

Energiecascade: aanpak voor energiebesparing

Nieuwe denkwijzen en aanpak voor energiebesparing en toepassingen van duurzame energie in de glastuinbouw

Dr.ir. J. van Liere

Directeur Alphapowersystems

(tot voor kort directeur R&D Kema te Arnhem)

Dit essay is opgesteld in opdracht van InnovatieNetwerk Groene Ruimte en Agrocluster en de Stichting Innovatie Glastuinbouw (SIGN) en vormt onderdeel van het programma "Glastuinbouw 2020".

Programmteam speerpunt "De Kas als Energiebron"

Dr.ir. H.J. van Oosten (InnovatieNetwerk, SIGN)

Dr. H.J. Huizing (InnovatieNetwerk)

InnovatieNetwerk Groene Ruimte en Agrocluster	Stichting Innovatie Glastuinbouw
Postbus 20401	Postbus 29773
2500 EK Den Haag	2502 LT Den Haag
tel.: 070 378 56 53	tel. : 070 338 27 55
internet: http://www.agro.nl/innovatienetwerk/	internet : http://www.lto.nl/

ISBN: 90 - 5059 - 198 - 1

Overname van tekstdelen is toegestaan, mits met bronvermelding.

Rapportnr. 03.2.055 (serie achtergrondrapporten), Den Haag, november 2003

TEN GELEIDE

In het programma “Glastuinbouw 2020” vormt “energie” een belangrijk speerpunt. Het energiegebruik en de CO₂-uitstoot van de glastuinbouw zijn hoog. Door inspanningen van de sector is de energie-efficiency wel drastisch gestegen, maar blijft het absolute energiegebruik al jaren hoog. Maatschappelijke doelstellingen over duurzaam ondernemen en internationale verdragen over duurzaamheid en klimaat vragen om een drastische aanpak van zowel het gebruik van fossiele energie als de uitstoot van CO₂. InnovatieNetwerk Groene Ruimte en Agrocluster en de Stichting Innovatie Glastuinbouw hebben eerder een nieuw concept ontwikkeld, “De Kas als Energiebron”. Dit concept kon ontstaan door een kas niet te benaderen als een grootgebruiker van fossiele energie maar als een potentiële bron van duurzame energie. Om zover te komen zijn langjarige inspanningen nodig, ook al is er al één praktisch bedrijfsontwerp gemaakt dat toepassing in een deel van de glastuinbouw mogelijk maakt. Dit inspirerend concept “De Kas als Energiebron” brengt het denken in de tuinbouw sterk in beweging en het valt te verwachten dat dit zal leiden tot allerlei initiatieven en praktische pilots.

Naast die trendbreuk om een kas te benaderen als potentiële energiebron zijn er nog andere strategieën denkbaar die ten minste tot drastische energiebesparing kunnen leiden. Eén daarvan wordt in dit essay beschreven. Het gaat uit van een veel efficiënter gebruik van fossiele hulpbronnen door niet alleen in te zetten op energiekwantiteit, maar veel nadrukkelijker op behoud van energiekwaliteit (exergie). Deze aanpak wordt “energiecascade” genoemd. In de glastuinbouw wordt daar zeker al gebruik van gemaakt. In dit essay wordt voorgesteld dat deze aanpak verder kan worden uitgewerkt, waardoor aanzienlijke besparingen mogelijk worden.

Het essay is bedoeld voor inspiratie en debat. Gelet op de actualiteit van het onderwerp zullen deze denkwijze en aanpak van energiebesparing in de glastuinbouw bijdragen tot verder debat over energiesystemen.

*Dr. G. Vos,
Directeur InnovatieNetwerk
Groene Ruimte en Agrocluster*

*F.H. Hoogervorst,
Voorzitter Bestuur Stichting
Innovatie Glastuinbouw*

INHOUDSOPGAVE

Ten geleide	i
Kernpunten	1
1. Inleiding	2
2. Over energie	3
3. Kwaliteit of waarde van energie	5
4. De slag om de orde	6
5. Voorbeelden van mono- en cogeneratie	8
6. Naar multigeneratie en het energy web	12
7. Duurzame energie	16
8. Naar een duurzamere glastuinbouw	18
9. Slotwoord	23

KERNPUNTEN

- 1 Door uit te gaan van de hoofdwetten van de thermodynamica kunnen we voor kasverwarming gemakkelijk met 50% minder aardgas toe, en in de nabije toekomst met 75% minder. Met zonne-energie erbij kan zelfs een energieproducerende kas ontwikkeld worden.
- 2 Voor het formuleren van een nieuwe energiestrategie voor de glastuinbouw is het nodig uit te gaan van zowel de hoeveelheid energie (enthalpie) als de energiekwaliteit (exergie). Het gaat om het slim kiezen van de volgorde waarin je dingen doet, hoe je de calorie omzet in arbeid en daarna pas de restwarmte gebruikt. Een kas verwarmen door aardgas te verbranden met een HR-ketel levert in tegenstelling tot de algemene opvatting geen 90% rendement, maar slechts 19% door het verlies in energiekwaliteit. Immers: het hoogwaardige aardgas levert slechts laagwaardige warmte.
- 3 Zolang we uitgaan van fossiele energiedragers zoals gas en olie, dienen we na verbranding op hoge temperatuur de warmteniveaus trapsgewijs (gecascadeerd) verder te benutten. Dit leidt van het gangbare monogeneratie (aardgas verbranden om warmte te leveren), naar cogeneratie (leveren van elektriciteit en warmte met behulp van WKK), naar trigeneratie (levering elektriciteit, warmte en water) en multigeneratie (levering van elektriciteit, warmte, water en CO₂ voor de glastuinbouw).
- 4 Door niet alleen uit te gaan van kracht (elektriciteit) maar door het leveren van warmte, CO₂ en water centraal te stellen zal de structuur van de energievoorziening op termijn gaan veranderen. Door gedecentraliseerde energievoorziening ontstaat de mogelijkheid van een energieweb, waardoor energievraag en aanbod in een regio aan elkaar kunnen worden gekoppeld (meer functies op regioniveau).
- 5 De energievoorziening van de toekomst zal niet worden verzorgd door een klein aantal grote centrales maar door een groot aantal kleine. Deze verschuiving is vergelijkbaar met die in de computerindustrie van mainframes naar stand-alone pc's.
- 6 Een duurzamere glastuinbouw kan verder worden opgebouwd door te investeren in zonne-energie en afgeleiden (wind, waterkracht). Dan kan zelfs een energieproducerende kas worden bereikt.

1. INLEIDING

De glastuinbouw is een pareltje voor de Nederlandse economie, maar aan de zon-
overgoten horizon drijven een paar donkere wolkjes. In een land waar het woord
“duurzaam” steeds vaker en hoger in het vaandel komt te staan, moet de glastuin-
bouw aan haar imago werken. In het algemeen wordt deze sector door het brede
publiek gezien als een energiever-slinder, en die uitstraling zou op termijn negatieve
gevolgen voor deze branche kunnen gaan hebben. Een nieuwe, duurzamere uitstraling
met als symbool “De Kas als Energiebron” zou het imago van de sector veel goed
doen. Maar is dat een reële optie? Kan zoiets eigenlijk wel? Laten we ons maar eens
verdiepen in energie en zien wat we ermee kunnen.

2. OVER ENERGIE

Iedereen weet wat energie is. We nemen het dagelijks tot ons, opgeslagen in groente en fruit, vlees, eieren of kaas voor onze spierarbeid of ons denkwerk. En we voeden onze automobielen met chemische energie uit fossiele brandstof voor het verrichten van transportarbeid. Of onze sorteermachines met elektriciteit voor het verlichten of versnellen van de sorteerarbeid. Energie kan dus aangewend worden voor het verrichten van arbeid; het woord “energie” komt dan ook van het Griekse woord “Ergos” dat “arbeid” betekent. Arbeid en energie worden daarom in dezelfde eenheden uitgedrukt. Energie komt in zoveel vormen voor dat het hoogst verwarrend is en altijd weer aanleiding geeft tot misverstanden. In zo’n geval is het goed om terug te grijpen naar de fundamenteën en eens te kijken welke wetmatigheden er ook al weer aan energie ten grondslag liggen.

Hoofdwetten van de thermodynamica

Om energiezaken goed te begrijpen, wordt er door deskundigen een aantal wetten gehanteerd. Die wetten liggen vast in een vakgebied dat “thermodynamica” heet, een heel bijzonder vakgebied. De hoofdwetten van de thermodynamica zijn namelijk gebaseerd op het inzicht dat iets niet kan plaatsvinden in de natuur. Het zijn ontkenkende wetten en dat is heel vreemd; dat komt in geen enkel vakgebied voor. Alle wetten op andere vakgebieden beschrijven processen die plaatsvinden in de natuur en misschien geeft dit al aan hoe moeilijk energie in haar essentie te begrijpen is. En dat komt vooral omdat we de hoeveelheid energie altijd hoog in ons vaandel hebben staan en zelden de waarde van de energie in onze beschouwingen betrekken. Een analogie uit een ander gebied mag dit verduidelijken.

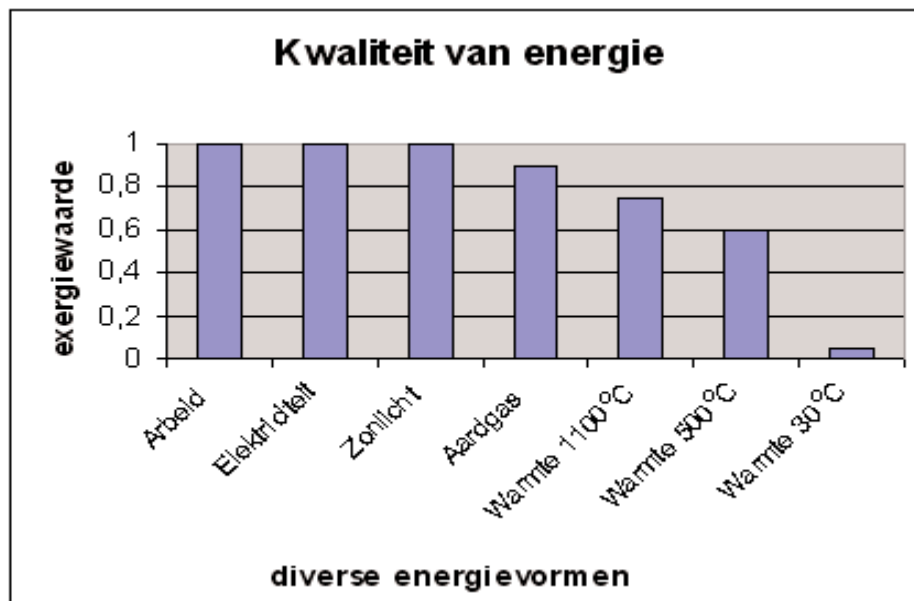
We nemen 1000 (Amerikaanse) dollars en 1000 (Algerijnse) dinars. Alletwee 1000, dus het lijkt evenveel. Maar zodra we de waarde van deze munten erin betrekken, weten we dat we met 1000 dollar veel meer kunnen doen dan met 1000 dinar. Om precies te weten hoeveel, moeten we de wisselkoers erin betrekken. Energie is wat dat betreft net als geld. Als het geld wordt geïnvesteerd, dan wordt daarmee een transactie geactiveerd. Bij investeringen wordt geld geruild voor goederen en diensten, die in principe een gelijke tegenwaarde hebben. Na afloop van de transactie is het geld niet weg, maar het is voor ons in een andere vorm overgegaan, namelijk waardevolle goederen en diensten. Wij kunnen iedere vorm van geld in iedere vorm van goederen omzetten en zo is het ook met energie: iedere vorm van energie kan in iedere andere vorm worden omgezet. Maar als je met goed geld een waardeloze dienst of munt hebt gekocht, krijg je er daarna niet evenveel meer voor terug.

Energie kan net als geld in waarde devalueren. Bij de omzetting van energie verwisselt deze van gedaante, maar gaat er geen energie verloren. Dit is de eerste hoofdwet van de thermodynamica: **energie kan niet verloren gaan of gecreëerd worden**. Het is er dus altijd en er is altijd precies evenveel energie, ook als je het gebruikt hebt. Het is alleen omgezet in een andere vorm, namelijk warmte. Uit warmte kun je nog arbeid halen zolang de temperatuur maar hoger is dan de omgevingstemperatuur. Maar als

de temperatuur van de warmte eenmaal gezakt is naar de omgevingstemperatuur, dan is het onmogelijk om daar nog arbeid uit te halen. Dit is de tweede hoofdwet van de thermodynamica: **warmte van omgevingstemperatuur kan niet worden gebruikt voor het onttrekken van arbeid**. Deze wetten zijn van bijzondere betekenis. Kennelijk is dus warmte van hoge temperatuur waardevoller dan warmte van lage temperatuur (2de hoofdwet) hoewel er in beide evenveel calorieën of joules zitten (1ste hoofdwet). Met hoogwaardige energie is meer arbeid te verrichten dan met laagwaardige energie. Dit kwaliteitsaspect van energie heet “exergie” en we zullen er nog uitvoerig mee kennismaken, want het blijkt cruciaal voor een duurzamere glastuinbouw.

3. KWALITEIT OF WAARDE VAN ENERGIE

Laten we eens wat verder en diepgaander kijken in dat zo waardevolle maar moeilijke begrip exergie (= kwaliteit van de energie). Net als de dollar meer waard is dan de dinar, is een bepaalde hoeveelheid warmte van bijvoorbeeld 1000 °C meer waard dan dezelfde hoeveelheid warmte van 90 °C. En als we elektriciteit hebben, kunnen we daar met behulp van een laser warmte van duizenden graden mee maken, dus dat is nog meer waard. Voorts hebben we gezien dat we uit warmte van omgevingstemperatuur geen arbeid meer kunnen halen, d.w.z.: de waarde voor dit doel is nihil. In termen van de geldanalogie: als je eenmaal dinars hebt gekocht, kun je ze niet of nauwelijks meer omzetten in dollars. De wisselkoers is praktisch nul. Figuur 1 laat zien hoe de exergie van elektriciteit, zonlicht, aardgas en warmte van een bepaalde temperatuur zich verhouden.

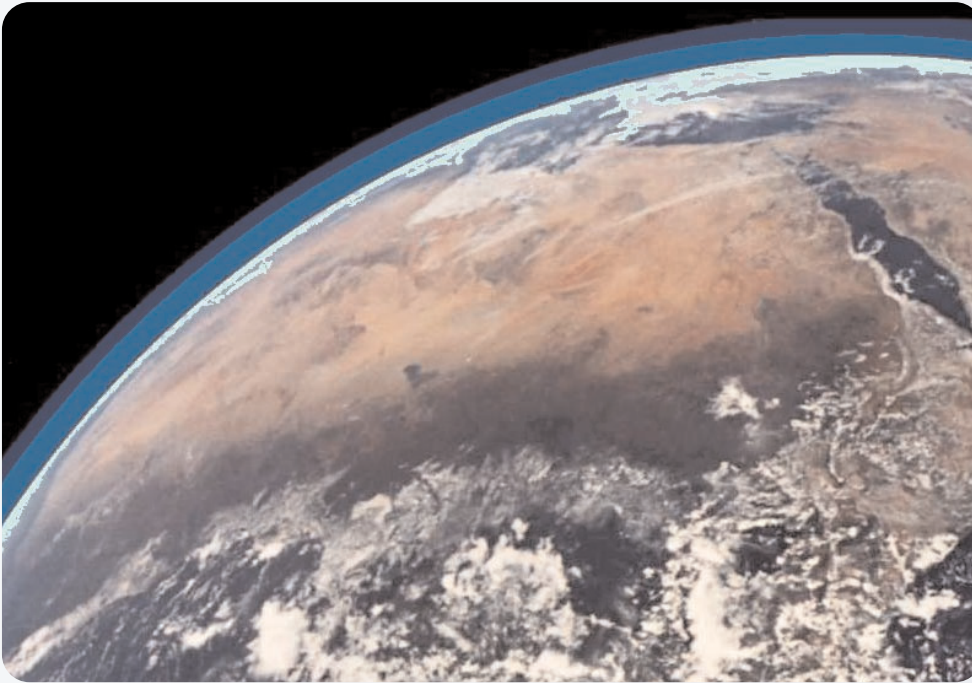


Figuur 1: Exergiekwaliteit van diverse energievormen

Verder is het zo dat als we op de goede manier arbeid halen uit hoogwaardige warmte, we daarna alsnog de resterende energie voor laagwaardige warmte kunnen benutten. Voor het formuleren van een nieuwe energiestrategie voor de glastuinbouw is daarom naast de betrokken hoeveelheid energie (de enthalpie) de kwaliteit van de energie (de exergie) van groot belang. De kwaliteit van de hoeveelheid energie is het eerst door Gibbs aan de orde gesteld, maar het begrip is pas begin vorige eeuw in de samenleving praktisch toegepast.

4. DE SLAG OM DE ORDE

Voordat we komen met wat voorbeelden uit de glastuinbouw wijden we eerst nog een paar woorden aan een andere belangrijke grootheid, die hier direct mee samenhangt en die de entropie wordt genoemd. We hebben gezien dat energie bij gebruik wordt omgezet in warmte en dat warmte te maken heeft met de ordelijkheid van de moleculen om ons heen. Entropie is de tendens in de natuur om moleculen wanordelijk te verdelen over een ruimte. In het heelal bestaan twee tegengestelde tendensen: het streven naar minimale energie en het streven naar maximale wanorde (=entropie). Dit wordt prachtig geïllustreerd door onze atmosfeer (zie figuur 2). Als er alleen een streven zou zijn naar minimale energie, dan zouden alle moleculen van onze aardse atmosfeer plat op het aardoppervlak liggen. Als er alleen een streven zou zijn naar maximale entropie, dan zouden alle moleculen van onze atmosfeer verdeeld worden over het hele heelal. Door het tegengestelde streven naar minimale energie en maximale entropie ontstaat de atmosfeer die afhankelijk van de temperatuur onder aardse omstandigheden enige tientallen kilometers hoogte bereikt.



Figuur 2: Illustratie van de tegengestelde tendensen in de natuur uit de hoogte van onze atmosfeer

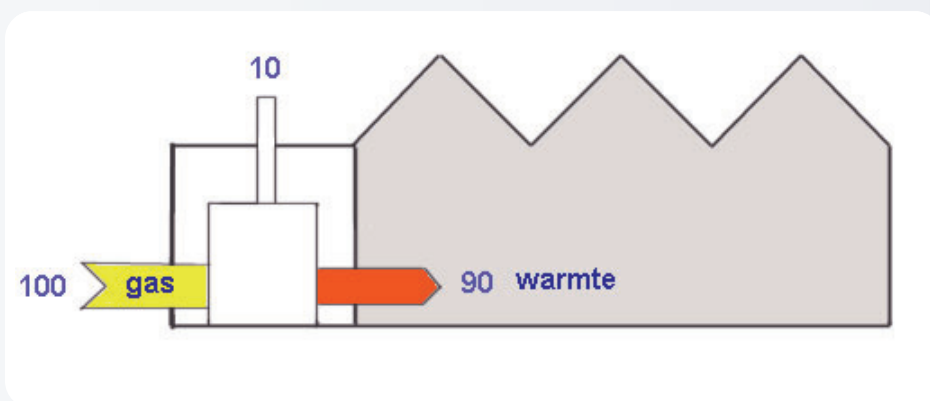
Het begrip entropie kan ook worden geïllustreerd met een alledaags voorbeeld. Het is knikkertijd en onze zoon heeft een zakje met glazen stuiters gekregen. Prachtige ronde knikkers waarmee hij de competitie met de andere spruiten in de omgeving aankan. Als hij in zijn zakje tien blauwe knikkers en tien gele knikkers heeft gekregen en ze bij elkaar had gestopt in één en dezelfde zak, dan zouden na een aantal malen knikkeren de glazen stuiters volledig met elkaar zijn vermengd. De kans dat een gemengde knikkerzak uit zichzelf weer eindigt in een deel alleen blauwe en een deel

alleen gele knikkers, is klein. Het kost ons echter met geringe spierarbeid weinig energie om de oude orde te herstellen en de knikkers te scheiden in gele en blauwe. Energie en arbeid zijn dus in staat om tijdelijk weer orde te scheppen. Maar laten we het knikkerspel op zijn beloop, dan is in korte tijd het resultaat weer een wanordelijke knikkerzak.

Het simpele voorbeeld met knikkers toont aan dat er kennelijk een streven is naar wanorde in de natuur en het blijkt dat diezelfde trend tot wanorde geldt voor ons gehele heelal. Menselijke activiteit creëert voor een bepaalde tijd eilandjes van orde in onze wanordelijke omgeving en dit kost arbeid. Het opwekken van deze benodigde arbeid leidt op zich overigens weer tot een grotere wanorde in de rest van het heelal, zodat het eindresultaat, over langere tijd gezien, alleen maar wanordelijker is geworden. We zeggen dan dat de entropie is toegenomen. De reden voor de tijdelijkheid van dit alles is dat de energie van een proces, eenmaal omgezet in een laagwaardige warmte, niet volledig omkeerbaar meer kan worden gebruikt om het proces terug te draaien. Denk maar aan de pendule op de schoorsteen, aan de klok aan de muur. Met het zakken van de gewichten en het tikken van het raderwerk wordt de omgeving een klein beetje warmer. Als deze extra omgevingswarmte in staat zou zijn om weer volledig omgezet te worden in arbeid, dan zou de klok even hard achteruit als vooruit kunnen lopen. De resulterende beweging zou zijn dat de tijd stilstaat en we weten allen uit ervaring dat de tijd verstrijkt. Dus met het verstrijken van de tijd neemt de laagwaardige warmte toe. En de conclusie van de thermodynamica is dat alles wat laagwaardige warmte is geworden, niet meer in hoogwaardige arbeid kan worden omgezet. Hoewel de energie niet verloren is gegaan, is ze in kwaliteit gedegradeerd. De thermodynamica nu is een wetenschap die aangeeft hoe we een maximale hoeveelheid arbeid uit een gegeven hoeveelheid energie kunnen halen, en de thermodynamische principes zijn van fundamenteel belang om met een minimale hoeveelheid energie een hoeveelheid arbeid te kunnen verrichten. Deze arbeid is nodig om de slag om de orde op een zo ordelijk mogelijke manier te kunnen aangaan.

5. VOORBEELDEN VAN MONO- EN COGENERATIE

Het wordt tijd voor wat voorbeelden in de glastuinbouw en als eerste voorbeeld nemen we de efficiency voor het verwarmen van een kas met aardgas. Gas komt al heel schoon uit de aardgasvelden. In de totale keten moet weliswaar bij de boring ook iets worden afgefakkeld, maar dat is een minimale hoeveelheid. Ook de energie nodig voor het verder ontzwellen en verpompen van het gas middels compressoren is relatief gering. Als we nagaan dat het gas met minder dan 10% verliezen bij ons aankomt, dan hebben we een schitterend uitgangspunt voor een zeer hoog totaalrendement. Bij kasverwarming met een cv-ketel wordt bij de verbranding van aardgas (methaan) kooldioxide en waterdamp gemaakt naast warmte van zeer hoge temperatuur ($> 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$). De ketels hebben een rendement boven de 90% en we maken hiermee warmte op relatief laag niveau: cv-ketelwater van $60\text{-}90\text{ }^{\circ}\text{C}$.



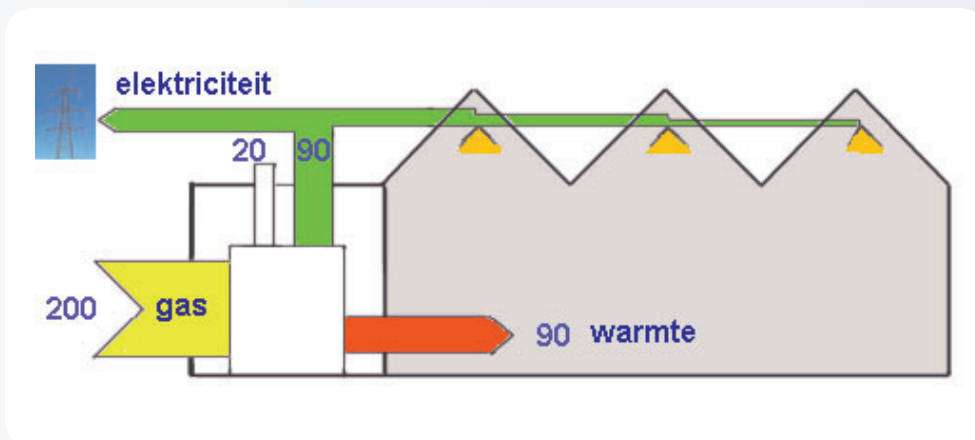
Figuur 3: Kasverwarming met een HR-ketel

Geen 90% maar 19% rendement

We zijn grootgebracht met de “wetenschap” dat verwarmingsketels een (enthalpie)rendement van 90% of meer hebben. Maar laten we nu eens het kwaliteitsniveau van de energie (= exergie) in het geheel erbij betrekken en het exergierendement van het verwarmingsproces bepalen. Als 100 energie-eenheden worden ingevoerd en de brandstof een kwaliteit 1 heeft, dan is de input $100 \times 1 = 100$ eenheden. In werkelijkheid is de kwaliteitswaarde van aardgas iets lager (0,92) maar voor het gemak nemen we maar even 1. Als het rendement van de installatie 90% is, dan wil dat zeggen dat de output van de installatie 90 eenheden energie op enthalpiebasis bedraagt. Er zijn dan dus 90 eenheden warmte ter beschikking voor de kas. Bij een uittrede-temperatuur van 90°C ($363\text{ }^{\circ}\text{K}$) en een omgevingstemperatuur van $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($288\text{ }^{\circ}\text{K}$) wordt het kwaliteitsniveau verlaagd van 1 naar $[1 - (288/363)] = 0,21$. De output-exergie bedraagt dan $90 \times 0,21 = 19$ eenheden. Het exergierendement is dan exergie uit/exergie in, dus $19/100 = 0,19$ ofwel 19% en dat is beduidend lager dan de 90% die we gemakshalve altijd maar hanteren. En dan hebben we het nog vergeleken met de uittrede-temperatuur van het ketelwater. Eigenlijk zouden we het exergierendement op de kastemperatuur van $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ moeten baseren en dan komen we zelfs uit op een nog veel lagere exergie-efficiency. We zijn dus niet zo goed bezig!

De stap naar cogeneratie, de warmte-krachtkoppeling

Zoals betoogd wordt bij kasverwarming door verbranding van aardgaswarmte van zeer hoge temperatuur ($> 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) gemaakt. Dat is een prachtig warmteniveau om arbeid uit te winnen. Dit gebeurt echter in bovenstaand voorbeeld niet, want we maken van die warmte op zeer hoge temperatuur in één trap cv-ketelwater met een temperatuur van $60\text{--}90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Een enorm verlies van energiekwaliteit. We hadden veel slimmer uit de hoogwaardige warmte eerst arbeid moeten winnen, om daarna alsnog met de (laagwaardige) restwarmte het cv-ketelwater te verwarmen. Het gaat om het slim kiezen van de volgorde waarin je dingen doet. Met warmte uit een gasoven welke brandt op $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, kun je een cake bakken en met de restwarmte alsnog water koken op $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Als je eerst water aan de kook hebt gebracht en daarmee het warmteniveau tot $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ hebt laten zakken, dan is de temperatuur te laag om er daarna alsnog een cake mee te bakken. Maar hoe is dit principe dan toepasbaar voor efficiëntere kasverwarming? Het antwoord is simpel en tuinders passen het reeds lang toe. Voer het aardgas naar een (mini-)elektriciteitscentrale die zowel elektriciteit als warmte maakt. Dit heet een warmte/krachtkoppeling. Warmte is een laagwaardig product, dus dat moet je niet te ver transporteren. De minicentrale moet dan ook bij of in de directe omgeving van de kas staan. Met 200 eenheden aardgas maken we 90 eenheden elektriciteit en (zoals in bovenstaand voorbeeld) 90 eenheden warmte.



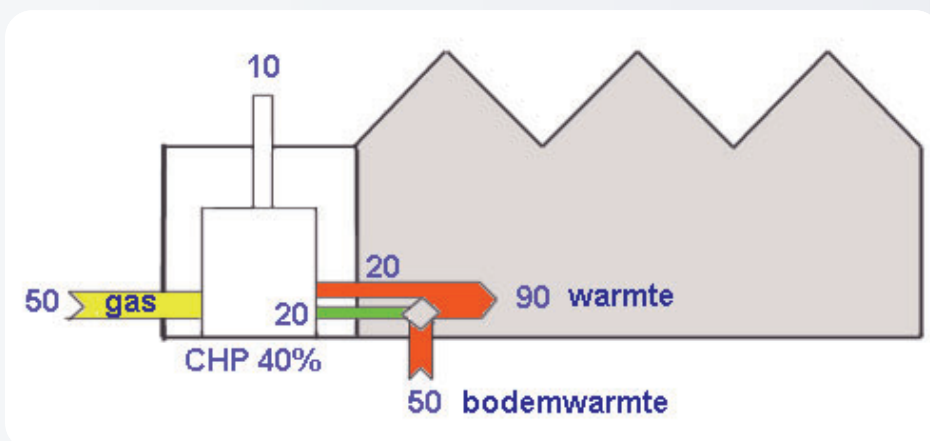
Figuur 4: Warmte-krachtkoppeling in een kas met elektriciteit voor verlichting en verkoop

Verkoop de elektriciteit van deze kleine centrale en/of gebruik het voor intensieve verlichting en gebruik de restwarmte van dit proces voor kasverwarming. Netto kan het rendement voor de gasomzetting dan zeer veel hoger zijn en voor de tuinder is zowel licht als warmte beschikbaar voor versnelde groei van de producten. De grotere afname van aardgas moet dan worden betaald uit de verkoop van elektriciteit. Dit principe is in de laatste decennia van de vorige eeuw veelvuldig toegepast, maar er zit een klein addertje onder het gras; het is economisch alleen aantrekkelijk als er voor de geproduceerde elektriciteit een redelijke vergoeding wordt betaald. En in de geliberaliseerde energiemarkt is dat niet op voorhand te garanderen. Daarnaast is een andere bottleneck bij warmtekracht het niet passen van én vraag én aanbod. Eén van de manieren om vraag en aanbod beter te laten passen is om elektriciteit in te zetten voor warmte of koude via elektrische warmtepompen, in combinatie met

korte- en lange-termijnopslag. Met elektrische warmtepompen wordt de voor verwarming benodigde energie (enthalpie) niet verkregen door hoogwaardige warmte te degraderen, maar door laagwaardige warmte op te waarderen. En dat is energetisch gezien veel slimmer. Daarom komen voor de glastuinbouw elektrische warmtepompen en warmteopslag in beeld.

Warmtepompen als interessante optie

Ieder Nederlands gezin heeft wel 2 warmtepompen in huis: 1 in de koelkast en 1 in de diepvriezer. Zo'n apparaat pompt warmte van binnen (uit de vriezer) naar buiten (in de keuken of schuur). De keuken wordt dan een beetje warmer door de warmte die uit de vriezer is gepompt en door de warmte van de daarvoor benodigde elektriciteit. Er zijn verschillende uitvoeringen zoals compressie-expansie warmtepompen (meestal gebruikt in de koelkast en vriezer), maar je kunt ook gewoon warmte verpompen van de ene plaats naar de andere en via een radiator de ruimte verwarmen (denk aan de cv-ketelpomp). Dezelfde principes passen we nu toe voor de glastuinbouw; in figuur 5 wordt dit geïllustreerd. De elektriciteit van een kleine centrale wordt gebruikt voor het aandrijven van een warmtepomp in de kas en daar wordt de warmte bijgevoegd die de centrale zelf produceert. De warmtepomp pompt bodemwarmte (zoals aanwezig in meren, rivieren of aardkorst) van buiten naar binnen. Tezamen met de warmte van de minicentrale is dan voldoende warmte beschikbaar om de kas te verwarmen. In onderstaande figuur is onze (mini-)elektriciteitscentrale een gasmotor met rendement van 40% en onze warmtepomp heeft een COP (Coefficient Of Performance) van ca 3,5. Van de 50 energieëenheden gas worden (exergetisch) 20 eenheden omgezet in elektriciteit en 20 eenheden in restwarmte; 10 eenheden verdwijnen als schoorsteenverliezen. Met de 20 eenheden elektriciteit worden $20 \times 3,5 = 70$ eenheden warmte naar binnen gepompt. Tezamen met de 20 eenheden restwarmte van de minicentrale zijn dus ook hier 90 eenheden warmte beschikbaar voor de kas, maar met slechts 50 eenheden gasinput. Het exergierendement is dan dus tweemaal zo hoog.



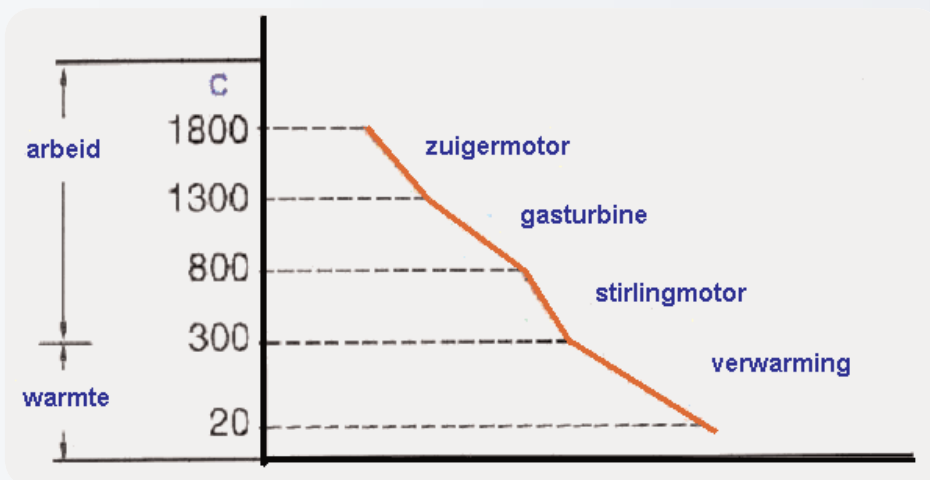
Figuur 5: Warmte-krachtkoppeling met gebruik van een warmtepomp

Door beter te luisteren naar de hoofdwetten van de natuur, kunnen we dus met de helft van de hoeveelheid aardgas volstaan die anders in onze verwarmingsketel zou gaan. Het is dus mogelijk om energie beter te benutten dan de wijze waarop we het nu doen, met nog aanzienlijke mogelijkheden tot verbetering. En we kunnen binnenkort door de ontwikkelingen in de technologie nog een stapje verder gaan dan tot op heden gebruikelijk. Dan komen de begrippen “kascade” en “multigeneratie” om de hoek kijken. Voor menig tuinder niet nieuw, maar wellicht toch aardig om nog eens uitgelegd te krijgen wat dit precies inhoudt.

6. NAAR MULTIGENERATIE EN HET ENERGY WEB

Kascade: het uitmelken van de calorie

Als we onze energieproductiviteit voor de glastuinbouw willen verbeteren en de energiestructuur duurzamer willen maken, dan moet het exergiebeginsel onze leidraad zijn. Zolang we gebruikmaken van fossiele energiedragers zoals gas en olie, dienen we na verbranding op hoge temperatuur trapsgewijs (“gecascadeerd”) de warmteniveaus te benutten. Dan pas kunnen we naar zeer hoge rendementen bij de opwekking met kleine eenheden (>60%) en wordt een verdergaande drastische reductie van het gasverbruik mogelijk. Voor onze toekomstige strategie is dit een cruciale stap, omdat decentrale opwekeenheden hetzelfde rendement en emissieniveau moeten gaan halen als de grote centrales. Een theoretische illustratie hoe dat zou moeten kunnen, wordt gegeven in onderstaande figuur (figuur 6), waarin warmte van 1800 °C trapsgewijs (gecascadeerd) wordt benut in 4 processen totdat de omgevingstemperatuur wordt bereikt. Pas als de hoogwaardige arbeid (i.c. elektriciteit) eruit onttrokken is, moeten we het restant warmte gebruiken voor onze warmtevoorziening. Op deze manier wordt de calorie gemolken tot ze leeg is en de laatste druppel arbeid er is uitgeperst.

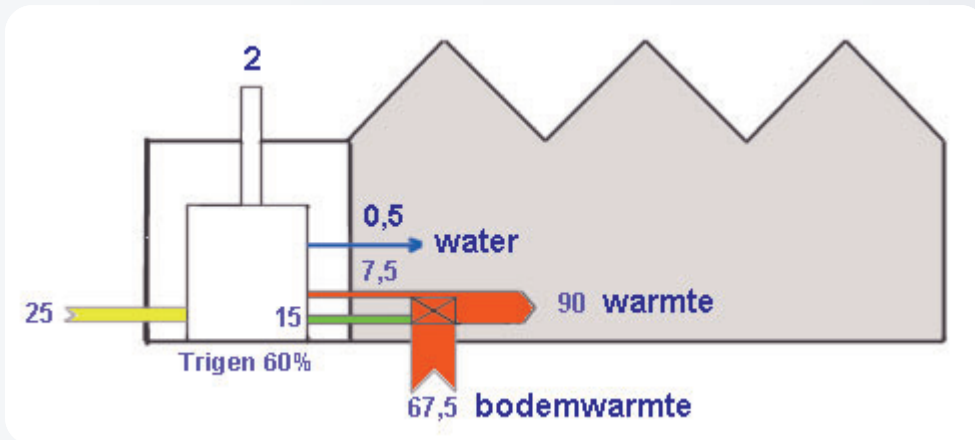


Figuur 6: Gecascadeerde onttrekking van arbeid uit hoogwaardige warmte

Verdere besparing door verbeterde technologie

Toepassing van een combinatie van een kleine gasmotor samen met een stirling motor of toepassing van bijvoorbeeld brandstofcellen al of niet in combinatie met een kleine gasturbine, kan het rendement van die minicentrale van 40% op 60% brengen. De warmtepomp kan door toepassing van een warmtewisselaar met een gering warmteverschil over de wand naar een COP van 5 à 6 worden gebracht. Dan is volgens onderstaande figuur zelfs zo'n 75% gasbesparing mogelijk ten opzichte van de klassieke ketelverwarming. Als we dan ook nog water winnen uit de rookgassen, dan maken we dus drie nuttige producten tegelijk en dat heet trigeneratie.

Exergetisch brengt waterproductie weliswaar niet echt veel, maar zo'n combinatie van energiezuinigheid en de productie van andere nuttige producten is toch weer een stapje voorwaarts naar een energie-efficiëntere glastuinbouw.



Figuur 7: Trigeneratie van warmte, elektriciteit en water

Zoals aannemelijk gemaakt, is een combinatie van leveringen uit het oogpunt van totale energie-efficiëntie weer een stapje voorwaarts. Voortbordurend op dit concept wordt de volgende stap gedaan naar "multigeneratie". Voor wie het inmiddels mocht gaan duizelen, geeft tabel 1 een overzicht van de diverse begrippen. Multigeneratie van warmte, water, CO₂ en elektriciteit is al in de jaren negentig ingevoerd in de Nederlandse glastuinbouw en hoewel er best wel eens problemen aan kleven (zuiverheid van het geproduceerde CO₂ bijvoorbeeld) is dat uit het oogpunt van energie-efficiëntie een goede zaak. Tuinbouwproducten hebben licht, warmte, water en koolzuurgas nodig om te kunnen groeien, en zo'n multigeneratiecentrale kan ze dus alle leveren. Aangezien warmte, CO₂ en water veel onrendabeler te transporteren zijn dan elektriciteit is het vrijwel alleen lonend om de multigeneratie-eenheid dicht bij de gebruiker te plaatsen. Anders dan bij een elektriciteitscentrale wordt niet de kracht (elektriciteitsopwekking) maar de productie van overige producten als warmte, CO₂ en water centraal gesteld.

Tabel 1: Overzicht van de gehanteerde begrippen voor de glastuinbouw

Monogeneratie: omzetten van een brandstof als aardgas of olie in laagwaardige warmte voor verwarmingsdoeleinden.

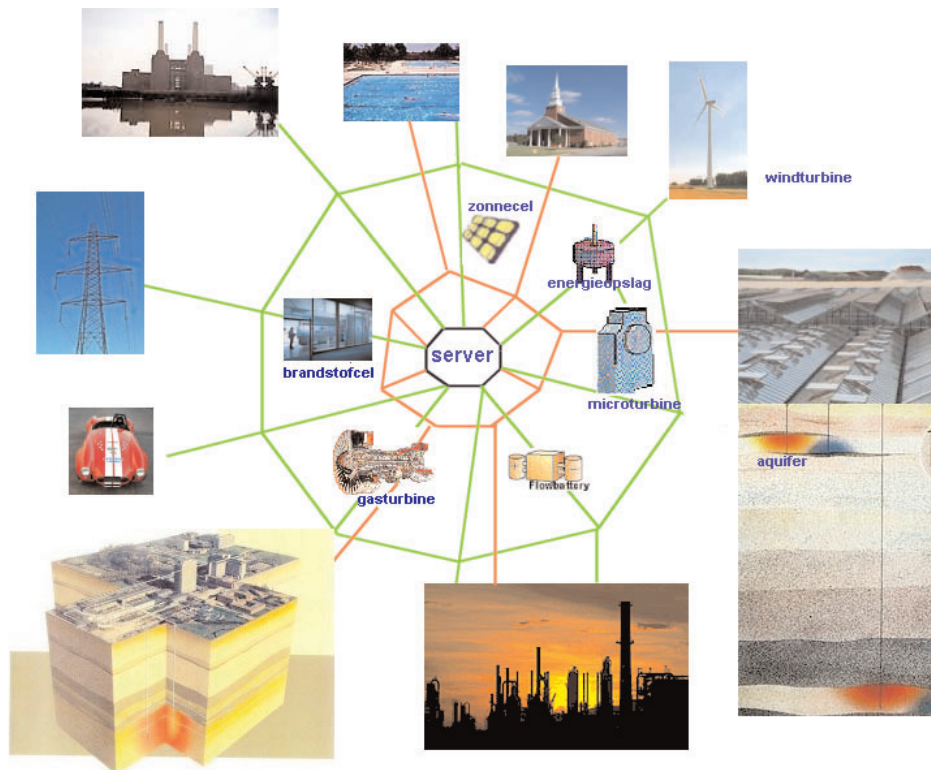
Cogeneratie: omzetten van een brandstof als aardgas of olie in een mini-elektriciteitscentrale voor het gelijktijdig opwekken van elektriciteit en warmte.

Trigeneratie: omzetten van aardgas in een mini-elektriciteitscentrale voor het gelijktijdig opwekken van elektriciteit en warmte, waarbij de rookgassen zo diep worden afgekoeld dat condensaat ontstaat dat nuttig wordt gebruikt in de glastuinbouw.

Multigeneratie: omzetten van aardgas in een mini-elektriciteitscentrale voor het gelijktijdig opwekken van elektriciteit en warmte, waarbij zowel CO₂ als water wordt gewonnen uit de rookgassen voor nuttig gebruik in de glastuinbouw.

Naar het energy web

Wanneer de behoefte aan warmte en/of andere producten centraal wordt gesteld en het multigeneratie-principe op grote schaal wordt toegepast, zal de structuur van de energievoorziening in ons land gaan veranderen. Kleinere multigeneratie-eenheden, die qua capaciteit exact zijn afgestemd op de lokale (warmte- of CO₂-)behoefte, zullen decentraal bij de gebruikers worden gebouwd. De energievoorziening van de toekomst zal niet worden verzorgd door een klein aantal grote centrales, maar door een groot aantal kleine. Dit betekent dat een verschuiving te verwachten is, vergelijkbaar met die in de computerindustrie in de jaren tachtig. Van het “main-frame”-concept naar “stand-alone” pc’s, later verbonden in een netwerk via een “server”. In analogie met deze ontwikkeling is te verwachten dat “energieweb’s” zullen ontstaan waarin de verhandeling van decentraal opgewekte energieproducten plaats gaat vinden. Deze ontwikkeling kan echter alleen doorgang vinden als de multigeneratie-eenheden zodanig efficiënt, schoon en goedkoop zijn door ze te produceren in grote aantallen (het “economy of numbers”-principe) dat de investering economisch aantrekkelijk is voor de tuinder. Dit geldt ook voor de micro-elektronica voor meting en verrekening van de energiestromen en voor de complexe regeling van de kleine opwekeenheden. Het ligt in de lijn der verwachting dat zich een dergelijke ontwikkeling zal voltrekken in Nederland.



Figuur 8: Schematische voorstelling van het energieweb

Participatie van de industrie

Ook de industrie ziet inmiddels de potentie van tri- en multigeneratie en dat kan prachtig worden gedemonstreerd aan de hand van een raffinaderij-voorbeeld. Wanneer raffinaderijen in de directe omgeving van een kassengebied liggen, kan het te overwegen zijn om van de integratie gebruik te maken. Raffinaderijen worden meer en meer gedwongen om lichte (dus waterstofrijke) producten te leveren die een laag zwavelgehalte hebben. Daartoe zijn technieken uitgedacht om de zware producten waarin ook elementen als zwavel en vanadium voorkomen, door vergassing met zuurstof uit de lucht om te zetten in behandelbare gassen. De zware restproducten uit de raffinaderij, ook wel de “bottom of the barrel” genoemd, worden dan gekraakt en omgezet in voornamelijk koolmonoxide, waterstof en zwavelwaterstof. En deze producten laten zich behandelen. Behandelen betekent het scheiden, reinigen of omzetten waardoor een gereinigd gas ontstaat dat kan worden gebruikt voor verschillende doeleinden. Het waterstofgas kan worden gebruikt om de olieproducten lichter te maken, dat wil zeggen: waterstofrijker. Maar het gas kan ook worden verbrand in een gasturbine om via een generator elektriciteit op te wekken. De restwarmte uit de gasturbine kan dan weer geïntegreerd worden met de fornuizen in de raffinaderij. Tri- en multigeneratie betekent hier dus het leveren van grondstof voor het chemisch proces, de levering van warmte en CO₂ voor de eigen fabriek of (tuinbouw)afnemers in de directe omgeving en de levering van stroom, eveneens voor de fabriek of voor het openbare net. Op deze wijze kunnen ook grotere fabriekscomplexen en centrales in het “energieweb” participeren.

7. DUURZAME ENERGIE

Door een correct en systematisch toepassen van het exergiebeginsel komt een samenleving met grotere energieproductiviteit tot stand. Geleidelijk zal dit overgaan in een duurzamere samenleving. Een duurzame samenleving is een samenleving die leeft van de rente op haar voorraden, niet van de voorraden zelf. In een overgangperiode kan ook het efficiëntere gebruik van de fossiele energie aan een duurzamere samenleving bijdragen en daarbij aan een milieuvriendelijkere energievoorziening. De markt en het milieu vragen binnenkort om een andere benadering en dit is een **uitdaging** voor de glastuinbouw. Géén bedreiging! Een uitdaging om met een andere infrastructuur en met nieuwe technologieën te zorgen dat de energiediensten voor de kas en zijn omgeving betrouwbaar geleverd worden met hoger rendement, lagere kosten en een geringere milieubelasting. Als overgang naar een infrastructuur waarin de duurzame bronnen worden geïntegreerd en een werkelijk duurzame samenleving wordt gecreëerd.

Trias Energetica

In de energietechniek is een concept ontwikkeld dat de “Trias Energetica” wordt genoemd. Dit drieluik naar een duurzamere toekomst schildert als eerste stap de vraagbeperking, dan de inzet van duurzame energie en ten slotte de efficiëntie. Dus: waar mogelijk, eerst vraagbeperking, dan zoveel mogelijk het toepassen van duurzame bronnen en ten slotte het streven naar een maximale efficiëntie. Dit principe wordt nu leidend genomen in de volgende voorbeelden voor een duurzamere glastuinbouw. Want hoewel fossiele energie de eerstkomende 25 jaar niet is weg te denken uit onze samenleving, mag worden aangenomen dat de technologische ontwikkeling van een duurzamere energieconversie de komende tijd zo snel zal gaan dat geleidelijk het marktaandeel zal stijgen. De energiebronnen zijn de zon, de massa van de maan en de aarde zelf. De laatste twee kunnen in principe een bijdrage leveren door respectievelijk getijdenenergie en geothermische energie. Beide lijken voor Nederland niet significant of te duur. Wat rest is de zonne-energie en de afgeleiden daarvan (wind, waterkracht en biomassa) als basis voor een duurzamer energievoorziening. Hoewel 25 jaar wellicht nog een lange periode is, doet de glastuinbouw er goed aan zich nu te oriënteren op de toekomst en via proefprojecten het duurzamere karakter van zijn branche te gaan uitstralen.

Op herhaling: terug naar het begrip “exergie”

Zonne-energie is de rijkste, maar minst gewaardeerde energiebron op aarde, ook in ons regenachtige kikkerlandje. Toch ontvangt ons land jaarlijks 100 maal zoveel zonne-energie als we gezamenlijk aan fossiele energie verbruiken. De input van de zon mag daarom niet worden onderschat. Laten we om te beginnen nog eens exergetisch kijken naar de gratis energie die ons dagelijks wordt aangeboden. De mens is geneigd daar altijd wat wantrouwend tegenover te staan, want als het niks kost, kan het niet goed zijn. Laten we eens even stilstaan bij het diffuse c.q. verdunde karakter van de zonne-energie en ons nog eens de fundamentele consequenties van de hoofdwetten

van de thermodynamica in herinnering roepen. Daaruit weten we dat energie kwaliteit heeft en hoe hoger die kwaliteit, hoe meer energieproductiviteit daarmee kan worden verricht. De thermodynamische kwaliteit van een energiebron is te karakteriseren door haar temperatuur. Energie die bij hoge temperatuur wordt afgegeven heeft een hoog arbeidsvermogen en een hoge kwaliteit. Veel van de energie bij de huidige conventionele processen wordt geproduceerd bij onnodig hoge temperaturen, en conventionele energiebronnen werken altijd in de richting van een lagere kwaliteit. Omdat ze, thermodynamisch gezien, vaak ondoelmatig gekoppeld zijn aan de taken waarvoor ze zijn bedacht, resulteert dat in een lage exergie-efficiëntie. Bij zonne-energie is het zo dat de zeer hoge temperatuur uit de fysische reacties van de zon op betrekkelijk lage temperatuur op aarde ter beschikking komt. Maar aan de kwaliteit is geen afbreuk gedaan! Daardoor is zonne-energie in principe zowel geschikt voor taken die laagwaardige energie vereisen, voor de productie van warme lucht of warm tapwater alsook voor taken van hoogwaardige kwaliteit zoals elektriciteitsopwekking. Dit kan gemakkelijk worden aangetoond met een brandglas, een lens waarin we de zonne-energie bundelen en waarmee we al snel honderden graden Celsius kunnen bereiken. Maar ook met parabolische spiegels kan de zonne-energie zodanig worden geconcentreerd dat temperaturen van 2000 tot 3000 °C te bereiken zijn.

Door nog eens met andere ogen naar zonne-energie te kijken valt pas op hoe verschillend de beleving van mensen is als het gaat om fossiele energie versus zonne-energie. De gevoelsassociatie en de realiteit staan in schril contrast. Bij fossiele brandstoffen wekken we meestal temperaturen op die veel te hoog zijn ten opzichte van het proces waarvoor we ze nodig hebben, waardoor we de kwaliteit van de energie verspillen. Zonne-energie daarentegen krijgen we aangevoerd op lage temperatuur, maar deze kan gemakkelijk worden opgevoerd naar een hoge temperatuur, waardoor we haar qua kwaliteit precies kunnen aanpassen aan het proces waarvoor we haar willen benutten. De fusiereactor (zon) staat op veilige afstand, de radioactieve materialen zitten veilig opgeslagen in de massa van de zon en de (radioactieve) straling van de zon kan, mits goed aangewend, bepaalde voordelen opleveren voor mens, plant en dier. We noemen zonne-energie duurzame energie, maar volgens de thermodynamica bestaat duurzame energie niet. Energie is niet recyclebaar en is onherroepelijk eenrichtingsverkeer. Alleen zijn de tijdsconstante van de zon in relatie tot de mens en de energie-inhoud van de zon als nucleaire fusiebron zo groot, dat we van een “duurzame” energiewinning kunnen spreken. Maar wat we wel kunnen doen, is op weg gaan naar een duurzamere samenleving met een duurzamere sector.

8. NAAR EEN DUURZAMERE GLASTUINBOUW

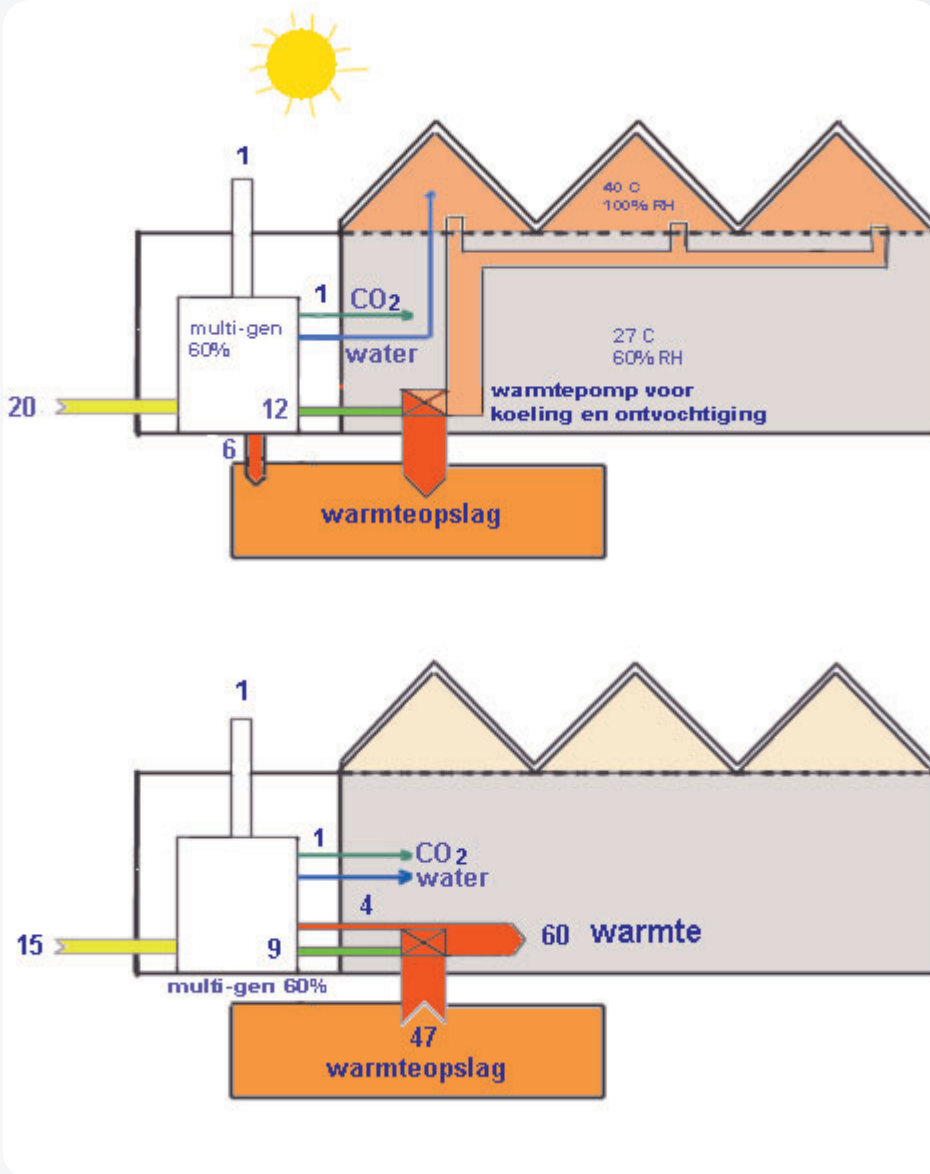
Het “stenen tijdperk” is niet geëindigd door een gebrek aan stenen en het “fossiele energie tijdperk” zal evenmin eindigen door gebrek aan fossiele brandstoffen. Het was de introductie van nieuwe technologie en de aanwezigheid van kopererts die het “bronzen tijdperk” mogelijk maakte. En zo zullen nieuwe technologieën en de aanwezigheid van zonne-energie het duurzame energietijdperk inkluden. Daarbij zal waarschijnlijk dezelfde technologische route gevolgd worden als altijd. Dit houdt verband met het in de inleiding besproken begrip “entropie”. Een ruïne ontstaat vanzelf, maar een kasteel bouwen kost veel moeizame arbeid. Laagwaardige warmte door zoninstraling ontstaat vanzelf en is makkelijk te winnen, maar elektriciteit eruit winnen vereist een hoogwaardige technologie en veel inventieve arbeid. Dus wordt eerst het gemakkelijkst te winnen product uit de zonne-energie gehaald en pas daarna de andere producten.

Grote getallen

Biomassa, warmte en elektriciteit zijn de energieproducten waar het om gaat, al zal menig glastuinbouwer gruwen van het idee om zijn prachtige paprika's of rozen te horen degraderen tot biomassa. Biomassa vertegenwoordigt op dit moment 80% van de duurzame energieopwekking, maar het ketenrendement voor het verkrijgen van hoogwaardige arbeid uit biomassa is niet erg hoog. Nederland heeft ca 10.000 hectare glastuinbouw, waarin per jaar 350 miljard MJ aan zonne-energie instraalt. Daarnaast wordt er nog eens ca 4,3 miljard m³ aardgas verstoekt, overeenkomend met ca 135 miljard MJ extra energie-input. We zien uit de cijfers dat er beduidend meer zonne-energie de kas binnenkomt dan we aan energie toevoegen door verbranding van aardgas. Dat betekent dat de kas een overschot heeft en in principe dus energieproducerend kan worden. Van de totale energie-input van 485 miljard MJ wordt, ondanks de intensieve teelt, hooguit 1% omgezet in biomassa met een totale energiewaarde van ruwweg 5 miljard MJ. Door vergisten, vergassen en/of verbranden kan hieruit maximaal de helft aan elektrische energie worden gewonnen, d.w.z. 2,5 miljard MJ of wel 695 miljoen kWh. Dit komt overeen met een centrale van 80 MWe, welke het gehele jaar draait. Het lijkt veel, maar als we de geproduceerde elektriciteit zouden verkopen, zouden we hiervoor ca 30 miljoen Euro ontvangen. Om dat te bereiken hebben we wel een paar honderd miljoen Euro aan gas moeten kopen! Biomassa als energieteelt in een kas is dus geen goede deal, maar als de biomassa wordt ingezameld en verwerkt nadat het gewas zijn functie bij de klant heeft vervuld, geeft het toch weer een stukje bijdrage aan een duurzamer milieu. Maar ook het biomassa-afval op het bedrijf kan op een nuttige manier worden aangewend voor energieopwekking en CO₂-bemesting. In het laatste voorbeeld van dit document zal daarom aan de mogelijke rol van vergisting van het afval specifieke aandacht worden geschonken.

Het oogsten van zonnewarmte

Het oogsten van laagwaardige warmte uit de zonne-energie is met relatief eenvoudige technologieën mogelijk. Denk daarbij aan zonneboilers of warmte uit gesloten ruimtes als kassen. De warmte wordt in de zomer door koeling en ontvochtiging onttrokken uit de gesloten kas en opgeslagen in een ondergronds bassin, een zogenaamde aquifer. In de winter moet de opgeslagen warmte daaruit worden opgenomen en via de warmtepomp in de kas gebracht. Overeenkomstig de “Trias Energetica” moet voor een duurzamer concept het kasdek beter geïsoleerd zijn (vraagbeperking eerst) en moet voor de warmtepomp duurzame energie (groene stroom) worden ingezet. Elektriciteitsopwekking blijft dus noodzakelijk. Dit kan in eigen beheer als multigeneratie-eenheid of het kan worden opgewekt met zonne-energie. Eerst maar even de tussenstap met de klassieke energieopwekking met fossiele brandstof (zie figuur 9a en 9b). Hierbij is een gesloten kas met een isolerend kasdek voorzien waardoor de warmtevraag is gedaald van 90 naar 60 eenheden. Tezamen met de aanvoer van de opgeslagen warmte via de elektrische warmtepomp kan nu met 15-20% van de oorspronkelijke energiebehoefte worden volstaan, dwz ca 5-10 m³ aardgas per m² kas oppervlak. Dit is een significante verbetering vergeleken met de huidige gemiddelde waarde van 43 m³ aardgas per m² in Nederland. Omdat in lucht niet zo erg veel warmte kan worden opgeslagen, lijkt een scheiding van functies in de kas een optie. Hierbij wordt in het bovendeel door het verstuiven en verdampen van water 100% vochtige lucht gemaakt waaraan (door de hogere Cp) meer warmte kan worden onttrokken. Het gewas zelf kan dan door ontvochtiging en warmteonttrekking bij 27°C en 60% vochtigheid worden gekweekt, terwijl de warmte wordt geoogst vanuit een bovenlaag met 40°C en 100% vochtigheid. Op deze wijze wordt het kwaliteitsniveau van de geoogste energie nog wat verhoogd. Bij warmteoverschot kan dit worden opgeslagen of gebruikt voor andere gebruikers in de directe omgeving in energieweb-verband. In het licht van dit document moet dan wel bedacht worden dat het aantal beschikbare calorieën in de warmte weliswaar groot kan zijn, maar dat het kwaliteitsniveau van de energie relatief laag is en blijft. Daarom kan deze energie nooit voor hoogwaardigere doeleinden benut worden dan het warmteniveau waarop het toegeleverd wordt aan andere gebruikers.



Figuur 9: Multigeneratie met warmteopslag als eerste stap naar een duurzamer energiesysteem voor de glastuinbouw. Figuur 9a: 's zomers, figuur 9b: 's winters.

Elektriciteit uit zonlicht

Zoals betoogd is voor het oogsten en verpompen van warmte elektriciteit nodig en dit kan op meerdere manieren direct of indirect uit het zonlicht of onze atmosfeer worden gehaald. De atmosfeer is in feite een vochtige luchtcyclus volgens het thermosyphon-principe: het zonlicht verwarmt de lucht op aarde en doet de temperatuur iets stijgen. Door verdamping van water uit meren en zeeën wordt hier vochtige lucht van gemaakt met een lager soortelijk gewicht die door verdere toevoeging van zonnewarmte opstijgt. De koude bovenlagen van onze atmosfeer fungeren als condensor en er ontstaan wolken waaruit door precipitatie het water als neerslag wordt afgescheiden. Het verzamelde condensaat in bergmeren heeft een hoge potentiële energie die door waterturbines met generatoren in elektriciteit kan worden omgezet. De koude ontvochtigde lucht beweegt naar beneden en stroomt

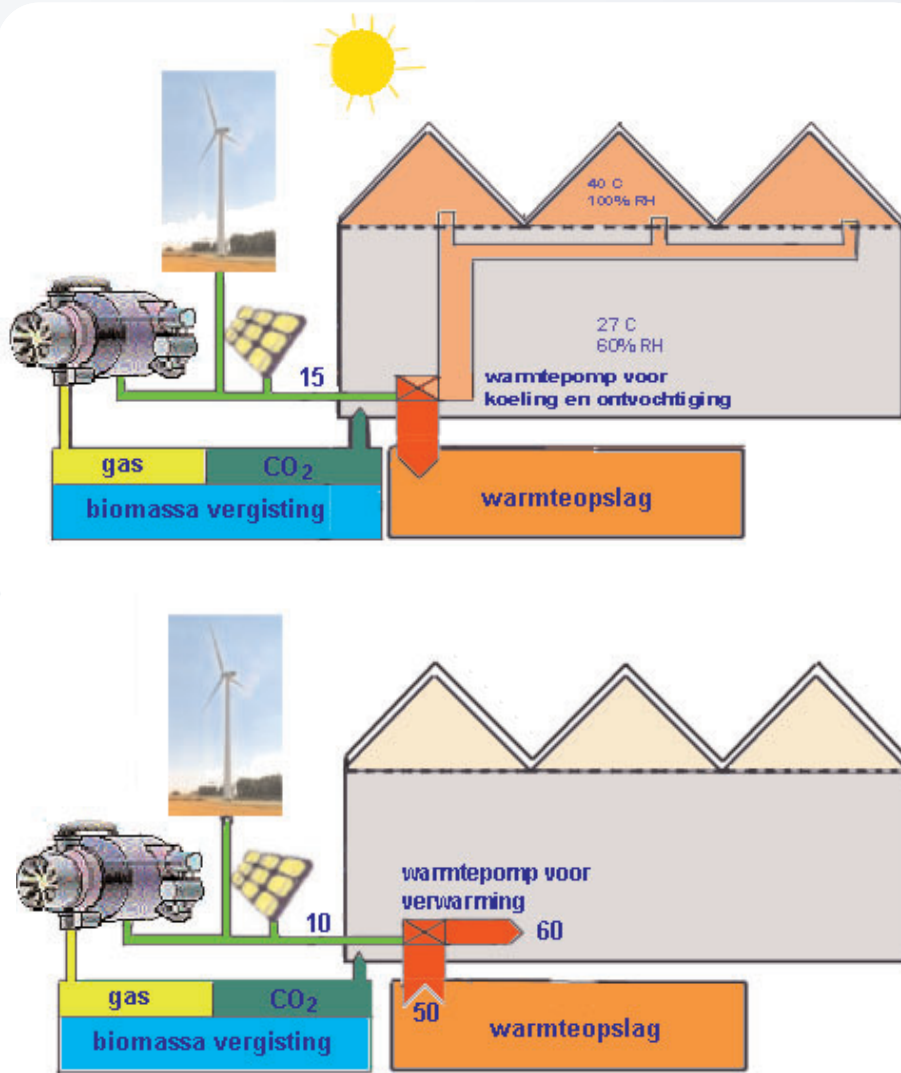
naar de plaats waar eerder lucht is opgestegen. Onze windturbines kunnen deze luchtbeweging omzetten in rotatie, waardoor met een generator elektriciteit kan worden gemaakt. Het zonlicht kan ten slotte rechtstreeks in elektriciteit worden omgezet. De eerste en meest veelbelovende techniek is fotonvoltaïsche conversie, dat wil zeggen: directe omzetting van straling in elektrische energie met gebruikmaking van de halfgeleidertechniek. De tweede is thermische zonne-energie die gebruikmaakt van het invallende zonlicht om heet gas onder druk (bijv. stoom) te genereren om een turbine met generator aan te drijven.

Fotovoltaïsche energie is zowel op zonnige dagen als op regenachtige dagen of bewolkte dagen bruikbaar. Het is slechts vereist dat er een minimale hoeveelheid licht (fotonen) het halfgeleiderelement bereikt die het zonlicht direct in elektriciteit omzet. Zonnecellen zijn meestal opgebouwd uit silicium halfgeleiders. De goedkopere amorfe silicium halfgeleiders hebben een rendement van rond de 10%, de duurere kristallijnen typen hebben een rendement van boven de 15%. Nieuwere typen zonnecellen in laboratoria hebben 30% rendement of meer en kunnen (belangrijk voor de sector) gedeeltelijk transparant zijn.

In de praktijk valt de opbrengst echter lager uit: de te verwachten jaaropbrengst van een PV-systeem ligt daarom in de orde van 100 kWh per m² celoppervlak bij een celrendement van 12,5%. In combinatie met één of meer windturbines kan per hectare ca 1500 MWh per jaar geleverd worden. Een derde methode van elektriciteitsopwekking is de bovengenoemde vergisting van biomassa-afval. Hierbij worden de suikers/cellulose met water op lage temperatuur vergist tot methaan (aardgas) en CO₂ volgens de reactie suiker + water = methaan + CO₂. In chemische termen: $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O = 6 CH_4 + 6 CO_2$. Het methaan kan worden verbrand in een micro-gasturbine, de CO₂ kan worden benut voor bemesting. In de figuren 10a en 10b is hiervan een voorbeeld gegeven. Omdat de elektriciteitsopwekking toch onregelmatig blijft, is een energieopslag in de vorm van accumulatoren en door integratie in een energieweb een vereiste.

Naar een energieproducerende kas

Gewapend met de fundamentele kennis van energie en met de wetenschap hoe die aan te wenden, komt aldus het perspectief van de duurzame energieneutrale of energieproducerende kas in beeld. Dit is een kas waarvan de uitgaande energiestroom (chemische energie uit het gewas, levering van warmte en elektriciteit aan de omgeving) groter is dan de ingaande energiestroom aan (fossiele) energie, chemische energie uit bemesting e.d. Met andere woorden: een energieproducent die het overschot aan zonne-energie en haar afgeleiden omzet in bruikbare producten voor de mensheid. Een schets hiervan staat aangegeven in figuur 10a en 10b. Zo'n ontwerp hoort tot de reële mogelijkheden, maar het zal van de tuinbouwsector en de industrie het nodige aan inspanningen vragen om via ontwikkelingen en proefprojecten deze stap te kunnen maken.



Figuur 10a en 10b: Visie op de energieproducerende kas van de toekomst. Oogsten van zonnewarmte en opslag in een aquifer 's zomers gevolgd door onttrekken van warmte met een warmtepomp 's winters. Productie van methaan en CO₂ heeft plaats via het vergisten van biomassa.

9. SLOTWOORD

Over energie en milieu zijn vele volksverhalen in omloop. Over kasverwarming met aardgas via een HR-ketel met maar liefst 90% rendement of meer. Of over elektriciteit, die slecht is voor het milieu en inefficiënt, omdat praktisch de helft verloren gaat bij de omzetting. Of over zonne-energie, die toch maar van bedenkelijke kwaliteit is en vaak afwezig in ons land. Veel mensen praten elkaar na en maar weinigen nemen de moeite om eens grondig na te gaan of de stellingen wel juist zijn, of er voldoende met helikopter view is gekeken. Of om eens vanuit een andere gezichtshoek te durven kijken en van andere premissen uit te gaan. Als je dat durft, blijkt het plotseling mogelijk voor de tuinbouwsector om met behoud van welvaart en welzijn zijn energiehuishouden toekomstig netjes en verantwoord (d.w.z. duurzaam) op een rij te krijgen. Maar daarvoor moet wel wat gebeuren. Allereerst moeten we ons bevrijden van de klassieke den patronen. Beleidsmakers, politici en de branche zullen de ruimte en de zekerheid moeten scheppen om voor de ondernemer en de consument die condities te creëren die zullen leiden naar zo'n duurzamere samenleving. Dit document doet een aanzet in deze richting door te kijken waar en hoe in de tuinbouwsector mogelijkheden liggen voor een duurzamere energietoekomst en een nieuw imago.