

---

# Verbruik, misbruik of gebruik?

Ir. J. Claus

---

# Verbruik, misbruik of gebruik?

Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van buitengewoon hoogleraar in de 'Energie-analyse' aan de Technische Hogeschool Eindhoven op 25 oktober 1985 door

Ir. J. Claus

*De garantie dat energie nooit verloren gaat is  
geen reden om er achteloos mee om te springen.*

Dames en heren,

Over energie en daaraan verwante gebieden is de laatste jaren een gigantische hoeveelheid informatie verstrekt zowel in de vakliteratuur als in de publiciteitsmedia.

In Nederland werd een climax bereikt met de 'Brede Maatschappelijke Discussie over Energiebeleid', die onder het motto 'Energie te belangrijk om alleen aan deskundigen over te laten' werd georganiseerd. [1].

Voor een hoogleraar in de Energie-analyse heeft deze ontwikkeling een bijzondere betekenis. Het betekent, dat niet de relevantie van zijn vakgebied ter discussie staat, maar de inhoud ervan, gezien de deelname van 42.000 mensen aan de MDE, blijkbaar wel. Het betekent ook, dat veel van de toehoorders bij zijn intrede een behoorlijke kennis van de problematiek hebben, zodat de 'nieuws-waarde' van de rede voor hen gering zal zijn.

Dat ik mij toch in uw midden heb gewaagd, is enerzijds een gevolg van de traditie, anderzijds van de opvatting dat, nu in de afdeling Bedrijfskunde de produktiefactor Energie met een buitengewone leerstoel is erkend, een formele start van het onderwijs en het onderzoek op dit gebied geboden is.

Het is mijn bedoeling om met u in het komende uur een aantal aspecten van het energievraagstuk te behandelen, die naar mijn mening van belang zijn voor het beantwoorden van de vragen:

- Waarom zijn onderwijs en onderzoek naar het energiegebruik van 'Technische Produktie Systemen' nodig?
- Waarop dienen onderwijs en onderzoek zich te richten?

De eerste vraag stelt de relatie tussen de industriële produktie en energie aan de orde. We kunnen daarbij drie soorten relaties onderscheiden:

- De industrie als leverancier van energie (primaire brandstof, elektriciteit, warmte of koude).
- De industrie als leverancier van energie-apparatuur.
- De industrie als eindgebruiker van energie.

Voor het werkgebied van de vakgroep Technische Produktie Systemen is de laatste groep de belangrijkste, hoewel een combinatie met de eerste categorie zeker mogelijk is.

De industrie die energie gebruikt in het produktieproces, heeft in feite maar twee belangen:

- Een energievoorziening tegen zo laag mogelijke kosten zowel nu als in de toekomst,
- Een continue energievoorziening.

Deze belangen zijn zo essentieel voor het functioneren en voortbestaan van een onderneming, dat de industrie voor het behartigen ervan speciale verenigingen heeft opgericht, zoals 'Krachtwerktuigen' en 'SIGE'.

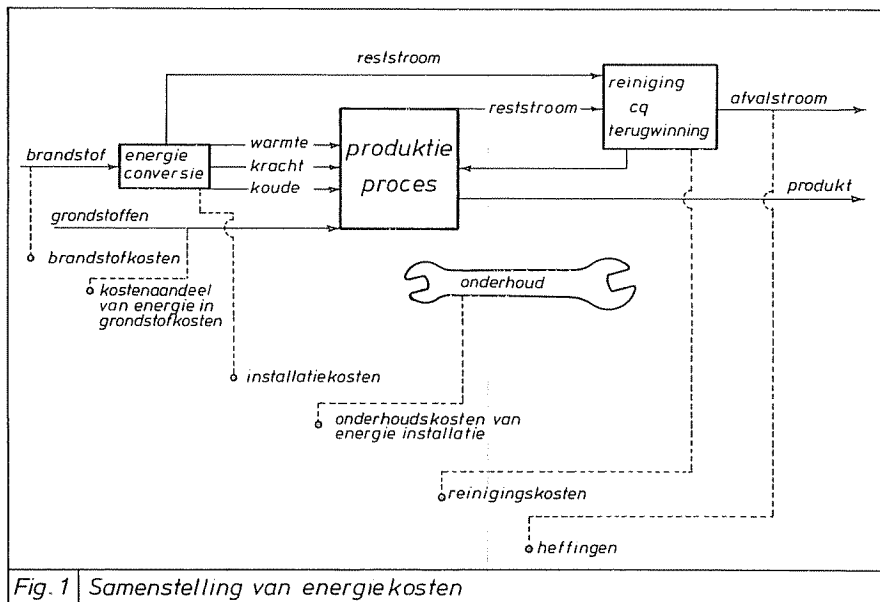
Uit het voorgaande volgt niet, dat de industrie er automatisch naar zal streven de energiekosten in het productieproces zo laag mogelijk te houden. Het gaat bij het ontwerpen van technische produktiesystemen immers om zo laag mogelijke totale kosten en dat is niet altijd synoniem met minimale energiekosten. Zeker is, dat de energiekosten bepalend zijn voor de mate waarin bij het ontwerpen van een produktiesysteem aandacht aan het energiegebruik zal worden besteed. Ik zal daarom nu verder ingaan op een aantal aspecten, die deze kosten bepalen. Alvorens dat te doen is het echter nodig nader toe te lichten wat onder 'energiekosten' moet worden verstaan.

## Energiekosten

De energiekosten waarmee een onderneming rekening moet houden zijn samengesteld uit een aantal componenten waarvan de samenhang in figuur 1 is aangegeven. Dit sterk vereenvoudigde schema laat zien dat niet alleen de brandstofprijs van belang is. Ook de kosten die moeten worden gemaakt voor het aanschaffen en onderhouden van de energieconversie-installatie (bepalend voor de continuïteit in de energievoorziening) en de kosten voor de afvoer van de restprodukten (bepalend voor de milieubelasting), hebben invloed op de uiteindelijke energieprijs. Een overvloed van goedkope brandstof is daarom geen garantie voor een lage energieprijs. Een bijzondere kostenpost is het aandeel van de energie in de grondstofkosten. Het bedrijf heeft daar doorgaans weinig of geen invloed op, maar deze kosten vormen wel degelijk een onderdeel van de energiekosten, die in de uiteindelijke produktprijs moeten worden verrekend.

Energiekosten kunnen we dus omschrijven als:

- 'De kosten, die moeten worden opgebracht om een productiepro-



ces op een veilige, continue en voor het milieu acceptabele wijze te voorzien van de vereiste soort en hoeveelheid energie.'

Een uitputtende beschouwing over de 'energiekosten' en het verwachte toekomstige verloop ervan zou in deze rede natuurlijk te ver voeren. Aan de andere kant is het nut van het onderzoek en het onderwijs in de energieanalyse zo nauw verbonden aan de hoogte van deze kosten, dat het niet verantwoord zou zijn om helemaal niets over dit punt op te merken. Ik wil daarom een tweetal aspecten die van grote invloed zijn op de 'energiekosten' kort met u bespreken. Dit zijn:

- De relatie tussen het energiegebruik en de ontwikkeling van de mens en de consequenties daarvan op de vraag naar energie.
- De relatie tussen het energiegebruik en het milieu.

Ik heb deze aspecten gekozen, omdat ze op de middellange en lange termijn van belang zijn, want het is deze termijn waarvoor studenten hun kennis vergaren. Onderwijs en onderzoek dienen daarop te worden afgestemd en niet op de korte-termijnontwikkelingen van de brandstofprijzen waarop publiciteitsmedia en politici maar al te gauw hun mening baseren.

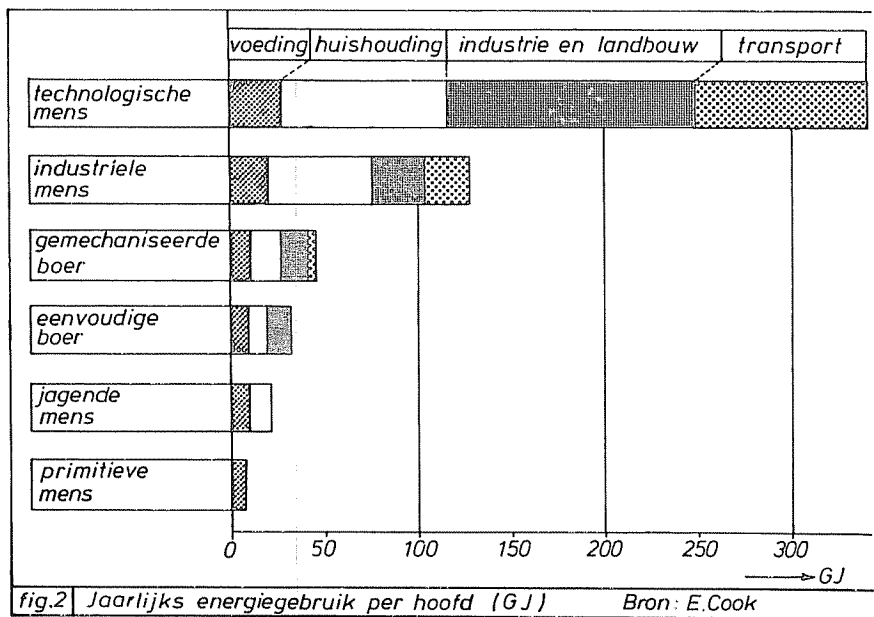
## Energie en ontwikkeling

Het eerste punt, dat ik met u wil bespreken, is de verwachte toename in de vraag naar energie tengevolge van de verdere ontwikkeling van wat doorgaans de 'Derde Wereld' wordt genoemd.

Ik wil dat doen aan de hand van figuur 2, die is ontleend aan het artikel van Earl Cook 'The flow of Energy in an Industrial Society' [2] en op basis van een overzicht over de verdeling van het energiegebruik op aarde dat is opgesteld door de IASA. [3]. (Voor meer gedetailleerde informatie over het huidige energiegebruik van ontwikkelingslanden zij verwezen naar [4].

Deze figuur laat zien, dat het energiegebruik van de primitieve mens van circa 10 GJ/jaar volledig wordt aangewend voor voedingsdoeleinden. Bij voortschrijdende ontwikkeling neemt het energiegebruik toe tot 350 GJ/jaar, ondermeer omdat voor industriële produktie en transport veel energie nodig is.

Ter oriëntatie: Het gemiddeld energiegebruik van een inwoner in Nederland bedroeg in 1600 ongeveer 17 GJ/jaar [5] en ligt thans rond 200 GJ/jaar.



Het gemiddelde energiegebruik per bewoner in de ontwikkelingslanden in Zuid-Oost Azië en Midden Afrika bedraagt thans 7 GJ/jaar. Dit ligt beneden het minimum om te overleven, dat wordt geschat op 9-12 GJ/jaar en ver onder het niveau van 35 GJ/jaar dat door de UNIDO [6] wordt aangegeven als noodzakelijk voor het vervullen van de basisbehoeften van de mens. Onder basisbehoeften dient hier voldoende voedsel en onderdak te worden verstaan. Op de schaal van figuur 2 komt dit niveau overeen met dat van de eenvoudige boer.

Een verhoging van het energiegebruik in de ontwikkelingslanden tot dit niveau zou op basis van de huidige verdeling van het energiegebruik in de wereld leiden tot een toename van dit gebruik met 25%. De vraag wanneer dit niveau in de ontwikkelingslanden zal kunnen worden bereikt is moeilijk te beantwoorden.

Op de in 1980 gehouden 11e Wereld Energie Conferentie [7] werd voorspeld, dat de gemiddelde groei van het energiegebruik in de ontwikkelingslanden ruim 4% per jaar zou bedragen. Op deze basis zou het vereiste niveau in het jaar 2020 zijn bereikt. De 12e Wereld Energie Conferentie van 1983 [8] komt echter tot de uitspraak, dat in het jaar 2020 de helft van de wereldbevolking nog maar op een niveau van 20 GJ/jaar zal leven; een peil dat weliswaar hoger ligt dan het bestaansminimum, maar zeker geen voldoende basis vormt voor een op eigen kracht beginnende industriële ontwikkeling. Dit is een ernstige zaak, ook voor de geïndustrialiseerde landen, omdat een reële markt voor hun produkten alleen dan tot stand zal komen, wanneer het eerder genoemde niveau van 35 GJ/jaar wordt overschreden.

De rijke landen zullen zich daarom moeten inspannen om een groei in het energiegebruik van de onderontwikkelde landen mogelijk te maken. Waar moeten die inspanningen zich op richten? Het is genoegzaam bekend dat hout, de belangrijkste energiebron voor ontwikkelingslanden, al in onvoldoende mate beschikbaar is om in de behoefte voor voedselbereiding te voorzien. Van toepassing voor minder urgente behoeften is derhalve geen sprake. Zonne-energie lijkt wel een adequate oplossing, maar als massaal toe te passen energiebron voor een industriële ontwikkeling is deze ongeschikt en veel te kostbaar.

Waterkracht is alleen economisch bruikbaar op relatief korte afstand van de plaats waarop hij beschikbaar is.

Biogas kan slechts in beperkte mate aan de behoefte voldoen. De beschikbaarheid van deze brandstof staat bovendien sterk onder druk tengevolge van de vraag naar mest en landbouwafval ten behoeve van kookdoeleinden.



Windenergie tenslotte is maar beperkt toepasbaar, voornamelijk in de landbouw [9].

De energie die nodig is om de verdere ontwikkeling te stimuleren, zal beschikbaar moeten komen in de vorm van een goedkope en goed te transporteren fossiele brandstof.

Nu hebben de meeste ontwikkelingslanden voorzover nu bekend zelf onvoldoende reserves aan deze brandstoffen, zodat ze aangewezen zijn op de internationale markt, waaruit ook de geïndustrialiseerde landen hun energie putten, en daarmee zijn we gekomen bij het dilemma dat de ontwikkelingslanden voor hun ontwikkeling zijn aangewezen op energie, die alleen voor een voor hen onbetaalbare prijs kan worden gekocht. Wat dat betreft verschilt hun positie fundamenteel van de landen in Europa en van Amerika, die zich tot het huidige niveau hebben kunnen ontwikkelen door de beschikbaarheid van grote hoeveelheden energie tegen prijzen die in geen verhouding stonden tot het huidige prijsniveau.

De Indiase premier Ghandi stelde in haar openingsrede tot de 12e Wereld Energie Conferentie in New Dehli terecht vast, dat de energievoorziening zo belangrijk is voor de verdere ontwikkeling van de mensheid, dat het een kernpunt van de internationale samenwerking zou moeten zijn.

Indien de rijke landen de ontwikkeling van de 'Derde Wereld' werkelijk willen bevorderen - en dat is van levensbelang voor hun eigen economie - zullen ze er naar mijn mening voor moeten zorgen, dat de ontwikkelingslanden goedkope energiedragers ter beschikking krijgen. Hulp in deze vorm beantwoordt beter aan zijn doel dan het achteraf sturen van geld.

Voor de economie van de rijke landen betekent dit, dat het aanbod van goedkope energiedragers zal afnemen en dus, dat de brandstofprijs zal stijgen. Dit zal resulteren in een nieuwe stimulans om het eigen energiegebruik te beperken en nieuwe energiebronnen te ontwikkelen.

## Energie en Milieu

Het tweede aspect dat ik aan de orde wil stellen, is de relatie tussen het energiegebruik en het milieu. Aan energieconversie is onlosmakelijk een aantal milieuproblemen gerelateerd waarmee, willen we de energieconversie maatschappelijk aanvaardbaar houden, rekening moet worden gehouden. Ik noem in willekeurige

volgorde: de afvalstoffenproblematiek, de luchtverontreiniging, de geluidshinder, de produktie van warmte en de zogenaamde optische vervuiling.

Voor al deze milieuproblemen geldt, dat ze minder ernstig zullen zijn naarmate er minder energie wordt gebruikt. Primair moet bij iedere milieuanalyse dan ook de vraag worden gesteld, of de energievraag wel is geminimaliseerd, of anders gezegd of de opgewekte energie wel op verantwoorde wijze wordt gebruikt. Voor de meeste milieuproblemen zijn maatregelen denkbaar, die het probleem verminderen of opheffen. Alleen de warmteproduktie is daarop een uitzondering.

De eerste hoofdwet van de thermodynamica leert dat bij energieconversie uiteindelijk alle aan het systeem toegevoerde energie in de vorm van warmte in de omgeving terecht komt. Energie wordt dus niet verbruikt. Beperking van het energiegebruik is hier de enige bestrijdingsmaatregel. In het algemeen wordt aan deze vorm van milieubelasting alleen aandacht besteed bij zeer hoge plaatselijke warmtelozingen. De diffuse warmte- emissie in grote industriële gebieden of stedelijke bebouwingen bereikt echter warmtestroomdichtheden die vergelijkbaar zijn met of groter zijn dan de natuurlijke warmtebelasting door zonnestraling, zodat lokale klimaatbeïnvloeding ontstaat [10]. Vermindering van het energiegebruik is hier de enige oplossing.

Op dit moment is de problematiek van de zure depositie actueel. Hoewel de eerste waarschuwingen al vele jaren geleden werden gegeven, is men zich nu, na het zichtbaar worden van de effecten op de bossen, pas goed bewust geworden van de ramp, die zich aan het voltrekken is. De consequentie is, dat tal van maatregelen worden voorgesteld waarmee de uitstoot van  $\text{SO}_2$  en  $\text{NO}_x$  moet worden verminderd. Het indicatief meerjarenplan 'Lucht' van het Ministerie van VROM [11] spreekt in dit verband van een noodzakelijke vermindering van de uitworp van deze componenten met een factor 3 à 4 (een reductie met 60 - 75%). De vastgestelde maatregelen worden nodig geacht om de emissie terug te brengen tot het niveau van vóór 1950, waarvan vooralsnog wordt gesteld, dat toen vermoedelijk geen aanmerkelijke schade aan materialen is opgetreden.

De kosten, die met deze maatregelen gemoeid zijn, worden voor het jaar 2000 geschat op ruim 700 miljoen gulden per jaar. Hiervan heeft een bedrag van 400 miljoen gulden betrekking op de industriële energie-opwekking. Het genoemde bedrag dient als een minimum te worden beschouwd, omdat in de gemaakte schattin-

gen een aantal maatregelen nog niet nader is uitgewerkt. Het Nederlandse bedrijfsleven wordt uiteindelijk geconfronteerd met de eigen kosten voor de bestrijdingsmaatregelen en met de doorberekening van de kosten die elektriciteitsbedrijven en de oliemaatschappijen maken voor de maatregelen in hun bedrijven. Op basis van het energiestroomdiagram van Nederland [12] kan worden berekend, dat daardoor uiteindelijk ca. f300.10<sup>6</sup>/jaar ten laste van de industriële produktie van goederen zal komen, hetgeen neerkomt op een verhoging van de uiteindelijk door het bedrijfsleven voor energie te betalen prijs met  $\pm 2,5\%$ . Een vraag, die zich in dit verband aandient, is hoe en door wie de schade die aan natuur- en cultuurgoederen is en wordt toegebracht, moet worden betaald. Het zal bijzonder moeilijk, zo niet onmogelijk, zijn de reeds toegebrachte schade aan bepaalde activiteiten toe te rekenen en te verhalen. Daarvoor zullen de belastingbetalers dus wel worden aangesproken. Maar het is naar mijn mening nog maar de vraag of dat ook moet gelden voor de schade die momenteel, nu de problematiek is onderkend, wordt veroorzaakt. Toepassing van het principe 'de vervuiler betaalt' is hiervoor een voor de hand liggend uitgangspunt. Dit zal tot gevolg hebben dat de energiekosten verder zullen toenemen.

Een milieubelasting van een geheel andere orde is de vorming van kooldioxyde (CO<sub>2</sub>) bij de verbranding van fossiele brandstoffen. Deze emissie verdient nadere aandacht vanwege het zogenaamde 'broeikaseffect'. De produktie van CO<sub>2</sub> door de verbranding van fossiele brandstoffen bedraagt wereldwijd 5000.10<sup>6</sup> ton/jaar. Hoewel deze hoeveelheid gering is ten opzichte van de CO<sub>2</sub>-stromen die in de natuurlijke uitwisselingsprocessen tussen de oceanen, bossen en de atmosfeer plaatsvinden, is onlangs met behulp van computermodellen aangetoond, dat deze ogenschijnlijk geringe emissie tengevolge van het gebruik van fossiele brandstoffen wel degelijk het natuurlijk evenwicht zal kunnen verstoren. De Gezondheidsraad heeft een rapport over deze materie gepubliceerd [13] waarin wordt geconcludeerd dat: 'De verwachte toename van het CO<sub>2</sub>-gehalte in de atmosfeer zal in de komende eeuw leiden tot ingrijpende en onomkeerbare effecten op wereldschaal. Bestaande onzekerheden maken het echter onmogelijk om op dit moment reeds de preciese aard en omvang van deze milieueffecten aan te geven'

Kenmerkend voor het CO<sub>2</sub>-effect is het sluipende karakter ervan. De grootte van de toename in de CO<sub>2</sub>-concentratie in de achter ons liggende eeuw resulteert in klimaatsveranderingen, die momen-

teel nog van eenzelfde orde van grootte zijn als de natuurlijke variaties. Het effect wordt dus nog niet aantoonbaar waargenomen. Volgens recente Amerikaanse studies [14] zal, indien de huidige theorieën correct zijn, het effect in de komende twee decaden duidelijk merkbaar moeten worden. Wat op grond van de berekeningen wel zeker is, is dat de traagheid van het CO<sub>2</sub>-systeem zo groot is, dat na het nemen van maatregelen het effect ervan pas vele eeuwen later merkbaar zal zijn.

De voorspellingen over het effect van de stijging van de CO<sub>2</sub>-concentratie lopen zeer uiteen.

Om u een indruk te geven: Het onschuldigst lijkende effect is een klimaatsverandering die voor Nederland resulteert in minder regen in het voorjaar en de zomer en meer regen in het najaar en de winter. De meest rampzalige consequentie is het afglijden van de Westantarctische ijskap in de zee, met als gevolg een zeespiegelstijging van 5 à 6 meter. De kans dat deze ramp gebeurt, wordt echter klein geacht. Nu leert de risicoanalyse ons, dat een gebeurtenis met een kleine kans maar met een groot effect toch een aanzienlijk risico (kans x effect) oplevert. De vraag dringt zich dan ook op hoe het risico, dat de stijging van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer ongetwijfeld oplevert, zich verhoudt tot het risico dat bijvoorbeeld aan kernenergie wordt toegekend. Niet alleen om deze reden is het wenselijk dat het 'CO<sub>2</sub>-risico' nader wordt bepaald. Ook het 'economisch risico' verdient de aandacht. Indien de voorspelde stijging van de zeespiegel optreedt, vraagt dit niet alleen om verhoging van de zeedijken, maar ook om het aanpassen van de rivierdijken en de talrijke civiele voorzieningen [15]. De daarmee gemoeide kosten zullen gigantisch zijn, waardoor het economisch risico, ook bij een kleine kans, aanzienlijk zal kunnen zijn.

Als we het CO<sub>2</sub>-probleem overzien, is het naar mijn mening reëel om vast te stellen dat de signalen zodanig alarmerend zijn, dat bij beschouwingen over onze toekomstige energievoorziening met de CO<sub>2</sub>-problematiek terdege rekening moet worden gehouden. Evenals met de zure depositie hebben we hier te maken met een internationaal probleem. Maatregelen zullen daarom ook in internationaal verband moeten worden voorbereid en genomen. Hoe de CO<sub>2</sub>-problematiek moet worden aangepakt is thans onderwerp van talrijke discussies.

Een voorgestelde oplossing [14] berust op het uitgangspunt de ontwikkelingslanden, waar immers nog een aanzienlijke stijging in het energiegebruik zal plaatsvinden, vanaf het begin te voorzien

van CO<sub>2</sub>-vriendelijke conversiesystemen. Gezien de hiervoor geschetste problematiek van deze landen lijkt een oplossing in deze zin niet erg kansrijk.

Chemische processen waarbij CO<sub>2</sub> aan de rookgassen wordt onttrokken en vervolgens in vloeibare of vaste vorm wordt opgeslagen in zoutkoepels of in de diepe oceaan, vragen in het gunstigste geval zelf zoveel energie, dat het rendement van een centrale met een dergelijk reinigingssysteem terugloopt naar 27% bij 50%-verwijdering van CO<sub>2</sub> en tot 14% bij een reiniging van de rookgassen met 90%. De kosten van de opgewekte elektriciteit bedragen respectievelijk het twee- en viervoudige van de kosten zonder een reinigingssysteem [16].

De echte oplossingen zullen naar mijn mening moeten worden gezocht in de energiesector zelf. Energiebesparing is ook hier een voor de hand liggende maatregel. Daarnaast zijn stromingsenergie, kernenergie, kernfusie en een daaruit afgeleide waterstofeconomie opties voor een oplossing. De voorspelling van de Koninklijke Nederlandse Reders Vereniging dat in de 21e eeuw het transport van waterstof de belangrijkste bron van inkomsten zal zijn [17] is in dit verband vermeldenswaard.

## Dames en heren,

Ik heb twee aspecten van het energieprobleem aangeroerd die de energieprijzen verder zullen doen stijgen. De vraag is of er ook tegengestelde effecten te verwachten zijn door een sterk vergroot aanbod van goedkope fossiele brandstof of goedkope maatregelen ter bestrijding van ongewenste milieu-effecten.

Een uitzicht op goedkope maatregelen om milieuvervuiling tegen te gaan is er voor zover mij bekend op korte termijn niet. Onderzoek en ontwikkelingswerk naar een minder milieubelastende energie-conversie zal daarom met kracht moeten worden voortgezet.

Met betrekking tot het aanbod van fossiele brandstof zijn in de laatste maanden vooral optimistische geluiden gepubliceerd over de beschikbare aardgasvoorraden [18]. In dit opzicht spant een uitspraak van de IASA-medewerker Maschetti in de Volkskrant de kroon [19]. Hij adviseert de Nederlandse regering: 'Haal, nu de prijs nog hoog is, zoveel mogelijk aardgas uit de grond'. Het is een uitspraak die velen van u bekend in de oren zal klinken, omdat een gelijkkluidende kreet 20 jaar geleden het uitgangspunt van het Nederlandse aardgasbeleid was. Sindsdien is er wel het nodige gebeurd....

Kenmerkend voor de optimistische berichtgeving is, dat men zich daarin doorgaans maar op één aspect van het energieprobleem richt, namelijk de grootte van de voorraad. Zodra aspecten als brandstofprijis, toenemende energievraag vanuit de ontwikkelingslanden en milieu ook in aanmerking worden genomen, verandert het beeld, zoals blijkt uit studies van de IEA [20] en de EEG [21], waarin een verdere stijging van de energieprijzen wordt voorspeld. Het zijn deze analyses, die de conclusie rechtvaardigen dat onderzoek en onderwijs in de sector energiebesparing van belang zijn en voorlopig zullen blijven.

Naast dit argument, is naar mijn mening ook de onbekendheid met de risico's die het energiegebruik met zich meebrengt, voldoende reden om onderzoek en onderwijs met kracht voort te zetten.

## Energie en bedrijfskunde

In het begin van deze rede heb ik opgemerkt, dat voor de industrie als eindgebruiker van energie de 'energiekosten', de continuïteit van de energielevering en de energie-inhoud van het produkt belangrijke punten zijn.

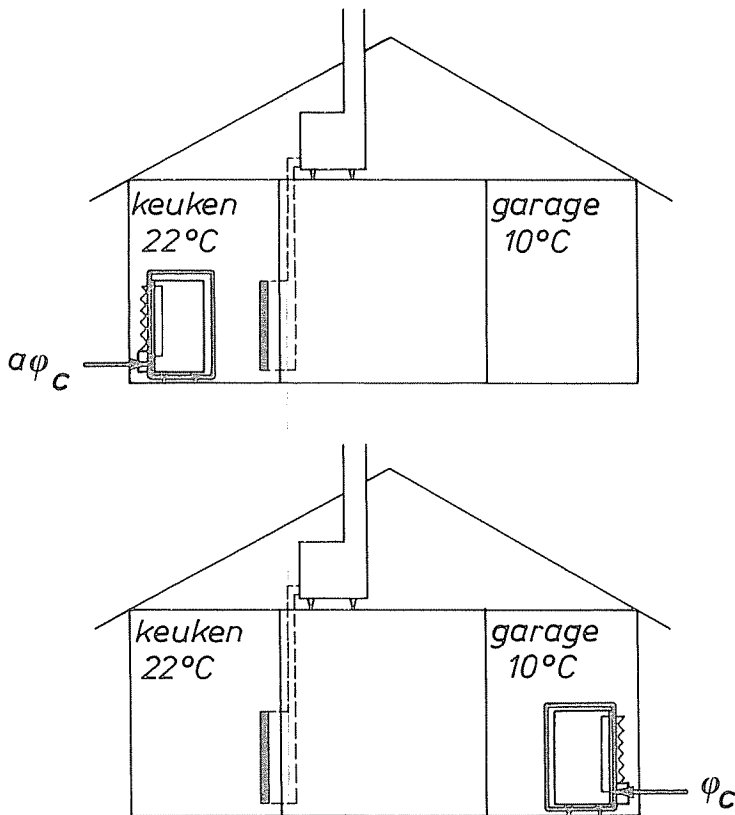
De bedrijfskundige ingenieur zal vanuit deze aspecten met het energievraagstuk worden geconfronteerd. Dit houdt in, dat hij zich een beeld zal moeten kunnen vormen van de energievoorziening van het bedrijf, over de wijze waarop de energieprijis in de onderneming is opgebouwd en over het aandeel van de energiekosten in de uiteindelijke kostprijis van het produkt.

De bedrijfskundige ingenieur zal daarom over voldoende technische en economische kennis en inzicht moeten beschikken om, zonodig met inschakeling van gespecialiseerde kennis, het energiegebruik van het bedrijf te kunnen analyseren en wegen te zoeken die tot een vermindering van dat gebruik en daarmee van de kostprijis van het produkt leiden. Deze 'energieanalyse' neemt tussen de andere analysevormen, waaraan mijn collega Sanders in zijn introerede ruime aandacht heeft gegeven [22], een speciale plaats in door de wetmatigheden die er aan ten grondslag liggen.

Ik doel hiermee op de eerste en de tweede hoofdwet van de thermodynamica, die kort samengevat inhouden:

- Bij de omzetting van energie in een andere vorm blijft de totale hoeveelheid energie constant.
- Het is niet mogelijk om zonder toevoeging van energie het exergieniveau van een medium te verhogen.

Door inzicht in deze wetmatigheden aan de student bij te brengen wordt deze zich bewust van het feit dat, wanneer tijdens een productieproces het kwaliteitsniveau van een energiestroom éénmaal is afgenomen, een terugkeer naar het oude niveau niet meer mogelijk is zonder opnieuw energie toe te voeren. Dit inzicht is naar mijn mening ook van belang voor andere stromen in het productieproces, zoals bijvoorbeeld de 'informatiestroom', waarvoor weliswaar geen fysische wetmatigheden gelden, maar waarvoor evenzo geldt, dat de kwaliteit van informatie alleen maar toeneemt door er nieuwe informatie aan toe te voegen en dat



*Fig. 3*

tijdens het gebruik de hoeveelheid informatie (relevante + irrelevant) constant blijft. Dit laatste gaat doorgaans ten koste van de hoeveelheid relevante informatie.

Een energie-analyse heeft een sterk multi-disciplinair karakter.

Vermeden zal moeten worden, dat bij het onderwijs en het onderzoek te veel nadruk komt te liggen op zeer specifieke vakgebieden zoals: de procestechniek, de elektrotechniek en de warmtetechniek. Wie deze vakken wil bestuderen, vindt aan deze hogeschool voldoende andere mogelijkheden. Het onderwijs en het onderzoek zullen zich vooral moeten richten op wat ik zou willen noemen 'de samenhang der dingen'. Een essentiële rol daarbij speelt de keuze van de systeemgrens. Ik wil dat gaarne aan de hand van een bij u allen bekend voorbeeld toelichten. Het gaat om de vraag: 'Wat is uit oogpunt van energiegebruik de beste plaats voor een koelkast; de onverwarmde garage of bijkeuken of de verwarmde keuken?'

Wanneer we de systeemgrens om de koelkast heen leggen (fig. 3) zal het antwoord luiden:

In de garage, want daar is het temperatuurverschil tussen de omgeving en de inhoud van de koelkast het kleinst en zijn de koudeverliezen naar de omgeving dus het geringst.

Wanneer ook de koelmachine binnen de systeemgrenzen wordt gebracht (fig. 4), zal rekening moeten worden gehouden met het feit, dat door middel van een koelkringloop de warmte, die in de koelkast is binnengedrongen, weer moet worden afgevoerd. Het rendement waarmee dit gebeurt, is afhankelijk van het temperatuurverschil tussen de verdampers, die zich in de koelkast bevindt, en de condensor, die achter de koelkast is aangebracht. Voor deze kringloop geldt de Wet van Carnot, die aangeeft dat hoe kleiner het temperatuurverschil is dat moet worden overbrugd, des te hoger het rendement zal zijn. Ook om deze reden zal plaatsing in de garage dus de voorkeur verdienen. Door beide effecten zal het energiegebruik van een in de keuken opgestelde koelkast een factor  $\alpha$  groter zijn ten opzichte van een in de garage geplaatste koelkast.

Dit beeld verandert wanneer de systeemgrens om de keuken en de garage wordt gelegd (fig. 5). De keuken wordt immers verwarmd en de energie, die nodig is om de koelkast op temperatuur te houden, komt bij opstelling in de keuken volledig ten goede aan de verwarming. Daarentegen is de toegevoerde energie bij opstelling in de garage verder van geen nut.

Een vergelijking van deze systemen levert het inzicht dat het energiegebruik voor de keukenopstelling  $Q_C$  Joule lager is dan



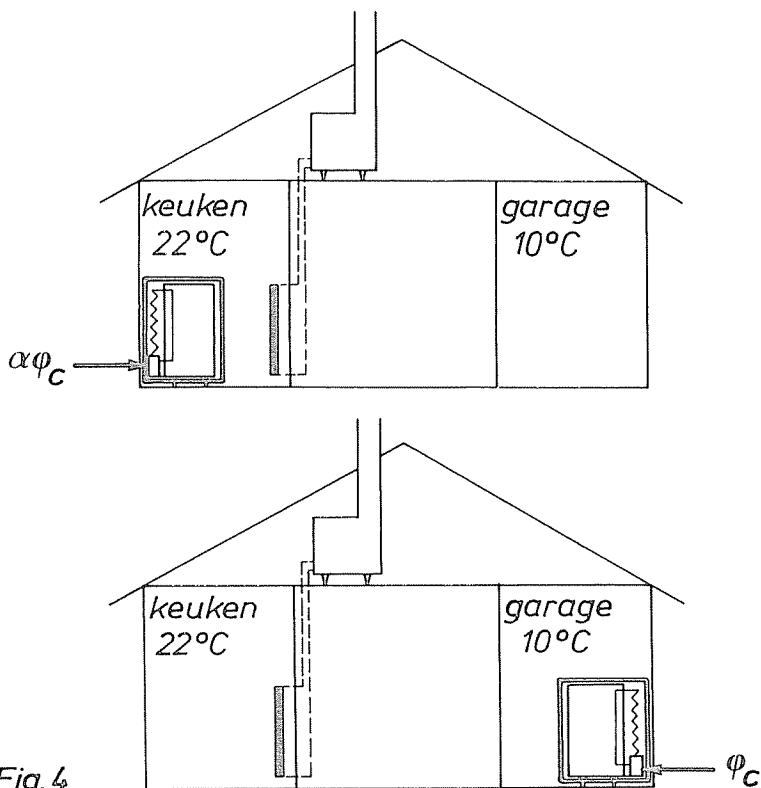


Fig. 4

voor de garageopstelling en dat om deze reden opstelling in de keuken de voorkeur verdient; een conclusie die diametraal staat tegenover de vorige conclusie.

Wanneer we de systeemgrens nog verder verleggen en de energievoorziening van de gehele woning beschouwen, komt de energie-omzetting in het verwarmingssysteem ook aan de orde (fig. 6). Bij een energieconversiesysteem met een gebruiksrendement van  $\eta\%$  wordt het verschil tussen de twee opties:

$$Q_{\text{garage-opstelling}} - Q_{\text{keukenopstelling}} = Q_c \left\{ 1 + \alpha \left( \frac{100}{\eta} - 1 \right) \right\}$$

Wordt de woning op een directe wijze elektrisch verwarmd, dat wil zeggen is  $\eta = 100\%$ , dan verandert de vorige conclusie niet en zal plaatsing van de koelkast in de keuken uit energie- en kostenover-

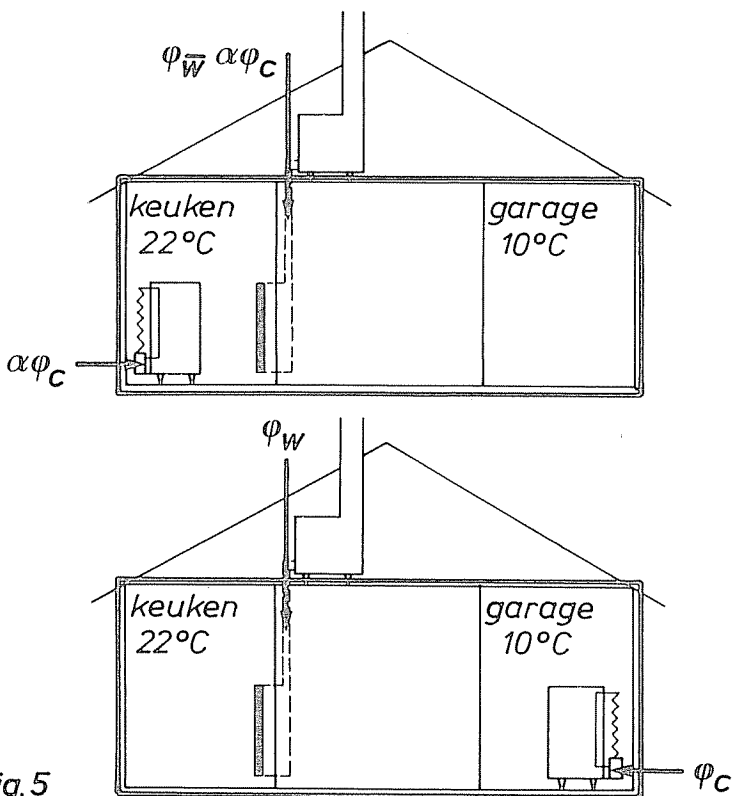


Fig.5

wegingen de voorkeur verdienen. Bij een indirecte elektrische verwarming via een warmtepomp zal bij een rendement groter dan  $\frac{100\alpha}{\alpha-1}\%$  de garageopstelling de voorkeur gaan verdienen.

Wanneer de verwarming niet met elektriciteit, maar met gas geschiedt, zal bij een direct verwarmingssysteem het gebruiksrendement steeds lager zijn dan 100% en zal, op basis van de gekozen systeemgrens en vanuit het oogpunt van energiegebruik, plaatsing in de keuken de voorkeur verdienen. Ik zeg hier nadrukkelijk bij: 'vanuit het oogpunt van energiegebruik', omdat, nu we met twee verschillende energiesoorten te maken krijgen, het nog een open vraag is of dezelfde conclusie ook geldt, wanneer we onze keuze zouden baseren op de energiekostenvergelijking.

In dit voorbeeld zou bij een keukenopstelling het elektriciteitsge-

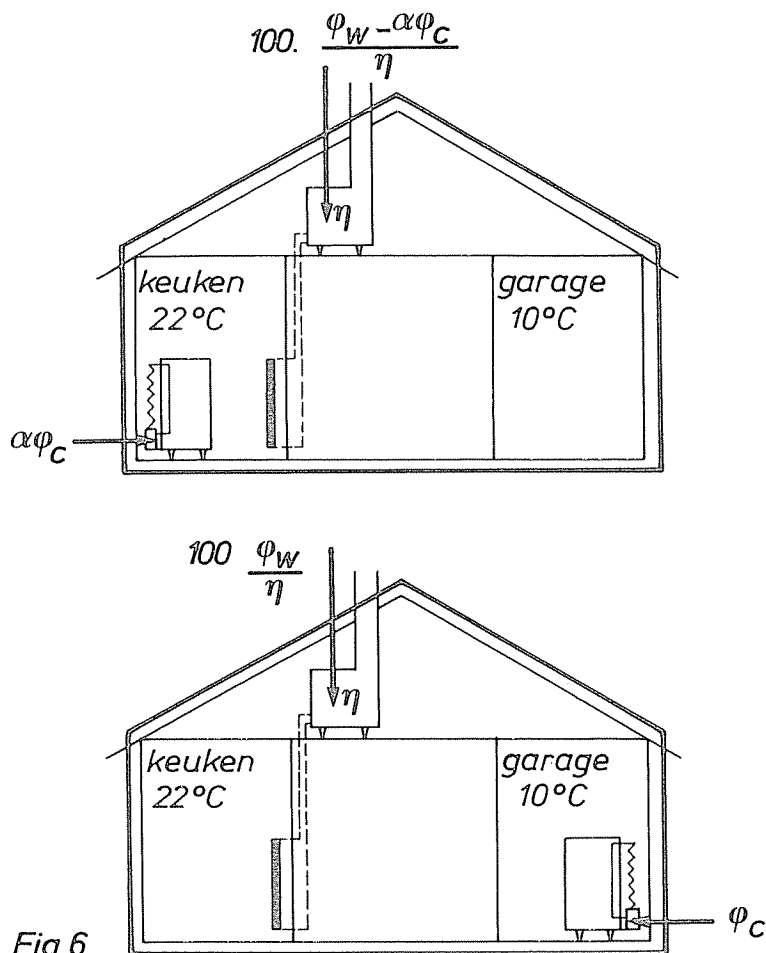


Fig.6

bruik  $(\alpha-1)Q_C$  Joule hoger en het gasgebruik  $100 \alpha \frac{Q_C}{\eta}$  Joule lager zijn dan bij de opstelling in de garage. Bij de voor de consument geldende prijzen voor elektriciteit en gas van respectievelijk f0,21/kWh en f0,62/m<sup>3</sup>, leidt dit tot de conclusie, dat voor een gebruiksrendement  $\eta > \frac{30\alpha}{\alpha-1} \%$  de minderkosten aan gas niet opwegen tegen de meerkosten aan elektriciteit en dat daarom

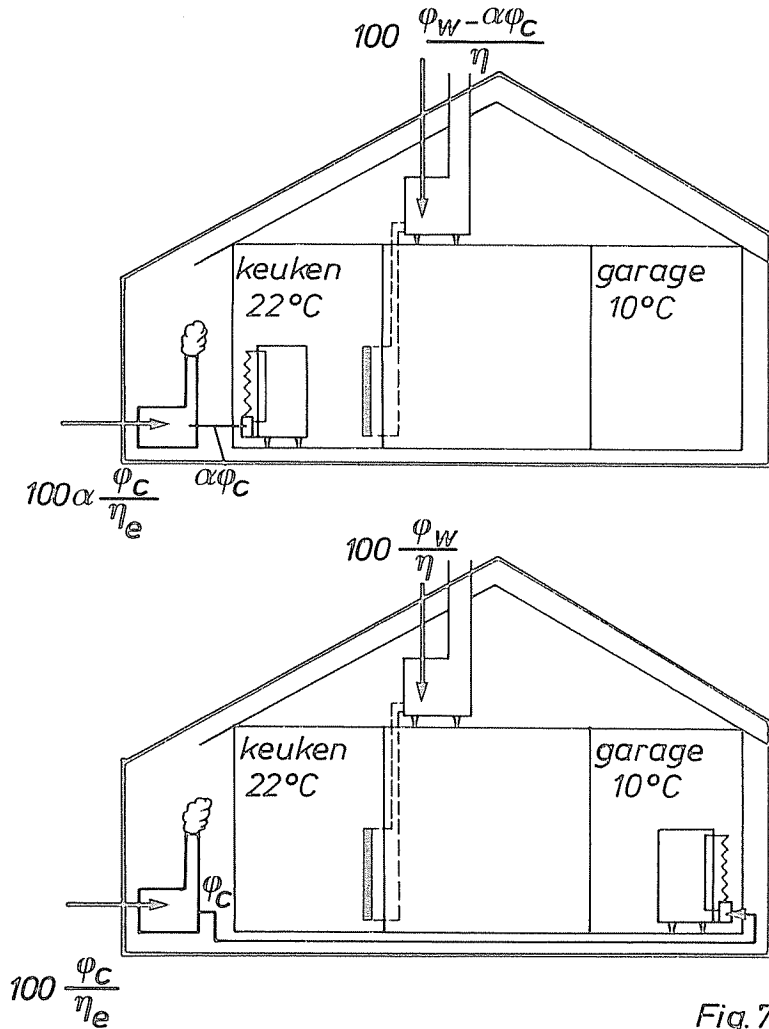


Fig. 7

vanuit kostenoverwegingen de consument zal besluiten tot het opstellen van de koelkast in de garage.

Op de consequenties van deze uitkomst kom ik dadelijk nog terug. Eerst wil ik met u de systeemgrens nog éénmaal verleggen en wel naar het niveau waarop alle energiegebruiken gerelateerd kunnen worden aan het gebruik van primaire brandstof (fig. 7). Dit betekent, dat bij het beantwoorden van onze vraag ook nog

rekening wordt gehouden met het rendement waarmee de elektriciteit wordt verkregen uit de primaire brandstof. Het verleggen van de grens naar deze situatie is van betekenis voor de vraag in hoeverre de plaatsingskeuze het primaire energiegebruik beïnvloedt. Voor een opwekkingsrendement van 40% van de elektriciteit kan worden berekend dat voor een verwarmingssysteem met een gebruiksrendement  $\eta > \frac{40\alpha}{\alpha-1}$  % het energiegebruik het

laagst is bij plaatsing van de koelkast in de garage.

Deze uitkomst illustreert de eerder gemaakte opmerking, dat een besluit op grond van kostenoverwegingen niet automatisch leidt tot de uit energiebesparingsoogpunt gezien gunstigste oplossing. In het hier behandelde geval zal op grond van kostenoverwegingen namelijk tot plaatsing in de garage worden besloten wanneer

$\eta > \frac{30\alpha}{\alpha-1}$  %, terwijl dit vanuit een oogpunt van energiebesparing pas verantwoord is bij een waarde van  $\eta > \frac{40\alpha}{\alpha-1}$  %.

Dames en heren,

Ik hoop u met dit eenvoudige voorbeeld duidelijk te hebben toegelicht, dat een verandering in het energiesysteem, bijvoorbeeld door de aanschaf van nieuwe of de wijziging van bestaande energiegebruikende apparatuur, nooit op zichzelf mag worden bekeken. Iedere maatregel moet worden beoordeeld in samenhang met de rest van het systeem en - en dat zou ik hier speciaal willen benadrukken - met de veranderingen die daarin, bijvoorbeeld door wijzigingen in het productiepakket of vervanging van apparatuur, in de komende jaren nog te verwachten zijn.

Wat dit voorbeeld ook illustreert is, dat een bedrijf, dat om volstrekt acceptabele redenen de systeemgrenzen beperkt houdt tot die grenzen waarbinnen het zelf nog invloed kan uitoefenen, niet vanzelf tot de voor de maatschappij als geheel optimale keuze komt. De huidige opvattingen over economie houden in, dat van een bedrijf niet mag worden verwacht dat het om reden van maatschappelijk belang een economisch minder aantrekkelijke oplossing kiest. De voordelen die een dergelijke keuze heeft in de vorm van een besparing aan energie en een verminderde milieubelasting, komen namelijk niet ten goede aan het bedrijf, maar aan de maatschappij. Men zou op deze gronden kunnen

bepleiten, dat de overheid met subsidieregelingen zou moeten bewerkstelligen, dat het bedrijfsleven toch de voor de maatschappij als geheel gunstigere oplossing kiest [23]. Ik kan mij wel een slechtere besteding van belastinggelden voorstellen. Als echter de schade, die bij het opwekken en het gebruik van energie aan het milieu wordt toegebracht, consequent aan de vervuiler zou worden doorberekend (bijvoorbeeld in de vorm van een heffing) zou deze problematiek niet bestaan. Alleen op deze wijze wordt bereikt, dat alle kosten van het energiegebruik worden doorberekend in de kosten van het vervaardigde produkt en dat de bedrijven automatisch die maatregelen nemen, die een verantwoord energiegebruik bevorderen.

Ik heb zojuist, bij het bespreken van de betekenis van de keuze van de systeemgrens, gewezen op de invloed die de verschillende systeemelementen op elkaar en daarmee op de uiteindelijke besluitvorming hebben. Dit betekent ook, dat energiebesparende maatregelen aan systeemelementen niet op zichzelf mogen worden bekeken en dit geldt evenzo voor de economie van deze maatregelen. Niet de economie van de op zichzelf staande maatregel, maar de economie van het gehele pakket maatregelen is bepalend voor de wijze waarop en de volgorde waarin de maatregelen worden uitgevoerd.

Onze vakgroepmedewerker Willeboer heeft in zijn proefschrift voor deze problematiek een keuzecriterium afgeleid, waarmee de volgorde van de energiebesparende maatregelen kan worden bepaald, rekening houdend met de onderlinge beïnvloeding van deze maatregelen [24]. In het vervolgonderzoek, dat samen met de Vakgroep Fysische Aspecten van de Gebouwde Omgeving van de afdeling Bouwkunde wordt uitgevoerd, zal worden onderzocht in hoeverre het door Willeboer afgeleide keuzecriterium ook voor een heel bedrijf, dat wil zeggen een produktieproces en de daaromheen staande gebouwen, bruikbaar is.

Een belangrijke en ook leerzame vraag is, hoeveel energie minimaal nodig is om een produktieproces te laten functioneren. Laat ik ook hier met een voorbeeld duidelijk maken, wat ik bedoel. Ik heb hiervoor gekozen de produktie van consumptiemelk, een produkt waarvan iedereen het maatschappelijke nut zal inzien. Voor het consumeerbaar maken van melk is een hoeveelheid energie van 0,3 GJ/ton nodig. Deze energie is nodig voor het verhitten van de melk en het pasteuriseren ervan. Voeren we deze bewerking uit in een fabriek, waarin met behulp van warmtewisselaars de warmte die bij het afkoelen van de

gepasteuriseerde melk vrijkomt, wordt gebruik om de te behandelen melk op te warmen, dan is een aanzienlijke besparing op energie mogelijk. In de praktijk blijkt het energiegebruik voor het pasteuriseren ca. 0,035 GJ/ton te bedragen [25].

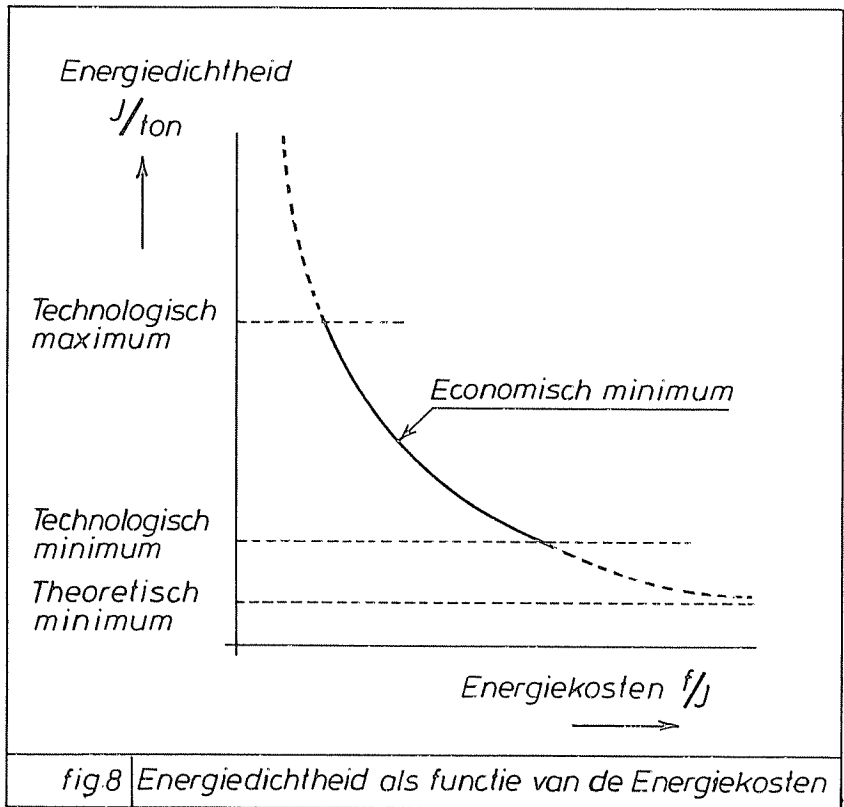
Theoretisch zou het mogelijk zijn om het energiegebruik tot nul te reduceren door oneindig grote warmtewisselaars toe te passen en de installatie van een ideale isolatie te voorzien. De vraag is echter of dit ook technologisch te verwezenlijken is.

Wanneer we bedenken dat, alvorens het ideale proces operationeel is, de installatie moet worden gestart, dat het aanbrengen van oneindig dikke isolatielagen niet mogelijk is, dat het productieproces wisselende hoeveelheden melk te verwerken zal krijgen en dat de melk zal moeten worden verpompt, dan is het duidelijk dat het theoretisch minimale energiegebruik niet haalbaar zal zijn en dat er een technologisch minimum is.

Bij het uiteindelijke procesontwerp zal de economie bepalend zijn voor de uitvoeringsvorm die wordt gekozen. Omdat het niet vanzelfsprekend is, dat in dat ontwerp het technologisch minimale energiegebruik wordt bereikt, zal er dus nog sprake zijn van een derde vorm van minimaal energiegebruik namelijk het 'economisch minimale energiegebruik'. De grootte van deze waarde zal, in tegenstelling tot de twee anderen, variëren met de energiekosten. In figuur 8 is een en ander schematisch in beeld gebracht. Daarin is ook het technologisch maximale energiegebruik aangegeven. Dit maximum ontstaat wanneer in productieprocessen de materiaal- of produkteigenschappen grenzen gaan stellen aan te bereiken warmtestroomdichtheden of temperaturen (smaakbederf, produktontleding). Deze waarde is weliswaar vanuit energiebesparingsoogpunt minder interessant, maar verdient zeker haar plaats binnen het vakgebied van de energieanalyse van produktiesystemen.

Door dit type analyses uit te voeren voor concrete processen en vervolgens het werkelijke energiegebruik te toetsen aan de gevonden grenswaarden, leert de student op systematische wijze na te denken over mogelijke verbeteringen in het bestaande productieproces en over alternatieven voor het gekozen procédé. Een dergelijke analyse zal ook een bijdrage kunnen leveren aan het formuleren van de eisen, waaraan de in een produktiesysteem toegepaste unit operations (drogers, ovens, vriezers en dergelijke) moeten voldoen om in dat produktiesysteem optimaal te functioneren. Op deze wijze zal indirect een bijdrage kunnen worden geleverd aan de ontwikkeling van deze energiegebruikende apparaten.

Het voorbeeld van de melkfabricage geeft mij de gelegenheid nog



een ander aspect van het onderwijs en het onderzoek te belichten. Het gaat om het inzicht dat de energie-inhoud van grondstoffen, iets waar een bedrijf zelf weinig invloed op kan uitoefenen, mede bepalend is voor de energie-inhoud van het produkt en daarmee op de prijs van het produkt bij veranderende energieprijzen. De energiedichtheid van consumptiemelk is, wanneer we de transportkosten buiten beschouwing laten, als volgt opgebouwd [26]:

2,7 GJ/ton uit ruw- en groenvoer (vnl. kunstmest)	30%
3,6 GJ/ton uit mengvoer	40%
1,5 GJ/ton via melken en gekoelde opslag	16%
1,3 GJ/ton door verwerking in de fabriek	14%

Voor één ton consumptiemelk wordt dus 9,1 GJ gebruikt. Dit komt



overeen met een kwart m<sup>3</sup> aardgas per liter melk. De verwerking in de fabriek vraagt 14% van de totale energiebehoefte. Pogingen van de bedrijfsleiding van de melkfabriek om het energiegebruik te verminderen zullen derhalve op de energiedichtheid van het produkt maar zeer beperkt doorwerken.

Maatregelen om de energiedichtheid van het produkt te verminderen zullen zich dus moeten concentreren op een vermindering van het gebruik van kunstmest en mengvoer bij de melkveebedrijven en op het verminderen van het energiegebruik bij de produktie van deze stoffen in de kunstmest- en mengvoederindustrie.

Analyses van dit type zijn voor een bedrijf vooral van belang, wanneer voor het produkt dat wordt gemaakt alternatieven bestaan, waarvoor de energiekosten lager zijn. In dat geval wordt de concurrentiepositie mede door de veranderingen in de energieprijzen beïnvloed en is waakzaamheid geboden.

Voor melk bestaat deze concurrentie niet. Wezenlijk voor dit produkt is het inzicht dat voor iedere te veel geproduceerde liter melk 0,25 m<sup>3</sup> aardgas is gebruikt of liever gezegd misbruikt.

Dames en heren,

Ik heb in de loop van dit betoog een aantal malen benadrukt, dat voor een goede energie-analyse steeds op de samenhang van de verschillende invloedsfactoren moet worden gelet.

Ik ben mij ervan bewust, dat ikzelf in deze rede allerm minst een compleet beeld heb gepresenteerd. Het schetsen daarvan is een nagenoeg onmogelijke opgave, die nog eens extra wordt gecompliceerd door het feit, dat ook politieke aspecten een rol spelen.

Ik heb mij daarom beperkt tot de naar mijn mening meest wezenlijke invloedsfactoren: de noodzaak de ontwikkelingslanden van goedkope energie te voorzien en de milieu-aspecten van de energieconversie. Hoe afhankelijk ook van deze invloedsfactoren, het onderzoek en onderwijs in de energieanalyse binnen de afdeling Bedrijfskunde zal zich niet op deze factoren zelf kunnen richten. Wat wel kan worden nagestreefd, is het opleiden van jonge mensen, die binnen de economische mogelijkheden die in een bedrijf bestaan, er alles aan zullen doen om een verantwoord energiegebruik te bevorderen. Ik hoop hieraan in de komende tijd een bijdrage te kunnen leveren.

Aan het einde van deze toespraak gekomen wil ik aan allen die op enigerlei wijze bij mijn benoeming betrokken zijn geweest, mijn

erkentelijkheid betuigen voor het in mij gestelde vertrouwen. Een bijzonder woord van dank is op zijn plaats voor de leiding van de organisatie TNO, die mij in staat heeft gesteld deze benoeming te aanvaarden.

Mijn vrouw, zoon en dochter wil ik bedanken voor hun relativerende commentaren op deze rede en voor de stilte die zij hebben betracht toen ik de regels voor deze rede opschreef en herschreef.

Dames en heren, hoogleraren en medewerkers van deze Hogeschool en in het bijzonder van de afdeling Bedrijfskunde, Hoewel ik al geruime tijd geleden benoemd ben, leert een tijdanalyse, dat ik thans ongeveer 26 weken effectief in uw midden verkeer. Ik hoop dat u er begrip voor zult hebben, dat ik in de beperkte tijd die mij ter beschikking staat mijn energie vooral gebruik om mij met onderwijs en onderzoek bezig te houden en niet of nauwelijks met bestuurlijke zaken.

In energietermen vertaald betekent dit, dat ik mij bij voorkeur zal richten op het vergroten van de exergie en minder op het verhogen van de entropie.

U kunt ervan overtuigd zijn, dat ik de samenwerking met u, waar nodig, zal bevorderen en aangaan. De goede ervaringen die ik in dit verband reeds heb opgedaan met de Vakgroep Bedrijfseconomie wil ik hier graag benadrukken. Van de recent gestarte samenwerking met de Vakgroep FAGO van de afdeling Bouwkunde stel ik mij veel voor.

Dames en heren studenten,

Mijn inspanningen zullen in de eerste plaats op u gericht zijn. Ik hoop dat het besef, dat de energieanalyse van technische productiesystemen niet alleen relevant is voor het wel en wee van een bedrijf, maar ook haar betekenis heeft voor de maatschappij als geheel, een extra aanmoediging zal zijn om u in dit vak te bekwamen.

Geachte toehoorders,

Ik stel het zeer op prijs, dat u zich de moeite hebt getroost om naar mijn rede te komen luisteren.

Ik dank u voor uw aandacht.

- [1] 'Het Tussenrapport';  
Basis voor de Brede Maatschappelijke Discussie, Den Haag,  
1983.
- [2] Earl Cook;  
'The flow of energy in an industrial society'. Scientific  
American, sept. 1971, pp.135-142.
- [3] Häfele W.;  
'Energy in a finite world'. International Institute for Applied  
System Analysis, 1981.
- [4] Lewis C.;  
'The need for an alternative energy strategy in the agricultural  
economies of the Third World'. Energy Vol. 9, no.8,  
pp.651-659 (1984).
- [5] Zeeuw J.W. de;  
'De Gouden Eeuw uit turf geboren'. Spiegel Historael 14, nr.  
10, pg. 524-531 (1979).
- [6] Appropriate industrial technology for energy for rural require-  
ments.  
UNIDO Monograph nr. 5, New York 1979.
- [7] 11th World Energy Conference.  
München, September 1980.
- [8] 12th World Energy Conference.  
New Dehli, September 1983.
- [9] Energy and Development.  
Revue de l'Energie nr. 356, Août et September 1983, pg.  
388-661.
- [10] Boon E.F.;  
Industries Responsibility towards Pollution.  
De Ingenieur, Vol.84, 1972, pg. A93-A96.
- [11] Indicatief Meerjarenprogramma Lucht 1985-1989.  
Ministerie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en  
Milieubeheer, Leidschendam, 1984.

- [12] Klein Vademecum voor de Energie 1982.  
Algemene Energieraad/Energie Studie Centrum.  
Staatsuitgeverij, 's Gravenhage 1982.
- [13] Deeladvies van de Commissie CO<sub>2</sub>-problematiek van de  
Gezondheidsraad, februari 1983.
- [14] Rotty R.M.;  
'The nature of the CO<sub>2</sub>-problem:  
Certainties and Uncertainties'.  
Environmental Progress Vol. 3, no. 4, pp. 253-259 (1984).
- [15] 'Zeespiegelrijzing'.  
De Ingenieur nr. 1, pg. 28-33 (1985).
- [16] Steinberg M.;  
'Recovery, disposal and reuse of CO<sub>2</sub> for atmospheric  
control'.  
Environmental Progress Vol 4, no. 2, pp 69-77 (1985).
- [17] Jaarrede van de voorzitter van de Koninklijke Nederlandse  
Redersvereniging, Delft, 28 november 1984.
- [18] Internationaal Congres over aardgas.  
München, juni 1985.
- [19] 'Gas domineert de energiemarkt van de 21e eeuw.  
Volkskrant, zaterdag, 8 juni 1985.
- [20] Lantzke U.;  
Voorzitter IBA.  
4e Energieseminar Brown Boven, Baden Baden, januari 1984.
- [21] EG Informatic R&D nr. 24.
- [22] Sanders P.;  
Automatiseren en/of werken.  
Intreerede THE d.d. 25 januari 1985.
- [23] Kahn W.;  
'The coming boom'.  
Simon and Schuster Inc., New York, 1982.

- [24] Willeboer W.;  
Priorities in energy conservation. A study on the interactive effects of energy conservation measures.  
Proefschrift THE, september 1985.
- [25] Sectoronderzoek Energiebesparing in de Zuivelindustrie.  
Mededeling M17. Ned. Inst. voor Zuivelonderzoek, april 1983.
- [26] Energie en Economie, 1983, ISBN 90-6587-064-4.  
Onderzoek in opdracht van de COB/SER door Krekel van der Woerd Wouterse B.V. te Rotterdam