

**Energie in de toekomst:
een brandende kwestie**

Studium Generale reeks 9209

**Energie in de toekomst:
een brandende kwestie**

Samenstelling: Jan Weerdenburg

**Uitgave: Bureau Studium Generale
Universiteit Utrecht
Heidelberglaan 8, 3584 CS Utrecht**

Studium Generale reeks 9209

Uitgave van Bureau Studium Generale van de Universiteit Utrecht,
december 1992.

Overname van één of meer artikel(en) of gedeelte(n) daaruit is slechts
toegestaan na verkregen toestemming van Bureau Studium Generale
van de Universiteit Utrecht en betreffende auteur(s).

Samenstelling: Jan Weerdenburg

Verwerking van de artikelen en lay-out: Saskia van Huisstede en
Käthe Grauenkamp.

Tekening omslag: Jos Collignon.

Ontwerp omslag: Frans Janssen.

Druk: O.M.I.

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Energie

Energie in de toekomst: een brandende kwestie / samenst.: Jan
Weerdenburg. - Utrecht : Bureau Studium Generale, Universiteit
Utrecht. - Ill. - (Studium Generale reeks, ISSN 0923-6767 ; 9209)

Met lit. opg.

ISBN 90-393-0482-3

Trefw.: energie ; toekomst.

Inhoudsopgave

	Pag.
Voorwoord	7
Inleiding	9
De energieproblematiek <i>W.C. Turkenburg</i>	13
Energie en het broeikaseffect <i>A.P.M. Baede</i>	29
ENERGIEBESPARING	43
Implementatie van energiebesparing <i>K. Blok</i>	45
ICARUS	55
Het potentieel voor energiebesparing in Nederland <i>E. Worrel</i>	
KERNENERGIE	83
Kernenergie: bron van energie of bron van problemen? <i>W. Biesiot</i>	85
Kernenergie in ruimer perspectief <i>H. van Dam</i>	103
Is uitbreiding van de kernenergie in Nederland gunstig in verband met de broeikasproblematiek? <i>J. Blok</i>	109

FOSSIELE BRANDSTOF	117
De toekomst van fossiele energiebronnen <i>W.J. Lenstra</i>	119
Milieu stelt grenzen aan het gebruik fossiele brandstoffen <i>S. Schöne</i>	123
DUURZAME ENERGIEBRONNEN	127
Wat verwachten we van duurzame energie <i>A.J.M. van Wijk</i>	129
Duurzame energie in Nederland en Europa <i>H.J.M. Beurskens</i> <i>W.C. Sinke</i>	153
Duurzame energiebronnen <i>C. Zydeveld</i>	163
Personalia	167

Voorwoord

Op vrijdag 22 november 1991 werd in het Academiegebouw van de Universiteit van Utrecht het symposium *Energie in de toekomst: een brandende kwestie* gehouden. Dit symposium werd georganiseerd door het Bureau Studium Generale ter gelegenheid van het 75-jarig bestaan van de PUEM (Provinciale Utrechtse Elektriciteits Maatschappij), sinds kort onderdeel van de Regionale Energie Maatschappij Utrecht.

Het heeft lang geduurd, maar nu eindelijk, een jaar na het symposium, is het dan zover. Voor u ligt de bundel met de inleidingen van de diverse sprekers zoals ze bij ons bureau zijn ingeleverd. Een enkele bijdrage ontbreekt helaas, omdat die niet naar ons is opgestuurd. Deze verslaggeving vormt de tweede publicatie naar aanleiding van 'Energie in de toekomst: een brandende kwestie'. Vooraf, ter begeleiding van het symposium is door ons het boekje *Energie zat en toch een probleem* uitgegeven, geschreven door wetenschapsjournalist Martijn van Calmthout. De boekjes geven samen een goede introductie en overzicht in de energieproblematiek.

In de aankondiging van het symposium stelden we:

Energie vormt een van de meest belangrijke levensvoorwaarden voor de mens en het verbruik van energie vormt een van de belangrijkste bedreigingen voor de levensomstandigheden van de mens: verarming en opwarming van de aarde. Deze problematiek zal in de toekomst alleen maar belangrijker worden. Voor de aanpak geldt hetzelfde.

We hopen van harte dat het symposium en beide boekjes een kleine bijdrage leveren aan de bewustwording over de problematiek en de mogelijke aanpak.

Rest ons de PUEM en in het bijzonder haar toenmalige directeur Ir. F. van Kopenhagen te danken voor hun medewerking.



Inleiding

Energie in de toekomst: een brandende kwestie
Symposium vrijdag 22 november 1991

Twintig jaar geleden werd de wereld opgeschrikt door het rapport aan de Club van Rome: er waren grenzen aan de groei en daarmee ook aan het verbruik van fossiele brandstoffen. Het toenemende energieverbruik werd ter discussie gesteld. Nu, twintig jaar later, staat het verbruik van fossiele brandstoffen wederom centraal in de publieke belangstelling. Nu gaat het om de belangrijke bijdrage, die met het verbruik van fossiele brandstoffen wordt geleverd, aan verwachte klimaatveranderingen die samenhangen met een opwarming van de aarde: het broeikas-effect. Een alarmerend vraagstuk.

Energie vormt een van de meest belangrijke levensvoorwaarden voor de mens en het verbruik van energie vormt een van de belangrijkste bedreigingen voor de levensomstandigheden van de mens: verarming en opwarming van de aarde. Deze problematiek zal in de toekomst alleen maar belangrijker worden. Voor de aanpak geldt hetzelfde.

De energieproblematiek kent vele facetten die niet los van elkaar gezien kunnen worden en die sterk verweven zijn met ontwikkelings- en milieuproblematiek:

1. Eindigheid van de fossiele brandstoffen. Het is evident dat er een einde zal komen aan het verbruik van fossiele brandstoffen, domweg omdat de voorraden niet onbeperkt zijn. Weliswaar worden we iedere keer geconfronteerd met berichten dat het allemaal wel meevalt met de voorraden olie, steenkool en gas, maar het blijft een feit dat het een keer op zal raken. Het verbruik van deze grondstoffen brengt een onomkeerbare verarming van de aarde met zich mee, waar toekomstige generaties mee geconfronteerd worden.
2. De eindigheid speelt ook een rol in de afhankelijkheid van verreweg de meeste huishoudens in de ontwikkelingslanden van hout als energieleverancier: toenemende bevolkingsdruk en afnemende

- bronnen. Gevolgen: bijdrage aan verlies van bodemvruchtbaarheid, erosie, woestijnvorming.
3. De rol van energie in de ontwikkelingsplannen van ontwikkelingslanden. Het is reëel te verwachten dat ontwikkelingslanden hun energieverbruik in de toekomst sterk toe zullen willen laten nemen.
 4. De afhankelijkheid van fossiele brandstoffen. Alternatieve energiebronnen worden ontwikkeld, maar de verwachting is dat pas op langere termijn dergelijke bronnen een rol van betekenis kunnen spelen. Een ander aspect van deze afhankelijkheid vormt de veiligheidsproblematiek. De recente oorlog in het golfgebied is daar een afschrikwekkend voorbeeld van. Maar ook op regionaal en lokaal niveau vormt de toegang tot energiebronnen een (potentiële) bron voor conflicten.
 5. De aantasting van het milieu door het gebruik van fossiele brandstoffen. De bijdrage aan de verzuring (zure regen) vormt daarbij een van de meest actuele en pregnante problemen. De bijdrage aan een opwarming van de aarde (het broeikas-effect) vormt misschien de meest levensbedreigende in de toekomst. Ook hier weer kan zonder terughoudendheid gesteld worden dat er een onomkeerbare verarming van het aardse leefmilieu plaats vindt, waarmee wij toekomstige generaties opschepen.
Een apart probleem vormt de milieuvervuiling bij winning en transport van energiedragers (bv. rampen met olietankers en kerncentrales).

Daarmee zijn in een notedopje enkele aspecten van de energieproblematiek aangegeven.

Bij de aanpak van de problemen kan aan verschillende mogelijkheden gedacht worden.

- Verdere ontwikkeling van alternatieve (duurzame vormen) van energie-opwekking.
- Schonere verwerking van fossiele brandstoffen. Weliswaar op de langere termijn symptoombestrijding, maar voor de korte termijn een onvermijdelijke noodzaak.
- Besparing op het verbruik. Het belangrijkste perspectief gelet op de huidige mogelijkheden. De noodzaak voor een belangrijke vermindering van het gebruik in de geïndustrialiseerde wereld is evident. Er zal een verandering in productie- en consumptiepatronen (incl. vervoer en mobiliteit) plaats moeten vinden die (diepgaande) gevolgen zal hebben voor de inrichting van de samenleving. Daar-

naast zal gewerkt moeten worden aan een verhoging van efficiency bij opwekking, transport en vooral gebruik.

Vanuit het gegeven dat energie altijd een belangrijke levensvoorwaarde zal zijn, stond de toekomst van de energievoorziening, de problemen die daarmee gepaard gaan en de aanpak van die problemen, op het symposium centraal.

Programma 22 november 1991

- 9.00 uur: Zaal open, inschrijving, koffie.
- 9.30 uur: Welkomstwoord en opening.
Ir. F. van Koppenhagen (PUEM)
- 9.45-10.45 uur: Energie in de toekomst, een probleemverkenning
Prof.dr. W.C. Turkenburg (RUU)
- 11.00-13.00 uur: Decentrale bijeenkomsten.
1. *Energiebesparing*
sprekers: **Dr. K. Blok (NW&S, RUU)**
Drs. J. Oude Loohuis (VROM)
Drs. E. Worrell (NW&S, RUU)
 2. *Kernenergie*
sprekers: **Dr.ir. W. Biesiot (IVEM, RUG)**
Prof.dr. J. Blok (Em. VU/CRMH)
 3. *Fossiele brandstoffen*
sprekers: **W.J. Lenstra (VROM)**
Drs. U. Vermeulen (Gasunie)
Drs. S. Schöne (Ver. Milieudefensie)
 4. *Duurzame energiebronnen*
sprekers: **Drs. A.J.M. van Wijk (NW&S, RUU)**
Ir. H.J.M. Beurskens (ECN)
Ir. C. Zydeveld (Schiedam/ODE)
- 13.00-14.00 uur: Lunch
- 14.00-15.00 uur: Fossiele brandstoffen en het broeikaseffect.
Dr. A.P.M. Baede (KNMI)
- 15.30- 16.30 uur: Energiebesparing en gedragsverandering.
Prof.dr. C.A.J. Vlek (RUL)
- 17.30 uur: Afsluiting.
Ir. F. van Koppenhagen (PUEM)

De energieproblematiek

W.C. Turkenburg*

Algemeen

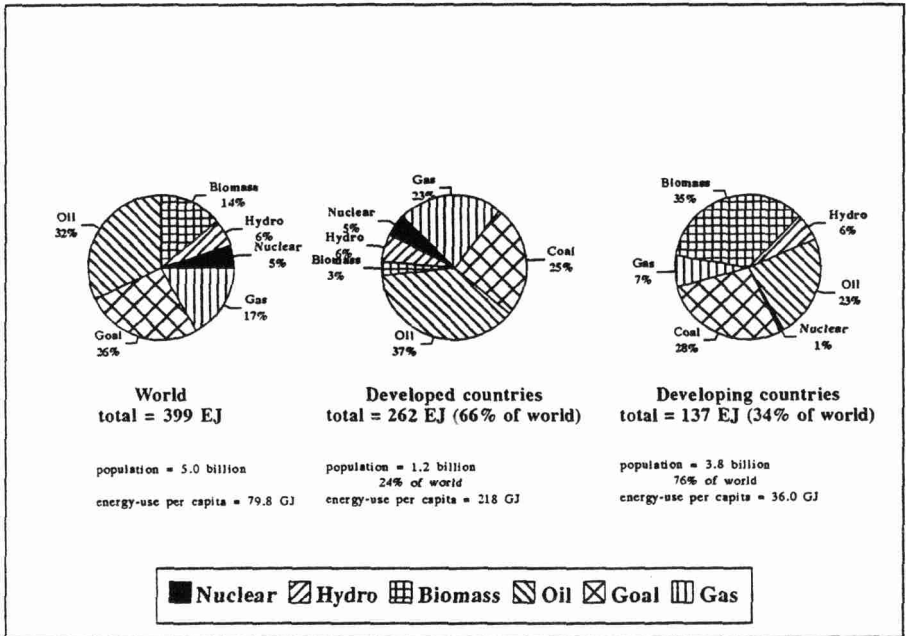
Bij de relatie tussen energie en de milieuproblematiek, wordt het meest gekeken naar het broeikaseffect, dat voor een groot deel is gelieerd aan de energieconsumptie en de energieopwekking. Het broeikaseffect wordt voor een groot deel veroorzaakt door de (versterkte) uitstoot van CO₂ dat vrijkomt bij de verbranding van fossiele brandstoffen.

De energieconsumptie is in het bestaan van de mens toegenomen van 100 W bij de primitieve mens (bestaansminimum) tot 10 KW (Verenigde Staten) of 6 KW (Nederland). Bij een bestaansminimum is er in principe een gesloten circuit, de mens leeft van opbrengsten uit de natuur (biomassa) voor haar primaire behoeften (voedsel, warmte).

Als er wordt gekeken naar de mondiale verdeling van de energieconsumptie, dan zien we dat één-derde deel van de energie in de ontwikkelingslanden wordt gebruikt en twee-derde deel in de geïndustrialiseerde landen. Echter woont drie-vierde deel van de wereldbevolking in de ontwikkelingslanden en één-vierde deel in de geïndustrialiseerde landen (1980). Ook de energiebronnen zijn nogal verschillend, zo voorziet biomassa (sprokkelhout e.d.) in 35% van de energiebehoefte van de Derde Wereld, terwijl het in de geïndustrialiseerde landen nauwelijks een rol speelt. Het een en ander is geïllustreerd in *Figuur 1*.

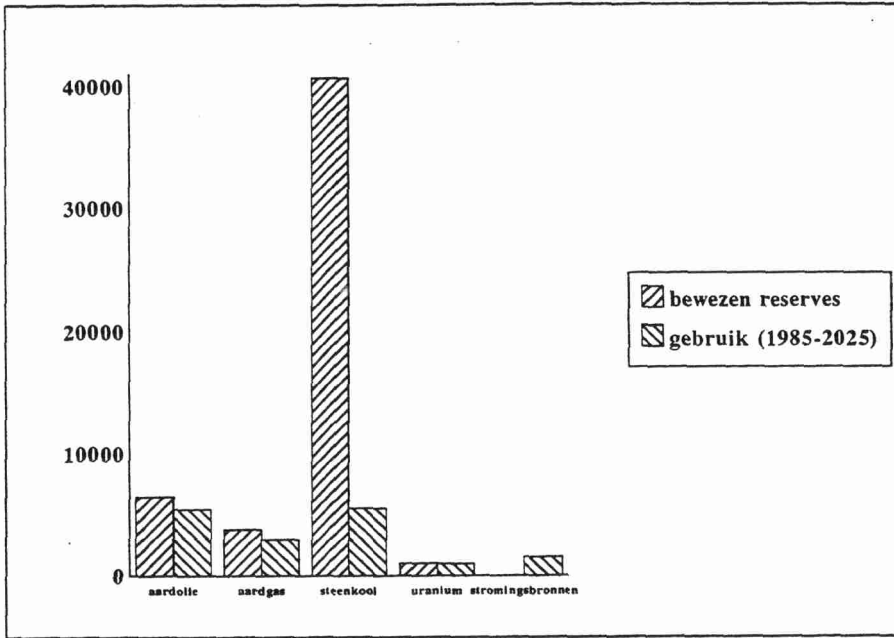
Om de energiebehoefte in de toekomst te kunnen analyseren heeft het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), een werkgroep van de Verenigde Naties, het "business as usual scenario" opgesteld dat uitgaat van het volgende:

- de bevolking groeit naar 10.5 miljard en stabiliseert daarna;
- er vindt een jaarlijkse economische groei van 2-3% plaats in de westerse landen en 3-5% in de oosteuropese landen en de Derde Wereld in de komende decade;
- kolen worden een steeds belangrijker energiebron;
- het energiegebruik wordt efficiënter (1% per jaar efficiency verbetering) ten opzichte van het Bruto Nationaal Product (BNP);



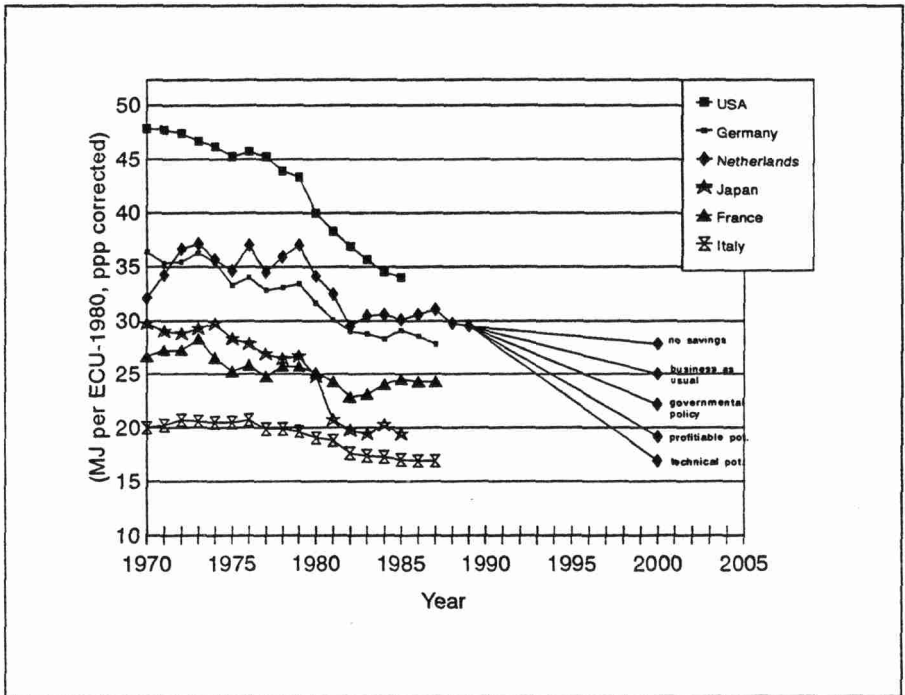
Figuur 1

Bijdrage van de diverse energiebronnen aan de mondiale energieconsumptie.



Figuur 2

Bewezen reserves van diverse energiedragers in EJ en gebruik tussen 1990 en 2025.



Figuur 3

De energieintensiteit van een aantal geïndustrialiseerde landen. Bron: Eurostat, RUU, 1990.

- de tropische ontbossing zet zich voort.

In 2025 zullen volgens dit scenario de **bewezen** reserves op zijn gebruikt, alleen kolen zijn dan nog voldoende aanwezig. In *Figuur 2* is weergegeven hoe groot het verbruik en de reserves zijn van de diverse energiedragers. Volgens het business as usual scenario zal de uitstoot van CO₂ stijgen met 7 gigaton koolstof per jaar wat tot een verdriedubbeling van de hoeveel CO₂ in de atmosfeer zal leiden. Voor het broeikas-effect heeft dit een temperatuurstijging van 0.3°C per decade tot gevolg.

Als beleid voor Nederland geldt dat er tussen 1990 en 2000 een reductie van 3 tot 5% van de uitstoot van CO₂ moet plaatsvinden.

Aangezien het energieverbruik (en dus ook de CO₂-uitstoot) nauw is gekoppeld met de huidige levensstijl/wijze cq het huidig economisch handelen, zou een verandering van levensstijl de beste oplossing zijn. Voordat de levensstijl ter discussie wordt gesteld, kan bekeken worden hoe met behulp van technische middelen de uitstoot van CO₂ gereduceerd kan worden. Als mogelijkheden gelden:

- betere energiebesparing;
- duurzame bronnen;
- nucleaire energie;
- kernfusie;
- verschuiving van kolen naar gas;
- afvang en opslag van CO₂;
- stopzetting van de ontbossing;
- bebossing.

Energiebesparing

Historisch bekeken is de energieconsumptie gestegen met de economische groei tot de oliecrisis in 1973. Daarna krijgt de economische groei een ander karakter, er vindt een verschuiving plaats van zware industrie naar de (energiezuiniger) dienstensector. Bovendien wordt energie bespaard gedaan door duurdere energie en stimulansen van de overheid. Na de tweede energiecrisis in 1979 vond een sterke val van het energieverbruik plaats, en stagneerde de economische groei. Na 1982 groeit de economie weer, maar het energieverbruik neemt veel minder toe in vergelijking met eerdere perioden.

De energie-intensiteit, de hoeveelheid gebruikte energie per eenheid BNP, is aan het afnemen (zie *Figuur 3*). Nederland heeft een relatief grote energie-intensiteit vanwege de hoge export en de aanwezigheid van zware chemische industrieën. Duidelijk is de afname van de ener-

West- Europa	22%
USA	29%
Japan	36%

Tabel 1

Gerealiseerde energiebesparing per eenheid BNP gerealiseerd tussen 1973 en 1988.

	Model average	new model average	best model	best prototype
car (km/l)	9	14	25	38
home (Kj/m ³)	190	110	68	11
Refrigerator (W)	170	125	83	41
gas furnace (MJ/day)	210	180	140	110
air conditioner (W)	416	300	210	125

Tabel 2

Mogelijkheden tot efficiency-verbetering. Bron: J.H. Gibon et al., Scientific American, september 1989.

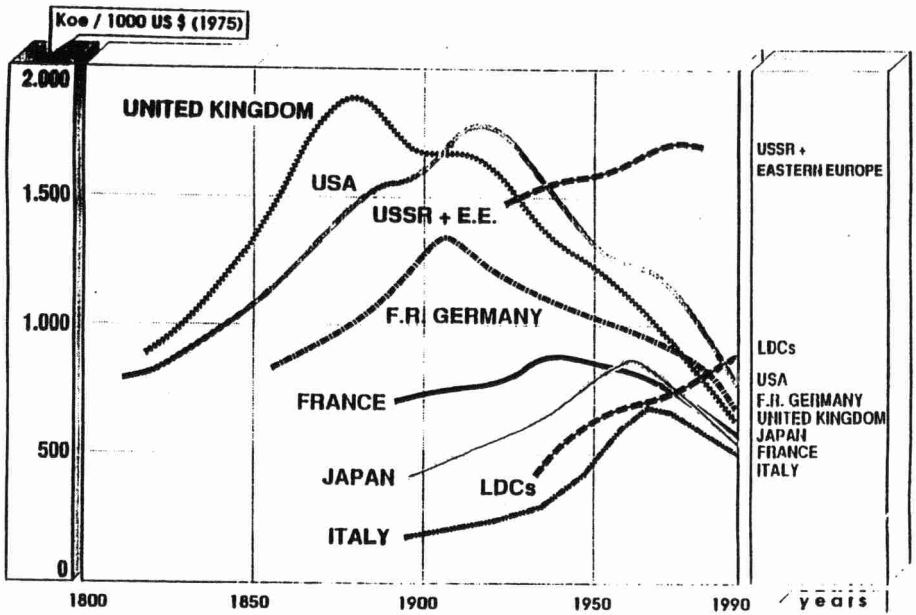
gie-intensiteit in alle geïndustrialiseerde landen. In *Tabel 1* is de energiebesparing (tussen 1973 en 1988) van de geïndustrialiseerde gebieden weergegeven.

In Oost-Europa is er ondanks stagnatie van de economische groei sprake van een stijging van het energiegebruik. Ook in de ontwikkelingslanden is de energie-efficiency laag. In *Figuur 4* is aangegeven hoe de energie-intensiteit zich heeft ontwikkeld. In alle landen vertoont de energie-intensiteit een gelijke ontwikkeling. Na de groei van de energieintensiteit in de beginfase van de ontwikkeling van een land, zet op een gegeven punt een daling van de energie-intensiteit in. In de ontwikkelingslanden en Oost-Europa stijgt de energie-intensiteit, de landen zitten (nog) in de beginfase van hun ontwikkeling. Bij het ontwikkelen van besparingsprogramma's zal daarom ook aan die landen aandacht moeten worden besteed.

De technisch kennis loopt meestal ver vooruit op de gebruikte kennis. In *Tabel 2* is aangegeven wat het energieverbruik van diverse voertuigen en apparaten is bij toepassing van de beschikbare technologisch kennis. Er is dus nog enorm veel winst te behalen met behulp van energiebesparing. Technologisch is het mogelijk om het energieverbruik met 80% te verminderen. Alleen moet daar de wil ook voor aanwezig zijn.

In het autoverkeer, een sector met een relatief hoge omloopsnelheid kan erg veel energie bespaard worden. De hoeveelheid brandstof nodig om een gegeven afstand af te leggen is tot 1982 constant gedaald. Vanaf 1982 is er sprake van stagnatie omdat de consument in grotere auto's rijdt. Technisch zijn er echter zuiniger auto's voorhanden, maar de wil is dus duidelijk niet aanwezig. Als wordt gekeken naar de ontwikkeling van de koelkast is het energieverbruik gedaald van 550 Kwh/jaar in 1973 tot de huidige ontwikkelde prototype dat 50 Kwh/jaar per jaar verbruikt. Ook voor de verwarming van huizen is er een dergelijk beeld te zien. Technisch is het mogelijk om woningen te bouwen die een factor 10 á 20 minder energie verbruiken. In principe is het mogelijk om een nul-energie woning te bouwen, een woning die alleen op basis van zonne-energie werkt. Het voornaamste probleem bij zo'n woning is hoe de woning koel te houden.

Zonder energiebesparing zal door de verschuiving van de economische activiteiten naar de dienstensector, al sowieso een verbetering van de energie-intensiteit plaatsvinden (zie *Figuur 3*). De technologie staat echter niet stil en daarom gaat het business-as-usual scenario ervan uit dat elk jaar de energie-intensiteit met 1% per jaar vermindert. Het overheidsbeleid in Nederland vindt dit niet voldoende en gaat uit van



Figuur 4

Energieintensiteit historisch gezien.

20% reductie van de gebruikte hoeveelheid energie in 2000. Als alle mogelijke rendabele energie-besparingsmogelijkheden gebruikt worden is een reductie van 30% mogelijk. Bij gebruik van alle mogelijke technologieën is zelfs een reductie van 40% haalbaar.

Energiebesparing is zeer moeilijk te realiseren, omdat de energieprijs laag is. In *Figuur 5* is te zien dat in 30 jaar tijd de energieprijs (gecorrigeerd voor inflatie) niet is toegenomen. In dezelfde periode is de welvaart meer dan verdubbeld. Om energiebesparing te stimuleren zal de prijs van energie flink omhoog moeten, bijvoorbeeld door het invoeren van een energieheffing.

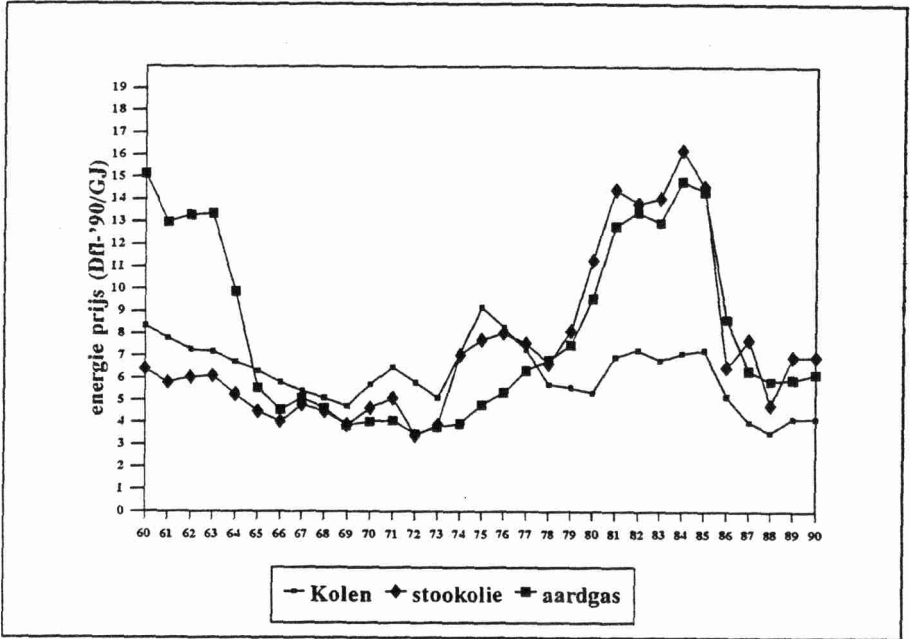
Duurzame energiebronnen

Zonne-energie is de meest beschikbare energievorm. De verhouding tussen ingestraalde hoeveelheid zonlicht en verbruikte energie is 10.000 : 1. Door het niet continue-karakter van het zonlicht zal er bij het grootschalig gebruik van zonne-energie altijd gebruik moeten worden gemaakt van energieopslag. 20% van de mondiale energievraag wordt nu al door duurzame bronnen vervuld (6% hydro, 14% bio-massa). In Noorwegen en Brazilië is reeds 60% van de energie afkomstig uit duurzame bronnen, in landen als Duitsland en Nederland is dat echter maar een paar procent. In *Tabel 3* is te zien hoe groot de bijdrage van duurzame energie is in diverse landen.

Duurzame energiebronnen zijn indirect ook verantwoordelijk voor de uitstoot van CO₂. Bij het bouwen van de bronnen is er bijv. energie nodig die afkomstig is van andere fossiele bronnen. In *Tabel 4* is de CO₂-emissie coëfficiënt voor een aantal bronnen gegeven, ter vergelijking is deze ook voor een aantal niet-duurzame bronnen aangegeven. Opvallend is dat de thermische energieconversie uit de oceaan, energie-opwekking door het temperatuursverschil tussen de diverse lagen van het oceaانwater, relatief veel CO₂ uitstoot. In het oceaانwater is veel CO₂ aanwezig dat op deze manier vrijkomt.

Het realiseerbare potentieel aan duurzame bronnen is in *Tabel 5* weergegeven. Ter vergelijking, het mondiale energieverbruik is nu 400 EJ. De bijdrage van Biomassa kan wel eens een factor 2 hoger zijn, dit heeft erg te maken met hoe er met de bossen wordt omgegaan.

Het tropisch regenwoud wordt onterecht de longen van de aarde genoemd. Een volwassen bos is CO₂-neutraal: de uitstoot van CO₂ is even groot als de opname, anders zou het bos groeien. Een mogelijkheid is om met behulp van productiebossen de uitgestootte CO₂ vast te leggen.



Figuur 5

Energieprijs in Nederland tussen 1960 en 1990 (industrie, halfjaarlijks gemiddelde). Bron: CBS.

Land	1984/85 (%)	2000 (%)
Brazilië	59.0	64.3
Noorwegen	61.1	63.0
Japan	5.1	13.5
Australië	9.4	12.6
Israël	2.3	12.0
Denemarken	2.0	10.0
Griekenland	5.9	8.9
Verenigde Staten	7.4	8.7
West-Duitsland	2.5	5.5

Tabel 3

Bijdrage van duurzame-energiebronnen aan de energiebehoefte in 1984 en in 2000.

Technologies	ton CO ₂ per GWh
Conventional coal plant	964
AFBC plant	963
IGCC electric plant	751
Oil fired plant	726
Gas fired plant	484
Ocean thermal energy conversion	304
Geothermal energy conversion	57
Small hydropower	10
Boiling water reactor	8
Wind energy	7
Photovoltaics	5
Solar thermal	4
Large hydropower	3
Wood (sustainable harvest)	-160

Tabel 4

Totale CO₂ emissie coëfficiënt.

Energysource	result
PV (central)	600 EJ/yr
PV (decentral)	30 EJ/yr
Active solar	20 EJ/yr
Passive solar	50 EJ/yr
Biomass	150 EJ/yr
Hydro	50 EJ/yr
Wind	70 EJ/yr
Geothermal (wet)	20 EJ/yr
Tidal	5 EJ/yr
Total	1000 EJ/yr

Tabel 5

Realiseerbaar potentieel aan duurzame energiebronnen.

	1985	2020
Hydro	18.69	51
Geothermal	0.55	2
Solar	0.55	20
Wind	0.04	6
Biomass	36.62	130
Total	56.45	209

Tabel 6

Geschatte minimale bijdrage van duurzame energiebronnen in 2020.

Binnen de SEP (samenwerkende energiemaatschappijen) wordt nog erg weinig aandacht besteed aan deze optie, deze zien de aanleg van bossen als compensatie van de huidige uitstoot van CO₂ door de verbranding van fossiele brandstoffen.

In *Tabel 6* is aangegeven hoe groot de geschatte bijdrage van duurzame energie in 2020 zal zijn. Duurzame energie neemt dan de helft van de mondiale energievraag voor haar rekening en de belangrijkste bijdrage moet dan van biomassa komen.

Windenergie

De hoeveelheid geïnstalleerd windvermogen zal volgens *Tabel 6* moeten stijgen tot 450000 W geïnstalleerd vermogen. Momenteel is dat 2000 MW waarvan 1400 MW in Californië. Ook in Nederland zal het opgesteld vermogen stijgen van 100 MW nu, tot 1000 MW in het jaar 2000 en 2000 MW in 2010.

Zonne-energie

Jaarlijks wordt er ongeveer 50 MW aan zonnecellen verkocht. De kostprijs van de energie die wordt opgewekt door een zonnecel ligt rond de 1 gulden per Kwh als we uitgaan van installatie van zonnecellen op daken van huizen. (10 cent per Kwh voor een kolencentrale). De prijs van de zonnecellen moet omlaag, door het rendement van de cellen te vergroten. Gestaan neemt het rendement van de zonnecellen toe. Een andere weg is om de zonnecellen zo dun mogelijk te maken, dat scheelt veel in de produktiekosten. In principe kunnen over 20 jaar zonnecellen worden geproduceerd die concurrerend zijn met andere energiebronnen.

Biomassa

Biomassa zal in de toekomst een belangrijke rol spelen. In Nederland wordt het onderzoek daarna gestimuleerd door o.a. het ministerie van Economische Zaken. In *Tabel 7* is te zien wat de energieprijzen zijn bij de opwekking van energie uit een aantal gewassen. Ter vergelijking, de prijs van de energie uit steenkool is 4,70 gulden per GJ. Stro, populieren en olifantegras zijn het meest geschikt om energie uit op te wekken. Na vergassing van het cellulose-materiaal kan een gasturbine worden aangedreven om electriciteit op te wekken. Zeker in gebieden waar er voldoende ruimte aanwezig, denk aan ontwikkelingslanden, heeft biomassa enorme perspectieven.

Anno 2000	Kosten (f/ha)	Opbrengst (GJ/ha)	Prijs (f/GJ)
Wintertarwe	4326	206	21,0
Wintertarwe (whole crop)	4326	227	19,1
Stro (tarwe)	200	71	2,8
Suikerbieten	6465	336	19,2
Koolzaad	4115	234	17,6
Snijmais	4089	235	17,4
Populier	2150	257	8,4
Miscanthus	2825	272	10,4

Tabel 7

Productiekosten per energie-eenheid.

Als er voldoende aandacht wordt besteedt aan duurzame bronnen, gecombineerd met energiebesparing moet de CO₂ uitstoot in 2050 teruggaan naar 4 Gigaton koolstof per jaar (zie). Er zal echter ook meer onderzoek moeten worden gedaan naar biomassa. Slecht 16% van de onderzoeksgelden t.b.v. energie komt terecht bij de duurzame energiebronnen. Aan biomassa wordt minder dan 1% van de onderzoeksgelden gespendeerd.

CO₂-afvang & opslag

Sinds 1988 is er een groeiende interesse, zeker uit Japan, in methoden om CO₂ af te vangen bij het verbrandingsproces en daarna op te slaan in b.v. lege aardgasvelden. Er is nog heel weinig onderzoek naar gedaan. Waar moet de CO₂ naar toe?

- versterkte olieterugwinning;
- gebruik in de chemische industrie;
- lege aardgasvelden: Het ene broeikasgas (methaan) ruilen tegen het andere;
- opslag in olievelden;
- opslag in de oceaan: Er zijn in de natuur evenwichtssystemen waarbij CO₂ een evenwichtsreactie vormt met mineralen op de bodem. De (milieu)-consequenties van deze methode moeten nog goed worden doorgerekend.

Conclusie

Kan de energieproblematiek worden opgelost met technische middelen zonder verandering van levenswijze (welvaart)? Met bovengenoemde technische middelen en verschuiving van energiebronnen kan er al heel veel bereikt worden. De vraag is of dat afdoende is.

* *De hier opgenomen tekst is afkomstig van de werkgroep Natuurkunde en Samenleving van de Technische Universiteit Eindhoven, waar prof.dr. W.C. Turkenburg in het voorjaar van 1992 eenzelfde lezing heeft gehouden als op het symposium 'Energie in de toekomst: een brandende kwestie'. Deze tekst vormt een bewerking van bandopnamen van genoemde lezing. Onze dank aan de werkgroep Natuurkunde en Samenleving TUE voor hun behulpzame medewerking.*

Noot

1. Er zijn grote verschillen in reserves (voorraden die daadwerkelijk aanwezig zijn, economisch winbaar en 90% zeker dat het gewonnen kan worden) en de daadwerkelijk reserves. De reserves worden dus altijd te laag ingeschat.

Energie en het broeikaseffect

A.P.M. Baede

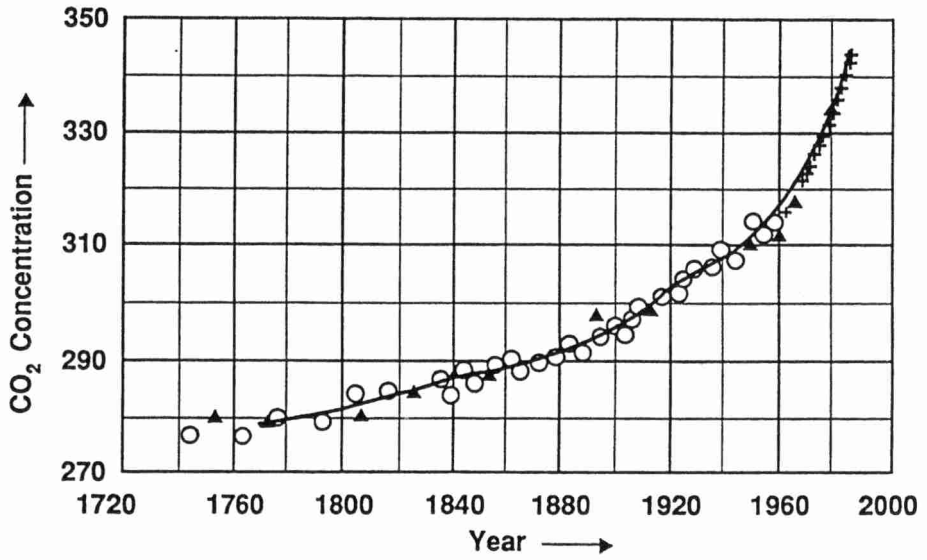
Inleiding

Onder de milieuproblemen, die onze samenleving bedreigen, neemt de mogelijke klimaatverandering tengevolge van het broeikaseffect een bijzondere plaats in. Alle facetten van de wereldwijde milieuproblematiek zien we bij het broeikaseffect als het ware uitvergroot terug: de verspilling van energie en andere natuurlijke hulpbronnen door de rijke landen en de toenemende behoefte en schaarste aan hulpbronnen in de ontwikkelingslanden; de directe relatie met elementaire levensbehoeften zoals voedsel, warmte, behuizing en transport. De gevolgen van de dreigende klimaatverandering kunnen catastrofaal zijn en een grote bedreiging vormen voor het voortbestaan van soorten en de stabiliteit van ecosystemen, voor onze voedselproductie en uiteindelijk voor het voortbestaan van onze menselijke samenleving.

In deze voordracht zal ik een overzicht geven van de oorzaken en mogelijke gevolgen van het broeikaseffect. In het kader van het thema van deze bijeenkomst zal ik extra aandacht besteden aan de belangrijkste oorzaak van het broeikaseffect, de energieproductie uit fossiele brandstoffen. Vermindering van het energieverbruik en verbetering van de energie efficiëntie is de belangrijkste sleutel tot de oplossing van het probleem en draagt ook bij aan de oplossing van andere knellende milieuvraagstukken zoals zure regen en ontbossing.

Wat is het broeikaseffect?

Ons aardse klimaatsysteem is het onderling door zeer ingewikkelde relaties samenhangende dynamische systeem van atmosfeer, oceaan, land, ijs en biosfeer. Voortdurend vindt uitwisseling van stoffen en energie plaats tussen deze componenten. Water verdampt en veroorzaakt regen of sneeuw; de circulatie van oceaan en atmosfeer transporteert energie van evenaar naar pool; leven ontstaat en vergaat en heeft



Afbeelding 1

Toename van de CO₂-concentratie sinds het begin van de zeventiende eeuw. De cirkeltjes en driehoekjes zijn metingen aan luchtbelletjes in ijs; de kruisjes zijn directe metingen op Hawaii. Eenheid: delen CO₂ per miljoen delen lucht.

een diepgaande, grotendeels nog onbekende, invloed op klimaatprocessen. Dit alles wordt mogelijk gemaakt door de energie van de zon die onze aarde bereikt. Uiteindelijk staat het klimaatstelsel deze energie ook weer af, voor een heel klein deel vastgelegd in fossiel biologisch materiaal maar grotendeels uitgestraald in de vorm van warmte en infrarode straling.

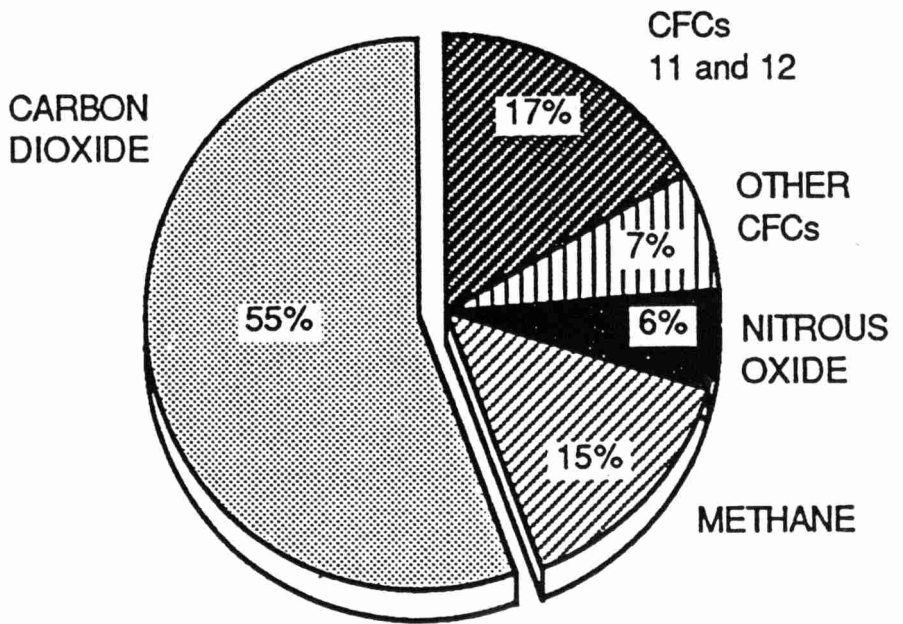
Mede onder invloed van biologische processen heeft onze dampkring een unieke samenstelling, vergeleken met andere, levenloze, planeten. Onze dampkring bestaat vrijwel volledig uit stikstof en zuurstof met een zeer geringe hoeveelheid andere gassen waaronder kooldioxyde (0.03%) en waterdamp. Het zijn juist deze sporengassen die voor de energie huishouding van het klimaatstelsel van groot belang zijn. Zowel kooldioxyde als waterdamp hebben de eigenschap infrarode straling te kunnen absorberen waardoor meer energie aan het klimaatstelsel beschikbaar komt. Dit is het natuurlijke broeikas-effect dat er voor zorgt dat onze aarde bewoonbaar is. Zonder dit natuurlijke broeikas-effect zou het hier veel te koud zijn.

Door menselijke activiteiten neemt de laatste 150 jaar de concentratie van gassen, die infrarode straling kunnen absorberen, in de dampkring toe. De atmosfeer wordt ondoorzichtiger voor infrarode straling waardoor een groter deel van de energie die door het klimaatstelsel wordt uitgestraald, in de dampkring wordt vastgehouden. Het is deze verstoring van het natuurlijke broeikas-effect, deze extra hoeveelheid energie die in het klimaatstelsel wordt vastgehouden, die we gewoonlijk het 'broeikas-effect' noemen.

Oorzaken

In tegenstelling tot vele andere milieuproblemen zijn de oorzaken van het broeikas-effect buitengewoon complex. Ze zijn wereldomspannend, hangen samen met onze energiebehoefte en voedselproductie, met onze welvaart en de armoede van de derde wereld.

De belangrijkste bijdrage wordt geleverd door de toename van de concentratie van kooldioxyde (CO_2), die sinds de industriële revolutie met zo'n 25% is toegenomen en die nog altijd met 0.5% per jaar stijgt (zie *afbeelding 1*). Kooldioxyde is grotendeels afkomstig van de



Afbeelding 2

Bijdrage aan het broeikaseffect van verschillende broeikasgassen, door de mens in de atmosfeer gebracht gedurende de jaren tachtig.

Bron: IPCC, 1990.

verbranding van fossiele brandstoffen, onze belangrijkste energiebron, maar ook voor een aanzienlijk deel van ontbossing. Dit illustreert al de essentie van het probleem: enerzijds de verspillende wijze waarop de rijke landen met energie omgaan, anderzijds de toenemende bevolkingsdruk in de derde wereld waar tropenbos verdwijnt voor voedselproductie.

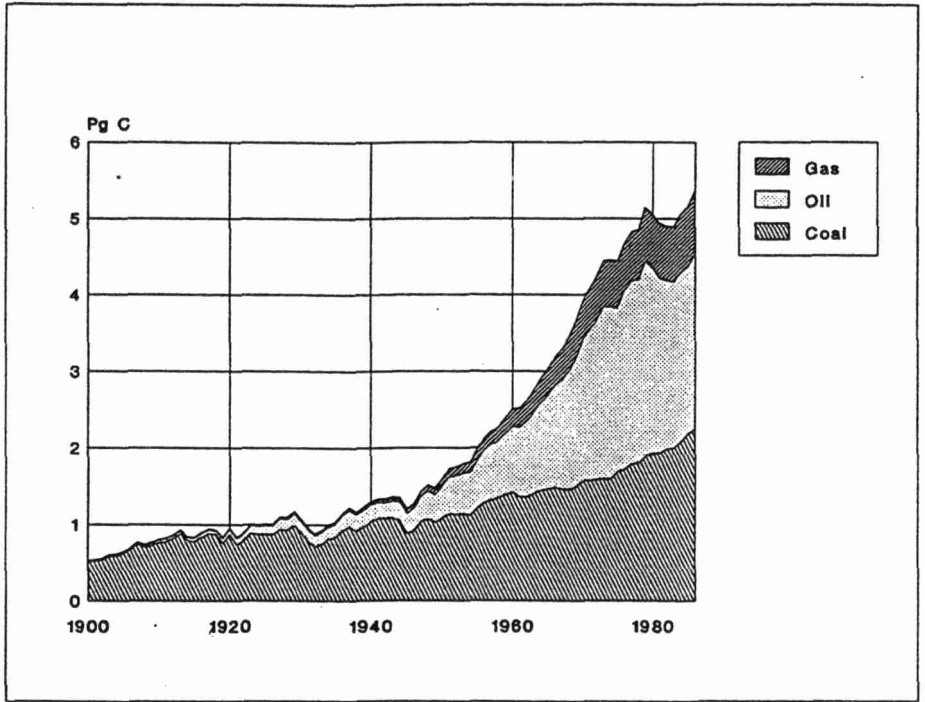
Lachgas (N_2O) en methaan (CH_4), twee andere belangrijke broeikasgassen, nemen toe door intensivering van de landbouw. Vooral de natte rijstbouw en de veeteelt dragen bij aan de methaan toename. Overmatig kunstmestgebruik is een belangrijke oorzaak van de toename van lachgas. Ook hier zien we een direct verband van het probleem met de snel toenemende wereldbevolking.

Kooldioxyde, lachgas en methaan komen ook van nature in de dampkring voor. Dat is niet het geval met een aantal door de chemische industrie vervaardigde en voor allerlei doeleinden toegepaste broeikasgassen waarvan de chloorfluorkoolwaterstoffen de bekendste zijn. CFK's werden toegepast als drijfgas in spuitbussen en worden nog op grote schaal gebruikt in ijskasten en bij vervaardiging van sommige soorten schuimplastics. Ze veroorzaken de afbraak van de ozonlaag en het beruchte ozongat maar zijn ook zeer effectieve broeikasgassen. Elk CFK-molekuul is een paar duizend maal effectiever in het absorberen van infrarode straling dan een kooldioxyde molekuul. Als we al niet jaren geleden begonnen waren met maatregelen om het gebruik van te beteugelen dan zouden CFK's nu de belangrijkste broeikasgassen zijn.

Samenvattend moeten de oorzaken van het broeikaseffect vooral gezocht worden in de onzorgvuldige levenswijze van het geïndustrialiseerde deel van de wereldbevolking en de snelle bevolkingsgroei die vooral is geconcentreerd in de ontwikkelingslanden. Tot nu toe zijn het vooral de geïndustrialiseerde landen die het probleem veroorzaakt hebben. Van de gevolgen zullen vooral de ontwikkelingslanden te lijden hebben.

Bijdrage van de energiesector

Afbeelding 2 laat de bijdragen van de verschillende broeikasgassen zien aan het broeikaseffect in de jaren tachtig. Verreweg de grootste bijdrage wordt geleverd door kooldioxyde, gevolgd door methaan. Energieproductie door verbranding van fossiele brandstoffen levert het



Afbeelding 3

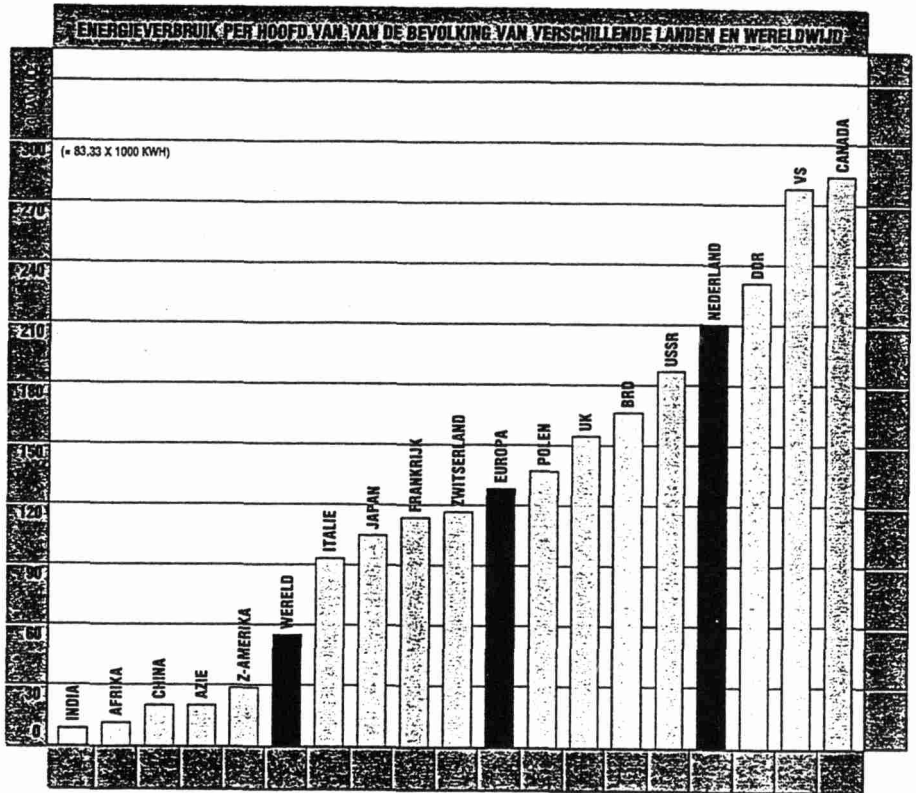
Kooldioxyde uitstoot ten gevolge van de verbranding van verschillende fossiele brandstoffen.

Bron: Rotty, R.M. and C. Masters 1985, *Past and future releases of CO₂ from Fossil Fuel Combustion*, Institute for Energy Analysis, Oak Ridge.

grootste aandeel aan de CO₂-uitstoot maar draagt ook bij aan de methaanuitstoot, vooral door aardgaslekkage, en aan de uitstoot van lachgas dat ontstaat bij het verbrandingsproces. Daarnaast leveren andere verbrandingsproducten door hun invloed op de chemie van de atmosfeer, vooral op de OH-concentratie en de ozonvorming, nog een significante indirecte bijdrage aan het broeikaseffect. Okken e.a. (1989) schatten dat 75% van het broeikaseffect wordt veroorzaakt door de energiesector, waarvan zo'n 50% door de uitstoot van CO₂. De overige 25% is afkomstig van de landbouw, de industrie en andere activiteiten. De bijdrage van de energie sector aan het broeikaseffect komt voor ruwweg een derde voor rekening van de transportsector. De overige twee derde is afkomstig van energieopwekking voor huishoudelijk en industrieel gebruik, en van andere industriële activiteiten.

Fossiele brandstoffen, kolen, olie en gas, dragen elk in verschillende mate bij aan de CO₂-uitstoot. *Afbeelding 3* toont deze bijdragen vanaf 1900 tot heden, uitgedrukt in petagrammen koolstof (1 petagram is gelijk aan 10¹⁵ gram of 1 miljard ton). Gedurende de eerste helft van de twintigste eeuw overheerste het gebruik van kolen, zoals ook nu nog in een ontwikkelingsland als China. Daarna is de bijdrage van olie en gas sterk toegenomen.

Tabel 1 (uit Okken e.a., 1989) laat zien dat verbranding van kolen (voornamelijk zuivere koolstof) de grootste hoeveelheid CO₂ produceert per geleverde hoeveelheid energie. Olie (koolwaterstoffen) en aardgas (voornamelijk methaan) produceren beduidend minder CO₂ omdat een belangrijk deel van de energie afkomstig is van de verbranding van waterstof tot water. Dit voordeel van aardgas kan overigens gemakkelijk teniet worden gedaan door lekkage bij de winning en het transport van het gas. Methaan is een veel effectiever broeikasgas dan CO₂; elke kilo methaan draagt een factor twintig meer bij aan het broeikaseffect dan een kilo kooldioxyde. Het weglekken van een paar procent aardgas is dan ook voldoende om het voordeel teniet te doen.



Afbeelding 4

Energieverbruik per hoofd van de bevolking voor verschillende landen, gebieden en wereldwijd.

Bron: *Een paar graden meer?* 1989, KNMI en RIVM.

Brandstof	Uitstootfactor (kton CO ₂ /PJ)
kolen	94
olie	75
aardgas	56
benzine	73
diesel	73

Tabel 1 Uitstootfactoren

Het energieverbruik is zeer ongelijk verdeeld in de wereld. *Afbeelding 4* toont het energieverbruik per hoofd van de bevolking in verschillende landen, gebieden en wereldwijd. Opvallend zijn de enorme verschillen. De gemiddelde Afrikaner verbruikt twintig keer zo weinig als een Noord-amerikaan. Een Nederlander verbruikt bijna vier maal zoveel als de gemiddelde wereldburger. Het is duidelijk: de geïndustrialiseerde landen hebben het probleem veroorzaakt, maar de ontwikkelingslanden met hun snelle bevolkingsgroei en hun deels ook zeer snel groeiende productie zullen in de toekomst een belangrijke bijdrage leveren. Milieu en ontwikkeling zijn twee nauw verweven problemen.

Gevolgen

We hebben gezien dat door menselijke activiteiten een extra hoeveelheid energie aan het klimaatsysteem ter beschikking komt waardoor het evenwicht tussen de binnenkomende straling van de zon en de door de aarde uitgezonden straling wordt verstoord.

Wat doet het klimaatsysteem met die verstoring? De eenvoudigste manier om het evenwicht te herstellen is een temperatuurverhoging van het aardoppervlak. Bij de verdubbeling van de kooldioxyde concentratie zou die temperatuur met ruim 1°C moeten toenemen. Maar zó eenvoudig is het niet. Het klimaatsysteem is zo ingewikkeld dat het op allerlei manieren kan reageren en dat de ene verandering de andere oproept zodanig dat de temperatuurtoename nog verder wordt versterkt of juist tegengewerkt. Dit soort reacties wordt terugkoppe-

lingen genoemd. Een bekend voorbeeld is de waterdampterugkoppeling. Door de temperatuurverhoging neemt de verdamping toe waardoor de waterdamconcentratie in de atmosfeer stijgt. Waterdamp is een broeikasgas, zodat het broeikas effect nog verder wordt versterkt. Dit is een positieve terugkoppeling. Er zijn ook voorbeelden bekend van negatieve, het broeikas effect tegenwerkende, terugkoppelingen. Een terugkoppeling waarvan nog niet bekend is of hij mee- of tegenwerkt is het effect van bewolking op de stralingshuishouding. Daar wordt dan ook intensief onderzoek naar gedaan.

Het klimaatsysteem is buitengewoon complex en we kunnen er ook niet mee experimenteren. De enige manier om er onderzoek naar te doen is met behulp van computermodellen, die in feite een vereenvoudigde weergave van het klimaatsysteem zijn. Deze modellen vertonen nog veel tekortkomingen. Zo zijn er nu pas modellen beschikbaar waarmee het gedrag van de atmosfeer en de oceanen gelijktijdig en gekoppeld kan worden nagebootst. De biosfeer wordt nog slechts zeer vereenvoudigd nagebootst, deels omdat we nog niet genoeg weten over de interactie tussen de biosfeer en de rest van het klimaatsysteem.

We weten dat het gedrag van het klimaatsysteem zeer gevoelig is voor de invloed van bewolking, maar zoals we hierboven al zagen weten we nog weinig af van het effect daarvan. Toch hebben we enig vertrouwen in de modelvoorspellingen van de toekomst van het aardse klimaat, vooral waar het gaat om de grootschalige aspecten. Want ondanks alle tekortkomingen zijn de huidige modellen heel redelijk in staat om grootschalige aspecten van het huidige klimaat met zijn seizoenvariaties en belangrijke aspecten van het klimaat gedurende de laatste ijstijd na te bootsen.

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1990), opgericht door de Verenigde Naties, heeft alle kennis en de daarbij behorende onzekerheden verzameld en op grond daarvan samengevat wat we over het klimaat van de volgende eeuw kunnen zeggen. Ze zijn daarbij uitgegaan van een aantal scenario's voor de broeikasemissies in de volgende eeuw, die uiteraard afhangen van allerlei sociale, economische en technische factoren die we nog niet kennen. Het scenario waarop de nu volgende resultaten zijn gebaseerd, veronderstelt dat er tot het jaar 2100 geen wezenlijke wijzigingen in het beleid zullen

plaatsvinden. Op basis van dit scenario komt het IPCC tot de volgende conclusies.

Het broeikaseffect zal zeker leiden tot een wereldwijde temperatuurverhoging, aldus het IPCC. Bij ongewijzigd beleid zal die stijging rond het jaar 2025 ongeveer 1°C boven de huidige temperatuur bedragen en tegen het einde van de volgende eeuw zo'n 3°C met een onzekerheidsmarge tussen 2°C en 5°C. Zo'n snelle temperatuurstijging heeft de aarde de laatste 10.000 jaar niet meegemaakt. Ook de neerslag en verdamping zal wereldwijd toenemen. Het IPCC stelt verder vast dat we over de regionale klimaatveranderingen, in gebieden ter grootte van West-Europa, heel wat minder zeker zijn. Er zijn aanwijzingen dat de temperatuurstijging in Zuid-Europa en het centrale deel van Noord-Amerika groter zal zijn dan wereldwijd gemiddeld, gepaard gaand met minder neerslag in de zomer maar meer dan vage aanwijzingen zijn dit niet.

Het IPCC concludeert dat de zeespiegel zal stijgen vooral door uitzetting van het zeewater en door het smelten van gletsjers en ijskappen. Nog steeds uitgaand van de veronderstelling dat de uitstoot van broeikasgassen vrijwel onverminderd blijft doorgroeien komt het IPCC tot de conclusie dat de zeespiegel rond het jaar 2030 met zo'n 20 cm zal zijn gestegen en tegen het eind van de volgende eeuw met 65 cm met een onzekerheidsmarge tussen 30 cm en 1 m. Op dit moment stijgt de zeespiegel met 20 cm per eeuw. Ook hier geldt dat de zeespiegelstijging regionaal aanzienlijk kan afwijken van de wereldwijd gemiddelde stijging. Zulke vooruitzichten zijn verontrustend omdat klimaatveranderingen van zo'n omvang, grote gevolgen kunnen hebben voor de leefbaarheid en veiligheid van grote gebieden op aarde, op de waterhuishouding en de voedselvoorziening, en op natuurlijke ecosystemen. Een groot deel van de wereldbevolking, met name in de ontwikkelingslanden, woont in laaggelegen vruchtbare delta's en kustgebieden. Niet alleen hun woonplaatsen maar ook hun landbouwgebieden worden bedreigd door de stijgende zeespiegel. Ook de grote graangebieden in de Verenigde Staten worden bedreigd door toenemende droogte. Daartegenover staat weer dat de Canadese landbouw misschien wordt bevorderd door een langer groeiseizoen.

In Nederland zal de kans op overstromingen toenemen tenzij we de duinen en dijken versterken. Zout kan via de rivieren of door kwel onder de duinen verder ons land binnendringen met nadelige gevolgen

voor de landbouw en de drinkwatervoorziening. De gevolgen voor de rivierafvoeren zullen afhangen van veranderingen in het neerslag-regime in West-Europa, waarover wij nog niets weten.

Maar Nederland zal de directe gevolgen wel de baas kunnen. Onze landbouw is niet erg klimaatgevoelig en we hebben de techniek en het geld in huis om onze kust te verdedigen. Het zullen toch weer de ontwikkelingslanden zijn die de grootste klappen krijgen. Zoals Bangladesh dat toch al zo te lijden heeft onder overbevolking en overstromingen, of kleine eilandstaatjes in de Stille en Indische Oceaan die geheel dreigen te verdwijnen.

De directe gevolgen voor Nederland mogen dan wellicht meevallen, bij ongewijzigd beleid zal ook ons land op den duur ernstige consequenties kunnen ondervinden van een klimaatverandering vooral als deze gepaard gaat met andere ingrijpende milieuproblemen. Ons land zal zich niet van de rest van de wereld kunnen isoleren. Wereldwijde voedselproblemen, armoede en vervuiling kunnen grote stromen ecovluchtelingen op gang brengen die ook West Europa kunnen overspoelen. Wereldwijde instorting van economie en voedselproductie, natuurlijke hulpbronnen en voorraden, zoals beschreven in het recente boek *De grenzen voorbij* van de Club van Rome, zullen ook ons deel van de wereld niet ongemerkt voorbij gaan. Het is niet uitsluitend altruïsme dat ten grondslag ligt aan het Nederlands beleid op het gebied van klimaat en milieu.

Het Nederlands beleid

Het Nederlands beleid is primair gericht op de beheersing van de kooldioxyde uitstoot. Van duurzaamheid kan pas gesproken worden als we er in slagen de concentratie van de broeikasgassen te stabiliseren, en wel op een zodanig niveau dat nadelige menselijke invloed op ecosystemen en voedselproductie wordt vermeden. Geschat wordt dat dan de gemiddelde temperatuur op aarde met niet meer dan 0.1 °C per decennium mag stijgen en de uiteindelijke concentratie niet meer dan een factor twee hoger mag zijn dan de oorspronkelijke. Voor stabilisatie van de uitstoot op het huidige niveau is een reductie van de uitstoot met 60% vereist. Dit is praktisch en politiek onhaalbaar. Bovenstaande doelstelling is dan ook een lange termijn doelstelling, aan de verwezenlijking waarvan wel nu begonnen moet worden.

Het Nederlands beleid (Klimaatnota, 1991) staat niet op zichzelf maar krijgt vorm in EG-verband. Als eerste stap op weg naar verwezenlijking van de lange termijn doelstelling heeft de EG als geheel besloten te komen tot stabilisatie van de CO₂-uitstoot in het jaar 2000 op het niveau van 1990. Omdat in de minder ontwikkelde lidstaten stijging van de uitstoot onvermijdelijk is, wordt een extra inspanning van de welvarende lidstaten verwacht. De Nederlandse doelstelling sluit hierbij aan: stabilisatie van de uitstoot in 1994/95 op het niveau van 1989/90 (182 mln ton CO₂) en verdere reductie met 3-5 % in het jaar 2000. Aan deze doelstelling dient de energiesector 75% bij te dragen, de verkeer- en vervoersector 15% en afvalvermindering 10%.

Om de voorgenomen stabilisatie te bereiken zal inzet van een brede scala aan maatregelen nodig zijn. Het beleid is dan ook gericht op ontwikkeling en bevordering van energiebesparende technieken, op energie-efficiëntie verbetering van 2% per jaar, de inzet van brandstoffen met lagere CO₂-uitstoot en in toenemende mate van duurzame energiebronnen, terwijl ook afvangen en opslag van kooldioxyde kan worden overwogen. In de bijdrage van Turkenburg aan deze bijeenkomst worden de technische mogelijkheden uitgebreid besproken.

Dergelijke maatregelen en bestaande beleidsinstrumenten zullen wellicht niet voldoende zijn om stabilisatie binnen de gestelde tijd te bereiken. Nieuwe instrumenten, zoals een regulerende energieheffing, zijn dan noodzakelijk. De discussie hierover, zowel nationaal als in EG-kader, toont aan hoe moeilijk het zal zijn de doelen van het CO₂-reductie beleid te bereiken. Essentieel is dat deze doelen ook internationaal, buiten de EG, worden gedragen. Het in mei 1992 in VN-verband gesloten Klimaatverdrag is een eerste stap. Bemoedigend is dat de lange-termijn doelstelling, die ten grondslag ligt aan het Nederlands beleid, in dit Verdrag is overgenomen. De overeengekomen afspraken gaan lang niet zover als gewenst door de EG en Nederland in het bijzonder, maar toch is nu een eerste wereldwijde stap gezet op weg naar de oplossing van één van de lastigste milieuvraagstukken waarvoor de mensheid zich ziet gesteld.

Literatuur

Houghton J.T., G.J. Jenkins and J.J. Ephraums (eds.) 1990. *Climate Change, the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press.

Klimaatnota 1991. Nota *Klimaatverandering* aan de Tweede Kamer der Staten Generaal. Tweede Kamer, vergaderjaar 1990-1991, nrs 1-2, p. 22-232.

Okken P.A., R.J. Swart and S. Zwerver (eds.) 1989. 'Okken e.a.'. In *Climate and Energy, The feasibility of controlling CO₂ emissions*. Kluwer Academic Publishers.

ENERGIEBESPARING

Implementatie van energiebesparing

K. Blok

Inleiding

Het is vrij algemeen erkend dat er een groot technisch potentieel aanwezig is om tot energiebesparing te komen. Naar verwachting kan er in het jaar 2000 ca. 35% worden bespaard. Dit percentage geldt ten opzichte van een situatie waarbij er geen enkele verbetering van de energie-efficiency in vergelijking met 1990 optreedt¹⁾. Een besparing van 25 tot 30% is economisch aantrekkelijk, indien verdiscontering over de levensduur plaatsvindt. Toch zal naar verwachting, zonder stimulering van buiten af, slechts een besparing van ca. 10% worden bereikt. Het doel van de overheid is om in het jaar 2000 een besparing van 20% te bereiken²⁾. Naar verwachting zal door de combinatie van de toename van economische activiteit en deze 20% energiebesparing het energieverbruik in Nederland ongeveer stabiliseren.

In het kader van de beperking van het risico op klimaatverandering is een stabilisatie van de uitstoot van kooldioxide het minste wat we kunnen doen. Een verdere reductie zou wenselijk zijn. Uit voorgaande cijfers blijkt dat dit in beginsel mogelijk is. Het is echter de vraag welke middelen de overheid kan inzetten om tot zo'n gewenste verdere besparing te komen.

Het doel van deze notitie is om een overzicht te geven van de mogelijk in te zetten beleidsinstrumenten en om tot een eerste beoordeling van deze instrumenten te komen. Daartoe zal in het volgende, eerst een indeling van de beleidsinstrumenten worden gegeven. Elk van de categorieën zal vervolgens worden besproken, waarbij zowel ervaringen uit het verleden als mogelijkheden voor de toekomst aan de orde zullen komen. De nadruk zal liggen op activiteiten gericht op het bedrijfsleven. Hieruit zullen voorlopige conclusies worden getrokken.

Indeling beleidsinstrumenten

De volgende typen instrumenten kunnen worden onderscheiden met betrekking tot de bevordering van energiebesparing (en in het algemeen tot de bevordering van door de overheid voorgestaan gedrag).

- **Communicatieve instrumenten.** Hieronder valt het genereren en overdragen van kennis over energiebesparing. De vorm kan variëren van algemene media-campagnes tot zeer gerichte voorlichting aan geselecteerde groepen. Ook onderzoek- en ontwikkelingswerk kan hiertoe gerekend worden.
- **Economische instrumenten.** Bij toepassing van economische instrumenten worden financiële prikkels gegeven die het gedrag moeten veranderen. Deze prikkels kunnen subsidies zijn, om gewenst gedrag te stimuleren, of heffingen, om ongewenst gedrag te ontmoedigen.
- **Juridische instrumenten.** Bij juridische instrumenten, ook aangeduid als fysieke regulering, worden grenswaarden vastgesteld waaraan menselijke activiteiten moeten voldoen. Voorbeelden zijn emissielimieten en efficiencystandaards. Convenanten kunnen als een vorm van vrijwillige regulering worden beschouwd.
- **Institutionele instrumenten.** Hierbij zorgt de overheid voor zodanige structuurverandering in maatschappelijke instituties dat het gewenste gedrag aantrekkelijker wordt, danwel dat barrières voor het gewenste gedrag worden opgeheven.

Communicatieve instrumenten

Sinds de introductie van een energiebesparingsbeleid in Nederland, heeft de voorlichting, in allerlei vormen, hiervan een vast onderdeel uitgemaakt. Bekend is de algemene campagne met als symbool de opbrandende wereldbol. In de richting van het bedrijfsleven is er veel werk uitgevoerd door de voormalige Stichting Voorlichting Energiebesparing Nederland. Naast algemene campagnes, bijv. met betrekking tot warmte-krachtkoppeling, zijn ook bedrijfstakgerichte campagnes (bijv. de metaalverwerkende industrie, het onderwijs) en bedrijfsgerichte campagnes uitgevoerd, waarbij bijvoorbeeld gebruik is gemaakt van een adviesbus.

Het 'energiebesparingsonderzoek', bijv. gericht op industriële energiebesparing, had sterk het karakter van voorlichting, d.w.z. het verspreiden van kennis (zonder dat veel nieuwe kennis werd gegenereerd). Hetzelfde geldt voor de demonstratieprojecten die een rol kunnen spe-

len in het vertrouwd raken van een bedrijfstak met een nieuwe, onbekende technologie.

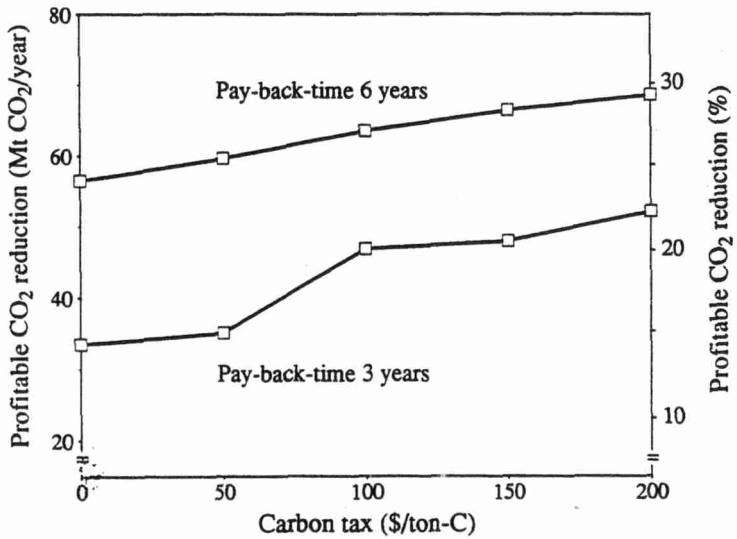
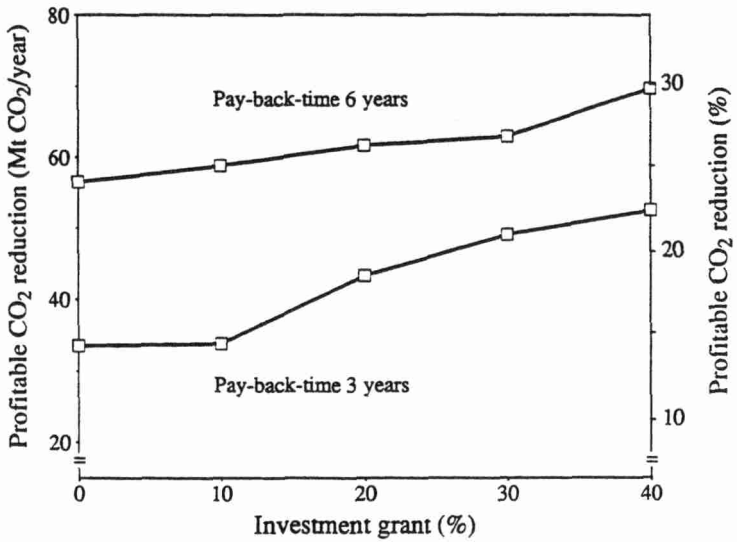
Uit onderzoek is gebleken dat het effect van voorlichting beperkt is. Zo concludeert Van der Doelen³⁾ dat het verspreiden van publikaties een *gering* stimulerend effect heeft, terwijl het langskomen van de adviesbus *geen* effect blijkt te hebben. Een van de verklaringen hiervoor is dat door voorlichting vooral de toch al redelijk geïnformeerde categorie bedrijven wordt bereikt. Hoewel communicatieve instrumenten op zich onvoldoende zijn om tot een behoorlijke energiebesparing te komen, zijn ze waarschijnlijk toch van belang ter ondersteuning van andere instrumenten.

Economische instrumenten

Subsidies zijn eveneens veel door de Nederlandse overheid toegepast om energiebesparing te stimuleren. Zo is de isolatie van woningen vanaf het midden van de jaren zeventig - met een korte onderbreking eind jaren tachtig - gesubsidieerd met percentages variërend van 20 tot 50%.

In de richting van het bedrijfsleven was de WIR het belangrijkste. In de periode van 1980-1987 is in totaal aan 5 miljard aan investeringen subsidie verleend. De genoemde investeringen hebben tezamen geleid tot een energiebesparing van ongeveer 5%; de gemiddelde terugverdientijd was naar schatting 2,5 jaar (excl. subsidie). Aan deze 5 miljard aan investeringen werd door de overheid in de vorm van basis-WIR en energietoeslag in totaal voor ca. 1 miljard bijgedragen. Belangrijke investeringscategorieën waren warmte-krachtkoppeling, allerlei vormen van isolatie, verbeterde scheidingsprocessen en efficiëntere transportmiddelen. Het feit dat de investeringen gezamenlijk tot een behoorlijke energiebesparing hebben geleid toont nog niet het effect van de maatregelen aan: mogelijk waren de investeringen deels ook zonder subsidie gedaan; de betrekkelijk korte gemiddelde terugverdientijd suggereert dit. Van der Doelen³⁾ vindt in zijn onderzoek *enig* effect van de subsidies. Dit werd door eigen onderzoek bevestigd⁶⁾.

Het tegenovergestelde van subsidies: heffingen, bijvoorbeeld in de vorm van een belasting op het verbruik van energie of op de uitstoot van kooldioxide, is in Nederland niet toegepast. De tot nu toe bestaande brandstofheffing was slechts bedoeld als bron voor de financiering van het milieubeleid en was te laag om een regulerend karakter te hebben. In EG-kaders circuleert momenteel een voorstel voor het invoeren van een heffing die op den duur zou moeten oplopen



Afbeelding 1

Het effect van een investeringssubsidie (boven) en van een koolstofheffing (onder) op de omvang van de investeringen die rendabel zijn bij een terugverdiertijd van 3 respectievelijk 6 jaar.

naar 10 \$/barrel, dit is gelijk aan een energieprijshoogte van gemiddeld ca. 50% (overeenkomend met ca. 80 \$/ton C). Zweden is een van de weinige landen waar een koolstofheffing al is ingevoerd: 140 \$/ton C.

Bij het nemen van investeringsbeslissingen is de terugverdientijd in veel bedrijven een gebruikelijk beoordelingscriterium. De precieze waarde van de gehanteerde criteria is onzeker; er is nog weinig onderzoek naar verricht. Resultaten van een (beperkt) door TNO in 1984 uitgevoerd onderzoek⁵⁾, zijn weergegeven in *tabel 1*. Aangetekend zij, dat de gehanteerde terugverdientijd-criteria veel strenger zijn dan de door ons in de inleiding genoemde economische criteria, met verdiscontering over de levensduur.

Maximaal acceptabele tvt (jaren)	Aandeel bedrijven (%)
2	19
3	31
4	19
5	19
6	6
7	6

Tabel 1

Gehanteerde terugverdientijden in bedrijven (N = 16).

Voor een gegeven terugverdientijd-criterium en gebruikmakend van het databestand ICARUS met 300 energiebesparende maatregelen kan berekend worden wat het effect van subsidies en heffingen in de toekomst zou kunnen zijn. De resultaten zijn weergegeven in *afbeelding 1*¹⁾. Zonder één van deze instrumenten zijn besparingsmaatregelen met een terugverdientijd kleiner dan drie jaar, goed voor 14% vermindering van de kooldioxide-uitstoot. Bij een algemene subsidie voor investeringen in energiebesparing van 25%, danwel een koolstofheffing op het Zweedse niveau, neemt dit getal toe tot 20% (in beide gevallen als percentage van de koolstofemissie die op zou treden indien geen enkele verbetering van de energie-efficiency zou plaatsvinden). Het effect van heffingen en subsidies van deze omvang is dus weliswaar substantieel: 6% (van de autonome ontwikkeling) minder emissies, maar bezien op het totaal van technische energiebesparingsmogelijkheden beperkt.

Een verklaring voor de beperkte effectiviteit van heffingen en subsidies is de grote spreiding in toegepaste technieken en bijbehorende kosten van energiebesparing. Hierdoor wordt altijd maar een deel van de maatregelen door de heffing gestimuleerd: de rest was toch al rendabel of is ook met de heffing niet rendabel. Voor wijzigingen in het

aanbod van energie met vrij homogene kosten (bijv. de verschuiving naar aardgas, de toepassing van windenergie of biomassa, CO₂-verwijdering) kan een koolstofheffing wel effectief zijn. Verder is in onze berekeningen geen rekening gehouden met bijkomende effecten, zoals het cadeau-effect bij subsidies voor huishoudens. Ook bij een (veel) hogere heffing neemt de effectiviteit natuurlijk toe.

Overigens zij ook aangetekend dat een energie- en koolstofheffing een onderdeel kan zijn van een algehele herstructurering van de belastinggrondslag in de samenleving (i.c. van arbeid naar grondstoffen), met een sturend effect op de economische ontwikkeling.

Juridische instrumenten

Hoewel fysieke regulering in het geheel van het milieubeleid veel werd en wordt toegepast is dit met betrekking tot de beperking van de kool-dioxide-emissies via energiebesparing nog niet het geval. De belangrijkste tot nu toe toegepaste normen zijn de in de Modelbouwverordening van de Vereniging van Nederlandse Gemeenten opgenomen isolatie-eisen (sinds kort vervangen door het landelijk geldende Bouwbesluit). In de modelbouwverordening, die door veel gemeenten wordt gevolgd, zijn eisen opgenomen ten aanzien van de isolerende werking van muren, daken, vloeren en ramen in nieuwe woningen en andere gebouwen.

De overheid heeft voor zichzelf wel de mogelijkheid geschapen om normen te stellen aan de efficiency van apparatuur middels de Wet Energiebesparing Toestellen. Concrete uitwerkingen hiervan zijn tot nu toe nog niet geïmplementeerd. Wel ligt er sinds kort een voorstel voor een eigen Nederlandse efficiency-norm voor koelkasten en diepvriezers ter goedkeuring bij de Europese Gemeenschap.

Convenanten, die als een (voorbereidende) vorm van regulering gezien kunnen worden, spelen sinds 1990 wel een belangrijke rol in het energiebesparingsbeleid. De overheid streeft ernaar om met alle belangrijke bedrijfstakken overeenkomsten te sluiten, die er toe moeten leiden dat voor elk van deze bedrijfstakken de energie-intensiteit met 20% vermindert. Op dit moment is met een groot aantal bedrijfstakken overleg op gang. In veel gevallen, o.a. bij de ijzer- en staalindustrie en in de zware chemie, heeft dit al geleid tot overeenstemming (een intentieverklaring) om een overzicht te maken van de besparingsmogelijkheden in de betreffende bedrijfstak. Op basis van deze inventarisatie wordt gekomen tot een convenant.

Een probleem bij fysieke regulering is dat het erg gecompliceerd is,

wederom door de grote variatie in toe te passen maatregelen. Toch is het in beginsel wel denkbaar om tot een sluitend pakket van normen te komen. In de regel zullen dit soort normen het karakter hebben van efficiencystandaards per apparaat. Dit is bijvoorbeeld mogelijk voor huishoudelijke apparatuur, maar ook voor pompen en ventilatoren in de industrie. In het laatste geval kan bijvoorbeeld toerenregelingsapparatuur geëist worden, indien regelmatig deellastbedrijf plaatsvindt. Een variant die deels in plaats hiervan en deels er naast kan bestaan, zijn efficiëncynormen op een hoger aggregatieniveau, bijv. maximum verbruikscijfers per kg geproduceerd papier of per vierkante meter kantooroppervlak (een energieprestatienorm voor overheidsgebouwen is in voorbereiding). Ook industriële warmte-krachtkoppeling kan zo voorgeschreven worden, namelijk door het verbruik van brandstof in stoomketels boven een bepaalde capaciteit te verbieden. Een dergelijke regel blijkt vrij kosten-effectief te zijn, ook in vergelijking met een convenant⁶.

Het instellen van een breed pakket aan reguleringsmaatregelen vergt in de beginfase een behoorlijke ambtelijke inzet. Een mogelijk probleem is voorts dat elke maatregel door de EG getoetst moet worden.

De effectiviteit van fysieke regulering wordt bepaald door de handhaafbaarheid. Grote problemen met betrekking hiervan zijn vooralsnog niet te verwachten, ook gezien de ervaringen tot nu toe. Dit betreft niet alleen de isolatienormen uit de gemeentelijke bouwverordeningen, maar ook vroegere restricties op het punt van de grootschalige aardgasinzet (bij zeer grote bedrijven). Bij de daadwerkelijke implementatie is de handhaafbaarheid wel een duidelijk punt van aandacht.

Het Ministerie VROM verkent momenteel de mogelijkheid van het opnemen van energie- of CO₂-eisen in de vergunningverlening.

Convenanten kunnen in beginsel vergelijkbare resultaten opleveren als fysieke regulering. De overheid zit hierbij echter duidelijk in een onderhandelingspositie en kan hierdoor haar eisen niet altijd effectueren. De ervaring van de komende jaren zal moeten leren hoe effectief het middel convenant kan zijn. Met name de onduidelijke definitie van het begrip energie-efficiency is daarbij een punt van zorg.

De CRMH⁷ meent dat convenanten een nuttige functie kunnen vervullen, vooruitlopend of in aanvulling op regelgeving, mits aan een aantal voorwaarden wordt voldaan, zoals dat de overheid het beleid vaststelt en dat democratische besluitvorming gewaarborgd blijft. Deze raad meent dat uiteindelijk alle convenanten moeten worden omgezet

in regelgeving.

Het middel van convenant zou bijv. goed ingezet kunnen worden in de verkeersector, waar het zeer gecompliceerd zal zijn om tot (internationale) efficiëncynormen te komen.

Institutionele instrumenten

Een maatregel die in de ogen van een aantal voorstanders (ook) als doel had energiebesparing te bevorderen, is de reorganisatie van de Nederlandse energievoorziening. In de laatste vijf jaar is bij wet een opsplitsing van deze sector in energieproductiebedrijven en energiedistributiebedrijven voorgeschreven. De energiedistributiebedrijven zouden door de ont koppeling van de produktiesector meer oog moeten krijgen voor energiebesparing. Pas na het uitkomen van het Nationaal Milieubeleidsplan in 1989, is deze bedrijfstak in zijn geheel serieus aan energiebesparing gaan werken. De bedrijven hebben gezamenlijk op zich genomen om investeringen te doen, die moeten leiden tot een beperking van de kooldioxide-emissies gelijk aan ca. 5% van de totale emissies. Voor energiebedrijven is dit - internationaal gezien - een ambitieuze doelstelling.

De tot nu toe door de energiedistributiebedrijven geplande investeringen zitten nog in de, organisatorisch gezien, wat eenvoudiger maatregelen, zoals warmte-krachtkoppeling en windenergie. Het is nog de vraag in hoeverre de energiebedrijven er in zullen slagen en het tot hun taak zullen rekenen, om aanzienlijke besparingen *achter de meter* te realiseren. Hier komt weer de grote variëteit aan maatregelen als complicerende factor naar voren.

Conclusies

Kwantitatieve informatie over de effectiviteit van instrumenten die energiebesparing moeten bevorderen is nog slechts in beperkte mate aanwezig. Verder onderzoek is dan ook zeer noodzakelijk.

Met een combinatie van instrumenten is het waarschijnlijk mogelijk om de regeringsdoelstelling voor het jaar 2000 te halen. Voor veel verdergaande CO₂-emissiereducties is de effectiviteit van veel van de instrumenten te beperkt, met als meest waarschijnlijke uitzondering de juridische instrumenten. Welke andere maatregelen - ter ondersteuning of als overgangsmaatregel - verder ook genomen worden in de komende jaren, de overheid mag dan ook niet nalaten dit instrument te gaan ontwikkelen.

Noten

1. Blok K. en anderen 1992. 'The Cost-effectiveness of Carbon Dioxide Emission Reduction Achieved by Energy Conservation'. In *Energy Policy* (nog te publiceren). Ook opgenomen in 6.
2. Juni 1990. Nota *Energiebesparing*, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.
3. Doelen F.C.J. van der 1989. *Beleidsinstrumenten en energiebesparing*. Proefschrift Universiteit Twente.
4. Jaarverslagen van de Dienst Investeringsrekening, Zwolle.
5. Brascamp M.H. maart 1984. *Evaluatie van de werking en effectiviteit van de energietoeslag op de WIR-basispremie*. Ref. no. 84-03462, TNO-MT, Apeldoorn.
6. Blok K. 11 november 1991. *On the Reduction of Carbon Dioxide Emissions*. Proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht.
7. Juni 1989. *Advies over milieuconvenanten*. Centrale Raad voor de Milieuhygiëne, no. 89/10, Den Haag.

ICARUS

Het potentieel voor energiebesparing in Nederland

E. Worrell

Inleiding

Energiebesparing staat sinds kort weer volop in de belangstelling. Na de twee oliecrises in de afgelopen twintig jaar had energiebesparing ook de aandacht. Nu speelt echter een ander probleem, wat tot deze interesse heeft geleid, namelijk de mogelijke gevolgen van een toename van het broeikaseffect. De verbranding van fossiele brandstoffen zorgt voor een extra emissie van kooldioxide ten opzichte van de natuurlijke stromen, waardoor deze toename wordt veroorzaakt. Deze emissies, die het gevolg zijn van menselijk handelen, kunnen worden verminderd. Dit kan door een aantal maatregelen worden bereikt: gebruik van duurzame energiebronnen, hergebruik van materialen en energiebesparing. Volgens inschattingen van het RIVM (in *Zorgen voor Morgen*) moet energiebesparing 50% van de reductie van de CO₂ emissie in de komende twintig jaar leveren. Energiebesparing leidt niet alleen tot vermindering van de CO₂ emissie, maar kent ook andere voordelen zoals reductie van verzurende emissies en sociaal-economische voordelen.

Nederland gebruikte in 1985 ruim 2540 PJ aan primaire brandstoffen, waarvan ruim 40% ingezet wordt in de industrie. Binnen de Vakgroep Natuurwetenschap & Samenleving is voor het Ministerie van VROM onderzoek verricht naar de mogelijkheden voor energiebesparing in Nederland tot het jaar 2000. Dit onderzoek resulteerde in het bestand ICARUS. We zullen de opbouw van ICARUS hier toelichten aan de hand van de mogelijkheden voor energiebesparing in ijzer- en staalindustrie. Vervolgens zal ik een tweetal maatregelen die de overheid kan nemen ter bevordering van energiebesparing in de industrie, kort evalueren. ICARUS bevat niet alleen mogelijkheden in de industrie, maar ook voor de andere sectoren in de Nederlandse samenleving (bijv. huishoudens, verkeer).

Verder is de lezing gebaseerd op een publikatie van de Vakgroep Natuurwetenschap & Samenleving:

E. Worrell, J. de Beer, R.F.A. Cuelenaere, K. Blok: A tool for the assessment of industrial energy conservation policy, United Nations - Economic Commission for Europe: Symposium on Energy Efficiency Measures in Industry, Bled, Slovenia, Yugoslavia, 30 september - 4 oktober 1991.

De tekst is hiernaast afgedrukt.

Introduction

In order to reduce the emission of carbon dioxide into the atmosphere, a wide range of technical options is available, including energy conservation, renewable energy, a fuel switch to natural gas, carbon dioxide removal, and afforestation. It is common knowledge that, on the short term energy conservation is the best and cheapest option available to reduce the total energy consumption, and hence the emission of carbon dioxide. In order to establish an effective energy conservation policy it is necessary to dispose of data concerning the potential of energy conservation and its associated costs. From a macro-economic point-of-view it is important to choose the most cost-effective energy conservation options. In many studies and databases, available up to now, the emphasis was on the energy conservation potential in a specific sector, or on the costs of a non-complete set of specific energy conservation techniques. At the department of Science, Technology and Society of the University of Utrecht a database has been constructed which contains data on both the conservation potential, and data on the costs of the techniques. This database is called ICARUS which is an acronym for Information system on Conservation and Application of Resources Using a Sector-approach. In this paper we will describe the methodology of ICARUS. Subsequently some results of calculations with ICARUS are presented. ICARUS distinguishes techniques in all economical sectors, industry, agriculture, households, services, energy supply and transport. In this paper we will focus on the industrial sectors. We will treat one sector in detail (the iron-and steel industry), but for the demonstration of the applications of ICARUS we will use the data of all industrial sectors.

In ICARUS energy conservation techniques are defined as techniques that will lead to a decrease of the consumption of primary energy carriers without reducing the magnitude of activity for which the energy is used. This includes not only end-use energy conservation techniques, but also supply-side options (like industrial cogeneration of heat and power) and renewable energy. However in this paper we will restrict ourselves to end-use options only. ICARUS is focused at the potentials in the year 2000, by applying scenarios for the economic growth for the period from 1985 to 2000, which have been formulated by the Central Planning Bureau (CPB) in the Netherlands²⁾, with a few adaptations.

Industrial sector	gas PJ	oil PJ	coal PJ	elect. PJ	other PJ	Total PJ	CO ₂ - emis Mton
Food & beverage	38.6	2.5					
Textile	4.8	0.3	0.1	1.6	0.9	7.5	0.6
Paper & board	6.0	0.3	0.0	5.5	9.8	21.7	1.8
Fertilizer	107.5	0.4	0.8	5.1	11.4	125.2	7.5
Inorganic chemicals	12.1	2.1	4.0	13.2	17.1	48.5	4.3
Petrochemicals	53.1	207.6	4.6	11.5	38.5	315.3	22.5
Other chemicals	16.9	1.8	0.0	6.2	8.0	33.0	2.5
Building materials	20.9	4.3	4.3	4.4	0.7	34.6	2.6
Iron and steel	12.0	4.0	64.8	6.1	7.3	94.2	8.9
Non ferro metals	3.7	0.8	0.1	18.1	0.0	22.7	3.2
Metal manufacturing	19.6	10.3	0.4	9.5	1.3	41.3	3.5
Refineries	10.4	112.1	0.3	-0.2	-11.4	111.2	8.3
Cokes production	0.0	0.3	12.3	0.4	0.0	13.0	1.3
Other industries	12.8	2.9	0.0	3.9	0.0	19.6	2.1
Total industry	318.4	349.7	92.9	98.0	98.7	957.8	74.5

Table 1

The energy balance for the industry in the Netherlands for the year 1985.
(The category 'other energy' mainly comprises heat (e.g. from cogeneration units).)

Structure of ICARUS

The collected data are contained in a database, which consists of three interconnected components:

- a) A database of energy conservation techniques.
The type of data and acquisition of it will be treated in section 3 of this paper.
- b) An energy balance of the Netherlands for a base year.
In ICARUS an energy balance for 1985 has been recorded, containing figures on the energy consumption for all economic sectors, subdivided into coal, oil products, natural gas, electricity and others. These figures have been derived from data supplied by the Netherlands Central Bureau of Statistics¹⁾. The energy balance for the major industrial sectors is shown in *table 1*. The total energy consumption in the Netherlands in 1985 amounted 2570 PJ (excluding bunkers but including fuel utilization as feedstock), which caused a carbon dioxide emission of 169 Mton. It should be noted that the actual emission was approximately 10% lower, because of the fuel used as feedstock for plastics. In ICARUS also factors for the expected economical growth from 1985 until 2000 are incorporated, as given by the Netherlands Central Planning Bureau²⁾.
- c) A database containing additional information.
In this database information concerning CO₂ emission factors of fuels used in the Netherlands³⁾ is included (see *table 2*) as well as information on the fuel-mix for electricity generation and on energy price figures (see *table 3*). This information is necessary to assess the macro-economical effects and payback periods of energy conservation techniques.

The database is set up as a spreadsheet which can be used in commercial available programs like Symphony. The structure of the database is such that changes in basic assumptions can easily be implemented.

Using the figures from *table 1* and *2*, and the expected growth figures, the energy demand of the industry in the Netherlands in 2000 would increase to 1398 PJ. Assuming no change in fuel-mix, the CO₂ emission would increase to 109.2 Mton.

Fuel type	CO ₂ emission factor (kg/GJ-LHV)
Steam coal	94
Metallurgical coal	101
Heavy fuel oil	75
Light oil products	73
LPG	66
Natural gas	56

Table 2

Carbon dioxide emission factors for fuels used in the Netherlands.

Type energy carrier	Price 1987 (Dfl/GJ)	Assumed price for 1995 (Dfl/GJ)
Natural gas - large consumers ('D-zone')	6.4	8.4
Coal (steam coal)	3.7	3.9
Electricity - large consumers	38.9	38.0
Electricity - very large consumers	27.8	26.9

Table 3

Price development of the main energy carriers in 1995, as used in the ICARUS database (taken from figures presented by the Ministry of Economical Affairs of the Netherlands [4]).

Note with table 3:

All financial values in this paper are given in Dutch guilders (1 Dfl ≈ US\$ 0.5).

Data structure and acquisition of energy conservation techniques

The energy conservation techniques incorporated in ICARUS are characterized by:

- a. the name of the conservation technique;
- b. the economic sector in which the technique can be applied;
- c. whether the technique concerns savings on fuel or electricity;
- d. the part of the fuel or electricity consumption of the sector to which the technique applies;
- e. the potential saving of the technique (in % of the consumption);
- f. the degree to which the conservation technique leads to an increase of the other type of energy carrier (in % of the savings);
- g. the investment costs of the technique (in Dfl/GJ fuel or electricity saved per year);
- h. the operation and maintenance costs (in Dfl/GJ fuel or electricity saved);
- i. the average life-time of the investments associated with the technique.

These data are collected for each sector as shown schematically in *figure 1*. The main industrial sectors, as distinguished by the Netherlands Central Bureau of Statistics, are given in table 1. The sectors are divided in sub-sectors, each with a similar range of products. Within the sub-sectors the main energy consuming processes (and eventually unit-operations) are identified. On this level energy conservation techniques are identified, using a number of sources (open international literature, communication with industry). Sometimes no sufficient of reliable data are available. In these cases estimates are made.

In a database structure like ICARUS it is difficult to incorporate mutually influencing conservation techniques. If such mutually techniques are recorded for a process, priority is given to techniques close to end-energy consumption. Similar problems occur with competing techniques, which can be applied in a given process or unit-operation. Priority is given to the most cost-effective technique.

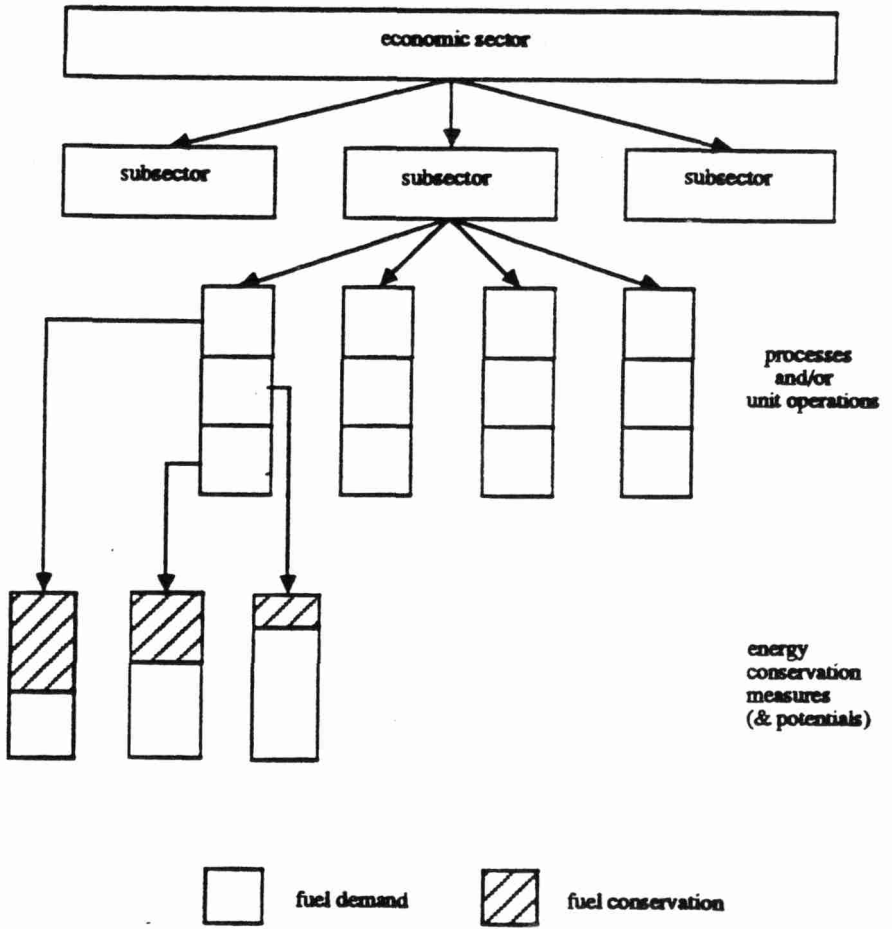


Figure 1

Schematic description of the sector approach used in ICARUS.

The techniques can be ordered on their cost-effectiveness, defined as the net cost per unit of primary energy saved. This can be calculated for each technique separately by applying formula 1:

$$C_{\text{spec}} = \frac{\alpha \cdot I + \text{OM} - \text{SEPC}}{\text{annual amount of primary energy saved}} \quad 1)$$

in which:

- α = an annuity factor depending on the interest rate r and the depreciation period n : $\alpha = r/(1-(1+r)^{-n})$;
- I = the initial investment, expressed in Dfl per annually saved unit of final energy consumption (fuel or electricity);
- OM = operation and maintenance cost expressed in Dfl per saved unit of final energy consumption;
- SEPC = saved energy purchase costs, expressed in Dfl per unit of final energy consumption saved.

This quantity is negative in cases that the benefits (adverted energy costs) are larger than the costs. The annuity factor is calculated using real interest rates of 5% and 10% respectively and the life-time of the technique as the depreciation time. In this paper we will use a real interest rate of 5%. More important from the point of view of CO_2 reduction is the cost-effectiveness towards the reduction of CO_2 emissions. This can be calculated using the amount of carbon dioxide avoided by the amount of primary energy saved, using the emission factors mentioned in table 2. The acquisition of data and the construction of a supply-curve will be shown, using the iron and steel-industry as an example.

The iron and steel-industry in the Netherlands

Introduction

The iron and steel industry in the Netherlands uses the two types of processes: the Basic Oxygen Steel (BOS)-route applied by Hoogovens in IJmuiden for 95% of the total Dutch crude steel production and the Electric Arc Furnace for the remaining 5% of the production, applied at Nedstaal in Alblasterdam. Hoogovens produces 5.2 million tonnes of crude steel annually, for which two blast furnaces and two BOS-plants are in operation. In the period until 1990 the total production was

Process	Fuel consumption (PJ)	Electricity consumption (PJe)
Sinter plan	6.7 (7.6%)	0.5 (7.7%)
Pellet plant	3.7 (4.2%)	0.5 (8.3%)
Blast furnace	62.1 (70.5%)	0.1 (1.1%)
Basic Oxygen Steel-plant	0.4 (0.5%)	1.2 (19.7%)
Continuous Casting Machine-plant	1.2 (1.4%)	0.2 (2.6%)
Ingot-casting	1.8 (2.1%)	0.4 (6.5%)
Hot strip mill	8.0 (9.1%)	1.4 (22.5%)
Cold rolling	0.2 (0.2%)	0.4 (6.9%)
Annealing	1.6 (1.8%)	0.2 (3.6%)
Electric Arc Furnace-plant	0.5 (0.5%)	0.8 (13.5%)
Others	1.8 (2.1%)	0.5 (7.5%)
Total	88.0	6.1

Table 4

Energy consumption in the iron and steel industry in the Netherlands for the base-year 1985.

In parenthesis the percentage of the total fuel or electricity consumption is given.

changed to continuously casting, completely abandoning the ingot casting. Preparation of raw materials is completely done on site, Hoogovens has its own cokes plants (two), pelletizing and sintering plants. In *figure 2* the production process is given schematically (1990 situation). In *table 4* the estimated energy consumption of the different processes are given. A production growth of 10% is expected in the period from 1985 until 2000.

The specific energy consumption of BOS-steel amounted approximately 17.9 GJ/t.c.s. (excluding cokes production) and 5.6 GJ/ton for the EAF-process.

Energy conservation techniques

In *table 5* the main energy conservation techniques, which can still be applied in the steel industry in the Netherlands are shown. Most other technologies have already been implemented. The techniques will be described shortly. For a thorough description the reader is referred to ⁴⁾.

Sinter plant. At Hoogovens the waste heat of the sinter plant is already recovered and used for steam generation and (partly) recuperated to the process.

Blast furnace - slag heat recovery. All over the world (Japan, Germany) research work is done on this option, but no implementations are known yet. Hoogovens has evaluated this option too, but found it not feasible to implement at IJmuiden. Savings are estimated at 0.32 GJ/ton crude steel. Because of the technical problems we assume that this technique will not be implemented before the year 2000.

Blast furnace - direct coal injection. The direct injection of coal in the blast furnace replaces the use of cokes, therefore saving energy in the cokes production. Although this technique is mentioned here, the savings are to be ascribed to the cokes production. The injection of 1 ton of coal saves 0.8 ton of cokes, hot wind from the stoves, but uses more oxygen. The net savings are calculated to be 3.8 GJ/ton coal injected. In 1986 80 kg coal per ton pig iron was injected. The maximum input rate is determined by the coal type and the effects on the quality of the pig iron produced. For the year 2000 Hoogovens might use an injection rate of 180 kg/ton pig iron, saving 13.5% of the energy demand of the cokes production. The theoretical maximum of 270 kg/

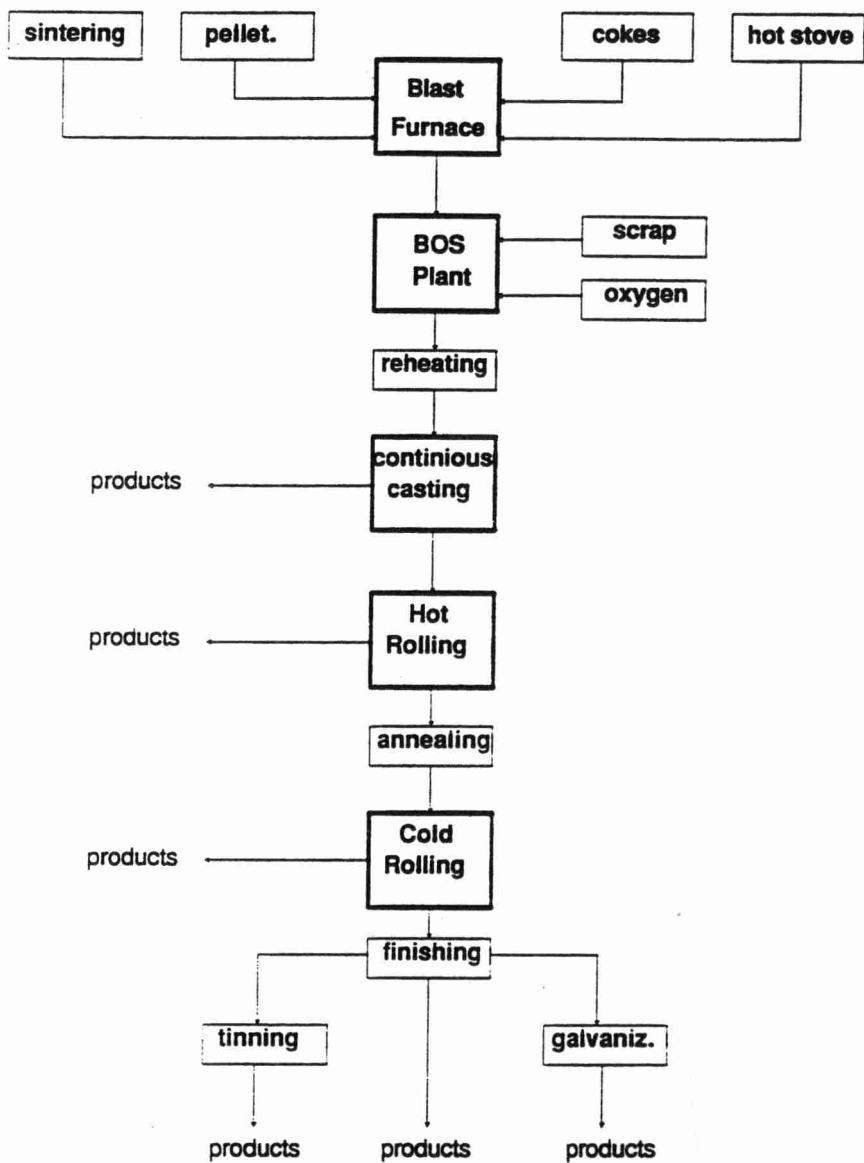


Figure 2

Steel production process of Hoogovens, the Netherlands.

ton pig iron is still under investigation, and it is not sure whether this injection rate is applicable at Hoogovens.

Blast furnace. Other techniques as top gas pressure recovery, and optimization of the hot blast stoves have already been implemented at Hoogovens.

A new technique, called Converted Blast Furnace or Converted Cyclone Furnace, is being developed by several steel industries in Europe and Japan. This technique implies the direct use of coal and oxygen to reduce the iron ore, making the production of cokes and the blast furnace superfluous. However this technique will not be available in the 2000, therefore it is not included in this study.

BOS-plant - gas recovery. At the Basic Oxygen Steel-plant (BOS-plant) gas is produced with a heating value of 8.8 MJ/Nm^3 and a temperature of $1200 \text{ }^\circ\text{C}$, which was cleaned and rejected. Only at one 330 ton convertor the gas was recovered using repressed combustion (26% of the produced gas). It is planned to rebuild two other 330 ton convertors to the same system, saving 0.6 GJ/ton crude steel. After rebuilding, nearly 80% of the gas will be recovered. This technique can therefore be implemented at 54% of the production saving 1.7 PJ (on basis of 1986 production). Hoogovens estimates the investment costs at 50 Dfl/GJ .

BOS-plant - enhanced gas recovery. In Germany a system is developed with a even stronger repressed combustion, with savings of 0.72 GJ/ton crude steel. Implementing this system will save 0.34 PJ additional to the figure mentioned above.

BOS-plant - extra scrap. Today 80 kg of scrap is added to the BOS-furnace per ton of crude steel. This can be increased to 150 kg/t.c.s. (on average). The increased scrap content will decrease the temperature of the crude steel, therefore it has to be reheated in a vacuum treatment furnace, using approximately 0.5 GJ/t.c.s. Overall the net savings amount 3.6% of the fuel demand for the blast furnace (accounting for 71% of the energy demand).

BOS-plant - oxygen production. The BOS-process is a semi-continuous process, but oxygen is produced continuously. The development of storage capacity (called "wechsel-speicher") and a management

Measures	Energy carrier (1)	Share %	Saving %	Investments (Dfl/GJ)	O&M costs (Dfl/GJ)	— Savings in 2000 —				Cost-effectiveness (Dfl/GJ)
						Fuel (PJ)	Electr. (PJe)	Primary (PJ)	CO ₂ (kton)	
Good housekeeping	f	100%	2%	0	0	1.9	0.0	1.9	175	- 3.8
Waste heat recovery	f	98%	3%	100	5	2.8	0.0	2.8	257	9.2
Expansion turbine	f	95%	1%	98	3	0.0	0.0	0.1	8	- 6.5
BOS-gas recovery	f	51%	4%	50	3	2.0	0.0	2.0	177	2.7
BOS-Enhanced recovery	f	73%	1%	75	2	0.4	0.0	0.4	32	3.7
BOS-Extra scrap	f	71%	4%	75	2	2.5	0.0	2.5	222	3.7
BOS-Oxygen'speicher'	e	10%	10%	0	0	0.0	0.1	0.2	12	- 10.9
Ingot casting-CCM -1	f	2%	46%	0	0	0.9	0.0	0.9	80	- 3.8
Ingot casting-CCM -2	e	7%	59%	0	0	0.0	0.3	0.6	45	- 10.9
CCM-ladle preheating	f	1%	40%	25	1	0.2	0.0	0.2	22	- 1.3
Hot connection	f	5%	18%	0	0	0.9	0.0	0.9	85	- 3.8
Slabbing furnace	f	8%	6%	30	2	0.5	0.0	0.5	42	0.1
Hot strip mill-heatpump	f	8%	5%	42	1	0.4	0.0	0.4	33	0.8
EAF-production	e	14%	21%	50	1	0.0	0.2	0.5	35	- 8.9
El: speed control drives	e	96%	5%	300	24	0.0	0.3	0.8	57	8.6
Direct coal injection	f	100%	14%	24	2	1.9	0.0	1.9	189	0.1
Dry coke quenching	f	87%	28%	175	2	3.4	0.0	3.4	339	12.0
Total						17.8	0.9	19.9	1810	

Table 5

Energy conservation measures in the iron and steel industry in ICARUS-2

- (1) f = fuel, e = electricity
- (2) Investment costs are set zero if the measure has already been introduced since 1985 or if the measure is to be applied autonomously.
- (3) Expected energy price levels (according to Ministry of Economical Affairs) of 1995 have been used.

Energy consumption figures and steel industry in the Netherlands

1985 Cokes: fuel: 12.6 PJ; Electricity: 0.4 PJe (0.1 TWh)
 Steel: 88.1 PJ; 6.1 PJe (1.7 TWh)
 Total: 100.7 PJ; 6.5 PJe (1.8 TWh)

2000 Cokes: fuel: 13.9 PJ; Electricity: 0.4 PJe (0.1 TWh)
 (estimated) Steel: 96.9 PJ; 6.7 PJe (1.9 TWh)
 Total: 110.8 PJ; 7.2 PJe (2.0 TWh)

Energy conservation potential 2000:

Fuel: 17.8 PJ (16%)
 Electricity: 0.9 PJ (14%)

system has been completed in recent years. Savings amount 10% of the electricity consumption needed for the oxygen-production. Oxygen production accounts for 10% of the electricity consumption in the steel and iron industry in the Netherlands. This technique has already been implemented in the period between 1985 and 1990.

BOS-plant - slag heat recovery. The same technical problems as with heat recovery from the blast furnace slag make the implementation of slag heat recovery at the BOS-plant not feasible for the year 2000. Savings could (theoretically amount 0.14 GJ/t.c.s.).

Ingot casting. In the period between 1985 and 1990 the casting has totally been shifted towards continuous casting (CCM). In 1985 49% of the production was produced with the CCM, in 1990 this is nearly 100%. The savings are therefore implemented on the energy demand of ingot casting, as mentioned in table 4. Savings amount 0.44 GJ/t.c.s. on fuel (46%) and 0.1 GJ/t.c.s. on electricity (59%). The shift has been made in the previous period.

CCM - ladle preheating. Ladles are preheated prior to accepting a liquid steel charge so that temperature stratifications in the steel, and ladle skulls are minimised. A typical level for the energy consumption of pre-heating is 0.1 GJ/t.c.s. Using regenerative ceramic burners it is possible to save over 40% of the fuel demand, thus saving 0.04 GJ/t.c.s. This technique applies to 20% of the energy demand for CCM (total), saving 40%. Investments of regenerative burners are estimated at 25 Dfl/GJ.

Hot strip mill - hot connection. This technique implies the transport of the casted metal with a temperature of nearly 700 °C to the hot strip mill. In this way energy can be saved for the reheating of the steel in the slabbing furnaces. This technique consists of insulation techniques at the hot strip mill, and computer control and management of the transporting system (logistics). The fuel consumption for reheating the steel costs 1.7 GJ/t.c.s. and applies to 75% of the production. Of the steel produced at the BOS-plant a maximum of 60% can be used as hot input at the strip-mill. The savings amount 0.3 GJ/t.c.s. (transporting temperature 700 °C). This is a reduction of 18% relative to the fuel consumption, needed for reheating.

Direct rolling is not included, because the large reconstructions needed for this technique are not feasible before the year 2000. This option makes the transport of the casted metal redundant.

The technique called "strip casting" implies the direct casting of strips (coils), making the hot rolling redundant. This technique is still under development, and will not before 2000.

Hot strip mill - slabbing furnace. At the slabbing furnaces and walking beam furnaces recuperative burners are used, saving 0.3 GJ/t.c.s. A further improvement of the recuperative burners seems feasible, saving an additional 0.1 GJ/t.c.s. However NO_x-emissions will increase, because of the higher combustion temperatures.

The investments are estimated at 30 Dfl/GJ.

Hot strip mill - cooling water. The steel is cooled by spraying water, which has a temperature of 80 °C when rejected. An absorption heat pump (or better: heat transformer) can be installed to generate steam (3.5 bar, 130 °C), which is delivered to the steam network at Hoogovens. Savings are unclear, but estimated at 5% of the energy consumption of the rolling mill. Investments are estimated by Hoogovens at 42 Dfl/GJ.

Continuous annealing. Continuous annealing implies a continuous processing of the cold rolled product and finishing. Savings are not clear, as are the investments. Therefore it is not included in this study.

EAF-Production. Only Nedstaal at Alblasserdam uses the Electric Arc Furnace-process for the production of approximately 230.000 ton steel cables. Nedstaal consumes 0.83 PJ electricity and 0.79 PJ fuel. Fuel is mainly used for furnaces at the hot strip mill, and savings are already accounted for at this section above. Here we will concentrate on the electricity consumption. Several techniques are feasible, of which a combination was implemented at Badische Stahlwerke AG in Germany. Using a combination of scrap preheating (recovering exhaust gas), ultrahigh power (UHP) operation, oxy fuel burners and process automation it was possible to bring down the energy demand from 520 kWh/ton steel to 410 kWh/ton, and at the same time bringing back the electrode consumption with 60%. We will take this as one technique, saving 21% of the electricity consumption of the EAF-process. Investments are difficult to estimate, but set at 50 Dfl/GJe.

In the future alternative processes could be available using plasma torches, DC arc furnaces and EAF with bottom fuels injection. These are still under development and savings are not expected from these technologies before 2000.

Electric drives. At Hoogovens speed controlled drives have been installed at BOS-plant 2. However experiences with this technique has not yet led to a further introduction. One problem was caused by fatigue at the vaneblades; another problem was the limited guarantee on starts and stops of drives by the manufacturer. These problems have to be solved, before further implementation is feasible. Therefore we will assume a limited potential for speed controlled drives, with savings of 5% of the total electricity demand. Very high investment costs (estimated at 300 Dfl/GJe) will make this technique less attractive.

Recovery heat cokes gas. In the past several experiments have been done on the recovery of the heat of the cokesgases, for instance in Japan and Germany (Stahlwerke Peine-Salzgitter). The recovered heat can be used for the preheating of the coal, by using ceramic heat exchangers. Older literature mentions possible savings of 5% of the total energy consumption. However the experiences in the experiments mentioned before are very negative, because of fouling problems of the exchanger (because of tars and dust). The problems have not been solved yet, therefore we will not take this technique into account. It is possible to recover some waste heat (after the first cooling step) in the form of hot water, but savings will be very limited.

Dry coke quenching. Traditionally cokes are quenched by the spraying of water under the quenching tower. The heat is released to the atmosphere. By using dry coke quenching the sensible heat of the cokes is recovered. Savings amount 1200-1500 MJ/ton (or 28% of the fuel demand). Other advantages of this technique is the reduction of the dust emission. This could be an extra reason for the introduction of this technique. Dry coke quenching is used in Japan, USSR and Germany (at two plants). Investments are high: recent German calculations give investments of 175 Dfl/GJ. The costs could increase because of lay-out problems at the plants.

Good housekeeping. It is estimated that (overall) a 2% saving of the energy demand is feasible by good housekeeping. No costs are ascribed to this measure.

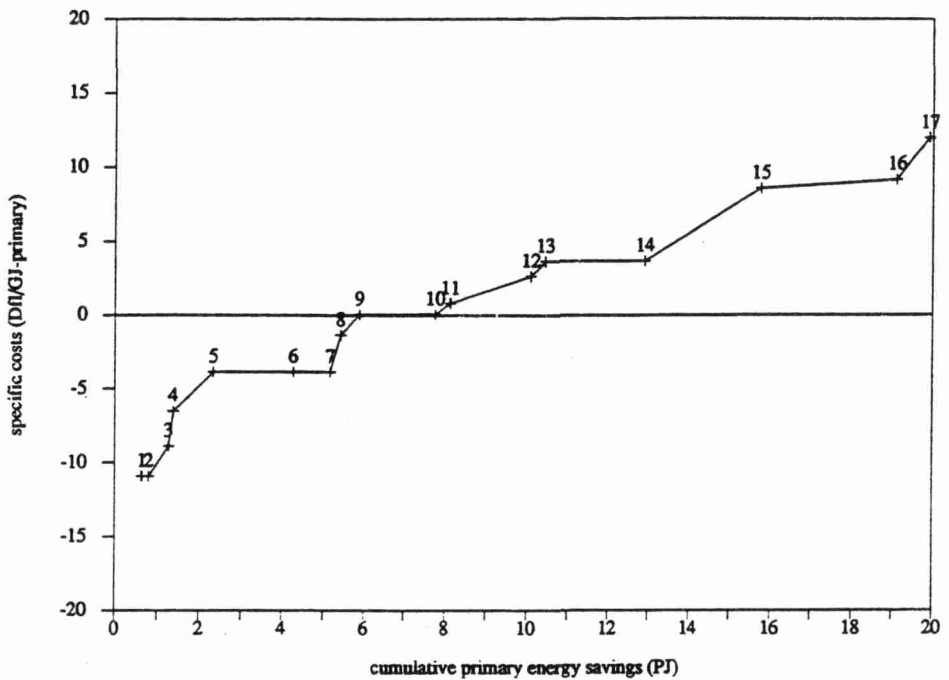


Figure 3

Supply curve of energy conservation techniques in the iron and steel industry.

- | | |
|---------------------------|---------------------------------------|
| 1. Ingot casting - CCM | 11. Hot strip mill - heatpump |
| 2. BOS-Oxygen 'Speicher' | 12. Bos-gas recovery |
| 3. EAF-production | 13. Bos extra scrap |
| 4. Expansion turbine | 14. Bos-enhanced recovery |
| 5. Hot connection | 15. Electricity: speed control drives |
| 6. Good housekeeping | 16. Waste heat recovery |
| 7. Ingot casting - CCM | 17. Dry coke quenching |
| 8. CCM-ladle preheating | |
| 9. Slabbing furnace | |
| 10. Direct coal injection | |

Waste heat recovery. Additional options for waste heat recovery exist, especially for the recovery of low temperature waste heat. However there is no possibility yet, to use this low quality heat. The heat can be recovered at nearly all process stages: sintering, casting, rolling and finishing. These streams are taken into account, when integrating processes at Hoogovens. Costs are estimated to be very high.

Natural gas expansion turbine. Research is done on the possibility of using an expansion turbine for the natural gas, delivered by Gasunie (with a pressure of 40 bar) for the production of electricity. Savings amount 37%, compared to the public electricity generation, expanding to a pressure of 8 bar and using a CHP-unit with gas engines for the heating of the gas and electricity generation. The total savings are dependent of the gasflow. Gasflow is roughly calculated at 40.000 m³/hr, generating 12 million kWh. Overall this is saving of 0.04 PJe (or 0.7% of the total electricity demand).

The energy conservation techniques in the iron and steel industry are ordered in a supply curve in *figure 3*.

Conclusions

As shown in table 5 and figure 3 total savings in the iron and steel industry amount 17.8 PJ (or 16%) of the fuel consumption in 2000 and 0.9 PJe (14%) on electricity consumption. Investments for the total number of measures are estimated at 1.4*10⁹ Dfl. This will reduce the specific energy consumption to 14.6 GJ/t.c.s. (excluding cokes production), this is equal to a saving of 16%. For steel produced by the EAF-process the specific energy consumption will decrease to 4.9 GJ/ ton (or 18%).

Implementation of the cost-effective measures only will save approximately 5.4 PJ on primary energy (4.0 PJ fuel and 0.6 PJe electricity) or 0.5 Mton CO₂ with total estimated investments of 21*10⁶ Dfl, and the reduce specific energy consumption to 17.1 GJ/t.c.s. (or 5% savings).

Industrial sector	Fuel savings (%)	Electricity savings (%) ¹⁾	CO ₂ avoided (Mton) ²⁾
Food & beverage	40	21	2.8
Textile	63	25	0.5
Paper & board	50	34	1.6
Fertilizer	24	0	2.0
Inorganic chemicals	12	10	0.9
Petrochemicals	21	-6	5.2
Other chemicals	36	12	1.4
Building materials	43	30	2.1
Iron and steel	16	14	1.3
Non ferro metals	35	17	0.3
Metal manufacturing	72	5	3.6
Refineries	14	0	1.1
Cokes production	42	0	0.5
Other industries	61	32	1.9
Total industry			25.0

Table 6

Potential savings per sector as a percentage of the demand. Also the resulting net CO₂ reduction in the year 2000 is shown.

- 1) In these figures the 'negative savings' (as a result of substitution of other energy carriers) have been included.
- 2) These figures represent the avoided CO₂ emissions of the primary energy savings.

Results for all industrial sectors in the Netherlands

The results of the technical potential of energy conservation for the total industry in the Netherlands are summarized in *table 6*. Like the iron and steel industry in section 4, the techniques distinguished in all industrial sectors can be ordered on cost-effectiveness. A supply curve for the total industry in the Netherlands is given in *figure 4*. An overview of all the techniques is given in⁴⁾.

Comparing the figures of the iron and steel industry with most other industrial sectors in *table 6* it is stated that in these sectors a larger potential for energy conservation is feasible, and often with lower costs.

Effects of energy conservation policy options

On the basis of data contained in ICARUS it is possible to estimate the effect of some policy measures to stimulate investments in energy conservation. In this section we will demonstrate this by two examples: the introduction of a so-called 'carbon-tax' and the availability of an investment grant on energy conservation projects.

Carbon tax. A carbon tax is a revenue tariff for each unit of carbon (or carbon dioxide) emitted. It is a new instrument to regulate the emission of CO₂. Its implementation has been proposed or is studied by some countries and organisations (the US Congressional Budget Office⁵⁾, IEA and others). In the EC countries a decision on a carbon tax is expected the end of this year. In Sweden a carbon tax of SEK 250/ton CO₂ (or 143 US\$/ton C) is already implemented.

Investment grant. The government might refund a fraction of the investment costs of a energy conservation project. This instrument has been used and is used in the Netherlands to stimulate energy conservation. The grant depends on the type of investment and might range between 10 and 40%.

Decision makers on investments on energy conservation apply criteria for the profitability of an investment like the simple payback period. The simple payback period is commonly defined as the investment costs divided by the average yearly revenues. In the Netherlands industrial companies use payback period criteria ranging from 1 to 7 years, with the majority (80%) between 2 and 5 years⁶⁾. According to

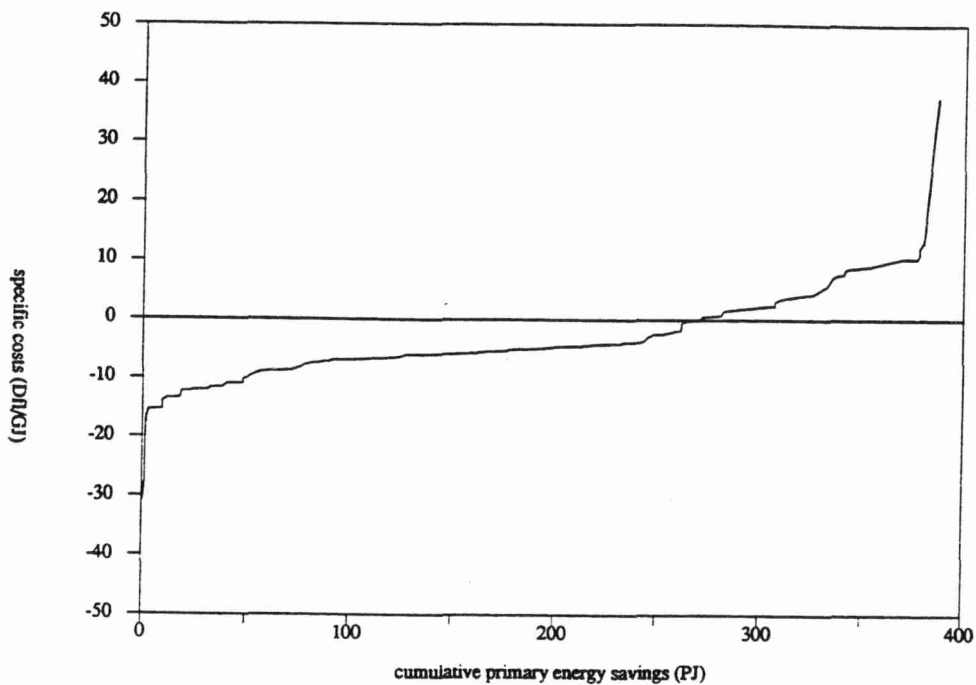


Figure 4

Supply curve of energy conservation techniques in the Dutch industry to be implemented between 1985 and 2000.

ICARUS the potential for energy conservation with a payback period of three years is 140 PJ (9.6 Mton CO₂, or 11% savings). For a payback period of six years this figure is respectively 230 PJ or 15.5 Mton (18%). For each conservation technique contained in ICARUS we will calculate the payback period. Assuming different forms of investment grant (0-40%) and charges for carbon tax (0-200 US\$/ton C). The results are shown for payback period criteria of three and six years in *figures 5 and 6*. Figure 5 shows that a 40% investment grant will increase the profitable potential of techniques with a payback period until three years) to 185 PJ (12.4 Mton, or 14%). Figure 6 shows the same for a carbon tax of 200 US\$/ton C. For a payback period until six years the profitable potential will increase to 270 PJ or 21% (17.6 Mton CO₂).

Conclusions

On basis of the data contained in ICARUS it is possible to get an overview of the techniques to be applied, to get insight in the conservation potentials in the distinguished industrial sectors, to arrange the techniques in order of cost-effectiveness. The total technical potential for energy conservation in the industry in the Netherlands is 390 PJ (or 30%) in the year 2000. Applying payback period criteria of three respectively six years the a reduction of the energy consumption with 140 PJ (or 11% savings) respectively 230 PJ (or 17% savings).

On basis of ICARUS it possible to explore (preliminary) the effect of policy options on the profitable conservation potential. The impact of two policy options, a carbon-tax and an investment grant, on the profitable conservation potential with payback period criteria of three respectively six years, have been evaluated. It showed that a carbon-tax of 200 US\$/ton C and an investment grant of 40% have approximately the same (relative modest) effect on the profitable potential.

In the Netherlands the government established a policy on carbon dioxide reduction. The plan is aiming at a reduction of the carbon dioxide emissions of 3-5% in the year 2000, compared with the average emissions in the years 1989 and 1990. The plan⁷⁾ assumes that, at an unchanged policy, an efficiency improvement of 1% per year will be attained. The plan aims at twice this figure: 2% per year. This means an average efficiency improvement of 20% in the period between 1990 and 2000, not only for industry, but also households and energy distri-

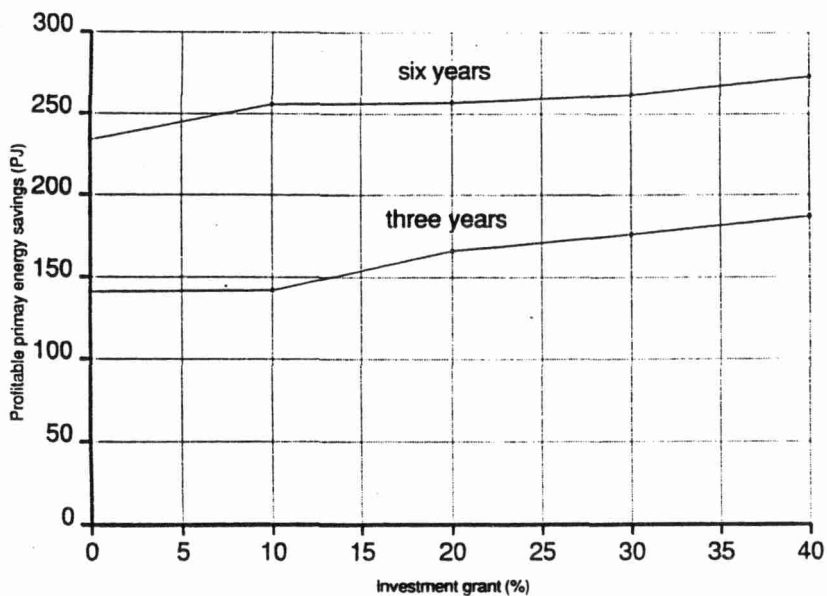


Figure 5

The effect of an investment grant on the profitable potential for energy conservation in the Dutch industry. The effect is presented for payback period criteria of three years and of six years.

bution companies. The government has made agreements with some industrial sectors to reach an efficiency improvement of 20%. Until now such agreements have been made with the large petrochemical industries and iron and steel industry. It should be noted that this figure applies not only to end-use options, but also supply-side options (e.g. cogeneration). The potential for industrial cogeneration is not included in this paper, but discussed in other publications of our department ^{4,8,9,10}.

Also research has been announced to evaluate the effects of additional policy instruments like a carbon tax, and the integration of emission limits within the framework of air pollution permits¹¹). The database ICARUS will be used in this evaluation.

ICARUS turned out to be an useful instrument for decision makers who are interested in information on energy conservation for the formulation and implementation of (short-term) energy conservation and carbon dioxide reduction policy plans.

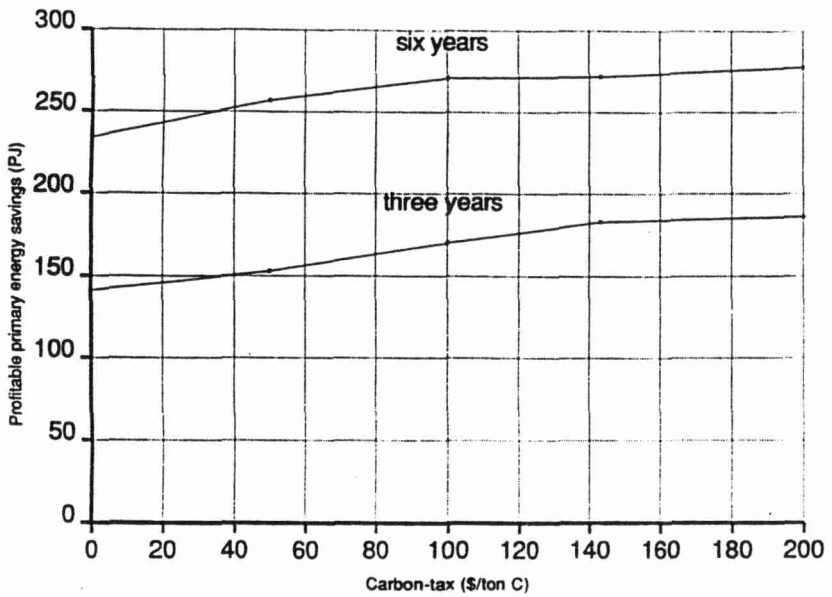


Figure 6

The effect of a carbon tax on the profitable potential for energy conservation in the Dutch industry. The effect is presented for payback period criteria of three and six years.

Acknowledgements

The authors acknowledge the Ministry of Housing, Physical planning and Environmental Affairs, Air Directorate, the Netherlands for their support of this research and Prof.dr. W.C. Turkenburg for his review of the paper.

References

1. *Energy supply in the Netherlands*, Annual figures 1985, Netherlands Central Bureau of Statistics, SDU, The Hague, 1986.
2. *Three scenarios for energy consumption in the Netherlands up to 2010*, Cental Planning Bureau, The Hague, august 1986 (in Dutch).
3. K. Blok, J.J. Bijlsma, S. Fockens, P.A. Okken. *CO₂ emission coefficients for fossil fuels in the Netherlands*, Netherlands Energy Research Foundation, ESC-WR-88-12, Petten, 1988 (in Dutch).
4. E. Worrell, K. Blok, R.F.A. Cuelenaere, J. de Beer. *The potential for energy conservation in the Netherlands up to the year 2000*, Dept. of Science, Technology and Society, University of Utrecht, may 1991 (draft).
5. *Carbon charges as a response to global warming: the effects of taxing fossil fuels*, Congress of the United States, Congressional Budget Office, Washington, august 1990.
6. L.W. Koot et al. *Evaluation of the operation and effectiveness of the energy bonus of the WIR base grant* (report 84-03462), Dutch Organization for Applied Scientific Research TNO, Apeldoorn, march 1984 (in Dutch).
7. *Memorandum Energy Conservation*, Department of Economical Affairs, The Hague, june 1990 (in Dutch).
8. K. Blok, E. Worrell, R.A.W. Albers, R.F.A. Cuelenaere. *Data on energy conservation techniques for the Netherlands*, Dept. of Science, Technology and Society, University of Utrecht, april 1990.
9. K. Blok, W.C. Turkenburg. *The future of Industrial CHP in the Netherlands*, Dept. of Science, Technology and Society, University of Utrecht, to be published.
10. W.C. Turkenburg, K. Blok, R.F.A. Cuelenaere, E. Worrell. *Is large-scale expansion of co-generation capacity feasible in the Netherlands*, contribution to Energy Economy 90, Amsterdam, 21-23 may 1990.
11. *National Environmental Policy Plan-Plus*, SDU, The Hague, june 1990 (in Dutch).

KERNENERGIE

Kernenergie: bron van energie of bron van problemen?

W. Biesiot

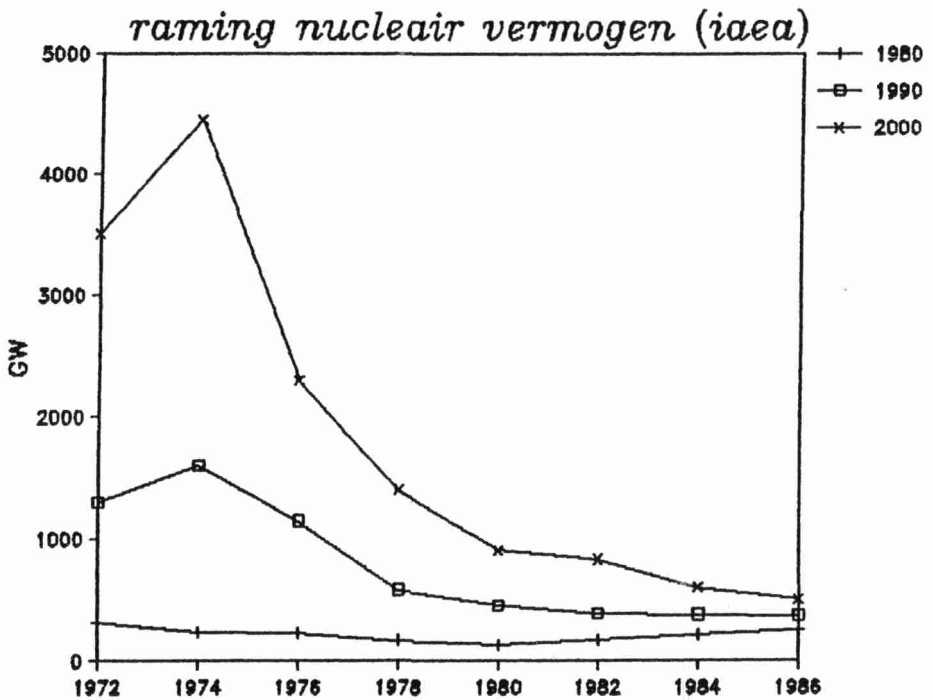
1. Opkomst van kernenergie

De eerste kerncentrales voor de commerciële productie van elektriciteit zijn gebouwd in de jaren vijftig. Het ging om betrekkelijk kleine reactoren (100 MWe). In de periode 1960-1990 zijn enkele honderden kerncentrales gebouwd, waarbij de grootte per centrale is toegenomen tot 1300-1450 MWe.

In de eerste euforie omtrent de beschikbaarheid van kernenergie als een goedkope en vrijwel onuitputtelijke bron van elektriciteit zijn de schattingen omtrent het in totaal opgestelde nucleaire vermogen steeds neerwaarts bijgesteld (*figuur 1*). In de jaren 70 veronderstelde men voor het jaar 2000 meer dan 4000 MWe aan kerncentrales; in de jaren 80 is die schatting voor het jaar 2000 bijgesteld tot minder dan 10% daarvan. De kostenontwikkeling van kerncentrales zal hieraan het een en ander hebben bijgedragen (*figuur 2*).

2. Huidige situatie

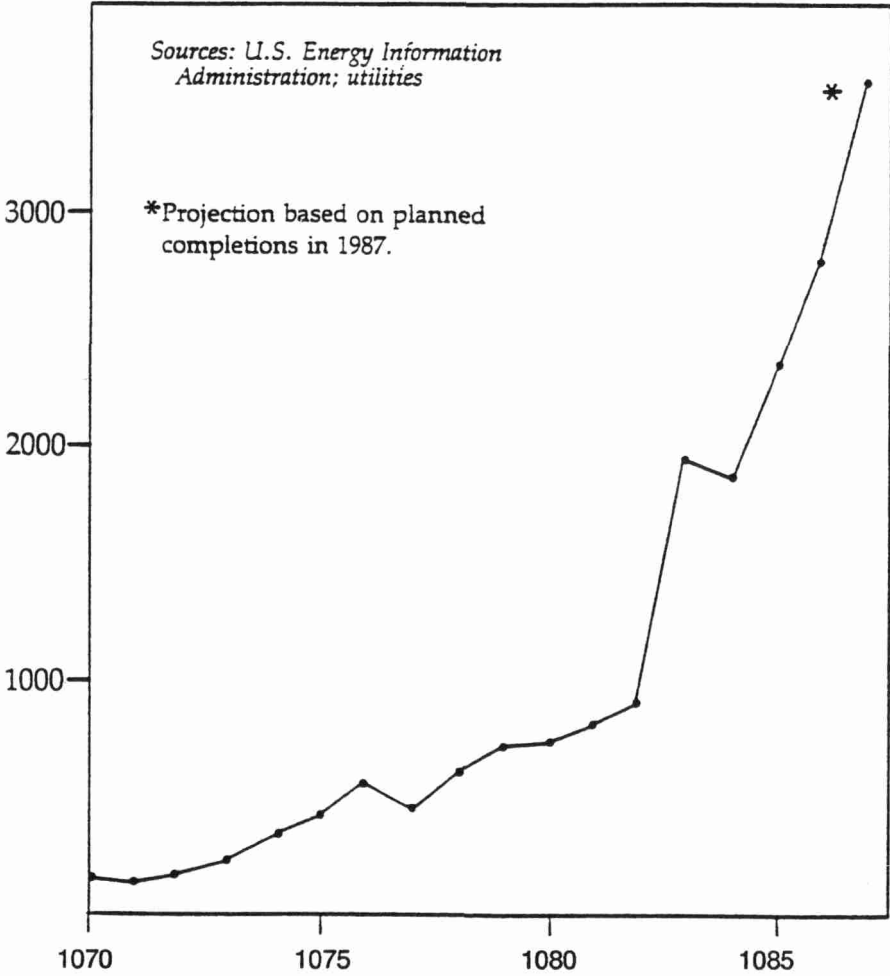
Op dit moment is kernenergie een energiebron die met name in de OECD landen wordt toegepast (*figuur 3*). Een kleine 400 commerciële centrales staat opgesteld, en enkele honderden verkeren nog in diverse stadia van planning (*tabel 1*). Uit tabel 1 blijkt dat lichtwaterreactoren (BWR [zoals in Dodewaard] en PWR [zoals in Borssele]) het overheersende type vormen. Een flink aantal van de volgens tabel 1 in aanbouw zijnde reactoren zal vanwege de kostenontwikkeling niet worden afgebouwd. Bovendien worden in de jaren 90 met name Amerikaanse kerncentrales 'van het eerste uur' uit bedrijf genomen. Een en ander betekent dat het totaal opgestelde nucleaire vermogen waarschijnlijk in de jaren 90 door een maximum gaat en vervolgens afneemt tot ca. 300-350 MWe in het jaar 2000.



Figuur 1

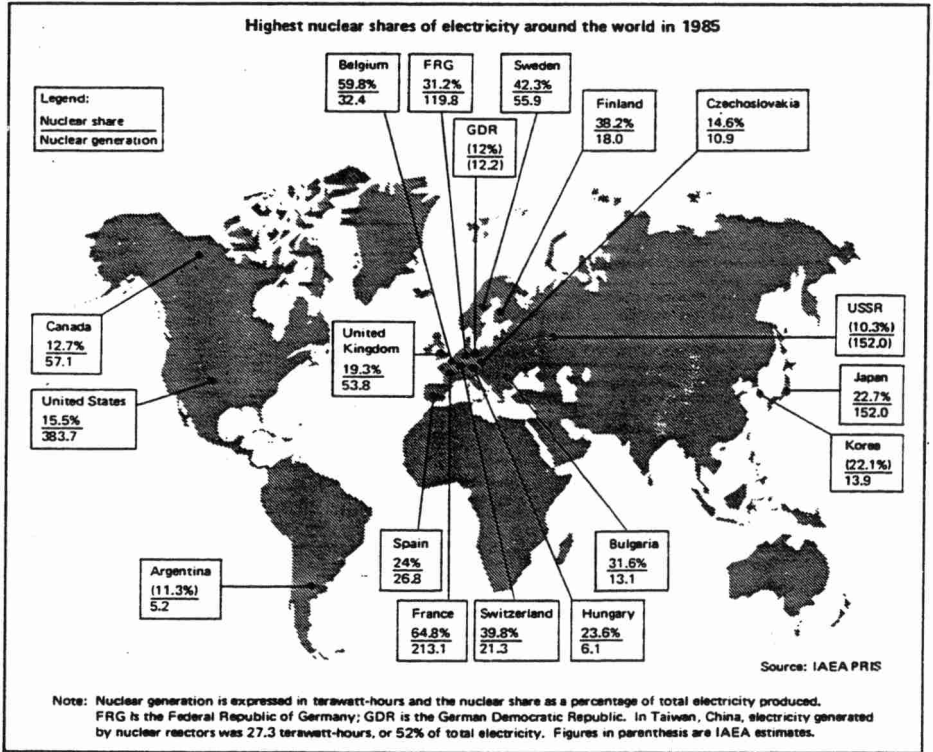
Raming van het nucleaire vermogen voor de peiljaren 1980, 1990 en 2000 als functie van de tijd (ontleend aan IAEA-cijfers). In het jaar 1974 werd bv. geschat dat in het jaar 2000 zo'n 4500 MWe aan kerncentrales zou zijn opgesteld, en in 1990 zo'n 1500 MWe. Na 1980 gaat de schatting voor het peiljaar 1980 uiteraard over in de feitelijke realisatie. Momenteel staat circa 350 MWe opgesteld.

Dollars per
Kilowatt



Figuur 2

Ontwikkeling van de gemiddelde kosten (in dollars per opgestelde kW) voor nieuwe Amerikaanse kerncentrales die in de periode 1970-1987 in bedrijf zijn genomen.



Figuur 3

Overzicht van de bijdrage van kernenergie aan de elektriciteitsvoorziening in een aantal landen.

In de loop der jaren heeft een concentratieproces plaatsgevonden in de nucleaire industrie, waardoor nog slechts een vijftal grote constructeurs/leveranciers zijn overgebleven. Deze bouwen slechts mondjesmaat nieuwe centrales, en concentreren zich met name op de markt voor onderhoud en reparaties. Deze laatste is goed voor zo'n 20 miljard DM per jaar. Deze branche lijkt dus zeer wel in staat om de komende 10-20 jaar te overleven en meer geavanceerde reactortypes te ontwikkelen en op de markt te brengen.

3. Veiligheidsbeoordeling

Een kerncentrale is een uiterst complexe installatie die uit honderduizenden componenten bestaat. Het evalueren van de gevolgen van een storing in/aan een component is dus geen eenvoudige zaak. Voor de systematische analyse van de faalkansen van componenten en de bijbehorende gevolgen zijn in de loop der jaren steeds omvangrijker computerprogramma's ontwikkeld in de zgn. Probabilistic Safety Analysis (PSA) studies (*figuur 4*).

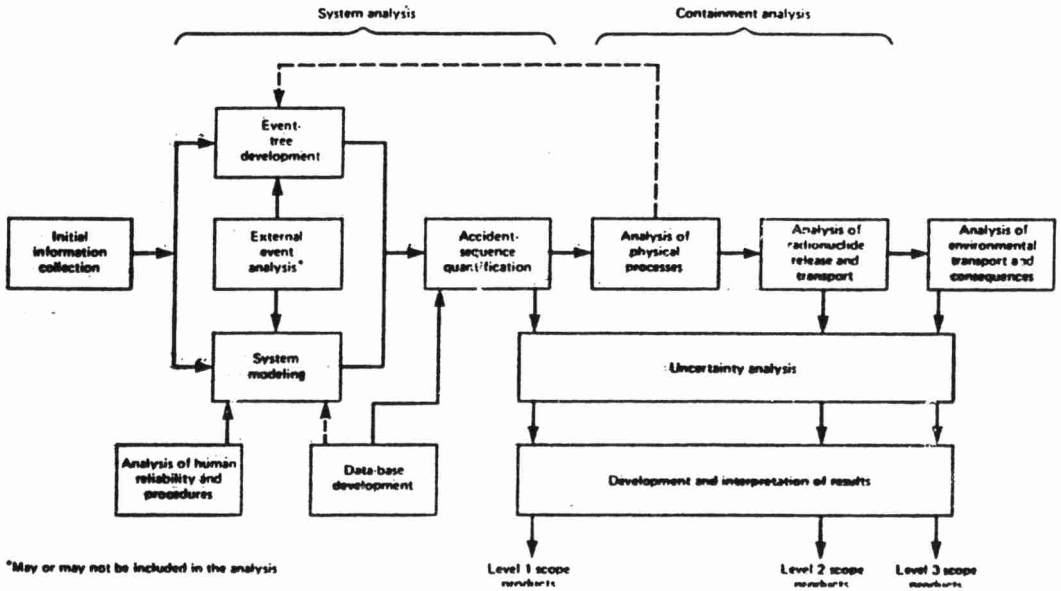
Dergelijke studies zijn zeer kostbaar. De laatste grote Amerikaanse studie (NUREG-1150) heeft (vanwege de uitgebreide gevoeligheidsanalyses erin) zo'n 200 miljoen gulden gekost; de Duitse risico-studie naar één van de Biblis reactoren heeft naar schatting zo'n 40 miljoen DM gevegd. Een veel meer beperkte studie naar de centrale te Borssele kost ook enige miljoenen gulden.

Kenmerkend voor de uitkomsten van dergelijke PSA-studies is het verschijnsel dat de kans op ernstige beschadiging van de reactorkern heel laag wordt geschat (eens per 10.000-100.000 bedrijfsjaren). Als men tijdens zo'n studie een mogelijk ongevalsverloop identificeert dat kan worden voorkomen door extra veiligheidsmaatregelen, dan zijn deze veelal ook aangebracht. Dit heeft ertoe geleid dat op dit moment in PSA berekeningen andere factoren dan het falen van een enkele component gaan overheersen: meervoudig falen van componenten door bv. branden of explosies, en foutief menselijk handelen (*figuur 5*). Ook de recente nadruk op maatregelen die zijn gericht op ongevalsbeheersing (zgn. accident management maatregelen; *figuur 6*) versterken de nadruk die is komen te liggen op het menselijk handelen. De nucleaire installatie wordt flexibeler bedreven, waardoor meer mogelijkheden bestaan om in ongevalsituaties te kunnen ingrijpen. Uit *figuur 6* blijkt dat dit soms al binnen enkele uren dient te geschieden teneinde een kernsmelt te voorkomen. Dit stelt hoge eisen aan diagnose en besluitvorming onder dergelijke omstandigheden.

	in operation	under construction	planned	total
BWR	79	15	3	87
FWR	189	113	77	379
RBMK	28	7	8	43
CANDU	24	14	9	47
MAGNOX	33	-	-	33
AGR	10	4	-	14
FBR	6	3	3	12
others	2	1	-	3
type not yet determ.	-	-	16	16
total	371	147	116	634

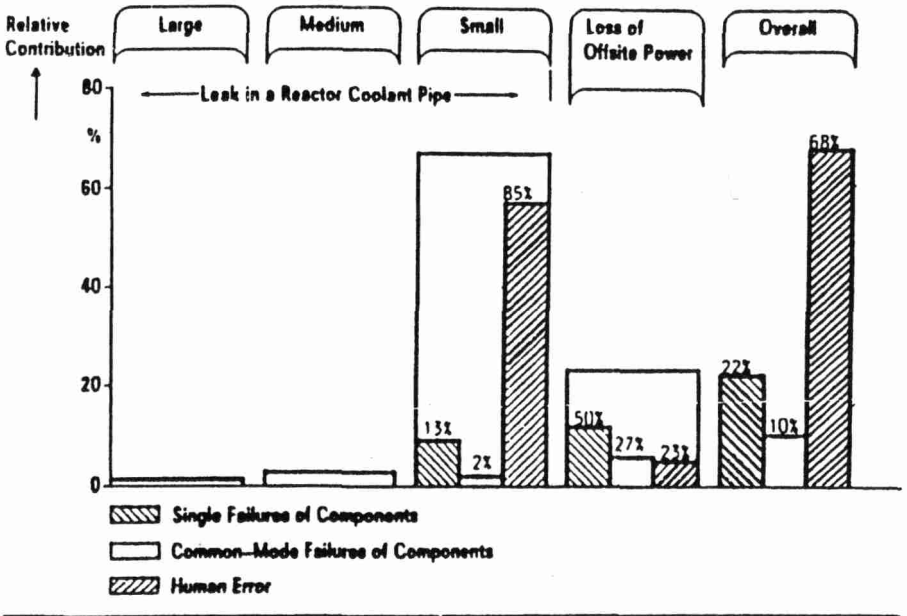
Tabel 1

Overzicht van de typen en aantallen kerncentrales die momenteel in bedrijf zijn, dan wel in een constructiefase verkeren.



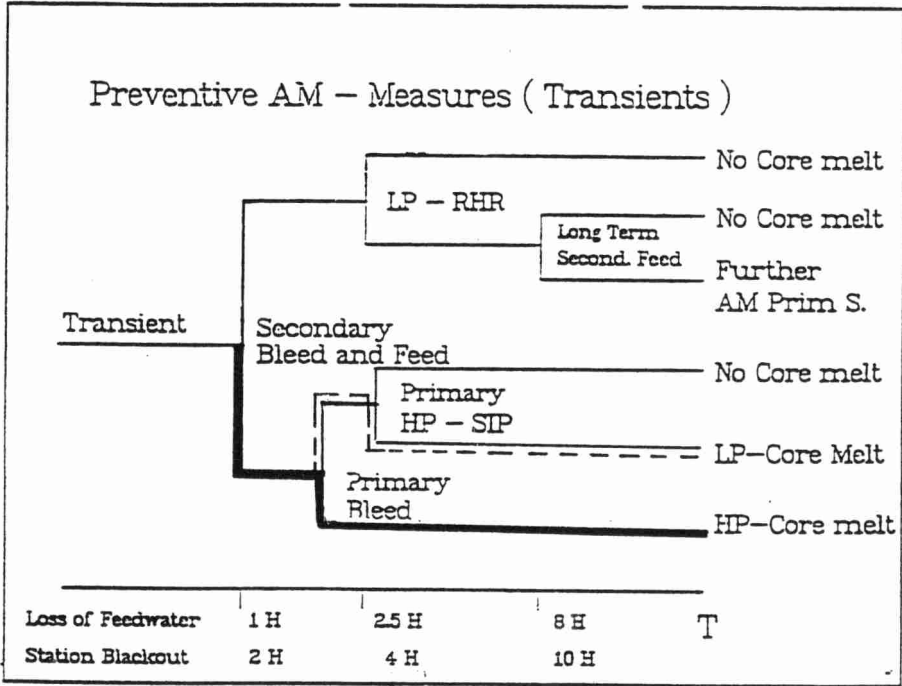
Figuur 4

Schema van de analyse waarmee ongewenste gebeurtenissen in een kerncentrale worden geëvalueerd (PSA-stroomdiagram).



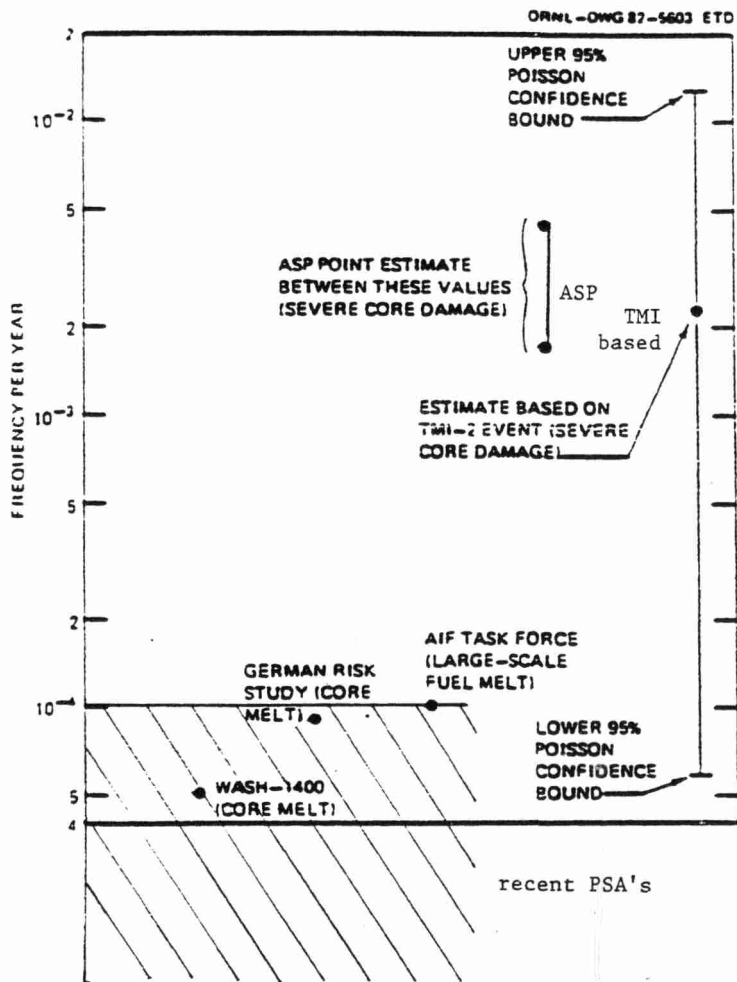
Figuur 5

Illustratie van het afnemende belang van enkelvoudige storingen in een kerncentrale voor het overall risico. Tegelijkertijd toont deze figuur het toegenomen belang van complexe storingen en van menselijke fouten (ontleend aan Siemens gegevens voor een Duitse PSA).



Figuur 6

Een schematische weergave van een zgn. gebeurtenissenboom van een storing in een kerncentrale, waarbij de operators na korte tijd (enkele uren) besluiten dienen te nemen over het inschakelen van een noodkoelsysteem teneinde te zorgen voor voldoende aanvoer van koelwater ter compensatie van het weglekken van koelmiddel (bleed and feed). Het stellen van de juiste diagnose en het realiseren van de juiste maatregelen stelt hoge eisen aan training en opleiding van het personeel.



(Source: Minarick and Kukielka, 1982)

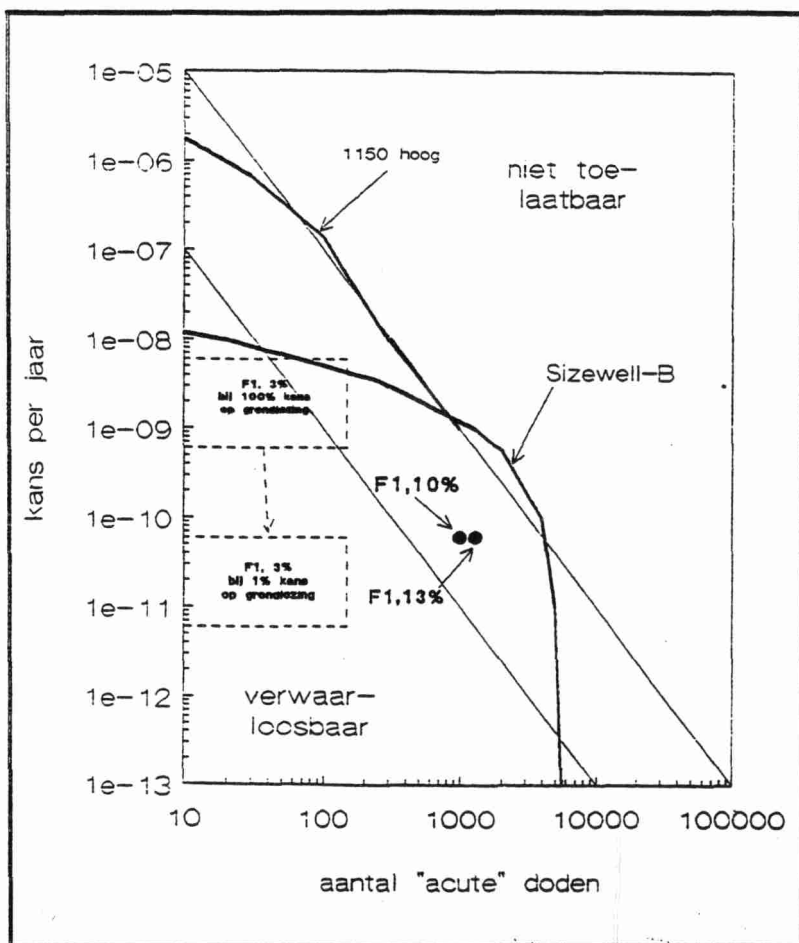
Figuur 7

Vergelijking van schattingen voor de kans op beschadiging van een reactor kern. Het interval aangeduid met TMI betreft een schatting op grond van het TMI-ongeval binnen enkele duizenden bedrijfsjaren van grote kerncentrales tot dan toe. Onderin ligt het gebied waarin de uitkomsten van recente PSA-studies zich bevinden. Deze hebben betrekking op centrales die in technisch opzicht zijn geoptimaliseerd. Bovenin de figuur bevindt zich het interval aangeduid met ASP, naar de gelijknamige methode. Hiermee wordt op basis van allerhande bedrijfsstoringen een schatting van de kans op schade aan de kern gemaakt.

Er bestaat nog steeds kritiek op de wijze waarop dergelijke PSA-studies worden uitgevoerd en op de wijze waarop de resultaten worden geïnterpreteerd. Aan deze situatie komt pas werkelijk een einde als voldoende bedrijfservaring is opgedaan met kerncentrales. *Figuur 7* laat dit zien aan de hand van de kans op kernbeschadiging zoals die is gerekend op grond van het ongeval met de Three Mile Island centrale in Harrisburg. Uit dat ene ongeval binnen het totaal aantal nucleaire bedrijfsjaren tot dan toe kan worden geschat dat de kans op beschadiging van de reactorkern ligt tussen de eens per 100 en eens per 20.000 bedrijfsjaren. De meeste PSA-studies komen uit op waarden die aan de onderzijde van dit interval liggen. Een andere methode maakt gebruik van een analyse van alledaagse storingen in centrales, en leidt daaruit een schatting voor ernstige situaties af. Deze zgn. ASP-methode levert een schatting voor kernbeschadiging die aan de bovenkant van de TMI-schatting ligt. Beide kunnen dus waar zijn: zowel de theoretische berekening van een in technisch opzicht geoptimaliseerde centrale als een schatting gebaseerd op de praktijk van alledag.

De uitkomsten van dergelijke berekeningen kunnen worden vergeleken met normen zoals die zijn geformuleerd door de Nederlandse overheid omtrent de aanvaardbaarheid van risico's. Enkele jaren geleden is door de overheid na de ramp in Tsjernobyl het project Herbezinning Kernenergie uitgevoerd, waarbij een groot aantal facetten van de kernenergieproblematiek opnieuw werd bestudeerd. In dat kader zijn schattingen gemaakt over het aantal doden dat kan vallen bij een ongeval met een nieuw te bouwen kerncentrale in ons land. *Figuur 8* toont het resultaat van schattingen van het aantal zgn. acute doden (overlijden aan een overdosis straling binnen enkele maanden). Een groot ongeval (10-13% lozing) levert een risico dat volgens de overheid noch verwaarloosbaar is noch onaanvaardbaar. Dit betekent dat extra maatregelen ter reductie van de risico's moeten worden overwogen voor deze reeds zo geavanceerde centrale. Een kleiner ongeval (3% lozing) betekent een risico dat niet zonder meer valt te classificeren als verwaarloosbaar. Wil men dit eenduidig realiseren, dan zijn ook hier extra maatregelen noodzakelijk.

Figuur 9 laat zien hoe groot het besmet gebied is dat eigenlijk niet meer mag worden betreden na een ernstig ongeval. Een lozing van enkele procenten van de kerninventaris kan een gebied ter grootte van een Nederlandse provincie langdurig buiten bedrijf stellen. De Nederlandse overheid heeft hiervoor nog geen normen geformuleerd.



Weergave van het groepsrisico afgezet tegen de daarvoor geldende toetsingscriteria. In de figuur zijn alleen die waarden opgenomen waarbij sprake is van acute slachtoffers. Dit betreft vooral een groepsrisico bij ongunstige weersomstandigheden (weertypa F1) en grotere bronstermen (3, 10 en 13%). Bij de 3% bronsters is aangegeven hoe gevoelig de uitkomst is voor aanname over de kans op pluinstijging. De aangegeven punten van de 10%- en de 13%-bronsters zijn geldig voor een grondlozing. Tevens zijn de uitkomsten van enkele veiligheidsstudies aangegeven (NUREG-1150, Sizewell-B). Voor wat betreft de NUREG-1150 en Sizewell-B gegevens is geen rekening gehouden met verschillen in uitgangspunten (zoals bevolkingsdichtheden en tegenmaatregelen) ten opzichte van de ECN uitgangspunten.

Figuur 8

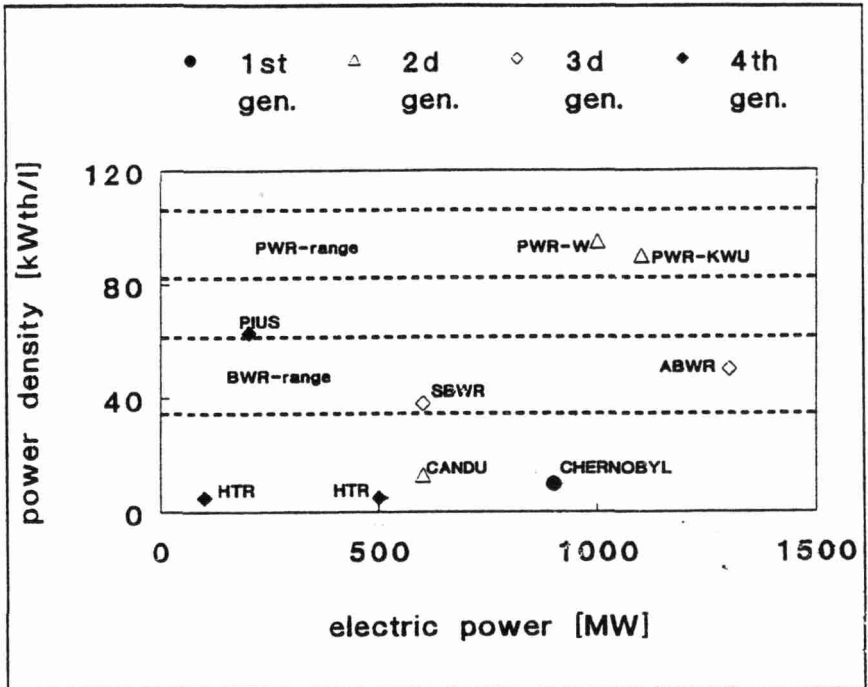
De aanvaardbaarheid van het zgn. groepsrisico zoals dat is omschreven in het Nederlandse risico-beleid, voor een nieuw te bouwen kerncentrale in ons land. Een installatie heet onaanvaardbaar indien het risico-profiel (b.v. de lijn met als identificatie de in Engeland in aanbouw zijnde Sizewell-B centrale) deels in het 'onaanvaardbare' gebied ligt. De gebieden/stippen met procentwaarden geven het risico aan dat optreedt bij een lozing van een percentage van de kerninventaris.

	veilig- heid	U- prolif.	Pu- prolif.	afval+ ontm.	benutt. ertsen
gener. 1 o.a. Tsj.	-	-	+/-	-	-
gener. 2 huidig	?	-	+/-	-	-
gener. 3 simplif.	+/-	-	+/-	-	-
gener. 4 "inher.v."	+	-	?	?	?

Figuur 9

Weergave van de omvang van het besmette gebied na een kernongeval (het gebied waar in het eerste jaar de dosis groter dan 0.05 Sv is) in relatie tot de omvang van de lozing. De aangeduide minima en maxima hangen samen met het weertype tijdens de lozing.

REACTOR SAFETY: DIFFERENT TYPES, NEW TYPES



Figuur 10

Diagram waarbij de grootte van een kerncentrale is uitgezet tegen de vermogensdichtheid in de kern. Reactoren van de tweede generatie bevinden dit aan de bovenzijde van de banden die zijn aangeduid met PWR- en BWR-range. Reactoren van de derde generatie bevinden zich aan de onderzijde hiervan. Reactoren van de vierde generatie bevinden zich in het linker onderste deel van het diagram: kleine eenheden met een minder compacte kern.

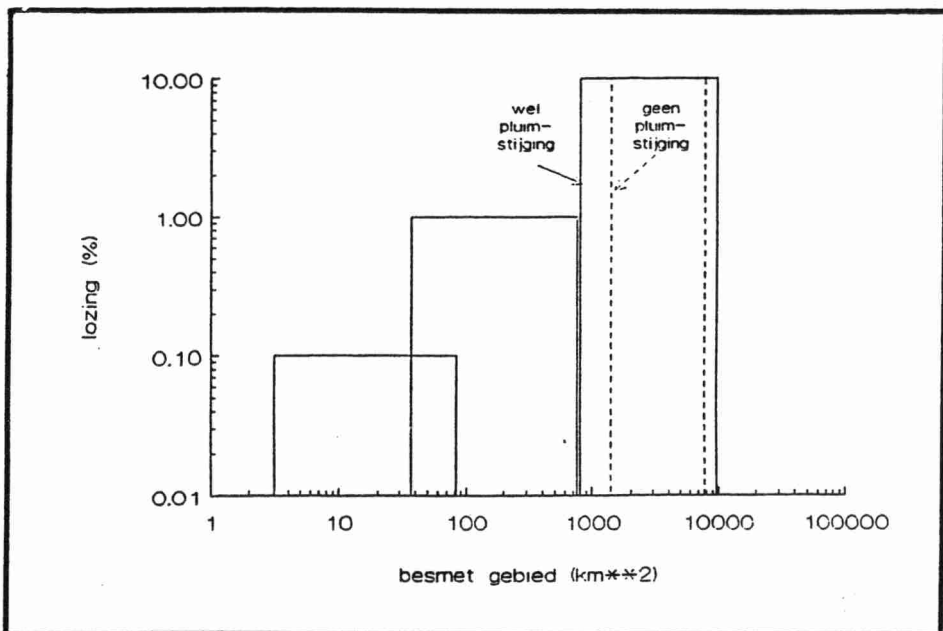
4. Typologie van kerncentrales

In de loop der jaren zijn diverse typen kerncentrales ontwikkeld. In *figuur 10* worden enkele kenmerkende soorten kerncentrales weergegeven in een diagram waarbij de grootte van de centrale (in MWe) is uitgezet tegen de vermogensdichtheid van de kern. Hieruit blijkt dat de huidige generatie centrales zich bevinden in het rechter bovendee van het diagram: groot en met een hoge vermogensdichtheid. Dit maakt dit type kwetsbaar voor storingen in het hart van de installatie, en men heeft dan ook tal van voorzieningen aangebracht om de invloed van mogelijke ongevallen te dammen. Desondanks blijft de veiligheid van dergelijke zgn. tweede generatie centrales omstreden (leidend tot het vraagteken in *tabel 2*). De eerste generatie centrales vormen een categorie waarin ook de Tsjernobyl eenheden zich bevinden. De geringe mate van veiligheid hiervan leidt velen tot de stelling dat ze maar beter kunnen worden gesloten. Enkele fabrikanten brengen op dit moment nieuwe types kerncentrales uit die zich kenmerken door een kleiner aantal componenten (kleppen, pompen, etc.). Hierdoor zouden deze zgn. vereenvoudigde of geavanceerde reactoren een hoger nivo van veiligheid kunnen garanderen. In *tabel 2* vormen deze de derde generatie centrales. Het is nog onduidelijk in hoeverre in realiteit sprake is van een significant lager risico-niveau van dergelijke eenheden, vandaar de +/- in *tabel 2*. Ook dit reactor-type lost enkele andere problemen niet op die hardnekkig kleven aan toepassing van kernenergie voor commerciële elektriciteitsproductie: bijdrage aan de verdere verspreiding van kernwapens en grondstoffen daarvoor, de afvalproblematiek, en het feit dat dergelijke lichtwaterreactoren de beperkt aanwezige voorraden uranium slechts marginaal benutten.

Het wenselijkste voor een 'werkelijk veilige kerncyclus' is dus nogal lang: een centrale die passief werkende veiligheidsvoorzieningen heeft (dit leidt tot een plaats in het linker onderste deel van *figuur 10*), inpassing in een kringloop die bestand is tegen misbruik, oplossing van het afvalvraagstuk, en bovendien optimale benutting van de schaarse uranium-ertsen.

5. Toekomstige bijdrage van kernenergie

Uit het slot van punt 4 blijkt enig scepticisme t.a.v. de technische en organisatorische mogelijkheden om kernenergie op een aanvaardbaar niveau van risico's voor mens en milieu te bedrijven. Wellicht lost een vierde generatie concept deze problemen in voldoende mate op. Dit vergt naar schatting nog enkele decennia van speur- en ontwikkelingswerk. Indien men mondiaal op grote schaal wenst over te schakelen op kern-

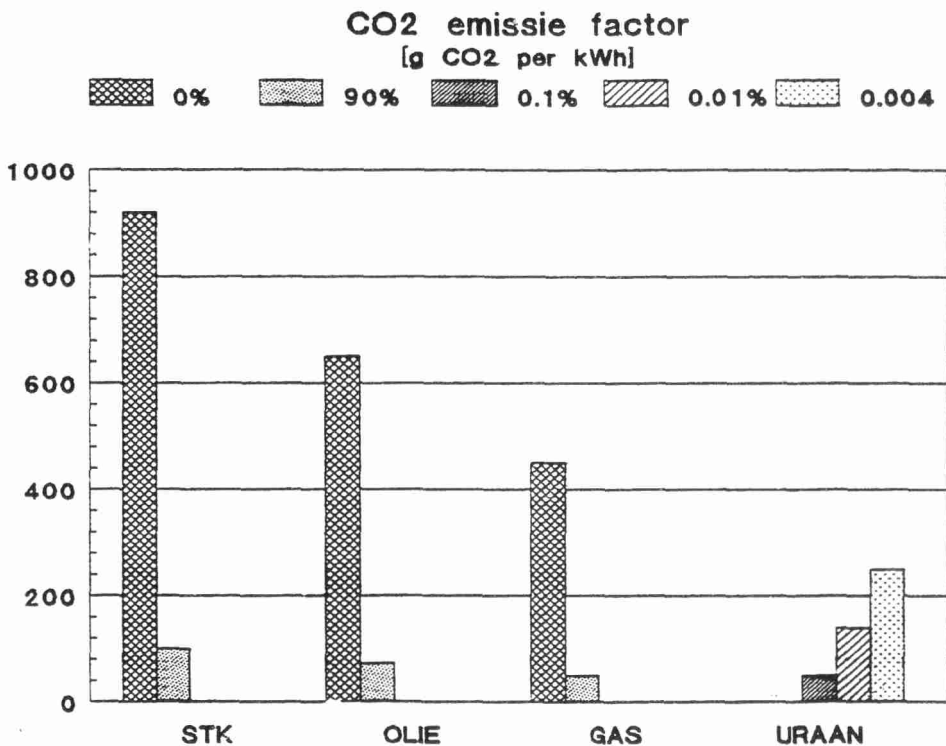


Tabel 2

Overzicht van de score van de diverse generaties kerncentrales op de verschillend beoordelingsdimensies (veiligheid, proliferatie, afval, ertsbenutting). De eerste generatie kerncentrales betreft onder meer de Tjernobyl-type centrales. De vierde generatie wordt veelal betiteld als 'inherent veilig'. Bij de dimensie proliferatie is onderscheid gemaakt tussen het slechts in omloop hebben van uranium en het hergebruiken van plutonium. Het afvalprobleem omvat tevens het vraagstuk van het ontmantelen van nucleaire installaties.

energie vanwege de CO₂ problematiek, dan zal spoedig het moment aanbreken dat betrekkelijk arme uranium ertsen moeten worden aan-gesproken. Dit betekent dat steeds meer energie nodig is voor de mijnbouw en het isoleren van het uranium uit het erts. Ook voor het bouwen en bedrijven van de diverse onderdelen van de kernenergiecyclus is energie nodig, die (gegeven de dominante bijdrage van fossiele brandstoffen aan het wereldenergiegebruik) gepaard gaat met CO₂ lozingen. In toenemende mate zal dus ook een nucleaire kWh gepaard gaan met CO₂ emissies. *Figuur 11* toont dit voor diverse erts-kwaliteiten. Tevens is in die figuur aangegeven tot welk niveau de CO₂ emissie per kWh uit fossiele brandstoffen daalt indien men daar overgaat tot grootschalig afvangen van CO₂ uit de rookgassen (iets waarvoor momenteel technologie beschikbaar is en wordt gemaakt). Uit figuur 11 blijkt dat kernenergie dus zeker niet zonder meer op het punt van het CO₂ probleem beter scoort dan geavanceerde technologie met fossiele brandstoffen.

Indien het energiegebruik in het ontwikkelde deel van de wereld blijft groeien, en tevens het gebruik in de tweede en derde wereld sterk toeneemt, dan zal het mondiale energiegebruik binnen enkele decennia stijgen tot een veelvoud van het huidige niveau. De hoeveelheid fossiele brandstoffen is onder die omstandigheden slechts voldoende voor enkele tientallen jaren gebruik. De noodzaak van overschakeling op andere bronnen komt dan ook steeds dichterbij. Wellicht is tegen die tijd een acceptabele vorm van kernenergie voorhanden. Indien het mondiale energiegebruik zo hoog wordt als is verondersteld in het boven vermelde scenario, dan zal kernenergie slechts een marginale bijdrage kunnen leveren in de volgende eeuw. Hetzelfde geldt overigens voor alle andere bronnen. Dit wijst op de urgentie van energie-besparing op grote schaal, zowel in de industrie als in de huishoudens. Indien de groei van het mondiale gebruik niet wordt afgeremd, vormt ook kernenergie geen afdoende oplossing.



Figuur 11

De CO₂ emissie factor (uitgedrukt in grammen CO₂ per kWh) voor diverse typen elektriciteitscentrales: steenkool-, olie-, gasgestookt, kerncentrale. Bij de fossiel gestookte centrales is de invloed van CO₂ afvangstechnologie te zien. Bij kerncentrales is de invloed van overschakeling op arme ertsen zichtbaar.

Kernenergie in ruimer perspectief

*H. van Dam**

Het mondiale energieperspectief in de komende halve eeuw wordt geschetst met als conclusie dat om redenen van beschikbare energievoorraden, milieubeïnvloeding door verbrandingsprocessen en inherente beperkingen in zogenoemde stromingsenergie, kernenergie niet zal kunnen worden gemist. Bezwaren tegen kernenergie worden behandeld en misvattingen worden geanalyseerd, met name de stellingen dat de grondstoffen voor een dergelijke energie-opwekking schaars zouden zijn en dat aanvaardbare oplossingen voor de opslag van afval nog ver achter de kim liggen. Ten aanzien van de veiligheid wordt gewezen op een interessante ontwikkelingsfase waarin kernenergie zich thans bevindt. Geconcludeerd wordt dat kernenergie een belangrijke bijdrage kan leveren aan de energievoorziening in de wereld.

Bij het beschouwen van het energieprobleem doet men er verstandig aan zich niet te beperken tot ons eigen kleine landje en tot een te kleine tijdsperiode. In deze bijdrage wordt de mondiale situatie als uitgangspunt genomen en als tijdspanne globaal de komende halve eeuw beschouwd.

Mondiaal is de welvaart zeer ongelijk verdeeld. Dit brengt met zich mee dat ook het energieverbruik zeer ongelijk is verdeeld; men kan ruwweg stellen dat het meest welvarende kwart van de wereldbevolking driekwart van het energieverbruik voor zijn rekening neemt. Daarnaast zien we een nog steeds sterke groei van de wereldbevolking die vrijwel geheel voor rekening komt van het minst welvarende deel. Over vijftig jaar zal de wereldbevolking verdubbeld zijn. De ontwikkelingslanden zullen een toenemend deel van de welvaart opeisen (en wie zal hen dat ontzeggen?) met als consequentie een nog sterkere toename van het energieverbruik. Het is zeer wel mogelijk dat over vijftig jaar het energieverbruik het vijfvoudige zal zijn van het hedendaagse. Wie denkt dat dit een stoutmoedige veronderstelling is, moet studie maken

van de huidige groeicijfers en bedenken dat genoemde vervijfvoudiging een gemiddelde toename met slechts iets meer dan 3% per jaar inhoudt. Zelfs drastische bezuinigingen in de welvarende landen, waar overigens voorlopig weinig tekenen van te bespeuren zijn, zullen dit beeld niet wezenlijk wijzigen gezien de eerdergenoemde sterk ongelijke verdeling van het energiegebruik.

We kunnen drie vormen van energie onderscheiden; chemische energie (meestal via verbranding vrijgemaakt), kernenergie en stromingsenergie. De laatste energievorm wordt ook wel 'duurzame' energie genoemd, een wat wondelijke term aangezien alle energie duurzaam is (wet van behoud van energie) maar hetzelfde geldt voor het begrip 'energieverbruik'; we weten gelukkig allemaal wat er bedoeld wordt, ondanks ons slordig taalgebruik. Stromingsenergie is in wezen het resultaat van een omzettingsproces van andere energievormen. Zo is zonne-energie afkomstig van kernfusieprocessen in de zon en dus een vorm van kernenergie.

Chemische energie gebruiken we hoofdzakelijk door verbranding van fossiel vastgelegde koolstof, in het beste geval gebonden aan waterstof. In de loop der tijden zijn we zoveel gaan verbranden, dat de verbrandingsprodukten thans ons milieu merkbaar gaan beïnvloeden. De woorden 'broeikaseneffect' en 'verzuring' zijn niet meer van de krantenpagina's weg te denken. Wanneer de koolstof gebonden is aan waterstof, hebben we het voordeel dat een deel van de energieproduktie water oplevert in plaats van kooldioxyde. Water is milieuvriendelijk en zal niet tot wezenlijke verstoring van natuurlijke evenwichten leiden aangezien het van nature reeds in zeer grote hoeveelheden aanwezig is wat bij kooldioxyde niet het geval is. De meest ideale brandstof zou zuivere waterstof zijn, wat helaas nauwelijks in de natuur aanwezig is; het enige waarvoor men dan bij de verbranding moet zorgen is dat er geen stikstofoxyden worden gevormd, een techniek die goed bekend is.

Naast waterstof als brandstof zou stromingsenergie een ideale 'duurzame' energievorm zijn. Het nadeel is de lage concentratie en de niet-regelbare intensiteit waarmee deze energie tot ons komt. Een paar getallen ter illustratie. Als we alle elektriciteit in ons land zouden willen opwekken met fotovoltaïsche cellen, dan zouden daarvoor 1200 km² zonnecellen nodig zijn en zou er een voorlopig onoplosbaar probleem van de opslag van elektriciteit zijn, immers vraag en aanbod zijn dan nimmer in evenwicht. Met windturbines zouden we een oppervlak van

1500 km² moeten bedekken met 180.000 turbines van 200 kW en ook weer een opslagprobleem hebben. Met biomassa, een indirecte vorm van zonne-energie, zouden we zogenoemde 'regeneratieve bossen' moeten planten met een oppervlak van 80.000 km². Dit zou neutraal zijn in termen van kooldioxydeproductie, mits de geoogste biomassa gelijk wordt gehouden aan de geproduceerde via nieuwe aanplant. Het noodzakelijke oppervlak is overigens ruim het dubbele van ons landoppervlak. Bij dit alles moeten we dan nog bedenken dat hier alleen gekeken is naar de elektriciteitsproductie, die slechts ruim 20% van het primaire energieverbruik in ons land voor haar rekening neemt.

Het voorgaande wil niet zeggen dat de genoemde energievormen geen waarde hebben; integendeel, zij zullen alle een bijdrage kunnen en waarschijnlijk ook moeten leveren. Ook is energiebesparing belangrijk, zowel door verhoging van efficiëntie van energieverbruik als door be- teugeling van onze energiehonger; reeds eerder is gesteld dat zij geen oplossing is voor het mondiale probleem, hoogstens een geringe ver- lichteing.

Mijn conclusie is dat kernenergie niet gemist zal kunnen worden. Thans vervult zij een bescheiden rol, maar niet een verwaarloosbare. In ons land wordt ongeveer 10% van het elektriciteitsgebruik geleverd uit kernenergie. Voor diegenen die hiervoor een getal van 6% in het hoofd hebben, afkomstig van Borssele en Dodewaard, het volgende ter toe- lichteing. Ons land heeft vorig jaar 13,3% van zijn elektriciteitsgebruik geïmporteerd; gezien de herkomst van deze elektriciteit kan de kern- energiebijdrage in ons land op de genoemde 10% worden geschat. Mondiaal gezien voorzien thans 430 kerncentrales in ruim 17% van de elektriciteit. Hierdoor liggen de kooldioxyde-emissies 9% lager dan zij zonder kernenergie zouden zijn. Frankrijk is wat dit betreft een uit- schieter: per hoofd van de bevolking ligt de kooldioxydeproductie daar op de helft van de emissie per caput in de gezamenlijke OESO-landen. In Nederland hebben we voorlopig slechts voornemens ter verminde- ring van kooldioxyde-emissie maar heffen wel het vingertje op tegen landen die nog niet zulke fraaie voornemens op schrift hebben gesteld.

Tot nu toe wordt kernenergie vrijwel uitsluitend toegepast voor elek- triciteitsproductie, maar zij kan ook worden gebruikt voor verwar- mingsdoeleinden en voor bijvoorbeeld watersplitsing voor de productie van vrije waterstof. In het laatste geval heeft men dan kernenergie omgezet in een chemische energiedrager die milieuvriendelijk is en

ruim toepasbaar als brandstof. Voorts moet worden bedacht dat in een zich ontwikkelende samenleving het aandeel van elektriciteit toeneemt. Voor veel toepassingen is dit een gewenst verschijnsel aangezien het rendement bij het eindgebruik zeer hoog ligt en de gecentraliseerde produktie een betere beheersing van milieuvervuiling inhoudt. Zo zou toepassing voor wegtransport zeer milieuvriendelijk zijn, maar de moeilijkheid van efficiënte elektriciteitsopslag heeft dit tot op heden verhinderd.

Het is mij niet ontgaan dat er de laatste twee decennia bezwaren worden aangevoerd tegen kernenergie en ik wil daar tot slot globaal op ingaan. Vooraf wil ik opmerken dat men de huidige situatie moet zien als een stadium in een ontwikkelingsproces, dat niet morgen op zal houden. Toen James Watt omstreeks 1760 aanzienlijke verbeteringen aan de stoommachine aanbracht, was het rendement niet veel hoger dan 2% en was het risico van het bedrijven aanzienlijk groter dan thans acceptabel wordt geacht. Wie de stoomturbines van ruim 200 jaar later beziet, constateert dat door een betere kennis van natuurwetten en materialen een aanzienlijk hoger rendement en veiligheid zijn bereikt. Wat kernenergie betreft zijn wij technisch gezien nog in een beginfase, zelfs als we kernfusie buiten beschouwing laten. Een zeer opmerkelijke eigenschap van onze huidige reactoren is hun zeer inefficiënte uraniumgebruik. Ten hoogste één procent van de energie-inhoud van het gedolven uranium wordt vrijgemaakt; het restant wordt niet vernietigd, maar is nog steeds in het zogenaamde 'afval' aanwezig. De wijze waarop dit grondstofgebruik moet worden verbeterd, via kweekreactoren, is bekend maar nog niet voldoende in praktische zin ontwikkeld. Dit maakt echter duidelijk dat de veel gemaakte opmerking dat ook deze grondstoffen schaars zijn, volkomen onjuist is. Men dient zich goed te realiseren dat verbetering van het uraniumgebruik met een factor 100 mogelijk is. *Ieder jaar dat de 430 hedendaagse kerncentrales in bedrijf zijn wordt ergens uranium opgeslagen dat voldoende is voor 100 jaren bedrijf van 430 reactoren met een goed uraniumgebruik.* De hoeveelheid verarmd uranium die thans op de wereld is opgeslagen heeft een energie-inhoud die aanzienlijk groter is dan de gehele oorspronkelijke olievoorraad in het Midden-Oosten!

Ten aanzien van de veiligheid staan we aan het begin van een ontwikkeling van reactoren waarin meer systematisch gebruik wordt gemaakt van natuurlijke wetmatigheden om een veilig bedrijf te garanderen. Dit kan gecombineerd worden met een aanzienlijk verbeterd splijtstof-

gebruik, zoals in de Hoge Temperatuur Gasgekoelde Reactor en het zogenoemde PRISM-ontwerp.

Tenslotte het veelgenoemde afvalprobleem. In zeer algemene zin, dus niet alleen voor kernenergie, zijn er voor afval twee oplossingen: de CC-optie ('concentrate and confine') en de DD-optie ('dilute and disperse'). Bij fossiele brandstoffen wordt DD toegepast vanwege de grote hoeveelheden afvalstof, met alle gevolgen van dien. De afval van kernenergie is zonder twijfel enige tijd gevaarlijk, maar de hoeveelheden zijn zodanig dat de CC-optie, dus gecontroleerde opslag en isolatie van het milieu, mogelijk is. Wie de diverse in gang zijnde projecten voor opslag van radioactief afval bestudeert, komt tot de conclusie dat hier een politiek en geen technisch probleem ligt. In Nederland heerst op dit punt zelfs een 'Forschungsverbot' tenzij het onderzoek van negatieve vóóronderstellingen uitgaat.

Eén van de vele modieuze uitspraken op het gebied van energie en milieu is "we mogen toekomstige generaties niet opscheppen met ..." en op de plaats van de stippeltjes mag u dan van alles invullen. Ik vrees dat al ons handelen onvermijdelijk consequenties heeft voor latere generaties, men bestudere de geschiedenis maar. Ik kan de genoemde uitspraak wel in gewijzigde vorm ondersteunen: we moeten trachten toekomstige generaties met zo min mogelijk negatieve effecten op te schepen. Ook op dit aspect moeten we alle energie-opties bekijken. Als dat op eerlijke wijze gebeurt, zou het mij niet verbazen wanneer kernenergie er niet slecht vanaf komt. Voorlopig zal echter geen enkele energie-optie mogen afvallen. Gelet op de problemen die ik, zij het in ruwe contouren, in het begin schilderde, lijkt kernenergie mij in de volgende eeuw onmisbaar. Het is echter duidelijk dat deze energievorm hoge technische eisen stelt, reden waarom vooral de ontwikkelde landen op dit punt een belangrijke verantwoordelijkheid dragen.

Ik concludeer met een parafrase op de titel van dit symposium:

Energie in de toekomst: een brandende kwestie, maar óók een kernvraag; niet alleen te beantwoorden met verbranding, maar ook met stroming en kernspijting.

* Prof.dr.ir. H. van Dam kon helaas niet op het symposium spreken, maar had de hier afgedrukte tekst daarvoor in gereedheid gebracht.

Is uitbreiding van de kernenergie in Nederland gunstig in verband met de broeikasproblematiek?

J. Blok

Naar ik aanneem kan iedereen in dit gezelschap accoord gaan met het uitgangspunt, dat het uitermate wenselijk is om de uitstoot van kooldioxyde in de wereld sterk te verminderen. Een werkende kerncentrale produceert geen kooldioxyde. Betekent dat nu dat er daarom zo snel mogelijk kerncentrales gebouwd moeten worden? Dat is naar mijn smaak een te snelle conclusie en ik zal u laten zien waarom.

Ten eerste moeten we dan eens kijken naar de kooldioxyde uitstoot, die te verwachten is als het gebruik van energie gewoon door blijft groeien, terwijl we intussen zoveel mogelijk kerncentrales bouwen. Daar zijn uitvoerige studies over gedaan, waaraan ik het volgende voorbeeld ontleen¹⁾.

Stel dat volgens een 'matig' scenario het energieverbruik in de wereld van 1985 tot 2015 stijgt van 350.000 tot 660.000 PJ per jaar (1 PJ = 1 petajoule = 1000 maal miljoen maal miljoen joule), dan stijgt de kooldioxyde uitstoot natuurlijk mee en groeit van 5,2 miljard ton in 1985 tot 10,3 miljard ton per jaar in 2015. Bouwt men nu kerncentrales in een tempo van één kerncentrale in de 2½ dag (dit is ongeveer tien maal zo snel als in de periode 1970 tot 1985), dan is de in 2015 te verwachten uitstoot te reduceren tot 6,5 miljard ton per jaar. De conclusie is duidelijk: *zonder rigoureuze afremming van de vraag naar energie blijft de kooldioxyde uitstoot toenemen, ook bij maximale inzet van kernenergie.*

Daaruit volgt, dat als we moeten kiezen tussen energiebesparing en groei van de kernenergie, de energiebesparing voorrang moet krijgen.

Voordat ik verder ga wil ik eerst even de term *energiebesparing*, zoals ik hem gebruik, scherper omschrijven. Onder energiebesparing versta ik een vermindering van het verbruik van energiegrondstoffen, welke drie te onderscheiden aspecten bezit:

- a. zuiniger produktie van hoogwaardige vormen van energie (b.v. elektriciteit), met name door minder warmte verloren te laten gaan;
- b. zuiniger gebruik van energie bij een gegeven behoefte (denk b.v. aan de vervanging van gewone gloeilampen door spaarlampen);
- c. vermindering van de vraag naar energie (denk b.v. aan het accepteren van een wat lagere kamertemperatuur of van een wat lager niveau van binnenverlichting).

Ik wijs er op dat a. en b. een technische aanpak vereisen, die alleen succesvol kan zijn als er behoorlijk in geïnvesteerd wordt. Het besparingselement c. vereist een gedragsverandering die gekarakteriseerd kan worden als 'ophouden met de grenzeloze verspilling van energie'. Men mag dat van mij 'versobering' noemen, als daar maar niet meteen de notie 'armoede' mee verbonden wordt.

Ik kijk nu speciaal naar ons eigen land, dat relatief gezien erg weinig aan kernenergie heeft gedaan en vraag mij af: *"Is het dan niet het beste om aan een programma te beginnen, waarin zoveel mogelijk besparing wordt nagestreefd, tegelijk met een intensief bouwprogramma van kerncentrales?"*. Op papier lijkt dat een logische suggestie, maar ik ben bang dat er in onze politieke werkelijkheid niet veel van terecht zou komen.

Ten eerste vrees ik dat een stevig bouwprogramma van kerncentrales een zelfvoldaanheid zou doen ontstaan over de succesvolle terugdringing van de kooldioxyde uitstoot, waarin er van de motivatie om te besparen niet veel over zou blijven. De vermorsing van energie zou stellig doorgaan en we hebben gezien waar dat toe leidt. Ik zou zelfs zo ver willen gaan te beweren dat het voor onze maatschappij heel gezond zou zijn als de elektriciteitsbedrijven van de overheid opdracht zouden krijgen wat minder stroom uit het buitenland te kopen dan er eigenlijk nodig is. Zo'n schaarste zou de consumenten creatief maken. Maar dat is waarschijnlijk politiek gezien een illusie.

Ten tweede wil ik er op wijzen, dat de bouw van kerncentrales erg duur is. Ik vrees dat er door de hoge investering die daarvoor nodig is, te weinig middelen in onze alsmaar bezuinigende instanties en bedrijven over zouden blijven om de technische besparing als een prioriteit op de begroting te zetten. Typisch voor de koopmansvisie in het Nederlandse beleid is het failliet gaan van een fabriek, die van plastic afval paaltjes maakt om langs de straten te gebruiken in plaats van het nu toegepaste hardhout. Volgens de krantenberichten kon men de plastic paaltjes niet afzetten om dat ze een paar centen duurder

bleven dan het hardhout. Alleen bij een langdurig stabiele visie op lange termijn zou men er dan ook naar mijn mening aan kunnen denken energiebesparing en bouw van kerncentrales tegelijk te financieren. Ik concludeer daarom voorlopig: *in Nederland zou de noodzakelijke energiebesparing zich waarschijnlijk niet verdragen met een gelijktijdige investering in de bouw van kerncentrales.*

Dat kerncentrales zo duur zijn ontleen ik aan gegevens van het internationale bureau voor de kernenergie²⁾. Een kerncentrale bouwen kost in Nederland f 3.250,- per kW en voor een redelijk milieuvriendelijke kolencentrale is de prijs f 1.750,-. Economisch kan kernenergie dan ook alleen concurreren met elektriciteit uit kolen als de rentevoet niet hoger is dan zo'n 5%. De 'brandstof' voor kerncentrales is namelijk per energie-eenheid veel goedkoper dan kolen en dat compenseert grotendeels voor de veel duurdere bouw. Wel is er dus duidelijk reden om de prijs van elektriciteit uit kernenergie verder te drukken door meer kerncentrales tegelijk te bouwen. Alle hoog radioactieve afval kan dan bijvoorbeeld in één en dezelfde zoutkoepel worden opgeslagen. Gezien de tamelijk lange bouwtijd van ongeveer 10 jaar komt men dan op een benodigde investering van ongeveer 1 à 1,5 miljard gulden per jaar gedurende 10 jaar.

Meestal worden er heel andere argumenten tegen kernenergie ingebracht, waarvan de meeste wetenschappelijk gezien nogal dubieus zijn. Daar kan ik in een lezing van een half uur natuurlijk niet uitvoerig op in gaan. Ik meld alleen als gegevens vanuit de huidige wetenschap en techniek:

- Dat kerncentrales lucht en water niet vervuilen.
- Dat kerncentrales met name slechts een (uit het oogpunt van volksgezondheid) onbetekenende hoeveelheid radioactieve stoffen in het milieu brengen.
- Dat de hoeveelheid afval weliswaar groot is qua radioactiviteit, maar klein qua volume of gewicht en daardoor goed hanteerbaar.

Ik concludeer daarom: *als er genoeg uranium in de wereld beschikbaar is, kan op den duur kernenergie niet gemist worden voor een energieproductie met lage uitstoot van kooldioxyde.*

Hoeveel uranium is er eigenlijk in vergelijking met de beschikbare brandstoffen van fossiele oorsprong? Daartoe moge het volgende staatje dienen³⁾, dat de aangetoonde wereldvoorraden geeft, voorzover die met de huidige technieken winbaar zijn.

Steenkool:	22,9 miljoen PJ
Aardolie:	4,6 miljoen PJ
Aardgas:	3,6 miljoen PJ
Uranium:	3,8 miljoen PJ

Het ziet er dus naar uit, dat kernenergie slechts een beperkte bijdrage kan leveren. Als energie uit uranium even intensief gebruikt wordt als energie uit olie en gas, kunnen we met uranium niet langer toe dan met die fossiele energiegroestoffen. In de loop van de volgende eeuw raken de voorraden uitgeput. Daarna zijn het toch de kolen die het moeten doen.

We moeten echter wel bedenken dat het uit erts gewonnen uranium voor minder dan 1% bestaat uit het voor kerncentrales benodigde uranium-235. Meer dan 99% is uranium-238, dat door bestraling met neutronen omgezet kan worden in plutonium, een in de natuur niet voorkomende stof, die evenals uranium-235 bruikbaar is als splijstof in kerncentrales. Aangetoond is, dat de gewenste omzetting met zogenoemde 'kweekreactoren' kan gebeuren, al zijn er momenteel een aantal redenen, waarom men met de huidige kweekreactoren nog niet zo tevreden is. Dat verhoogt het energie-equivalent van het in de wereld aanwezige winbare uranium minstens tot boven de 200 miljoen PJ. Ik denk daarom dat in de toekomst zowel de schaarste aan energiegroestoffen als het broeikas-probleem zullen dwingen tot de inschakeling van kweekreactoren bij grootschalige elektriciteitsproductie.

Ik kom nu weer op de vraag of het wellicht niet nu, maar wel in een toekomstige situatie (na het behoorlijk op gang komen van alle drie elementen van energiebesparing) wenselijk is kerncentrales te gaan bouwen. Ik ben daar huiverig van, opnieuw eerder uit politieke dan uit veiligheidstechnische overwegingen. Deze huiver geldt voor het huidige type reactoren, dat in kerncentrales wordt toegepast en ik sluit niet uit dat er andere types zullen komen, waarvoor mijn bezwaren niet gelden. Het gaat mij om het ingewikkelde probleem van eventuele *grootschalige ongelukken* met kerncentrales.

Wat betekent zo'n ongeluk? Met de huidige veiligheidseisen en de voorgeschreven zware, betonnen insluiting mag men verwachten, dat er in de omgeving geen doden vallen, zelfs al treedt er in de centrale een regelrechte ramp op, die wel degelijk dodelijke slachtoffers vergt. Naar mijn mening is dat door de recente 'herbezinningsstudies' op een aanvaardbare manier aannemelijk gemaakt. Wel bestaat er de moge-

lijkheid, dat door verbreiding van de radioactieve rookwolk tezamen met op de bodem terechtkomende radioactieve stoffen een groot aantal mensen aan een stralingsdosis wordt blootgesteld, die hen iets gevoeliger maakt voor de ziekte 'kanker'. Of dat in belangrijke mate het geval is, hangt voornamelijk van het weer af. Als het mooi stabiel weer is met weinig wind en daardoor de radioactieve rook niet naar hogere luchtlagen wordt verdund, is de bestralings situatie het meest ongunstig. Met een zekere wellust wordt er vooral in de media voor die situatie geschermd met grote aantallen 'kankerdoden'. Wat er in werkelijkheid aan de hand is, kan beter en juist op een andere manier beschreven worden. Een aantal mensen is voor kanker iets gevoeliger geworden. Daardoor overlijden zij, meestal op oudere leeftijd evenals bij 'natuurlijke' kanker, aan die gevreesde ziekte in plaats van aan een andere ouderdomsziekte zoals bijvoorbeeld een hartinfarct. De hele situatie is veel te ingewikkeld om met enige betrouwbaarheid voorspellingen te doen, maar onder ongunstige omstandigheden zou het mogelijk zijn, dat gedurende een periode van één mensenleven, dus zo'n 75 jaar, in Nederland 100 à 150 extra sterfgevallen per jaar door kanker zouden optreden naast de spontane sterfgevallen door kanker. Dat laatstgenoemde aantal fluctueert nogal en bedraagt momenteel ongeveer 35.000 per jaar, waarvan bijna 9.000 door longkanker.

Het is niet aan mij om te beoordelen of dat 'erg' is of niet. Ik kan alleen constateren dat (a) de extra sterfte niet constateerbaar zal zijn en (b), dat de extra sterfte vele malen kleiner is dan die tengevolge van andere min of meer geaccepteerde oorzaken, b.v. de thans weer zo royaal via rookadvertenties aan de bevolking opgedrongen sigaretten.

Andere gevolgen van een groot ongeluk met een kerncentrale zijn wel degelijk zichtbaar en maatschappelijk ingrijpend. Om te beginnen koopt niemand in de wereld meer uit Nederland afkomstige produkten van landbouw en veeteelt. De bodem is vervuild met radioactieve stoffen en bij de herbezinningsdiscussie is gebleken, dat niemand weet wat daaraan gedaan zou moeten worden en hoe ver het materiaal door het water in de bodem meegesleept zal worden. Waarschijnlijk zullen er mensen geëvacueerd moeten worden, maar dat kan in ons dicht bevolkte landje niet voor onbeperkte tijd. Als het stralingsniveau is afgenomen zullen de mensen terug moeten keren en zowel zij als anderen, waarvoor evacuatie niet nodig werd geacht, zullen geruime tijd moeten leven in een stralingsveld, dat weliswaar niet bijzonder hoog is, maar wel veel hoger dan de lage limiet, die de overheid thans stelt. Waarschijnlijk zal dat een sociale en psychologische ontreddeering veroorzaken, waardoor allerlei ernstige en minder ernstige kwalen aan de

straling worden toegeschreven. Welke vormen dat kan aannemen zien we momenteel in de omstreken van Tsjernobyl, waar overigens de bevolkingsdichtheid een orde van grootte lager is dan het gemiddelde in Nederland.

Zo'n situatie is naar mijn mening hoogst ongewenst en mag niet smalend afgedaan worden met "*alleen maar psychologische effecten*" of "*domme angst voor straling*". Waarom zou een ongevalssituatie alleen maar onaanvaardbaar zijn als er veel doden vallen en zouden angst en onzekerheid benevens een kleine, doch gevreesde verschuiving naar kanker als doodsoorzaak geen serieuze argumenten zijn?

Alleen als er zekerheid bestond, dat zo'n ongeluk kan worden uitgesloten, zou kernenergie in ons land aanvaardbaar worden, maar met die bewering stuiten we op een nieuw probleem. Volgens sommigen is de *berekende* kans op een groot ongeluk met een kerncentrale zo klein, dat er inderdaad gesproken kan worden van 'uitgesloten'. De berekende kans blijkt echter uiteindelijk te berusten op de overtuiging van deskundigen, dat alle mogelijke combinaties van fouten en storingen, die tot een ongeluk kunnen leiden, opgespoord zijn. Tegelijk constateert het publiek, dat er ongeveer eenmaal in de twintig jaar een ongeluk of een bijna-ongeluk plaats vindt. Daarvan zeggen de technisch deskundigen dan, dat de betreffende reactoren niet veilig genoeg opgezet waren. Objectief gezien hebben zij gelijk, maar men kan het een positief teken van democratische gezindheid achten, dat een bevolking niettemin besluit zich niet te laten leiden door een geloof in de overtuiging van technici.

Daarom concludeer ik tenslotte: *vanwege de mogelijke gevolgen van een ernstig reactorongeluk voor ons zeer dicht bevolkte land met zijn kwetsbare bodem en waterhuishouding kan men in Nederland beter geen kerncentrales meer bouwen.*

Literatuur

1. Keepin and Kats 1988. *Greenhouse Warming, Comparative Analysis of Nuclear and Efficiency Abatement Strategies; Energy Policy*.
2. Jones and White 1990. 'Cost of Nuclear and Conventional Electricity Generation'. In *IAEA-bulletin*, no. 3.
3. 'Energiesysteme heute und Morgen'. In *Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft*.

FOSSIELE BRANDSTOFFEN

De toekomst van fossiele energiebronnen

W.J. Lenstra

Inleiding

Fossiele energiebronnen hebben sinds het begin van de industriële revolutie een doorslaggevende rol gespeeld in onze energievoorziening. Fossiele energie is compact, goedkoop en ruim voorradig in vergelijking met de bronnen die voorheen werden gebruikt (windkracht, dierkracht, turf, watermolens). Ook de spreiding van de vindplaatsen over de wereld is ruim. Vrijwel elk Europees land kon vroeger beschikken over eigen kolenvoorraden tegen kosten die toen relatief laag waren.

De fossiele bronnen hebben ook schaduwzijden. Ze bevatten zwavel, waardoor bij verbranding SO_2 ontstaat. Kolen in het bijzonder bevatten veel onverbrandbare bestanddelen die in de vorm van stof, as en reststoffen een probleem kunnen vormen. Bij verbranding van brandstoffen treedt ook oxydatie op van stikstof die in de verbrandingslucht of brandstof aanwezig is. De NO_x die zo ontstaat levert, net als SO_2 een bijdrage aan de verzuringsproblematiek. Een belangrijk bezwaar van het gebruik van fossiele bronnen is het ontstaan van CO_2 , hetgeen een bijdrage levert aan de klimaatproblematiek.

Los aan deze milieunadelen bestaat het nadeel van de instabiele prijzen. Het verzachten van deze prijsrisico's is tot op heden een belangrijk doel van het energiebeleid geweest.

Ontwikkeling van vroeger tot nu

Het fossiel energiegebruik begon met kolen. Deze brandstof had vrijwel elk industrieland in de eigen bodem. Naarmate de ontwikkeling toenam begon men over de grenzen naar goedkopere bronnen te zoeken. Olie werd steeds belangrijker, met alle bijbehorende transport en raffinage capaciteit. Daarna kwam het aardgas dat een internationaal vertakt netwerk van buisleiding nodig maakte. Gesteld kan worden dat deze ontwikkeling mogelijk was door de steeds toenemende internationale samenwerking (vgl. de Europese Gemeenschap voor kolen en

staal, en het Europese Energie charter). Het is ook geen toeval dat de milieu-effecten die samenhangen met het gebruik van deze brandstoffen minder worden in de reeks kolen - olie - gas. Het gebruik van kolen op de markten waar nu gas wordt ingezet zou milieueffecten hebben zoals die nu zichtbaar worden in Oost-Europa.

De nabije toekomst

Twee elementen gaan de toekomst van de fossiele bronnen in hoge mate beïnvloeden: heffingen en CO₂ verwijdering. Heffingen zullen de prijzen van de fossiele bronnen hoger en stabiel maken, en daarmee een belangrijke bijdrage leveren aan het besparingsbeleid. Het gebruik van fossiele energie zal dientengevolge gaan afnemen. Hiervoor zijn echter wel hoge heffingen nodig, vergelijkbaar met de huidige accijnzen op motorbrandstoffen.

De in te voeren heffingen zullen naar alle waarschijnlijkheid een CO₂ component in de heffingsbasis kennen. Hierdoor zullen koolstofrijke brandstoffen zoals kolen relatief duurder worden ten opzicht van olie en gas. De penetratie van aardgas zal daardoor worden bevorderd. Het heffingenbeleid zal weinig vat hebben op de verkeerssector, vooral omdat de bestaande accijnzen hier al zeer hoog zijn en daardoor de nieuwe heffingen voor relatief beperkte prijsstijgingen zullen zorgen. De positie van olie op de markt voor het autoverkeer zal dan ook niet substantieel worden bedreigd.

Door toepassing van de techniek van CO₂-verwijdering is het mogelijk om de CO₂, die bij het gebruik van fossiele brandstoffen ontstaat, af te vangen en elders, buiten de atmosfeer op te slaan. Aardgasvelden lenen zich uitstekend voor de opslag van zeer grote hoeveelheden CO₂. Toepassing van deze techniek kan de markt voor fossiele brandstoffen substantieel beïnvloeden, althans in de industriële wereld. Het enige probleem bij de techniek is de relatief hoge prijs. Het verwijderen en opslaan van een ton CO₂ zal *f* 30,- tot *f* 60,- gaan kosten. De produktiekosten van 1 Kwh elektriciteit zullen daardoor 3 tot 6 cent stijgen. Op zichzelf is dat een groot bedrag maar in verhouding tot de hoogte van de heffingen die hiervoor zijn besproken is het zelfs weinig. Gesteld kan worden dat bij een heffingenbeleid waarbij de energieprijzen voor de gebruikers met 50 tot 100% worden verhoogt en waarbij de heffing voor 50% wordt gebaseerd op CO₂, het verwijderen van CO₂

rendeert. Hierbij wordt aangenomen dat het CO₂-deel van de heffing in zulke gevallen zal worden vrijgesteld.

De lange termijn

De techniek zal langs deze weg de invloed van de heffingen op de relatieve positie van fossiele brandstoffen op de energiemarkten, verzachten. Volledig schoongemaakte energiedragers zullen uiteindelijk het beeld bepalen, weliswaar voorzien van een heffing op de energie-inhoud om de beoogde maximale efficiëntie te bevorderen.

Per gebruiksmarkt zullen de schone bronnen verschillende kansen hebben. Grootschalige elektriciteitsopwekking leent zich goed voor technieken zoals CO₂-verwijdering. Naast de groeiende bijdrage van duurzame bronnen zoals wind- en zonne-energie, zal schoongemaakte fossiele energie in deze sector nog lang op een rendabele toepassing kunnen rekenen.

In de industrie zal het beeld in eerste instantie worden gedomineerd door maximale inzet van aardgas ten koste van kolen en olie. In sommige processen zal het afvoeren van CO₂ om heffingen uit te sparen aantrekkelijk worden. Ook het gebruik van centraal geproduceerde waterstof, meestal uit fossiele energie gecombineerd met CO₂-verwijdering, kan een bruikbaar alternatief zijn.

Op de warmtemarkt zal het effect van de hogere energieprijzen, vanwege de heffingen, naar verwachting een sterke groei zijn van het gebruik van restwarmte. Restwarmte-producenten zijn te vinden bij de elektriciteitsopwekking en in de industrie. Het overige warmtegebruik zal nog lang worden gedekt door aardgas. Door verschillende mensen is reeds voorgesteld om door het aardgas een bepaalde hoeveelheid waterstof te mengen om de CO₂-emissie per energie-eenheid verder te verlagen.

In de transportsector is het vermijden van de CO₂-emissies moeilijk en duur. Olie zal dan ook nog lang de belangrijkste bron zijn voor deze sector. Op termijn valt te denken aan een toenemende rol voor aardgas, bio-fuels, waterstof en elektriciteit. Een op CO₂ en energie-inhoud gebaseerd heffingenbeleid zal voorlopig weinig greep hebben op de motorbrandstoffen. De accijnzen die hier nu reeds worden geheven verhogen de kostprijs van de motorbrandstoffen al met circa 200%, zodat de marginale uitwerking van een extra energieheffing klein zal blijven.

Milieu stelt grenzen aan het gebruik fossiele brandstoffen

S. Schöne

Het (versterkte) broeikaseffect dwingt ons het gebruik van fossiele brandstoffen sterk te beperken. Om de gevolgen van het broeikaseffect te beperken, mag volgens de huidige inzichten de temperatuurstijging maximaal 0,1 graad per decennium bedragen en maximaal twee graden in totaal (*Nationale milieuverkenning II*, RIVM, 1991). Om deze milieukwaliteitsdoelstellingen te realiseren, moet volgens de huidige inzichten de uitstoot van kooldioxyde vanaf nu wereldwijd met tenminste 1-2% per jaar omlaag (lineair) en in totaal met tenminste 60%. Zeg maar 1,5% per jaar gedurende veertig jaar.

De vermindering van het verbruik van fossiele brandstoffen die nodig is om de uitstoot van kooldioxyde terug te brengen, kan uiteraard niet evenredig over alle landen van de wereld worden verdeeld. De VS, Canada, Europa, de USSR en Japan, die samen een kwart van de wereldbevolking vormen, zijn verantwoordelijk voor driekwart van het gebruik van fossiele brandstoffen. Een gemiddelde Nederlander gebruikt op dit moment meer dan tien keer zoveel energie dan de gemiddelde bewoner van India. De rijke landen zullen verder terug moeten om voor de arme landen nog ontwikkelingsruimte te scheppen. De enige reële benadering is om de noodzakelijke reductie in de uitstoot van kooldioxyde te koppelen aan het streven naar een meer evenredige verdeling per wereldbewoner. Iedere andere benadering die grenzen stelt aan het gebruik van fossiele brandstoffen, zal door de ontwikkelingslanden terecht van de hand worden gewezen. Om wereldwijd de bovengenoemde reductie van 60% in 40 jaar (1,5% per jaar) te kunnen bereiken, moet dan de kooldioxyde-uitstoot in Nederland in die periode met 85% omlaag. Daarvoor is een reductie nodig van 60% tussen nu en 2010 (en nog eens 60% tussen 2010 en 2030).

Vereniging Milieudefensie en de Stichting Natuur en Milieu hebben drie onderzoeksinstellingen gevraagd te berekenen welke maatregelen nodig zijn om de uitstoot van kooldioxyde tussen nu en 2000 met 30% en in

2010 met 60% terug te dringen. Daarbij is allereerst gekeken naar technische mogelijkheden, zoals betere productieprocessen, energiezuinige woningen, auto's en elektrische apparatuur en zuiniger opwekkingsmethoden, met name warmtekracht en wind. Gekozen is daarbij voor technieken die nu op de markt beschikbaar zijn. De gehanteerde percentages voor efficiëntieverbetering in de diverse sectoren zijn inmiddels algemeen aanvaard.

Vervolgens is gekeken naar maatregelen die vanwege andere milieureden toch al nodig waren, zoals minder kunstmest, een trendbreuk in het verkeer, hergebruik van staal, aluminium en kunststof en minder wegwerpvpakkingen.

Het totaalplaatje ziet er als volgt uit:

Effect maatregelen

(1985 = 100%)

	1985	2000	2010
zonder maatregelen	100	120	140
technische maatregelen	100	80	74
+ andere milieumaatr.	100	70	50

Door middel van energiebesparing en een reeks structurele maatregelen kunnen de kooldioxyde-emissies dus met 50% worden teruggebracht. Het restant zal gerealiseerd dienen te worden door beperkingen op te leggen aan de groei van productie en/of consumptie.

Met betrekking tot de productie kan daarbij worden gedacht aan de terugdringing van de verspilling van energie-intensieve materialen als aluminium, staal en kunststoffen. De trend tot materiaalextensivering dient te worden versneld. Interessante aandachtspunten zijn daarbij vermoedelijk de kleinere en lichtere auto en de verschuiving van gangbare bouw naar houtskeletbouw. Een ander zinvol aandachtspunt is de mogelijke verschuiving van de glastuinbouw naar Zuid-Europa.

Bij de consumptie gaat het om een verschuiving naar een minder energie-intensief consumptiepatroon. Daarbij is het van belang niet alleen te kijken naar het directe verbruik van de consument, maar ook naar het indirecte verbruik. Het gaat bijvoorbeeld bij een auto niet alleen om het verbruik van benzine, maar ook om de energie die de productie van de auto kost. Volgens het RIVM bedraagt deze 50-100% van de hoeveelheid energie die tijdens de levensduur zal worden verbruikt.

De vraag is: wat is een energie-extensief consumptiepatroon? Waar zitten, om een vergelijking te trekken met onze voeding, de zakken patat, de taartjes en dergelijke?

Op verzoek van Vereniging Milieudefensie en het ministerie van VROM doen de vakgroep NW&S (RUU) en het IVEM (RUG) onderzoek naar deze vraag. Daarbij is het directe en indirecte energieverbruik van de verschillende onderdelen van het consumptiepakket in kaart gebracht. In eerste instantie is daarbij gestreefd naar een totaaloverzicht. Het resultaat daarvan is als volgt:

wonen	27%
vervoer	22%
eten en drinken	17%
elektrische apparaten	15%
kleren en schoenen	7%
sport en vrije tijd	5%
hygiëne en verzorging	4%
meubelen	2%
overig	1%

Daarnaast is gekeken naar de mogelijkheden voor energiebesparing. De eerste resultaten laten zien dat bijvoorbeeld ook in de voeding de nodige energiebesparing is te realiseren, bijvoorbeeld door vermindering van de vlees- en kaasconsumptie. Daarentegen levert overschakeling van vlees op kaas niets op.

Het onderzoek ondersteunt verder de al langer bestaande opvatting dat er reden is eens serieus aandacht te besteden aan het thema woningverdunning (de tendens dat de mensen steeds ruimer gaan wonen). Deze ontwikkeling is een hoofdoorzaak van het groeiend energieverbruik in de sectoren wonen en elektrische apparaten.

Alles bij elkaar dwingt het broeikas-effect tot een ingrijpend pakket aan maatregelen, die diep zullen ingrijpen in de maatschappelijke ordening: het zal gaan om productieprocessen, producten, wonen, vervoer (het spoorwegennet moet worden verdubbeld). Maar het eindresultaat is in feite niet een totaal andere samenleving. Het is vooral een veel doelmatiger samenleving.

Beleid

Het doel van het huidige beleid van de Nederlandse overheid is een kooldioxydereductie van 3-5% in 2000. Dit als onderdeel van een EG-beleid dat is gericht op een stabilisering van de emissies in 2000. Belangrijke nieuwe elementen in het energiebesparingsbeleid zijn de activiteiten van de energiedistributiebedrijven en een geplande EG-heffing van \$ 10 per vat olie.

Minister Alders stelt in zijn *Klimaatnota* dat het huidige beleid voldoende is om de in de inleiding genoemde milieukwaliteitsdoelstellingen te realiseren. Alders rekent zich daarbij echter om de vier volgende redenen rijk:

- Ten eerste zijn de huidige maatregelen onvoldoende om de genoemde doelstelling te halen. Dat heeft enerzijds te maken met de lage energieprijzen, die een sterkere groei van de energie-intensieve sectoren tot gevolg heeft en anderzijds met het traag op gang komen van het beleid.
- Ten tweede hanteert Alders een reductiemodel, waarbij de emissies tot 2000 wereldwijd worden gestabiliseerd en daarna met 2% per jaar dalen. In feite wordt dus het moeilijkste deel van het beleid naar de toekomst doorgeschoven.
- Ten derde negeert Alders de verdelingsproblematiek. Het is echt flauwekul om te verwachten dat derde wereldlanden hun emissies op dezelfde manier terugdringen als de rijke landen.
- Laatste punt is dat het door Alders gehanteerde reductiemodel volgens de recente *Nationale Milieuverkenningen II* van het RIVM onvoldoende is om de temperatuurstijging onder de 0,1 graad per decennium te houden.

De belangrijkste beleidsmaatregelen die nodig zijn bovenop het huidige pakket zijn forse regulerende heffingen die de huidige eindverbruikersprijzen met 50-100% verhogen, strenge regelgeving voor het energieverbruik van woningen en apparaten en auto's, en een energiebepaling in de milieuwetgeving voor bedrijven. Maar niet alleen van de overheid is een enorme inspanning en veel creativiteit nodig, hetzelfde geldt voor maatschappelijke organisaties en individuele consumenten. In feite liggen daar nog veel grotere problemen. De landelijke overheid doet weliswaar te weinig, maar het beleid loopt nog wel voor op de ontwikkelingen in de samenleving.

DUURZAME ENERGIEBRONNEN

Wat verwachten we van duurzame energie

A.J.M. van Wijk

Inleiding

Economische groei, welvaartsontwikkeling en de toename van de wereldbevolking vereisen een steeds grotere hoeveelheid aan energiediensten. Aan deze groeiende vraag zou op een duurzame manier moeten worden voldaan. Maar de huidige vorm van energieproductie en gebruik voldoet niet aan de criteria voor duurzame ontwikkeling. Er zijn duidelijke andere energiestrategieën nodig om tot een duurzame ontwikkeling van de energievoorziening te kunnen komen. Het verbeteren van de energie-efficiëntie, energiebesparing en het vergroten van het aandeel duurzame energiebronnen zijn de twee belangrijkste elementen in zo'n nieuwe strategie. Op de korte termijn zal vooral het verbeteren van de energie-efficiëntie centraal moeten staan en op de langere termijn zullen duurzame energiebronnen een belangrijke rol in de energievoorziening moeten gaan spelen. Maar wat kunnen we eigenlijk verwachten van duurzame energiebronnen, dat is de vraag die centraal staat.

Duurzame energiebronnen zijn er in vele vormen; zon, wind, water, biomassa, getijde. Daarnaast bestaat er een divers scala aan technieken waarmee deze bronnen in nuttige energie kunnen worden omgezet. De duurzame bronnen hebben gemeen dat de bron in principe onuitputtelijk is en dat ze netto geen verhoging van CO₂ in de atmosfeer ten gevolge hebben. Daarnaast hebben de meeste van deze duurzame energiebronnen gemeen dat ze als primaire energiebron de zon gebruiken. Duidelijk is dit natuurlijk voor het direct benutten van zonlicht zoals gebeurt door zonnecellen, zonneboilers of het passief benutten van zonne-energie door het slim ontwerpen van huizen en gebouwen. Maar ook windenergie, biomassa, waterkracht, golfenergie en energie uit temperatuurverschillen in de oceaan zijn eigenlijk een indirecte vorm van zonne-energie. Er zijn maar een paar vormen van duurzame energie die niet direct of indirect te maken hebben met zonne-energie. Dit zijn getijde-energie (aantrekkingskracht van aarde, maan en zon) en geothermische energie (warmte door verval van radioactieve isotopen in de aardkorst).

1989 Wereld	Verbruik (EJ)*	Verbruik (%)
Olie	130	34
Gas	73	19
Kolen	94	25
Uraan	19	5
Water	22	6
Biomassa	42	11
Totaal	380	100

* 1 EJ=10¹⁸ J

Tabel 1

Het mondiale energieverbruik in 1989.

1989 Wereld	Verbruik (PJ)*	Verbruik (%)
Olie	953	35
Gas	1307	50
Kolen	344	13
Uraan	43	2
Totaal	2688	100

* 1 PJ=10¹⁵ J

Tabel 2

Energiegebruik in Nederland.

Om na te gaan welke rol deze verschillende vormen van duurzame energie kunnen spelen, zullen we achtereenvolgens kijken naar de rol die duurzame energie heeft in de huidige energievoorziening, wat het potentieel is van duurzame energiebronnen, wat de status van de verschillende bronnen en technieken is, welke moeilijkheden er zijn bij de invoering van deze duurzame energiebronnen en technieken en wat we kunnen verwachten als mogelijke bijdrage in het jaar 2020.

Het huidige aandeel van duurzame energiebronnen

In 1989 bedroeg de mondiale energieconsumptie ongeveer 380 EJ (1 EJ = 10^{18} J). De belangrijkste bronnen waarmee in deze energiebehoefte wordt voorzien zijn olie (34%), kolen (25%) en gas (19%). Toch spelen duurzame bronnen in 1989 een niet onaanzienlijke rol. Ongeveer 17% van de mondiale energieconsumptie wordt gedekt door biomassa en waterkracht. *Tabel 1* geeft een overzicht van het mondiale energieverbruik.

Voor Nederland is deze situatie aanzienlijk anders. Nederland maakt geen gebruik van duurzame energiebronnen. De belangrijkste bronnen in Nederland zijn olie (35%), gas (49%) en kolen (13%). In tegenstelling tot het mondiale verbruik, gebruiken we aanzienlijk meer gas en minder kolen. *Tabel 2* geeft een overzicht van het Nederlandse energieverbruik.

Zoals blijkt speelt duurzame energie op wereldschaal nu al een belangrijke rol. De belangrijke bronnen daarbij zijn biomassa en waterkracht. Dit zou je de traditionele vormen van duurzame energie kunnen noemen. De nieuwere vormen van duurzame energie zoals zonne-, wind-, geothermische en oceaanenergie spelen slechts een zeer bescheiden rol. Deze bronnen worden nu nog niet of nauwelijks benut. In *tabel 3* is een overzicht gegeven van de energieproductie door deze 'nieuwe' bronnen in 1990. Duidelijk is dat de bijdrage van deze bronnen nu nog zeer marginaal is.

Het potentieel aan duurzame bronnen

Het potentieel aan duurzame bronnen is groot. Om aan te geven hoe veel energie de aarde jaarlijks ontvangt van de zon, een klein staatje van energiestromen afkomstig van de zon.

	Bijdrage in PJ	Bijdrage in %
Zonne-energie		0.01
- Warmte	30	
- Elektriciteit via warmte	5	
- Elektriciteit zonnecel	2	
Windenergie	30	0.01
Geothermische energie	500	0.1
Oceaanenergie (getijde)	5	0.001

Tabel 3

De bijdrage van de 'nieuwe' duurzame energiebronnen in de mondiale energieproductie van 1990.

Zonnestraling die door de aarde wordt ingevangen	5.450.000 EJ/jaar
Zonnestraling die door de aarde wordt gereflecteerd	1.640.000 EJ/jaar
Zonne-energie die betrokken is bij directe verwarming	2.550.000 EJ/jaar
Zonne-energie gebruikt voor verdamping	1.260.000 EJ/jaar
Zonne-energie gebruikt in fotosynthese	3.150 EJ/jaar
Mondiaal energieverbruik	380 EJ/jaar

Hieruit blijkt wel dat de energiestromen van de zon immens zijn. Zelfs voor een land als Nederland is het in theorie mogelijk om de totale energiebehoefte te dekken door zonne-energie. De gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid zonne-energie op Nederland bedraagt 113 EJ. Het energieverbruik van Nederland is zo'n 3 EJ, zie tabel 2. Indien er zonnecelssystemen zijn die met een 20% rendement zonlicht in nuttige energie om kunnen zetten zou ongeveer 12% van het Nederlandse landoppervlak nodig zijn om het Nederlandse energieverbruik te kunnen dekken. Dit lijkt veel, maar ter vergelijking: het landoppervlak in gebruik door gebouwen bedraagt zo'n 8.5% en het dakoppervlak zou toch als eerste benut moeten worden.

Bij de realisatie van duurzame energie gaat het er niet alleen om dat het potentieel groot is, duurzame energietoepassingen zullen ook op een sociaal, economische en maatschappelijk verantwoorde wijze moeten worden gerealiseerd. In diverse potentieelstudies kom je dan ook verschillende getallen tegen, omdat daarin in meer of mindere mate inperkingen zijn aangebracht. Globaal vallen de volgende aspecten te onderscheiden, waarbij het potentieel steeds verder wordt ingeperkt.

1. Potentieel van de bron. Dit is het potentieel zoals dat bijvoorbeeld in het staatje hierboven is gegeven. Er zijn geen beperkingen aangebracht en er wordt alleen gekeken naar de energie-inhoud van de bron.
2. Beschikbare lokaties. Een eerste inperking wordt gemaakt naar lokaties die in principe beschikbaar zijn. Het is bijvoorbeeld weinig realistisch om midden op de oceaan grote windturbineparken of zonnecentrales te bouwen.
3. Beschikbare technieken. Een inperking kan worden gemaakt door niet alleen te kijken naar de energieinhoud maar ook rekening te houden met het rendement waarmee dit omgezet kan worden in nuttige energie. Het rendement van een zonnecelstelsel is bijvoorbeeld tussen de 5% en 20%. Van een windturbinepark is dit tussen de 20% en 30%, enz.

Bron/techniek	Potentieel (EJ/jaar)
Zonnecellen (centraal)	600
Zonnecellen (decentraal)	30
Actieve zonne-energie (warmte)	20
Passieve zonne-energie	50
Biomassa	150
Waterkracht	50
Wind	70
Golven	5
Geothermisch	20
Getijde	5
Totaal	1000

Tabel 4

Het realiseerbare potentieel van duurzame bronnen (IIASA 1981/RUU 1990).

4. Economische afweging. Door een vergelijking te maken tussen de kostprijs van energie uit duurzame bronnen of uit fossiele bronnen kan een verdere inperking worden gegeven van het potentieel.
5. Implementatie beperkingen. Diverse andere factoren kunnen de implementatie van duurzame bronnen beïnvloeden, bijvoorbeeld beschikbaar kapitaal, beschikbare productiecapaciteit, inpassing in de bestaande infrastructuur, competitie om de ruimte, milieu-overwegingen, etc.

Gezien de diverse inperkingen die er gemaakt kunnen worden bij potentieelstudies is het niet verwonderlijk dat schattingen uiteen kunnen lopen van bijna 0 tot zeer veel. De laatste twee beperkingen, economisch en implementatie zijn sterk tijdgebonden. Indien we deze twee beperkingen niet in beschouwing nemen, kunnen we zoets als een realiseerbaar potentieel van duurzame bronnen bepalen. *Tabel 4* geeft daarvan een overzicht. Zoals uit deze tabel blijkt is dit potentieel een factor 2,5 groter dan het huidige mondiale energieverbruik. In de verre toekomst moet het dus mogelijk zijn onze energiebehoefte geheel te dekken via het gebruik van duurzame energiebronnen. Maar zover is het nog niet.

De status van duurzame bronnen

Om enig inzicht te krijgen in wat we de komende jaren van duurzame energie kunnen verwachten is het nuttig om de huidige status van de diverse mogelijkheden te kennen. Getracht wordt om exemplarisch een overzicht te geven van het belang, de technische status en de verschillende toepassingsmogelijkheden van de verschillende bronnen.

Biomassa

Zoals al uit het overzicht van de mondiale energieconsumptie blijkt, speelt biomassa nog steeds een belangrijke rol in de energievoorziening van met name ontwikkelingslanden. Voor diverse ontwikkelingslanden is biomassa verreweg de belangrijkste energiebron. Bijvoorbeeld landen als Nepal en Malawi voorzien in 95% van hun energiebehoefte met biomassa. In India is dit percentage 50%, China 33%, Brazilië 25%, Egypte 20%, Finland 15% en de Verenigde Staten 4%. In de ontwikkelingslanden gaat het daarbij vooral om het gebruik van brandstofhout en houtskool. Zo zijn er in China ongeveer 120 miljoen houtkachels in gebruik. In Brazilië wordt jaarlijks 7 miljoen ton houtskool gebruikt voor de ijzer- en staalproductie. Toch kent het gebruik van deze bron grote problemen. Ontbossing,

bossing, woestijnvorming en urbanisatie nemen nog steeds toe. Daardoor ontstaat een gebrek aan brandstofhout en bovendien is het duidelijk dat het gebruik van deze vormen van biomassa niet duurzaam genoemd kan worden. Er zal veel meer aandacht geschonken moeten worden aan herbebossing, het inzamelen en opslaan van brandstofhout en het veranderen van leefgewoonten wil dit werkelijk een verantwoorde duurzame bron voor de toekomst kunnen worden. In sommige gevallen moet zelfs overwogen worden om op een andere bron over te gaan.

Een nieuwere vorm van het gebruik van biomassa is de winning van energie uit energiegewassen en afval. Een groot scala aan technieken bestaat om hieruit energie te winnen. In de Verenigde Staten staat zo'n 9000 MW aan vermogen waarbij door directe verbranding van agrarische residuen elektriciteit wordt geproduceerd. Er zijn diverse bio-ethanolprogramma's. Bijvoorbeeld in Brazilië wordt 12 miljard liter per jaar geproduceerd uit suikerriet, dit is 62% van de brandstof die benodigd is voor auto's. In de Verenigde Staten wordt 3,2 miljard liter geproduceerd vooral uit maïs. Ook biogaswinning uit afval staat in de belangstelling. In India zijn 940.000 mestvergassers geïnstalleerd en het plan is om er 12 miljoen rond 2000 te installeren. Biogaswinning bij stortplaatsen en waterzuiveringsinstallaties vindt ook plaats in ondermeer Nederland.

Aan het gebruik van energiegewassen en afval kleven ook bezwaren. Het verbouwen van energiegewassen is in competitie met landgebruik voor voedselproductie. Alleen in speciale gevallen, wanneer overtollig agrarisch land beschikbaar is, hetgeen het geval is in verschillende geïndustrialiseerde landen, kan het verbouwen van energiegewassen zinvol zijn. Het gebruik van afval voor energieproductie is in het algemeen positief te noemen omdat het potentiële vervuilingproblemen kan oplossen. Er moet wel gelet worden op een zo milieuvriendelijk mogelijke vorm van omzetting.

Waterkracht

Grootschalige waterkracht is in alle regio's van de wereld gerealiseerd. Het voorziet in ongeveer 15% van de mondiale elektriciteitsvraag. Het is de grootste duurzame energiebron in de meeste geïndustrialiseerde landen. De techniek is goed ontwikkeld en de kWh-kosten zijn veelal laag. Voor ontwikkelingslanden gaat een aanzienlijk deel van de fondsen die bestemd zijn voor energie-investeringen naar de ontwikkeling van grootschalige waterkracht. Toch zijn er veelal grote milieu-, planologische en risico-problemen verbonden aan het realiseren van grootschalige waterkrachtprojecten. Voor het realiseren van nieuwe projecten vereisen deze

problemen een zorgvuldige bestudering. Het aantal geschikte lokaties voor de realisatie van grootschalige waterkracht is beperkt en zijn vooral te vinden in de ontwikkelingslanden en Rusland.

Kleinschalige waterkracht kent minder problemen. De ontwikkeling en realisatie daarvan gaat echter niet zo snel. Ook technische ontwikkelingen zullen nodig zijn om hierin enige verandering te brengen. In Nederland is het potentieel aan waterkracht gering, zo'n 50-100 MW. In 1991 was daarvan ongeveer 35 MW gerealiseerd.

Zonne-energie

De bijdrage van zonne-energie aan de mondiale energievoorziening is slechts zeer gering, maar het is een van de duurzame energiebronnen die veelbelovend is. Er zijn twee hoofdvormen te onderscheiden, het opwekken van warmte en het opwekken van elektriciteit.

Voor het opwekken van warmte is een scala aan technieken en toepassingen aanwezig of in ontwikkeling. De meest directe vorm is passieve zonneverwarming of koeling. Door beter ontwerp van woningen en gebouwen en door gebruik van nieuwe materialen kan het energiegebruik voor ruimteverwarming aanzienlijk omlaag worden gebracht. De extra investeringen kunnen zich in een aantal jaren terugverdienen. Vooral het aspect van marktpenetratie verdient voor deze techniek nadere aandacht. Zonneboilers voor warm tapwaterproductie zijn de laatste jaren sterk verbeterd. Toepassing is vooral van belang in huishoudens, toeristenaccommodaties, sporthallen, zwembaden, etc., vooral in geïndustrialiseerde landen. Een verbetering van de prijs-prestatie-verhouding is noodzakelijk voor introductie op grote schaal. Zonnedrogers, ondermeer voor het drogen van agrarische produkten, hebben zowel een toepassingsgebied in ontwikkelingslanden als in geïndustrialiseerde landen. Zonnekokers worden voornamelijk in ontwikkelingslanden gebruikt ter vervanging van houtkachels. Door allerlei problemen, waarvan een belangrijke is het niet rekening houden met lokale gebruiken, is de introductie tot nu toe niet voorspoedig verlopen. Toch is hiervoor hernieuwde belangstelling bijvoorbeeld in India. Hoge-temperatuurwarmte opwekken met zonne-energie is experimenteel en gebeurt veelal via systemen die de zonnestraling concentreren of door het gebruik van speciale materialen. Deze hoge-temperatuurwarmte kan gebruikt worden voor industriële proceswarmte, koeling via absorptiekoelers, ontzilting, productie van synthetische brandstoffen of voor elektriciteitsproductie. Solar ponds zijn systemen die het zeewater plaatselijk verwarmen, de temperatuurverschillen worden daarna gebruikt voor het opwekken van elektriciteit. Een aantal

Technologie	Opgesteld	Kosten (c/kWh)	Status
Lage temp. warmte			
- Passief	--		Markt
- Zonneboilers	> 20 10 ⁶ m ²	1-5	Markt/Steun
- Zonnedrogers	--	25	Steun
- Zonnekooktoestellen	25.000 stuks		Steun
- Solar Pond	5 MW		R.&D
Hoge temp. warmte			
- Lineair Parabolisch	100 MW	15-20	R.&D
- Cirkelvormig	10 MW	15-25	R.&D
- Sterling motor	1 MW	30	R.&D
Elektriciteit			
- Mono-Kristallijn Si	> 100 MW	30-50	Marktsegmenten
- Poly-kristallijn Si	> 50 MW	30-50	idem
- Dünnelaagcellen	> 30 MW	25-50	idem
- Meerlaagcellen	> 1 MW	25-50	R.&D
- Concentratie Fresnel	> 0.5 MW	40-50	R.&D

Tabel 5

Diverse vormen van het direct benutten van zonne-energie, het opgestelde mondiale vermogen, de kostprijs en de status van de technologie.

van deze systemen bestaat, de grootste van 5 MW is operationeel in Israël in de Dode Zee.

Zonnecellen- (*Photo-Voltaiische* of PV-) systemen zetten direct zonlicht om in elektriciteit. Op dit moment is de kostprijs van elektriciteit geproduceerd met zonnecellen nog vele malen hoger dan de prijs van elektriciteit uit het net. Toch zijn er in bepaalde marktsegmenten op dit moment al toepassingen voor zonnecellen die rendabel genoemd kunnen worden, zoals zonnecellen voor consumentenartikelen, toepassing in telecommunicatie, zonnecellen voor autonome systemen zoals boeien en schepen. De verkopen van zonnecellen zijn daardoor de laatste jaren sterk gestegen, ongeveer een verdubbeling van de omzet elke vier tot vijf jaar. In 1990 is ongeveer 45 MW aan zonnecellen verkocht. De verwachting is dat de kostprijs van zonnecellen en zonnecelsystemen de komende jaren verder zal dalen, zodat de toepassingsgebieden en de markt voor PV de komende jaren sterk zullen groeien. Speciaal de toepassing voor autonome systemen in ontwikkelingslanden lijkt veelbelovend. Over een aantal jaren kan de introductie van netgekoppelde zonnecelsystemen starten, speciaal in gebieden waar een hoge instraling is en een goede afstemming bestaat tussen elektriciteitsvraag en instraling waardoor netverzwarkosten kunnen worden uitgespaard. Dit is bijvoorbeeld het geval in Californië.

Er zijn diverse typen zonnecellen waarvan mono-kristallijn silicium, poly-kristallijn silicium en amorf silicium het meest zijn toegepast, zie *tabel 5*. De amorf-silicium-cel is een zogenaamde dunnelaagcel. Zo'n cel heeft weliswaar een lager rendement dan de andere twee celtypen (5% in plaats van 12%), maar doordat veel minder materiaal hoeft te worden gebruikt is de verwachting dat de kostprijs van dunnelaagcellen uiteindelijk aantrekkelijker zal zijn. Daarnaast is de ontwikkeling van meerlaagcellen een veelbelovende optie. Elke laag van zo'n meerlaagcel benut een ander deel van het spectrum van het ingestraalde zonlicht, daardoor kan een hoger overall rendement worden bereikt.

Windenergie

De ontwikkeling van de moderne netgekoppelde windturbine-technologie is gestart na de oliecrises. Deze technologie heeft zich de laatste decade sterk ontwikkeld en is nu, in gebieden met een goed windregime, de goedkoopste 'nieuwe' duurzame energiebron. De huidige kostprijs voor elektriciteitsproductie met windturbines ligt tussen de 10 en 20 ct/kWh. Wereldwijd is ongeveer 2000 MW aan windvermogen geplaatst dat zo'n 3500 GWh per jaar produceert, zie *tabel 6*. Het grootste deel hiervan is geplaatst in Californië waar door een gunstige belastingmaatregel in het

	Geïnstalleerd vermogen (MW) in 1990	Geproduceerde elektriciteit (GWh) in 1990
U.S.A.	1.500	2.520
Denemarken	343	604
Nederland	47	44
Duitsland	25	26
Rest van Europa	20	n.a.
India	35	n.a.
China	10	n.a.
Rest van de Wereld	15	n.a.
Totaal	ongeveer 2.000	ongeveer 3.500

Tabel 6

Het geschatte geïnstalleerde vermogen en de elektriciteits-
productie voor netgekoppelde windturbines in 1990.

begin van de jaren '80 is begonnen met de plaatsing van windturbines. De gemiddelde grootte van windturbines is de laatste jaren ook sterk toegenomen, van 50 kW wind turbines tot zo'n 300 kW. Grote windturbines > 1000 kW zijn echter nog steeds in een experimenteel stadium. Toch is nog niet echt sprake van een volwassen technologie. Verbeteringen en kostprijzreducties zijn zeker nog mogelijk, door bijvoorbeeld toepassen van geavanceerde bladen, variabel toerental, verbeterde elektronische regeling, verbeterde plaatsing en betere bewaking. Wereldwijd, maar toch voornamelijk geconcentreerd in de geïndustrialiseerde landen, China en India, wordt de toepassing van windenergie gestimuleerd.

Naast netgekoppelde windturbines is de toepassing van kleine windturbines voor het oppompen van water en het laden van batterijen al decennia lang in gebruik. Meer dan een miljoen waterpompende windturbines zijn in gebruik, voornamelijk in China, Argentinië en Zuid-Afrika. Vooral de ontwikkeling van nieuwe concepten voor waterpompende windturbines is veelbelovend. Zelfs in windregimes met een gemiddelde windsnelheid van 3,5 m/s is deze optie al vaak economisch rendabel. Een verdere introductie van deze kleine windturbines wordt verwacht in de ontwikkelingslanden. *Tabel 7* geeft een overzicht van de status, de kostprijs en het aantal geplaatste windturbines mondiaal van alle typen windturbines.

Geothermische energie

Geothermische energie kan onderscheiden worden in een paar vormen. De belangrijkste bron op dit moment is hydrothermische energie. Heet water en/of stoom in poreus gesteente op diepten van 100 tot 4500 meter wordt opgepompt en gebruikt. Water van zo'n 30-150 °C wordt meestal direct gebruikt voor verwarming van gebouwen. Water/stoom met een temperatuur hoger dan 150 °C wordt meestal gebruikt voor elektriciteitsproductie. Daarnaast zijn er een paar plaatsen (in de Golf van Mexico grote reserves), waar water met opgelost methaan onder hoge druk in aquifers zit. Er wordt niet direct aan het benutten van deze voorraden gewerkt. Belangrijker als potentiële nieuwe bron zijn de geologische formaties die een hoge temperatuur hebben, maar geen water bevatten (hete droge rots). Het benutten van deze bron lijkt veelbelovend en er wordt relatief veel onderzoek verricht naar de mogelijkheden van benutting. Het oppompen van warm water is momenteel het meest toegepast. In de laatste decade is het opgestelde vermogen voor elektriciteitsopwekking toegenomen van 2000 MW tot ongeveer 5800 MW, zie *tabel 8*. De toepassing voor directe verwarming van gebouwen is echter het grootst, zie *tabel 8*. Bijvoorbeeld in IJsland is 80% van de huizen aangesloten op geo-

	Rotor grootte (diameter)	Aantal geïnstalleerde turbines	Aantal fabrikanten	Investeringskosten (\$ ₁₉₈₈)	kWh kosten (\$ ₁₉₈₈ /kWh)	Technologische fase
Batterij laders	< 5 m	> 100,000	50	200-500 zonder mast	-?	Commercieel verkrijgbaar
Water pompen	< 8 m veelbladig < 8 m	> 1,000- ,000 > 10 000	50 (Lokale productie)	400 per m ² klassiek type 200 per m ² modern type	1-3 per kWh _n * 0.25-0.75 per kWh _n *	Klassiek type commercieel verkrijgbaar, modern type commercieel verkrijgbaar en verdere ontwikkeling
0-100 kW	< 20 m	> 10,000	50	600-1000 per kW	0.05-0.10	Commercieel verkrijgbaar
100-300 kW	20-30 m	> 2,000	20	800-1200 per kW	0.05-0.10	Commercieel verkrijgbaar
300-750 kW	30-40 m	> 100	20	1000-1500 per kW	0.05-0.10	Klaar voor massaproductie
> 750 kW	> 40 m	24	10 (niet commercieel)	Commercieel niet verkrijgbaar	-	Aleen prototypen beschikbaar

* 1 kWh_n is de hoeveelheid energie benodigd om 367/z m³ over een hoogte van z meter op te pompen.

Tabel 7

Overzicht van de status van diverse typen windturbines.

Land	Opgesteld elektrisch vermogen MWe	Opgesteld thermisch vermogen MWt	Totale opbrengst PJ
U.S.	2212	1775	157
Japan	215	4764	83
Philippijnen	894	0	53
Italië	548	631	42
Mexico	700	8	41
Nieuw Zeeland	167	176	14
Rest	400	6643	41
Totaal	5136	14000	531

Tabel 8

Opgesteld geothermisch vermogen wereldwijd, zowel voor de opwekking van elektriciteit als voor de productie van warmte, en de totale energieproductie.

Moeilijkheid	Omschrijving
Technisch	Vele duurzame energieconversietechnieken zijn nog in ontwikkeling of aan het begin van marktintroductie. Er is nog veel onderzoek en ontwikkeling nodig.
Economisch	Duurzame technieken zijn veelal nog te duur. Externe kosten (bv. milieukosten) moeten doorberekend worden in de energieprijzen.
Financieel	Duurzame technieken hebben veelal alleen investeringskosten en geen 'brandstofkosten'. Dit doet een enorme aanslag op de kapitaalinzet.
Technologie-overdracht	Veel potentieel voor duurzame energie is aanwezig in ontwikkelingslanden. Realisatie is alleen mogelijk als ze beschikken over de technologie en de kennis.
Opleiding en training	Voor het realiseren van een groot aandeel duurzaam zijn mensen nodig met relevante kennis. Nu is er een te smalle basis.
Inpassing	Duurzame bronnen hebben veelal een lage energiedichtheid en een fluctuerende productie (omdat het aanbod fluctueert). Veel aandacht is nodig voor implementatie en voor inpassing in de bestaande systemen en infrastructuur.

Tabel 9

Enkele moeilijkheden die optreden bij de grootschalige introductie van duurzame energie.

thermische stadsverwarming en in Hongarije wordt geothermische energie gebruikt voor het verwarmen van kassen (2 miljoen m²). De kostprijs voor elektriciteitsopwekking met geothermische energie varieert van ongeveer 6-20 ct/kWh. Alhoewel de techniek voor het benutten van geothermische energie volwassen genoemd kan worden zijn er echter nog belangrijke technische verbeteringen mogelijk. De belangrijkste terreinen van verbeteringen zijn: het zo economisch mogelijk regelen van de belasting in situaties waarin zowel stoom als water kan domineren; het bouwen van simpele enkele en dubbele 'flash'-systemen; het ontwikkelen van nieuwe technieken voor het boren van diepe gaten en het ontwikkelen van goedkope opsporingstechnieken.

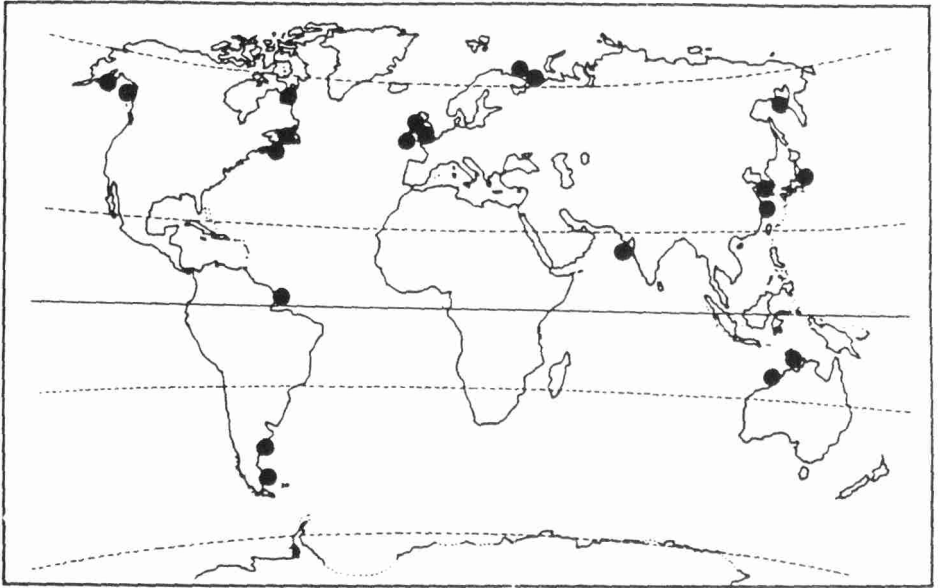
Oceaan energie

Verschillende vormen van energie in de oceanen aanwezig zijn in principe te benutten, zoals getijde-energie, golfenergie en de energie ten gevolge van temperatuurverschillen. De potentiëlen van deze bronnen zijn zeer lokatie specifiek, zie *figuur 1*. De benutting van getijde-energie wordt op diverse lokaties overwogen. De technologie is ongeveer hetzelfde als bij waterkracht. Bij grote getijdeverschillen (> 8 meter) ligt de kostprijs tussen de 14-20 ct/kWh. In Frankrijk is de grootste getijdecentrale gerealiseerd van 240 MW. Enkele kleinere centrales zijn operationeel in ondermeer Rusland en China. Golfenergie wordt nog niet benut, de technologie is nog niet rijp. Enkele tests vinden plaats in ondermeer Noorwegen en Ierland. Temperatuurverschillen in de oceaan kunnen benut worden voor het opwekken van elektriciteit via een gesloten cyclus waarin bijvoorbeeld freon wordt gebruikt. De technologie is nog in ontwikkeling.

De moeilijkheden bij grootschalige introductie

Alhoewel duurzame energie het potentieel heeft om een belangrijke bijdrage aan de mondiale energievoorziening te kunnen leveren zijn er toch diverse redenen waarom de toepassing van duurzame energie de komende jaren nog steeds beperkt zal blijven. Een aantal belangrijke redenen worden in *tabel 9* omschreven. Zoals blijkt zijn niet alleen technische moeilijkheden een beperkende voorwaarde voor de grootschalige introductie van duurzame energie.

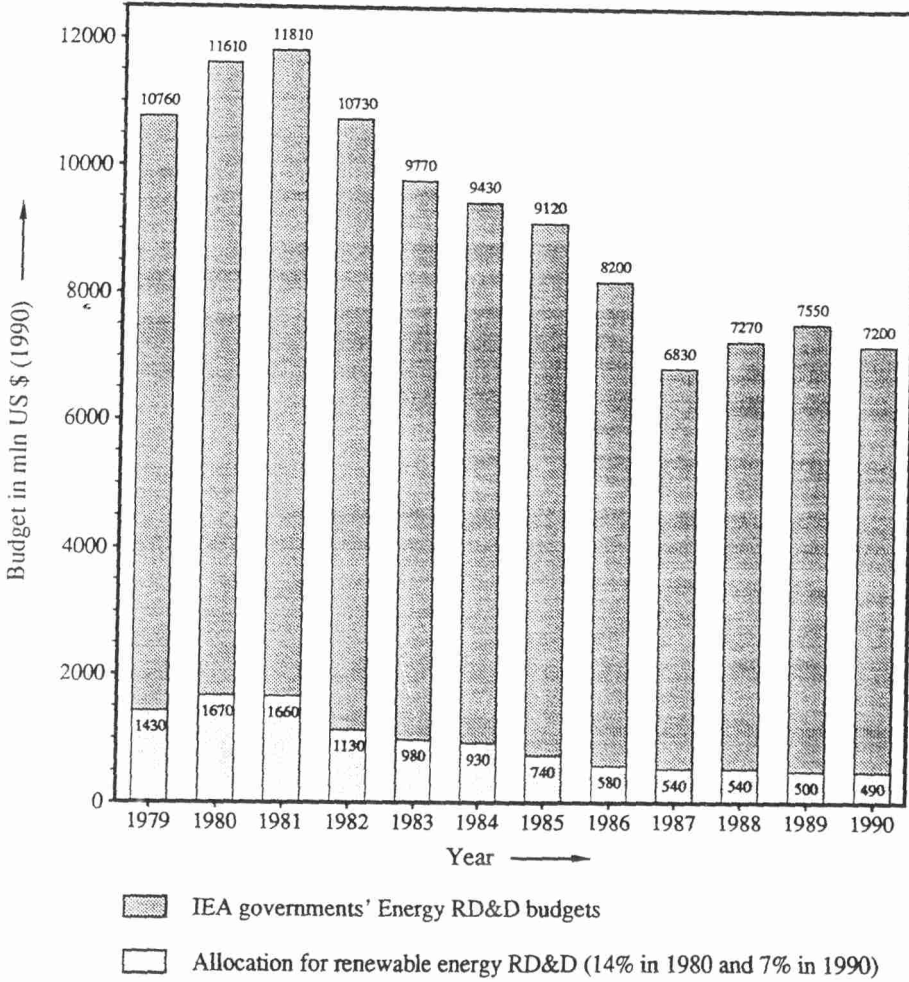
Een van de belangrijke aandachtsgebieden blijft echter de technisch-economische ontwikkeling van de diverse duurzame energieconversietechnieken. De betrouwbaarheid, levensduur, efficiency en kostprijs van



Figuur 1

In principe geschikte lokaties voor het neerzetten van getijdecentrales.

Energy RD&D budgets of IEA governments



Figuur 2

De R&D-budgetten voor energie en voor duurzame energie voor de jaren 1979-1990 in de landen van de IEA (*International Energy Agency*).

Jaar 2020	Bijdrage in EJ
Biomassa	70-130
Waterkracht	30-50
Zonne-energie	8-22
Windenergie	4-8
Geothermisch	2-3
Oceaan	1-3
Totaal	115-216

Tabel 10

De verwachte bijdrage van duurzame energie in het jaar 2020.

de diverse duurzame conversietechnieken dienen nog verder verbeterd te worden. Het is dan ook merkwaardig dat juist de uitgaven voor R&D (*Research & Development*) aan duurzame energie in de meeste landen in de jaren 80 zijn gedaald. In de IEA- (*International Energy Agency*) landen (de geïndustrialiseerde landen) is het gezamenlijke R&D-budget voor duurzame bronnen in de periode 1980-1987 met zo'n 70% gedaald, zie *figuur 2*. In 1990 werd 7% van het energie-R&D-budget besteed aan duurzame energie. Eveneens ongeveer 7% werd besteed aan R&D op het gebied van verbetering van de energie-efficiency. Versterking van de R&D-inspanning op het gebied van duurzame energie is beslist noodzakelijk wil grootschalige introductie van duurzame energie binnen afzienbare tijd van de grond kunnen komen.

Wat zijn de verwachtingen tot het jaar 2020

De bijdrage van duurzame energie aan de mondiale energievoorziening voor de komende tientallen jaren wordt door diverse instanties ingeschat op basis van veronderstellingen omtrent de te verwachten technologische, economische, milieu-, sociale en maatschappelijke ontwikkelingen. Door de Verenigde Naties wordt de *Earth Summit* conferentie voorbereid. Op deze conferentie, die deze zomer wordt gehouden zouden een aantal belangrijke internationale afspraken over het milieu moeten worden gemaakt. In dit kader worden ook een aantal prognoses voor de bijdrage van duurzame energie in het jaar 2020 gemaakt. Daarnaast ontwikkelt de *World Energy Council* (WEC) een wereld-energie-scenario, waarin ook de bijdrage van duurzame energiebronnen wordt geschat. Op basis van deze studies is door mij een inschatting gemaakt van de bijdrage die duurzame energie in het jaar 2020 zou kunnen leveren, zie *tabel 10*. Zoals blijkt uit deze tabel, in vergelijking met de getallen in tabel 1, is de verwachting dat de bijdrage van duurzame energie tot het jaar 2020 op zijn minst verdubbelt en mogelijk 3 tot 4 keer zo groot kan worden. Toch blijkt ook dat de zogenaamde 'nieuwe' duurzame energiebronnen ook in het jaar 2020 nog slechts een zeer bescheiden rol zullen spelen. De belangrijkste bijdragen zullen moeten komen van biomassa en van waterkracht. Pas op langere termijn kan een aanzienlijke bijdrage van de 'nieuwe' duurzame energiebronnen worden verwacht.

Van alle milieuproblemen die we kennen vereist een aanpak van het broeikasprobleem de meest vergaande veranderingen. Deze veranderingen kunnen echter tegelijkertijd een oplossing bieden voor andere aan de energievoorziening gerelateerde milieuproblemen. De IPCC (*Intergovern-*

mental Panel on Climate Change) geeft in haar analyse van het broeikasprobleem aan dat een directe reductie van 60% van ondermeer de uitstoot van CO₂ noodzakelijk is om een stabilisering van de huidige concentraties aan broeikasgassen in de atmosfeer te kunnen bereiken. Een directe vermindering van de emissie van CO₂ met 60% is onmogelijk, maar is dit te realiseren met het verwachte aandeel duurzame energie in het jaar 2020?

Door de WEC is een prognose gemaakt voor het mondiale energieverbruik in het jaar 2020. Zij komen uit op een energievraag van 575 EJ, hetgeen een stijging ten opzichte van het huidige niveau met ongeveer 50% betekent. Ook al zou de verwachte bijdrage van duurzame energie 216 EJ zijn, zie tabel 10, dan nog is een reductie van de CO₂ emissies met 60% ten opzichte van het huidige niveau niet te realiseren. Een wezenlijk ander scenario, dat uitgaat van een aanzienlijke inspanning op het gebied van energiebesparing en efficiencyverbetering, is het zogenaamde low-energy scenario van Goldemberg. Dit scenario is ondermeer een van de uitgangspunten in het zogenaamde Brundtland rapport *Our common future*, dat de aanzet heeft gegeven tot het denken over duurzame ontwikkeling. Het Goldemberg-scenario verwacht een energievraag in 2020 van 335 EJ, een kleine vermindering ten opzichte van de huidige energieconsumptie. Indien een dergelijke ontwikkeling plaats zou vinden en indien tevens ongeveer 200 EJ aan energie geproduceerd kan worden door duurzame energie, slechts dan is het mogelijk een 60% reductie van de uitstoot van CO₂ te bereiken.

Conclusies

In dit verhaal is globaal de status, het potentieel en de verwachtingen voor het jaar 2020 voor duurzame energie geschetst. De volgende conclusies kunnen hieruit worden getrokken.

- De huidige mondiale energieconsumptie bedraagt ongeveer 380 EJ, daarvan wordt 17% gedekt door de duurzame bronnen biomassa en waterkracht.
- Het potentieel van duurzame energie is zeer groot, het realiseerbare potentieel kan geschat worden op zo'n 1000 EJ.
- De diverse 'nieuwe' duurzame energie-conversietechnieken zijn veelal nog niet marktrijp. De onderzoeks- en ontwikkelingsinspanning op dit terrein dient daarvoor geïntensiveerd te worden.

- De implementatie van duurzame energie kent niet alleen technische problemen, ook economische, financiële, organisatorische, institutionele, milieu- en maatschappelijke problemen spelen een rol. Een actieve politiek van nationale en internationale overheden en organisaties ten aanzien van de implementatie van duurzame energie is vereist. Met name moet er voor worden gezorgd dat de externe kosten (bv. milieukosten) op een of andere manier worden doorberekend in de energieprijzen.
- De verwachte bijdrage van duurzame energie in het jaar 2020 kan tussen de 115 en 216 EJ liggen. Ook dan zullen biomassa en waterkracht verreweg de grootste bijdrage leveren. Pas na 2020 zullen de 'nieuwe' duurzame energiebronnen een aanzienlijke rol kunnen gaan spelen.
- Alleen met een zeer aanzienlijke inspanning op het gebied van energiebesparing en energie-efficiencyverbetering en door een maximale inzet van duurzame energie (200 EJ) kan in het jaar 2020 een reductie van de uitstoot van koolstofdioxide van zo'n 60% ten opzichte van het huidige niveau bereikt worden.

Duurzame energie in Nederland en Europa

H.J.M. Beurskens

W.C. Sinke

Inleiding

"Duurzame energie" is een verzamelnaam voor een groot aantal verschillende vormen van energieopwekking, of liever gezegd: energieomzetting. Alle vormen kenmerken zich door het feit dat ze niet gebaseerd zijn op het gebruik van brandstoffen met een eindige voorraad. Op een paar uitzonderingen na is de zon de primaire bron van energie. Verder zijn de milieubezwaren van het gebruik van duurzame energie in het algemeen beperkt of zelfs afwezig.

Beide aspecten zijn van groot belang geweest als motivatie voor de ontwikkeling van duurzame bronnen sinds de oliecrisis in de jaren zeventig.

De belangrijkste soorten duurzame energie zijn actieve en passieve thermische zonneënergie, fotovoltaïsche zonneënergie, windenergie, waterkracht, geothermische energie en energie uit biomassa. Bij thermische zonneënergie wordt de energie in het zonlicht omgezet in warmte. Deze warmte kan worden gebruikt voor verwarming van water, voor ruimteverwarming of voor het opwekken van elektriciteit. In het geval van fotovoltaïsche zonneënergie wordt zonlicht direct, dat wil zeggen zonder tussenkomst van warmte, omgezet in elektriciteit. Bij windenergie maakt men gebruik van de energie die bewegende lucht in zich draagt. De energiebron achter de wind is weer de zon. Meestal wordt windenergie gebruikt om elektriciteit op te wekken. Bij waterkracht laat men water van een hoog naar een laag niveau stromen en wekt daarmee elektriciteit op. Geothermische energie levert warmte die wordt onttrokken aan veelal diep gelegen aardlagen.

Mondiaal is waterkracht op dit moment verreweg de belangrijkste duurzame bron van energie: ruim 7% van het totale energiegebruik wordt gedekt met waterkracht. Dat is veel meer dan de bijdrage van

alle andere duurzame bronnen bij elkaar. Waterkracht is echter ook één van de meest ontwikkelde bronnen en de bijdrage ervan kan daarom minder groeien dan die van andere bronnen.

Een heel bijzondere plaats wordt ingenomen door biomassa als bron van energie. Het huidige gebruik van biomassa (bijvoorbeeld hout) voor energieopwekking kan in veel gevallen nauwelijks duurzaam worden genoemd, maar langzamerhand groeit het besef dat biomassa in de toekomst een heel belangrijke rol kan gaan spelen. Op het platteland in ontwikkelingslanden is biomassa vaak de belangrijkste of zelfs de enige bron van energie. Biomassa kan worden gebruikt als brandstof voor elektriciteitscentrales, maar ook als grondstof voor de productie van motorbrandstof. Een wijdverbreid misverstand is dat biomassa bij verbranding zou bijdragen aan het broeikaseffect doordat koolzuurgas vrijkomt. Tijdens de groei wordt echter evenveel koolzuurgas uit de lucht vastgelegd als er bij verbranding weer vrijkomt, dus de totale cyclus is neutraal.

Karakteristiek van duurzame energie

Het potentiële aanbod aan duurzame energie overtreft vele malen het totale mondiale energiegebruik, maar het karakter van de meeste duurzame bronnen is principieel anders dan dat van de conventionele bronnen kolen, olie, gas en kernenergie. Zo heeft het energieaanbod bij zonneënergie en windenergie een lage dichtheid, dat wil zeggen men moet een relatief groot oppervlak gebruiken om een significante hoeveelheid energie op te wekken. Daarnaast is het aanbod wisselend: tussen dag en nacht, van dag tot dag en van seizoen tot seizoen. Energievraag en aanbod zullen dus in het algemeen niet samenvallen. Vanwege het wisselende aanbod is er een fundamenteel verschil tussen kleinschalige en grootschalige inzet van zonneënergie en windenergie. Bij kleinschalige inzet zullen ze vooral een bijdrage leveren aan de elektriciteitsproductie en de wisselingen in het aanbod kunnen worden opgevangen door het meer of minder inzetten van conventionele bronnen.

Bij grootschalige inzet zal men één of andere vorm van energieopslag moeten toepassen om vraag en aanbod op elkaar te kunnen afstemmen en om een bijdrage aan de algemene energievoorziening te kunnen leveren.

Waterkracht heeft een ander karakter dan zonneënergie en windenergie omdat het lokaal in grote hoeveelheden aanwezig is en op andere

plaatsen volledig afwezig. Daarnaast is de energieopslag bij waterkracht geïntegreerd in de bron: als er geen vraag is houdt men het water eenvoudig in voorraad.

Biomassa is ook een vorm van duurzame energieopwekking waarbij opslag op natuurlijke wijze geregeld is. Immers, de energie is opgeslagen in het plantaardige materiaal dat wordt geoogst. Het aanbod varieert sterk met de plaats op aarde en is van een veelheid van factoren afhankelijk: zanaanbod, temperatuur, neerslag, bodemgesteldheid, etc.

Ook bij geothermische energie is opslag uiteraard geen probleem. De beschikbaarheid varieert sterk van plaats tot plaats in die zin dat het op sommige plaatsen veel eenvoudiger is om warmte aan de aarde te onttrekken dan op andere.

Duurzaamheid

De "duurzaamheid" van duurzame bronnen is geen absoluut gegeven. Zo vraagt zonneënergie bij gebruik geen brandstof maar legt het een zwaar beslag op materialen. Van werkelijke duurzaamheid kan dus pas sprake zijn als materialen op verantwoorde wijze gewonnen, gebruikt en hergebruikt worden. De milieuproblemen die kunnen optreden bij grootschalig gebruik van waterkracht zijn bekend. De duurzaamheid van biomassa als energiebron moet op dezelfde wijze worden beoordeeld als elke andere vorm van grootschalige landbouw. Het onttrekken van warmte aan de aarde is alleen dan duurzaam te noemen als de snelheid waarmee dat gebeurt in evenwicht is met de (lage) snelheid waarmee de warmte weer wordt toegevoerd. Ondanks deze kanttekeningen zijn er goede redenen om aan te nemen dat verantwoord gebruik van duurzame bronnen mogelijk is als de nodige maatregelen tijdig en consequent worden genomen.

Enkele voorbeelden

Voor Nederland zijn de (potentieel) belangrijkste duurzame energiebronnen zonneënergie, windenergie en biomassa. In het volgende wordt aan de hand van een paar voorbeelden met getallen geïllustreerd welke rol duurzame energie in de toekomstige Nederlandse energievoorziening zou kunnen spelen.

Elke vierkante meter landoppervlak ontvangt in Nederland gemiddeld 1000 kilowatt-uur (kWh) aan zonlicht per jaar. Dat zonlicht is uiteraard verdeeld over perioden met veel en perioden met weinig licht, maar het komt overeen met drie uren volle zon per dag en de rest van de tijd duisternis.

Een zonneënergiesysteem zal dus gemiddeld $\frac{3}{24}$ ofwel 13% van de tijd op vol vermogen draaien; de zgn. belastingsfactor is 0,13. Wanneer het zonlicht wordt gebruikt om elektriciteit op te wekken in een fotovoltaïsch systeem dan geldt een rendement van typisch 15%. Per vierkante meter wordt dus 150 kWh aan elektriciteit per jaar geleverd.

Bij windenergie is de belastingsfactor minder eenvoudig te bepalen. Deze is binnen bepaalde grenzen in de hand te houden door het vermogen van de elektrische generator aan te passen aan de lokaal heersende windsnelheden en aan de grootte van de rotor. Moderne windparken zoals ze op tal van plaatsen in Europa en Amerika te zien zijn halen een belastingsfactor van 0,25. Voor windparken langs de Nederlandse kust waarin per vierkante kilometer 10 Megawatt (MW) aan turbinevermogen staat opgesteld (bijvoorbeeld 20 turbines van 0,5 MW elk) wordt per jaar 25 kWh aan elektriciteit per vierkante meter horizontaal oppervlak uit de wind gehaald.

Het gemiddelde rendement waarmee de energie uit zonlicht wordt vastgelegd in biomassa is in praktische gevallen ruwweg 1%. Per jaar wordt dus 10 kWh per vierkante meter geleverd. Deze energie is echter niet beschikbaar als elektrische energie, maar als verbrandingswarmte of chemische energie. Als de biomassa wordt gebruikt voor elektriciteitsopwekking kan maximaal 4 kWh per vierkante meter worden geleverd. De overige 6 kWh is dan als warmte beschikbaar of gaat als zodanig verloren.

Een willekeurige maar illustratieve manier om de verschillende bronnen met elkaar te vergelijken is na te gaan welk oppervlak nodig zou zijn om 10% van het huidige Nederlandse elektriciteitsgebruik op te wekken (8×10^9 kWh.)

Voor fotovoltaïsche zonneënergie is dat 50 vierkante kilometer, voor windenergie 300 vierkante kilometer en voor biomassa 2000 vierkante kilometer. Dit zijn enorme oppervlakken, maar daarbij moeten enkele kanttekeningen worden geplaatst. Zonneënergiesystemen kunnen uitstekend op daken van huizen en andere gebouwen worden geplaatst. Het daarop beschikbare oppervlak is enkele honderden vierkante kilo-

meters groot. Windturbines en de bijbehorende infrastructuur bezetten slechts een klein deel (typisch 1%) van het genoemde landoppervlak. Het overige deel blijft beschikbaar voor bijvoorbeeld landbouw. Er is een discussie gaande over het uit productie nemen van landbouwgronden in verband met overschotten. Deze gronden zouden wellicht voor de productie van biomassa kunnen worden ingezet. Verder is het denkbaar dat gronden waarop biomassa wordt gekweekt ook recreatieve doelen zouden dienen.

Europees perspectief

De situatie in Nederland ten aanzien van het gebruik van duurzame energie is anders dan die in andere Europese landen. Zo zijn de klimatologische en geografische omstandigheden in Nederland anders dan die in de landen rond de Middellandse zee of de Scandinavische landen. Verder zijn de bevolkingsdichtheid en het energiegebruik per hoofd van de bevolking verschillend.

De instraling aan zonlicht is in landen als Spanje, Italië en Griekenland 1,5 tot 2 maal zo groot als in Nederland. Bovendien zijn de fluctuaties in het aanbod kleiner dan in Nederland. Dat, in combinatie met de lagere bevolkingsdichtheid, maakt de toepassing van zonneënergie in die landen zeer aantrekkelijk. De nadruk in deze landen ligt op elektrificatie van afgelegen gebieden en op middelgrote eenheden voor centrale opwekking van elektriciteit. Toch zien ook Duitsland en Nederland zeer veel mogelijkheden voor de toepassing van zonneënergie. Dat blijkt onder meer uit de omvangrijke overheidsbudgetten voor onderzoek en ontwikkeling van met name fotofoltasche zonneënergie. Integratie in bestaande en nieuwe gebouwen en constructies en koppeling aan het openbare elektriciteitsnet zijn daarbij kernbegrippen. In Duitsland kent men het zogenaamde 1000-daken project, waarin ongeveer 1000 woningen van een netgekoppeld systeem op het dak worden voorzien. Nederland doet het wat bescheidener, maar is duidelijk aanwezig met het "10-daken project" in Heerhugowaard.

Het windaanbod is heel anders over de kaart van Europa verdeeld dan het zonaanbod. Het zijn met name de (Atlantische) kustgebieden die veel wind ontvangen en daarom scoren landen als Denemarken, Ierland en Schotland opvallend hoog. Niet voor niets is Denemarken met 410 MW tweede (na de VS) op de wereldranglijst voor wat betreft het totaal geïnstalleerd vermogen aan windturbines. Echter ook Nederland

ligt gunstig en heeft een ambitieus plan voor de introductie van 1000 MW aan windturbines in de komende 10 jaar. Op dit moment is ongeveer 87 MW aan turbines geïnstalleerd en nog eens 50 MW in aanbouw. Nederland staat hiermee na Denemarken en Duitsland (100 MW) op de derde plaats in Europa en vierde op de wereldranglijst. Landen met een lage bevolkingsdichtheid en een goed landbouwklimaat zijn het meest geschikt voor de productie van biomassa, aangezien relatief grote landoppervlakken nodig zijn. In dit opzicht is Frankrijk een goede kandidaat. Opvallend is dat zelfs in een noordelijk gelegen en relatief koud land als Zweden het nu reeds voor boeren aantrekkelijk kan zijn om op commerciële basis biomassa te kweken. Het gaat dan bijvoorbeeld om de kweek van wilgen.

State-of-the-art

De technologie van de diverse soorten duurzame energie verkeert in verschillende stadia van ontwikkeling. Eenvoudige thermische zonne-energiesystemen voor warmwaterbereiding zijn in landen rondom de Middellandse Zee al geruime tijd gemeen goed. Meer geavanceerde compacte systemen, zoals onder meer in Nederland in ontwikkeling, zullen naar alle waarschijnlijkheid over enkele jaren technisch en economisch volwassen zijn. Voor de Nederlandse overheid is dit reden om met een grootschalig introductie stimuleringsprogramma te starten. Doel van dit programma is om in het jaar 2010 300.000 systemen geïnstalleerd te hebben. Nederland speelt in dit opzicht een toonaangevende rol.

Grote thermische zonneënergiesystemen voor elektriciteitsproductie (concentratorsystemen) worden onder meer in de Pyreneeën en in de VS getest. Zij moeten wat hun functie betreft concurreren met de op dit moment duurdere maar ook betrouwbaardere en eenvoudigere fofovoltaïsche systemen. Het is onduidelijk of deze thermische systemen de kans zullen krijgen om de weg naar volwassenheid te doorlopen. Het passief gebruik van zonneënergie in de bouw krijgt de laatste tijd toenemende belangstelling.

Men realiseert zich dat passief gebruik van zonneënergie vaak de goedkoopste manier is om duurzame energie toe te passen. Het is dus een logische eerste stap naar een meer algemene toepassing van duurzame energie.

De belangrijkste recente ontwikkelingen op dit terrein zijn vooral te vinden in het toepassen van nieuwe materialen en coatings. Speciaal

het vermelden waard is het zogenaamde translucente isolatiemateriaal, een materiaal dat een hoge lichtdoorlatendheid combineert met een extreem goede warmteisolatie. Van zeer recente datum maar mogelijk zeer interessant is vacuüm dubbele beglazing.

Fotovoltaïsche systemen worden op grote schaal toegepast voor elektriciteitsproductie op plaatsen waar geen elektriciteitsnet aanwezig is en in consumentenprodukten. Ze zijn daar economisch aantrekkelijk en zeer betrouwbaar gebleken. Op deze manier werd in 1990 50 MW aan fotovoltaïsche cellen en systemen verkocht. Ongeveer 1% daarvan is van Nederlandse makelij, 20% komt uit Europa. De grote doorbraak zal echter pas kunnen komen als belangrijke kostprijsverlagingen worden gerealiseerd, met gelijkblijvend of toenemend rendement van de systemen. De wereldwijd zeer omvangrijke onderzoeks- en ontwikkelingsinspanningen zijn dan ook vooral gericht op het verbeteren van de prijs-prestatieverhouding.

Windturbines voor elektriciteitsopwekking in de vermogensklasse tot enkele honderden kilowatts staan wereldwijd in grote aantallen opgesteld (ongeveer 22000 wereldwijd). Per jaar komt er ongeveer 300 MW aan turbines bij.

Denemarken produceert hiervan het grootste deel, gevolgd door respectievelijk de VS, Japan, Nederland, Duitsland, het Verenigd Koninkrijk en Spanje. Recente generaties zijn behoorlijk betrouwbaar gebleken en leveren elektriciteit tegen kosten die slechts een factor 1 tot 2 boven die van conventionele opwekking liggen. Men verwacht dat de prijs-presatieverhouding en de betrouwbaarheid verder kan verbeteren door toepassen van nieuwe materialen en concepten en door de systemen doelbewust op betrouwbaarheid te ontwerpen, zoals dat ook gebeurt in de vliegtuigbouw. Verder is er een trend om turbines te ontwikkelen in de vermogensklasse rond 0,5 MW tot 2 MW of groter. Deze machines hebben rotordiameters van zo'n 35 m tot 80 m.

Waterkrachtcentrales zijn in feite zeer conventioneel van ontwerp. Ze worden als standaardprodukt geleverd door diverse grote firma's. Elektriciteit uit waterkracht is over het algemeen zeer goedkoop en een verdere ontwikkeling is daarom niet essentieel.

Het gebruik van geothermische energie staat in de meeste landen nog volledig in de kinderschoenen. Alleen Italië en IJsland hebben een substantieel vermogen aan geothermische installaties. De technologie is

tamelijk conventioneel maar (afhankelijk van de locatie) kostbaar van aard. Experimentele installaties in andere landen dienen vooral om ervaring op te doen met deze nieuwe vorm van energieopwekking.

Grootschalig en duurzaam gebruik van biomassa vindt anno 1991 in Europa nog nauwelijks plaats. Wel zijn er recent diverse studies verricht die aangeven dat in Europa maar ook in Nederland de kweek van wilgen, populieren of olifantsgras een aantrekkelijke optie is om brandstof te produceren. Biomassa kan ook worden gebruikt om motorbrandstof (bijvoorbeeld alcohol) te maken. In Brazilië wordt daarvoor suikerriet gebruikt, in de VS maïs. Het energierendement van deze toepassing is echter een punt van discussie. Met het oog op de gewenste duurzaamheid is het natuurlijk van essentieel belang dat de kweek en het gebruik van biomassa netto energie oplevert. Ook in Nederland is een discussie gaande over de vraag of biomassa moet worden vergast tot brandstof voor elektriciteitsproductie of moet worden omgezet in alcohol als motorbrandstof. Een ander gebruik van biomassa is de kweek van algen om dieselbrandstof te maken. Dit proces staat nog volledig in de kinderschoenen.

Toekomst

Het potentieel van duurzame energie overtreft het wereldenergiegebruik vele malen. Hoewel men het erover eens is dat duurzame energie op de lange termijn een essentiële rol zal spelen in de energievoorziening, is in veel scenario's voor de middellange termijn daarvoor nog steeds een vrij bescheiden rol gereserveerd. Dat heeft verschillende oorzaken. In de eerste plaats is de prijs van duurzame energie veelal hoger dan de nu geldende prijs van energie uit fossiele brandstoffen of kerncentrales. Hoewel de kosten van energie uit duurzame bronnen voortdurend dalen is men huiverig daarop daadkrachtig te anticiperen. De algemene verwachting is echter dat op vrij korte termijn de zogenaamde externe kosten zullen worden meegerekend in de prijs van energie uit conventionele bronnen. Deze kosten zijn verbonden met milieuproblemen als zure regen en broeikas effect en geven verder uitdrukking aan het feit dat de fossiele brandstoffen in hoog tempo worden opgebruikt. Volgens sommigen zou dit kunnen leiden tot een verdubbeling van de energieprijzen. Vanzelfsprekend werken externe kosten zeer in het voordeel van duurzame energie.

Een andere reden om een bescheiden rol aan duurzame energie toe te kennen is dat de structuur van een energiesysteem waarin duurzame bronnen een belangrijke rol spelen principieel anders dan het huidige systeem. Decentrale opwekking zal een groeiende rol moeten spelen. Bij grote elektriciteits-opwekkingsbedrijven bestaat een natuurlijke weerstand tegen dit soort ingrijpende veranderingen omdat decentraal opgewekt vermogen moeilijker valt te regelen. In de distributie sector ligt dit wezenlijk anders. Daar worden op grote schaal decentrale systemen geïntroduceerd. Nu zijn dit de zogenaamde warmte-kracht-eenheden en windturbines. In de toekomst zullen daar zeker de PV-systemen bijkomen.

Uiteraard zijn er ook nog veel technologische obstakels uit de weg te ruimen. Veruit de belangrijkste is het probleem van energieopslag. Opslag is nodig om aanbod en vraag op elkaar te kunnen afstemmen. Een bijzonder elegante oplossing is het gebruik van waterstof als medium voor opslag en transport van energie. Waterstof kan worden gemaakt door middel van elektrolyse met behulp van de elektriciteit uit fotovoltaïsche zonneënergie of windenergie. Vervolgens kan waterstof worden gebruikt om warmte te maken of elektriciteit in zogenaamde brandstofcellen. Het is denkbaar dat waterstof de rol van alle fossiele brandstoffen overneemt. Het oppervlak dat in die situatie nodig zou zijn voor de plaatsing van fotovoltaïsche systemen is slechts een fractie van het totale oppervlak aan woestijnen. Om dat mogelijk te maken moet echter nog veel onderzoek gedaan worden. Zoals eerder opgemerkt kan het opslagprobleem worden vermeden door gebruik te maken van biomassa. Bij grootschalig gebruik van biomassa wordt echter een zwaar beslag gelegd op de landbouwgronden in vruchtbare gebieden. Het is op dit moment nog niet duidelijk hoe het evenwicht tussen de productie van biomassa en de voedselproductie voor een groeiende wereldbevolking zal komen te liggen.

Conclusies

Duurzame bronnen kunnen een uiterst belangrijke rol gaan spelen in de toekomstige energievoorziening van Europa. Ondanks het feit dat er nog technologische problemen moeten worden opgelost voordat tot grootschalige introductie kan worden overgegaan kan worden gesteld dat de voornaamste bottleneck zit in de kosten van duurzame energie. Echter onder invloed van de groeiende bewustwording omtrent milieubezwaren van conventionele opwekking en het besef dat fossiele

brandstoffen in hoog tempo worden opgebruikt zal aan duurzame bronnen een belangrijke meerwaarde worden toegekend. Daarnaast vertoont de prijs van duurzame energie een consequent dalende lijn en er is geen aanleiding om aan te nemen dat dit binnenkort zal veranderen, mits de inspanningen op het gebied van onderzoek en ontwikkeling gehandhaafd blijven of liefst versterkt worden. Grootschalige introductie van duurzame energie heeft ingrijpende gevolgen voor het energiesysteem. Daarom is het van groot belang dat de samenleving tijdig de kans krijgt om vertrouwd te raken met deze nieuwe vormen van energieopwekking.

Duurzame energiebronnen

C. Zydeveld

Samenvatting

In de nederlandse klimatologische verhoudingen zouden we al op behoorlijke schaal kunnen putten uit de duurzame energiebronnen:

- Passieve zonne-energie.
- Actieve zonne-energie.
- Windenergie.
- Zonne-electriciteit.
- Menselijke spierkracht.

Passieve zonne-energie kan zelfs worden benut zonder extra investeringen en leidt, mits goed toegepast, zelfs ook nog tot kwalitatief betere bouw. Desondanks gebeurt dit niet op grote schaal. Onze economische sturingsmechanismen, via de markt, werken dus kennelijk niet doelmatig.

Zonder interventie in de marktmechanismen zijn actieve zonne-energie, windenergie en zonne-electriciteit nog kansloos omdat de meerwaarde van niet verontreinigende energieopwekking nog niet tot uitdrukking komt in de betaalde prijs. Subsidies of andere sturingen zijn dus nodig om te voorkomen dat de goedkoopste, smerigste energiebron de markt gaat beheersen.

De potentie van menselijke spierkracht wordt, met name voor verplaatsingen, (fietsen) stelselmatig onderschat. Infrastructurele maatregelen (fietspaden, stallingen) kunnen sturend werken.

Passieve zonne-energie

Toepassen van passieve zonne-energie is gebruik maken van twee op zich triviale principes, die hier onverbrekkelijk met elkaar zijn verbonden t.w.:

1. zoveel mogelijk energie gratis opvangen (zonne-instraling);
2. zo weinig mogelijk energie weg geven (goed isoleren).

Een architect die deze principes in de ontwerpsituatie goed gebruikt kan in Nederland komen tot een woningontwerp dat, per stookseizoen voor de ruimteverwarming, bij een gemiddelde eengezinswoning, minder dan 700 kubieke meter aardgas vraagt. Als de architect zijn vak verstaat, behoeft het ontwerp hierdoor niet duurder te worden, zoals honderden in Schiedam gerealiseerde woningen inmiddels bewijzen. Bij een goed ontwerp is de woning thermisch comfortabeler of minstens zo goed als een conventioneel ontwerp.

Hoewel het dus mogelijk is voor dezelfde prijs een betere (lager energiegebruik, comfortabeler) woning te bouwen neemt de markt deze ontwikkeling zeer traag op. Zachte dwang is minstens nodig. De economische sturingsmechanismen werken duidelijk niet optimaal.

Dezelfde principes kunnen worden toegepast voor bestaande gebouwen en afhankelijk van de situatie tot goede resultaten leiden.

Zo was het in Schiedam mogelijk meer dan 400 flatwoningen, die slechts in een kamer werden verwarmd, door middel van een energetische renovatie te voorzien van modern thermisch comfort zonder dat de energierekening indrukwekkend steeg. Ook bleek het mogelijk de brandstofrekening van een bestaande school spectaculair terug te brengen.

Voor bestaande gebouwen is het echter aanmerkelijk moeilijker alle consequenties te overzien. Voorzichtigheid en een goede voorbereiding zijn dus geboden, naast de bereidheid achteraf te corrigeren als de resultaten niet volgens verwachting zijn.

Het blijft echter de moeite waard om ook bestaande gebouwen onder handen te nemen. De bulk van de in het jaar 2000 bewoonde woningen en gebruikte gebouwen staat er immers nu al. De technieken zullen dus door het opdoen van ervaringen moeten worden verfijnd.

Actieve zonne-energie

Bij het toepassen van actieve zonne-energie wordt de zon via collectoren en een technische installatie nuttig gebruikt. In Nederland zou dit tenminste met vrucht op grote schaal kunnen gebeuren voor de warmwatervoorziening in woningen met behulp van zonneboilers.

Hierbij geldt dat de bereikte besparingen in energiegebruik niet opwegen tegen de extra investering in de installatie. Simplistisch economisch geredeneerd rendeert de installatie dus niet.

Een door bureau Level gemaakte milieu-effect-rapportage over de levensduur van een dergelijke installatie toont echter aan dat het rendement uit het oogpunt van milieu uitstekend is.

Het is dus de moeite waard de toepassing van dergelijke installaties door subsidies of voorschriften te stimuleren.

Dit is te meer van belang omdat we in Nederland ertoe neigen meer en meer warm water te gebruiken. Voor de verwarming ervan hadden we enige jaren geleden minder dan 300 kubieke meter aardgas per jaar nodig. De huidige trend zit al boven de 500. Een vergelijking van de resultaten voor de ruimteverwarming van woningbouw met passieve principes geeft al snel aan dat zonneboilers nu een voor de hand liggende optie zijn (mogelijkheid tot besparing: meer dan 200 kubieke meter aardgas per jaar per installatie).

Windenergie

We behoeven bij de mogelijkheden van windenergie in ons land niet lang stil te staan. Die mogelijkheden zijn al een paar eeuwen bekend. De ontwikkeling van moderne windturbines is redelijk snel gegaan. Er zijn betrouwbare installaties leverbaar, die veel elektriciteit uit de wind kunnen halen. Helaas is de structuur van onze openbare elektriciteitsvoorziening niet zo opgezet, dat aan schoon opgewekte stroom een hogere prijs wordt toegekend in verband met vermeden milieukosten. Dat betekent dat het tobben blijft voor initiatiefnemers om de eindjes aan elkaar te knopen.

Het lijkt in de electriciteitswereld bovendien onvoldoende bekend dat de potentiële beschikbaarheid van windenergie en die van zonne-electriciteit zo liggen, dat ze elkaar in grote lijnen goed kunnen aanvullen. Subsidies blijven noodzakelijk om deze belangrijke duurzame bron verder toe te passen en te ontwikkelen.

Zonne-electriciteit

In technische zin is het nu al mogelijk elektriciteit op te wekken uit zonlicht. Dit kan op veel grotere schaal dan de inmiddels ingeburgerde rekenmachientjes laten zien. De ontwikkeling van de techniek gaat gestaag door. Jammer is weer dat de tot conservatisme neigende structuur van onze openbare elektriciteitsvoorziening geen stimulerend klimaat met zich brengt voor stuwung van dit soort ontwikkelingen. Zo worden in Zwitserland inmiddels elektrische autootjes verkocht die zich zonneauto mogen noemen, omdat de eigenaar tegelijk met de auto een

hoe-veelheid zonnecellen aanschafft, die meer stroom uit zonlicht kunnen leveren, dan zijn vervoermiddel nodig heeft. De zonnecellen worden aan het net gekoppeld en leveren daaraan hun elektriciteit. De auto wordt, waar nodig, aan het net opgeladen. Mooi meegenomen is dat de zon elektriciteit levert als het net zijn hoogste belasting heeft, terwijl de autootjes doorgaans op gunstiger momenten worden opgeladen. Aan dit soort stimulerende creativiteit zijn we in Nederland helaas nog niet toe.

Menselijke spierkracht

De mens ontleent zijn vermogen om spierkracht te ontwikkelen aan het voedsel dat hij verbrandt. Waar dit voedsel groeien kan dankzij zonlicht is dus ook menselijke spierkracht in principe een vorm van duurzame energie. (Gezien de omzettingsrendementen van planten rechtstreeks als voedsel of via eerst dierlijke consumptie, als vlees, is ook hieruit een pleidooi te vinden voor de actie "minder vlees mevrouw, u weet wel waarom").

De fiets is een uiterst efficiënt middel om spierkracht in verplaatsing om te zetten. Deze fiets zou zelfs nog veel verder kunnen worden ontwikkeld als we daar gericht moeite voor deden.

De belangrijkste beperking in het fietsgebruik is echter gelegen in de zwakke fysieke concurrentiepositie van dit vervoermiddel ten opzichte van de automobiel. Maatregelen om hieraan iets te doen (fietspaden, verkeersregelingen) en het wegnemen van een sociaal probleem (fietsendiefstal) kunnen een groot milieueffect hebben als autokilometers worden gesubstitueerd door fietskilometers. Juist op de korte afstanden ligt hiervoor een enorm potentieel, precies voor de meest vervuilende (korte ritten, koude motor) kilometers.

Conclusie

Duurzame energie biedt in het dagelijks leven nu al veel meer mogelijkheden dan we denken. Het vraagt echter om praktisch (vraagt moed!), misschien zelfs simpel, en creatief denken bij beleidmakers, om deze mogelijkheden zo snel mogelijk te benutten. Dat dit in de huidige milieusituatie gisteren al had moeten beginnen veronderstel ik als bekend.

Personalia

Dr. A.P.M. Baede werkt bij het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.

Ir. H.J.M. Beurskens (1947), volgde de opleiding HTS-Electrotechniek aan de Technische Hogeschool te Eindhoven - Technische Natuurkunde. Vanaf 1972 was hij betrokken bij de ontwikkeling van Duurzame Energiebronnen voor zowel Nederland als Ontwikkelingslanden waarbij het accent lag op windenergie. Als lid van de Consultancy Services Wind Energy for Developing Countries is hij o.a. werkzaam geweest in Tanzania en de Republiek Kaapverdië. Hij is betrokken geweest bij het management van het Nationaal Onderzoeksprogramma Windenergie. Momenteel is hij bezig met activiteiten op het gebied van duurzame energie van het Internationaal Energie Agentschap (IEA), de Europese Commissie en enkele bilaterale samenwerkingsverbanden. Zijn huidige positie is hoofd Unit Duurzame Energie van het ECN te Petten.

Dr.ir. W. Biesiot, is als universitair hoofddocent verbonden aan de Interfacultaire Vakgroep Energie en Milieukunde van de Rijksuniversiteit Groningen en hoofd van de werkgroep Energie & Materialen. Als specialist inzake de risico's van electriciteitsopwekking is hij lid van de nationale Commissie Reactor-Veiligheid.

Prof.dr. J. Blok (1924), behaalde in 1952 zijn doctoraal examen experimentele natuurkunde aan de Vrije Universiteit in Amsterdam. Van 1950 tot 1967 was hij werkzaam in het Medisch-Biologisch Laboratorium van TNO te Rijswijk. Hij promoveerde in 1957 aan de Vrije Universiteit in Amsterdam op een proefschrift over de radioactiviteit in de biosfeer van natuurlijke oorsprong en door proeven met kernwapens. In 1963 werd hij benoemd als lector in de Radiobiofysica en vanaf 1965 was hij hoogleraar Biofysica aan de Vrije Universiteit in

Amsterdam. Sinds 1958 is hij lid van de Gezondheidsraad en sinds 1987 lid van de Centrale Raad voor de Milieuhygiëne. Vanaf 1987 is hij emeritus hoogleraar.

Dr. K. Blok is verbonden aan de vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving van de Universiteit Utrecht.

Prof.dr.ir. H. van Dam is verbonden aan het Interfacultair Reactor Instituut van de Technische Universiteit Delft.

W.J. Lenstra, is hoofd van de afdeling Energie bij het Directoraat Generaal Milieubeheer van het ministerie van VROM.

Drs. S. Schöne was inhoudelijk medewerker bij de Vereniging Milieu-defensie. Sinds kort is hij werkzaam bij het Wereld Natuur Fonds.

Dr. W.C. Sinke (1955), studeerde vanaf 1974 experimentele natuurkunde en haalde in 1981 zijn doctoraal examen. Vanaf 1981 tot 1985 deed hij promotieonderzoek bij het FOM-Instituut voor Atoom- en Molecuulfysica en maakte hij een proefschrift *Nieuwe fysische processen voor silicium zonnecellen*. Vanaf 1986 tot 1987 was hij werkzaam bij Hitachi Central Research Laboratory, Tokyo in Japan en hield zich bezig met het onderwerp 'materiaalonderzoek t.b.v. hoogrendement dunne-film zonnecellen. Vanaf 1987 tot 1990 werkte hij wederom bij het FOM-instituut van Atoom- en Molecuulfysica als projectleider en hield zich bezig met o.m. kristallijk-silicium zonnecellen. Vanaf 1990 tot heden werkt hij bij ECN als werkeenheidsleider Onderzoek en Ontwikkeling Zonneënergie aan de kristallijn-silicium zonnecellen en (netgekoppelde) fotovoltaische systemen.

Prof.dr. W.C. Turkenburg is als hoogleraar verbonden aan de vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving van de Universiteit van Utrecht.

Drs. E. Worrel (1964), is in 1988 afgestudeerd aan de Faculteit Scheikunde van de Universiteit Utrecht. Na een onderzoek naar kolenvergassing bij het Project Energiekunde (Vakgroep Anorganische Chemie) is hij sinds 1989 werkzaam bij de Vakgroep Natuurwetenschap & Samenleving van de Universiteit Utrecht. Hier is hij op het gebied van energie en milieu ondermeer betrokken bij onderzoek naar energiebesparing.

Drs. A.J.M. van Wijk (1956), heeft natuurkunde gestudeerd aan de Universiteit Utrecht. In 1982 heeft hij zijn doctoraal gehaald en is gaan werken bij de vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving. In 1990 is hij gepromoveerd op het thema windenergie en electriciteitsproductie. Hij is tevens directeur van Ecofys Onderzoeks- en Adviesbureau en voorzitter van het tijdschrift *Duurzame Energie*.

Ir. C. Zydeveld (1944), studeerde bij de Technische Universiteit Delft voor werktuigbouwkundig ingenieur. Vanaf 1974 is hij wethouder te Schiedam en vanaf 1984 tevens loco-burgemeester. Daarnaast is hij voorzitter van de landelijke vereniging ODE (Organisatie voor Duurzame Energie) en voorzitter van de SNEO (Stichting Nationaal Energiebesparingsoverleg). Hij publiceerde o.a.: *De toepassing van zonne-energie in de gemeente Schiedam* (1981), *Gemeentelijk beleid voor het beperken van de te verwerken hoeveelheid huishoudelijk afval* (1989), en was mede-auteur van *Uit het zandlichaam kan iets moois groeien* (1988) en leverde een bijdrage aan *Save the Earth* (1991).