeien, bijvoorbeeld voor vervoer en warmtebehoefte. Als gevolg van hogere fossiele brandstofprijzen en overheidsbeleid gericht op energiezekerheid en vermindering van broeikasgassen zal de manier waarop elektriciteit gegeneerd wordt veranderen. Nieuwe projecten voor elektriciteitsopwekking zullen meer koolstofarme technieken gaan gebruiken zoals wind- en waterenergie (IEA, 2010).

Behalve de stijgende prijzen is er toenemende aandacht voor het klimaat. Door het massale gebruik van fossiele energie wordt verondersteld dat het klimaat wereldwijd ernstig beschadigd raakt door uitstoot van teveel broeikasgassen. Een veelgehoorde oplossing is het afvangen en opslaan van CO<sub>2</sub> (Carbon Capture and Storage, CCS) in de bodem.

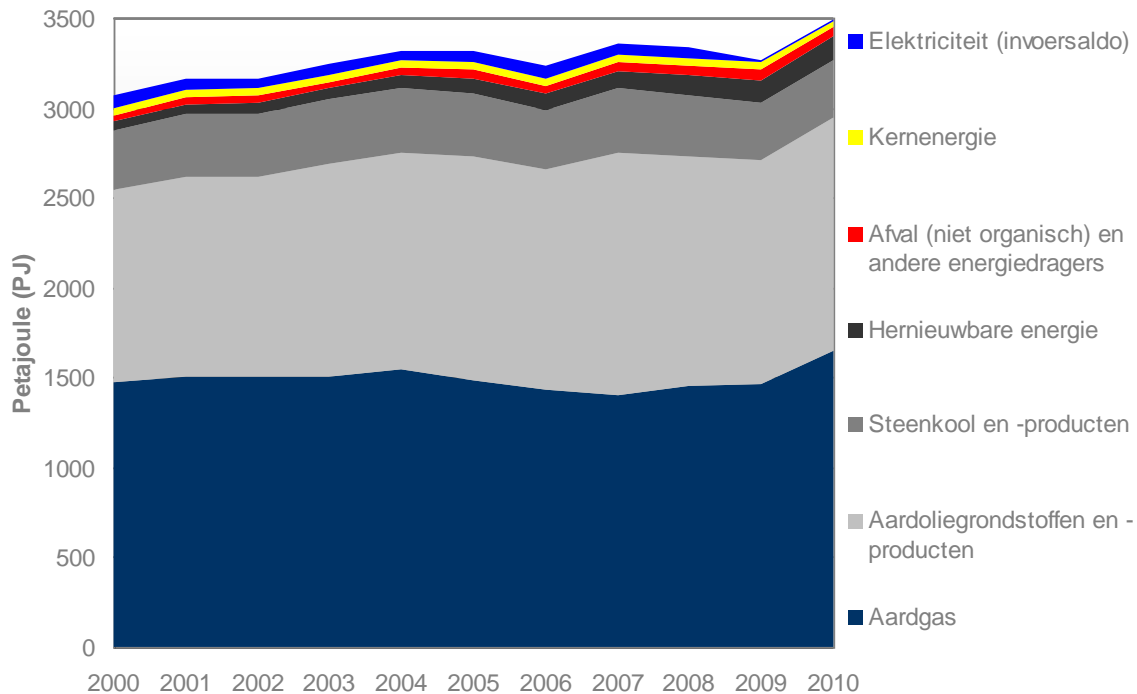
Zonder overheidsingrijpen zal de economische afhankelijkheid van fossiele bronnen toenemen. Europa beschikt maar over beperkte olie- en gasvoorraden waardoor de importafhankelijkheid toeneemt (Ministerie van EL&I, 2011). De Europese Unie (EU) anticipeert op deze veranderingen door met alle lidstaten afspraken te maken die moeten leiden tot minder afhankelijkheid van fossiele bronnen en minder uitstoot van schadelijke broeikasgassen. Voor 2020 heeft de EU de zogenaamde 20/20/20-

doelstellingen voor energie en klimaat opgesteld. Deze houden in dat broeikasgasemissies moeten dalen met 20% ten opzichte van 1990, een aandeel van 20% hernieuwbare energie behaald moet worden van het totale energieverbruik en een efficiënter gebruik van fossiele bronnen resulterend in een toename van de energie-efficiëntie met 20%. Hernieuwbare energie wordt hier gedefinieerd als energie uit wind, waterkracht, zon, bodem en biomassa (CBS Statline, 2012). Iedere lidstaat heeft de opdracht gekregen om een Nationaal Actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen te schrijven waarin vermeld wordt hoe het aandeel hernieuwbare energie gehaald zal worden. Nederland moet bijdragen met een aandeel van 14% van haar nationale energieverbruik in 2020 (Ministerie van EL&I, 2010). Op langere termijn (2050) moet het aandeel CO<sub>2</sub> gedaald zijn 80 tot 95% ten opzichte van het basisjaar en de energievoorziening gegarandeerd zijn (European Commission, 2011).

Op nationaal niveau richt het huidige energiebeleid (Ministerie van EL&I, 2011) zich binnen de kaders van de EU-regelgeving op het economisch perspectief van energie en een betrouwbare energievoorziening. Met comparatieve voordelen als de huidige infrastructuur aan gasleidingen en elektriciteitsnetten en havens is het de verwachting dat Nederland een exporteur van energie kan worden, ook nadat de eigen aardgasvoorraden zijn opgebruikt (CBS, 2010). Hierbij speelt het gunstige vestigingsklimaat ook een rol (TenneT, 2011). Verwacht wordt een verdere uitbreiding van de infrastructuur die landgrenzen overschrijdt zodat er een Europese energiemarkt kan ontstaan waarbij de Nederlandse infrastructuur een belangrijke rol speelt. Voor een betrouwbare energievoorziening wordt gesproken over een energiemix van grijze en groene energie. Dit betekent dat er ruimte wordt geboden voor toepassing van alle vormen van energie. Een belangrijke reden hiervoor is de onzekerheid die er is over de ontwikkeling van (nieuwe) technologieën en toekomstige marktprijzen van energie. Binnen die mix is er ook ruimte voor kernenergie en energie uit fossiele bronnen. Uit laatstgenoemde wordt aardgas als de belangrijkste bron gezien door zijn beschikbaarheid, flexibele inzetbaarheid en relatief lage uitstoot van broeikasgassen.

Deze insteek is in feite niet anders dan de manier waarop in voorgaande jaren energie verkregen is. Figuur 2.1 laat zien hoe de Nederlandse energievraag ingevuld wordt. Het merendeel van de energiebehoefte wordt in voorzien door fossiele energiebronnen te gebruiken. Van 2000 – 2010 schommelde het aandeel energie uit fossiele bronnen rond 93%. Afvalverbranding, kernenergie en het importsaldo van elektriciteit verzorgden tot 2008 4 à 5% van de energie; na 2008 daalde de import van elektriciteit substantieel. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de afgenomen vraag als gevolg van de economische crisis (TenneT, 2011). Het aandeel hernieuwbare energie nam toe van 1,7% in 2000 tot 3,6% in 2010.

Fossiele energie blijft belangrijk om in de energievraag te voorzien met als gevolg dat de uitstoot van broeikasgassen boven de norm zal blijven van de 20/20/20-doelstellingen. Om toch deze doelstellingen te halen moet het teveel aan uitstoot op termijn gecompenseerd worden door toepassing van CCS en meer hernieuwbare energie. Het percentage hernieuwbare energie moet in ieder geval toenemen om de doelstelling van 14% te behalen. Naast veranderingen in de wijze waarop energie geproduceerd zal gaan worden, steekt het huidige energiebeleid ook in op het verbeteren van de energie-efficiëntie.



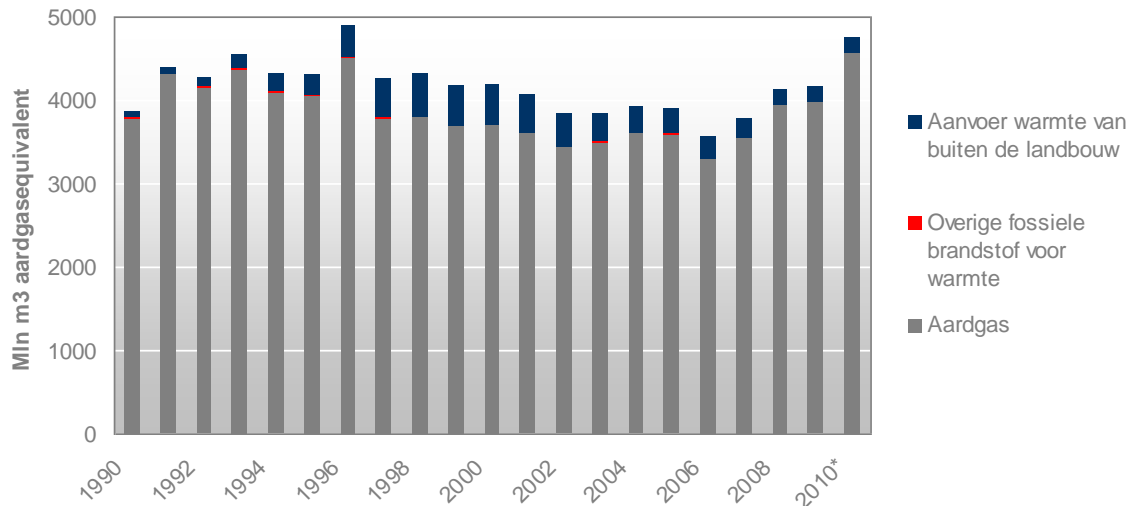
**Figuur 2.5:** De hoeveelheid energie die primair beschikbaar is gekomen voor verbruik in Nederland, opgedeeld naar de bron of drager van energie (Bron: CBS Statline, 2012)

Doelstellingen en prioriteiten in het energiebeleid veranderen met de jaren. In de jaren negentig was het energiebeleid gericht op liberalisering van de energiemarkt om de concurrentie tussen energieleveranciers te bevorderen. Als gevolg hiervan is, in combinatie met uitbreiding van de infrastructuur, meer handel in energie ontstaan tussen landen. Zo voert Nederland sinds de liberalisatie in toenemende mate aardgas in om langer gebruik te kunnen maken van de Nederlandse voorraad en te verdienen aan de handel (CBS, 2010). De gasmarkt is dus niet langer een nationale aangelegenheid. Dit geldt ook voor de elektriciteitsmarkt. De directe invloed van de overheid op de energievoorziening is hierdoor verminderd, maar er bestaan nog steeds veel vormen van overheidsinterventies voor het reguleren van de energiemarkten. Veel interventies hebben ieder hun eigen achtergrond, zoals het lagere energietarief voor gas gebruikt in de glastuinbouw (Blom *et al.*, 2010). Uit een studie van De Visser *et al.* (2010) bleek dat van de 53 overheidsinterventies in 2010 € 5,6 miljard toekwam aan fossiele energie en € 1,5 miljard bestemd was voor hernieuwbare energie. Het eerste bedrag bestaat vooral uit interventies op het eindgebruik zoals belastingvrijstellingen en –kortingen. Het laatste bedrag bestaat vooral uit interventies gericht op het aanmoedigen van het gebruik van koolstofarme technologieën.



## 2.2 HUIDIGE ENERGIEBRONNEN EN TECHNIEKEN

De Nederlandse glastuinbouw is, als gezegd, een energie-intensieve sector die veel energie gebruikt, in de eerste plaats voor verwarming van de kas. Naast warmte is energie, omgezet in elektriciteit, nodig voor licht en de vochtuithouding, afhankelijk van de gekozen teelt(en). De meest gebruikte energiebron voor warmte is gas (figuur 2.2). De gasprijs is daarom voor veel bedrijven een erg belangrijke factor voor de kostprijs van het geteelde product. Trends en ontwikkelingen zoals beschreven in paragraaf 2.1 zijn van invloed op het hele energiehuishouden van een glastuinbouwbedrijf.



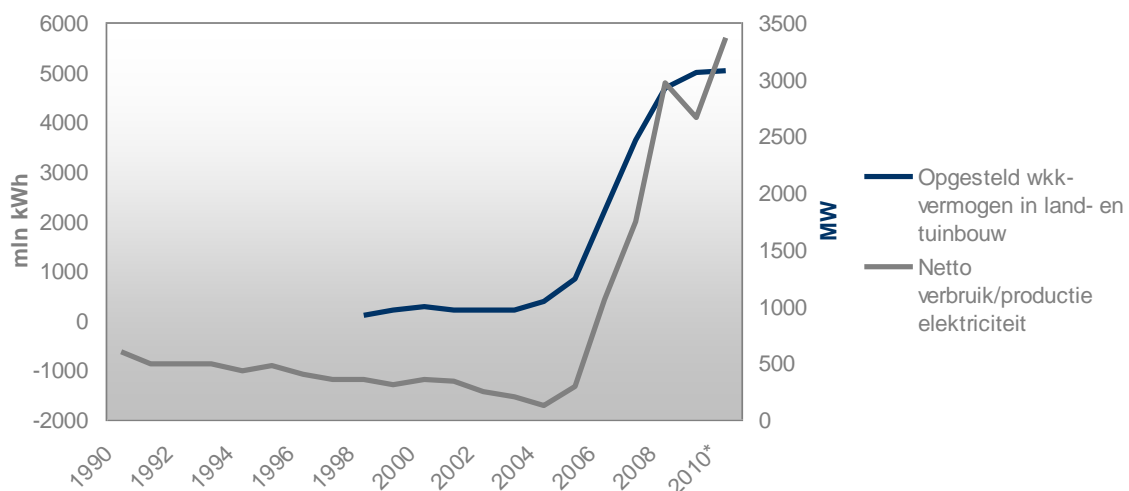
Figuur 2.6: Energieverbruik ten behoeve van warmte in de glastuinbouw (Bron: CBS Statline, 2012)

Bij gebruik van gas zijn er in principe twee technieken om aan de benodigde warmte te komen: ketel en warmtekrachtinstallatie. Naar schatting wordt 60 tot 70% van het glastuinbouwareaal nu van energie voorzien door gebruik van warmtekrachtinstallaties (Buurma *et al.*, 2011). Een onderscheid tussen de bedrijfstypes en grootte van de glastuinbouwbedrijven zou dit beeld nuanceren; bijna alle grote glasgroentebedrijven en bloemkwekerijen gebruiken warmtekrachtinstallaties (Accon avm adviseur, persoonlijke communicatie, 14 maart 2012). Het opgestelde vermogen op glastuinbouwbedrijven lag tot 2004 rond 3000 megawatt elektrische energie (MW), waarvan 500 eigendom was van tuinders en 500 van nutsbedrijven. Van 2004 – 2010 steeg het opgestelde vermogen tot 3000 MW<sub>e</sub> met bijna alle installaties in eigendom van tuinders (Van der Velden en Smit, 2011). Door middel van een warmtekrachtinstallatie wordt gecombineerd elektriciteit en warmte opgewekt met een hoog energetisch rendement waarbij uit de rookgassen bruikbare CO<sub>2</sub> gefilterd kan worden. In een ketel wordt het gas alleen omgezet in warmte. Met deze techniek is het ook mogelijk om de CO<sub>2</sub> af te vangen voor gebruik in de kas. Bedrijven die gebruiken maken van een of meerdere warmtekrachtinstallaties hebben standaard een ketel als back-up en voor de piekmomenten (Koolwijk en Peters, 2011), bijvoorbeeld bij extreem lage buitentemperaturen. Gebruik van een warmtekrachtinstallatie geeft een tuinder meer mogelijkheden. Afhankelijk van de gekozen teelt(en) kan de installatie voor verschillende doeleinden ingezet worden: voor de productie van CO<sub>2</sub> om de gewasgroei te bevorderen en/of voor de productie van elektriciteit voor belichting en netlevering (Smit en Van der Velden, 2008; Koolwijk en Peeters, 2011). Warmte die hierbij vrijkomt wordt gebruikt in de kas. Wanneer de geproduceerde warmte niet gebruikt kan worden op het moment

van productie, kan het worden opgeslagen in een warmtebuffer voor gebruik op een later moment, bijvoorbeeld in nacht- en ochtenduren.

Sterk volatiele energieprijzen van gas en elektriciteit brengen ook risico's met zich mee. De mate van risico is vooral afhankelijk van de gekozen contracten voor het vastleggen van gas en elektriciteit en het speculatiegedrag. Speculatie is bijvoorbeeld het geval wanneer een inkoopcontract voor een volume gas wordt afgesloten voor een lange termijn maar geen verkoopcontract voor een volume elektriciteit voor die termijn, omdat gespeculeerd wordt dat de prijs van elektriciteit nog zal stijgen. Als dan blijkt dat de elektriciteitsprijs daalt, is er al een gascontract afgesloten. Een verkeerde inschatting van de prijsontwikkelingen van energie kan leiden tot grote verliezen. Om deze risico's te beperken leggen de meeste tuinders een volume aardgas en elektriciteit vast die een goede sparksread garandeert en de rentabiliteit veilig stelt (Smit en Van der Velden, 2008). De sparksread is de marge die ontstaat als gevolg van prijsverschillen van gas als input en elektriciteit als output voor de warmtekrachtinstallatie. Verder moeten zaken als belastingen, onderhoudskosten, subsidieopbrengsten en vermeden stookkosten meegenomen worden bij de berekening van de sparksread (Vakblad voor de Bloemisterij, 2012). Naast het afsluiten van langetermijncontracten kan het aantal draaiuren geoptimaliseerd worden door actief te zijn op de kortetermijnmarkten voor gas en elektriciteit voor het genereren van extra elektriciteit, in het bijzonder tijdens de plateau-uren. Een optimale invulling leidt dan tot een gunstigere energiekostenbalans voor de tuinder. Vaak is de tuinder gebaat bij veel productie-uren zodat de gemiddelde vaste kosten van bijvoorbeeld de investering dalen.

Het intensieve gebruik van warmtekrachtinstallaties voor extra elektriciteitsproductie heeft ertoe geleid dat de glastuinbouwsector een netto leverancier van elektriciteit is geworden, in 2010 goed voor 23% van het verbruik van de Nederlandse huishoudens (Van der Velden en Smit, 2011). Figuur 2.2 laat duidelijk zien dat met de opkomst van het gebruik van warmtekrachtinstallaties (2004) een netto productie ontstaan is. De prijs van elektriciteit is dus ook belangrijk, zowel wanneer het gebruikt wordt voor de teelt(en) alsook bij extra elektriciteitsproductie voor de verkoop.



Figuur 2.7: Elektriciteit in de glastuinbouw (Bron: CBS Statline, 2012)

Met de huidige technieken voor warmteopwekking zijn de beschreven trends en ontwikkelingen van groot belang. De prijzen van gas en elektriciteit bepalen voor een belangrijk deel de sparksread. Het verloop van de sparksread heeft hoge pieken in 2006 en 2008 vertoond maar is op dit moment dalende (Koolwijk en Peeters, 2011; Vakblad voor de Bloemisterij, 2012). Of nieuwe investeringen in warmtekrachtinstallaties haalbaar zijn hangt niet alleen af van de prijsontwikkelingen van gas en elektriciteit. Andere aspecten kunnen ook substantieel meewegen in de haalbaarheid. Financiële aspecten zoals de financiering, belastingen en subsidies spelen een rol. Technische aspecten waaronder het aantal draaiuren (levensduur), inzetten van warmte (vermeden gasgebruik met ketel) en onderhoud zijn ook zaken waar rekening mee gehouden dient te worden. Naast deze zijn (institutionele) beleidsmatige aspecten belangrijk. De planning van nieuwe projecten voor de opwekking van elektriciteit, zoals het bouwen van kolencentrales en windparken of het sluiten van kernenergiecentrales in Duitsland, kunnen het aanbod en daarmee de prijs van elektriciteit beïnvloeden. In de elektriciteitsopwekking op nationaal niveau zou het flexibele vermogen van warmtekrachtinstallaties een voordeel kunnen bieden, bijvoorbeeld op een windstille dag (Koolwijk en Schlatmann, 2011). Immers, elektriciteit kan niet opgeslagen worden.

### 3 DE INSTITUTIONELE OMGEVING

In dit hoofdstuk staat de tweede onderzoeksvraag centraal: *wat is de institutionele omgeving waarin het vraagstuk energie in de glastuinbouw zich bevindt?* Paragraaf 3.1 gaat in op de veranderende institutionele omgeving; een energietransitie wordt beoogd. In paragraaf 3.2 worden regulatieve instituties en in paragraaf 3.3 normatieve en cognitieve instituties beschreven die bij deze energietransitie horen. Er is een onderscheid te maken tussen instituties en instituten (bedrijven, stichtingen en andere verbanden). Alleen instituties worden hier omschreven. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een sterkte-zwakteanalyse (paragraaf 3.4).

#### 3.1 ENERGIETRANSITIE IN DE GLASTUINBOUW

Met de afhankelijkheid van fossiele bronnen heeft de Nederlandse glastuinbouw weinig grip op de energiehuishouding. Veel zaken, waarvan sommige beschreven in het vorige hoofdstuk, vinden buiten de sector plaats, zoals het milieubeleid (waaronder de CO<sub>2</sub>-emissiehandel), de lange-termijn-beschikbaarheid en prijsvorming van gas, het aanbod van, de vraag naar en prijsvorming van elektriciteit, de maatschappelijke acceptatie en wens naar duurzame energie. Het beleids- en actieprogramma Kas als Energiebron, waarin overheid en glastuinbouw samenwerken, zet in op een energietransitie. Een transitie is 'een structurele maatschappelijke verandering die het resultaat is van op elkaar inwerkende ontwikkelingen op het gebied van economie, cultuur, technologie, instituties en natuur en milieu' (Van der Velden en Smit, 2011). Drijfveren voor deze energietransitie waren in eerste instantie een vermindering in de afhankelijkheid van gas en het behoud van maatschappelijk draagvlak; later kwam daar de reductie van CO<sub>2</sub>-emissies bij (Schlatmann *et al.*, 2009). De ambitie is dat in 2020 nieuw te bouwen kassen klimaatneutraal en economisch rendabel zijn (Productschap Tuinbouw *et al.*, 2011). Verder moet in nieuw te bouwen kassen in 2020 het gebruik van fossiele energie sterk zijn gereduceerd en is de glastuinbouw leverancier van duurzame warmte en elektriciteit.

De institutionele omgeving waarin een tuinder beslissingen moet nemen met het oog op zijn eigen energievraag speelt binnen deze energietransitie een belangrijke rol. Deze omgeving is van grote invloed op hoe ondernemingen zich gedragen, nu en met het oog op de toekomst. Onder instituties wordt hier verstaan: beperkingen door mensen ontworpen die structurerend zijn voor hun economische, sociale en politieke gedrag (North, 1990 in: Hazeu, 2000). In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de diverse instituties die betrekking hebben op de energiehuishouding van een glastuinbouwbedrijf. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een categorisatie van instituties afkomstig van Scott (1995) die regulerende, normatieve en cognitieve instituties van elkaar onderscheidde.

### 3.2 REGULERENDE INSTITUTIES

Deze categorie instituties betreffen expliciete regels: regelzettende activiteiten, monitoren en sanctionerende activiteiten zoals belonen en straffen (Scott, 1995). Producten hiervan kunnen zijn: besluitvormingsregels, wet- en regelgeving, eigendomsrechten en overeenkomsten, waarbij men gedrag kan beïnvloeden door het verstrekken van een subsidie of het instellen van een boeteclausule. In de hiernavolgende paragrafen wordt ingegaan op de uitwerking van het Europese en nationaal beleid met daaraan gerelateerde wet- en regelgeving en ingezette overheidsinstrumenten.

Uit het voorgaande hoofdstuk kwam al naar voren dat op Europees niveau afspraken gemaakt zijn om de afhankelijkheid van fossiele energie terug te dringen en de uitstoot van schadelijke broeikasgassen terug te dringen, de 20/20/20-doelstellingen. Europese wet- en regelgeving wordt opgesteld in Verordeningen, Richtlijnen en Besluiten. Verordeningen zijn algemeen verbindend voor ieder lid van de EU, richtlijnen mogen vertaald worden naar nationale wetgeving en besluiten richten zich op specifieke groepen.

- Er is een richtlijn (2009/29/EG) opgesteld voor de handel in broeikasgasemissies, het EU-ETS emissiehandelsstelsel. Met dit stelsel wordt een Europees plafond ingesteld voor de uitstoot van CO<sub>2</sub>, dat in de toekomst verlaagd kan worden. Lidstaten veilen de emissierechten aan bedrijven waarbij 50% van de opbrengst besteed moet worden aan activiteiten voor de uitstootvermindering van CO<sub>2</sub>, energie-efficiëntie, hernieuwbare energie en koolstofbeperkte transport (europadecentraal.nl). In de Nederlandse implementatie worden glastuinbouwbedrijven met meer dan 20 megawatt thermisch vermogen – die worden gezien als kleine energiecentrales – verplicht mee te doen aan het stelsel. In 2010 waren dat 94 bedrijven (Vakblad voor de Bloemisterij, 2010).
- Er is een richtlijn (2003/96/EG) opgesteld voor de minimale hoogte van energiebelastingen met als doel deze tussen de lidstaten zoveel mogelijk te harmoniseren. Voor de glastuinbouw in Nederland gelden bijzondere (lagere) tarieven, die na onderzoek ook gerechtvaardigd bleken te zijn (Blom *et al.*, 2010). De EU heeft de uitzondering van de lagere energiebelastingtarieven voor de glastuinbouw goedgekeurd tot 2012.
- Er is een richtlijn (2009/28/EG) opgesteld die lidstaten verplicht het aandeel hernieuwbare energie in het totale energieverbruik te verhogen tot 20% in 2020, om zo de 20/20/20-doelstellingen te behalen. Ieder lid is verplicht tot het schrijven van een Nationaal Actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen. Voor Nederland is het aandeel voor 2020 vastgesteld op 14% (europadecentraal.nl).

Bovenstaande richtlijnen hebben een directe invloed op de energie- en CO<sub>2</sub>-productie van glastuinbouwbedrijven. Er is meer wet- en regelgeving die van invloed kan zijn, zoals de Richtlijn voor toepassing van CCS en de Verordeningen voor meer transparantie in de markt van elektriciteit en gas en versterking van interne energiemarkten binnen de Europese Unie. Deze kunnen een meer indirecte invloed hebben.

Op nationaal niveau is wet- en regelgeving op het gebied van klimaat en energie vooral een uitwerking van de Europese richtlijnen. Verder worden er een aantal overheidsinstrumenten ingezet, waaronder een subsidieregeling en fiscale stimuleringsmaatregelen.

- Naast de Nederlandse verplichting in het EU ETS emissiehandelsstelsel is er ook in non-ETS sectoren een verplichting voor het reduceren van broeikasgasemissies met 16% in 2020, ten opzichte van 2006 (europadecentraal.nl). De land- en tuinbouw vallen onder deze non-ETS sectoren. De Nederlandse overheid heeft het werkprogramma Schoon en Zuinig (convenant) ingezet waarin met tal van sectoren afspraken gemaakt zijn over het terugdringen van broeikasgasemissies. Specifieke afspraken gemaakt met de glastuinbouw zijn opgenomen in het programma Kas als Energiebron.
- Met betrekking tot het te behalen aandeel hernieuwbare energie is er een Nationaal Actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen geschreven (verplicht door de EU). In dit beleidsstuk staat de landelijke energietransitie centraal. Een onderdeel hiervan is het energietransitieprogramma Kas als Energiebron waarin de ambities met het oog op energie in de glastuinbouw beschreven staan.
- In de voorgaande punten werd steeds naar het beleids- en actieprogramma Kas als Energiebron gerefereerd. In dit programma staan een aantal meetbare doelstellingen geformuleerd voor de glastuinbouw (Productschap Tuinbouw *et al.*, 2011): in 2020 een CO<sub>2</sub>-emissiereductie van minstens 3,3 megaton ten opzichte van 1990: een vermindering met 48%, 2% energie-efficiëntieverbetering per jaar, 20% duurzame energie en in 2011 moet er 700 hectare semi-gesloten kassen gerealiseerd zijn. In het huidige jaarplan (Productschap Tuinbouw *et al.*, 2012) is de laatste doelstelling komen te vervallen.

Er bestaat een aantal subsidieregelingen en fiscale stimuleringsmaatregelen wanneer er geïnvesteerd wordt in hernieuwbare energie, verbeteren van de energie-efficiëntie of in het verminderen van broeikasgasemissies. In veel gevallen gaan deze zaken hand in hand. De actuele regelingen staan hieronder omschreven.

- Na de exploitatiesubsidieprogramma's Milieukwaliteit van de Elektriciteitsproductie (MEP) en de Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE) is er nu de SDE+. Voor elke geproduceerde energie-eenheid wordt een vergoeding verstrekt. Verschillen tussen de twee laatstgenoemden hebben te maken met de kosteneffectiviteit van de subsidieregeling. De opzet van de SDE+ 2012 bestaat uit vier pijlers. Er is één budgetplafond waarin allerlei technologieën met elkaar concurreren voor een subsidie. Verder is er een gefaseerde openstelling (vijf fases) waarbij in elke fase de vergoeding per kilowattuur (kWh) of kubieke meter normaal (NM<sub>3</sub>) toeneemt. Er is een maximum basisbedrag; technologieën die een hogere vergoeding nodig hebben komen niet in aanmerking. En in iedere fase is er een vrije categorie; innovatieve ondernemers die voor een betreffende technologie een lagere vergoeding nodig hebben dan is aangenomen, kunnen aanspraak maken op een vergoeding gelijk aan de bovengrens van de betreffende fase (AgentschapNL, 2012a). Deze systematiek werkt als een soort veilingstelsel waarbij de efficiëntste technologieën de meeste kans hebben op een vergoeding. Keerzijde van dit systeem is dat er alleen gekeken wordt naar kosteneffectiviteit waarbij zoveel mogelijk geproduceerde energie tegen een zo laag mogelijke prijs het uitgangspunt is. Externe effecten die niet tot uiting komen in de kostprijs worden niet in rekening gebracht of beloond.
- Als onderdeel van het programma Kas als Energiebron bestaat er de Markt Introductie Energie-innovaties (MEI). Dit betreft een subsidieprogramma die investeringen in duurzame energiesystemen subsidieert, te weten semi-gesloten kassystemen en

overige innovatieve energiesystemen. Verder bestaat er een subsidie die Samenwerking bij Innovatieprojecten (SBI) op het gebied van onder andere hernieuwbare energie steunt (energiek2020.nu).

- Voor investeringen in energiebesparing en/of hernieuwbare energie bestaan fiscale stimuleringsmaatregelen. Met de Energie Investeringsaftrek (EIA) kunnen betreffende investeringskosten worden afgetrokken van de fiscale winst, bovenop de gebruikelijke afschrijvingen en wordt er minder inkomsten- of vennootschapsbelasting betaald (Agentschap NL, 2012b). Naast de EIA zijn er ook nog de Milieu Investeringsaftrek (MIA) en Willekeurige afschrijving milieu-investeringen (Vamil). In bepaalde gevallen kunnen meerdere regelingen toegepast worden (AgentschapNL, 2012b).

### 3.3 NORMATIEVE EN COGNITIEVE INSTITUTIES

De tweede categorie instituties kan worden omschreven als regels die een normatieve, evaluatieve en verplichte dimensie in het gedrag introduceren. Dit zijn vooral waarden en normen. Voorbeelden hiervan zijn: standaarden (ISO-normen), certificaten en kwaliteitssystemen. Cognitieve instituties beïnvloeden de aannames van een individu over hoe de werkelijkheid eruit ziet. Zo wordt er een kader gevormd waardoor betekenis wordt gegeven. Visies, referentiekaders en voorbeeldfuncties zijn voorbeelden van deze categorie (Scott, 1995).

Afhankelijk van de manier waarop warmte, CO<sub>2</sub> en elektriciteit verkregen wordt, speelt de visie op de ruimtelijke ordening een rol. Vaak wordt de aanwezigheid van kassen als lelijk en storend bevonden en worden verlichte kassen niet gewaardeerd vanwege de lichtvervuiling die optreedt (NIMBY-gedrag van omwonenden). Dit is een van de redenen voor het clusteren van glastuinbouwbedrijven. De overheid zet hierop in door het aanwijzen van drie concentratiegebieden die hun glastuinbouwfunctie moeten behouden (greenports). Daarnaast zijn tien landbouwontwikkelingsgebieden (LOG) uitgekozen om verspreide glastuinbouwbedrijven naar één gebied te bewegen (Wetzels *et al.*, 2007). Met het clusteren is het ook mogelijk om schaalvoordelen te bereiken wanneer bepaalde voorzieningen gedeeld worden bijvoorbeeld op het gebied van logistiek en energie- en CO<sub>2</sub>-voorziening. Ten aanzien van de energievoorziening kan het clusteren ook nadelig zijn. Samenwerking met energievragers en -aanbieders buiten de glastuinbouwsector kan tot een goede synergie leiden waarbij de vraag en aanbod van elkaars productstromen benut worden. Een goed voorbeeld hiervan is het concept agroparken (Ge *et al.*, 2011). Daar komt bij dat sommige energiebronnen locatiegebonden zijn. Zo is de geologie van een gebied bepalend voor de haalbaarheid van aardwarmte of warmte- en koudeopslag in aquifers (Bakker en Campen, 2007).

De visie op het ondernemerschap verandert van het OVO-drieluik, de geïnstitutionaliseerde samenwerking tussen Onderwijs, Voorlichting en Onderzoek, naar Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen (MVO) (De Lauwere *et al.*, 2006). Waar de nadruk eerst lag op schaalvergroting en specialisatie moet de ondernemer nu zelf meer een strategie bepalen die moet leiden tot een levensvatbaar bedrijf. De lijn van opschalen en specialiseren kan doorgezet worden maar andere bedrijfsstrategieën zijn ook mogelijk. De overheid doet een stapje terug en wil alleen nog faciliterend optreden. Ondertussen spreekt de publieke opinie zich, door middel van maatschappelijke (milieu)organisaties, meer en meer uit over allerlei discussies zoals het dierenwelzijn en de voedselveiligheid. Ook op het gebied van energie bestaat er maatschappelijke discussie. Zo wordt het opwekken van kernenergie voor veel mensen als te gevaarlijk gezien. Een ander voorbeeld waaruit blijkt dat de publieke opinie een belangrijke stem

heeft is de commotie rond het toepassen van CCS, de opslag van CO<sub>2</sub> in de grond. De beeldvorming die ontstaat als gevolg van de berichtgeving door de media speelt hierbij vaak een eenzijdige en onvolledige rol (Kliest, 2010).

Certificering en gebruik van keurmerken is een veelgebruikte manier in het communiceren naar bedrijven en consumenten om aan te geven dat een product, dienst of proces voldoet aan bepaalde criteria, bijvoorbeeld op het gebied van natuur- en milieubelasting. Keurmerken en certificaten geven hierbij aan dat een onafhankelijke partij heeft vastgesteld of het product, de dienst of het proces voldoet aan de vooraf vastgestelde criteria. Een certificaat is het schriftelijk bewijs dat er conform de criteria geproduceerd wordt, een keurmerk is een visuele duiding van de conformiteitverklaring (Regouin *et al.*, 2001). Door middel van certificering en het gebruik van keurmerken kunnen productclaims gemaakt worden, bijvoorbeeld een claim die zegt dat er milieuvriendelijk geproduceerd wordt (tabel 3.1). Ook in de glastuinbouw bestaan er initiatieven op dit gebied. Richting consument bestaan er keurmerken en certificaten, zoals het EKO Keurmerk die claimt dat het product biologisch geteeld is. Naast keurmerken bestaan er ook kwaliteitssystemen die een bepaalde manier van werken vastleggen, onder andere op het gebied van de hygiëne.

Tabel 3.1: Samenhang tussen productclaims (Bron: Regouin *et al.*, 2001)

Claim betreft	Eigen verantwoordelijkheid aanbieder of producent	Controle door onafhankelijke externe partij
Product	Etiket	Keurmerk
Organisatie	Reputatie / identiteit	Certificaat

De Nederlandse overheid maakt ook gebruik van certificeringssystemen. In verschillende agrosectoren kunnen diverse Groen Labels verkregen worden. In de glastuinbouw bestaat er het certificaat Groen Label Kas. Voor het behalen van dit certificaat worden eisen gesteld die betrekking hebben op energiebesparing, nutriëntenbeheersing, waterbesparing en gewasbescherming (Regouin *et al.*, 2001). Bij het verkrijgen van dit certificaat zijn er vooral (fiscale) voordelen te behalen. Zo is er met de Regeling Groenprojecten een goedkopere leenfaciliteit en komen de investeringen in aanmerking voor de MIA en Vamil regelingen.

### 3.4 STERKTE-ZWAKTEANALYSE

Niet alleen wet- en regelgeving is bepalend voor een tuinder bij het nemen van strategische beslissingen met het oog op de energievoorziening van zijn glastuinbouwbedrijf. Onder invloed van veranderingen in de omgeving veranderen instituties mee, zij het beetje bij beetje (Hazeu, 2000). In tabel 3.2 is een sterkte-zwakteanalyse opgesteld die een samenvatting geeft van de institutionele omgeving, waarbij opvallende zaken uit het voorgaande hoofdstuk ook ingevoegd zijn.



Tabel 6.2: Sterkte-zwakteanalyse van de energiehuishouding in de glastuinbouw

		VOOR HET DOEL	
		HULPVOL	SCHADELIJK
VOOR DE ORGANISATIE	ITNERN	<p><b>Sterktes</b></p> <p>Innovatief, denk aan de efficiënte inzet van warmtekrachtinstallaties voor warmte, CO<sub>2</sub> en elektriciteit</p>	<p><b>Zwaktes</b></p> <p>Weinig grip op de energiehuishouding door afhankelijkheid van fossiele brandstoffen</p> <p>Huidige productiewijze, intensivering en vergroting van de productie, zorgt voor een absoluut stijgende energievraag</p>
	EXTERN	<p><b>Kansen</b></p> <p>Subsidies en belastingvoordelen voor het stimuleren van energiebesparing en gebruik van hernieuwbare energie</p> <p>Huidige visie op ondernemerschap geeft waarde om onderscheidend te zijn (denk aan certificaten en keurmerken)</p>	<p><b>Bedreigingen</b></p> <p>Publieke opinievorming en de rol van de media (maatschappelijk draagvlak)</p> <p>Huidige visie op de ruimtelijke ordening; de clustering van glastuinbouw</p> <p>Overheid alleen nog faciliterend; geen of weinig garanties en vangnetten</p>

Uit deze analyse blijkt dat de glastuinbouw zich vooral richt op het vergroten en intensiveren van de productie waarmee de energievraag onverminderd hoog blijft. Hier is de ruimtelijke ordening op gericht; clustering helpt de schaalvergroting maximaal uit te buiten. Ook het gebruik van warmtekrachtinstallaties in een geliberaliseerde energiemarkt past goed bij het opschalen en intensiveren van de productie.

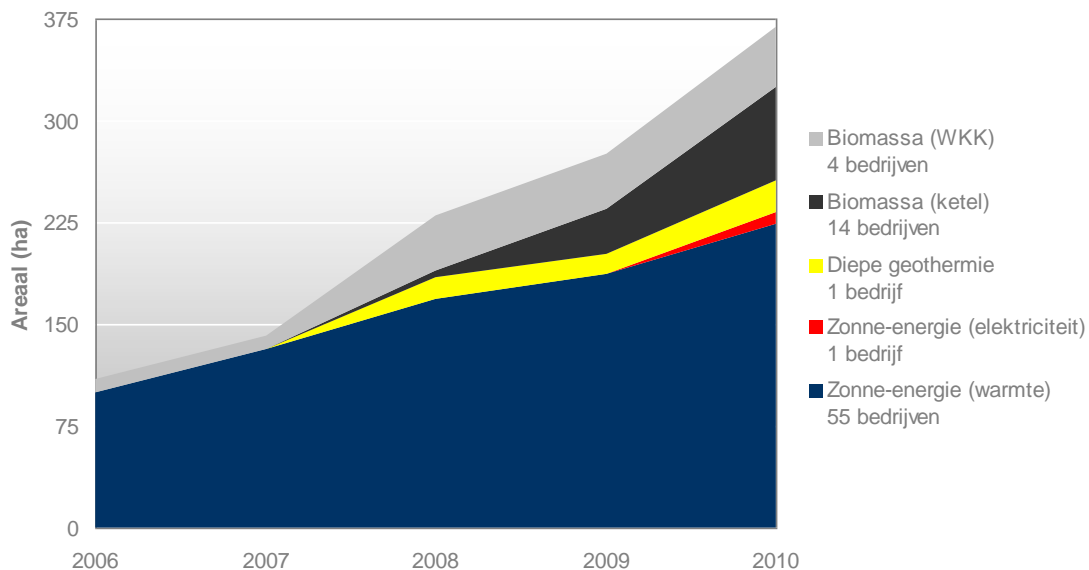
Overheidsinstrumenten, zoals het verlenen van subsidies en het verstrekken van fiscale stimuleringsmaatregelen, zetten in op energiebesparing en meer gebruik van hernieuwbare energie. Energiebesparende maatregelen gaan goed samen met schaalvergroting in de glastuinbouw. Bij het bouwen van nieuwe, grotere kassen kan daarin geïnvesteerd worden, bijvoorbeeld door het plaatsen van beweegbare energieschermen. Dit vermindert de absolute vraag naar energie en zal de energiekosten per vierkante meter doen dalen. Het is de vraag of de andere optie, meer gebruik maken van hernieuwbare energie, ook samengaat met schaalvergroting. Een randvoorwaarde voor een grootschalige en intensieve productie is een constante en betrouwbare levering van warmte en CO<sub>2</sub>. Hernieuwbare energiebronnen – zon, wind, geothermie en biomassa – voldoen niet in alle gevallen aan deze randvoorwaarde, immers de zon wordt weleens bedekt door wolken, de windkracht fluctueert en de kwaliteit van biomassa (die wisselend is) bepaalt de hoeveelheid geproduceerde energie. Aardwarmte kan wel voldoen aan de eisen van een constante en betrouwbare levering van warmte, maar het gebruik van deze bron is gebiedsafhankelijk (Bakker en Campen, 2007).

## 4 HERNIEUWBARE ENERGIEBRONNEN

In diverse sectoren in de land- en tuinbouw wordt gebruik gemaakt van hernieuwbare energiebronnen. Een veelgebruikte toepassing in de intensieve veehouderij is het co-vergisten van mest, waarbij andere biomassa toegevoegd wordt voor een hogere methaanproductie. De meeste glastuinbouwbedrijven beschikken niet over reststromen, zoals een varkenshouderij wel over mest beschikt. In dit hoofdstuk staat de derde onderzoeksvraag centraal: *Welke hernieuwbare energiebronnen zijn er voor de glastuinbouw?* Voor elke bron wordt beschreven hoe bruikbare energie vrijkomt door het gebruik van uiteenlopende (conversie)technieken. Dit betreffen technieken die al gebruikt worden of in opkomst zijn. De huidige toepassingen worden beschreven in paragraaf 4.1. Daarna wordt elke bron besproken, te weten zon (4.2), wind (4.3), diepe geothermie (4.4) en biomassa (4.5). In paragraaf 4.6 wordt ingegaan op de gevolgen voor de CO<sub>2</sub>-voorziening wanneer hernieuwbare energiebronnen ingezet worden.

### 4.1 HUIDIGE TOEPASSING VAN HERNIEUWBARE BRONNEN

Binnen de glastuinbouw wordt hernieuwbare energie geproduceerd of ingekocht. In 2010 bedroeg het totale gebruik van hernieuwbare energie 2110 terajoule (TJ) wat neerkomt op 1,6% van het totale energiegebruik. Hiervan werd 64% zelf geproduceerd en 36% ingekocht. Eigen productie is vooral bedoeld voor het opwekken van warmte (88%) terwijl inkoop van hernieuwbare energie vooral in de vorm van elektriciteit is (99%) (Van der Velden en Smit, 2011).



Figuur 4.1: Productie van hernieuwbare energie opgedeeld naar bron en toepassing in de glastuinbouw (Bron: van der Velden en Smit, 2011)

In figuur 4.1 is een ontwikkeling van de productie van hernieuwbare energie te zien, afgezet tegen het areaal waarop het wordt toegepast. Het grootste aandeel komt van zonne-energie (opgeslagen warmte). Sinds 2008 wordt ook aardwarmte ingezet. Zonne-energie voor de productie van elektriciteit vindt plaats door gebruik te maken van fotovoltaïsche zonnecellen en heeft geen directe relatie met de teelt (Van der Velden en Smit, 2011). Biomassa wordt zowel voor warmtekrachtinstallaties als ketels ingezet.

## 4.2 ZONNE-ENERGIE

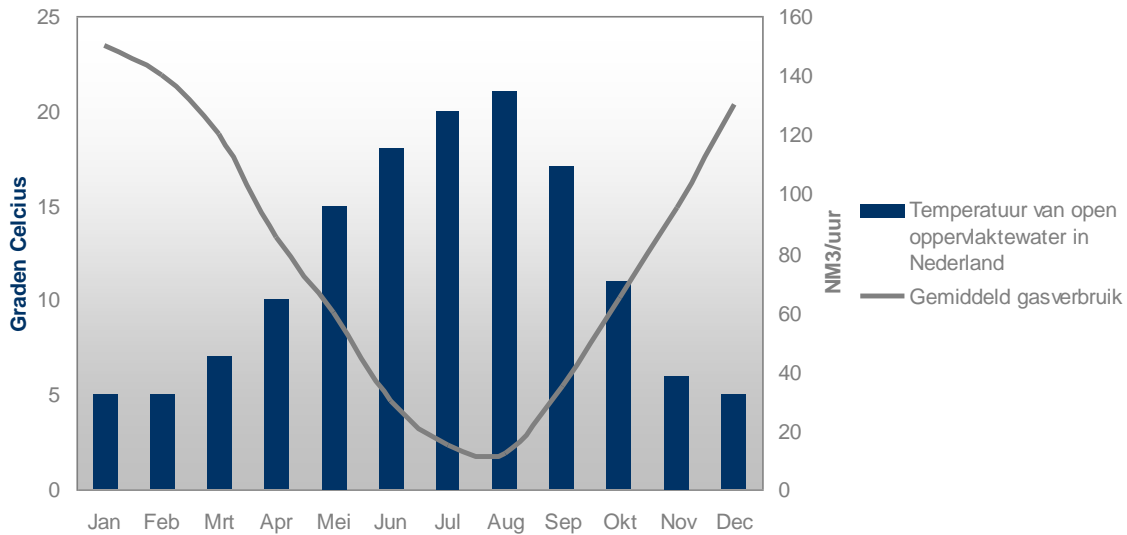
Normaal gesproken wordt zonne-energie ingezet voor de groei van het gewas via het fotosyntheseproces door het kasdek heen. Elektriciteitsproductie via zonlicht is daarom in veel gevallen in competitie met zonlicht dat bestemd is voor de groei van het gewas. Benutting van zonne-energie voor het opwekken van hernieuwbare energie kan daarom alleen uit overtollige zonne-energie (licht of warmte) of uit reststromen van energie uit zonlicht nadat het door de plant voor de groei is gebruikt (De Zwart *et al.*, 2011).

Uit de vorige paragraaf bleek dat zonne-energie voornamelijk ingezet wordt voor het leveren van warmte. Het betreffende areaal – ongeveer 220 hectare – kan worden toegeschreven aan het gebruik van semi-gesloten kassen waarbij kaslucht of de grond waarin wordt geteeld, wordt gekoeld. De vrijgekomen koelwarmte wordt geoogst met een warmtepomp en direct gebruikt of opgeslagen voor een later moment. De opslag van koelwarmte vindt plaats in aquifers of bovengrondse tanks. In 2010 was er één bedrijf dat zonne-energie gebruikte voor de productie van elektriciteit. Dit betreft een project voor elektriciteitswinning met zonnecellen in de constructie van het kasdek (Van der Velden en Smit, 2011).

Wat betreft de technische haalbaarheid zijn er tal van toepassingen beschikbaar voor het gebruik van zonne-energie in de glastuinbouw. De toepasbaarheid van een aantal technieken is afhankelijk van de gekozen teelt (denk aan overtollig licht in de kas of schaduwminnende teelten). Uit een strategische verkenning van De Zwart *et al.* (2011) zijn een aantal bruikbare toepassingen naar voren gekomen die onafhankelijk van de gekozen teelten gebruikt zouden kunnen worden:

- Onbenut zonlicht. Uiteraard wordt het meeste zonlicht benut voor de groei van het gewas. Toch is becijferd dat voor m<sup>2</sup> glasoppervlak ongeveer 0,1 m<sup>2</sup> aangewezen kan worden dat wel bij het bedrijf hoort maar niet direct bijdraagt aan de groei van het gewas. Wanneer ook gedeelten van de kas meegenomen worden, zoals de nokken en glasroeden, stijgt dit oppervlak. Vooral bedrijfsruimtes en waterbassins vormen het oppervlak dat gebruikt kan worden voor het produceren van zonne-energie.
- Onttrekken van warmte uit lucht. Zonlicht wordt maar gedeeltelijk omgezet in suikers door fotosynthese. Het merendeel van het binnenkomende zonlicht wordt omgezet in warmte. Wanneer de kas gesloten blijft kan 's zomers een warmtepomp worden ingezet om de overtollige warmte te oogsten. Koeling komt de opbrengst van diverse teelten ten goede. Deze techniek wordt al veel toegepast middels het gebruik van semi-gesloten kassen.
- Onttrekken van warmte uit water. In de zomer kan het kasdek bevoeid worden met koud water (dekbevloeiing). Het warme kasdek draagt een deel van de warmte over aan het water dat opgewarmd wordt. Naast dit eenvoudige principe van dekbevloeiing is het ook een optie om warmte te onttrekken uit nabijgelegen oppervlaktewater, zoals kanalen, rivieren of meren. De temperatuur van oppervlaktewater kan in de zomer wel oplopen tot boven de 20 °C.

Een punt van aandacht bij deze toepassingen is dat het warmteaanbod niet synchroon loopt met de warmtevraag. In figuur 4.2 wordt dit geïllustreerd. Er zijn twee proxies genomen voor het warmteaanbod (temperatuur van het open oppervlaktewater in Nederland) en de warmtevraag (het gemiddelde gasverbruik). Wanneer het gasverbruik hoog is door de warmtevraag, is er geen aanbod van warm oppervlaktewater en vice versa. Daarom is een vorm van warmteopslag vereist om het aanbod en de vraag meer op elkaar af te stemmen. Een veelgebruikt middel voor opslag is een aquifer waarbij warm of koud water kan worden opslagen in watervoerende lagen in de grond.



Figuur 4.2: Aanbod bij het onttrekken van warmte uit oppervlaktewater en warmtebehoefte in de kas (gebaseerd op De Zwart *et al.*, 2011 en Innovatienetwerk en SIGN, 2011).

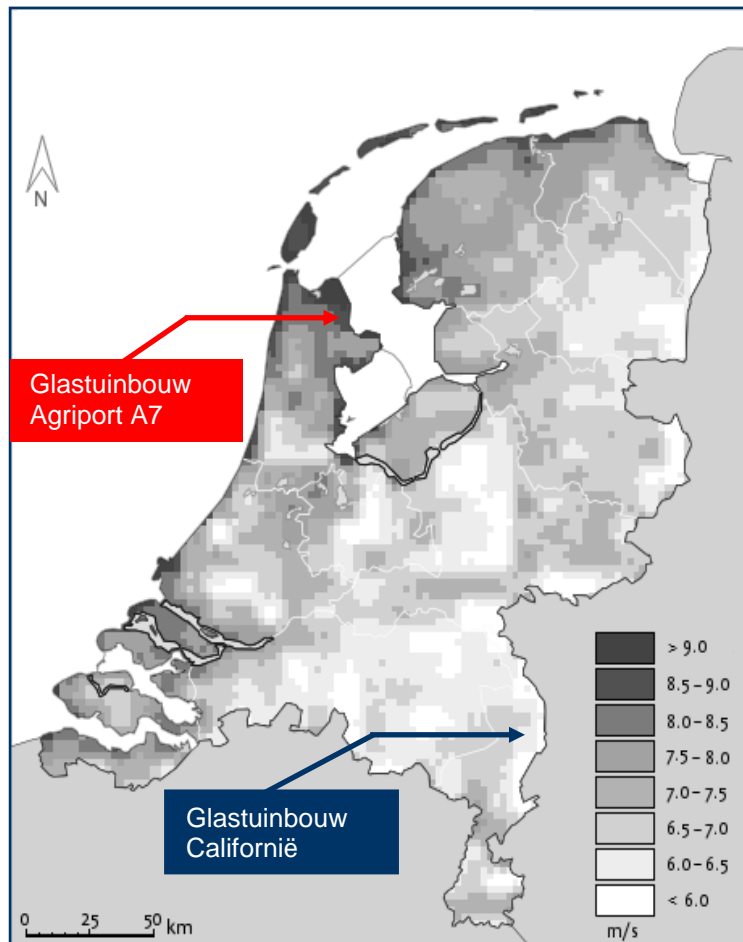
Naast deze toepassingen zijn er ook een aantal nieuwe concepten die op langere termijn mogelijk toepasbaar worden. Een daarvan is energie uit ongebruikte golflengtes van de zonnestraling, de Nabij Infrarode straling (NIR). Met dit principe wordt verondersteld dat het deel van het zonnenspectrum dat niet gebruikt wordt bij de plantgroei ingezet kan worden voor productie van warmte en/of elektriciteit. Wanneer er met schaduwminnende teelten gewerkt wordt, zijn er enkele concepten uitgedacht die het onderscheppen van licht willen combineren met de productie van elektriciteit. Hierbij wordt vooral gedacht aan het plaatsen van fotovoltaïsche zonnecellen op het dak, scherm of lamellen.

De economische haalbaarheid van toepassingen voor zonne-energie is in veel gevallen laag. Het onttrekken van warmte uit oppervlaktewater en lucht lijkt wel haalbaar maar zal nooit de totale energievraag kunnen invullen (De Zwart *et al.*, 2011). Daarnaast schommelt de energieproductie sterk door weersinvloeden. Voor deze en andere op dit moment niet haalbare toepassingen is de doorontwikkeling en kostendaling van zonnepanelen voor het opwekken van warmte en/of elektriciteit van groot belang.

### 4.3 WINDENERGIE

Op nationaal niveau wordt de optie windenergie gezien als een goedkope en bewezen techniek om hernieuwbare energie te produceren. Er wordt ingezet op een vermogen van 6000 MW op het land in 2020 (Ministerie van EL&I, 2011). Eind 2008 telde Nederland bijna tweeduizend windturbines, waarvan circa 35% direct gerelateerd aan agrarische bedrijven (Oltmer *et al.*, 2009). Voor de energievoorziening in de glastuinbouw wordt windenergie weinig tot niet toegepast. Onder de huidige toepassingen van hernieuwbare energie in de glastuinbouw wordt geen melding gemaakt van bedrijven die gebruik maken van windenergie ( zie figuur 4.1).

Net als zonne-energie is windenergie afhankelijk van weersinvloeden. De elektriciteitsopbrengst is afhankelijk van de windsnelheid die bepaald wordt door zaken als de geografische ligging en hoogte van de windturbine, het moment op de dag en in het seizoen. Met betrekking tot deze zaken zou windenergie goed te verenigen zijn met glastuinbouw, want veel glastuinbouwbedrijven zijn geconcentreerd in relatief windrijke gebieden en zowel windturbines als kassen zijn ruimtevragers (Arends, 2012). Clustering van glastuinbouw zou in dit geval voordeel bieden. Toch kunnen er grote verschillen zijn. Zo is in figuur 4.3 te zien dat het glastuinbouwgebied Californië bij Venlo met lage windsnelheden te maken heeft terwijl het gebied Agriport A7 in de kop van Noord-Holland in de hoogste categorie van 9 meter per seconde valt. Ook het plaatsen van windturbines is locatiegebonden.



Figuur 4.3: Langjarig jaargemiddelde van de windsnelheid op 100 meter hoogte in de periode 1981 – 2010 (Bron: KNMI).

Een andere reden om windturbines met kassen te clusteren in daarvoor aangewezen gebieden is dat ze beide moeilijk in het Nederlandse landschap te passen zijn. Onder andere horizon- en lichtvervuiling leiden vaak tot NIMBY-gedrag van omwonenden. Verder vertoont de ontwikkeling in elektriciteitsvraag in de kas door het jaar heen overeenkomsten met de elektriciteitsproductie van een windturbine; in de winter wanneer de vraag het hoogst is, wordt ook de hoogste productie behaald (Huijs *et al.*, 2000). Windenergie is goed in te passen in de beoogde clustering van glastuinbouwbedrijven als een manier om gezamenlijk in elektriciteit te voorzien. In een studie van Huijs *et al.* (2000) werd geconcludeerd dat clustering voordelen oplevert indien de teelten binnen de cluster een complementair vraagpatroon naar elektriciteit hebben. Maar sinds de energieliberalisering is dit niet meer noodzakelijk omdat elektriciteit teruggeleverd kan worden aan het net. De huidige inzet van warmtekrachtinstallaties in de glastuinbouw is hier het voorbeeld van.

Anders wordt het wanneer er al een energiebron is die voor de benodigde warmte zorgt, bijvoorbeeld een aardwarmtebron, en er in de elektriciteitsvraag nog apart voorzien moet worden. Of er wordt gewerkt met gesloten kassen waarbij de overtollige warmte van zonne-energie opgeslagen wordt door middel van een warmtepomp. Een windturbine kan de warmtepomp en/of andere energievragers in de kas van elektriciteit voorzien. Extra geproduceerde elektriciteit kan teruggeleverd worden, net zoals dat nu ook gebeurt bij warmtekrachtinstallaties.

De algemene trend is het plaatsen van steeds hogere windturbines voor het behalen van een hogere elektriciteitsproductie. Een ashoogte van meer dan 100 meter en een vermogen van 3 MW is geen uitzondering meer. Hogere windmolens laten de financieringslast stijgen en kunnen de inzet van windenergie op agrarische bedrijven bemoeilijken. Er zijn meerdere mogelijkheden voor het financieren van windenergie op agrarische bedrijven. Eigendom van windturbines en de benodigde grond hoeven niet te behoren bij een rechtspersoon. Zo is het mogelijk om een of meerdere turbines gedeeltelijk in eigendom te hebben en/of de benodigde grond te verhuren (Oltmer *et al.*, 2009). Een andere mogelijkheid is om omwonenden (burgers) mee te laten participeren door financiële deelname, bijvoorbeeld door het verstrekken van obligaties. Burgerparticipatie kan ook een goede invloed hebben op het (plaatselijke) maatschappelijk draagvlak (Senternovem, 2009). Daarnaast vormen vergunningen, het bestemmingsplan en een eventuele milieueffectrapportage andere drempels die genomen moeten worden voor het plaatsen van grote windturbines (Arends, 2012).

Nagegaan wordt of kleinere windturbines (maximaal 15 meter hoog) een optie zijn. Resultaten van een test van vijftien kleine windturbines laten zien dat twee van de vijftien turbines een vergelijkbaar rendement op investeringen (ROI) hebben als zonnepanelen, ondanks testomstandigheden met een lage windsnelheid van 3,8 meter per seconde (m/s) (Mertens, 2009). De hiervoor genoemde auteur concludeerde dat de resultaten voldoende aanleiding geven om 'de ontwikkeling van kleine windturbines voort te zetten en te stimuleren, in een jonge markt zijn prijsdalingen en prestatieverbeteringen immers zeer waarschijnlijk'.

#### 4.4 DIEPE GEOTHERMIE

In deze paragraaf wordt ingegaan op geothermie (aardwarmte) als energiebron: energie in de vorm van warmte die in de bodem zit opgeslagen. Er zijn meerdere vormen van geothermie mogelijk; door mensen in de bodem opgeslagen warmte in aquifers met warmtepompen voor later gebruik is ook een vorm van geothermie. Hier wordt ingegaan op diepe geothermie: dieptes van meer dan 500 meter volgens de Mijnwet, maar in de praktijk bijna altijd dieptes vanaf 1500 meter (Van Heekeren, 2011). Volgens Van der Velden en Smit (2011) is er in Nederland één glastuinbouwbedrijf dat gebruik maakt van diepe geothermie. Met deze bron wordt 24 hectare van warmte voorzien, dit is ongeveer 6,5% van het totale oppervlakte glastuinbouw dat gebruik maakt van hernieuwbare energie (369 hectare). Naar verwachting zal het niet bij één bedrijf blijven: nieuwe projecten in de glastuinbouw zijn gestart (Van Heekeren, 2011) en in de nieuwe ronde van de SDE+ zijn dertig aanvragen ingediend voor diepe geothermie (AgentschapNL, 2012c). Het is nog niet duidelijk hoeveel van deze aanvragen uit de glastuinbouwsector komen.

Een geothermiebron bestaat uit twee putten: een productieput en een injectieput (samen een doublet). Er wordt vanuit één boorlocatie gewerkt; tot een bepaalde diepte lopen de twee boorgaten vlak langs elkaar, daarna wordt de boorrichting van beide boorgaten veranderd zodat de putten uiteindelijk ver genoeg uit elkaar liggen (Bakker en Campen, 2007). Het warme water wordt via de productieput omhoog gepompt en via een warmtewisselaar is het mogelijk de warmte af te geven aan het verwarmingssysteem in de kas. Het afgekoelde water gaat via de injectieput terug naar het reservoir zodat de druk op peil blijft. De uiteindelijke temperatuur van het water verschilt per locatie en kan variëren van zestig tot meer dan honderd graden Celsius (°C) (van der Velden en Smit, 2011). Verder is het debiet van belang: de hoeveelheid op te pompen water in kubieke meter per uur (m<sup>3</sup>/uur). Het vermogen van de bron wordt bepaald door de het debiet en de aanvoer- en retourtemperatuur (Bakker en Campen, 2007).

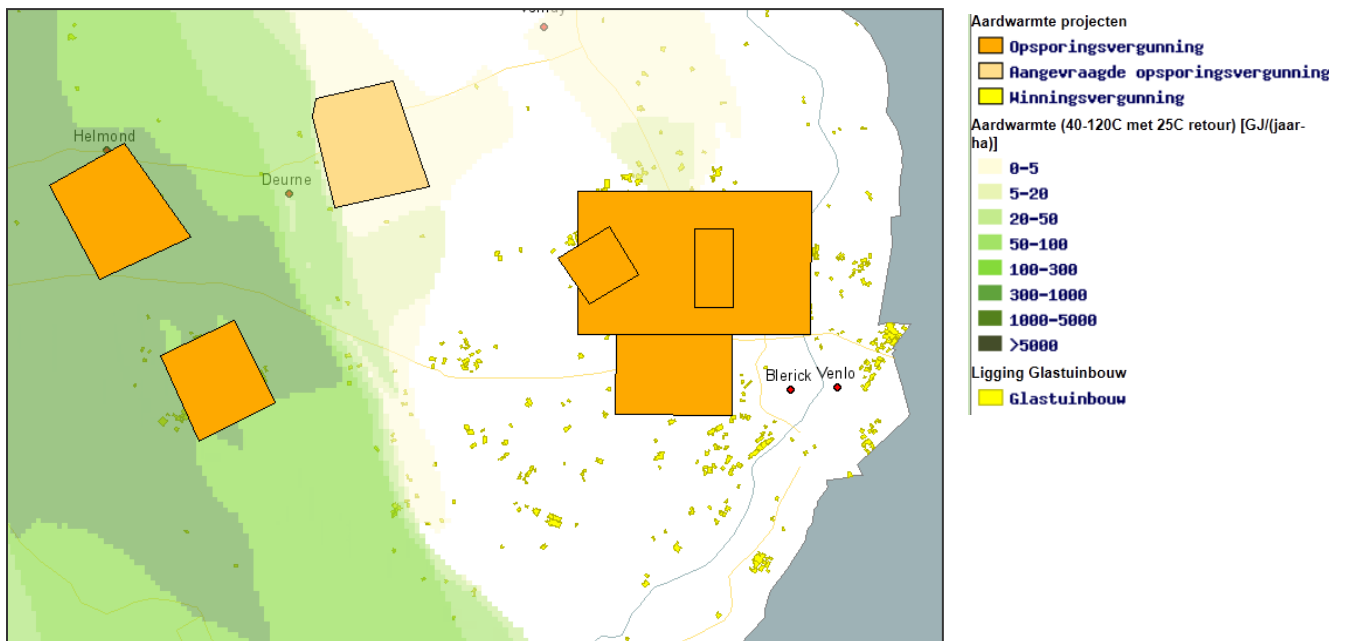
Bij een aanvoertemperatuur vanaf circa 95 °C wordt het mogelijk om elektriciteit op te wekken door gebruik te maken van ORC (Organic Rankine Cycle). Met deze techniek wordt het kookpunt verlaagd door gebruik te maken van andere vloeistoffen dan water. Een mogelijkheid zou zijn om het aangevoerde water eerst te gebruiken voor opwekking van elektriciteit en daarna het deels afgekoelde warme water te gebruiken voor het verwarmingssysteem. Uit een studie van Innovatienetwerk en SIGN (2010) blijkt dat het opwekken van elektriciteit bij een aanvoertemperatuur van 100 °C leidt tot een netto toename van het elektrisch rendement met 4%, maar dit niet tot energiebesparing leidt omdat de toename van het elektrisch rendement ten koste gaat van het thermisch rendement en extra elektriciteitsverbruik als gevolg van meer draaiuren. Bij hogere aanvoertemperaturen neemt het elektrische rendement flink toe en zou dit tot andere resultaten kunnen leiden. Maar voor het verkrijgen van hogere aanvoertemperaturen moet weer dieper geboord worden waarmee de investeringskosten hoger worden en er meer kans op misboring is.

Niet in alle gebieden in Nederland is diepe geothermie toepasbaar. Hoewel er nagenoeg overal watervoerende lagen voorkomen zijn maar bepaalde gebieden geschikt voor de winning van aardwarmte. De temperatuur van het formatiewater en een goede doorstroming van de watervoerende laag zijn voorwaarden (Bakker en Campen, 2007; Van Heekeren, 2011). Geschikte gebieden hebben een of meerdere zandsteenlagen die over deze eigenschappen beschikken. De Nederlandse bodem voldoet in bepaalde gebieden aan deze voorwaarden. Van deze gebieden is ook vrij veel bekend van de



ondergrond door de vele exploratie- en productieboringen en seismische metingen die te maken hebben met de olie- en gaswinning (Van Heekeren, 2011).

Wanneer er interesse is in warmtevoorziening door middel van diepe geothermie moet allereerst een opsporingsvergunning aangevraagd worden in het kader van de Mijnbouwwet. Met deze vergunning mag onderzoek gedaan worden naar de aanwezigheid van aardwarmte met gebruikmaking van een boorgat (Bakker en Campen, 2007; Van Heekeren, 2011). Geven de resultaten perspectief, dan kan de opsporingsvergunning worden omgezet in een winningsvergunning. Deze geeft het recht om in een bepaald gebied gebruik te maken van geothermie. Zo een gebied beslaat vele hectares; het bestaande geothermieproject kreeg een winningsvergunning voor twee gebieden van 450 hectare (Bakker en Campen, 2007). Glastuinbouwbedrijven gelegen in een concentratiegebied kunnen dus niet aaneengesloten gebruik maken van diepe geothermie.



Figuur 4.4: WarmteAtlas Nederland, ingezoomd op glastuinbouw rondom Venlo (Bron: warmteatlas.nl)

In figuur 4.4 is van het glastuinbouwconcentratiegebied rondom Venlo te zien voor welke locaties een opsporingsvergunning is verleend of aangevraagd. De twee vergunningen uiterst links op de kaart vallen in een gebied waar verwacht wordt dat diepe geothermie mogelijk is (groen gemarkeerde gebied). Wat verder opvalt is dat de meeste glastuinbouwbedrijven rondom Venlo niet vallen binnen potentiële gebieden voor diepe geothermie, maar dat er toch initiatieven opgestart zijn. Dit betreffen initiatieven in het glastuinbouwgebied Californië. In het betreffende gebied zijn weinig boringen naar olie en gas geweest en de datadichtheid was gering. De uitkomsten van het opsporingsonderzoek blijken toch positief en daarom zal begin 2012 worden begonnen met de boring van het doublet (geothermie.nl).

Diepe geothermie kan een langdurige en stabiele bron van warmte zijn met lage operationele kosten. Maar de investeringskosten in aardwarmte zijn zeer hoog, vooral door de noodzakelijke (proef)boringen voor de opsporing en winning van aardwarmte. De kosten van de geproduceerde warmte bestaan voor 70% uit de kosten van de investering (Van Heekeren, 2011). Daarbij is het risico aanwezig op misboring.



#### 4.5 ENERGIE UIT BIOMASSA

Onder de huidige toepassingen van hernieuwbare energie wordt na zonne-energie het meest gebruik gemaakt van biomassa (figuur 4.1). In totaal achttien bedrijven maakten in 2010 gebruik van biomassa, goed voor een areaal van 113 hectare. Vier bedrijven (45 hectare) gebruiken een warmtekrachtinstallatie, veertien bedrijven (68 hectare) passen ketels toe. Ook is bekend dat veertien van de achttien bedrijven hout gebruikten en de overige vier biogas of bio-olie inzetten als brandstof. Daarnaast wordt ook warmte ingekocht (van der Velden en Smit, 2011).

Biomassa is 'de biologische en afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen van de landbouw (met inbegrip van plantaardige en dierlijke stoffen), de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, alsmede de biologische afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval' (definitie afkomstig uit de Richtlijn 2001/77/EG). Koppejan *et al.* (2009) maakt onderscheid tussen primaire, secundaire en tertiaire bijproducten, en komt door een inventarisatie tot de volgende biomassastromen:

Tabel 4.1: Bijproducten (of biomassareststromen) onderscheiden naar primaire, secundaire en tertiaire bijproducten (Bron: Koppejan *et al.*, 2009)

Primair	Secundair	Tertiair
Stro en andere droge gewasbijproducten uit de akkerbouw	<b>Schoon resthout uit de houtverwerkende industrie</b>	Zuiveringsslib RWZI/AWZI
Graszaadhooi	<b>Reststromen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie</b>	<b>Afvalhout</b>
<b>Natte gewasresten</b>	Veilingafval	Composteeroverloop
Groenbemester		<b>GFT</b>
<b>Houtige biomassa uit fruit- en boomteelt</b>		Brandbaar restafval van huishoudens, KWD en industrie
<b>Gras uit natuur en bermen</b>		Reststoffen van verwerking van oud papier
Heide		Textiel
Riet		Solid Recovered Fuels (SRF)
Groenafval uit de bebouwde omgeving		
Biomassa van waterwegen		
<b>Mest</b>		

Niet elk bijproduct is direct geschikt als energiebron voor de glastuinbouw. Van een bepaald product kan bijvoorbeeld de beschikbaarheid te gering zijn of de conversieroute te complex. Schlatmann *et al.* (2009) hebben vastgesteld welke biomassareststromen kansrijk zijn voor de glastuinbouw. Hierbij is onder andere gekeken naar duurzaamheidscriteria en het potentieel van elk bijproduct. Hierbij speelt de CO<sub>2</sub>-reductie een belangrijke rol. In de tabel zijn de opties gemarkeerd (gele kleur). Bij inzet van deze bijproducten is het van belang te bepalen welke conversietechniek het beste gebruikt kan worden om organisch materiaal om te zetten naar energie.

De volgende biomassaconversieketens worden aangedragen (Schlatmann *et al.*, 2009):

- verbranding van (rest)hout voor warmte en CO<sub>2</sub> met een ketel (< 5 MW<sub>input</sub>);
- verbranding van (rest)hout voor warmte, elektriciteit en CO<sub>2</sub> met een bio-WKK installatie (> 5 MW<sub>input</sub>);
- vergisting van natte biomassa in combinatie met WKK-installatie voor warmte, elektriciteit en CO<sub>2</sub>;
- vergisting van mest in combinatie met WKK-installatie voor warmte, elektriciteit en CO<sub>2</sub>.

Een alternatief in opkomst voor verbranding is het inzetten van vergassingsinstallaties. Vergassing is eveneens een thermische conversietechniek, maar er wordt minder zuurstof toegediend waardoor onvolledige verbranding optreedt en vervolgens productgas (of stookgas) ontstaat. Dit is een vluchtig gas dat op een later tijdstip weer verder kan branden. Na het vergassingsproces wordt het productgas eerst gekoeld en gereinigd. (Innovatienetwerk en SIGN, 2011). Omdat de reiniging van het productgas voor verbranding plaatsvindt, is het voordeel dat nu ook goedkoper B-hout (geverfd en gelakt) ingezet mag worden. Daarnaast staat vergassing ook laagwaarde biomassa-reststromen, zoals riet en stro, toe (Innovatienetwerk en SIGN, 2011; Koolwijk en Peeters, 2011). Tegenover de hogere investeringskosten staan lagere operationele kosten.

Tot nu toe is gekeken naar het toepassen van biomassa-reststromen die verbrand, vergast of vergist kunnen worden. Naast het inzetten van reststromen is het ook een optie om energiegewassen te telen, of een combinatie van beide. Zo wordt, ook in Nederland, (energie)maïs geteeld voor energieproductie door middel van vergisting. Mais behoort tot de zogenaamde C4-gewassen, een groep planten – veelal tropische soorten – die met een beperkte ademhaling een zeer hoge koolstofopname realiseren. Een ander C4-gewas dat vooral in de intensieve veehouderij belangstelling gewekt heeft is olifantsgras (Latijnse naam is *Miscanthus*). Dit is een meerjarig energiegewas met een energie-inhoud per kilogram drogestof gelijk aan hout en een zeer laag mineralengehalte (Kasper, 2011). In België is er aandacht voor korteomloophout (KOH): dichte aanplantingen met snelgroeiende boomsoorten, zoals wilg of populier, die gemiddeld elke drie jaar geoogst kunnen worden tot zeven maal toe. Kleine bedrijven in de glastuinbouw maken gebruik van KOH voor de aanvoer van warmte door directe verbranding in stookketels (De Somviele *et al.*, 2009). Hierbij kan ook gedacht worden aan bedrijven met koudeteelten.

Met de toegenomen aandacht in diverse sectoren is ook de vraag naar bijproducten en energiegewassen toegenomen. De beschikbaarheid van biomassa is een punt van zorg. Nederland is een land waar ruimte schaars is en zal blijven. Ruimte voor eigen productie, voor marginale teelten van energiegewassen is er nauwelijks. De houtprijs vertoont een stijgende lijn, energiecentrales stoken steeds meer hout bij (Vakblad voor de Bloemisterij, 2011). Daarnaast is ook bekend dat veel hout wordt geëxporteerd naar Duitsland. Zo wordt naar schatting 40% van het A-hout, 50% van het B-hout en 100% van het C-hout en ook grote percentages van andere types hout geëxporteerd (De Jong *et al.*, 2010). Dit heeft onder meer te maken met de hogere subsidies in landen als Duitsland en Denemarken (Vakblad voor de Bloemisterij, 2011). Met andere woorden: diverse markten voor biomassa zijn grensoverschrijdend georiënteerd: vragers die over hogere subsidies beschikken kunnen ook een hogere prijs bieden. Dit fenomeen van een ongelijk speelveld speelt ook in markten voor andere biomassa (Sok, 2012).

#### 4.6 VERANDERINGEN IN DE CO<sub>2</sub>-VOORZIENING

Met het implementeren van alternatieve energiebronnen kunnen er veranderingen optreden in de CO<sub>2</sub>-voorziening. Veel van de hiervoor besproken alternatieven reduceren de emissies, zoals geothermie en windenergie. Deels is dat ook het doel; zowel wet- en regelgeving (waaronder het emissiehandelsstelsel) als meer informele instituties (maatschappelijke legitimatie) leggen nadruk op het terugdringen van de CO<sub>2</sub>-emissies. Aan de andere kant is er vraag naar CO<sub>2</sub> als een groeibehoefte voor gewassen in de kas. Ventilatie is een te beperkt middel om volledig in de CO<sub>2</sub>-vraag te voorzien (Smit, 2010). Een onvolledige invulling van de CO<sub>2</sub>-vraag in de kas heeft direct invloed op de uiteindelijke opbrengsten van veel geteelde gewassen en beïnvloedt direct het financieel resultaat.

Het gebruik van aardgas voor de warmtevoorziening, via een ketel of warmtekrachtinstallatie, geeft de mogelijkheid om bruikbare CO<sub>2</sub> te filteren uit de rookgassen en te gebruiken voor de gewasgroei zodat de behoefte van het gewas op peil blijft. Met een eventuele overstap naar vormen van hernieuwbare energie neemt deze bron van CO<sub>2</sub> af of verdwijnt zelfs helemaal. Naast ketel of warmtekrachtinstallatie wordt CO<sub>2</sub> ook extern aangeleverd. In 2008 werd tussen de 450 en 500 kiloton afgenomen bij derden, waarvan twee derde van het volume afkomstig uit het OCAP-project (Smit, 2010). OCAP (afkorting van: Organic Carbondioxide for Assimilation of Plants) koopt zuivere CO<sub>2</sub> in bij Shell in Pernis, en straks ook bij Abengoa in Rotterdam, en transporteert dit via leidingen naar glastuinbouwgebieden in Nederland (ocap.nl).

Een tekort aan bruikbare CO<sub>2</sub> als gevolg van minder fossiel energiegebruik in de glastuinbouwsector vraagt ook om het zoeken naar alternatieve bronnen van CO<sub>2</sub>. Grofweg zijn er twee alternatieve bronnen: uit biomassa en uit grootschalige industrieën (Vermeulen en Van der Lans, 2007; Smit, 2010). Uit biomassa kan op verschillende wijzen: verteren, composteren, vergisten, verbranden en door pyrolyse. Bij vergassing lijkt CO<sub>2</sub> ook isoleerbaar te zijn, al zorgen de kostbare systemen ervoor dat dit tot nu toe niet economisch rendabel lijkt (Innovatienetwerk en SIGN, 2011). De andere mogelijkheid is uit grootschalige industrieën, zoals energiecentrales of de petrochemische industrie (OCAP). Dit betreft CO<sub>2</sub> dat vrijkomt bij het verbranden van fossiele energie, nu gebruikt op een andere locatie dan op het glastuinbouwbedrijf. In feite is er één bron: (versteende) biomassa.

Ondergrondse opslag van CO<sub>2</sub> is een veelbesproken methode voor grootschalige CO<sub>2</sub> emitterende bedrijven om het overschot aan emissies terug te dringen. Er zijn nog veel onduidelijkheden en moeilijkheden verbonden aan de geologische opslag van CO<sub>2</sub> (Huibers *et al.*, 2009 in: Vermeulen en Van der Lans, 2007). Of CCS kan bijdragen aan de CO<sub>2</sub>-voorziening in de glastuinbouw is nog niet aan te geven. Het CO<sub>2</sub>-emissierechtensysteem kan een impuls geven aan de ontwikkeling van een markt voor zuivere CO<sub>2</sub>.

## 5 AANVULLENDE OPTIES

Toepassing van hernieuwbare energie op een glastuinbouwbedrijf vermindert de afhankelijkheid van aardgas en de uitstoot van CO<sub>2</sub>. Stijgende prijzen van fossiele brandstoffen zullen daardoor minder invloed zijn op het energiehuishouden. In dit hoofdstuk gaan we in op de vierde onderzoeksvraag: *Wat zijn andere serieuze mogelijkheden om de energiebehoefte in de glastuinbouw veilig te stellen?* Naast gebruik van hernieuwbare energie zijn andere opties mogelijk om de toekomstige energievraag in de glastuinbouw minder afhankelijk te maken van de wereldenergiesituatie en aanverwante geopolitieke ontwikkelingen, al gaan die mogelijkheden vaak hand in hand met toepassing van hernieuwbare energie. De volgende opties worden aan de orde gesteld: besparen op energiegebruik (4.1), efficiënter gebruik van fossiele brandstoffen (4.2) en samenwerken (4.3).

### 5.1 BESPAREN OP ENERGIEGEBRUIK

Eenvoudige besparingsopties die de energievraag doen verminderen, hoe de vraag ook ingevuld wordt, kunnen al snel leiden tot minder kosten (zogenaamde ‘quick wins’). Daarnaast bestaan er ook meer structurele opties die kunnen leiden tot energiebesparing. Nieuwe kasontwerpen sturen aan op het combineren van structurele besparingsopties en inzet van hernieuwbare energie.

Binnen het beleids- en actieprogramma Kas als Energiebron wordt volgens de Trias Energetica op twee gebieden gedacht aan het besparen van energie: via teeltstrategieën en via licht in de kas. Voor veel gewassen wordt specifiek ingezet op een pakket van nieuwe teeltmaatregelen om zuiniger te telen. Dit wordt Het Nieuwe Telen (HNT) genoemd. Deze vernieuwde kijk op de manier van telen per gewas kan stapsgewijs in zowel bestaande als nieuwe kassen doorgevoerd worden. Dit spreidt ook de investeringslast. De belangrijkste maatregelen zijn het ontvochtigen door buitenluchtaanzuiging en het plaatsen van een tweede energiescherm. Bedrijven die HNT toepasten in 2011 bespaarden twintig tot dertig procent op de warmtevraag ten opzichte van de standaardteeltwijze (Productschap Tuinbouw *et al.*, 2012). Op het gebied van licht wordt er ingezet op het beter benutten van natuurlijk (zon)licht en het energie-efficiënt inzetten van kunstlicht. Met nieuwe typen kasdekken, zoals diffuus of dubbel glas, moet natuurlijk licht beter benut kunnen worden. Hierbij horen soms ook compleet nieuwe kasconstructies, zoals de VenlowEnergyKas en de DagLichtKas. Er zijn tal van concepten van kasontwerpen waarbij besparing en gebruik van hernieuwbare energie gecombineerd worden. Toepassingen voor LED-verlichting in de kas worden nog onderzocht (Productschap Tuinbouw *et al.*, 2012).

Een echte quick win is het doorvoeren van veranderingen in het teeltschema. Onder lage lichtomstandigheden (’s winters) is de groei ook langzaam, terwijl de warmtevraag in de kas op zijn hoogst is. Een kleine verschuiving in het teeltschema – door wat later aan te vangen met de teeltperiode – kan tot substantiële energiebesparingen leiden, waarbij dit niet ten koste hoeft te gaan van de opbrengst (Onder glas, 2011). Wanneer in één productiejaar meerdere teeltrondes plaatsvinden, zou het een optie zijn om gedurende de koudere perioden een energiearmere teelt of ras in te zetten. Deze denkwijze is een onderdeel van aanpassingen in de besturing van het klimaat in de kas en wordt omschreven als ‘met het klimaat mee telen’ (Kempkes *et al.*, 2011).

## 5.2 EFFICIËNTER GEBRUIK VAN FOSSIELE BRANDSTOFFEN

Voor het produceren van warmte en elektriciteit worden grote hoeveelheden gas gebruikt. Veel bedrijven maken gebruik van de al efficiënte techniek van warmtekrachtinstallaties. Het totaalrendement van warmtekrachtinstallaties wordt geschat op circa negentig procent: de optelling van het elektrisch en thermisch rendement (Innovatienetwerk en SIGN, 2010). Ondanks het hoge rendement wordt nog steeds gekeken naar verbeterstechnieken die het rendement nog hoger kunnen maken, want kleine energie-efficiëntieverbeteringen leiden tot grote besparingen. Naast verbeteringen in het rendement is het een optie om energie op te slaan voor korte of lange tijd zodat vraag en aanbod meer op elkaar afgestemd kunnen worden.

Een technische mogelijkheid is het inzetten van de ORC-techniek (Organic Rankin Cycle). Met deze techniek wordt volgens het principe van de traditionele stoomcyclus (Rankin Cyclus) warmte omgezet in elektriciteit, maar nu met een organische vloeistof in plaats van water (Koolwijk en Peeters, 2011). Zonder ORC-techniek produceert de warmtekrachtinstallatie volgens een vaste ratio warmte en elektriciteit. Met de ORC-techniek kan ervoor worden gekozen om warmte eerst om te zetten in elektriciteit met als gevolg dat het elektrisch rendement stijgt en het thermisch rendement daalt (Koolwijk, 2010). Dit betekent niet dat warmte en elektriciteit in elke verhouding te produceren is, maar wel dat een deel van de warmte kan worden omgezet in elektriciteit waardoor er iets meer sturing in de verhouding warmte/elektriciteit mogelijk wordt. Echter, met de huidige sparksread wegen de hoge investeringskosten niet op tegen de baten van het extra beetje geproduceerde elektriciteit. Toepassing van ORC-techniek in combinatie met een warmtekrachtinstallatie zoals die nu vaak ingezet wordt (op gas) kan pas rendabel worden als de prijs voor elektriciteit stijgt en/of de investeringskosten dalen. Een interessantere optie zou zijn om de techniek te combineren met een warmtekrachtinstallatie die gebruik maakt van biogas (of eventueel stookgas). In dat geval kan een SDE-subsidie verkregen worden op geproduceerde elektriciteit. Voor extra geproduceerde elektriciteit met ORC-techniek wordt dan bovenop de verkoopprijs een vergoeding ontvangen. Deze toepassing wordt nu ook ingezet op glastuinbouwbedrijven (Koolwijk, 2010). Naast het verbeteren van het elektrisch rendement door de ORC-techniek zijn er ook opties om het thermisch rendement te verhogen. Door de rookgassen afkomstig uit het productieproces van de warmtekrachtinstallatie verder uit te koelen kan het totaalrendement stijgen. Hiermee wordt de geproduceerde laagwaardige warmte ook benut. Een voorwaarde voor het gebruik hiervan kan zijn dat het warmteafgiftenet in de kas aangepast moet worden. Twee mogelijkheden hiertoe zijn het vergroten van het lage temperatuur (LT)-net of het toepassen van zeer lage temperatuur verwarming (ZLTV) (Koolwijk *et al.*, 2011), zoals vloerverwarming. Voorwaarde is wel dat het gangbare buizenet dat gebruik maakt van de geproduceerde hoogwaardige warmte kan samenwerken met de systemen die laagwaardige warmte gebruiken om tot een optimale verwarming van de kas te komen (Innovatienetwerk en SIGN, 2010; Koolwijk *et al.*, 2011).

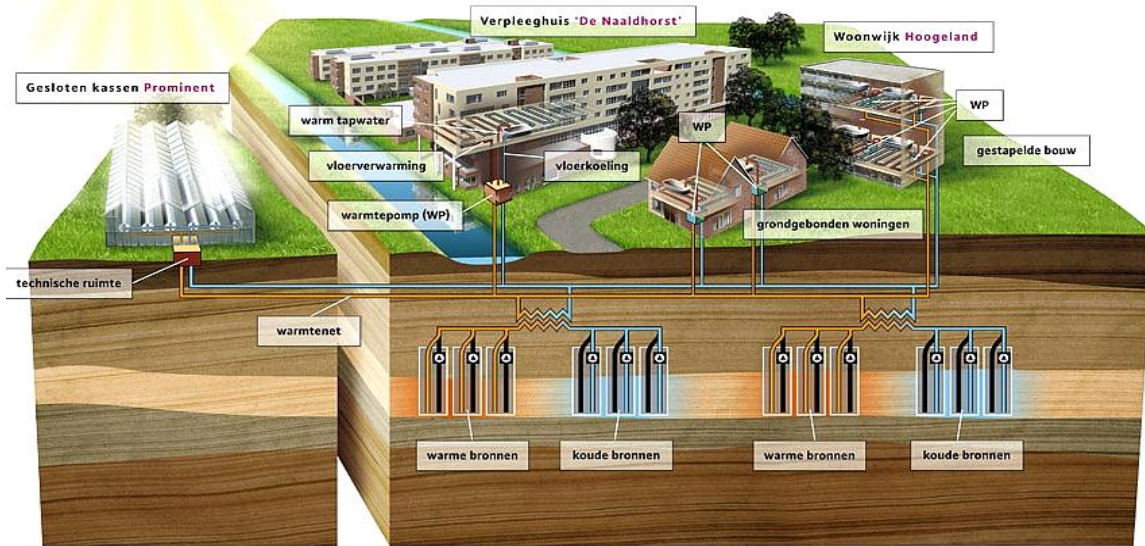
Het opslaan van energie voor later gebruik – buffering genoemd – kan de inzet van fossiele brandstoffen ook efficiënter maken. In de huidige praktijk worden al een aantal opslagmethodes ingezet. Warmteopslag tanks worden gebruikt voor optimale inzet van warmtekrachtinstallaties, zonnewarmte wordt geoogst en opgeslagen in de grond in aquifers (indirecte inzet van fossiele energie). Andere opslagmethodes zijn waterbassins onder (een gedeelte van) de kas, ondiepe bodemopslag via bodemwarmtewisselaars of gebruik van Phase Change Materials (PCM), zoals zouthydraten of paraffinen. Maar Brand *et al.* (2008) concludeert dat met de huidige (hoge) warmtebehoefte in de kas alleen aquifers een optie zijn.

### 5.3 SAMENWERKEN

Buiten de glastuinbouwsector zijn tal van partijen aanwezig waarmee samengewerkt zou kunnen worden op het gebied van de energiehuishouding. Samenwerking op dit gebied kan nuttig zijn om diverse redenen. Er kunnen partijen zijn die eigen geproduceerde energiestromen niet volledig benutten, bijvoorbeeld de vrijkomende warmte van productieprocessen. Daarnaast is het mogelijk dat partijen over bepaalde productiefactoren of reststromen beschikken die geen bestemming hebben en daarom aangewend zouden kunnen worden voor energieproductie in de glastuinbouw. Verder zijn er ook mogelijkheden om uiteenlopende agrarische producties te combineren om op die manier reststromen beter te benutten en zelfs kringlopen te sluiten. Ook op het gebied van de CO<sub>2</sub>-voorziening is samenwerking mogelijk.

Bij samenwerking met partijen die hun energiestromen niet volledig benutten gaat het vooral om potentiële energie in de vorm van warmte. Immers, niet benutte energie in de vorm van elektriciteit kan geleverd worden aan het net, als gevolg van de geliberaliseerde elektriciteitsmarkt. Niet alleen partijen uit de agrarische sector, maar ook met partijen uit andere sectoren zou samenwerking gezocht kunnen worden. Belangrijke leveranciers van restwarmte zijn elektriciteitsproducenten, de industrie en afvalverbrandingsinstallaties (Wetzels, 2010). Een voorwaarde voor samenwerking is dat de partijen niet te ver uit elkaar liggen om die reden dat transport van warmte in de vorm van water of stoom over langere afstanden gepaard gaat met grote verliezen. Sinds 2010 wordt een glastuinbouwgebied bij Terneuzen verwarmd met restwarmte afkomstig uit een nabijgelegen kunstmestfabriek (Wetzels, 2010). Daarbij wordt ook CO<sub>2</sub> afkomstig uit het productieproces ingezet in de kassen. Overigens zijn er ook samenwerkingsinitiatieven waarbij de glastuinbouw de leverancier van restwarmte is. Zo wordt er in Naaldwijk een nieuwbouwwijk verwarmd met restwarmte uit nabijgelegen kassen, afkomstig van de zon, opgeslagen in aquifers. Behalve een verpleeghuis is geen enkele woning in deze wijk aangesloten op het aardgasnet (Overeijnder en Snellens, 2011).

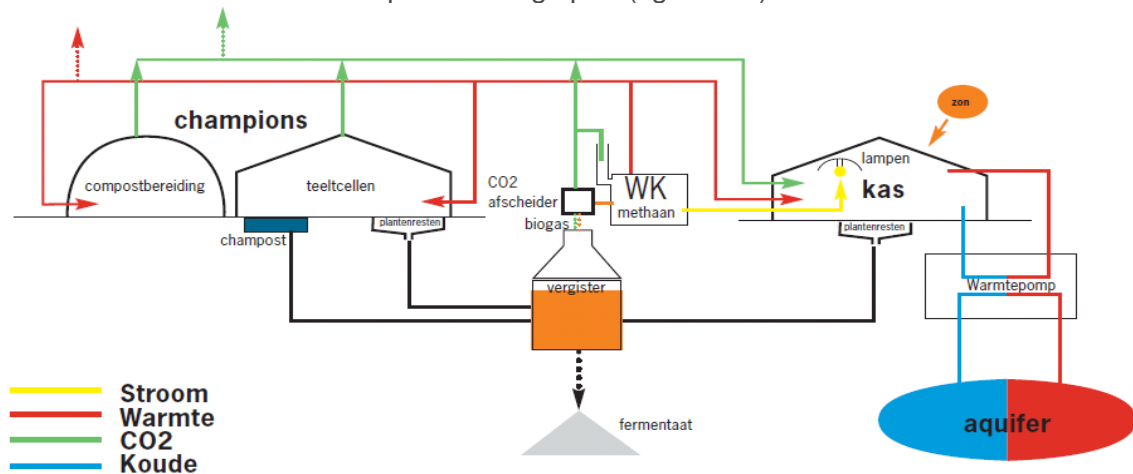




Figuur 5.1: Illustratie van een samenwerkingsinitiatief waarbij kassen warmte leveren aan een nabijgelegen woonwijk (Bron: Overeijnder en Snellens, 2011).

Daarnaast kan samenwerking worden gezocht met partijen die beschikken over productiemiddelen of reststromen die niet gebruikt worden of een (te) laagwaardige toepassing hebben. Een interessante partij om mee samen te werken is de plaatselijke gemeente (Innovatienetwerk en SIGN, 2009). Beide partijen, zowel de glastuinbouwsector als gemeenten, hebben ambitieuze klimaatdoelstellingen. In veel gevallen beschikt een plaatselijke gemeente binnen haar gemeentegrenzen over diverse reststromen, waarvan een deel geschikt is voor energieproductie. Vooral houtige biomassa en GFT-afval kunnen ingezet worden voor productie van energie, onder andere door verbranding, vergassing of vergisting waarbij de vrijkomende CO<sub>2</sub> ook gebruikt kan worden. Een belangrijke stimulans voor deze vorm van samenwerking is in het gemeentelijke ruimtelijke ordeningsbeleid verwerkingslocaties te situeren nabij glastuinbouwclusters (Innovatienetwerk en SIGN, 2009). Naast dat plaatselijke gemeenten beschikken over reststromen, hebben zij vaak ook terreinen in bezit die (tijdelijk) geen bestemming hebben. Zo hebben Boosten en Oldenburger (2011) becijferd dat er 8.200 hectare (braakliggend) bedrijventerrein beschikbaar is voor energieteelten, waarvan circa 6.000 in eigendom van gemeenten. Veel van deze terreinen beslaan grote oppervlaktes (vijf tot twintig hectare). Bedrijventerreinen liggen gemiddeld zes tot acht jaar braak voordat ze in gebruik worden genomen. Als gevolg van de huidige economische situatie is deze termijn toegenomen tot tien jaar (Boosten en Oldenburger, 2011). Naast bedrijventerreinen komen onder andere verontreinigde terreinen en natuur- en recreatiegebieden in aanmerking voor teelten van energiegewassen. Veel van deze terreinen zijn ook in eigendom van plaatselijke gemeenten. Een fenomeen hieraan gerelateerd is de groeiende kantorenleegstand in Nederland. In 2010 stond ongeveer 14% van de kantoorruimte leeg. Dit betreft een structurele leegstand, veroorzaakt door stabilisatie van de beroepsbevolking en nieuwe vormen van werken (tele- en flexwerken) (rijksoverheid.nl). Er zijn initiatieven gaande waarbij het de bedoeling is dat leegstaande kantoren worden gebruikt als ruimte voor tuinbouw, waarbij onder andere LED-verlichting toegepast wordt. (NVMagazine, 2011).

Binnen de land- en tuinbouwsectoren biedt systematische samenwerking tussen verschillende agrarische activiteiten mogelijkheden om de energiehuishouding op de meewerkende bedrijven te verbeteren. Samenwerking kan op systeemniveau; hiervan is het concept agroparken het voorbeeld waar ruimtelijke clustering van verschillende combinaties van agrarische en niet-agrarische activiteiten de kern vormt (Innovatienetwerk, 2005). Het bekendste initiatief van een agropark is het Nieuw Gemengd Bedrijf. Hierin wordt een samenwerking beoogd met een grote pluimveehouder, de grootste champignonkweker van Europa, een van de grootste varkenshouders van de regio, een grote glastuinder en een technisch bedrijf om hun afval- en grondstofstromen meer op elkaar te laten aansluiten (Innovatienetwerk, 2005). Maar een samenwerking tussen een glastuinbouwer en een champignonkweker kan ook al leiden tot het sluiten van bepaalde kringlopen (figuur 5.2).



Figuur 5.2: Het sluiten van kringlopen van energie en CO2 door samenwerking tussen een glastuinbouwbedrijf en een champignonkwekerij (Bron: Anonymus, 2004)



## 6 MODELLERING VAN ENERGIE IN DE KAS

Dankzij een goede sparkspread heeft de inzet van warmtekrachtinstallaties in voorgaande jaren in de glastuinbouw geleid tot relatief lage netto energiekosten per eenheid product. Warmte en CO<sub>2</sub> waren tegen zeer lage kosten te verkrijgen door de hoge verkregen vergoeding van elektriciteitsproductie uit gas. Deze gunstige ontwikkelingen in de energiemarkten hebben ertoe geleid dat de huidige actieve warmtekrachtinstallaties in feite al terugverdiend zijn. Op dit moment (2012) is de sparkspread een stuk lager. Het is onduidelijk of de huidige techniek nog steeds de meest optimale is. Gebruik van een LP-model kan meer inzicht geven in factoren die bepalen hoe de energie- en CO<sub>2</sub>-vraag in de toekomst het beste ingevuld kan worden.

### 6.1 OPZET VAN HET BASIS LP-MODEL

Het model is opgebouwd volgens een standaard LP-model dat kan worden omschreven in matrixvorm als:

Minimaliseer  $\{ Z = \mathbf{c}'\mathbf{x} \}$  onder voorwaarde dat

$$\mathbf{Ax} \leq, =, \geq \mathbf{b}$$

$$\mathbf{x} \geq \mathbf{0}$$

waarbij de doelfunctie  $Z$  dient te worden geminimaliseerd. Doelfunctie  $Z$  is minimalisering van de netto energiekosten per bedrijf in de glastuinbouw. De vector  $\mathbf{x}$  bestaat uit keuzevariabelen (activiteiten),  $\mathbf{c}'$  is een vector met saldi (kosten en opbrengsten van de activiteiten),  $\mathbf{A}$  is een matrix met technische coëfficiënten en de vector  $\mathbf{b}$  bestaat uit restrictiewaarden.

In het model is de energiehuishouding van een kas gemodelleerd, waarbij er drie jaarbehoefte ingevuld moeten worden tegen zo laag mogelijke kosten: warmte, elektriciteit en CO<sub>2</sub>. Afhankelijk van de gekozen teelt en welk type kas er wordt gebruikt, variëren deze jaarbehoefte. Het maakt bijvoorbeeld uit hoe de kas ontvochtigd wordt, of er assimilatiebelichting ingezet wordt en wat de gewenste concentratie CO<sub>2</sub> in de kas is.

Deze jaarbehoefte kunnen op verschillende wijzen ingevuld worden. Dit kan door: eigen productie of aanvoer van derden. Voor eigen productie zijn twee technieken beschikbaar: een warmtekrachtinstallatie en een ketel. De inzet van een warmtekrachtinstallatie in de kas wordt in het model als uitgangspunt genomen. Met deze techniek wordt gecombineerd warmte en elektriciteit (en CO<sub>2</sub>) geproduceerd. Geproduceerde elektriciteit kan ook worden verkocht. Verder is er een ketel aanwezig die fungeert als back-up, maar die ook een deel van de warmtevraag kan invullen bij een grote warmtebehoefte, bijvoorbeeld in de winter. Wanneer de gasprijzen hoger worden, is het gebruik van een ketel steeds voordeliger omdat deze, in tegenstelling tot de warmtekrachtinstallatie, een veel hoger thermisch rendement heeft. Daar staat tegenover dat een ketel geen elektriciteit produceert (zie tabel 6.1).

Tabel 6.7: Energieopbrengst uit 1m<sup>3</sup> aardgas (31,65 MJ) per gebruikte techniek

Techniek	Thermisch rendement		Elektrisch rendement		CO <sub>2</sub> -productie kg
	%	MJ	%	MJ	
Warmtekrachtinstallatie	51	16,14	40	12,66	1,789
Ketel	95	30,1	-		1,789

Naast eigen productie van warmte, elektriciteit en CO<sub>2</sub> bestaat er de mogelijkheid om elektriciteit en CO<sub>2</sub> van derden te betrekken. Aanvoer van warmte van derden is geen standaardoptie. Specifieke omstandigheden kunnen ertoe leiden dat warmtelevering door derden een mogelijkheid is, bijvoorbeeld wanneer een afvalverbrandingsinstallatie zich in de buurt van een kas bevindt (Wetzels, 2010).

Het basis LP-model bestaat uit 77 activiteiten en 89 restricties. Een vereenvoudigde weergave van het model is te vinden in tabel 6.2 waarin 10 activiteiten horizontaal staan en 10 restricties verticaal. Het verschil in activiteiten en restricties ligt aan het feit dat in het werkelijke model rekening gehouden wordt met fluctuaties in de vraag naar warmte, elektriciteit en CO<sub>2</sub> door het jaar heen (tijdsaspecten: etmaal en de vier seizoenen). Zo is er geen CO<sub>2</sub>-vraag in de nacht en is de prijs van elektriciteit tijdens daluren een stuk lager. Daar komt bij dat glastuinbouwbedrijven met warmtekrachtinstallaties veel gebruik maken van dagbuffers. Dit geeft de mogelijkheid geproduceerde warmte aan te wenden op een later moment wanneer het op het moment van productie niet ingezet kan worden. Voorbijgaan aan deze aspecten zou het model minder representatief maken.

#### WARMTEBEHOEFTE

Het grootste deel van de benodigde energie is bestemd voor verwarming van de kas. In de berekeningen wordt uitgegaan van een jaarbehoefte van 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> a.e.<sup>1</sup>. Deze warmtevraag wordt gedifferentieerd naar vier seizoenen, aangezien in de winter veel meer warmte gevraagd wordt dan in de zomer. Deze seizoensdifferentiatie is afgeleid van studies van Appelman *et al.* (2004) en Innovatienetwerk (2011). De warmtebehoefte kan ingevuld worden door eigen productie of eventueel door externe levering, maar levering van warmte via derden is niet een standaardoptie. Alleen in bijzondere gevallen kan bijvoorbeeld overbodige warmte van een nabijgelegen fabriek worden gebruikt. Bij eigen productie kan gebruik worden gemaakt van de warmtekrachtinstallatie en/of de ketel, waarbij ook een warmtebuffer met een inhoud van 150 m<sup>3</sup> water/ha ingezet kan worden. Deze dagbuffer maakt het mogelijk om overdag elektriciteit en CO<sub>2</sub> te produceren (piekuren) en de overtollige warmte tijdelijk op te slaan voor later gebruik (in de daluren). Naast een differentiatie naar seizoen wordt daarbovenop gedifferentieerd naar etmaal (dag en nacht) om gebruik van de buffer mogelijk te maken in het model (Appelman *et al.*, 2004). Als proxy voor dag en nacht wordt de indeling van piekuren (07:00 – 23:00) en daluren (23:00 – 07:00) gehanteerd. Bij het berekenen van de dagbuffercapaciteit wordt uitgegaan van een temperatuurverschil van 45 °C bij het vullen van de dagbuffer overdag en het uiteindelijke gebruik van het warme water 's nachts. Uitgaande dat water een warmtecapaciteit heeft van 4,2 MJ/m<sup>3</sup>/°C (Esmeijer, 2004) heeft de buffer een opslagcapaciteit van 28350 MJ/ha. Verder wordt aangenomen dat tijdens de dagopslag 2% van de warmte verloren gaat en de buffer op werkdagen (5x) in de week actief is, aangezien het weekeinde in zijn geheel onder het daltarief valt.

<sup>1</sup> De jaarbehoefte worden weergegeven in m<sup>3</sup> aardgasequivalenten (a.e).

Tabel 6.8: Vereenvoudigde structuur van het LP-model

Activiteiten →	Techniek: warmtekrachtinstallatie				Techniek: ketel		Aanvoer van derden			Aan- of verkoop jaarlijkse CO <sub>2</sub> -emissierechten	Restrictiewaarden
	Warmte-productie	Elektriciteits-productie voor eigen gebruik	Elektriciteits-productie voor verkoop	CO <sub>2</sub> -productie	Warmte-productie	CO <sub>2</sub> -productie	Warmte	Elektriciteit	Zuivere CO <sub>2</sub>		
Restrictie ↓											
Koppeling warmte en elektriciteit met WKK	1	-1	-1								= 0
Koppeling warmte en CO <sub>2</sub> met WKK	1			-1							= 0
Koppeling warmte en CO <sub>2</sub> met ketel					1	-1					= 0
Warmtebehoefte kas	a <sub>ij</sub>				a <sub>ij</sub>		a <sub>ij</sub>				≥ Oppervlakte kas × warmtevraag per m <sup>2</sup>
Elektriciteitsbehoefte kas		a <sub>ij</sub>						a <sub>ij</sub>			≥ Oppervlakte kas × elektriciteitsvraag per m <sup>2</sup>
Verkoop van elektriciteit			a <sub>ij</sub>								≥ 0
CO <sub>2</sub> -behoefte in de kas				a <sub>ij</sub>		a <sub>ij</sub>			a <sub>ij</sub>		≥ Oppervlakte kas × CO <sub>2</sub> -vraag per m <sup>2</sup>
Hoeveelheid gebufferde warmte	a <sub>ij</sub>				a <sub>ij</sub>						≤ Dagbuffercapaciteit
Zuivere CO <sub>2</sub> -dosering ter beperking van NO <sub>x</sub> -uitstoot									a <sub>ij</sub>		≥ Minimale concentratie zuivere CO <sub>2</sub>
Toegestane CO <sub>2</sub> -emissie in het NL sectorsysteem				a <sub>ij</sub>		a <sub>ij</sub>				-a <sub>ij</sub>	= Emissieruimte
Doelfunctie (minimaliseer)	Kosten per m <sup>3</sup> gas	-	Opbrengst per kWh	Kosten per kWh	Kosten per m <sup>3</sup> gas	-	Kosten per m <sup>3</sup> a.e.	Kosten per kWh	Kosten per kg	Kosten of opbrengst per kg	

## ELEKTRICITEITSBEHOEFTE

Voor zaken als ontvochtiging en temperatuurbeheersing is elektriciteit nodig. In de berekeningen wordt uitgegaan van een jaarbehoefte van  $0,8 \text{ m}^3/\text{m}^2$  a.e. (ongeveer  $7 \text{ kWh}/\text{m}^2$ ). Verwacht wordt dat er geen seizoensdifferentiatie nodig is; in ieder seizoen wordt aangenomen dat de elektriciteitsvraag gelijk is. Verder is de elektriciteitsbehoefte regelmatig verdeeld over de uren in een etmaal.

## VERKOOP VAN ELEKTRICITEIT

Naast invulling van de eigen vraag kan geproduceerde elektriciteit worden verkocht aan derden. De verkregen vergoeding verschilt naar het leveringstijdstip; in de piekuren (07:00 – 23:00) geldt een hoger tarief dan in de daluren (23:00 – 07:00).

## CO<sub>2</sub>-BEHOEFTE

Een hoge CO<sub>2</sub>-concentratie in de kas is van belang voor de groei van het gewas. Daarom wordt CO<sub>2</sub>, afkomstig van de warmtekrachtinstallatie of ketel, gebruikt om de concentratie in de kas te verhogen. In de berekeningen wordt uitgegaan van een jaarbehoefte van  $61,4 \text{ kg}/\text{m}^2$ . Deze jaarbehoefte voor CO<sub>2</sub> is afkomstig uit een studie uitgevoerd door Vermeulen en van der Lans (2007), die berekend hebben hoeveel CO<sub>2</sub> nodig is bij een doseerstrategie van  $50 \text{ ppm}^2$  boven de buitenwaarde (meest gangbaar) rekening houdend met ventilatieverliezen. Deze jaarbehoefte is gedifferentieerd naar de vier seizoenen, aangezien de CO<sub>2</sub>-opname van het gewas in de lente en zomer veel hoger is (Vermeulen en van der Lans, 2007). Hier vormt zich een probleem omdat de CO<sub>2</sub>-behoefte niet parallel loopt met de warmtebehoefte, maar juist bijna tegenovergesteld is aan elkaar: in de winter is de meeste warmte nodig, terwijl de vraag naar CO<sub>2</sub> minder is en zomers vice versa. Verder wordt aangenomen dat 's nachts (tijdens daluren) geen CO<sub>2</sub> nodig is; de volledige behoefte wordt gedoseerd in de piekuren. Verder bestaat onzekerheid wat betreft de effecten van CO<sub>2</sub>-dosering afkomstig van rookgassen uit de warmtekrachtinstallatie. Het is bekend dat ook andere componenten, zoals NO<sub>x</sub> en etheen, in de kas terecht komen. Te hoge concentraties kunnen leiden tot schade aan het gewas (Dueck *et al.*, 2008). Vooral in de koude maanden wanneer er veel minder geventileerd wordt, kunnen te hoge concentraties gevormd worden. Om deze reden wordt in het 1<sup>e</sup> kwartaal minimaal 30% zuivere CO<sub>2</sub> extern aangevoerd en in het 4<sup>e</sup> kwartaal minimaal 20% van de CO<sub>2</sub>-behoefte.

Tabel 6.3 vat de bovengenoemde jaarbehoeften samen en geeft de differentiatie naar de vier kwartalen.

Tabel 6.3: Jaarbehoefte van warmte, elektriciteit en CO<sub>2</sub> in de kas

Productstroom	Jaarbehoefte per m <sup>2</sup>	Procentuele differentiatie naar kwartaal en daarbinnen naar piek- en daluren							
		1 <sup>e</sup>		2 <sup>e</sup>		3 <sup>e</sup>		4 <sup>e</sup>	
		Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal
Warmte	40 m <sup>3</sup> a.e.	16%	24%	6,4%	9,6%	6%	6%	14,4%	17,6%
Elektriciteit	7 kWh	16,7%	8,3%	16,7%	8,3%	16,7%	8,3%	16,7%	8,3%
CO <sub>2</sub>	61,4 kg	17,5%		37,5%		30%		15%	

<sup>2</sup> Het CO<sub>2</sub>-gehalte wordt weergegeven met *parts per million* (ppm): het aantal CO<sub>2</sub>-deeltjes per miljoen luchtdeeltjes.

Naast beschikbare technieken en verschillende jaarbehoefes die moeten worden ingevuld, spelen prijzen een belangrijke rol. Voorgaande onderdelen in het model staan vast (een warmtekrachtinstallatie heeft een bepaald rendement; een kas heeft een bepaalde warmtevraag). Daarentegen zijn prijzen variabel en kan bijvoorbeeld een hoge prijs van gas in het model aanleiding geven tot een ander optimaal punt waarin niet de warmtekrachtinstallatie alleen maar deels ook de ketel of externe leveranciers van productstromen de vastgestelde behoeftes invullen.

#### GASPRIJS

Sinds de liberalisering van de energiemarkten komen de prijzen van gas en elektriciteit via (internationale) markten tot stand. Bovenop de 'commodityprijs' van de aanbieders zijn er toeslagen voor diensten en transport, en is er een energiebelasting. In het model wordt uitgegaan van een commodityprijs van € 0,26/m<sup>3</sup>. Verder is de gasprijs opgebouwd uit een toeslag landelijke diensten (€ 0,015/m<sup>3</sup>), een toeslag regionaal transport (€ 0,013/ m<sup>3</sup>) en een gewogen energiebelastingheffing (€ 0,018/m<sup>3</sup>). Deze bedragen opgeteld leidt tot een gasprijs van € 0,306/m<sup>3</sup>. Gas dat gebruikt wordt in de warmtekrachtinstallatie is vrijgesteld van energiebelasting; dit geeft een gasprijs van € 0,288/ m<sup>3</sup>.

#### ELEKTRICITEITSPRIJS

Zoals eerder vermeld is er voor elektriciteit een piek- en dal tarief. Het prijsverschil kan logisch verklaard worden door (1) het feit dat overdag, tijdens de piekuren, er veel meer vraag is naar elektriciteit dan in de nacht en (2) elektriciteit niet of in geringe mate opgeslagen kan worden. In het model wordt uitgegaan van een piektarief van € 0,07/kWh en een dal tarief van € 0,035/kWh. Dit betreft de commodityprijs. Verder wordt er € 0.01 per kWh gerekend voor het transport en een gewogen energiebelastingheffing van € 0.018/kWh. Bij inkoop van elektriciteit in de daluren bedraagt de prijs daarom € 0,063/kWh en in de piekuren € 0.098/kWh. Bij verkoop geldt de commodityprijs.

#### PRIJS EXTERNE WARMTELEVERING

Levering van warmte door derden is, zoals eerder vermeld, een uitzonderingssituatie. In bijzondere gevallen, bij bepaalde samenwerkingsverbanden, is externe warmtelevering realiseerbaar. In het LP-model wordt de prijs voor externe warmtelevering in eerste instantie gesteld op € 0,45/m<sup>3</sup> a.e. Dat er toch een prijs wordt gesteld heeft te maken met hiernavolgende analyses (gereduceerde kosten).

#### CO<sub>2</sub>-KOSTEN

Het deel van de benodigde CO<sub>2</sub> dat geproduceerd wordt met de warmtekrachtinstallatie is 'bijna gratis'. Er is een kleine kostenpost voor dit CO<sub>2</sub>-gebruik door het noodzakelijke gebruik van ureum voor de reiniging van rookgassen en het schoonhouden van de rookgasreiniger alvorens er gedoseerd kan worden. De CO<sub>2</sub>-kosten zijn € 0.0016/kWh (Koolwijk en Schlatmann, 2011). Dit komt neer op ± € 0,003/kg CO<sub>2</sub>. Voor de CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij gebruik van de ketel wordt aangenomen dat deze zonder reiniging en dus zonder kosten ingezet kan worden. De prijs van zuivere CO<sub>2</sub> bij aanvoer van derden bedraagt € 0.055/kg.

## CO<sub>2</sub>-SECTORSYSTEEM

Voor de periode 2013 – 2020 is vastgelegd wat de maximale CO<sub>2</sub>-uitstoot in de glastuinbouwsector mag zijn (plafond). In die periode zal jaarlijks de maximale uitstoot verlaagd worden met ongeveer 3%. Het CO<sub>2</sub>-sectorsysteem houdt in dat jaarlijks de totale emissieruimte zal worden verdeeld over ieder actief glastuinbouwbedrijf. Hierbij wordt aangenomen dat het totale teeltareaal constant zal blijven op 10.000 hectare en dat de gezamenlijke hoeveelheid geproduceerde elektriciteit 7.000.000 MWh zal zijn (Productschap Tuinbouw, 2012a). Wanneer het uiteindelijke gasverbruik van een bedrijf hoger is dan de aan het bedrijf toegewezen emissieruimte, moet een bedrag (aantal overschreden tonnen CO<sub>2</sub> × emissieprijs) worden betaald. Wordt er onder de norm verbruikt, dan vice versa. Er wordt gerekend met een emissieprijs van € 0,015/kg. Bedrijven die in de periode 2011 – 2012 (deels) hernieuwbare energie toepassen en/of energiebesparende teeltmaatregelen (HNT) hebben genomen, komen in aanmerking voor extra emissieruimte. De toegestane emissieruimte per bedrijf kan worden bepaald met een rekentool, die is ontwikkeld door Productschap Tuinbouw en LTO Glaskracht. Voor het LP-model wordt gebruik gemaakt van deze tool om de toegestane emissie te berekenen. In de rekentool moet het werkelijke gasverbruik en de hoeveelheid geproduceerde elektriciteit voor verkoop worden opgegeven om de toegestane emissie te achterhalen. De werkwijze hierbij is als volgt: (1) het LP-model wordt in werking gezet om te weten te komen wat het gasverbruik en de elektriciteitsproductie voor verkoop is. (2) Deze waarden worden ingevoerd in de rekentool, die vervolgens de allocatie berekent. (3) Vervolgens wordt deze emissieruimte in de vorm van een extra restrictie toegevoegd aan het LP-model. (4) Ten slotte wordt het LP-model opnieuw in werking gezet om het nieuwe optimale resultaat te berekenen.

## 6.2 RESULTATEN VAN HET BASIS LP-MODEL

In de hiernavolgende analyses wordt uitgegaan van een glastuinbouwbedrijf met een kasoppervlakte van 5 hectare. Achtereenvolgens worden de technische resultaten (6.2.1) vermeld van de wijze waarop de vraag naar warmte, elektriciteit en CO<sub>2</sub> ingevuld wordt. Daarna wordt ingegaan op de economische resultaten (6.2.2).

### 6.2.1 TECHNISCHE RESULTATEN

Met de warmtekrachtinstallatie (WKK) wordt gecombineerd warmte en elektriciteit geproduceerd. Een grote warmtevraag leidt dus automatisch tot een grote hoeveelheid geproduceerde elektriciteit, temeer omdat het rendement moet worden verdeeld in een thermisch en elektrisch deel. In totaal wordt 3.562.671 m<sup>3</sup> gas gebruikt. Hiervan is ongeveer 83% gebruikt door de WKK en ongeveer 17% door de ketel. Van dit totale verbruik is 1.183.045 m<sup>3</sup> a.e. (32%) omgezet in elektriciteit (± 208 kWh/m<sup>2</sup>) en 2.379.626 m<sup>3</sup> a.e. (68%) in warmte. Wanneer de warmtevraag uitsluitend ingevuld zou worden met de ketel zonder buffering, dan zou het gasverbruik 2.105.263 m<sup>3</sup> zijn. Dit zou een vermindering in het gasverbruik betekenen van 41%.

Het grootste aandeel energie is bestemd voor het invullen van de warmtebehoefte. Deze varieert per kwartaal en tijdens de dag (piek) en de nacht (dal). Warmte kan worden geproduceerd met de WKK, voor directe aanwending of in de buffer, of met de ketel.

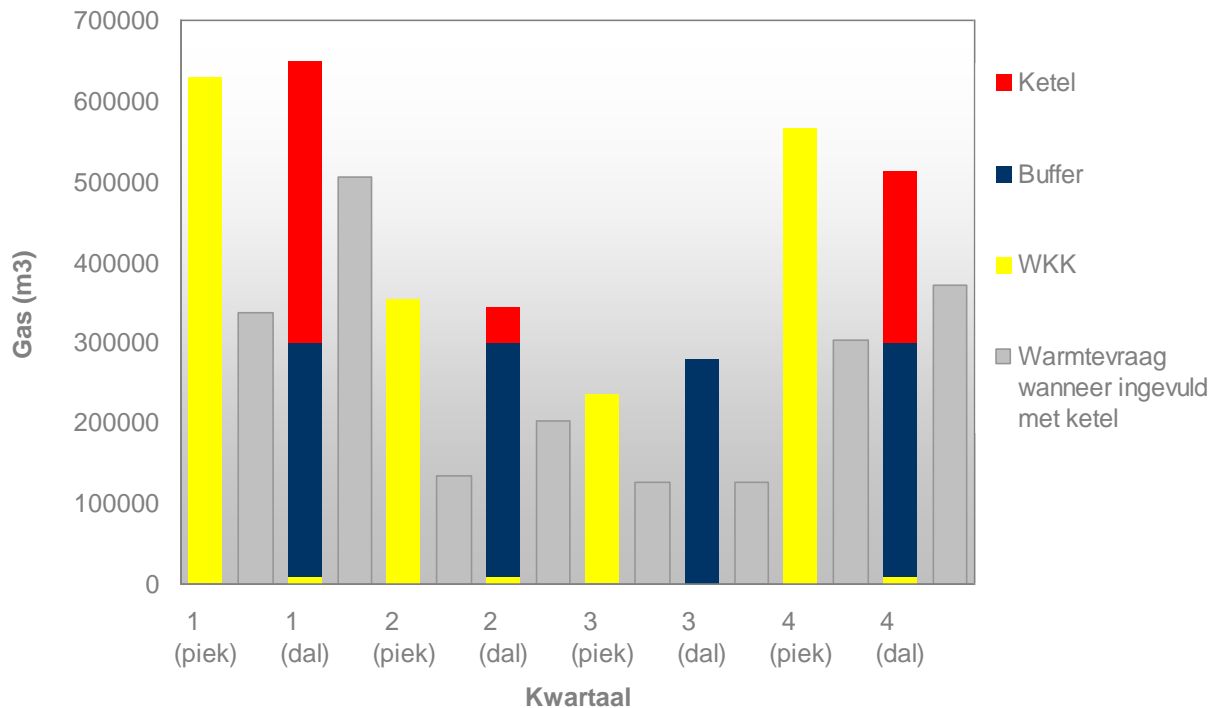
In tabel 6.4 is te zien wat de gespecificeerde warmtebehoefte was en hoeveel warmte er daadwerkelijk geproduceerd is. Wat hier opvalt is dat in het 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> kwartaal in de piekuren meer warmte geproduceerd is dan nodig. De verklaring voor deze surplusen

aan warmteproductie is dat op die momenten de warmtebehoefte niet leidend is, maar de CO<sub>2</sub>-behoefte in de kas overdag. Met de WKK kan namelijk overdag ook warmte worden geproduceerd voor gebruik 's nachts, door middel van de buffer.

Tabel 6.4: Warmtebehoefte en geproduceerde warmte in m<sup>3</sup> a.e./m<sup>2</sup>

	1 <sup>e</sup> kwartaal		2 <sup>e</sup> kwartaal		3 <sup>e</sup> kwartaal		4 <sup>e</sup> kwartaal		Totaal
	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	
Warmtebehoefte	6,4	9,6	2,6	3,8	2,4	2,4	5,8	7,0	40,0
Geproduceerde warmte	6,4	9,6	3,6	3,8	2,8	2,4	5,8	7,0	41,4

Figuur 6.1 toont op welke wijze de warmtevraag in de piek- en daluren ingevuld wordt. Horizontaal zijn de kwartalen weergegeven, onderverdeeld naar piek- en daluren, en verticaal het gasverbruik. In de piekuren komt alle warmte van de WKK. Dit is aannemelijk gezien de hogere elektriciteitsprijs overdag. Verder wordt de buffertank overdag bijna altijd volledig gevuld, zodat in de piekuren extra elektriciteit kan worden verkocht en/of CO<sub>2</sub> kan worden gedoseerd. Door het gebruik van de buffertank is in de zomermaanden (kwartaal 2 en 3) de warmtevraag in de daluren bijna volledig in te vullen. Ook in de wintermaanden (kwartaal 1 en 4) voorziet warmte uit de buffer een aanzienlijk deel in de behoefte in de daluren. In de daluren wordt de WKK in drie van de vier kwartalen alleen gebruikt om de eigen elektriciteitsbehoefte in te vullen. Het overige deel van de warmtevraag in de kwartalen wordt ingevuld door de ketel, dit deel is in het 1<sup>e</sup> en 4<sup>e</sup> kwartaal vrij aanzienlijk.



Figuur 6.8: Invulling van de warmtebehoefte door WKK, buffer en ketel naar kwartaal



In tabel 6.5 is te zien dat de elektriciteitsbehoefte van  $\pm 7$  kWh/m<sup>2</sup> op jaarbasis in vergelijking tot de werkelijk geproduceerde hoeveelheid elektriciteit van  $\pm 208$  kWh/m<sup>2</sup> gering is. Het merendeel is dus bestemd voor verkoop tijdens piekuren. Wanneer er in daluren geproduceerd wordt, is dit alleen om de eigen elektriciteitsbehoefte in te vullen. In het 3<sup>e</sup> kwartaal echter wordt geen elektriciteit geproduceerd in de daluren; het is dan rendabeler om elektriciteit in te kopen tegen het daltarief. Wanneer in de daluren elektriciteit geproduceerd zou worden is er geen bestemming voor de warmte omdat de buffer die tijdens voorgaande piekuren gevuld is, de warmtevraag in de daluren volledig in kan vullen (zie figuur 6.1).

Tabel 6.5: Elektriciteitsbehoefte en geproduceerde en ingekochte elektriciteit in kWh/m<sup>2</sup>

	1 <sup>e</sup> kwartaal		2 <sup>e</sup> kwartaal		3 <sup>e</sup> kwartaal		4 <sup>e</sup> kwartaal		Totaal
	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	
Elektriciteitsbehoefte	1,17	0,58	1,17	0,58	1,17	0,58	1,17	0,58	7,0
Geproduceerde elektriciteit	64,6	0,58	45,3	0,58	36,2	0	60,2	0,58	208,0
Ingekochte elektriciteit						0,58			0,6

Derde in te vullen productstroom is CO<sub>2</sub>. De jaarlijkse behoefte is 61,4 kg/m<sup>2</sup>. In tabel 6.6 is te zien dat daadwerkelijk 127,4 kg/m<sup>2</sup> geproduceerd is en 5 kg/m<sup>2</sup> ingekocht. De reden om CO<sub>2</sub> in te kopen voor dosering in de wintermaanden is om te hoge concentraties van schadelijke componenten, zoals NO<sub>x</sub> en etheen, te vermijden. In het 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> kwartaal is te zien dat in de piekuren de WKK een draaischema heeft dat gericht is op de CO<sub>2</sub>-behoefte. Het is op die momenten goedkoper om elektriciteit (voor verkoop) en CO<sub>2</sub> te produceren (voor het gewas) en de warmte niet te benutten, dan zuivere CO<sub>2</sub> in te kopen. In het 1<sup>e</sup> en 4<sup>e</sup> kwartaal wordt veel meer CO<sub>2</sub> geproduceerd dan nodig. Niet de CO<sub>2</sub>-, maar de warmtebehoefte is dan leidend. De CO<sub>2</sub> die in de daluren geproduceerd wordt is voornamelijk afkomstig van de ketel.

Tabel 6.6: CO<sub>2</sub>-behoefte en geproduceerde en ingekochte CO<sub>2</sub> in kg/m<sup>2</sup>

	1 <sup>e</sup> kwartaal		2 <sup>e</sup> kwartaal		3 <sup>e</sup> kwartaal		4 <sup>e</sup> kwartaal		Totaal
	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	
CO <sub>2</sub> -behoefte	10,7	-	23	-	18,4	-	9,2	-	61,4
Geproduceerde CO <sub>2</sub>	32,9	12,7	23	1,9	18,4	0	30,6	7,9	127,4
Ingekochte CO <sub>2</sub>	3,2						1,8		5,0



## 6.2.2 ECONOMISCHE RESULTATEN

In tabel 6.7 zijn de operationele kosten weergegeven van de energiehuishouding van een kas (5 hectare), waarbij de drie jaarbehoefes ingevuld zijn tegen minimale kosten. Hiertoe worden alleen de kosten gerekend die voortvloeien uit het operationele proces.

Tabel 6.7: Operationele kosten van de energiehuishouding van een kas van 5 hectare

	Activiteit	Kosten per eenheid	Aantal eenheden	Totale kosten
WKK	Warmteproductie	€ 0,288/m <sup>3</sup>	2.957.613 m <sup>3</sup>	€ 851.793,-
	Elektriciteitsproductie voor eigen gebruik	n.v.t.	322.478 kWh	n.v.t.
	Elektriciteitsproductie voor verkoop (piek)	- € 0,07/kWh	10.078.461 kWh	- € 705.492,-
	CO <sub>2</sub> -productie	± € 0,003/kg	5.291.170 kg	€ 16.642,-
Ketel	Warmteproductie	€ 0,306/m <sup>3</sup>	605.058 m <sup>3</sup>	€ 185.148,-
	CO <sub>2</sub> -productie	n.v.t.	1.082.449 kg	n.v.t.
Van derden	Elektriciteit (dal)	€ 0,063/kWh	29.188 kWh	€ 1.839,-
	Zuivere CO <sub>2</sub>	€ 0,055/kg	253.275 kg	€ 13.930,-
	Emissierechten (1 <sup>e</sup> jaar)	€ 0,015/kg	311.033 kg	€ 4.665,-
	<b>Totaal</b>			<b>€ 368.525,-</b>

In totaal bedragen de operationele kosten € 368.525,-. Dit komt neer op € 7,37/m<sup>2</sup>. De vaste kosten van de installaties zijn niet bij dit bedrag inbegrepen, zoals kosten van rente, afschrijvingen en onderhoud van de installaties. Worden de vaste kosten erbij gevoegd, dan bedragen de kosten € 633.517,-, wat neerkomt op € 12,67/m<sup>2</sup>. Een verantwoording van de vaste kosten is te vinden in bijlage I.

Uit dit resultaat blijkt dat verreweg de grootste kostenpost warmte geleverd door de WKK is, maar de verkoop van elektriciteit drukt deze kostenpost grotendeels. Wat verder opvalt is dat ervoor wordt gekozen om extra emissierechten te kopen om het extra gasverbruik, bestemd voor de productie van CO<sub>2</sub>, te verantwoorden (zie analyse technische resultaten).

Belangrijke concepten voor het verder analyseren van de kosten is de *schaduwprijs* van de restricties en de *gereduceerde kosten* van de niet aangewende activiteiten.

De schaduwprijs geeft aan: de daling van de doelfunctiewaarde als gevolg van een toe- of afname van een restrictie met één eenheid. Bijvoorbeeld, er is een aanname gemaakt dat de grootte van de warmtebuffer 150 m<sup>3</sup> water/ha bedraagt. Wanneer de warmtebuffer vergroot zou worden met één eenheid (1 m<sup>3</sup> water/ha), dan geeft de schaduwprijs aan hoeveel de totale netto energiekosten per bedrijf (doelfunctie) dalen. In tabel 6.8 zijn een aantal belangrijke schaduw prijzen weergegeven. De grootste kostendaling kan bereikt worden door de warmtebehoefte in de daluren te verlagen: 1

m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> a.e. minder warmtevraag in daluren in drie van de vier kwartalen leidt tot een besparing van € 17.520,- per bedrijf. Verder blijkt de buffergrootte niet optimaal; een buffer die 25 m<sup>3</sup>/ha groter zou zijn dan aangenomen is leidt al tot een besparing van € 8500,- (340<sup>3</sup> × 25) in het 2<sup>e</sup> kwartaal.

Tabel 6.8: Schaduwprijzen in Euro's van het basisresultaat

	1 <sup>e</sup> kwartaal		2 <sup>e</sup> kwartaal		3 <sup>e</sup> kwartaal		4 <sup>e</sup> kwartaal	
	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal
1 kWh/m <sup>2</sup> afname elektriciteit	270	154	270	154	270	154	270	154
1 m <sup>3</sup> a.e./m <sup>2</sup> afname warmte	7.283	17.520		17.520			7.283	17.520
1 kg/m <sup>2</sup> afname CO <sub>2</sub>			2076		2076			
1 m <sup>3</sup> toename grootte buffer		196		340		-		196

Bij restricties die gerelateerd zijn aan het koppelen van activiteiten, zoals bij de WKK warmte- en elektriciteitsproductiekoppeling, worden ook relevante schaduwprijzen vermeld (zie voor een overzicht van de schaduwprijzen: bijlage III). Deze restricties zijn noodzakelijk, aangezien het model 'moet weten' dat de WKK uit één eenheid gas gecombineerd warmte, elektriciteit en CO<sub>2</sub> produceert. Zo ook voor de ketel: warmte en CO<sub>2</sub> worden gecombineerd voortgebracht. Hier geven de schaduwprijzen (zie bijlage III) aan dat het produceren van warmte, elektriciteit en/of CO<sub>2</sub> in een vaste verhouding niet tot het optimale resultaat leidt. Er zijn drie koppelingen waarbij de schaduwprijzen het volgende aangeven:

- Gecombineerde productie van warmte en elektriciteit: schaduwprijzen geven aan dat de kosten omlaag zouden gaan wanneer er in de piek- en daluren naar verhouding meer elektriciteit geproduceerd zou kunnen worden en minder warmte. De ORC-techniek is een toepassing die dit mogelijk maakt, maar in de praktijk blijkt deze niet rendabel gezien de hoge investeringskosten (Koolwijk, 2010).
- Gecombineerde productie van warmte en CO<sub>2</sub>: schaduwprijzen geven aan dat de kosten omlaag zouden gaan wanneer in de piekuren in de zomermaanden naar verhouding meer CO<sub>2</sub> geproduceerd zou kunnen worden en minder warmte. Dit is juist omgekeerd in de piekuren in de wintermaanden; dan is er naar verhouding meer warmte en minder CO<sub>2</sub> nodig. Ontkoppeling van warmte- en CO<sub>2</sub>-productie wordt ook in de praktijk erkend als nuttig (Geerdink, 2010); zo wordt er een nieuw soort tuinbouwketel ontwikkeld, het HotCO<sub>2</sub>-systeem, dat in staat is het verbrandingsproces op te splitsen in twee stappen: één waarbij CO<sub>2</sub> gevormd wordt en één waarbij enkel warmte vrijkomt.

De gereduceerde kosten van een niet-aangewende activiteit geeft aan met welk bedrag de kosten (opbrengsten) moeten dalen (stijgen) om de gerelateerde activiteit positief (≠ 0) te maken en in gebruik te nemen. Hier gaat het dus om activiteiten die in eerste instantie niet aangewend worden, zoals het gebruik van de ketel overdag. Of een ander voorbeeld: er bestaat een mogelijkheid om warmte te betrekken van derden. De

3 De waarde 340 is berekend op de volgende manier: 189 MJ/ha × 5 ha × 65 werkdagen × 0,005532583 (schaduwprijs, zie bijlage III)

gereduceerde kosten van de activiteit ‘aanvoer van warmte van derden’ geven dan aan vanaf welke prijs deze activiteit rendabel is om in te zetten. In tabel 6.9 worden van bepaalde niet aangewende activiteiten vermeld bij welke prijs de omslag plaatsvindt waarbij deze in gebruik genomen worden (zie voor een overzicht van de gereduceerde kosten: bijlage IV). Dit kan worden berekend door de huidige prijs (bijvoorbeeld de elektriciteitsprijs) met de gereduceerde kosten te verminderen.

Tabel 6.9: Doelfunctiecoëfficiënt minus gereduceerde kosten in Euro's van het basisresultaat

Van derden ↓	Huidige prijs		1 <sup>e</sup> kwartaal		2 <sup>e</sup> kwartaal		3 <sup>e</sup> kwartaal		4 <sup>e</sup> kwartaal		
	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	
Aanvoer van 1 m <sup>3</sup> a.e. warmte	0,45	0,45		0,35		0,35					0,35
Aanvoer van 1 kWh elektriciteit	0,098	0,063	0,075	0,045	0,075	0,045	0,075			0,075	0,045
Aanvoer van 1 kg CO <sub>2</sub>	0,055				0,04		0,04				

Het valt op dat warmtelevering door derden vooral interessant is in de daluren in de eerste twee en het laatste kwartaal. Wanneer warmte geleverd kan worden tegen een afgesproken prijs van € 0,35/m<sup>3</sup> a.e. (31,65 MJ) of lager, dan zullen de totale kosten dalen. Een nabijgelegen glastuinbouwbedrijf dat geïnvesteerd heeft in een geothermiebron, en overcapaciteit heeft, zou een interessante partner kunnen zijn voor warmtelevering. Wanneer CO<sub>2</sub> ingekocht kan worden voor € 0,04/kg of lager, zal in meer of mindere mate CO<sub>2</sub> ook in het 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> kwartaal worden ingekocht. Het is niet aannemelijk dat er meer elektriciteit ingekocht gaat worden dan nu het geval is. Dit zou alleen gebeuren wanneer de commodityprijs (exclusief energiebelasting en transport) lager wordt of gelijk is aan € 0,047 (piek) / € 0,017 (dal).

### 6.3 GEVOELIGHEIDSANALYSE GASPRIJS

Op basis van het voorgaande is besloten om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren betreffende de gasprijs om te zien hoe robuust het basisresultaat is. De gasprijs is van groot belang in het model; deze bepaalt in grote mate welke techniek het voordeligst is om de verschillende jaarbehoefte in te vullen. Er wordt gekeken naar situaties waarbij de gasprijs oploopt; gevoeligheidsanalyses worden uitgevoerd voor een commoditygasprijs (exclusief belastingen en heffingen) van € 0,30 en € 0,35.

In tabel 6.10 zijn de economische resultaten weergegeven. Vanzelfsprekend zijn de operationele kosten gestegen. Worden de technische resultaten erbij gehaald (Bijlage II), dan is te zien dat de absolute hoeveelheid gebruikt gas gedaald is en gekoppeld hieraan de elektriciteitsproductie (gebruikte hoeveelheid gas voor de ketel blijft gelijk). De verhoogde gasprijs leidt ertoe dat nu ook in het 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> kwartaal de warmtevraag leidend is geworden en niet de vraag naar CO<sub>2</sub>. De surplussen aan warmte zijn als gevolg hiervan verdwenen. Het tekort aan CO<sub>2</sub> wordt nu aangevoerd in plaats van zelf geproduceerd. Totale kosten, inclusief vaste kosten, lopen bij een commoditygasprijs van € 0,30 op tot € 746.572 (€ 14,93/m<sup>2</sup>) en bij een commoditygasprijs van € 0,35 zijn de totale kosten € 917.664,- (€ 18,35/m<sup>2</sup>).

Tabel 6.10: Economische resultaten van de gevoeligheidsanalyse op de commoditygasprijs

Activiteit		Basissituatie € 0,26	€ 0,30	€ 0,35
WKK	Warmteproductie	€ 851.793,-	€ 923.900,-	€ 1.064.739,-
	Elektriciteitsproductie eigen gebruik			n.v.t.
	Elektriciteitsproductie verkoop (piek)	-€ 705.492,-	-€ 670.821,-	-€ 670.821,-
	CO <sub>2</sub> -productie	€ 16.642,-	€ 15.849,-	€ 15.849,-
Ketel	Warmteproductie	€ 185.148,-	€ 209.350,-	€ 239.603,-
	CO <sub>2</sub> -productie			n.v.t.
Van derden	Elektriciteit (dal)	€ 1.839,-	€ 1.839,-	€ 1.839,-
	Zuivere CO <sub>2</sub>	€ 13.930,-	€ 27.789,-	€ 27.789,-
	Emissierechten (1 <sup>e</sup> jaar)	€ 4.665,-	€ 4.481,-	€ 4.481,-
<b>Totaal</b>		<b>€ 368.525,-</b>	<b>€ 512.387,-</b>	<b>€ 683.479,-</b>

## 6.4 SCENARIOANALYSES

Hieronder worden een aantal scenario's beschreven die vervolgens met het LP-model zullen worden doorgerekend. Het doel hierbij is het identificeren van mogelijke opties die bij een commoditygasprijs van € 0,30 de totale kosten doen verminderen. In het eerste scenario wordt de warmtevraag teruggebracht naar 35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. In het tweede scenario wordt de mogelijkheid verkend van gebruik van biogas van een nabijgelegen rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI).

### 6.4.1 WARMTEVRAAGREDUCTIE

Het terugdringen van de warmtevraag in de kas wordt als een reële optie gezien om de energiekosten terug te dringen. De warmtevraag kan verminderd worden door onder andere een verbeterde vochthuishouding en meer isolatie. In dit scenario wordt aangenomen dat de warmtevraag daalt met 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> naar 35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> door de inzet van diverse maatregelen. Het LP-model zal inzichtelijk maken wat de besparing zal zijn en hoe deze gerealiseerd wordt. Het bedrag dat bespaard wordt zal in de praktijk groter of gelijk moeten zijn aan de jaarlijkse kosten van de extra investeringen en eventueel saldooverlies door een lagere productieopbrengst.

In tabel 6.11 is te zien dat er een jaarlijkse besparing van € 59.130,- te behalen valt bij een gasprijs van € 0,30. Het gasverbruik is gedaald met 374.555 m<sup>3</sup>. Als gevolg van de lagere warmtevraag wordt er meer zuivere CO<sub>2</sub> ingekocht. Met deze jaarlijkse besparing is de inschatting dat de bijbehorende jaarlijkse kosten van de extra investeringen ruimschoots gedekt zijn, maar zal bij een lagere opbrengst door productieverlies de besparing te gering zijn.

Tabel 6.11: Economische resultaten van de scenarioanalyses

	Activiteit	Referentie	Reductie warmtevraag	Toepassing biogas WKK	Toepassing biogas ketel
WKK	Warmteproductie	€ 923.900,-	€ 845.240,-	€ 695.636,-	€ 923.900,-
	Elektriciteitsproductie eigen gebruik				<i>n.v.t.</i>
	Elektriciteitsproductie verkoop (piek)	-€ 670.821,-	-€ 611.786,-	-€ 493.649,-	€ 670.821,-
	CO <sub>2</sub> -productie	€ 15.849,-	€ 15.000,-	<i>n.v.t.</i>	€ 15.849,-
Ketel	Warmteproductie	€ 209.350,-	€ 162.731,-	€ 344.364,-	€ 206.682,-
	CO <sub>2</sub> -productie				<i>n.v.t.</i>
Van derden	Elektriciteit (dal)	€ 1.839,-	€ 1.839,-	-	€ 1.839,-
	Zuivere CO <sub>2</sub>	€ 27.789,-	€ 36.722,-	€ 110.260,-	€ 27.789,-
	Emissierechten (1 <sup>e</sup> jaar)	€ 4.481,-	€ 3.991,-	-€ 51.877,-	-€ 12.867,-
	<b>Totaal</b>	<b>€ 512.387</b>	<b>€ 453.237,-</b>	<b>€ 604.733,-</b>	<b>€ 492.370,-</b>
	Kostenreductie t.o.v. referentie		€ 59.150,-	-€ 92.346,-	€ 20.017,-

#### 6.4.2 SAMENWERKING MET RWZI

Op twee kilometer afstand van de kas is een RWZI gelegen, welke op korte termijn een biogasinstallatie gaat bouwen. De mogelijkheid doet zich voor een onbeperkte hoeveelheid geproduceerd biogas uit slib te contracteren voor een lange tijd. Om de afstand van twee kilometer te overbruggen moet er een biogaspijpleiding worden gelegd. Deze investering bedraagt € 60.000,-/km (Lensink *et al.*, 2011). Een eventuele SDE-subsidie kan worden verkregen door de RWZI (Lensink *et al.*, 2011). De prijs van 1 m<sup>3</sup> biogas (23,3 MJ) wordt geschat op € 0,225. Dit bedrag komt overeen met een gasprijs van ± € 0,30 (31,65 MJ). Van de CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij verbranding wordt aangenomen dat ze niet gedoseerd kan worden in de kas, aangezien de samenstelling en reiniging van de rookgassen en gevolgen voor het gewas niet volledig bekend zijn (Vermeulen en van der Lans, 2007; Koolwijk en Peeters, 2011).

Het biogas kan gebruikt worden om een WKK te voeden. Het rendement van de WKK daalt als gevolg van de lagere calorische waarde van biogas (23,3 MJ/m<sup>3</sup>) naar 37% elektrisch en 47% thermisch. Verder wordt aangenomen dat de producent het biogas zuivert van schadelijke componenten voor het de biogaspijpleiding ingaat en dat de bestaande WKK voldoende robuust is voor het gebruik van biogas als brandstof. Aangezien de CO<sub>2</sub> die vrijkomt niet kan worden gebruikt, zal er meer zuivere CO<sub>2</sub> moeten worden ingekocht. Uit tabel 6.11 blijkt dat de samenwerking met een nabijgelegen RWZI bij een gasprijs van € 0,30 niet tot een kostenreductie leidt wanneer het biogas de WKK voedt. De jaarlijkse kosten van de investering in de biogaspijpleiding zijn nog niet opgenomen in dit bedrag. Het toegenomen gasverbruik van 995.272 m<sup>3</sup> door de ketel wordt voornamelijk aangewend voor het produceren van CO<sub>2</sub> overdag

waarbij de warmte wordt opgeslagen in de buffer en 's nachts wordt gebruikt in de wintermaanden. Het resterende deel van de CO<sub>2</sub>-behoefte wordt ingevuld door de inkoop van zuivere CO<sub>2</sub>; de absolute hoeveelheid ten opzichte van het referentiescenario is bijna verviervoudigd. Als gevolg van het gebruik van biogas worden extra allocatierechten voor de uitstoot van CO<sub>2</sub> toegewezen (Productschap Tuinbouw, 2012b). In het eerste jaar resulteert dit in een teruggave van € 51.877,-. Een kanttekening bij dit resultaat is dat het positief beïnvloed kan worden wanneer CO<sub>2</sub> afkomstig van biogas benut kan worden in de kas.

Een andere optie is het biogas te benutten met de ketel. Aangenomen wordt dat het ketelrendement als gevolg van het gebruik van biogas terugloopt naar 85%. Uit tabel 6.11 blijkt nu dat er in het eerste jaar een kostenreductie behaald kan worden van € 20.017,- exclusief jaarlijkse kosten van de investering. Overdag wordt hetzelfde regime aangehouden als in het referentiescenario waarbij de WKK de warmtebehoefte invult en daarbij zuivere CO<sub>2</sub> wordt aangevoerd. De kostenreductie wordt behaald door in de daluren de ketel in te zetten die biogas omzet in warmte. De vrijkomende CO<sub>2</sub> is niet geschikt voor dosering maar aangezien het biogas alleen in de daluren gebruikt wordt, is extra aanvoer van (zuivere) CO<sub>2</sub> niet nodig. Het voordeel van dit regime is de extra allocatierechten die worden verstrekt als gevolg van het gebruik van biogas. Moest er in de referentiesituatie nog € 4.481,- betaald worden om te voldoen aan de emissie-eisen, nu wordt er € 12.867,- teruggestort.

## 7 CONCLUSIES EN DISCUSSIE

### CONCLUSIES

Voor dit onderzoek was het volgende doel geformuleerd: 'de identificatie van economisch haalbare opties om de energievraag veilig te stellen voor de lange termijn'. Conclusies kunnen worden getrokken op basis van het literatuuronderzoek en op basis van de uitkomsten van en simulaties met een LP-model.

### LITERATUURONDERZOEK

De importafhankelijkheid van fossiele energiebronnen uit andere delen van de wereld is groot in Europa. Hierop wordt geanticipeerd door het verplichten van het gebruik van hernieuwbare energie voor alle Europese lidstaten. In Nederland wordt vooral het economisch perspectief van energie benadrukt; met de huidige infrastructuur en havens wordt import en export (doorvoer) van energie mogelijk geacht. De Nederlandse glastuinbouw gebruikt hoofdzakelijk aardgas om in de energiebehoefte te voorzien. Aangezien de gasmarkt niet langer een nationale aangelegenheid meer is, wordt meer prijsvolatiliteit verwacht naast de algemene verwachting van oplopende prijzen door afname van makkelijk winbare fossiele energievoorraden. Ook voor elektriciteit geldt de verwachting van meer prijsvolatiliteit.

Beleed en wet- en regelgeving op Europees en nationaal niveau richten zich op het terugdringen van het fossiele energiegebruik en gerelateerd hieraan de uitstoot van broeikasgasemissies. De overheid heeft met de Nederlandse glastuinbouwsector ook afspraken gemaakt om hier aan bij te dragen. Zo is de uitstoot van CO<sub>2</sub> op sectorniveau geplafonneerd en ontvangt ieder glastuinbouwbedrijf vanaf 2013 een jaarlijkse allocatie. Wanneer deze overschreden wordt moeten extra rechten worden gekocht. De nationale overheid heeft verder beleidsinstrumenten ingezet, waaronder een subsidieregeling en fiscale stimuleringsmaatregelen om toepassing van energiebesparende maatregelen en gebruik van hernieuwbare energie te stimuleren. In het kader van dit onderzoek spelen naast deze regulerende instituties ook normatieve en cognitieve instituties een rol, zoals de visie op ondernemerschap en de rol van de media bij de visievorming rond (intensief) energiegebruik en uitstoot van CO<sub>2</sub>.

Bij de inzet van hernieuwbare energie in de glastuinbouw is vooral de verenigbaarheid met de productiewijze in de glastuinbouw van belang. Met de nadruk op een constante en betrouwbare levering van grote hoeveelheden energie is niet elke hernieuwbare energiebron toepassingsgeschikt, waar aardgas dat wel is. Zonne- en windenergie hebben te maken met wisselende weersomstandigheden en van energie uit biomassa is de beschikbaarheid onzeker. Diepe geothermie voldoet wel aan deze voorwaarden, maar vraagt hele hoge (voor)-investeringen. Verder kan bij gebruik van hernieuwbare energie het noodzakelijk zijn andere bronnen van CO<sub>2</sub> in gebruik te nemen, met mogelijk toenemende kosten.

Het toepassen van energiebesparende maatregelen is zinvol wanneer de besparing die het oplevert hoger is dan de kosten van de investeringen en mogelijke inkomensverliezen als gevolg van lagere productie. Ditzelfde principe geldt voor het verder verbeteren van de efficiëntie van het gebruik van fossiele brandstoffen. Een andere mogelijkheid is om warmte en/of CO<sub>2</sub> te betrekken van derden, samenwerking te zoeken met andere partijen. Dit kan met partijen die beschikken over het gevraagd



product of met partijen die de productiemiddelen daarvoor hebben. Een interessante partij is de lokale overheid, die veelal beschikking heeft over braakliggende gebieden of GFT-afval. Samenwerking kan ook ontstaan op systeemniveau, zoals in het concept agropark.

#### LP-MODEL

Met een LP-model is de energiehuishouding van een kas nagebootst. Gegeven de uitgangspunten blijkt bij het optimaliseren van het LP-model dat in de zomermaanden de warmtekrachtinstallatie draait om de CO<sub>2</sub>-vraag in te vullen waardoor er meer warmte wordt geproduceerd dan gevraagd. Verder blijkt in het 3<sup>e</sup> kwartaal in de daluren dat het goedkoper is om elektriciteit in te kopen in plaats van zelf te produceren met de warmtekrachtinstallatie. De reden hiervoor is dat de warmtebuffer, in de piekuren gevuld, de warmtevraag in de daluren volledig kan invullen. Een analyse van de bijbehorende schaduwrijzen toont aan dat een reductie van de warmtevraag, vooral 's nachts, tot aanzienlijke besparingen kan leiden. Verder blijkt de aangenomen grootte van de warmtebuffer niet optimaal te zijn in het model en kunnen er kosten worden bespaard door deze te vergroten. Een belangrijk inzicht is dat het gecombineerd opwekken in een vaste verhouding van warmte & elektriciteit en warmte & CO<sub>2</sub> niet optimaal blijkt te zijn; meer flexibiliteit zou tot kostenbesparingen leiden. Dit kan worden gezien als een nadelig effect van het gebruik van de warmtekrachtinstallatie.

Uit een gevoeligheidsanalyse van de commoditygasprijs waarin een prijsstijging van 15% (€ 0,30) en 35% (€ 0,35) ceteris paribus wordt voorzien, blijkt het evenwicht weinig robuust. In de zomermaanden zijn de surplussen aan warmte verdwenen en wordt extra CO<sub>2</sub> ingekocht om aan de behoefte te voldoen. Twee scenarioanalyses zijn uitgevoerd die een indicatie kunnen geven of er kosten kunnen worden bespaard ten opzichte van de situatie met een commoditygasprijs van € 0,30. De optimalisering van het eerste scenario, een reductie in de warmtevraag met 12,5%, geeft een besparing van 11,5% (€ 59.150,-) op jaarbasis. Dit wordt bereikt doordat er minder gas hoeft worden ingekocht. Keerzijde is de lagere elektriciteitsopbrengst en verhoogde kosten voor extra CO<sub>2</sub> afkomstig van derden. In het tweede scenario wordt het gebruik van biogas gesimuleerd. Uit de resultaten blijkt dat het voeden van een ketel met biogas leidt tot een besparing van 4% (€ 20.017,-) op jaarbasis. De ketel wordt alleen ingezet in de daluren in de eerste twee en het vierde kwartaal. Het positieve resultaat wordt bereikt doordat de CO<sub>2</sub>-allocatie voor het gebruik van aardgas niet volledig wordt ingevuld en als gevolg hiervan geld wordt ontvangen.



## DISCUSSIE

### KANTTEKENINGEN BIJ HET GEBRUIKTE LP-MODEL

Het gebruikte LP-model heeft als keerzijde dat eventuele schaalvoordelen niet meegewogen zijn in de optimalisering van de energiekosten. Schaalvergroting en intensivering zijn juist de belangrijkste strategieën geweest als antwoord op stijgende (energie)kosten. Met het LP-model in deze vorm, kan onvoldoende beoordeeld worden of verdere schaalvergroting een alternatief is. Verder bestaat er in het LP-model geen relatie tussen energie-intensivering (lees: toe laten nemen van de warmte-, elektriciteits- en CO<sub>2</sub>-behoefte) en het bereiken van een hogere productie. Het kan bijvoorbeeld zo zijn dat het intensiveren van het energiegebruik economische waarde heeft door een bepaalde incentive, zoals een bonus bij het behalen van een vooraf bepaalde productiehoeveelheid, vastgesteld in een contract met de afnemer.

De optimalisering van het LP-model geeft een operationeel jaarresultaat. Een kanttekening is dat maar ten dele recht is gedaan aan in de tijd variërende variabelen en parameters, zoals respectievelijk de gasprijs en de warmtebehoefte. Met betrekking tot technische aspecten is gedifferentieerd naar kwartaal en etmaal (overeenkomend met piek- en daltarief). Gebruikte prijzen voor energie daarentegen zijn gebaseerd op een bepaalde dagprijs (€ 0.26), terwijl ze in de praktijk een dagelijkse fluctuatie tonen. Er zou bijvoorbeeld ook gewerkt kunnen worden met kwartaalprijzen, mede gezien het feit dat veel aspecten al gedifferentieerd zijn naar de vier kwartalen. Met name de hoogte van de gasprijs is van evident belang voor het uiteindelijke resultaat; een daling met een paar cent maakt een groot verschil in kosten maar belangrijker is dat het kan leiden tot een ander evenwichtspunt waarin tot dan toe niet aangewende activiteiten actief zouden kunnen worden. Dit nadeel is deels op te vangen door het uitvoeren en interpreteren van een gevoeligheidsanalyse van de gasprijs. Verder geven de gereduceerde kosten ook inzicht in de toegestane variatie van prijzen (c') zonder dat daarbij het evenwicht verandert.

Gesimuleerde scenario's met het LP-model geven een idee waar mogelijke kostenbesparingen te behalen vallen, maar missen voldoende diepgang om hier harde conclusies aan te verbinden. Zo is bij het eerste scenario – het nemen van energiebesparende maatregelen – niet in detail uitgewerkt wat de investering inhoudt en wat de gevolgen zijn voor de productie. Er wordt volstaan met de interpretatie dat de kostenbesparing groter of gelijk moet zijn aan de kosten van de investering en het inkomensverlies. Het tweede scenario – gebruik van biogas – mist contractdetails, zoals leveringszekerheid, aansprakelijkheid en dergelijke. Daarnaast is bij de investering regelgeving betrokken, waaronder het verstrekken van vergunningen. Deze aangestipte zaken kunnen de uiteindelijke samenwerking langdurig vertragen.

### IMPLICATIE VAN HET ONDERZOEK

De huidige slechte financiële situatie in de glastuinbouw leidt ertoe dat veel bedrijven weinig investeringsruimte en inkomenszekerheid hebben om iets te doen aan de afhankelijkheid van fossiele energie. Het toepassen van hernieuwbare energie wordt op Europees en nationaal niveau financieel gestimuleerd, terwijl het gebruik van fossiele energie wordt ontmoedigd. Literatuuronderzoek rondom hernieuwbare bronnen geeft aan dat het implementeren van hernieuwbare energie veel risico's en onzekerheden met zich meebrengt en dat succesvol gebruik ervan vooral onder specifieke omstandigheden

een optie is. Het gebruik van aardgas waarborgt een constante en betrouwbare levering van grote hoeveelheden energie, een voorwaarde voor de huidige wijze van produceren, maar brengt vooral prijsrisico's met zich mee. Besparen op en efficiënter gebruik van fossiel energiegebruik bieden mogelijkheden om de absolute vraag te verminderen.

Naast implicaties op het financieel vlak, spelen ontwikkelingen op het maatschappelijk vlak in toenemende mate een rol. Zijdellings is in dit onderzoek hier ook op gewezen (normatieve en cognitieve instituties). De invloed van de media en het maatschappelijk draagvlak worden in de intensieve veehouderij al meer merkbaar. Het is niet ondenkbaar dat het grote fossiele energiegebruik van de glastuinbouw in de toekomst een punt van discussie wordt in de publieke opinie.

#### SUGGESTIES VOOR VERVOLGONDERZOEK

Veel bestaande warmtekrachtinstallaties naderen het einde van hun technische levensduur. Revisie van de motor is een optie om de wijze van energievoorziening te continueren, maar gaat gepaard met hoge kosten. Eventueel vervolgonderzoek op bedrijfsniveau zou (plaatselijke specifieke) mogelijkheden voor het invullen van de warmte-, elektriciteit- en CO<sub>2</sub>-behoefte kunnen identificeren en vergelijken met de situatie waarin het gebruik van de warmtekrachtinstallatie gecontinueerd wordt.

Nader onderzoek voor welke teelt hoge energiekosten te billijken zijn is een andere suggestie. Is een overstap naar een teelt ten behoeve van farmaceutische toepassingen een mogelijkheid? Of andersom geredeneerd: wat mogen de energiekosten bedragen voor de teelt van vruchtgroenten? En daarbij: hoe verhoudt zich een eventueel opbrengstverlies ten opzichte van een daling in energiekosten?

## 8 REFERENTIES

### LITERATUUR

- Agentschap NL. (2012a). Uitgangspunten van de SDE 2012. Beschikbaar via: <http://www.agentschapnl.nl/content/uitgangspunten-sde-2012>. Verkregen op 30 maart 2012.
- Agentschap NL. (2012b). Energie en bedrijven. Energielijst 2012. Beschikbaar via: <http://www.agentschapnl.nl/content/brochure-energie-en-bedrijven-energielijst-2012>. Verkregen op 30 maart 2012.
- AgentschapNL. (2012c). Stand van zaken SDE+ op 19 maart 2012. Beschikbaar via: <http://www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/Stand%20van%20zaken%20SDE%2019%20maart.pdf>. Verkregen op 11 april 2012.
- Anonymus. (2004). Koppeling glastuinbouw en champignonteelt. Factsheet Praktijknetwerken 8. Wageningen: Wageningen UR.
- Appelman, W. A. J., Boer, P. D. M. de, Henstra, B., Heslinga, D. C., Welle, R. van der (2004). CO<sub>2</sub>-buffering in de glastuinbouw, economische haalbaarheid voor een paprikabedrijf. Projectnummer 34657. Apeldoorn: TNO.
- Arends, E. (2012). Mogelijkheden voor windenergie in de glastuinbouw (Presentatie). Hengelo: Pondera Consult. Beschikbaar via <http://www.ines-gelderland.wur.nl/NR/rdonlyres/73650796-E975-434D-A83B-CB0DCCD597C3/160261/PonderaConsultWindenergieindeglastuinbouw22februar.pdf>
- Bakker, J. C., Campen, J. (2007). Aardwarmte in de glastuinbouw: duurzame energie met grote energiebesparingspotentie. Nota 495. Wageningen: Wageningen UR Glastuinbouw.
- Blom, M. J., Nelissen, D., Schepers, B. L., van der Velden, N. (2010). Benchmark Energiebelasting glastuinbouw. Vergelijking energie-intensiteit met de industrie. LEI-rapport 10-066. Delft: CE Delft.
- Bont, C. J. A. M. de, Everdingen, W. H. van, Knijf, A. van der, Meulen, H. A. B. van der (2011). Actuele ontwikkeling van resultaten en inkomens in de land- en tuinbouw in 2011. LEI-rapport 2011-063. Den Haag: LEI.
- Boosten, M., Oldenburger, J. (2011). Kansen voor de aanleg van wilgenplantages in Nederland. Wageningen: Stichting Probos.
- Brand, R. A., Planje, W. G., Ruigrok, J. (2008). Alternatieven voor seizoensopslag in de glastuinbouw. TNO-rapport 2008-A-R0745/B. Apeldoorn: TNO.
- Buurma, J. S., Velden, N. J. A. van der, Smit, P. X. (2011). Visievorming rond energietransitiepaden in de glastuinbouw. LEI-nota 10-127. Den Haag: LEI.
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). (2010). De Nederlandse aardgaswinning. In: De Nederlandse economie 2010. Den Haag: CBS.
- CBS Statline. (2012). Energiebalans; kerncijfers. Beschikbaar via: <http://statline.cbs.nl>. Verkregen op 22 maart 2012.
- Dueck, Th. A., Dijk, C. J. van, Kempkes, F., Zalm, T. van der (2008). Emissies uit WKK-installaties in de glastuinbouw. Methaan-, etheen- en NO<sub>x</sub>-concentraties in rookgassen voor CO<sub>2</sub>-dosering. Nota 505. Wageningen: Wageningen UR Glastuinbouw.

- Esmeijer, M. H. (2004). Tomatenteelt met een beperkte gasaansluitwaarde. PPO nr. 41600011. Naaldwijk: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
- European Commission. (2011). Energy Roadmap 2015. COM(2011) 885/2. Brussels: European Union.
- Europese Unie. (2009). Summary of Directive. Beschikbaar via: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/energy/renewable\\_energy/en0009\\_en.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/energy/renewable_energy/en0009_en.htm).
- Ge, L., Galen, M. van, Aseldonk, M. van, Verstegen, J., Ruijs, M., Hietbrink, O., Mansfeld, M. van, Smeets, P., Simons, A. (2011). Agroparks, synergy vs. risks. *Agribusiness* 27(4): 509-523.
- Hazeu, C. A. (2000). Institutionele economie. Een optiek op organisatie- en sturingsvraagstukken. Bussum: Uitgeverij Coutinho.
- Heekeren, E. V. van (2011). Factsheet Diepe Geothermie. Den Haag: Stichting Platform Geothermie.
- Huijs, J. P. G., Zwart, H. F. de, Braak, N. J. van de, Kempkes, F. L. K., Breuer, J. J. G. (2000). De toepassing van windenergie in glastuinbouwclusters. Analyse synchroniteit van windaanbod en elektriciteitsvraag. IMAG Nota P 2000-79. Wageningen: IMAG.
- Innovatienetwerk. (2005). Agroparken: het concept, de ontvangst, de praktijk. Rapportnummer 05.2.095. Utrecht.
- Innovatienetwerk, SIGN. (2009). Van afval naar voedsel. Nieuwe Nuts in de praktijk – Een Cradle to Cradle benadering voor gemeenten en glastuinbouw. Rapportnummer 09.2.221. Utrecht.
- Innovatienetwerk, SIGN. (2010). Energieagenda vraagt om nieuw bodembeleid. Duurzame glastuinbouw met Warmte/Koude Opslag, WKK en Zeer Lage Temperatuur Verwarming. Rapportnummer 09.2.220. Utrecht.
- Innovatienetwerk, SIGN. (2011). Biomassavergasser-WKK voor Gerberakwekerij Zwarts. Technische inpassing en economische haalbaarheid. Rapportnummer 11.2.274. Utrecht.
- International Energy Agency (IEA). (2010). World Energy Outlook 2010 executive summary. Paris: OECD.
- Jong, A. de, Keijmel, J., Goudswaard, P. (2010). Export houtige biomassa uit Nederland. Onderzoek naar huidige situatie en achtergrond. Projectnummer 10.413. Driebergen: Cogen Projects.
- Kasper, G. (2011). Stoken op olifantsgras: energie en milieu-effecten. *V-Focus* augustus 2011.
- Kempkes, F., Swinkels, G. L. A. M., Gieling, Th. H., Broersma, S. (2011). Energiezuinige teeltsystemen in kassen. Huidige trends. *TVVL Magazine* 6: 6-9.
- Kliest, A. (2010). Beeldvorming over CO<sub>2</sub>-afvang en –opslag. Analyse van de berichtgeving in Nederlandse dagbladen. (Masterthesis, Universiteit Utrecht) Beschikbaar via: [http://igitur-archive.library.uu.nl/student-theses/2010-0326-200305/Beeldvorming%20over%20CO<sub>2</sub>%20afvang%20en%20opslag%20-%20A.%20Kliest.pdf](http://igitur-archive.library.uu.nl/student-theses/2010-0326-200305/Beeldvorming%20over%20CO2%20afvang%20en%20opslag%20-%20A.%20Kliest.pdf).
- Koolwijk, E. M. (2010). Eindrapport “De ORC komt in de kas”. Projectnummer 10.312. Driebergen: Cogen Projects.

- Koolwijk, E. M., Peeters, S. W. J. (2011). WKK en bioWKK in de glastuinbouw. *TVVL Magazine* 6: 28-33.
- Koolwijk, E. M., Schlatmann, S. (2011). Ontwikkeling barometer marktpositie glastuinbouw WKK. Projectnummer: 11.454. Driebergen: Energy Matters.
- Koolwijk, E. M., Peeters, S. W. J., Schlatmann, S. (2011). Verbetering duurzaamheid (bio)WKK in de glastuinbouw. Projectnummer 11.136. Driebergen: Energy Matters.
- Koppejan, J., Elbersen, W., Meeusen, M., Bindraban, P. (2009). Beschikbaarheid van Nederlandse biomassa voor elektriciteit en warmte in 2020. Projectnummer 200809. Enschede: Procede Biomass B.V.
- Lauwere, C. de, Verstegen, J., Buurma, J., Poot, E., Roelofs, P., Schans, J. W. van de, Vrolijk, M., Zaalmink, W. (2006). Ondernemers en hun actoren in hun omgeving in beweging. Zoektocht naar rode draden in agrarische transitieprocessen. Rapport 7.06.04. Den Haag: LEI.
- Mertens, S. (2009). 1<sup>ste</sup> evaluatie meetresultaten testveld kleine windturbines Zeeland. Rapport 0904000.R01. Voorburg: Ingreenious.
- Ministerie van EL&I. (2010). Nationaal actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen. Richtlijn 2009/28/EG. Den Haag.
- Ministerie van EL&I. (2011). Energierapport 2011. Den Haag.
- NVMagazine. (2011). Geen bureaustoelen, maar paprika's. Duurzame oplossing voor leegstand van kantoren. *NVMagazine* 4(5): 20-21.
- Oltmer, K., Voort, M. van der, Terbijhe, A. (2009). Wind voor of wind tegen: windenergie op agrarische bedrijven. Agri-monitor oktober 2009. Den Haag: LEI.
- Onder glas. (2011). Energiebesparing: plant biedt tal van mogelijkheden. *Onder glas* 11(8): 15-17.
- Overeijnder, F., Snellens, N. C. (2011). Tuinbouwkas verwarmt 800 woningen. *TVVL Magazine* 6: 14-17.
- Productschap Tuinbouw, ministerie van EL&I, LTO Glaskracht Nederland. (2011). Jaarplan 2011 Programma Kas als Energiebron.
- Productschap Tuinbouw, ministerie van EL&I, LTO Glaskracht Nederland. (2012). Jaarplan 2012 Programma Kas als Energiebron.
- Productschap Tuinbouw (2012a). Handleiding rekentool allocatie glastuinbouw. Niet-gepubliceerd document. Zoetermeer: Productschap Tuinbouw.
- Productschap Tuinbouw (2012b). Allocatieprotocol CO<sub>2</sub>-sectorsysteem 2013-2020 (concept). Niet-gepubliceerd document. Zoetermeer: Productschap Tuinbouw.
- Regouin, E., Root, M., Staveren, H. van, Winden, A. van (2001). Certificering en keurmerken. Bouwsteen voor een positiebepaling van LNV. Ede/Wageningen: Expertisecentrum LNV.
- Schlatmann, S., Elbersen, W., Keijmel, J. (2009). Met groene kracht vooruit. Richtinggevendende visie op toepassing van bio-energie in de glastuinbouw. Driebergen: Cogen Projects.
- Scott, W.R. (1995). Institutions and Organizations. Thousand Oaks. CA: Sage.
- Senternovem. (2009). Participatie van windenergieprojecten. Utrecht.

Smit, P. X., van der Velden, N. J. A. (2008). Energiebenutting warmtekrachtkoppeling in de Nederlandse glastuinbouw. LEI-rapport 2008-019. Den Haag: LEI.

Smit, P. X. (2010). CO<sub>2</sub>-voorziening Glastuinbouw 2008 – 2020. Vooruitblik bij toepassing 20% duurzame energie. LEI-nota 10-034. Den Haag: LEI.

Sok, J. (2012). Economic and institutional aspects of biogas production (Masterthesis, Wageningen Universiteit). Beschikbaar via: <http://edepot.wur.nl/199056>.

Somviele, B. de, Meiresonne, L., Verdonckt, P. (2009). Van wilg tot warmte. Potenties voor korteomloophout in Vlaanderen. Fonds voor Duurzaam Afval- en Energiebeheer.

TenneT. (2011). Rapport Monitoring Leveringszekerheid 2010 – 2026. RGE 2011-099. Arnhem: TenneT.

Vakblad voor de Bloemisterij. (2010). Geld verdienen met CO<sub>2</sub>-emissierechten. *Vakblad voor de Bloemisterij* 18: 14-15.

Vakblad voor de Bloemisterij. (2011). Houtstookplaatje steeds moeilijker rond te rekenen. *Vakblad voor de Bloemisterij* 17: 32-33.

Vakblad voor de Bloemisterij. (2012). Sparksread. Beschikbaar via: <http://www.vakbladvoordebloemisterij.nl/energiemarkt/artikelen/2296/sparksread>. Verkregen op 23 maart 2012.

Velden, N. van der, Smit, P. (2011). Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2010. LEI-rapport 2011-053. Den Haag: LEI.

Vermeulen, P. C. M., Lans, C. J. M. van der (2007). CO<sub>2</sub>-dosering in de biologische glastuinbouw. Onderzoek naar alternatieve bronnen. Toepassingen in gangbare tuinbouw. Rapport GTB-1085. Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw.

Visser, E. de, Winkel, T., Jager, D. de, Vos, R. de, Blom, M., Afman, M. (2011). Overheidsingrepen in de energiemarkt. Onderzoek naar het Nederlandse speelveld voor fossiele brandstoffen, hernieuwbare bronnen, kernenergie en energiebesparing. Utrecht: Ecofys.

Wetzels, W., Dril, A. W. N. van, Daniëls, B. W. (2007). Kenschets van de Nederlandse glastuinbouw. Petten: ECN.

Wetzels, W. (2010). Benutting restwarmte. ECN-BS—10-015. Projectnummer 50656. Petten: ECN Policy Studies.

Zwart, F. de, Hemming, S., Ruijs, M., Gieling, T. (2011). Benutting van zonne-energie in de tuinbouw – een strategische verkenning. Rapport GTB-1134. Wageningen: Wageningen UR Glastuinbouw.

#### WEBSITES

[www.energiek2020.nu](http://www.energiek2020.nu)

[www.europadecentraal.nl](http://www.europadecentraal.nl)

[www.geothermie.nl](http://www.geothermie.nl)

[www.knmi.nl](http://www.knmi.nl)

[www.ocap.nl](http://www.ocap.nl)

[www.warmteatlas.nl](http://www.warmteatlas.nl)

## BIJLAGE I – BEREKENING VASTE KOSTEN INSTALLATIES

In onderstaande berekening worden de vaste kosten vastgesteld die gerelateerd zijn aan het LP-model. Dit zijn voornamelijk kosten die verband houden met de warmtekrachtinstallatie (WKK), zoals de kostenposten rente en afschrijving en onderhoud. In de berekeningen wordt uitgegaan van een kasoppervlakte van 5 hectare.

### Rente en afschrijving van de WKK en de rookgasreiniger (RGR)

Hier wordt uitgegaan van een geïnstalleerd vermogen van 0,5 MW/hectare. Verder bedraagt de investering € 500/kW, inclusief aansluitingen.

Voor de rookgasreiniger bedraagt de investering € 75/kW.

De afschrijftermijn van beide installaties bedraagt 10 jaar en de rent is 4% per jaar.

### Onderhoud WKK en RGR

De kosten voor het onderhoud van de WKK bedragen € 0,007/kWh. Dit bedrag wordt vermenigvuldigd met het werkelijk aantal geproduceerde eenheden elektriciteit. Het onderhoud van de RGR is opgenomen in de operationele kosten (zie hoofdstuk 5).

### Rente en afschrijving van de ketel

Aangenomen wordt dat de aanschafprijs van de ketel € 120.000,- bedraagt. De jaarlijkse rente wordt verondersteld op 4% en de afschrijftermijn bedraagt 7 jaar.

Tabel 9: Vaste kosten van de gebruikte installaties in het LP-model

	WKK	RGR	Ketel
Investering	€ 1.250.000,-	€ 187.500,-	€ 120.000,-
Afschrijftermijn	10 jaar	10 jaar	7 jaar
Rente (%)	4%	4%	4%
Onderhoud	Op basis van geproduceerde kWh	Onderdeel van operationele kosten	2% van de investering
<b>Jaarlijkse kosten</b>			
Afschrijving	€ 125.000,-	€ 18.750,-	€ 17.143,-
Rente	€ 25.000,-	€ 3.750,-	€ 2.400,-
Onderhoud	€ 70.549,-	n.v.t.	€ 2.400,-
<b>Totaal</b>	<b>€ 220.549,-</b>	<b>€ 22.500,-</b>	<b>€ 21.943,-</b>

## BIJLAGE II – TECHNISCHE RESULTATEN VAN DE GEVOELIGHEIDSANALYSE EN DE SCENARIOANALYSE

Tabel 10: Warmtebehoefte en geproduceerde warmte in m<sup>3</sup> a.e./m<sup>2</sup>

		1 <sup>e</sup> kwartaal		2 <sup>e</sup> kwartaal		3 <sup>e</sup> kwartaal		4 <sup>e</sup> kwartaal		Totaal
		Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	
	Warmtebehoefte	6,4	9,6	2,6	3,8	2,4	2,4	5,8	7,0	40,0
Basis-resultaat	Geproduceerde warmte	6,4	9,6	3,6	3,8	2,8	2,4	5,8	7,0	41,4
Gasprijs € 0,30	Geproduceerde warmte	6,4	9,6	2,6	3,8	2,4	2,4	5,8	7,0	40,0
Gasprijs € 0,35	Geproduceerde warmte	6,4	9,6	2,6	3,8	2,4	2,4	5,8	7,0	40,0
Reductie warmtevraag	Geproduceerde warmte	5,6	8,4	2,2	3,4	2,1	2,1	5,0	6,2	35,0
Biogas WKK	Geproduceerde warmte	6,4	9,6	2,6	3,8	2,4	2,4	5,8	7,0	40,0
Biogas ketel	Geproduceerde warmte	6,4	9,6	2,6	3,8	2,4	2,4	5,8	7,0	40,0



Tabel 11: Elektriciteitsbehoefte en geproduceerde en ingekochte elektriciteit in kWh/m<sup>2</sup>

		1 <sup>e</sup> kwartaal		2 <sup>e</sup> kwartaal		3 <sup>e</sup> kwartaal		4 <sup>e</sup> kwartaal		Totaal
		Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	
	Elektriciteitsbehoefte	1,17	0,6	1,17	0,6	1,17	0,6	1,17	0,6	7,0
Basisresultaat	Geproduceerde elektriciteit	64,6	0,6	45,3	0,6	36,2	0	60,2	0,6	208,0
	Ingekochte elektriciteit						0,6			0,6
Gasprijs € 0,30	Geproduceerde elektriciteit	64,6	0,6	38,1	0,6	33,4	0	60,2	0,6	198,1
	Ingekochte elektriciteit						0,6			0,6
Gasprijs € 0,35	Geproduceerde elektriciteit	64,6	0,6	38,1	0,6	33,4	0	60,2	0,6	198,1
	Ingekochte elektriciteit						0,6			0,6
Reductie warmtevraag	Geproduceerde elektriciteit	59,1	0,6	35,6	0,6	29,3	0	55,2	0,6	181,0
	Ingekochte elektriciteit						0,6			
Biogas WKK	Geproduceerde elektriciteit	48,2	0,6	24,5	0,6	29,2	0,6	44,0	0,6	148,3
	Ingekochte elektriciteit									
Biogas ketel	Geproduceerde elektriciteit	64,6	0,6	38,1	0,6	33,4	0	60,1	0,6	198,1
	Ingekochte elektriciteit						0,6			0,6

Tabel 12: CO<sub>2</sub>-behoefte en geproduceerde en ingekochte CO<sub>2</sub> in kg/m<sup>2</sup>

		1 <sup>e</sup> kwartaal		2 <sup>e</sup> kwartaal		3 <sup>e</sup> kwartaal		4 <sup>e</sup> kwartaal		Totaal
		Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	Piek	Dal	
	CO <sub>2</sub> -behoefte	10,7	-	23,0	-	18,4	-	9,2	-	61,4
Basisresultaat	Geproduceerde CO <sub>2</sub>	32,9	12,7	23,0	1,9	18,4	0	30,6	7,9	127,4
	Ingekochte CO <sub>2</sub>	3,2						1,8		5,0
Gasprijs € 0,30	Geproduceerde CO <sub>2</sub>	32,9	12,7	19,4	1,9	17,0	0	30,6	7,9	122,4
	Ingekochte CO <sub>2</sub>	3,2		3,6		1,4		1,8		10,0
Gasprijs € 0,35	Geproduceerde CO <sub>2</sub>	32,9	12,7	19,4	1,9	17,0	0	30,6	7,9	122,4
	Ingekochte CO <sub>2</sub>	3,2		3,6		1,4		1,8		10,0
Reductie warmtevraag	Geproduceerde CO <sub>2</sub>	30,1	10,5	18,3	1,0	14,9	0	28,1	6,3	109,2
	Ingekochte CO <sub>2</sub>	3,2	4,8	3,5	1,9					13,4
Biogas WKK	Geproduceerde CO <sub>2</sub>	7,5	9,5	5,4	0,0	1,0	0,0	7,4	4,8	35,6
	Ingekochte CO <sub>2</sub>	3,2		17,6		17,4		1,8		40,1
Biogas ketel	Geproduceerde CO <sub>2</sub>	32,9	0,3	19,4	0,3	17,0	0,3	30,6	0,3	101,1
	Ingekochte CO <sub>2</sub>	3,2		3,6		1,4		1,8		10

### BIJLAGE III – OVERZICHT SCHADUWPRIJZEN

Naam restrictie	Kwartaal	Eindwaarde	Schaduwprijs	Randvoorw. r.zijde	Toegestane toename	Toegestane afname
Koppeling WKK	1	0	0,246166667	0	0	0
warmte_elektra in piek	2	0	0,246166667	0	0	0
(≥ 0)	3	0	0,246166667	0	0	0
	4	0	0,246166667	0	0	0
Koppeling WKK	1	0	0	0	0	0
warmte_elektra in piek	2	0	0	0	0	0
(≤ 0)	3	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0
Koppeling WKK	1	0	0,141781825	0	0	8300
warmte_elektra in dal	2	0	0,141781825	0	0	8300
(≥ 0)	3	0	0,22155	0	0	8300
	4	0	0,141781825	0	0	8300
Koppeling WKK	1	0	0	0	0	0
warmte_elektra in dal	2	0	0	0	0	0
(≤ 0)	3	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0
Koppeling WKK	1	-1,16415E-10	0	0	0	0
warmte_CO <sub>2</sub> in piek	2	0	0,041833333	0	0	101421,7945
(≥ 0)	3	0	0,041833333	0	0	39422,58849
	4	0	0	0	0	0
Koppeling WKK	1	-1,16415E-10	-0,032461667	0	173858,3205	0
warmte_CO <sub>2</sub> in piek	2	0	0	0	0	0
(≤ 0)	3	0	0	0	0	0
	4	0	-0,032461667	0	173858,3205	0
Koppeling WKK	1	0	0	0	0	0
warmte_CO <sub>2</sub> in dal	2	0	0	0	0	0
(≥ 0)	3	0	0,06645	0	0	0
	4	0	0	0	0	0
Koppeling WKK	1	0	-0,032461667	0	8300	0
warmte_CO <sub>2</sub> in dal	2	0	-0,032461667	0	8300	0
(≤ 0)	3	0	0	0	0	0
	4	0	-0,032461667	0	8300	0
Koppeling ketel	1	0	0,167607353	0	0	0
warmte_CO <sub>2</sub> in piek	2	0	0,080632945	0	0	0
(≥ 0)	3	0	0,154927945	0	0	0
	4	0	0,167607353	0	0	0
Koppeling ketel	1	0	0	0	0	0
warmte_CO <sub>2</sub> in piek	2	0	0	0	0	0
(≤ 0)	3	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0
Koppeling ketel	1	0	0	0	0	0
warmte_CO <sub>2</sub> in dal	2	0	0	0	0	0
(≥ 0)	3	0	0,306	0	0	0
	4	0	0	0	0	0
Koppeling ketel	1	0	-0,026835	0	173858,3205	0
warmte_CO <sub>2</sub> in dal	2	0	-0,026835	0	44493,00075	0
(≤ 0)	3	0	0	0	0	0
	4	0	-0,026835	0	173858,3205	0

Warmtebehoefte in MJ in piek	1	10128000	0,004602732	10128000	0	2806334,081
	2	5688299,895	0	4051200	1637099,895	0
	3	4434339,712	0	3798000	636339,7121	0
	4	9115200	0,004602732	9115200	0	2806334,081
Warmtebehoefte in MJ in dal	1	15192000	0,011069593	15192000	0	5227485,053
	2	6076800	0,011069593	6076800	0	1337793,3
	3	3798000	0	3798000	623612,9178	3798000
	4	11140800	0,011069593	11140800	0	5227485,053
Eigen elektriciteitsbehoefte in MJ in piek	1	211422	0,019444444	211422	11417607,41	211422
	2	211422	0,019444444	211422	7935489,683	211422
	3	211422	0,019444444	211422	6306107,346	211422
	4	211422	0,019444444	211422	10623254,47	211422
Eigen elektriciteitsbehoefte in MJ in dal	1	105078	0,011199196	105078	8198426,118	105078
	2	105078	0,011199196	105078	1049249,647	105078
	3	105078	0,0175	105078	0	105078
	4	105078	0,011199196	105078	5021014,353	105078
Verkoop elektriciteit in MJ in piek	1	11417607,41	0	0	11417607,41	0
	2	7935489,683	0	0	7935489,683	0
	3	6306107,346	0	0	6306107,346	0
	4	10623254,47	0	0	10623254,47	0
Verkoop elektriciteit in MJ in dal	1	0	0,001476974	0	8198426,118	0
	2	0	0,001476974	0	1049249,647	0
	3	0	0,007777778	0	0	0
	4	0	0,001476974	0	5021014,353	0
CO <sub>2</sub> -behoefte in kg in piek	1	1804487,292	0	537250	1267237,292	0
	2	1151250	0,041528787	1151250	0	181443,5903
	3	921000	0,041528787	921000	0	70527,0108
	4	1623161,312	0	460500	1162661,312	0
CO <sub>2</sub> -behoefte in kg in dal	1	636796,152	0	0	636796,152	0
	2	94446,67834	0	0	94446,67834	0
	3	0	0,055288802	0	14848,7	0
	4	395751,9415	0	0	395751,9415	0
Restrictie grootte warmtebuffer in MJ in dal	1	9213750	-0,003185189	9213750	20914352,34	9213750
	2	9213750	-0,005532583	9213750	2676657,263	9213750
	3	7599039,616	0	9213750	0	1614710,384
	4	9213750	-0,003185189	9213750	12808710,08	9213750
Zuivere CO <sub>2</sub> -dosering in kg in piek	1	161175	0,055	161175	0	161175
	4	92100	0,055	92100	0	92100
CO <sub>2</sub> -sectorsysteem   toegestane emissie in kg	1,2,3,4	6062585,84	-0,015	6062585,84	311032,5355	0

## BIJLAGE IV– OVERZICHT GEREDUCEERDE KOSTEN

Naam	Kwartaal	Eindwaarde	Gereduceerde kosten	Doelfunctie-coëfficiënt	Toegestane toename	Toegestane afname
Productie van warmte met WKK in m <sup>3</sup> a.e. in piek	1	627450,9804	0	0,288	0,089978684	0,074295
	2	352402,1866	0	0,288	0,0241	0,041833333
	3	274716,7061	0	0,288	0	0,041833333
	4	564705,8824	0	0,288	0,089978684	0,074295
Productie van warmte met WKK in m <sup>3</sup> a.e. in piek voor buffer	1	291113,7441	0	0,288	0,033172945	0,225367055
	2	291113,7441	0	0,288	0,107467945	0,151072055
	3	240096,0384	0	0,288	0,065121	0
	4	291113,7441	0	0,288	0,080632945	0
Productie van warmte met WKK in m <sup>3</sup> a.e. in dal	1	8300	0	0,288	0,079768175	0,018698491
	2	8300	0	0,288	0,079768175	0,018698491
	3	0	0	0,288	0,233923333	0,06645
	4	8300	0	0,288	0,079768175	0,018698491
Productie van elektriciteit met WKK in m <sup>3</sup> a.e. in piek	1	16700	0	0	0,098466667	0
	2	16700	0	0	0,098466667	0
	3	16700	0	0	0,098466667	0
	4	16700	0	0	0,098466667	0
Productie van elektriciteit met WKK in m <sup>3</sup> a.e. in dal	1	8300	0	0	0,079768175	0
	2	8300	0	0	0,079768175	0
	3	0	0	0	0,098466667	0,06645
	4	8300	0	0	0,079768175	0
Productie van CO <sub>2</sub> met WKK in m <sup>3</sup> a.e. in piek	1	918564,7245	0	0,005626667	0,033172945	0,032461667
	2	643515,9307	0	0,005626667	0,0241	0,074295
	3	514812,7446	0	0,005626667	0,0241	0,074295
	4	855819,6264	0	0,005626667	0,080632945	0,032461667
Productie van CO <sub>2</sub> met WKK in m <sup>3</sup> a.e. in dal	1	8300	0	0,005626667	0,079768175	0,018698491
	2	8300	0	0,005626667	0,079768175	0,018698491
	3	0	0	0,005626667	0,233923333	0,098911667
	4	8300	0	0,005626667	0,079768175	0,018698491
Verkoop van elektriciteit met WKK in m <sup>3</sup> a.e. in piek	1	901864,7245	0	-0,246166667	0,033172945	0,074295
	2	626815,9307	0	-0,246166667	0,0241	0,041833333
	3	498112,7446	0	-0,246166667	0,0241	0,041833333
	4	839119,6264	0	-0,246166667	0,080632945	0,074295
Verkoop van elektriciteit met WKK in m <sup>3</sup> a.e. in dal	1	0	0	-0,123083333	0	0,018698491
	2	0	0	-0,123083333	0	0,018698491
	3	0	0	-0,123083333	0	0,098466667
	4	0	0	-0,123083333	0	0,018698491
Productie van warmte met ketel in m <sup>3</sup> a.e. in piek	1	0	0	0,306	0	0,167607353
	2	0	0,225367055	0,306	0	0,225367055
	3	0	0,151072055	0,306	0	0,151072055
	4	0	0	0,306	0,138392647	0,167607353
Productie van warmte met ketel in m <sup>3</sup> a.e. in piek voor buffer	1	0	0	0,306	0,225367055	0,033172945
	2	0	0	0,306	0,151072055	0,107467945
	3	0	0,138392647	0,306	0	0,138392647
	4	0	0,080632945	0,306	0	0,080632945
Productie van warmte met ketel in m <sup>3</sup> a.e. in dal	1	347650,8955	0	0,306	0,034830523	0,148587778
	2	44493,00075	0	0,306	0,034830523	0,148587778
	3	0	0	0,306	0	0,233923333
	4	212914,0534	0	0,306	0,034830523	0,148587778

Productie van CO <sub>2</sub> met ketel in m <sup>3</sup> a.e. in piek	1	0	0,194442353	0	0	0,194442353
	2	0	0,033172945	0	0	0,033172945
	3	0	0,107467945	0	0	0,107467945
	4	0	0,194442353	0	0	0,194442353
Productie van CO <sub>2</sub> met ketel in m <sup>3</sup> a.e. in dal	1	347650,8955	0	0	0,034830523	0,026835
	2	44493,00075	0	0	0,034830523	0,026835
	3	0	0,233923333	0	0	0,233923333
	4	212914,0534	0	0	0,034830523	0,026835
Aanvoer van derden van warmte in m <sup>3</sup> a.e. in piek	1	0	0,304323529	0,45	0	0,304323529
	2	0	0,45	0,45	0	0,45
	3	0	0,45	0,45	0	0,45
	4	0	0,304323529	0,45	0	0,304323529
Aanvoer van derden van warmte in m <sup>3</sup> a.e. in dal	1	0	0,099647368	0,45	0	0,099647368
	2	0	0,099647368	0,45	0	0,099647368
	3	0	0,45	0,45	0	0,45
	4	0	0,099647368	0,45	0	0,099647368
Aanvoer van derden van elektriciteit in kWh in piek	1	0	0,028	0,098	0	0,028
	2	0	0,028	0,098	0	0,028
	3	0	0,028	0,098	0	0,028
	4	0	0,028	0,098	0	0,028
Aanvoer van derden van elektriciteit in kWh in dal	1	0	0,022682893	0,063	0	0,022682893
	2	0	0,022682893	0,063	0	0,022682893
	3	29188,33333	0	0,063	0,018895735	0,028
	4	0	0,022682893	0,063	0	0,022682893
Aanvoer van derden van CO <sub>2</sub> in kg in piek	1	161175	0	0,055	0	0,055
	2	0	0,013471213	0,055	0	0,013471213
	3	0	0,013471213	0,055	0	0,013471213
	4	92100	0	0,055	0	0,055
Aankoop jaarlijkse rechten CO <sub>2</sub> -emissiesysteem in kg	1,2,3,4	311,0325355	0	15	12,75383303	15