

Hoe komen we tot een efficiënter gebruik van energie?

#6162

How do we reach a more efficient use of energy?

Het belang van de introductie van het "kwaliteitsdenken" in het beleid met betrekking tot energie

ir. B.A. Kleinbloesem,
dr. F.M.J.A. Diepstraten***

Samenvatting

Energiebesparing is al vele jaren een beleidsdoelstelling. De aandacht concentreert zich daarbij op het beperken van energieverliezen. De eerste hoofdwet van de thermodynamica zegt echter: "energie kan niet verloren gaan". De tweede hoofdwet voegt daar aan toe wat er wel gebeurt, nl.: dat de energie in kwaliteit kan degraderen. Veel z.g. energieverliezen die bij energie-omzettingsprocessen optreden zijn het gevolg van onnodige kwaliteitsdegradatie. Er is veel meer energiebesparing mogelijk als dit aspect in het beleid voldoende aandacht zou krijgen.

Summary

The conservation of energy is an objective of government policy for many years now. To restrict energy losses deserve most attention. The first law of thermodynamics however tells: "energy cannot be lost". The second law adds what really happens, e.g. that energy can be degraded in quality. Many so called energy losses which occur during energy transformation processes are the result of unnecessary quality degradation. If this aspect gets sufficient attention in policy, much more conservation of energy can be reached.

Inleiding

De wenselijkheid van een efficiënt gebruik van energie en het realiseren van energiebesparing is al lange tijd één van de doelstellingen van het overheidsbeleid. Hiervoor bestaan diverse redenen. Niet alleen is dit van belang om een mogelijke schaarste van de eindige brandstofvoorraden zo lang mogelijk uit te stellen en om de afhankelijkheid van leveranciers van deze brandstoffen beperkt te houden, maar ook om de milieubelasting die de verbranding van deze brandstoffen met zich mee brengt te beperken c.q. beperkt te houden. Zolang als wij voor onze energievoorziening (mede) van het gebruik van fossiele brandstoffen afhankelijk zijn, blijft het om bovenstaande redenen van belang om een efficiënt gebruik van energie na te streven.

In de zeventiger en begin tachtiger jaren vond energiebesparing vooral plaats uit een oogpunt van zuinigheid met energiegrondstoffen, een tendens geïnitieerd door het rapport van de Club van Rome en de "oliecrises" van 1973 en 1979. Tevens droegen de hoge brandstofprijzen bij tot het streven zo weinig mogelijk energie te gebruiken. Door de prijsdaling in het midden van de jaren '80, en het feit dat brandstofschaarste toch meer als een probleem voor de lange termijn inspanning werd gezien verslaptte de aandacht voor energiebesparing. Met het verschijnen van het rapport van de VN commissie Brundtland werd de aandacht sterk gericht op het milieu, met name de CO₂-problematiek. Hierdoor ontstond een nieuw motief voor het zuinig omgaan met energie, immers minder (fossiel) energiegebruik betekent minder CO₂-emissie.

Als eerste prioriteit in het energiebeleid zijn bewust gebruik en efficiënt eindgebruik opgenomen. Onder meer wordt hierbij gedacht aan elektriciteitsbesparing. Ook Sep heeft op het rapport van de commissie Brundtland in eerste instantie gereageerd door in het Elektriciteitsplan 1989-1998 bewust uit te gaan van in de toekomst optredende extra besparing op het elektriciteitsgebruik. In het Elektriciteitsplan 1991-2000 is dit opnieuw meegenomen, naast de intentie meer aandacht te geven aan restwarmtebenutting.

Praktijk is echter dat het elektriciteitsverbruik sneller toeneemt dan was voorzien. Ten dele wordt dit verklaard omdat ook Sep in deze prognoses is uitgegaan van uitgangspunten die te optimistisch waren met betrekking tot toepassing van elektriciteitsbesparing in de praktijk. Er zijn echter ook andere redenen aan te geven. Het blijkt dat energiebesparing vaak gepaard gaat aan het gebruik

van meer elektriciteit. Bij de beantwoording van Tweede Kamervragen over het Elektriciteitsplan 1991-2000 zijn hiervan ook verschillende voorbeelden gegeven, zie tabel 1.

Het blijkt dat dit voor velen moeilijk te begrijpen is omdat het op het eerste gezicht in strijd lijkt met de logica. Het is immers algemeen bekend dat er bij elektriciteitsopwekking (zo ervaart men) veel energie verloren gaat in het koelwater. Toch is het waar dat elektriciteit vaak juist een heel goede "tussenvorm" is als het gaat om energie zo efficiënt mogelijk te gebruiken. Daarbij speelt niet alleen een rol dat elektriciteit zo goed te transporteren en te doseren is en noodzakelijk is voor de toepassing van de (micro-)elektronica en de apparatuur die processen beter beheersbaar en controleerbaar maakt. Ook een andere aspect is van belang. Elektriciteit heeft namelijk ook in energetisch opzicht een veel hogere kwaliteit dan sommige andere vormen van energie.

Energie wordt gebruikt voor verschillende doeleinden en in verschillende vormen. Energie wordt geproduceerd op

* N.V. samenwerkende elektriciteits-productiebedrijven "Sep".

** Energie Studiecentrum, Petten

Voorbeelden die aangeven waar energiebesparing leidt tot hoger elektriciteitsverbruik.
(uit: "Beantwoording van de gestelde vragen door de vaste commissie voor economische zaken van de Tweede Kamer der Staten Generaal betreffende het E-plan 1991-2000", N.V. Sep. juni 1990)

- de toepassing van mechanische damprecompressie en van centrifugeren en filtratie voor droogprocessen in de voedings- en genotmiddelen- en chemische industrie
- de toepassing van het zogenaamde Luchtmes voor het drogen van mechanisch sterke materialen als aardewerk en metaalplaten
- de toepassing van infraroodverwarming in oppervlakte-droogprocessen in de textiel-, bouw-, grafische en automobielindustrie
- de toepassing van elektronenstraalverwarming in de grafische, papier-, karton-, bouw- en metaalindustrie
- de toepassing van inductieve verwarming voor het smelten, voorverwarmen of harden van metalen in de metaalindustrie. Verder is deze techniek toepasbaar in de papier- en verpakkingindustrie
- de toepassing van boogovens voor het produceren van hoogwaardige staallegingen
- de toepassing van plasmatoortsen in de chemische, cement-, ijzer-, staal- en papierindustrie
- de diëlektrische verwarming van voedsel in de magnetron
- de verdere penetratie van HR-ketels, door aanzuiging van buitenlucht en procesbeheersing
- gecontroleerde ventilatie van gebouwen met warmterugwinning
- toepassing van elektrisch aangedreven warmtepompen voor lage-temperatuurwarmte
- elektrisch openbaar vervoer
- mogelijk de elektrische auto

Tabel 1. Wanneer leidt energiebesparing tot hoger elektriciteitsverbruik?

basis van verschillende "grondstoffen". Op de weg van grondstof naar eindverbruik vinden verschillende energie-omzettingen plaats. Bij deze energie-omzettingen kan niet alleen energie "weglekken" naar de omgeving maar er treedt ook kwaliteitsverlies op. In de energiestatistiek komt dit niet tot uitdrukking. In de energiestatistiek van het CBS worden de energieverliezen bij de elektriciteitsproductie wel duidelijk zichtbaar gemaakt. Bij het finale verbruik vermeldt men echter elektriciteit naast brandstof waardoor de (veel grotere) energieverliezen die optreden bij de omzetting van brandstof naar kracht door de eindverbruiker zelf buiten beeld blijven.

Om de rol die elektriciteit kan vervullen in een efficiëntere energievoorziening in het juiste perspectief te zien is het denken in termen van kwaliteit van groot belang.

Het kwaliteitsbegrip is echter niet alleen van belang voor een juist begrip van de betekenis van elektrische energie. Het is ook onmisbaar voor een juist oordeel over produktiemethoden van (lage-temperatuur-)warmte. In feite kan gesteld worden dat voor energieprocessen in de meest algemene zin het kwaliteitsdenken onmisbaar is om tot optimale keuzes te komen die leiden tot het zo efficiënt mogelijk gebruiken van de energie en die de belasting van het milieu beperken.

Het wordt dan ook tijd dat het kwaliteitsaspect in het energie- en milieubeleid de plaats krijgt die het toekomst, temeer

daar een wetenschappelijk kader hiervoor reeds geruime tijd bestaat. Door middel van exergie-analyse kan de kwaliteit van energie worden bepaald. In dit artikel wordt getracht op een begrijpelijke wijze uiteen te zetten wat voor het beleid het belang is van het begrip "kwaliteit van energie (exergie)" en tevens wordt aangegeven hoe dit begrip in het beleid hanteerbaar kan worden.

Kwaliteit van energie

Energie komt voor in vele vormen: warmte, elektriciteit, bewegingsenergie, chemische energie. Toch wordt voor al deze vormen van energie slechts één maat gebruikt: de hoeveelheid. In statistieken worden hoeveelheden warmte en elektriciteit zonder restrictie bij elkaar opgeteld. Er wordt hierbij geen enkele aandacht geschonken aan het kwaliteitsaspect. Hoeveelheden kracht en warmte bij elkaar optellen komt overeen met het optellen van bijvoorbeeld hoeveelheden staal en ijzererts: totaal x ton. Het zou voor een ieder duidelijk moeten zijn dat dit gegeven weinig relevante informatie bevat. Evenzo is informatie over hoeveelheden energie slechts van beperkt nut zolang geen aanduiding over de kwaliteit wordt gegeven. Wat wordt nu bedoeld met de kwaliteit van energie? Wanneer heeft energie een hoge en wanneer een lage kwaliteit? Hiertoe vergelijken we twee energievormen: kracht en lage-temperatuurwarmte. Met kracht kan in principe nog alles gedaan worden, zoals beweging genereren (transport), verlichten en warmte opwekken op ver-

schillende temperatuurniveaus. Aan kracht wordt dan ook een hoge kwaliteit toegekend. De toepasbaarheid van lage-temperatuurwarmte daarentegen is zeer beperkt. Transport of verlichting genereren zijn hiermee niet meer mogelijk. Afhankelijk van de temperatuur kan bijvoorbeeld gedacht worden aan kas- of woonruimteverwarming. De kwaliteit van lage-temperatuurwarmte is dus duidelijk lager.

Bewust is in het vorige voorbeeld gesproken over *lage*-temperatuurwarmte. De kwaliteit van warmte is namelijk afhankelijk van de temperatuur. Uit hoge-temperatuurwarmte is nog relatief veel kracht te winnen. Daarom wordt een hogere kwaliteit aan warmte toegekend naarmate de temperatuur hoger is. Deze waardering vindt zijn grondslag in de thermodynamica. Hier is aangetoond dat de hoeveelheid kracht die ten hoogste uit een hoeveelheid warmte kan worden gewonnen, kan worden berekend door die hoeveelheid warmte te vermenigvuldigen met de factor:

$$1 - \frac{T_0}{T_{\text{warmte}}}$$

T_0 = absolute omgevingstemperatuur (hiervoor wordt om bepaalde redenen vaak 298 K (25 °C) genomen)

T_{warmte} = absolute temperatuur van de warmte onder beschouwing.

Deze factor heet de Carnot factor of *kwaliteitsfactor*. De hoeveelheid kracht die uit een bepaalde hoeveelheid warmte kan worden gewonnen wordt 'exergie' genoemd. Tabel 2 geeft voor diverse vormen van energie de kwaliteitsfactor en de exergie. Let wel dat de hoeveelheid energie steeds dezelfde is.

Als warmte "omgevingstemperatuur" heeft bereikt, is de kwaliteit gelijk geworden aan 0. Vergelijk bijvoorbeeld de schoorsteenverliezen van ketels en de verliezen in het koelwater van de centrales. De energie zit daar nog in, maar er is niets nuttigs meer mee te doen want de kwaliteit is verloren.

Een maat die veelal voor de efficiëntie van energie-omzettingen wordt gebruikt is "het rendement". Wanneer gesproken wordt over het rendement van een proces, wordt bedoeld op de verhouding tussen de warmte-inhoud van uitgaande en ingaande energiestromen. Ten grondslag hieraan ligt de wet van behoud van energie (Eerste Hoofdwet van de thermodynamica). Dit rendement is een maat die aangeeft in hoe-

Energiehoeveelheid	Vorm	exergie	kwaliteitsfactor
100 MJ	Elektriciteit	100 MJ	1
100 MJ	Warmte van 2000 °C	87 MJ	0,87
100 MJ	Warmte van 1000 °C	77 MJ	0,77
100 MJ	Warmte van 100 °C	20 MJ	0,20
100 MJ	Warmte van 25 °C	0 MJ	0

Tabel 2. Kwaliteitsfactor en exergie voor diverse vormen van energie.

verre de opgewekte energie ook werkelijk ten goede komt aan het bedoelde proces. Een HR-verwarmingketel voor de verwarming van huizen bijvoorbeeld heeft een rendement van 90%. Dit wil zeggen dat 90% van de energie van de gebruikte brandstof terug te vinden is in het warmwatercircuit van de verwarmingsinstallatie en dat 10% de schoorsteen uit is, waar de energie uitstraalt naar de omgeving en de omgevingstemperatuur aanneemt. Feitelijk is hierbij de energie alleen van vorm veranderd. De chemische energie uit de brandstof is omgezet in warmte van 70 °C (warmwater circuit) en omgevingswarmte (rookgassen na afkoeling aan de lucht). Aangezien 10% van de primaire energie niet is overgedragen op het bedoelde proces is het echter gebruikelijk te stellen dat er 10% "verloren" is gegaan.

Er is echter bij de energie-omzetting ook een ander effect opgetreden en dat is niet minder belangrijk. De gebruikte brandstof (aardgas) kan bij verbranding een temperatuur genereren van zo'n 2000 °C. Deze warmte kan bijvoorbeeld worden gebruikt voor elektriciteitsproductie, er kan kracht mee worden opgewekt. De energie in de brandstof heeft voor de verbranding nog een hoge kwaliteit. Bij woonruimte-verwarming wordt warmte geproduceerd van slechts zo'n 70 °C. Deze warmte heeft een veel lagere kwaliteit. Door gebruik van het aardgas voor een lage temperatuurtoepassing is dus een aanzienlijke kwaliteitsdegradatie opgetreden die niet meer ongedaan kan worden gemaakt. Naast het effect, dat niet alle energie wordt aangewend voor het beoogde doel (energie"verliezen"), treedt bij elke energie-omzetting een kwaliteitsdegradatie op. Elke hoeveelheid energie die op een bepaald tijdstip uit brandstof is vrijgemaakt, verschijnt uiteindelijk, via allerlei omzettingen, als warmte op omgevingstemperatuur. De hoeveelheid blijft, maar de kwaliteit is verdwenen! Het bereiken van een hoog kwantitatief rendement is dan ook niet moeilijk wanneer aan de kwaliteit geen aandacht hoeft te worden besteed. Het omzetten

van een hoeveelheid energie (in welke vorm dan ook) naar warmte van omgevingstemperatuur kan dan ook altijd met een (kwantitatief) hoog rendement (van tegen de 100%) gebeuren. Pas wanneer energie van een hoge kwaliteit moet worden geproduceerd (bijvoorbeeld: elektriciteit, kracht in een auto-motor) worden door de natuurwetten grenzen gesteld. Het bereiken van een hoog kwantitatief rendement is hier veel moeilijker.

Het maximaal haalbare kwantitatieve rendement voor het opwekken van energie met een hoge kwaliteit (kracht) is afhankelijk van de technologische mogelijkheden en wordt met name bepaald door de maximale procestemperaturen die kunnen worden toegepast.

Voorbeelden van processen, kwantitatief en kwalitatief bekeken

Een indruk van de efficiency van energie-omzettingen kan worden verkregen met zgn. kwantiteit-kwaliteit-

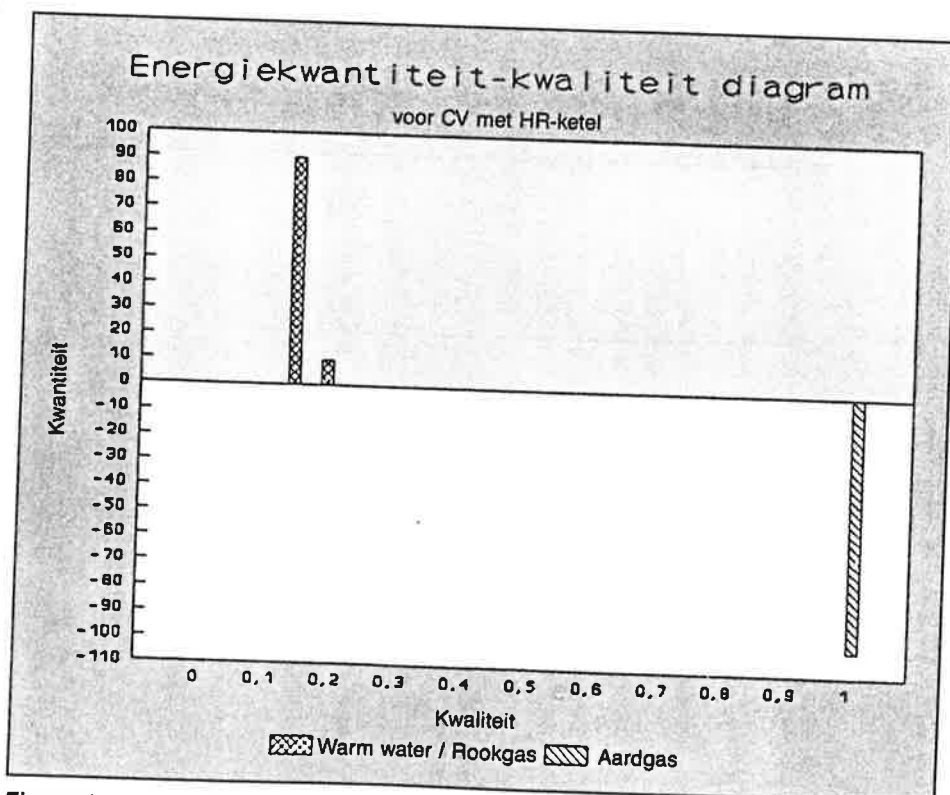
diagrammen. In deze diagrammen staan voor alle relevante processtromen de energiekwantiteit (enthalpie) weergegeven met hun kwaliteit. Op de horizontale as staat de kwaliteit van de energiestroom weergegeven, variërend van nul (bijvoorbeeld warmte van omgevingstemperatuur) tot 1 (bijvoorbeeld elektriciteit/kracht). Verticaal staat de energiekwantiteit weergegeven (voor praktische toepassingen komt dit begrip energiekwantiteit overeen met de enthalpie). Negatieve waarden geven input in het beschouwde systeem weer, positieve waarden uitgaande energiestromen. Wanneer alle stromen van een systeem worden weergegeven is de som van alle kwantiteitwaarden (enthalpieën) nul (wet van behoud van energie).

Achtereenvolgens komen aan de orde:

- verwarming met een HR-ketel;
- STEG-WKC met aangesloten stadsverwarmingsnet;
- STEG/E geoptimaliseerd op elektriciteitsproductie;
- warmtelevering met stadsverwarming;
- elektrisch aangedreven warmtepomp.

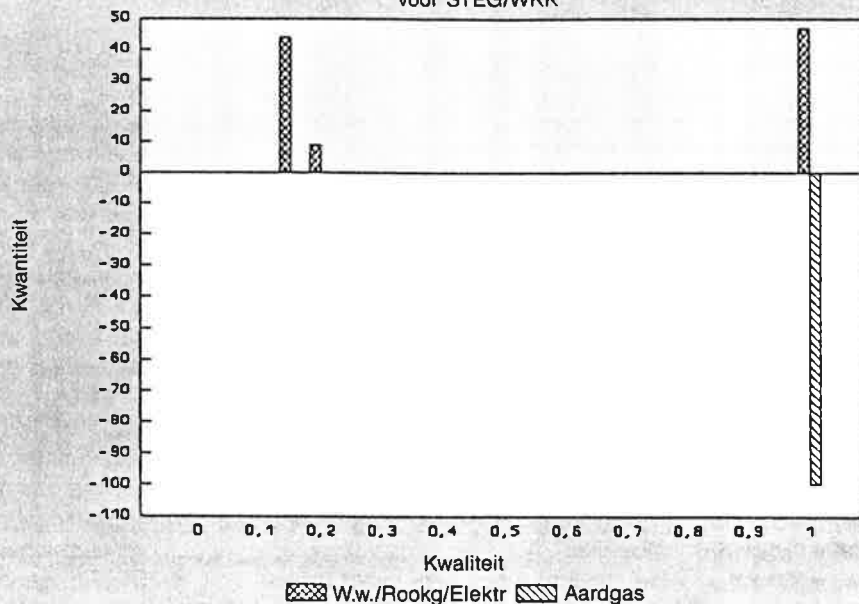
(De schaal van de y-as is niet in alle gevallen hetzelfde!)

Figuur 1 geeft de situatie voor een HR-ketel. De negatieve balk rechts in het diagram geeft de aardgasinput weer. De kwaliteit van aardgas is hoog vandaar de balk rechts in het diagram. Links in



Figuur 1. Verwarming met HR-ketel

Energiekwantiteit-kwaliteit diagram voor STEG/WKK



Figuur 2. STEG/WKC, met aangesloten stadsverwarmingsnet

het diagram staan twee positieve balken. Deze geven de warmwater productie (hoge balk) en de rookgasverliezen weer. Uit de hoogte van de balken kan het conventionele warmerendement worden bepaald. Er gaan 100 eenheden aardgas de ketel in, waarvan er 90

in het warme water worden teruggevonden: het warmerendement is 90%. Ook blijkt duidelijk de kwaliteitsdegradatie die optreedt wanneer aardgas wordt ingezet voor lage temperatuuropwekking. De hoge kwaliteit van de aardgasbalk, rechts in het diagram, is vrijwel in

zijn geheel omgezet in lage kwaliteit warmte, links op het diagram (warmwater voor verwarming en rookgassen). Het totale nuttig effect voor het proces kan worden bepaald door voor alle (nuttige) stromen de energiewaarde te vermenigvuldigen met de kwaliteitsfactor en de verkregen waarden voor uitgaande en ingaande stromen op elkaar te delen.

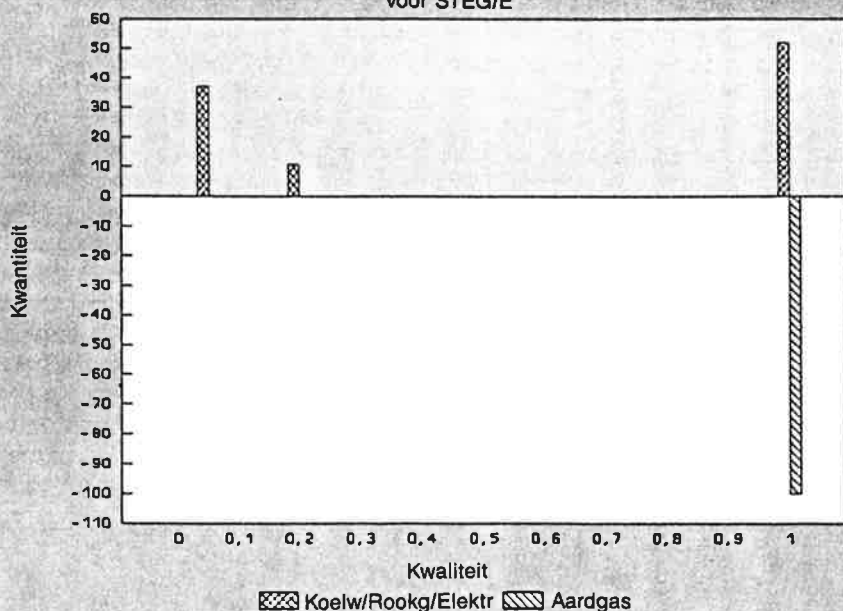
$$\text{Totaal nuttig effect} = \frac{\text{nuttige energie} \times \text{kwaliteitsfactor}}{\text{energie-input} \times \text{kwaliteitsfactor}}$$

Voor het bovenstaande voorbeeld betekent dit:

$$\text{Nuttig effect} = \frac{90 \times 0,15}{100 \times 1} = 0,14$$

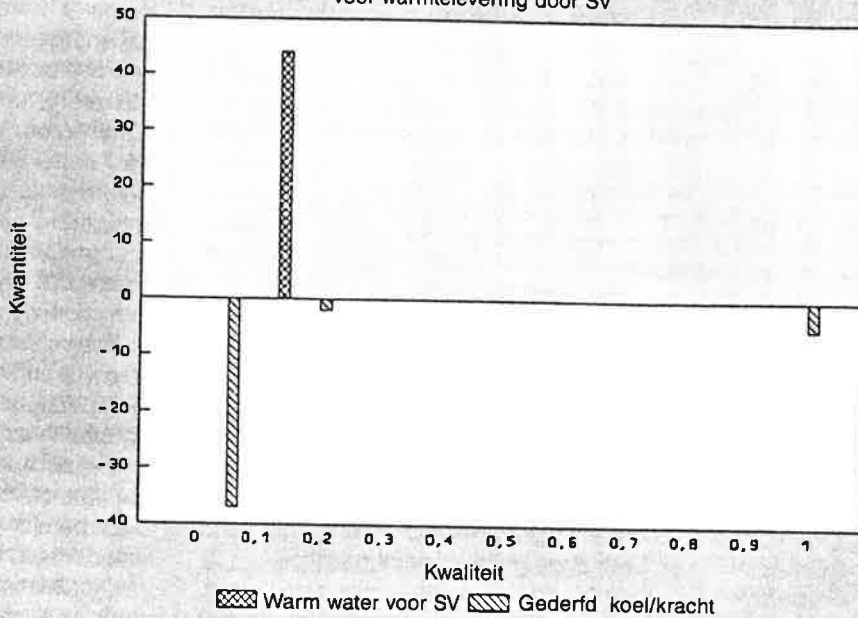
Interessant zijn de figuren 2 en 3. Figuur 2 toont de situatie voor stadsverwarming met een STEG-WKC. Figuur 3 toont een STEG-eenheid die geoptimaliseerd is op elektriciteitsproductie. Bij de stadsverwarmingseenheid zijn 5 eenheden kracht (van 100 eenheden energie-inzet) opgeofferd om warmte van een voldoende hoge temperatuur te kunnen leveren voor het verwarmingscircuit. De elektriciteitspiek - de meest rechtse positieve piek - bij figuur 3 is 5 eenheden hoger; in plaats van de koelwaterpiek (meest linkse positieve piek bij een temperatuur net boven de omgevings temperatuur) geeft figuur 2 een

Energiekwantiteit-kwaliteit diagram voor STEG/E



Figuur 3. STEG/E, geoptimaliseerd op elektriciteitsproductie.

Energiekwantiteit-kwaliteit diagram
voor warmtelevering door SV



Figuur 4. Warmtelevering met stadsverwarming (door "aftap" uit een elektriciteitscentrale met STEG-eenheid).

warmwaterpiek bij hogere kwaliteit (temperatuur).

$$\text{Nuttig effect STEG/WKC} = \frac{47 \times 1 + 43 \times 0.15}{100 \times 1} = 0.53$$

$$\text{Nuttig effect STEG/E} = \frac{52 \times 1}{100 \times 1} = 0.52$$

Hieruit blijkt dat het al of niet toepassen van stadsverwarming niet of nauwelijks van invloed is op het nuttig effect van een STEG-eenheid.

Interessant is het nu de warmtelevering uit deze STEG-eenheid nader te beschouwen. Het resultaat hiervan is weergegeven in figuur 4.

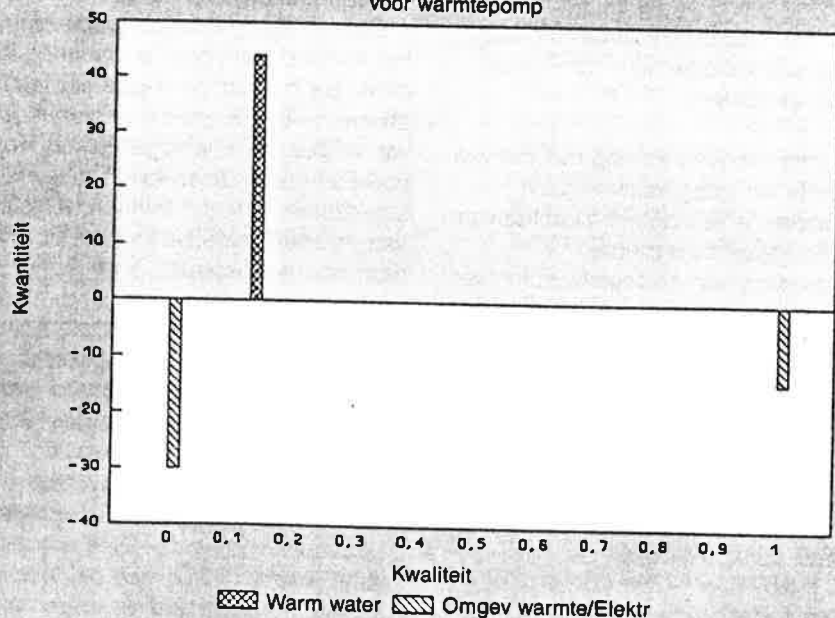
Dit diagram ontstaat door de twee diagrammen uit figuur 2 resp. 3 van elkaar af te trekken. Rechts in het diagram staat de gederfde kracht (negatief, want dit moet worden beschouwd als een input in het systeem), links in het diagram het niet geproduceerde koelwater (negatief) en het warme water voor het stadsverwarmingsnet (positief). De lage piek bij kwaliteit = 0.2 geeft aan dat bij stadsverwarming de rookgassen nog iets verder benut kunnen worden. De piek geeft de extra benutting ten opzichte van STEG/E.

Figuur 4 is in principe heel goed bruikbaar voor vergelijking met warmtelevering met een (HR-)ketel (figuur 1) of een warmtepomp (figuur 5)

Het principe van de warmtepomp blijkt duidelijk: inzet van kracht en lage-temperatuurwarmte (of omgevingswarmte) om warmte van een hogere temperatuur te leveren. Het blijkt dat warmtelevering door aftap uit een elektriciteitscentrale een goede concurrent is van

toepassing van de warmtepomp. Namelijk, door direct gebruik van de warmte worden twee bronnen van kwaliteitsreductie vermeden: het winnen van elektriciteit uit de resterende warmte en het opwaarderen van omgevingswarmte naar een hogere temperatuur door

Energiekwantiteit-kwaliteit diagram
voor warmtepomp



Figuur 5. Warmtelevering door middel van een elektrisch aangedreven warmtepomp.

energie-toepassing	kwantitatief rendement	totaal nuttig effect
CV met HR ketel	90%	14%*
STEG-installatie	52%	52%
STEG voor WKK	85%	53%
Gasmotor voor WKK	85%	45%
Warmtelevering door SV (5% leidingverliezen)	95% (860%)*	89%
Warmtepomp	ca. 100% (330%)	50%

* Dit geeft het rendement weer van warm waterproductie van 90 °C. Wanneer de uiteindelijke prestatie van de HR-ketel zou worden beschouwd (het verwarmen van een ruimte tot bijvoorbeeld 10 graden boven de omgevingstemperatuur) dan zou het exergierendement in de buurt van de 4% liggen!

** De getallen tussen haakjes gelden als de energiehoeveelheden van de omgevingstemperatuur waarvan de lozing wordt vermeden, resp. die aan de omgeving worden onttrokken niet als energie-input worden meegeteld.

Tabel 3. Energie-omzettingen met kwantitatief rendement en totaal nuttig effect.

gebruik van elektriciteit.

Voor de hier beschouwde voorbeelden kunnen uit de diagrammen de volgende kwantitatieve rendementen worden bepaald:

Nuttig effect van warmtelevering door:

$$\text{- stadsverwarming SV} = \frac{43 \times 0,15}{5 \times 1 + 37 \times 0,5} = 0,94$$

$$\text{- warmtepomp} = \frac{43 \times 0,15}{13 \times 1 + 30 \times 0} = 0,50$$

Deze benadering is echter te globaal om specifieke uitspraken over toepassing van WKK of warmtepompen te doen. Voor de duidelijkheid van de diagrammen zijn bijvoorbeeld leidingverliezen weggelaten. Het werkelijke nuttige effect van warmtelevering door SV zal dus iets lager zijn. Voor de warmtepomp is een warmtefactor 3,3 gebruikt.

Uit de voorgaande beschouwing kunnen een aantal algemene conclusies worden getrokken:

- (woonruimte)verwarming met conventionele aardgasgestookte (CV)-systemen is van de hier beschouwde opties veruit de slechtste.
- Toepassing van stadsverwarming verbetert nauwelijks het kwaliteitsrendement van een elektriciteitscentrale maar levert wel een aanzienlijke verbetering van het nuttig effect van de warmtelevering.
- Ook elektrische warmtepompen hebben voor levering van lage-temperatuurwarmte een veel beter nuttig effect dan (c.v.-)ketels.

Eén en ander blijkt nog eens duidelijk uit tabel 3 waarin voor een aantal energietoepassingen het kwantitatief rendement en het exergierendement (kwali-

teitsrendement) is weergegeven. Deze rendementen zijn gebaseerd op de onderste verbrandingswaarde. Voor deze getallen geldt dezelfde restrictie die al eerder is genoemd: er is slechts een benadering nagestreefd niet een gedetailleerde uitwerking. De effecten van het juist gebruiken van het kwaliteitsbegrip zijn echter zo groot dat de getallen en conclusies zeker een gedetailleerde beschouwing kunnen doorstaan.

Hantering van het kwaliteitsbegrip

In de voorgaande paragraaf is geschetst wat wordt bedoeld met "de kwaliteit van energie". Voor een efficiënt energie-gebruik dient het kwaliteitsdenken een plaats te krijgen binnen het energie(besparings)beleid. De (hoofd)doelstellingen voor dit beleid kunnen als volgt worden geformuleerd:

- Beperk energieverliezen;
- Beperk energiekwaleitsverliezen.

Het hanteren van deze benadering leidt er toe dat met zo min mogelijk primaire energie in de integrale energiebehoefte van de (lees: alle) eindgebruikers wordt voorzien omdat zowel kwantitatieve als kwalitatieve verliezen (binnen het totaal van de energievoorziening) tot een minimum worden beperkt.

Bovenstaande is heel bondig de essentie van een consistent op efficiënt gebruik van energie gericht beleid. Wat dit bijvoorbeeld zou kunnen betekenen in meer concrete zin, wordt hieronder puntsgewijs weergegeven:

- Er moet naar worden gestreefd dat een zo groot mogelijk deel van de ingezette energie ook werkelijk zijn doel bereikt. Niet alleen bij de conversie van primaire energie, maar ook bij het eindverbruik (van welke energievorm dan ook) dient dit te worden nagestreefd.

- Van fossiele brandstoffen (die het grootste deel van het Nederlandse energiegebruik uitmaken), dient altijd zoveel mogelijk de hoge kwaliteit benut te worden. In principe moet er bij energie-omzetting naar gestreefd worden zo veel mogelijk kracht te produceren.

- Directe verbranding van hoogwaardige (fossiele) brandstoffen voor lage-temperatuurverwarming moet zo veel mogelijk worden vermeden vanwege het grote kwaliteitsverlies dat daarbij optreedt.

- Verwarming dient zo veel mogelijk te gebeuren met gebruik van warmte die vrijkomt op een dichtbij gelegen temperatuur. Daarnaast komt ook het gebruik van kracht in aanmerking: ofwel doordat warmte wordt afgetapt uit een elektriciteitscentrale ten koste van een (zo klein mogelijke) hoeveelheid kracht, ofwel door toepassing van (elektrisch aangedreven) warmtepompen, waarmee warmte op het gewenste kwaliteitsniveau wordt gebracht.

Uiteraard geldt ook bij deze benadering dat er in de praktijk randvoorwaarden zullen worden gesteld door technologie en economische en institutionele factoren.

Het betrekken van kwaliteit in het energiebeleid betekent tevens dat moet worden afgerekend met een aantal opvattingen die veelal thans nog heersen, bijvoorbeeld:

"Elektriciteitsproductie zonder restwarmtebenutting moet niet worden nagestreefd wegens het relatief lage rendement."

Deze stelling is **onwaar**. Elektriciteitsproductie zonder warmtebenutting heeft een nuttig effect dat nauwelijks lager is dan elektriciteitsproductie met warmtebenutting. Benutting van de restwarmte die vrijgemaakt kan worden bij de elektriciteitsproductie is zinvol als deze warmte in de plaats kan komen van warmteproductieprocessen met een laag nuttig effect en is dan ook alleen zinvol zolang er voldoende vraag is naar lage-temperatuur-warmte.

"Warmte/kracht-productie is altijd beter dan elektriciteitsopwekking zonder warmtebenutting en dient daarom te worden bevorderd."

Ook dit is **niet waar**. Als warmte/krachtproductie plaatsvindt met een laag rendement voor "kracht" (zoals bij gasmo-

toren en gasturbines) is het kwaliteitsoffer groot. Een juistere formulering zou zijn: warmte/kracht-productie is (altijd nog) beter dan uitsluitend warmteproductie door directe verbranding van brandstoffen. Het is daarom een verkeerde beleidsdoelstelling warmte/kracht te bevorderen zonder te letten op de uitvoering. Beter zou zijn het direct gebruik van brandstof voor lage temperatuurwarmte te ontmoedigen.

Ter illustratie

Eén en ander wordt toegelicht aan de hand van een voorbeeld. Bij de uitwerking van dit voorbeeld is niet nagestreefd een "eindplaatje" uit te rekenen, als ware het een toekomstscenario dat moet worden nagestreefd. Het is dan ook vooralsnog een zeer globale benadering, ons inziens echter voldoende om te illustreren waar de kwaliteitsbenadering toe leidt, hetgeen het doel is van dit artikel. Uiteraard is het ook voor de opstellers van dit artikel duidelijk dat de werkelijkheid veel gecompliceerder is. Ook economische factoren en de problemen rond het aan elkaar koppelen van verschillende systemen spelen daarbij een rol. Duidelijk blijkt uit het voorbeeld dat als energiebesparing en CO₂-emissiebeperking belangrijk worden, het kwaliteitsbegrip een onmisbaar onderdeel van het energiedenken moet worden. Het kwaliteitsbegrip moet een gelijkwaardige plaats hebben naast het gebruikelijke kwantiteitsbegrip, omdat alleen op deze manier optimale keuzes kunnen worden gemaakt.

Primaire energie	Finaal verbruik
650 PJ brandstof	→ { 270 PJ elektriciteit 130 PJ (rest)warmte
1100 PJ brandstof	→ 1100 PJ warmte
400 PJ brandstof	→ 400 PJ vervoer
2150 PJ brandstof	1900 PJ totaal

Tabel 4. Energiegebruik in Nederland (globaal)

Tabel 4 geeft de primaire energie-input in de sectoren elektriciteits- en warmte-opwekking en transport. Tevens is het finaal verbruik weergegeven. In deze situatie gaat veel van de kwaliteit verloren door het inzetten van hoog kwalitatieve brandstof voor lage temperatuurtoepassingen. Merk op dat de statistiek geen onderscheid maakt tussen finaal verbruik en primaire inzet in de sectoren warmte en transport.

Beschouw nu de volgende situatie. Het bestaande elektriciteitsproductievermogen wordt gehandhaafd. Daarnaast

wordt nog eens 550 PJ in STEG/WKK-eenheden verstoekt. Dit levert 260 PJ elektriciteit en 240 PJ warmte. Deze warmte wordt door stadsverwarming gedistribueerd. Dit voldoet echter nog lang niet aan de warmtevraag van in totaal 1230 PJ. Ook wordt meer elektriciteit geproduceerd dan nodig is. Stel dat deze elektriciteit wordt gebruikt om warmte uit de omgeving op te pompen tot een nuttig niveau. Uit de kwaliteit-kwantiteit diagrammen (Fig. 1 t/m 5) bleek al dat deze manier van verwarmen exergetisch gunstiger kan zijn dan gebruik van brandstof in ketels, nl: 260 PJ elektriciteit vermeerderd met 600 PJ omgevingswarmte levert door middel van warmtepompinzet 860 PJ warmte. In deze situatie wordt aan hetzelfde vraagpatroon voldaan als bij conventionele gescheiden opwekking. Echter het brandstofverbruik is 550 PJ lager!

650 PJ brandstof	→	270 PJ elektriciteit
		130 PJ (rest)warmte
550 PJ brandstof	→	260 PJ elektriciteit
		240 PJ warmte
Warmtebalans		
bestaande STEG/WKK		130 PJ
aanvullende STEG/WKK		240 PJ
warmtepomp		860 PJ
Totale warmtebehoefte		1230 PJ

Tabel 5. Schatting van het binnenlands energiegebruik voor elektriciteits- en warmteopwekking ter illustratie van genoemde acties.

In tabel 4 is t.o.v. finale verbruik geen omzettingsrendement gehanteerd. In tabel 5 zijn geen distributieverliezen aangegeven d.m.v. warmte-opwekking van stadsverwarming en warmtepompen.

Vergelijking van tabel 4 en 5 maakt duidelijk dat in het laatste geval 550 PJ per jaar op primaire brandstofinzet wordt bespaard, terwijl de elektriciteitsproductie met 96% toeneemt. In tabel 6 is weergegeven wat het effect voor heel Nederland is.

Voor de totale Nederlandse situatie neemt het overall energieverbruik met 26% af, terwijl de elektriciteitsproductie met 96% toeneemt!

In dit voorbeeld bedraagt de hoeveelheid vermeden CO₂ 31 megaton terwijl de doelstelling van het NMP+ 11 megaton bedraagt.

Uiteraard zijn in deze schets geen economische of logistieke factoren meegenomen. Wel blijkt duidelijk wat voor invloed kwaliteitsdenken zou moeten hebben op het energiebeleid.

Primaire brandstof	
Bestaande situatie	
650 PJ brandstof	(voor elektriciteitsopwekking in STEG/E en STEG/WKK)
1100 PJ brandstof	(voor warmte)
400 PJ brandstof	(voor transport)
2150 PJ	om aan finale vraag te voldoen
Alternatieve situatie	
1200 PJ brandstof	(waarvan 550 PJ in extra STEG/WKK)
400 PJ brandstof	(voor transport)
1600 PJ	om aan finale vraag te voldoen

Tabel 6. Effect voor heel Nederland.

Concluderend kan het volgende gesteld worden:

- 1 Er bestaat geen paradox tussen een toenemend elektriciteitsgebruik en verlaging van de primaire brandstofinzet. Het één zou wel eens een voorwaarde voor het ander kunnen blijken te zijn.
- 2 Het denken in termen van kwaliteit van energie, het streven naar het beperken van kwaliteitsdegradatie ter aanvulling van de reeds gehanteerde denkwijze over energiebesparing is essentieel voor de formulering van een consistent energiebesparingsbeleid.
- 3 Een grote besparing op het gebruik van primaire energie en verlaging van de milieubelasting kan worden bereikt indien:
 - A primaire energie zoveel mogelijk wordt omgezet in een energiedrager van hoge kwaliteit, onder meer elektriciteit door middel van centrales met zo hoog mogelijk rendement;
 - B de benodigde warmte zoveel mogelijk wordt betrokken uit restwarmte door middel van warmtekracht/koppeling en/of stadsverwarming en van industriële processen;
 - C omgevingsenergie en (industriële) afvalwarmte door middel van warmtepompen op voor verwarmingsdoeleinden geschikt temperatuurniveau worden gebracht.

De aandrijfenergie van de warmtepompinstallaties dient dan eveneens door elektriciteitscentrales te worden opgewekt, die een hoog rendement hebben en waarvan zo mogelijk ook de restwarmte nuttig wordt gebruikt.