BIJLAGE 1

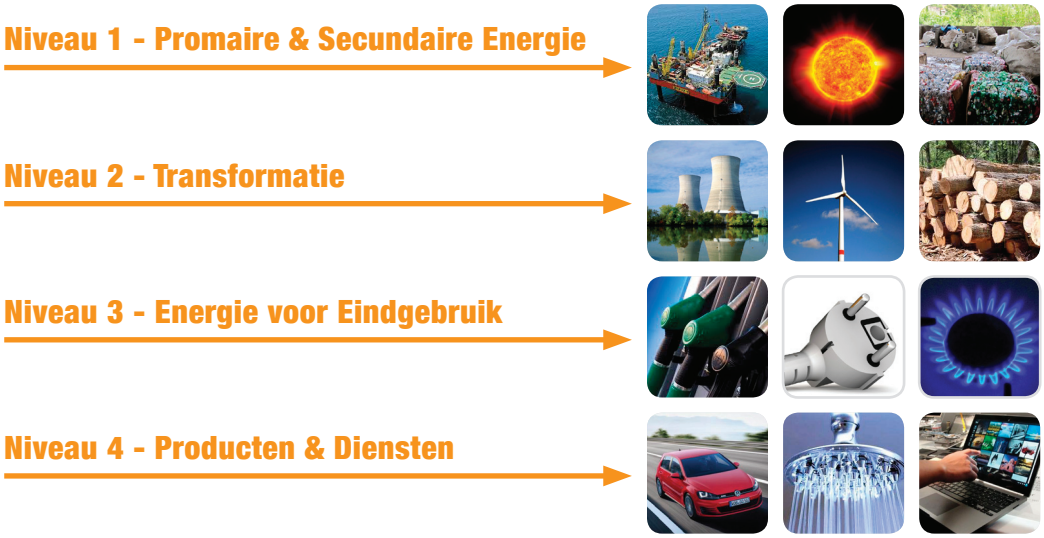
Hoe het energievraagstuk aanpakken en de rol van WKK hierbij

Om de rol van WKK in een duurzame energiepolitiek te begrijpen is enige achtergrondkennis vereist: inzicht in het energielandschap en zijn wetten, inzicht in de problematiek van duurzaamheid, inzicht in de aspecten van een energiepolitiek. Het loont de moeite om eens over al die aspecten na te denken. Het resultaat van een dergelijke oefening is de vaststelling dat WKK een onvervangbare plaats heeft in iedere duurzame energiepolitiek.

Het vertrekpunt: een goede kennis van het energielandschap en zijn wetten

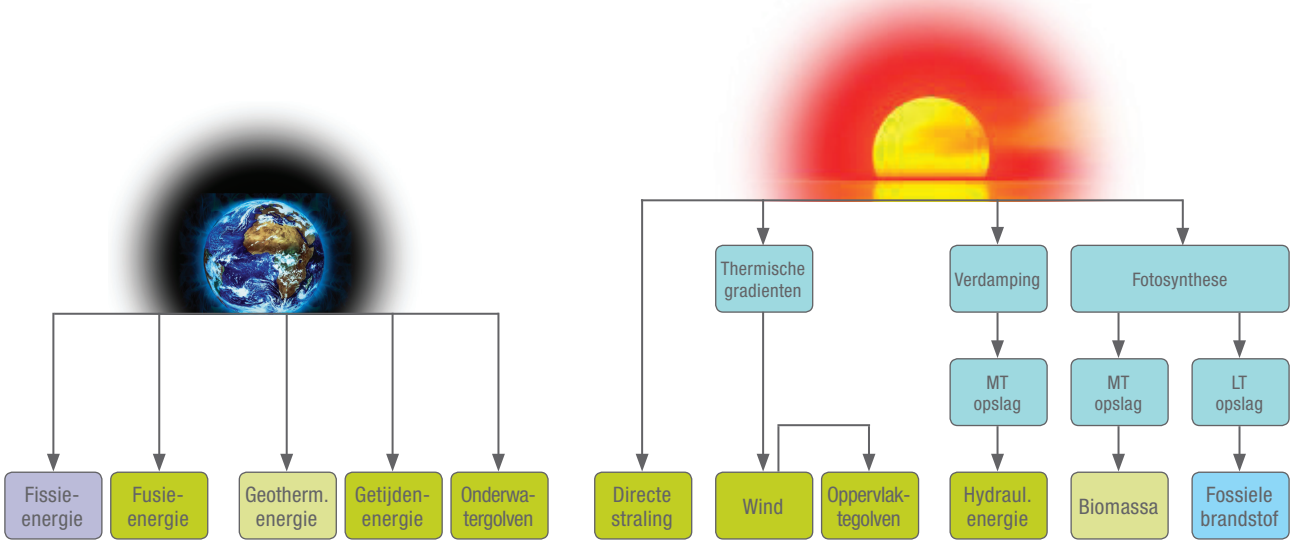
Het energielandschap

De manier waarop energie ten dienste staat van de mens wordt schematisch voorgesteld in Figuur 1.



Figuur 1: De verschillende niveaus in het energielandschap

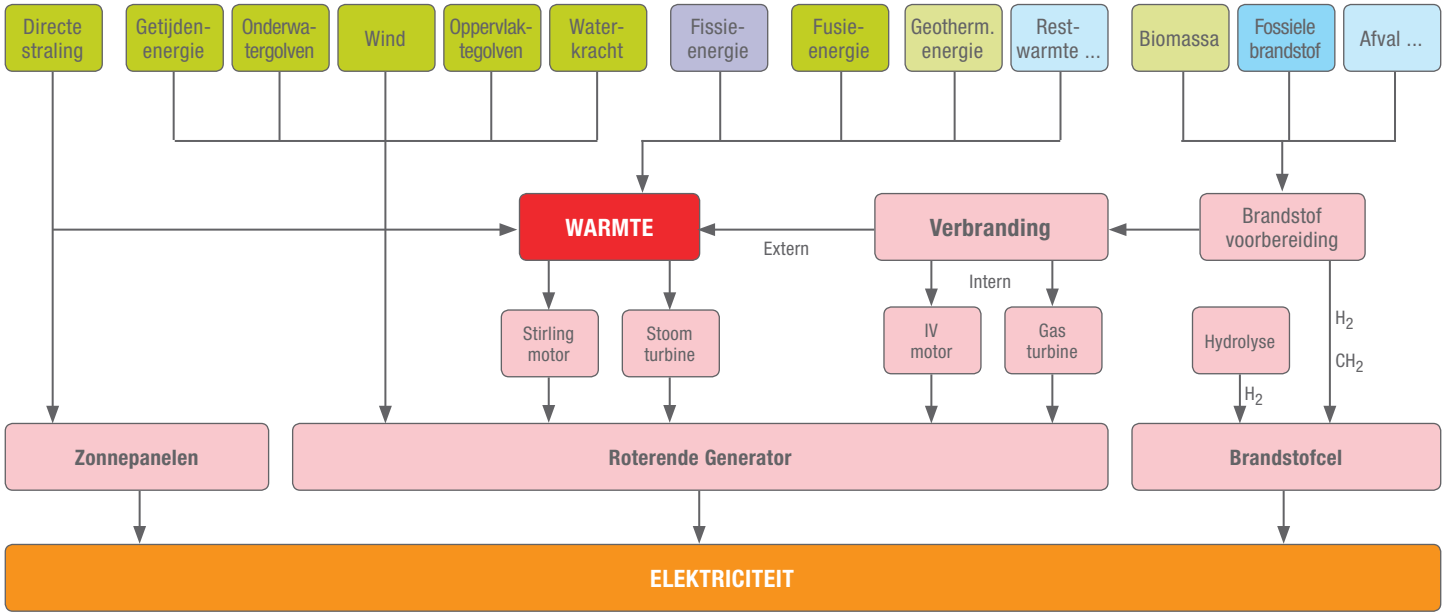
Voor het dekken van de menselijke behoeften (transport, woonst, communicatie ...) zijn goederen en diensten nodig (niveau 4). Om deze goederen te maken en deze diensten te leveren is energie nodig (niveau 3). Belangrijk hierbij is dat die energie een bepaalde vorm, een bepaalde kwaliteit moet hebben. Een laptop draait niet op benzine en ook niet op wisselstroom. De laptop heeft nood aan elektrische energie op een gelijkspanning van 12V. Zo gebruikt een dieselwagen best dieselolie als brandstof. Steenkool of benzine zijn hier geen keuze.



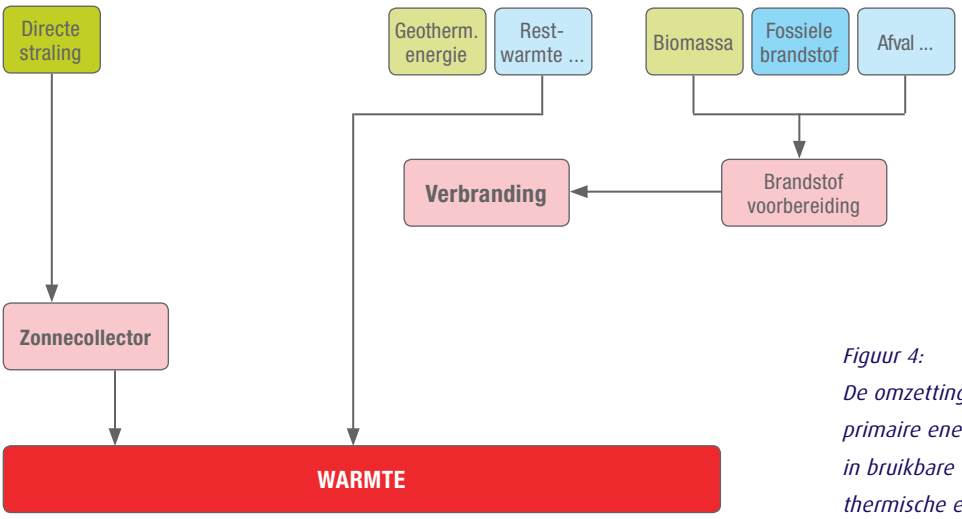
Figuur 2: De verschillende primaire energiebronnen aanwezig in de natuur

Wij moeten dus vaststellen dat de energie voor eindgebruik (voor het maken van goederen of het leveren van diensten) een welbepaalde vorm moet hebben. In een geïndustrialiseerde samenleving zijn elektriciteit en warmte (met de juiste karakteristieken!) de meest voorkomende vormen van energie voor eindgebruik. Nu zijn die welbepaalde vormen van energie bijna nooit als dusdanig aanwezig in de natuur. Primaire energie (niveau 1) biedt zich in veel vormen aan, spijtig genoeg niet in deze die wij nodig hebben. In Figuur 2 wordt een overzicht gegeven van de verschillende energiebronnen, aanwezig in de natuur. Een voorbeeld van een primaire energievorm die wel rechtstreeks inzetbaar is voor eindgebruik, is windenergie, waarmee een zeilboot rechtstreeks kan bewogen worden. Bijna steeds is er echter nood aan transformatie om de energie van de primaire bronnen om te zetten in de geschikte vorm voor eindgebruik.

Transformatie van energie is dus een uitermate belangrijke fase in het energiegebeuren (niveau 2). Een veelvoud aan processen en machines worden hiervoor ingezet. Een schematisch overzicht van de transformatieprocessen voor de omzetting van primaire energie in energie voor het eindgebruik wordt gegeven in Figuren 3 en 4. Wij moeten beseffen dat al die processen niet "zomaar" verlopen: zij zijn onderworpen aan een aantal wetten die wij hierna bekijken.



Figuur 3: De omzetting van primaire energie in bruikbare elektrische energie



Figuur 4: De omzetting van primaire energie in bruikbare thermische energie

De wetten die het energiegebeuren beheersen

In alle discussies over de juridische en economische aspecten van de energieproblematiek, bij de overvloed aan wetten, beschikkingen, ordonnanties, decreten, koninklijke en ministeriële besluiten, vergeet men al te licht dat er fysische wetten zijn die het energiegebeuren beheersen, onafhankelijk van het feit of men zich in een vrije markt, een mono- of oligopolie bevindt.

Het is juist omdat heel wat belangrijke actoren in het energiegebeuren, de actoren die het energiebeleid moeten vastleggen en hun raadgevers, beperkt op de hoogte zijn van die fysische wetten en hun concrete implicaties, dat het beleid vaak totaal naast de kwestie gevoerd wordt.
De belangrijkste wetten die het gedrag van de fysische grootheid energie beschrijven, zijn de eerste en de tweede hoofdwet van de thermodynamica.

De eerste hoofdwet

Deze noemt men ook de "wet van het behoud van energie". Deze wet is vrij goed gekend, alhoewel men de implicaties ervan niet altijd ten volle in rekening brengt. De eerste hoofdwet van de thermodynamica zegt dat energie een behoudende grootheid is: zij wordt niet geschapen en ook niet vernietigd, zij kan veranderen van vorm, zij kan overgedragen worden van het ene stelsel naar een ander, maar steeds blijft de hoeveelheid behouden. Wij zegden reeds dat deze wet vrij algemeen bekend is, maar daarom nog niet goed verstaan wordt. Hoe anders uitleggen dat er gesproken wordt over een "energietekort"? Deze uitdrukking gaat regelrecht in tegen de eerste hoofdwet.

De tweede hoofdwet

Wij hebben bij de schets van het energielandschap gezien dat de transformatie van energie essentieel is om primaire energie om te vormen tot energievormen die geschikt zijn voor het eindverbruik. Over die transformaties weten wij in ieder geval reeds dat hierbij geen energie vernietigd of geschapen wordt. Maar er is meer aan de hand. Dit wordt duidelijk als wij, in het spoor van de pioniers van de energiewetenschap uit de negentiende eeuw, vaststellen dat sommige transformaties, die perfect voldoen aan de wet van het behoud van energie, blijkbaar niet kunnen plaatsvinden. Zo is er de vaststelling dat warmte nooit spontaan van een stelsel op lage temperatuur naar een stelsel op hoge temperatuur vloeit. Of de vaststelling dat arbeid volledig kan omgezet worden in warmte, maar warmte nooit volledig in arbeid.

Wij stellen dus vast dat er – naast de wet van het behoud van energie – nog andere regels zijn die de energieprocessen beheersen. Het zijn juist deze regels die in de tweede hoofdwet verwoord worden. De mate waarin energie in andere vormen kan getransformeerd worden is een heel belangrijke eigenschap van energie. Welnu, er bestaan vormen van energie die in alle andere vormen van energie kunnen getransformeerd worden. Wij zeggen dat deze vormen volledig uit "exergie" bestaan. Voorbeelden hiervan zijn mechanische en elektrische energie. Energie, die niet transformeerbaar is, noemen wij anergie. Gebruik makend van de begrippen exergie en anergie, kan men de tweede hoofdwet als volgt formuleren. Alle energie bestaat uit exergie en anergie. De hoeveelheid exergie is beperkt. Bij ieder reëel proces wordt exergie in anergie omgezet. Nooit kan anergie in exergie worden omgezet.

De tweede hoofdwet van de thermodynamica neemt een heel specifieke plaats in de klassieke fysica: het is de enige wet die uitgedrukt wordt als een ongelijkheid. De tweede hoofdwet impliceert dat de realiteit een niet-omkeerbaar verloop kent in de tijd.

Het woord "exergie" is vrij recent (het werd in 1956 gelanceerd door professor Zoran Rant), de betekenis die erachter zit helemaal niet. Op het einde van de negentiende en het begin van de twintigste eeuw werd reeds uitgebreid onderzoek gedaan naar wat toen "énergie utile" of "énergie utilisable" werd genoemd. En ook de vrije energie (Helmholtz) en vrije enthalpie (Gibbs) zijn uitdrukkingen voor exergie, geldig voor specifieke processen.

Het energieprobleem in het licht van de twee hoofdwetten van de thermodynamica

De tweede hoofdwet leert ons met heel andere ogen te kijken naar de energieproblematiek: er is geen sprake van schaarste aan energie, wel van schaarste aan exergie. Het is wel duidelijk dat in het achterhoofd van velen, die deelnemen aan de discussies over energie, dingen als "nuttige energie", "kwaliteit van de energie" e.d. rondwaren. De discussies kunnen echter een heel deel zinvoller worden als men ook de juiste terminologie hanteert. Denk alleen maar aan het begrip energie-economie. Dit is een contradictio in terminis. Economie gaat over schaarse goederen. Energie is echter helemaal niet schaars, exergie is schaars. Er is dus sprake van exergie-economie.

Ook degenen die zich bezighouden met energietransformaties en –gebruik moeten er zich bewust van zijn dat hun taalgebruik en methodologie vaak ergerlijk fout zijn. Het meest sprekende voorbeeld hiervan is de manier waarop het begrip "rendement" gehanteerd wordt. "Kijk eens," zeggen zelfverklaarde experten, "WKK heeft een rendement dat veel hoger is dan dat van elektriciteitsproductie." Zij gebruiken dan als definitie voor het rendement van een WKK de uitdrukking

$$rendement = \frac{warmte + elektriciteit}{brandstof}$$

wat natuurlijk onzin is. Warmte en arbeid zijn immers energievormen met totaal verschillende kwaliteit.

Nog even over de kwaliteit van energie

De tweede hoofdwet leert ons dat er grenzen zijn aan de omzetbaarheid van energie. Zij laat ons toe te berekenen welk deel van een bepaalde hoeveelheid energie omzetbaar is in alle andere energievormen. Als wij omzetbaarheid beschouwen als de maat voor de kwaliteit van energie, dan wordt de kwaliteitsfactor van een bepaalde energiehoeveelheid gedefinieerd als

$$kwaliteitsfactor = \frac{hoeveelheid\ omzetbare\ energie}{totale\ hoeveelheid\ energie}$$

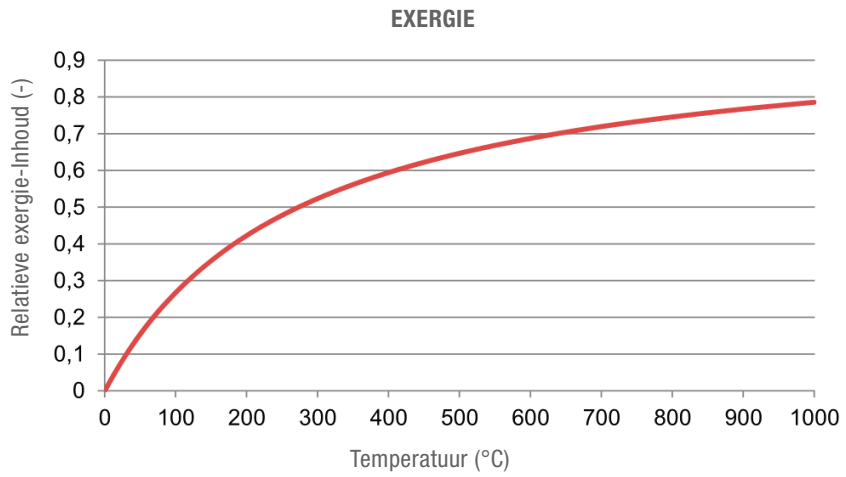
Het loont de moeite om de kwaliteitsfactor van een aantal energievormen eens te bekijken.

Mechanische, elektrische en magnetische energie: deze zijn volledig omzetbaar in andere energievormen. Ze zijn pure exergie en hun kwaliteitsfactor = 1.

Warmte: bij de berekeningen, die leiden tot de introductie van het begrip entropie, maakt men gebruik van thermische machines, die werken tussen twee warmtereservoirs op verschillende temperaturen. De maximale hoeveelheid arbeid die door de thermische machine kan gegenereerd worden hangt alleen af van de temperatuur van de twee reservoirs (de bekende Carnotfactor). Neemt men nu als een van de twee reservoirs de omgeving op temperatuur T0, dan wordt de exergie van een bepaalde hoeveelheid warmte op temperatuur T:

$$exergie = \frac{T - T0}{T}$$

Deze functie is uitgezet in Figuur 5. Als omgevingstemperatuur is 0°C genomen.



Figuur 5:
De exergie-inhoud van thermische energie als functie van de temperatuur, bij een omgevingstemperatuur van 0°C

Chemische energie van brandstoffen: de verbrandingswarmte is een maat voor de chemische energie van een brandstof (correcter: van het mengsel brandstof/lucht). Voor de berekening van de exergie van een brandstof moet men een beroep doen op de derde hoofdwet van de thermodynamica. De berekeningen tonen aan dat de

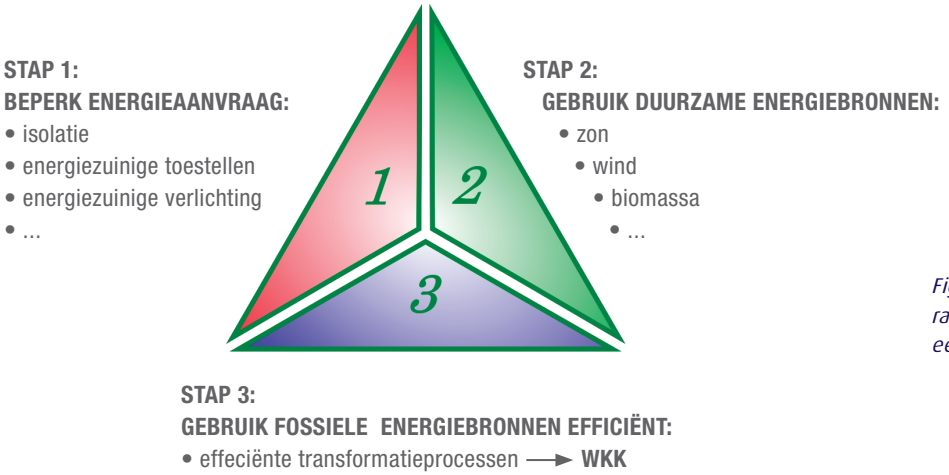
exergie van veel brandstoffen bijna gelijk is aan de verbrandingswarmte. Wij zullen dan ook maar stellen dat de kwaliteitsfactor van de verbrandingswarmte gelijk is aan 1.

Een zinvolle, rationele, duurzame energiepolitiek

Gewapend met een gezond basisinzicht in de wereld van de energie, kunnen wij ons nu wagen aan discussie over een zinvolle, rationele en duurzame energiepolitiek.

Is een energiepolitiek nodig? Natuurlijk. Het doel van een duurzame energiepolitiek is voor iedereen energie ter beschikking stellen in de gepaste vorm en met de gepaste kwaliteit, met een aanvaardbare impact op het milieu en tegen een betaalbare prijs, en dit niet alleen voor onze generatie, maar ook voor die na ons. Dit is voorwaar een gigantische opdracht, die onze maatschappij en haar politieke vertegenwoordigers op zich moeten nemen.

Hoe ziet een duurzame energiepolitiek er inhoudelijk uit? Zij heeft betrekking op het geheel van het energielandschap. Het volstaat niet alleen het eindverbruik, of alleen de primaire bronnen, of alleen de transformaties te bekijken: men moet alle aspecten in één globale aanpak meenemen.



Figuur 6: De Trias Energetica: rationele benadering van een duurzame energiepolitiek

Een manier om dat tot uitdrukking te brengen en visueel voor te stellen, is de zogenaamde "trias energetica" (zie Figuur 6). Die zegt dat een energiepolitiek moet bestaan uit drie opeenvolgende stappen. Stap 1: beperk uw eindgebruik (niveau 3 van figuur 1). Stap 2: gebruik hernieuwbare energiebronnen (niveau 1). Stap 3: waar fossiele energiebronnen worden ingezet, moet men de transformatie zo efficiënt mogelijk doorvoeren (niveau 2). In deze verwoording van de trias energetica zitten twee zwakke punten. Vooreerst wordt in stap 3 de efficiënte omzetting beperkt tot het geval waarbij men fossiele brandstoffen gebruikt. Dit is fout. Wat ook de primaire energiebron zij, men moet steeds streven naar een zo efficiënt mogelijke transformatie, die technisch en economisch haalbaar is. De eis van efficiëntie wordt des te stringenter gesteld naarmate de primaire energiebron schaarser is. Zij moet dus ook expliciet gesteld worden bij het gebruik van biomassa. Een tweede zwak punt in de klassieke verwoording van de trias energetica is de voorstelling van de drie acties als "stappen". Dit zou de indruk kunnen wekken dat men eerst stap 1 moet afwerken, daarna stap 2, tenslotte stap 3. In de realiteit zal men natuurlijk alle acties in parallel uitvoeren, en zal het veeleer de kostenefficiëntie zijn die de prioriteiten in de tijd zal sturen.

WKK en haar plaats in het energiegebeuren

WKK: een energietransformatieproces

De definitie voor WKK: een energetisch transformatieproces waarbij in één installatie, één energiedrager (de input) in twee verschillende energiedragers (de output) wordt omgezet. Hoewel het in de meeste definities niet expliciet wordt vermeld moet men er de aandacht op trekken dat de twee uitgaande energiestromen van een verschillende kwaliteit zijn.

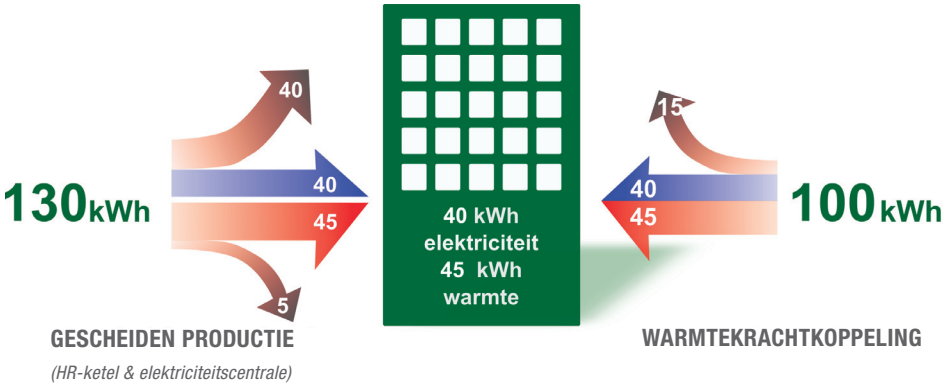
De hoge-kwaliteit-energie is meestal mechanisch of elektrisch, de lage-kwaliteit-energie is warmte of koude. In de praktijk produceert het merendeel van de installaties elektriciteit en warmte.

Het is nodig te onderstrepen dat WKK thuishoort in het niveau 2 van Figuur 1: het is een energietransformatieproces. Het is dus helemaal geen energiebron. Het heeft absoluut geen zin om in discussies en regelgeving WKK (transformatieproces) op één hoop te vegen met hernieuwbare (energiebronnen).

De specifieke eigenschap van WKK als energietransformatieproces is dat het twee uitgangen heeft. Men spreekt dan ook over gecombineerde productie (bvb. van warmte en elektriciteit). Dit staat in tegenstelling tot de meeste energietransformatieprocessen, die slechts één uitgang hebben (men spreekt dan van gescheiden productie).

WKK realiseert een besparing ten opzichte van gescheiden productie

Men kan aantonen dat men door de inzet van WKK aanzienlijke energiebesparingen kan realiseren ten opzichte van de gescheiden productie.



Figuur 7: De vergelijking van warmtekrachtkoppeling met gescheiden productie

Nemen wij het voorbeeld, voorgesteld in Figuur 7. Een stelsel (huis, fabriek, chemisch proces ...) heeft nood aan E eenheden elektriciteit (hier 40) en Q eenheden warmte (hier 45). Men kan deze elektriciteit en warmte ofwel gescheiden opwekken (een ketel; een elektriciteitscentrale) ofwel in een WKK. Met cijfers voor de brandstofbenuttigingsfactoren (meestal rendementen genoemd) die realistisch zijn voor de heden ten dage gebruikte technologieën, realiseert men een besparing aan primaire energie van 23 %. Dit is een zeer aanzienlijke besparing, zeker rekening houdend met de enorme hoeveelheden warmte en elektriciteit die gebruikt worden om onze maatschappij draaiend te houden.

Men moet zich realiseren dat de inzet van WKK niet beperkt is tot fossiele primaire energiebronnen. WKK kan evengoed ingezet worden bij het gebruik van biomassa.

Om de rol van WKK nog beter te begrijpen, is het nodig een antwoord te vinden op de vraag “waarom WKK een besparing realiseert vergeleken met de gescheiden productie”. Het antwoord op die vraag is verrassend, en leidt tevens tot heel duidelijke richtlijnen over de inzet van WKK.

Warmte: een energetisch probleem

Het is veeleer verrassend te stellen dat "warmte" een probleem is. Met een veelvoud aan mogelijkheden om het aangenaam en knusjes warm te hebben, met een veelvoud aan mogelijkheden om proceswarmte te genereren, schijnt er maar één echt probleem te zijn: dat van de keuze.

En toch, er is wel degelijk een probleem. Dat zit niet in de gebruikte toestellen en gekozen technologieën, maar wel in de keuze van het proces om van primaire energie (fossiele, biomassa of wat het ook zij) warmte op een geschikte temperatuur te maken. Het proces is de eenvoud zelve: verbranding van de brandstof en warmteoverdracht naar de te verwarmen energiedrager. Dit alles gebeurt op een efficiënte en milieuvriendelijke manier. De verbrandingstechniek heeft enorme vooruitgang geboekt, de emissies zijn drastisch gereduceerd. Warmtewisselaars zijn zó efficiënt dat bijna alle energie uit de rookgassen wordt gerecupereerd.

Wat kan dan het probleem zijn? Een exergetische analyse van het proces "directe verwarming" maakt dat onmiddellijk duidelijk. Bij directe verwarming (verbranding plus warmteoverdracht) gaat tot 90 % van de brandstofexergie – het nuttige, want schaarse, deel van de energie – verloren. Wablieft? U leest het goed: tot 90 % van de brandstofexergie gaat verloren. En het gaat weldegelijk om verloren: exergie kan worden omgezet in anergie, maar anergie kan niet terug omgezet worden in exergie.

Om deze boude bewering te staven, moeten wij even teruggrijpen naar wat we hierboven schreven over de kwaliteit van energie. Daar hebben wij gezien dat de exergie van het mengsel (brandstof-lucht) ongeveer gelijk is aan de energie-inhoud (de kwaliteitsfactor is ongeveer 1). Anderzijds weten wij dat warmte op 30 °C een slechts beperkte hoeveelheid exergie bevat, de kwaliteitsfactor is 0,1. Bij de productie van warmte op 30 °C via directe verwarming is dus 90 % van de hoogwaardige, waardevolle energie omgezet in anergie, ondanks het feit dat de installatie een uitstekend energetisch rendement heeft.

Deze vaststelling maakt duidelijk dat warmteproductie wel degelijk een exergetisch probleem is. De verliezen aan exergie voor de productie van (vooral lage-temperatuur-) warmte zijn enorm. Ieder proces dat bijdraagt tot de reductie van dit verlies heeft direct een enorm potentieel aan besparing van primaire energie.

Er zijn twee processen die de verliezen bij directe verwarming kunnen reduceren: het "oppompen" van warmte (het verhogen van de temperatuur van warmte door bijmenging van exergie) en het vervangen van de gescheiden productie van warmte door gecombineerde productie van warmte en elektriciteit (WKK).

WKK: een oplossing voor het warmteprobleem

Het grote exergieverlies bij de productie van warmte is het gevolg van twee irreversibele processen: de irreversibele verbranding en de irreversibele warmteoverdracht van hoge temperatuur (rookgassen) naar de lage-temperatuur-warmtedrager (stoom, warmwater, lucht).

Het exergieverlies te wijten aan de irreversibele verbranding bedraagt voor de theoretische verbranding van de meeste brandstoffen ongeveer 25 %. Dit verlies kan alleen vermeden worden door de verbranding te vervangen door een reversibele oxidatie van de brandstof. Dat is wat men nastreeft in de brandstofcel.

Het verlies door warmteoverdracht kan gereduceerd worden door tussen de hoge temperatuur van de rookgassen en de lage temperatuur van het te verwarmen medium een thermische machine te schakelen, die een deel van de exergie van de rookgassen als arbeid recupereert. Dit proces doet een beetje denken aan het recupereren van arbeid uit water dat van hoog naar laag valt.

WKK is dus in wezen een energetisch transformatieproces dat de exergieverliezen, die optreden bij directe verwarming, reduceert. Iedere eenheid exergieverlies die vermeden wordt, vertaalt zich direct in één eenheid primaire energie besparing.

Noteren we dat WKK niet het enige proces is dat exergieverliezen kan beperken. Het “oppompen” van warmte, zoals gebeurt in een warmtepomp, is ook een proces met een beter exergetisch rendement dan directe verbranding.

WKK en haar plaats in de energiepolitiek

Meer dan ooit is WKK nodig. Meer dan ooit moet de inzet van WKK een van de hoekstenen zijn van een duurzame energiepolitiek. Dit is niet zomaar een gratuite bewering of een (verkiezings-)slogan. Het is het onontwijkbare gevolg van de doorlichting van ons energielandschap met de (gelukkig niet veranderende) wetten van de fysica.

Wij hebben gezien dat niet energie op zich een schaars goed is, maar wel het transformeerbaar deel van die energie (dat wij exergie noemen). Nu is transformatie van energie essentieel om de primaire energie (beschikbaar in de natuur) om te zetten in energie voor het eindgebruik. Omdat transformeerbaarheid van energie een zo belangrijke eigenschap is, gebruiken wij ze als maatstaf voor de kwaliteit van de energie. Omdat niet energie maar exergie een schaars goed is, moeten alle analyses van processen en toestellen gebeuren op basis van de exergie.

Wij hebben vastgesteld dat bij de productie van warmte op de klassieke “directe” manier (verbranding plus warmteoverdracht) een aanzienlijk deel van de exergie van de brandstof – of het nu een fossiele brandstof is of biomassa – verloren gaat. Bij de productie van warmte op lage temperatuur, bijvoorbeeld voor ruimteverwarming, zijn die verliezen zelfs dramatisch hoog. Die verliezen kunnen gereduceerd worden door de inzet van WKK. Deze reductie vertaalt zich direct in een even grote besparing aan primaire energie. Een wezenlijk onderdeel van een duurzame energiepolitiek is dus de inzet van WKK daar waar warmte nodig is.

De doorlichting op basis van de wetten van de fysica, zoals wij die hierboven gemaakt hebben, leidt ook tot een aantal praktische gevolgen. Zo is het duidelijk dat WKK steeds gedimensioneerd moet worden op basis van de warmtevraag. Zo is het ook duidelijk dat een regelgeving die stelt dat “overal waar elektriciteit geproduceerd wordt hiervoor een WKK moet worden ingezet”, blijk geeft van een ergerlijk gebrek aan inzicht. De uitdrukking “overal waar een warmtevraag aanwezig is, moet de mogelijke inzet van WKK onderzocht worden” is de juiste stap in de juiste richting.

Wij zouden als COGEN Vlaanderen tekort schieten in onze taak, moesten wij hier ook niet de link leggen naar de actuele discussie over steunmechanismen voor hernieuwbare energie en WKK (het is overigens niet aangewezen die twee aan elkaar te koppelen). Als men de steun, zoals die tot hiertoe gegeven werd, relateert aan de gerealiseerde primaire-energiebesparing, en de daarbij gerealiseerde reductie van de CO2-emissies, dan kan men alleen maar vaststellen dat die uiterst efficiënt is, vergeleken met andere steunmaatregelen. Het zou niet wijs zijn om het enorme besparingspotentieel dat nog ligt bij de productie van warmte niet aan te boren. Daarvoor blijft een aangepaste steun nog steeds nodig.

COGEN Vlaanderen-team

COGEN
Vlaanderen