

# Kolentechnologie

## Achterhaald of nieuw speerpunt?

De belangrijkste inputs van de hedendaagse energieproductie zijn olie en gas. De wereldolie- en -gasvoorraad is echter niet onbepaald. Op een gegeven moment zal dus moeten worden uitgekeken naar andere energiebronnen. Het probleem daarbij is dat kernenergie riskant is, en kolen milieuvijandig. De laatste tijd is veel onderzoek gedaan naar een milieuvriendelijker toepassing van kolen. In dit artikel wordt betoogd dat deze toepassing bovendien kostenefficiënt is. De auteurs concluderen dat het de hoogste tijd is dat Nederland op dit terrein stappen onderneemt.

**IR. H.Y. BECHT\* – IR. C. DAELY OuwENS\*\* –  
IR. J.W. STORM VAN LEEUWEN\*\*\***

Er zijn grote voorraden kolen, goed gespreid over de wereld, en de produktiekosten ervan zijn laag. De milieubezwaren van kolen zijn echter groot: zure regen, vliegslag en CO<sub>2</sub>. Het verstoken in grote conventionele elektriciteitscentrales is eigenlijk de enige verantwoorde toepassing, en ook daarvan worden de kosten steeds hoger door de noodzakelijke milieumaatregelen. De klassieke kolen-(verbrandings-)technologie lijkt haar langste tijd te hebben gehad. De nieuwe kolentechnologie beoogt de milieuhygiënisch verantwoorde toepassingsmogelijkheden van kolen te vergroten. Deze technologie kan zeer belangrijk worden voor Nederland.

Als antwoord op de dreigende schaarste aan olie en gas hebben de oliemaatschappijen reeds vele jaren grote bedragen in de vergroting van hun kolenbelangen geïnvesteerd. Ontginning en handel zijn al voor een belangrijk deel in hun handen. Ook aan de ontwikkeling van moderne kolentechnologie hebben zij hard gewerkt. Het ziet er naar uit dat op dit punt in de nabije toekomst belangrijke ontwikkelingen gaan plaatsvinden. Deze ontwikkelingen zijn bij uitstek belangrijk voor de economie en de energievoorziening van Nederland met zijn uitstekende aanvoer-, overslag-, raffinage- en transportmogelijkheden voor fossiele brandstoffen.

In dit artikel wordt nader ingegaan op de economische kanten van de moderne kolentechnologie en de te verwachten ontwikkelingen. Het is gebaseerd op bijdragen aan een CTA-studie (Constructive Technology Assessment) 1) en aan een deelstudie van het onderzoek naar de energievoorziening van Nederland op de lange termijn dat door Kregel, Van der Woerd, Wouterse b.v. is uitgevoerd 2).

olieraffinaderij, de zogenaamde zware residuen, die bij verbranding een grote milieuverontreiniging veroorzaken, tegelijk met de kolen op een milieuhygiënisch verantwoorde wijze kunnen worden verwerkt. In dit kader zullen we niet diep ingaan op de technische en milieuhygiënische kanten van de kolenraffinaderij. Voor een goed begrip van de economische aspecten kan een korte beschrijving echter niet worden gemist.

Kolenvergassing zal hoogstwaarschijnlijk steeds de eerste en belangrijkste stap in het conversieproces zijn. Deze eerste stap zal tevens de duurste stap in het raffinageproces zijn, omdat alle milieu- en technologische problemen die met het gebruik van kolen samenhangen, in deze stap optreden en dienen te worden aangepakt. Vanwege de aanwezige verontreinigingen en de hoge temperaturen worden bij voorbeeld aan de toegepaste materialen hoge eisen gesteld, zowel in de vergasser zelf als bij de behandeling van de geproduceerde gassen (koeling, reiniging).

Het geproduceerde (synthese- of kolen-)gas heeft zeer uiteenlopende toepassingsmogelijkheden, zoals:

- gebruik als *stookgas* of als *grondstof* voor groot-industriële toepassingen, op plaatsen waar nu aardgas wordt ingezet; hieronder vallen onder meer ook warmtekrachttoepassingen;
- de bereiding van *synthetisch aardgas* (sng), in te zetten als aanvulling op de aardgasvoorziening voor andere dan (groot)industriële toepassingen;
- bereiding van koolwaterstoffen en/of methanol als *vloeibare brandstoffen*;
- produktie van *elektriciteit* in een stoom- en gasturbine-(steg-)centrale.

### De kolenraffinaderij van de toekomst

De verwerking van kolen zal in de (verre) toekomst plaatsvinden in fabrieken die nog het meest zullen lijken op de grote olieraffinaderijen. We zullen daarom ook spreken van een kolenraffinaderij. Een vergaande integratie tussen kolen- en olieraffinaderijen is ook heel wel denkbaar, al was het maar omdat de restprodukten van een

\* Centrum voor Energiebesparing en schone technologie.

\*\* Provinciaal Bureau Energiebesparing Noord-Holland.

\*\*\* Adviesbureau CEEDATA.

1) H.Y. Becht, C. Daely Ouwens, S.C. de Hoo en J.W. Storm van Leeuwen, *Kolenvergassing: het verbranden of vergassen van steenkolen voor de elektriciteitsproduktie*, Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen, Zoetermeer, 1986.

2) J.W. Storm van Leeuwen, H.Y. Becht en C. Daely Ouwens, *Kolentechnologie in de 21ste eeuw*, CEEDATA, Chaam, 1987.

Combinatie van de productie van verschillende van de hierbovengenoemde eindproducten is heel goed mogelijk en waarschijnlijk ook economisch aantrekkelijk. Naar onze verwachting zullen deze producties daarom gecombineerd en geïntegreerd worden in een kolenraffinaderij.

Elektriciteitsproductie zal waarschijnlijk steeds onderdeel zijn van de kolenraffinaderij, aangezien bij de verschillende conversiestappen restwarmte in de vorm van hoogwaardige stoom beschikbaar komt, en omdat een deel van het gas niet in het gewenste eindproduct wordt omgezet; dit deel kan in een gasturbine-installatie worden verbrand. Afhankelijk van het gewenste produktenpakket van de kolenraffinaderij zal meer of minder elektriciteit ten behoeve van het openbare net worden geproduceerd. Het is heel wel denkbaar dat de raffinaderij bij voorbeeld vooral overdag elektriciteit 'exporteert'.

De in het voorgaande beschreven kolenraffinaderij zal evenmin als Keulen en Aken in één dag gebouwd worden. Lang niet alle eindproducten kunnen nu of op korte termijn al concurreren met de bestaande alternatieven. Waarschijnlijk zal het kolenvergassingsproces aanvankelijk met name zijn gericht op de productie van elektriciteit in een zogenaamde kv-steg-centrale. Het door de kolenvergasser geproduceerde gas behoeft dan niet aan zulke hoge kwaliteitseisen te voldoen als wanneer de gasproductie primair gericht is op de productie van synthese-gas, methaan of vloeibare koolwaterstoffen. De vergassing kan daardoor goedkoper worden uitgevoerd (gebruik van lucht in plaats van zuurstof).

De kv-steg-centrale kan nu al concurreren met conventionele elektriciteitsopwekking op basis van kolen 3). Een bijzonder kenmerk van de kv-steg-centrale is dat de elektriciteitscentrale (steg) al als aardgasgestookte centrale in gebruik genomen kan worden vóórdat de kolenvergasser gereed is. Bij een grote beschikbaarheid van aardgas en lage gasprijzen behoeft het tijdstip van toepassing van kolen dus niet meer samen te vallen met het beschikbaar komen van het noodzakelijke elektrische vermogen.

In de tijd gezien zou de opbouw tot een volwaardige kolenraffinaderij er als volgt uit kunnen zien:

- fase 1: steg, aardgas gestookt. Elektrisch vermogen wordt gerealiseerd op basis van aardgas;
- fase 2: kv-steg, luchtvergassing. De steg wordt gestookt met kolengas dat geproduceerd is met lucht (eventueel met zuurstof verrijkt);
- fase 3: kolenraffinaderij: grotere vergassingscapaciteit; produkten: kolengas, SNG, vloeibare koolwaterstoffen en elektriciteit. De capaciteit van de reeds bestaande kolenvergassers wordt vergroot door vergassing met zuurstof. Het geproduceerde gas ondergaat nu enige eenvoudige en onvolledige synthesestappen. Het restgas en de afvalwarmte (stoom) worden gebruikt voor elektriciteitsproductie.

Doordat verscheidene vergassers parallel werken en omdat voor het gas verschillende, ten dele uitwisselbare gebruiksmogelijkheden bestaan, waaronder tijdelijke opslag van te veel geproduceerd gas, kenmerkt de raffinaderij zich door een grote flexibiliteit, waarmee snel op de actuele marktsituatie kan worden ingespeeld.

## De kosten

In deze paragraaf wordt ingegaan op de vaste kosten van de kolentechnologie: de kapitaallasten en de onderhouds- en bedieningskosten.

### Kolenvergassing

Kostenschattingen voor de verschillende onderdelen van het vergassingsproces zijn ontleend aan een in opdracht van de EPRI uitgevoerde studie 4), gesprekken met deskundigen en diverse andere bronnen. De in de EPRI-studie genoemde kostencijfers (in dollars van 1981) voor het Shell-kolenvergassingsproces zijn opgenomen in tabel 1. De cijfers gelden voor een installatie met een capaci-

Tabel 1. Kostenparameters van kolentechnologie

Conversieproces (en voornaamste componenten)	Rendement in procenten		Invester- ing in mln. gld.	Mogelijke reductie (%)	Productiekosten a) in gld. per GJ	
	nu	haalbaar			nu	haalbaar
Kolenvergassing - kolenbehandeling en -opslag			181	—	0,36	0,34
- vergasser en gaskoeling			652	30	1,30	0,86
- gas- en water- reiniging			192	50	0,38	0,18
- luchtscheiding			438	50	0,88	0,41
- algemene kosten en onvoorzien			227	—	0,45	0,43
Totaal c.q. gemiddeld	80	85	1.690	30	3,37	2,22
Elektriciteits- productie (STEG) 1.150 MW (nu)	48		—			
1.470 MW (toekomst)		55				
- gaskosten			1.690		7,1	4,0
- steg-kosten			1.022		4,2	3,6
Totaal	39	47	2.712	19	4,00	2,70
Synthese van methanol, kool- waterstoffen, syn- thetisch aardgas b)	30	30 (+ 3 elek- triciteit)				
- gaskosten			676		3,9	2,5
- synthesekosten			250	—	1,68	1,57
Totaal	24	26	926	23	5,6	4,1

a) Kapitaallasten 9% van investering (15 jaar afschrijving, 4% reële rente), bedrijfstijd ca. 7.450 uur (beschikbaarheid 85%), onderhoud en bediening steeds 4% van de investering per jaar; 1 gld. per GJ = 0,36 ct/kWh.

b) Synthese zonder recirculatie van niet-geconverteerd gas, verondersteld is dat 40% wordt omgezet met een rendement van 75%. Dit leidt tot de genoemde omzettingrendementen. Van de investering in de vergasser zelf wordt 40% toegerekend aan de gesynthetiseerde produkten. Van de reactiewarmte kan een deel in elektriciteit worden omgezet, naar schatting 3% van de energie uit de kolentoevoer. Gecorrigeerd voor de elektriciteitsproductie uit restwarmte en niet geconverteerd gas bedraagt het conversierendement van synthese-gas naar vloeibare koolwaterstoffen ca. 87%.

teit van ca. 10.000 ton per dag (of wel ca. 3 mln. ton per jaar) die is opgebouwd uit vier eenheden met een capaciteit van 2.500 ton per dag. Deze cijfers zijn goed vergelijkbaar met die van het Texaco-proces. Deze cijfers zijn omgerekend naar gulden van 1986 door vermenigvuldiging met een factor 2,18. Deze factor is als volgt afgeleid: het kostenniveau in dollars van 1986 ten opzichte van 1981 wordt verondersteld goed te worden weergegeven door de niveaus van de 'plant cost index' en de 'equipment cost index'. Deze beide indexcijfers worden regelmatig gepubliceerd in *Chemical Engineering* 5). Het gemiddelde niveau van deze twee indices bedroeg in 1986 ten opzichte van 1981: 1,09. Vermenigvuldiging met een wisselkoers van \$ 1 = f. 2, ruwweg overeenkomend met de koopkrachtverhouding, levert bovengenoemde factor.

Op de in tabel 1 vermelde kostencijfers van het kolenvergassingsproces zijn naar verwachting nog belangrijke kostenreducties mogelijk, tot ca. 30%, zoals aangegeven in de tabel. Daarnaast zullen ook de conversierendementen kunnen toenemen.

### Elektriciteitsopwekking

Geïntegreerd met elektriciteitsopwekking ontstaat een kv-steg-centrale van ca. 1.150 MW. Ook hiervan zijn de

3) J.F. Tummers en J. Toebes, Kolenvergassing en elektriciteitsopwekking, *Elektrotechniek*, juni 1987, blz. 611.

4) *Shell based gasification-combined cycle power plant evaluation*, EPRI, 1983 en vergelijkbare studies naar het Texaco-proces (EPRI, 1984) en het British Gas-Lurgi-proces (EPRI, 1985). Gesprekken met Shell (SIPM), hr. van der Burt en Comprimo (hr. Mink) en andere gesprekken in het kader van een CTA-studie (zie noot 1).

5) *Chemical Engineering*, december 1986, blz. 7.

kostencijfers in tabel 1 gegeven. Zoals eerder opgemerkt kan elektriciteitsopwekking via vergassing met lucht niet alleen goedkoper zijn door het achterwege laten van de luchtscheiding, maar kan ook het energetisch rendement (iets) hoger zijn (6). Bij de huidige stand van de techniek lijkt een kv-steg-centrale qua prijs goed te kunnen concurreren met een conventionele kolencentrale met rookgasreiniging, terwijl ook in milieuhygiënisch opzicht de kv-steg-centrale de voorkeur verdient (7). Met name door de mogelijke kostenreducties in het vergassingsproces en door de rendementsverbetering van gasturbines zullen deze kostenvoordelen in de toekomst alleen maar groter worden.

### Synthese van sng, methanol en vloeibare koolwaterstoffen

Voor de productie van methaan (sng), methanol en koolwaterstoffen zijn katalytische conversieprocessen beschikbaar. Voor een eenvoudige reactor zonder recirculatie van niet-geconverteerd gas en bewerking van ongewenste bijproducten – deze kunnen immers in de gasturbine worden verstoofd – zijn de investeringskosten beperkt. Deze keus heeft wel tot gevolg dat ten hoogste ca. 40% van het door de vergasser geproduceerde gas met een rendement van ca. 75% in het gewenste eindproduct kan worden omgezet (overall rendement ca. 25%). In de berekeningen wordt dan ook slechts 40% van de kosten van het vergassingsdeel toegerekend aan deze eindproducten. De rest wordt toegerekend aan de elektriciteitsproductie.

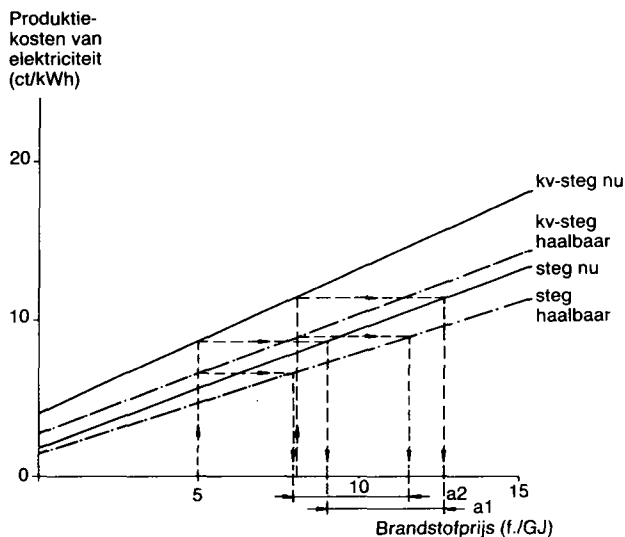
### De markt

In de voorgaande paragraaf zijn de vaste kosten van de verschillende eindproducten van de kolenconversie vermeld. De kosten van de grondstof: kolen, spelen natuurlijk ook een belangrijke rol. In figuren 1 en 2 zijn de kosten van de verschillende eindproducten van de kolenraffinerij uitgezet als functie van de kolenprijs. Uit deze figuren is af te leiden bij welke prijzen van de concurrerende brandstoffen: olieproducten en gas, een markt voor de conversieproducten van kolen ontstaat. Het op de markt komen van gas en vloeibare brandstoffen uit kolen kan betekenen dat aan de prijsstijging van olie en gas in de toekomst grenzen worden gesteld (8). Dit zal zeker het geval zijn wanneer de zeer gematigde kolenprijnsverwachting van ca. f. 5 per GJ bewaarheid wordt (9).

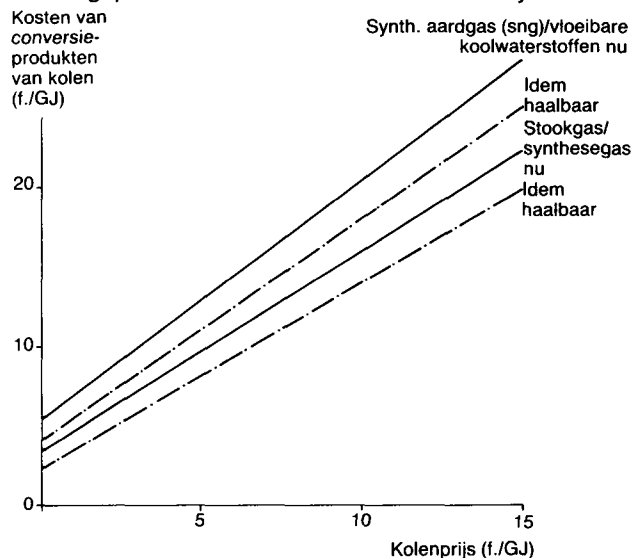
In figuur 1 zijn de kosten van elektriciteit uit kolen vergeleken met die van een gasgestookte steg-centrale. In beide gevallen is zowel de huidige of op korte termijn te verwachten kostprijs aangegeven als de kostprijs die op lange termijn te verwachten is. In deze figuur is ook af te lezen bij welke gasprijzen elektriciteitsopwekking door middel van kolen goedkoper is dan door middel van aardgas. Bij een kolenprijs tussen f. 5 en f. 8 per GJ blijkt deze break-even-gasprijs te liggen tussen f. 8,80 en f. 12,60 per GJ (traject a1 in figuur 1) en tussen f. 7,80 en f. 11,30 per GJ in de verre toekomst (traject 2 in figuur 1).

In figuur 2 zijn de kosten van middelcalorisch kolengas (synthesegas), van synthetisch aardgas (methaan) en van vloeibare koolwaterstoffen (vergelijkbaar met een zeer lichte ruwe olie) aangegeven. Uit deze figuur is direct af te

Figuur 1. Produktiekosten van elektriciteit op basis van kv-steg vergeleken met de kosten van een aardgasgestookte steg-centrale



Figuur 2. De kosten van vloeibare en gasvormige brandstoffen geproduceerd door een kolenraffinerij



leiden bij welke prijsniveaus van deze brandstoffen productie op basis van kolen concurrerend kan zijn. Wanneer de kolenprijs zich stabiliseert op f. 5 per GJ, is (groot-)industriële toepassing van middelcalorisch gas momenteel dan wel in de nabije toekomst aantrekkelijk bij een grootverbruikersgasprijs hoger dan ca. f. 10 per GJ. Op lange termijn kan deze break-evenprijs dalen tot ruim f. 8 per GJ. De productie van methaan (sng) dat in het aardgasnet kan worden geïnjecteerd, of wel van lichte ruwe olie, is concurrerend bij een olieprijs of gasprijzen van f. 13 per GJ. In de toekomst kan door kostprijnsdalingen reeds bij aardgas- en olieprijsen van f. 11 per GJ concurrerend sng of olie worden geproduceerd. Dit alles bij kolenprijzen rond

Tabel 2. Kostprijs van eindproducten van kolentechnologie vergeleken met aardgas en olie in gld. per GJ

Kolenprijn-varianten	Stookgas (industrie, STEG)		SNG en lichte ruwe olie		Olie (en aardgas-prijzen)	
	Huidige technologie	Toekomstige technologie	Huidige technologie	Toekomstige technologie	Ca. 1980	Ca. 1987
5	9,7	8,1	12,8	10,9	14	7
8	13,4	11,6	17,1	14,9		

6) F. van Oorsouw, *The prospects of Shell-Koppers gasification power plant, Kohlevergassung in der Energietechnik*, blz. 217, VGB, Essen, 1979.

7) R. Muller, *Environmental protection in coal-fed power plants; a systematic overview of existing and future measurements*, Londen, 1985.

8) H.Y. Becht, T.G. Potma en K. Uittien, *Kolen als prijsleider op de energiemarkt, Energiespectrum*, nr. 5, 1981.

9) *Beschikbaarheid van steenkool tot 2050*, Krekel, Van der Woerd, Wouterse b.v., Rotterdam, oktober 1986.

f. 5 per GJ.

In tabel 2 worden de kostprijzen van de eindprodukten van moderne kolentechnologie vergeleken met de gas- en olieprijsen nu (juni 1987) en die uit het begin van de jaren tachtig.

Bij alle hiervoor gepresenteerde kostprijsberekeningen is uitgegaan van een zeer lage opbrengst van het geïnvesteerde kapitaal (rente + aflossing 9%). Bij investeringen door het particuliere bedrijfsleven worden vanwege de marktrisico's doorgaans veel hogere rendementseisen aan het geïnvesteerde kapitaal gesteld (opbrengst van het geïnvesteerde kapitaal 20% of meer). De vaste kosten genoemd in tabel 1 moeten met een factor anderhalf à twee vermenigvuldigd worden om aan deze rendementseis te voldoen. Initiatieven van de particuliere oliemaatschappijen in de bouw van kolenraffinaderijen kunnen dan ook pas verwacht worden bij gas- en olieprijsen die *blijvend* f. 2 à 3 per GJ hoger liggen dan de in deze paragraaf genoemde niveaus. Voor elektriciteitsproducenten liggen de marktvoorwaarden heel anders. De investeringen in nieuwe kolen- en kerncentrales zijn bijzonder hoog en worden over lange tijd (15 à 20 jaar) afgeschreven. De kosten van kolencentrales nemen nog verder toe door de strengere milieu-eisen. Bovendien is de toepassing van kolen gebaseerd op een politieke beslissing (diversificatie) en niet (alleen) op rendementsoverwegingen. Elektriciteit uit een kv-steg-centrale concurreert, vanwege het hoge conversierendement en de goedkopere gasreiniging, nu al met elektriciteit uit poederkoolcentrales. Het is vooral om deze reden dat investeringen in moderne kolentechnologie het eerst in de elektriciteitssector kunnen worden verwacht.

## Slot

Op termijn zullen de olieprijsen weer gaan stijgen, bovendien zal de olieraffinage in toenemende mate door de olieproducerende landen zelf ter hand worden genomen. De onzekerheid over de toekomst van de raffinaderijen in West-Europa is dus groot. Een geleidelijke overschakeling van deze raffinaderijen op een grondstof waarvan de aanvoer tegen redelijke kosten op lange termijn verzekerd is (kolen), is derhalve te voorzien. Vanwege de gunstige ligging voor de aanvoer, verwerking en doorvoer van grote hoeveelheden fossiele brandstoffen is het tijdig inhaken op deze ontwikkeling voor de Nederlandse economie van groot belang, zowel voor de raffinaderijsector en de daar nauw mee samenhangende chemische industrie, als voor de apparatenindustrie die bij de produktie van kolenconversie-apparatuur een sterke (export-)positie zou kunnen opbouwen. Bovendien sluit de produktie van het meest voor de hand liggende conversieprodukt: kolengas, uitstekend aan bij de huidige energie-infrastructuur van Nederland zelf en zijn directe omgeving.

De eerste concurrerende toepassing van de moderne kolenconversietechnologie zal echter gelegen zijn in de elektriciteitssector: de kv-steg-centrale. Beslissingen die de komende jaren in deze sector genomen zullen worden, zijn dan ook van veel groter belang dan voor deze sector alleen. Aangezien de moderne kolentechnologie in staat is de milieubezwaren van het gebruik van kolen aanzienlijk te verminderen, zal toepassing daarvan waarschijnlijk niet op grote maatschappelijke weerstand stuiten. Alleen de CO<sub>2</sub>-produktie bij het gebruik van kolen is ook met kolenvergassing niet te vermijden. Vanwege de waarschijnlijke gevolgen van de CO<sub>2</sub>-toename in de atmosfeer op het klimaat (broeikaseffect) en omdat ook kolen geen oneindige energiebron zijn, blijft de noodzaak van een krachtig energiebesparingsbeleid bestaan. Op grond van het bovenstaande ligt het voor de hand dat Nederland nu eindelijk een duidelijke keuze maakt voor zijn toekomstige energievoorziening.

**H.Y. Becht**  
**C. Daey Ouwens**  
**J.W. Storm van Leeuwen**



*Een beroep met toekomst*

(foto ANP)