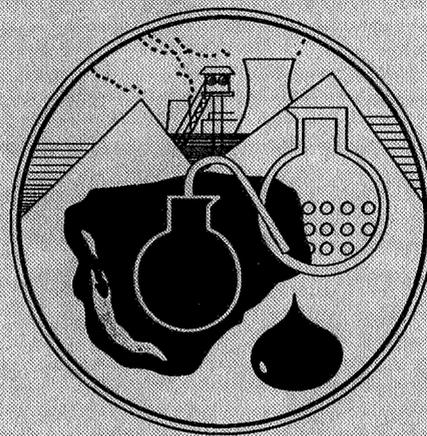


MD

SYMPOSIUM 13/09/91 BRUSSEL

DE VALORISATIE VAN STEENKOOL
UIT HET KEMPENS BEKKEN

LA VALORISATION DES CHARBONS
DU BASSIN CAMPINOIS



STEENKOOL MET TOEKOMST

*

LE CHARBON ET SON AVENIR

ORGANISATIE

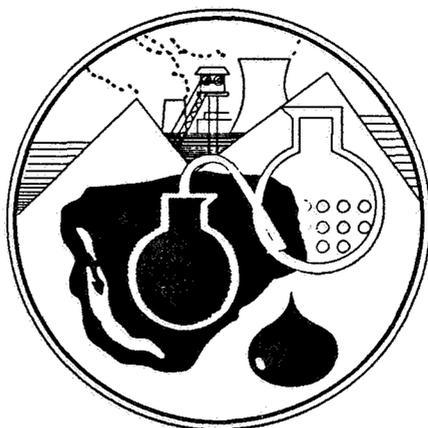
EUROPEES STUDIEKOMITEE VOOR DE HERWAARDERING EN
CHEMISCHE VALORISATIE VAN DE EUROPESE STEENKOLEN
Spoorwegstraat 72 - 3500 Hasselt - Belgium
Tel: 011/243008 - Fax: 011/227173

&
BELGISCHE VERENIGING VOOR GEOLOGIE
Jennerstraat 13 - 1040 Brussel

SYMPOSIUM 13/09/91 BRUSSEL

DE VALORISATIE VAN STEENKOOL
UIT HET KEMPENS BEKKEN

LA VALORISATION DES CHARBONS
DU BASSIN CAMPINOIS



STEENKOOL MET TOEKOMST

*

LE CHARBON ET SON AVENIR

ORGANISATIE

EUROPEES STUDIEKOMITEE VOOR DE HERWAARDERING EN
CHEMISCHE VALORISATIE VAN DE EUROPESE STEENKOLEN
Spoorwegstraat 72 - 3500 Hasselt - Belgium
Tel: 011/243008 - Fax: 011/227173

&

BELGISCHE VERENIGING VOOR GEOLOGIE
Jennerstraat 13 - 1040 Brussel

PROGRAM

DE VALORISATIE VAN STEENKOOL UIT HET KEMPENS BEKKEN
 LA VALORISATION DES CHARBONS DU BASSIN CAMPINOIS

9:30	WELKOM/ACCEUIL Laszlo Bartok, Voorzitter van het Europees Studiekomitee & Dr. Eric Groessens, Ondervoorzitter Belgische Vereniging voor Geologie	1
9:45	INTRODUCTION Prof. Ing. Pierre Stassen	2
10:00	HET BELANG VAN STEENKOLEN VOOR DE ENERGIEVOORZIENING IN DE WERELD EN IN BELGIE Prof. Dr. Hendrik Keeris	3
10:15	STEENKOOL IN HET KEMPENS BEKKEN: HISTORIEK & RESULTATEN VAN DE GEOLOGISCHE EXPLORATIES Prof. Dr. J. Bouckaert, Dr. Michiel Duser, Ir. Jean Tricot en Lic. Paul Verkaeren	4
10:40	POSSIBILITES D'EXPLOITATION MINIERE DANS LE LIMBOURG Ir. Francis Duvivier, Prof. Ing. Pierre Stassen en Dr. Roland Dreesen	5
11:00	VERSUCHSTECHNISCHE MÖGLICHKEITEN ZUR VEREDLUNGS- TECHNOLOGISCHEN BEWERTUNG VON KOHLEN Dr.-Ing. Werner März	6
11:30	PHYSIKO-CHEMISCHE CHARAKTERISIERUNG VON STEINKOHLN Dr.-Ing. Thomas Kuchling (Vortragender) & Dr. rer. nat. Eberhard Künstner	7
LUNCH		
13:30	DRUCKVERGASUNG VON KOHLENSTAUB IM FLUGSTROM NACH DEM GSP-VERFAHREN Dr. sc. techn. Winfried Wenzel	8
14:00	UNTERTAGEVERGASUNG: MÖGLICHKEITEN UND BESCHRÄNKUNGEN MIT BEZIEHUNG ZUM KEMPENER BECKEN Dipl.-Ing. Wilhelm Mottitschka	9
14:30	KOHLNSTOFFADSORBENTIEN AUS KOHLEN & KOHLENPRODUKTEN Prof. Dr.-Ing. Erhard Klose (Vortragender) & Dr. sc. techn. Wolfgang Heschel	10
15:00	ERZEUGUNG FLÜSSIGER PRODUKTE AUS KOHLEN DURCH HYDRIERUNG Dr.-Ing. Thomas Kuchling	11
15:30	DIE VERFLÜSSIGUNG VON KOHLEN UNTERSCHIEDLICHER QUALITÄT MITTELS CO-HALTIGER HYDRIERGASE Dr. rer. nat. Eberhard Mehnert	12
16:00	METHANOL UIT STEENKOOL Dr. Walter Goossens	13
16:10	BESLUITEN/CONCLUSIONS	14

RECEPTION

Welkom/Accueil

Laszlo Bartok, Voorzitter Europees Studiekomitee

Mijnheer de Senator,
Monsieur le Chef de Cabinet,
Heren Stafmedewerkers aan de Ministeriële Kabinetten,
Messieurs les Attachés des Ambassades,
Mijnheer de Burgemeester,
Monsieur le Comte,
Mevrouw en Heren Professoren,
Messieurs les Professeurs,
Heren, Messieurs les Inspecteurs,
Heren, Messieurs les Ingénieurs,
Heren Geologen, Messieurs les Géologes,
Mijnheer de Ere-Direkteur-Generaal van KS,
Heren Afgevaardigde-Bestuurders,
Heren Advocaten,
Messieurs les Directeurs,
Heren Directeurs en Zaakvoerders,
Mesdames et Messieurs,
Dames en Heren,

in naam van het Europees Studiekomitee voor de Herwaardering en Chemische Valorisatie van de Europese Steenkolen, wens ik U van harte welkom op dit Symposium.

Au nom du Comité d'Etudes Européen pour la Révalorisation et la Valorisation Chimique du Charbon Européen, j'ai le plaisir de vous souhaiter la bienvenue a ce Symposium.

"LE CHARBON EST MORT...
VIVE LE CHARBON!"

"STEENKOOL MET TOEKOMST...
LE CHARBON ET SON AVENIR"

Voilà le slogan du Symposium qui a bouleversé, peut-être chocké beaucoup de personnes, sans doute également quelques unes ou plusieurs entre vous...

Peut-être la raison pour laquelle cette belle salle de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique est relativement bien remplie. Un grand merci pour votre intérêt et pour votre présence. Un grand merci également à tous les membres du Comité d'Etudes pour leur assistance à la préparation de ce symposium.

"STEENKOOL MET TOEKOMST"
De Valorisatie van Steenkool uit het Kempens Bekken.

Onder deze slagzin hebben wij, na ruggespraak met de verantwoordelijken van de Belgische Vereniging voor Geologie, dit Symposium willen aankondigen, en dit op een ogenblik dat iedereen, en... iedereen, daarmee bedoel ik vooral 'de man in de straat', de 'openbare opinie' in België denkt: "Het is gedaan met de steenkool... Wij houden het voor bekeken."

Hoe kon het ook anders na een periode van uitzonderlijk goed gevoerde negatieve publiciteit en het creëren van een negatieve goodwill, zowel buiten KS, als intern binnen KS.

Men staat op dit ogenblik voor een kritische faze... een beslissingsfaze die onomkeerbare gevolgen kan hebben voor de toekomstige toepassingsmogelijkheden van onze steenkolen, die in de rest van de wereld méér en méér opnieuw in de belangstelling komen en herontdekt worden. In eigen land wordt onze enige natuurlijke rijkdom, de limburgse steenkolen, onvoldoende naar waarde geschat en de enorme mogelijkheden van herwaardering en valorisatie zijn blijkbaar ongekend.

De laatste steenkoolanalyses met betrekking tot bv. de carbochemische herwaarderingmogelijkheden dateren uit 1938. De toenmalige studie werd uitgevoerd onder leiding van Ing. J. Belche, door de Société Carbochimique de Tertre.

Met uitzondering van kwaliteitsonderzoek, en karakterisering, fysisch en chemisch, van diverse steenkoolsoorten in de periode 1951-1967, uitgevoerd door Ing. Coppens en Ing. Noëll, en meerdere dergelijke studies, uitgevoerd door Prof. Cypres, in de periode 1965-1980, werd er in drieënvijftig jaar relatief weinig aan onderzoek gedaan. Inmiddels is de energiesector opnieuw in beweging. De tijden zijn veranderd, het denken is veranderd !

Inmiddels leven wij in de ban van het Europa 92, zeg maar 93 ! Sleutelwoorden zoals 'vrije marktpolitiek', 'economische overwegingen', 'mededingingschap', 'concurrentie' zijn méér dan ooit aan de orde van de dag en gelden als basis van commerciële denken, beslissen en handelen.

Wij hebben daar trouwens ook begrip voor...

Maar die EEG-gedachte heeft ertoe geleid dat onze steenkolen, binnen die context, onaantrekkelijk zijn geworden.

Aardolie is en blijft, althans nu nog, een goedkoop en relatief gemakkelijk te winnen brandstof... en wat de energie-sektor betreft duldt men geen protectionisme...

Dat laatste werd ons persoonlijk nog eens uitdrukkelijk medegedeeld tijdens een bespreking op EEG-niveau, en wel op 14 september 1990, morgen precies één jaar geleden...

De hooggeplaatste ambtenaar herhaalde het nog eens uitdrukkelijk "... de EEG streeft naar een totaal vrije wereldeconomie, zonder enige vorm van protectionisme...".

Hij was zo gewoon deze magische woorden zonder nadenken te gebruiken, dat hij mij ontzettend verrast en verveeld aankeek wanneer ik hem vroeg of hij het nieuws van die dag niet had gehoord, het nieuws met betrekking tot het 'manu militaire' tussenkomen van de VS in het Koeweit/Irak conflict met, voor mij, als leek in die materie, enige reden, het beschermen van de Koeweitse oliebronnen. Alsof dat géén protectionisme was ?

Steenkool is in 'die' economische context inderdaad niet meer interessant.

Voegen wij daarbij de momenteel op wereldniveau gehanteerde prijzenpolitiek, waarbij men, sorry voor mijn simpele vergelijking, enkel kijkt naar de kleur van de steenkolen, en niet naar karakteristieken en kwaliteiten, dan zijn de limburgse steenkolen inderdaad niet interessant.

Indien men steenkolen analyseert en kwalitatief vergelijkt, dan komt men tot verrassende vaststellingen en mogen wij aannemen dat onze limburgse steenkolen tot de beste in de wereld behoren.

Zij werden tot heden steeds ondergewaardeerd.

Men zou kunnen zeggen: "Wij hebben de parels voor de zwijnen geworpen."

Recente studies hebben inderdaad aangetoond, en dit werd U reeds medegedeeld in onze uitnodiging, dat Limburg beschikt over kwalitatief hoogwaardige, zwavelarme cokeskolen en zéér gasrijke, zwavelarme vlamkolen. Deze kolen blijken uiterst geschikt te zijn voor onder andere 'bovengrondse vergassing' en 'carbochemische verwerking'.

Wij hebben voor het uitvoeren van deze analyses beroep gedaan op gespecialiseerde laboratoria uit het voormalige Oost-Duitsland, omdat zij, in dit domein, nog over de knowhow beschikken.

De voorraden van onze limburgse steenkolen zijn, in tegenstelling tot de beweringen in de massa-media, nog ontzettend groot. Volgens de exploraties van de Belgische Geologische Dienst en de Geologische Dienst van de KS, bedragen de limburgse steenkoolreserves circa 5 miljard ton.

Als voorzitter is het niet mijn taak om uit te wijden over de resultaten van dergelijke studies, noch over de waardebepaling, noch over de economische bedenkingen dienaangaande, en zeker niet over de berekeningswijze van de enorme reserves... er zijn in deze zaal personen aanwezig die meer bevoegd zijn in deze materies, die ook een grotere autoriteit hebben. Ik laat die personen graag aan het woord.

Eerst wil ik U nog even erop wijzen dat het niet de bedoeling is geweest om diepgaande mijnbouwtechnische, economische, geologische en/of chemische discussies uit te lokken.

De heren voordachtgevers werd uitdrukkelijk verzocht binnen een tijdsbestek van 20 luttele minuten de betreffende meest belangrijke en meest essentiële punten toe te lichten, waarbij het uiteraard onmogelijk is 'volledig' te zijn.

Mochten er na de voordrachten vragen zijn, dan willen wij graag 10 minuten daaraan besteden. Voor diepgaande discussies en professionele details binnen een bepaalde discipline verzoek ik U tijdens de koffie- of lunchpause met de betreffende voordrachtgever in contact te treden en eventueel later af te spreken.

Uiteraard kunnen ook schriftelijke vragen via het Europees Studiekomitee, dat de betreffende laboratoria in de Benelux exclusief vertegenwoordigt, aan de betreffenden worden overgemaakt.

Ik dank voor uw aandacht en verleen nu graag het woord aan de Ondervoorzitter van de Belgische Vereniging voor Geologie, Dr. Eric Groessens.

Introduction

Prof. Ing. Pierre Stassen

Je m'associe vivement aux souhaits de bienvenue à tous les participants, prononcés par le Président du Comité d'Etudes Européen, Monsieur Laszlo Bartok et le Vice-Président de la Société Belge de Géologie, Dr. Eric Groessens.

Je salue tout spécialement la présence ici des délégations étrangères et particulièrement la participation active de nos collègues de l'université de Freiberg.

Je remercie et je félicite les organisateurs de cette journée car cette journée est un signal d'alarme non seulement pour la Belgique mais aussi pour l'ensemble de l'Europe, aussi bien pour l'Europe Occidentale qu'Orientale.

A l'ouverture de nos débats, il est indispensable de rappeler que le pétrole et le gaz naturel ne sont que des intermédiaires dans la vie de l'humanité. Les événements qui viennent de se produire récemment, la marée noire dans le Golfe, l'incendie de nombreux puits de pétrole au Koweït, les naufrages fréquents des grands navires pétroliers, les gaspillages honteux de ces produits rares, ne font que raccourcir le délai d'épuisement de ces richesses naturelles.

Le seul combustible encore abondant à la surface de la terre est le charbon. Mais dans l'état actuel du marché mondial, son prix est tellement bas, que la production de *tous* les pays d'Europe est menacée. Toutes les mines d'Europe doivent être subsidiées, de la Grande Bretagne à l'Ukraine.

Tous les gisements de l'Europe de l'Est sont aussi menacés que les nôtres, que ce soit ceux de Pecs et Tatabánya en Hongrie, de Petrosani en Roumanie, de Velenje en Yougoslavie, de Moraska Ostrova en Tchécoslovaquie, de Silésie en Pologne où l'on envisage déjà de ramener le plus tôt possible la production annuelle de 200 millions à 140 millions de tonnes, et ce n'est qu'un premier pas. L'Ukraine est aussi fortement menacée.

Et quand je pense que des firmes de la région flamande veulent s'intéresser au gisement de Pecs en Hongrie alors qu'il s'agit là d'un gisement plus difficile que les mines les plus difficiles du Borinage avec couches en dressant et dégagement instantané de grisou! Or nous avons chez nous, de magnifiques mines bien équipées que l'on veut fermer au plus vite et l'on a déjà fermé la très belle mine d'Eisden. *C'est inimaginable.*

Et je sais de quoi je parle car j'ai eu l'occasion de visiter plusieurs fois *tous* les gisements que je viens de citer (et bien d'autres encore).

Les subsides aux mines doivent être considérés comme une assurance pour l'avenir et une assurance, cela se paie.

Si la production des 500 millions de tonnes de charbon de l'Europe venait à disparaître, le prix du charbon augmenterait rapidement ainsi que va vous le montrer le professeur Keeris. Le Chancelier Kohl l'a très bien compris et a demandé que cesse la fermeture des mines en Allemagne. Effectivement, la production de charbon est restée à peu près constante en Allemagne Fédérale en 1989 et 1990 (voisine de 77 millions de tonnes). Par contre, elle a encore diminué de prix de 10 millions de tonnes en Grande Bretagne (de 98 millions en 1989, elle est passée à 89 millions de tonnes en 1990).

Le jour est de plus en plus proche où il faudra produire de l'essence synthétique à partir de charbon comme cela se pratique depuis longtemps à l'usine Sasol en Afrique du Sud.

On reproche aux charbons belge d'être très chers. Je tiens à faire remarquer que le prix élevé du charbon campinois n'est pas seulement dû à la nature du gisement ou aux compétences de nos ingénieurs et de notre personnel mais que le Directoire de l'industrie charbonnière d'abord et les gouvernements qui se sont succédé au cours de ces 25 dernières années ensuite portent une lourde responsabilité en cette matière. Au cours de cette période, ils ont pris de nombreuses décisions malencontreuses, totalement erronées et aussi néfastes les unes que les autres et qui ont fait grand tort à nos mines.

Il est bon d'en rappeler quelques unes:

1. Alternance continue de décisions de fermeture et de maintien des mines, en fonction des crises pétrolières 1973 - 1980. Ce climat a fait fuir une grande partie du personnel compétent: ajusteurs, électriciens, hydrauliciens, porions, jeunes ingénieurs qui étaient justement de plus en plus nécessaires dans les mines très mécanisées.
2. Interdiction d'embaucher du personnel pour combler les départs. Or en 1973, le gouvernement demande aux mines de Campine d'augmenter la production annuelle de 1 million de tonnes. C'est vraiment méconnaître totalement les caractéristiques de l'industrie charbonnière qui est une industrie lourde à évolution lente.
3. En 1986, le Directoire décide de fermer la mine d'Eisden, une des plus belles unités d'Europe. En conséquence le gouvernement décide de créer un zoning industriel à Lanklaar en plein sur le gisement riche.
De ce fait on stérilise 16 millions de tonnes qui étaient prêtes à être exploitées, alors qu'il suffisait de placer le zoning industriel 8 à 10 km au sud sur une zone complètement stérile.
En 1973, on demande à la mine d'Eisden d'augmenter sa production. On creuse de longues galeries de plusieurs kilomètres pour passer sous le zoning industriel et atteindre le gisement au Nord. Ces travaux dans la roche, coûtent très chers.
A peine les tailles, *très productives* ont-elles démarré dans ce gisement que Mr. Gheyselincq ferme la mine d'Eisden.
4. Depuis 1985, impossibilité d'obtenir les crédits pour le fonçage de nouveaux puits de ventilation périphériques si indispensables dans nos mines chaudes et profondes. Il ne faut pas oublier que *dès 1950*, les mines de Zwartberg et de Waterschei ont dû mettre en service des installations de réfrigération de l'air aux étages profonds de 1010 et 1040. En Europe, elles étaient les premières mines qui devaient ainsi s'équiper en s'inspirant des réalisations des installations de réfrigération des mines d'or d'Afrique du Sud.

Enfin, un dernier point que je voudrais aborder dans cette allocution d'ouverture est *le crime* que l'on est sur le point de commettre en voulant fermer le dernier beau complexe minier: Beringen, Zolder, Houthalen, qui constitue un très bel ensemble dans l'Europe Occidentale. Les réserves de charbon au nord de ces concessions sont très importantes et le Dr. Bouckaert, le Dr. Duser, ainsi que Ir. Duviols vont vous en parler.

De plus, il s'agit de charbon présentant les qualités voulues pour fabriquer de l'essence synthétique ainsi que nos collègues de l'université de Freiberg vont nous en entretenir.

Certains disent, il sera toujours temps plus tard d'ouvrir de nouvelles mines dans cette zone, quand la nécessité s'en fera sentir. A cela, je réponds que tout le knowhow acquis dans l'exploitation du gisement de Campine sera perdu.

Il ne faut pas oublier qu'entre 1920 et 1934, on a cru que le gisement de Campine serait inexploitable. Les mines étaient étouffées dans leur réseau de galeries. On avait appliqué en Campine les techniques d'exploitations des bassins du Sud.

Or le gisement de Campine est constitué de roches fluantes peu lapidifiées, qui s'alterent facilement au contact de l'eau et de l'air humide. De plus le gisement est recouvert d'une grande épaisseur de morts terrains aquifères (500 à 600 m et plus).

De ce fait les pressions des terrains sont beaucoup plus importantes que dans les autres bassins miniers. Quand les roches sont solides, on peut les maltraiter. En Campine toute faute dans le planning d'exploitations ou dans le soutènement est immédiatement sanctionnée et peut coûter des *milliers* de journées en travaux d'entretien et de réparation.

Après la guerre, on a fait appel à un bureau d'études américain pour donner un avis sur nos mines. Le rapport Robinson fut très critique à cet égard. Deux ans après, il a été invité par la direction d'une société belge, à diriger un charbonnage. Un an après son arrivée, les rendements et les résultats avaient tellement baissé, qu'il a été prié de retourner aux Etats-Unis.

Quize ans plus tard, j'ai rencontré par hasard, Monsieur Robinson dans un avion de Cleveland en West Virginie. Il m'a confié qu'en 1950, il n'avait aucune expérience des gisements européens et que les méthodes américaines étaient totalement inapplicables dans nos mines. Ce que nous savions depuis longtemps. C'est ce qui nous attend si nous fermons toutes les mines de Campine et si 20 à 25 ans plus tard, on fait appel à des bureaux d'ingénieurs étrangers. Ils referront toutes les erreurs vécues au début de l'exploitation en Campine. Tout le knowhow acquis sera totalement oublié et abandonné.

Je citerai simplement quelques exemples:

1. La très belle mine Maurits, un des plus beaux fleurons d'Europe a été fermée la première dans le Limbourg néerlandais. Pourquoi? Lors de l'ouverture du nouvel étage à 850 m de profondeur, les ingénieurs ont appliqué les techniques utilisées dans les étages supérieurs. Après avoir creusé 10 km de nouveaux à cet étage, ils ont été confrontés à ce que nous connaissions depuis longtemps à Eisdén (mine voisine). Les travaux d'entretien (recavrages, rabassenages) étaient tellement importants qu'il n'était plus possible de progresser. On a alors fait appel à des mineurs de Beringen pour placer un revêtement en claveaux de béton comme en Campine pour s'opposer aux fortes pressions de terrains qui commençaient à se faire sentir à cet étage. Mais il était déjà trop tard.
2. Deuxième exemple:
Le très beau et très récent complexe de Selby en Grande Bretagne commence à être confronté aux mêmes problèmes. Le houiller est recouvert de morts terrains aquifères, les roches sont moins lapidifiées que dans les autres bassins britanniques. On constate des écrasements complets de taille sous la pression des eaux comme nous en avons connu en Campine, il y a 28 à 50 ans. Les galeries principales s'écrasent et on commence à placer des revêtement en claveaux de béton. On a fait appel à un spécialiste de la Campine.
3. Troisième exemple:
En Pologne, on a ouvert un nouveau gisement à Lublin près de la frontière de l'U.R.S.S. Les techniques de Silésie n'y sont pas applicables et on est confronté aux mêmes problèmes que chez nous.

Je pourrais encore citer bien d'autres exemples. Les bureaux d'études futurs *ignoreront tout* de ce que nous avons connu en Campine parce qu'*ils ne l'auront pas vécu*.

La fermeture de notre dernier complexe ne conduirait pas seulement à la perte de tout le knowhow acquis mais ce serait aussi un crime de remblayer les 3 puits.

Si plus tard, on ouvrait de nouvelles exploitations dans le Nord, ces puits pourraient servir de puits périphériques pour la ventilation, puits qui ont si cruellement manqué dans nos mines chaudes et profondes.

Je m'en voudrais de tenir plus longtemps la tribune, car vous êtes venus pour écouter les conférenciers annoncées au programme.

En terminant je voudrais soumettre à votre appréciation une petite remarque qui caractérise bien notre société. Quand je vais dans un café ou un restaurant on me demande 40 F et parfois plus pour $\frac{1}{4}$ Spa, soit 160 francs pour 1 litre ou *160.000 francs pour une tonne d'eau*. Et on trouve que 2.000 à 4.000 francs c'est trop cher pour 1 tonne de charbon.

Het Belang van Steenkool in de Energiebalans van de Wereld en van België

Prof. Dr. Hendrik Keeris

Tot de eerste olieschok in 1973 steeg het totale energieverbruik in de wereld met een vrije markteconomie gemiddeld met 5,7 % per jaar. Een overaanbod van goedkope aardolie werkte dit in de hand. Daarbij vermeerderde het aandeel van aardolie en van aardgas in het wereldenergieverbruik ten koste van de vaste brandstoffen.

Na een terugval in het crisisjaar 1975 bleef de vraag naar energie in de westerse landen verder stijgen tot 1979. Aardolie bereikte toen tot dusver zijn maximale produktie en verbruik. Evenwel was inmiddels steenkool terug terrein aan het winnen.

De tweede olieschok van 1979/1980 veroorzaakte een aanzienlijke wijziging in de energiebalans van de westerse ontwikkelde landen. Wegens een zware economische recessie en de doorgevoerde bezuinigen daalde het totale energieverbruik er tijdens het begin van de jaren 80 (van 1979 tot 1983: - 9,2 %). Tevens werd het aandeel van aardolie sterk teruggedrongen ten voordele van kernenergie, aardgas en steenkool, wat een duidelijke weerslag had op het mondiale energieverbruik (Tabel 1).

In de landen met centrale planeconomie, waar steenkolen steeds een belangrijke plaats zijn blijven bekleden, is het energieverbruik immer blijven toenemen, zij het vertraagd.

In de derde wereld bleef het commerciële energieverbruik onafgebroken stijgen. Het steunt er dominerend op aardolie. Het traditionele huishoudelijke energieverbruik valt evenwel voor ca. 90 % terug op het aanwenden van brandhout en biomassa (Tabel 2).

In 1986 stortte de aardolieprijs in, terwijl in de OESO-landen een economische heropleving zich aftekende. Dit werkt zowel een stijging van het totale energieverbruik als van het aardolieverbruik in de hand.

De positie van de OPEC-landen langs de aanbodzijde wordt door deze ontwikkeling opnieuw versterkt. De totale wereldproductie van aardolie bereikte daardoor in 1990 bijna de piek van 1979 (Tabel 3).

Het aandeel van de OPEC-landen in de aardolieproductie in de wereld, dat van 48 % in 1979 gedaald was tot 29,6 % in 1985, liep daardoor terug op tot 38,7 % in 1990.

Rekening houdend met de verwachting dat de productie van de U.S.S.R., de U.S.A. en het V.K. in de loop van de jaren negentig zal verminderen, terwijl de vraag naar aardolie op de wereldmarkt met ca. 1,1 % per jaar stijgt, betekent dit dat het aandeel van de OPEC-landen in de wereldproductie gevoelig zal toenemen.

In het jaar 2005 zou de vraag op de wereldmarkt t.o.v. 1988 23,4 % hoger liggen. Dr. SUBROTO, secretaris-generaal van de OPEC, voorziet dat de lidstaten van zijn organisatie tegen de eeuwwisseling zullen instaan voor 54 % van de vraag naar aardolie op de wereldmarkt. In OPEC-milieus vreest men zelfs dat de productiecapaciteit de aangroei van de vraag moeilijk zal kunnen volgen. Het ligt voor de hand dat een opwaartse druk op de aardolieprijs daarvan een gevolg zal zijn.

In 1989 betrok Japan ca. 2/3 van zijn oliebehoeften uit de Golfstaten, West-Europa ca. 50 % en de U.S.A. ongeveer 20 %. Logischerwijze zal in de toekomst de afhankelijkheid t.o.v. het Midden-Oosten opnieuw toenemen. Verwacht wordt dat het primaire energieverbruik in de wereld tijdens de periode 1988 - 2005 gemiddeld jaarlijks met 1,9 % zal stijgen. Uitgesplitst over de verschillende energiedragers wordt een gemiddeld jaarlijkse stijging van de vraag verwacht van 1,1 % voor aardolie, 3,5 % voor aardgas, 1,6 % voor steenkool en 1,8 % voor primaire elektriciteit. Bij dit scenario werd rekening gehouden met de Toronto-doelstelling de CO₂-emissies te reduceren met 20 % in 2005 ten opzichte van het niveau van 1988. Het Energy Studies Department van het OPEC-secretariaat twijfelt er terecht aan of deze doelstelling zal kunnen gehaald worden.

Dit geldt alleszins voor het terugdringen van de luchtverontreiniging in de ontwikkelingslanden en in de landen met een centrale planeconomie. Dit alles zal ongetwijfeld een opwaartse druk op de prijzen veroorzaken.

België, dat sinds de jaren 60 in toenemende mate afhankelijk is van de invoer op het vlak van de energievoorziening, vertoont een analoog evolutiebeeld betreffende zijn energiebalans als dit van de overige OESO-landen zowel inzake totale verbruik als wat betreft het aandeel van de verschillende energiedragers (Tabel 4).

Een ander belangrijk aspect van het energieverbruik is het feit dat het eindverbruik steeds meer onder de vorm van elektriciteit gebeurt. Op wereldvlak bereikte het aandeel reeds 30,4 % in 1989. Verwacht wordt dat dit aandeel verder zal oplopen tot 38 % in het jaar 2005. In de periode 1974 - 1989 steeg het wereldenergieverbruik gemiddeld met 2,3 % per jaar en de globale elektriciteitsproductie met 4,0 %.

Bij de elektriciteitsopwekking speelt steenkool een steeds belangrijker rol. In het bijzonder sinds de tweede olieschok is er een omvangrijke substitutie van vloeibare door vaste brandstoffen en vooral door kernenergie opgetreden (Tabel 5 en 6). Bovendien moet rekening worden gehouden met het toenemend verzet in meerdere landen tegen een uitbreiding van het kernpark en de bouw van kweekreactoren.

Dit alles werkt een stijgend steenkolenverbruik in de hand. Op wereldvlak steeg het aandeel van steenkool in de elektriciteitsproductie in de periode 1973 - 1989 van 35,5 % tot 40,2 %, terwijl dit van aardolie daalde van 25,9 % tot 9,3 %. De kernenergie dreef zijn aandeel op van 4,5 % tot 23,6 %.

In België kan een gelijkaardige evolutie worden waargenomen. Dit mag blijken uit de tabel van ingevoerde steenkolen in België van 1987 tot 1990 (tabel 7). De invoer is gestegen van 9,2 miljoen ton tot 14,7 miljoen ton of een stijging van bijna 60 %.

Op wereldvlak kan momenteel gemakkelijk aan de vraag naar steenkolen worden beantwoord. Evenwel wordt slechts ca. 10 % van de productie internationaal verhandeld.

Tabel 8 toont de steenkoolproductie in de E.E.G.-landen van 1987 tot 1990. Over 4 jaren is de steenkoolproductie in de E.E.G. gedaald met ongeveer 10 %, of van 224 miljoen ton tot 197 miljoen ton. Maar waar België een drastische sluitingspolitiek voert (4.356.455 ton in 1987 naar 1.035.832 ton in 1990) is men in de andere E.E.G.-landen veel voorzichtiger en houdt men voor de toekomst nog alle mogelijkheden open.

Daarbij mag gezegd worden dat de kostprijs van de gedolven steenkool, behalve in Engeland, vergelijkbaar is met, of in bepaalde landen zelfs hoger is dan in het Kempens bekken.

Het huidige verbruik van steenkolen in de E.E.G. ligt rond de 350 miljoen ton. Er moet dus nu reeds 150 miljoen ton ingevoerd worden. Rekening houdend met het stijgend steenkoolverbruik in de OESO-landen, betekent dit een stijgende vraag naar steenkolen op de wereldmarkt.

Het ligt voor de hand dat daardoor op middellange termijn de periode van de goedkope kolen achter de rug zal zijn. Indien daarenboven, ook wordt rekening gehouden met de kwaliteit van de kolen, waaronder o.m. het S-gehalte, dan kunnen er ongetwijfeld spanningen op de wereldmarkt ontstaan in de toekomst.

De wereldenergiemarkt, waarvan België voor zijn bevoorrading omzeggens volledig afhankelijk is geworden, wordt gekenmerkt door grote onzekerheden. In het licht daarvan moet een verdere afbouw van de eigen primaire energieproductie in België en de E.G. als een lichtzinnige daad worden bestempeld.

Tabel 1 Aandeel van de verschillende vormen van primaire energie in het bruto energieverbruik in de wereld (in %)

	1989	1983	1979
Aardolie	39,5	43,1	48,0
Aardgas	18,9	18,0	17,3
Steenkool	29,3	28,3	26,3
Hydro-elektriciteit	6,6	7,0	6,2
Kernenergie	5,7	3,6	2,2
TOTAAL	100,0	100,0	100,0
Mld. barrel oil equivalent	58,7	49,9	50,2

Bron = BP Statistical Review of World Energy

Tabel 2 Geografische verdeling van het bruto wereldenergieverbruik in % (1979 = 100)

	1989	1979	1989/1979
Ontwikkelingslanden	18,9	14,6	151,3
OESO	49,0	56,6	101,1
Centrale Plan Economieën	32,1	28,8	130,2
TOTAAL	100,0	100,0	116,8

Bron = BP Statistical Review of World Energy

Tabel 3 Wereldproductie van aardolie 1979 - 1990.

	1979		1985		1990		1979- 1990
	10 ⁶ t	%	10 ⁶ t	%	10 ⁶ t	%	
OPEC	1524	48	818	29,6	1220	38,7	- 19,9
Andere landen ⁽¹⁾	973	30	1203	43,6	1207	38,3	+ 24,0
Centrale Plan Econ. ⁽²⁾	692	22	740	26,8	723	22,9	+ 4,5
WERELD	3189	100	2762	100,0	3150	100,0	- 1,2
Totaal excl. CPE's	2497	78	2021	73,2	2427	77,1	- 2,8

* Incl. LNG

⁽¹⁾ Excl. CPE's

⁽²⁾ U.S.S.R., Oost-Europa en China

Bron = Petroleum Economist, Jan. 1991

Tabel 4 Binnenlands brutoverbruik van primaire energie in België in %

	1973	1979	1985	1989	89/73
Steenkolen	24,6	22,3	25,6	21,0	- 18,0
Aardgas	17,0	21,1	17,9	19,4	+ 12,2
Aardolie	58,5	51,7	46,6	40,4	- 32,0
Primaire Elektr. ⁽¹⁾	- 0,1	4,9	9,9	19,2	
TOTAAL	100,0	100,0	100,0	100,0	- 2,0
TOTAAL 10 ⁶ t o.e.	46,97	48,68	41,65	46,02	

⁽¹⁾ Kernenergie + hydro-elektriciteit + invoersaldo elektriciteit

Bron = M.E.Z. Administratie van de Energie

Tabel 5 Elektriciteitsprodukten in den OESO-landen

Energiedrager	1973	1980	1988	1989	Gemiddeld jaarlijkse groei	
					73/88	88/89
-- in TWh ⁽¹⁾ --					%	%
Steenkool	1487,4	2045,5	2623,8	2674,4	3,9	1,9
Aardolie	1083,0	898,9	563,6	620,0	- 4,3	10,0
Aardgas	504,3	591,1	564,9	607,0	0,8	7,4
Kernenergie	187,9	600,8	1513,0	1568,8	14,9	3,7
Hydro-geo	909,5	1082,4	1187,0	1154,7	1,8	- 2,7
Andere ⁽²⁾	10,8	19,4	26,1	25,6	6,1	- 2,1
TOTAAL	4182,6	5238,1	6478,4	6650,5	3,0	2,7

⁽¹⁾ TWh = mld. kWh

⁽²⁾ Alternatieve energiebronnen (turf, hout, zonnekracht, wind, enz...)

Bron = IAEA Coal Information 1990, OECD, Paris, 1990, p. 32

Tabel 6 Aandeel van de energiebronnen in de elektriciteitsproduktie in de OESO-landen in %

Primaire energie	1973	1989
Steenkool	35,5	40,2
Aardolie	25,9	9,3
Aardgas	12,1	9,1
Kernenergie	4,5	23,6
Hydro-geo	21,7	17,4
Andere	0,3	0,4
TOTAAL	100,0	100,0

Bron = IAEA Coal Information 1990, PECD, Paris, 1990, p. 32

**Tabel 7 Steenkoleninvoer in België per land van herkomst
 (eenheid: metrieke ton)**

	1987 *	1988 **	1989 *	1990 **
E.G.K.S-landen				
Duitse Bondsrepubliek	1.580.067	1.615.615	1.647.606	1.423.462
Frankrijk	19.843	19.167	33.509	29.787
Nederland	89.892	105.128	56.556	30.410
Verenigd Koninkrijk	8.896	8.533	90.642	99.045
TOTAAL E.G.K.S.-landen	1.698.698	1.748.443	1.828.313	1.582.704
DERDE landen				
U.S.A.	3.858.832	4.969.083	5.618.354	5.818.504
U.S.S.R.	66.888	86.092	77.791	221.850
Polen	490.083	532.081	287.276	347.227
Australië	512.852	1.107.012	1.134.108	1.402.238
Zuid-Afrika	2.370.399	2.353.906	3.180.382	4.501.466
Canada	32.868	11.692	21.427	302.231
China (V.R.)	91.779	144.023	427.764	290.898
Columbia			59.639	161.532
Andere landen	84.587	*** 148.819	52.026	53.017
TOTAAL Derde landen	7.508.338	9.352.708	10.858.767	13.098.963
TOTAAL INVOER	9.207.036	11.101.152	12.687.080	14.681.667

- * Kolen + kolenagglomeraten
 ** Voorlopige cijfers
 *** Waarvan Colombia 56.727 ton

Bron = M.E.Z., Administratie voor Energie, Dienst voor Steenkolen economie

Tabel 8 Steenkolenproducenten in de E.E.G.

	1987	1988	1989	1990
Zetel Beringen	909.473	784.080	379.821	-
Zetel Eisden	558.688	-	-	-
Zetel Genk ¹	1.176.492	158.277	-	-
Zetel Zolder	1.711.802	1.544.860	1.512.868	1.035.832
Totaal K.S. (= totaal België)	4.356.455	2.487.217	1.892.689	1.035.832
Duitse Bondsrepubliek	82.380.000	79.318.000	77.451.000	76.551.000
Frankrijk	13.732.000	² 12.143.000	11.471.000	² 10.488.000
Verenigd Koninkrijk	101.645.000	² 101.392.000	98.286.000	² 89.247.000
Ierland	72.000	³	43.000	² 45.000
Spanje ⁴	22.218.000	² 19.000.000	19.294.000	² 19.813.000
Portugal	254.000	² 237.000	² 258.000	² 273.000
Italië			² 75.000	² 95.000
TOTAAL E.G.K.S.	224.658.000	² 214.577.000	208.771.000	² 197.548.000

- ¹ Genk = Waterschei + Winterslag
² Voorlopige cijfers
³ Niet Bekend
⁴ "Lignito Negro" inbegrepen

Bron = KS statistieken, Eurostat

Steenkool in het Kempens Bekken Overzicht & Resultaten van de geologische Exploraties

Prof. Dr. Jozef Bouckaert, Dr. Michiel Dusar & Lic. Paul Verkaeren

Historiek van de steenkoolverkenning in de Kempen

In tegenstelling met de Waalse kolenbekkens komen de steenkoollagen in de Kempen niet aan de oppervlakte. De eerste steenkoollaag werd dan ook pas aangeboord op 532 m diepte te As door André Dumont op 2 augustus 1901. Het mogelijke bestaan van een verborgen kolenbekken in Noord-België werd reeds in het begin van de negentiende eeuw vermoed. In 1806 werd te Miegheem bij Oudenaarde tevergeefs naar steenkool geboord. De reden hiertoe lag in een vergelijking met Engeland en West Duitsland (Ruhrgebied) waar ten noorden van een sterk geplooid kolengordel, vergelijkbaar met de Waalse kolenbekkens (as Samber-Maas), uitgestrekte minder gestoorde kolenvelden voorkomen. Door de opbloei van de kolennijverheid na 1870 en de te verwachten uitputting van de oudste velden, werd meer intensief naar nieuwe kolenvelden gezocht.

In zijn rapport van 1876 over de verkenning van het steenkoolterrein door middel van 4 boringen in Nederlands Zuid-Limburg veronderstelde Guillaume Lambert, mijnprofessor te Leuven, dat een kolenveld van Zuid-Limburg, Aken (Wurmmulde) (Fig.1) zich in westelijke richting naar Belgisch Limburg toe verderzette.

Deze veronderstelling werd het jaar nadien door zijn opvolger Léon André Dumont meer kracht bijzette. Dumont vond als eerste aanwijzingen dat het noordelijke kolenbekken niet evenwijdig aan het Waalse bekken lag, maar zich meer in noordwestelijke richting uitstrekt, onder de Kempen.

Hij mag zodoende als de ontdekker van het Kempens kolenbekken beschouwd worden, in 1881 was in Lanaken het niet-productief Karboon aangeboord, maar wetenschappelijk en economisch belang van deze boring werd niet onderkend. De ontdekking van André Dumont leidde tot een grootscheepse exploratie-campagne in de Kempen. In de periode 1901-1903 werden 63 diepteboringen uitgevoerd en werd het Kempens Bekken verkend tot in Zandhoven en Vlimmeren in de Antwerpse Kempen.

Door het tempo waaraan geboord werd en de ontoereikende staalname, is de wetenschappelijke waarde van deze boringen echter gering (Grosjean 1951).

Vanaf 1903 vertraagden de booractiviteiten aanzienlijk. Er werd gewacht op een regeringsbeslissing i.v.m. de talrijke, grotendeels overlappende concessieaanvragen door de personen of groepen, verantwoordelijk voor de verkenningboringen.

In 1906 werden 7 mijnvergunningen (aangevuld met de concessie Oostham-Kwaadmechelen in 1925), en werd een aanvang genomen met het afdiepen van de schachten. De noordelijke grensafbakening van de eerste Kempense mijnvergunningen en van de voormalige Kolenreserves B en C (gereserveerd aan de staat in 1911) berusten grosso modo op het hypothetisch verloop van de Breuk van Rotem (= Heerlerheide) volgens Stainer die veronderstelde dat alle boringen waarin Rode Gesteenten (Permo-Trias) werden aangeboord, door een breuk gescheiden werden van meer zuidelijk gelegen boringen, waarin Karboon gesteenten rechtstreeks onder het Krijt werden aangeboord.

Deze breuklijn werd beschouwd was het Karboon wel aanwezig, maar wegens de dikke bedekking door de Rode Gesteenten praktisch onbereikbaar.

In tegenstelling met de opinie van Stainer stond deze van Forir dat de hypothetische Heerlerheide breuk in het oosten van Belgisch Limburg vanuit Nederlands Zuid Limburg zijn zuidoost-noordwestelijke richting behield en dat de ruimtelijke verbrediging van Rode Gesteenten aan andere geologische oorzaken te wijten zou zijn.

In het kader van de steenzout prospectie van de maatschappij "Solvay" werden in 1904-1909 verschillende boringen uitgevoerd in Noord-Limburg waardoor de structuur van de "Slenk van Roermond" aan het licht kwam. De resultaten van de prospectie kwamen in grote lijnen overeen met de gegevens die in Nederland door de Rijksopsporing van Delfstoffen konden verzameld worden (Stainer, 1907 van Waterschoot van der Gracht, 1914). In de periode 1910-1940 werd vanwege de mijnexploitanten geen verdere belangstelling getoond voor het noordelijk gebied.

Als belangrijkste redenen gelden de relatief geringe dichtheid van de hogere Karboonzones, de steeds aangroeiende dikte van de dekterreinen in noordelijke richting en de geringe kennis omtrent de verspreiding en het belang van de Rode Gesteenten.

De ontginning in de Kempense mijnen gebeurde voornamelijk in de rijke kolenbundels (formaties) Genk, As en gedeeltelijk ook Eikenberg. In het zuiden van het bekken werden enkele prospectieboringen verricht zonder veel gevolg. De Geologische kennis van het Karboon was door de ondergrondse mijnontginning aanzienlijk uitgebreid en werd door Grosjean gesynthetiseerd in 1936.

Tijdens de periode 1937-1939 werden ten noorden en ten westen van de reserve A (Mol-Meerhout) petroleumopsporingen d.m.v. enkele verricht door de "Geological and Geophysical Oil Research" (Groep Brugmann de Walzin-Vingerhoets).

Tijdens de periode 1939-1945 werden in het gebied van Rotem-Neeroeteren drie boringen ingeplant door de Société Générale Charbonnière (later de S.V. Prospectie en Ontginning) die, alhoewel zij ver ten noorden van de noordelijke afbakening der mijnontginningen lagen, toch het Karboon rechtstreeks onder het Krijt aansneden, zonder tussenschakeling van de Rode Gesteenten.

De afbuiging van de Heerlerheide (=Rotem) breuk naar het westen diende dus verworpen te worden waardoor gans de structuur van het noordelijk gebied opnieuw in vraag werd gesteld. Bovendien werd de mogelijke kolenreserve van het bekken aanzienlijk uitgebreid. In 1947 werd dan ook een mijnconcessie van Neeroeteren-Rotem verleend aan de nv Steenkoolmijnen van Noord-Oost Limburg. Grosjean splitste in 1949 het noordelijke gebied op in een reeks NW-SE gerichte hypothetische horsten en slenken, naar analogie met de horst aangetroffen in de boringen van Neeroeteren-Rotem. De verbreding van de Rode Gesteenten zou volgens sedimentaire contacten verlopen, weliswaar verder teruggedreven naar het noorden op de horsten dan op de slenken. Horsten en slenken zijn gescheiden door belangrijke breuken die Karboon en Permo-Trias (de Rode Gesteenten) verwerpen. Voor nieuwe steenkoolverkenningen kwamen voornamelijk die gebieden in aanmerking waar de top van het Karboon rechtstreeks onder het Krijt kwam te liggen, zonder de tussenschakeling van Rode Gesteenten (de horsten), daar de gegevens verschaft door de reeds uitgevoerde boringen niet toelieten eventuele ontginningen uit te sluiten. De verkenningen moesten voldoende ver naar het noorden toe doorgedreven worden om uit te maken of het bereikbaar kolenveld via een nieuwe ontginningszetel of vanuit de bestaande ontginningen kan geëxploiteerd worden.

Als nieuwe methode om de uitbreiding van het kolenveld naar het noorden toe te bestuderen werd een seismische verkenning voorgesteld. Op initiatief van de Belgische Geologische Dienst vond een beperkt seismisch onderzoek plaats in 1950 ten noordoosten van Houthalen om er de zuidelijke uitbreiding van de Rode Gesteenten na te gaan.

Aanwijzingen, zowel voor breuken als voor sedimentaire contacten tussen Rode Gesteenten en Karboongesteenten werden gevonden, maar de kwaliteit van de seismische reflectie was eerder slecht terwijl door het ontbreken van een gesloten meetnet de richting van breuken en afhellingen niet kon bepaald worden (naar Tys, 1969).

In de periode 1953-1956 werd door de Belgische Geologische Dienst een uitgebreid seismisch (reflectie en refractie) en gravimetrisch onderzoek uitgevoerd in de Kempen (provincie Antwerpen en Limburg). Dit onderzoek bevestigde grotendeels de door Grosjean gepostuleerde horsten en slenken, maar was niet gedetailleerd genoeg om de diepte geologische structuur op een coherent wijze uit te tekenen.

In 1960 werd aan de SCREM (Société Campinoise pour la Recherche et l'Exploration Minérales) over de Antwerpse en de Limburgse Kempen een opsporingsvergunning voor koolwaterstoffen verleend. In het kader hiervan werd een nieuw geofysisch onderzoek verricht (reflectie seismiek in de Roermondslenk, refractieseismiek en een gravimetrisch onderzoek in de Antwerpse Noordkempen) en een diepboring (Heibaart-Loenhout). Het onderzoek door de Screm viel negatief uit en de vergunning werd in 1969 ingetrokken.

De gegevens verstrekt door het seismisch onderzoek in 1953-1956, gedeeltelijk herwerkt en aangevuld door de SCREM in 1962-1963, vormen naast de boorgegevens de basis voor de bestaande structurele kaarten over het Massief van Brabant en het Kempens Bekken (Legrand 1969). De energiecrisis bracht vanaf 1974 een nieuwe belangstelling voor het Kempens Bekken. Het onderzoek richtte zich vooreerst op de Onder Karboon Kalksteen (Pétrofina rapporten, Bless 1976)

De site van Heibaart werd overgenomen door Distrigaz en vanaf 1974 verder ontwikkeld als ondergrondse gasopslagplaats (karstreservoir in kalksteen, koepelvorming overdekt door ondoorlatende leisteen)

De opsporing van geothermische energie en bijkomende ondergrondse gasopslagruimten in de kalksteenreservoirs van de Antwerpse Kempen leidde tot een nieuwe reeks boringen te Heibaart-Loenhout en Meer-Hoogstraten, in navolging van de boringen te Turnhout (1954-1953) en Heibaart (1962).

Wat betreft de steenkoolprospectie en ontginning werd in 1958 de Kempense Staatsreserve opgericht die gans het Kempens Bekken westelijk van Lier omvatte met uitzondering van de reeds verleende private concessies. Hierin werd in de 1960 Kempense Staatsconcessie opgericht die de private concessies volledig omsloot. Verpachting of overdracht aan deze private concessies was slechts in beperkte mate mogelijk. In 1969 werden sommige delen van de vroegere reservegebieden B1 en C1 gevoegd bij de in 1968 gevormde Concessie van het Kempens Bekken door samenvoeging van de concessies "Beringen-Koersel", "Helchteren-Zolder", "André Dumont sous Asch", "Winterslag-Genk-Zutendaal" en "Sainte-Barbe et Guillaume Lambert". De Concessie van het Kempens Bekken wordt door de nv Kempense Steenkoolmijnen ontgonnen (Fig. 2ab).

Vanuit de verschillende exploitatie-zetels werden in de periode 1959-1961 gedetailleerde seismische verkenningen uitgevoerd in het reservegebied B1 ten westen van Winterslag en Zwartberg (Les Liègois) en ten noorden van Zwartberg, en in het oostelijk deel van de concessie Winterslag en André Dumont (Waterschei). In 1958 werd echter de laatste steenkoolverkenning uitgevoerd (boring 125 te Beverlo-Beau Marais, in de huidige Staatsconcessie).

Door toedoen van de kolencrisis werd iedere verdere prospectie gestaakt en de positie van de steenkoolmijnen verslechterde geleidelijk (LER, 1960).

De energiecrisis van 1974 bracht hierin aanvankelijk geen verbetering, maar een toenemende bezorgdheid om de toekomst van de kolennijverheid in België leidde ertoe dat vanaf 1979 zowel de Kempense Steenkoolmijnen (KS) binnen zijn concessiegrenzen, als de Belgische Geologische dienst in het Kempens Bekken buiten de KS concessie, een nieuwe prospectiecampagne inzetten, hetzij om de voortzetting van de steenkoolproductie vanuit de bestaande ontginningszetels te leiden, hetzij om nieuwe steenkoolvelden af te lijnen. De doelstellingen, exploratiemethoden en voorlopige resultaten van deze prospectie worden verder in dit verslag behandeld.

Verkenningboringen in de Kempen 1979-1988

Het ontginningsgebied van de Kempense Steenkoolmijnen beslaat slechts een klein deel van de totale oppervlakte van het Kempens Bekken. Algemeen wordt echter aangenomen dat over de gehele oppervlakte van de Kempen produktief steenkolenterrein aanwezig is, met steenkoolreserves die rond 5 miljard ton kunnen schommelen.

De hernieuwde steenkoolexploratie, aangevangen in 1979 en sinds enkele jaren geleidelijk uitgedoofd, helpt in deze leemte te voorzien. Gegevensverwerking bestond zowel uit seismisch onderzoek als uit verkenningboringen. Deze laatste verschaffen uiteraard goede puntgegevens i.v.m. steenkoolgehalte en potentiële ontginbaarheid van de aangeboorde lagen.

De exploratie werd zowel door Kempense Steenkoolmijnen als door de Geologische Dienst uitgevoerd, gebruikmakend van dezelfde methoden en dus onderling vergelijkbaar, maar toch met bepaalde accentverschillen. De KS concentreerde zich op het gebied direct aansluitend bij hun ontginningszone en technisch bereikbaar vanuit de bestaande of geplande (Waterschei III) schachten, waarbij vooral boringen werden uitgevoerd, met als doel de reserves op middellange termijn vast te stellen. De Belgische Geologische Dienst onderzocht meer noordelijke gebieden en steunde vooral op seismisch onderzoek, om nieuwe kolenvelden af te lijnen, met reserves nodig voor een lange termijnplanning.

Het spreekt vanzelf dat de bekomen resultaten niet alleen voor de conventionele ontginning nuttig zijn. Elke toekomstige exploitatie van welke aard dan ook steunt op nauwkeurige exploratiegegevens: Liquefactie van steenkool, methaangas produktie door gas-desorptie, of zelfs evolutie en migratie van het organisch materiaal voor aardgas exploratie in de bovenliggende (Buntsandstein) formaties.

Exploratie-gegevens

Steenkoolexploratie gebeurde voornamelijk in het gebied ten noorden van de exploitatiezone der KS. Uit Noord-Limburg of de Antwerpse Kempen zijn geen of vrijwel geen bruikbare gegevens bekend met betrekking tot steenkoolreserves. Voor het westelijk en zuidelijk deel van de Antwerpse Kempen lijken deze trouwens erg gering.

In het steenkoolexploratiegebied werden in totaal 53 verkenningsboringen uitgevoerd (44 door KS, 9 door BGD). Deze zijn erg ongelijk verdeeld, en duidelijk geconcentreerd in de strook rechtstreeks aansluitend bij de KS-ontginningen (tot 1 boring per 2 km²) en geleidelijk verminderend naar het noorden (tot 1 boring per 20 km²). Sommige gebieden, overdekt door een seismische opname, bezitten zelfs geen boringen (bijv. noorden van Olmen-Meerhout, Hoog van Bree...).

De diepte bereikt door de boringen is niet constant. Aanvankelijk bedroeg deze diepte ± 1.000 m voor de K.S. boringen en ± 1.300 m voor de Belgische Geologische Dienst boringen (meer naar het noorden gelegen, waarbij de top van het produktieve steenkoolterrein doorgaans ook dieper lag). Geleidelijk nam de diepte toe tot ± 1.350 m voor de KS boringen en ± 1.500 m voor de Belgische Geologische Dienst boringen, met 1.600 m als maximaal bereikte diepte. Deze diepteverschillen hebben natuurlijk een weerslag op de aangetoonde reserves. De waarde van de aangetoonde reserves wordt eveneens beïnvloedt door de densiteit aan boringen. Toch mag niet gesteld worden dat gebieden met weinig boringen onbetrouwbare resultaten opleveren, omdat de boringen zodanig ingeplant werden dat zij een representatief beeld verschaffen.

Reserve-berekening

Steenkool komt voor in honderd lagen met wisselende dikte en verbreiding, met gemiddeld 1 laag per 10 m. Slechts een gedeelte hiervan wordt exploiteerbaar geacht. Bij de reserveberekeningen worden zekere normen toegepast die alle tot andere cijfers leiden. De hier gebruikte cijfers steunen op algemene richtlijnen van de ECE (Europese Raad voor Energie) en zijn zeker toepasbaar op het Kempens kolenveld.

Als potentieel exploiteerbaar wordt beschouwd iedere laag met een macht (steenkoolgehalte) van meer dan 90 cm en een gewichtsverhouding van min. 50 % steenkool (m.a.w. de opening der laag mag de totale macht niet meer dan 1/3 overschrijden)... Bij de reserveberekeningen van de KS boringen werd soms van de strikte toepassing van de norm afgeweken (bijv. een laag met zeer constante dikte in reinkool kan meegerekend worden vanaf 85 cm terwijl dikkere lagen met een slecht dak en waarschijnlijk lastige ontginning uitgesloten worden).

De aldus berekende reserves liggen vervat in een beperkt aantal lagen, waarvan de gemiddelde dikte dus steeds boven de 90 cm ligt (cfr. tabellen 1a en 1b). Maximaal kan de dikte oplopen tot 3 m en dit is een vast gegeven in de Kempen.

Een laag met een opening van ± 150 m en een goede verhouding van reinkool, en met een coherent dak en vloer, biedt trouwens perspectieven voor een zeer lonende exploitatie !

De totale steenkoolgehalten die bekomen worden door alle dunnere lagen mee te tellen, liggen doorgaans 2 tot 4 maal hoger dan de hier voorgestelde reserves. Internationaal vergelekt men vaak de technische reserves in lagen van min. 60 cm steenkool. Het spreekt vanzelf dat ook deze waarden hoger zullen liggen.

De tonnenmaat (reserves in miljoen ton per km²) wordt berekend voor een steenkooldensiteit van 1.3 g/cm³. Voor deze studie is de dieptebegrenzing variabel. De top valt samen met de top van het produktieve steenkoolterrein (waar zij voorkomen zijn de Neeroeteren Zandsteen van Westphaliaan D ouderdom buiten beschouwing gelaten), zonder eventuele veiligheidsafstand onder de dekterreinen. De basis valt samen met de einddiepte van iedere afzonderlijke boring, schommelend tussen 850 en 1.600 m. Normaliter worden steenkoolreserves berekend tot een diepte van 1.250 m (soms 1.500 m, bij KS tot 1.000 m). Aangezien dit overeenkomt met de gemiddelde diepte van de boringen zijn op deze wijze betrekkelijk weinig fouten in de globale berekeningen geslopen. De meestal hellende lagen die en een bepaalde boring eventueel onder de exploitatiedrempel vallen, kunnen reeds in de directe omgeving wel voor ontginning in aanmerking genomen worden. De lengte van het produktief interval in iedere boring is dus verschillend. Diepe boringen met een grote kernlengte in het produktief Karboon kunnen op die wijze meer lagen aangeboord hebben en grotere reserves bereiken dan boringen waarin hetzelfde traject korter is. Een meer representatief beeld van de steenkoolreserves (steeds uitgedrukt in miljoen ton per km²) wordt bekomen door deze te berekenen voor een gelijk interval (hier werd 100 m genomen). De aldus bekomen waarden zijn meer representatief voor de steenkoolrijkdom van iedere plaats.

De boringen kunnen gegroepeerd worden in verschillende groepen, enigszins arbitrair ingedeeld in kolenvelden met gelijkaardige kenmerken: dezelfde steenkoolbundels, begrenzing door hoofdbreuken (Fig. 1). Ieder van deze kolenvelden of exploratiezones telt een meer boringen, waarbij gestreefd werd stukken die te ver van de boringen verwijderd liggen, buiten beschouwing te laten. Het aldus begrensde exploratiegebied bezit een grootte van 265 km², hetgeen overeenkomt met ongeveer de helft van de grootte van het gebied overdekt door seismische lijnen, maar bezit gemiddeld één boring per 5 km², hetgeen voldoende wordt geacht voor deze studie. De totale exploiteerbare reserves van ieder veld worden bepaald door de in-situ tonnenmaat (reserves per km²), verminderd voor onregelmatige lagen en versnijdingsverliezen (elk - 50 %) bij de conventionele ontginning.

De exploitierbare reserves vormen dus een kwart van de in-situ reserves aan potentieel ontginbare lagen. Voor niet conventionele winning van steenkolen mogen deze cijfers (van tabel 2) dus verviervoudigd worden.

Bespreking der resultaten

Relevante reservegegevens zijn opgesteld per veld (tabel: indeling op fig 1.) Een eerste in het oog springend resultaat is de beperkte variatie in dikte van de koollagen, met een gemiddelde macht van 123 cm, variërend tussen 118 en 128 cm per veld, en tussen 91 en 162 cm per boring, met een maximale dikte van 299 cm. Dit houdt verband met de oorsprong van de steenkool, afgezet in een lage alluviale vlakte, zeer gelijkmatig verdeeld over het parali-sche gebied van NW Europa (van de Engelse Midlands tot het Duitse Ruhrgebied). Dikke lagen (meer dan 3 m) zijn zeldzaam in het kolenbekken en wijzen op scharing: het lokaal samensmelten van 2 opeenvolgende steenkool-lagen, normaal gescheiden door een steriele tussenlaag. Er bestaat dan ook omzeggens geen verband tussen dikte van de lagen en steenkoolrijkdom van het veld, al is het statistisch gemakkelijk te verklaren dat boringen met een kort interval in het steenkoolterrein of slechts een beperkt aantal lagen niet de dikste lagen hebben aangetroffen.

De steenkoolrijkdom van de onderscheiden gebieden vertoont sterkere variaties. Dit wordt zowel aangeduid door de representatieve reserves (per 100 m interval) als door de exploitierbare tonnenmaat. Het verschil in steenkoolrijkdom tussen het rijkste gebied, Neeroeteren-Rotem, en het armste, Lommel ten noorden van Beringen, overschrijdt zelfs een factor 7. Deze verschillen zijn te wijten aan de aanwezigheid van andere steenkoolbundels, maar vooral aan de variatie in steenkoolrijkdom van deze bundels. Zo is voor het Westphaliaan C de bundel van Neerglabbeek zeer rijk in het veld van Neeroeteren-Rotem, maar zeer arm in het aangrenzende veld Meeuwen-Gruitrode (mogelijk met uitzondering van de top). De bundel van Meeuwen is daarentegen in dit laatste kolenveld wel rijker dan in het zuidelijke veld Waterschei III-Zwartberg, en beslist rijker dan in de velden ten noorden van Beringen en Lommel. Ook de bundel van Eikenberg in het Boven Westphaliaan B kent grote schommelingen in steenkoolrijkdom en is vooral rijk ten noorden van Beringen. Daarentegen was de nieuwe schacht Waterschei III ingeplant in een gebied waar deze bundel vrijwel steriel is.

De tonnenmaat berekend voor de velden Neeroeteren-Rotem (160 miljoen ton) en Eisden Noord (90 miljoen ton) stemt goed overeen met de gedetailleerde laag per laag studie uitgevoerd door mijnbouwstudnetten aan de KUL over hetzelfde gebied (250 miljoen ton). De snelle berekeningswijze die hier wordt voorgesteld geeft dus wel degelijk een representatief beeld.

De reserves voor Eisden Noord zijn wel onderschat door de geringe diepte van de boringen (± 1.000 m) t.o.v. de ontginningsdrempel (1.250 m).

De betrekkelijke geringe reserves voor Winterslag West zijn zowel te wijten aan het voorkomen van de ongunstige bundels (Beringen = Onder Westphaliaan A) en Eikenberg (Boven Westphaliaan B) als aan de ligging op een belangrijke flexuurzone met synsedimentaire werking waarvoor meer variatie optreedt in de sediment opeenvolging en de kans op dikke doorlopende steenkoollagen vermindert.

Naast de rijkste kolenvelden in het oosten van het steenkoolbekken (Neeroeteren-Rotem en Eisden-noord) vallen de betrekkelijke gunstig resultaten voor de exploratie ten noorden van Beringen op: de bundels van Genk (Westphaliaan A), As en Eikenberg (West-phaliaan B) bezitten alle een goede ontwikkeling van ontginbare lagen.

Het veld ten noorden van Zolder bezit slechts een gemiddeld steenkoolrijkdom. In vergelijking met Beringen, waar dezelfde bundels voorkomen, zijn de dikkere lagen onstandvastiger. Opvallend is wel de snelle laterale variaties in steenkoolrijkdom: de rijkste boring, KS 12, komt immers in dit veld voor (door het korte exploratie interval in boring KS 12 is de boring die de grootste reserves aangetoond heeft echter boring KB 168 van Opoeteren).

Globale Reserves

De totale conventioneel ontginbare tonnenmaat bedraagt voor het betrokken gebied 835 miljoen ton, overeenkomend met 3.340 miljoen ton in-situ reserves, aanwezig in dikkere koollagen.

Verwacht kan worden meer noordelijk gelegen exploratiegebied, waarvoor geen aangetoonde reserves beschikbaar zijn, armer aan steenkoolreserves zal zijn, waarbij de in Lommel gevonden tonnenmaat als een minimum kan gelden en die van Meeuwen-Gruitrode als een maximum (gemiddeld 1.4 miljoen ton/km²/100m). Door de geleidelijke verdikking van de dekterreinen zal het in aanmerking komend interval van Steenkoolterrein steeds dunner worden. Voor het noordelijke exploratiegebied kan aldus een in-situ tonnenmaat van 750 miljoen ton verwacht worden, wat het totaal op + 4.100 miljoen ton brengt.

Buiten deze reserves zijn nog aanwezig, maar met uitzondering van de eerste moeilijk becijferbaar:

- de aangetoonde reserves in het mijngebied (\pm 1.500 miljoen ton)
- de Westphaliaan A reserves in de Antwerpse kempen
- het Steenkoolterrein onder het Buntsandstein bekken van noord Midden-Limburg en in de Slenk in Roermond
- het diepere Steenkoolterrein onder de exploratiezone, en ten dele onder het mijngebied.

De vroeger geciteerde cijfers (min. 3 tot 5 miljard ton) kunnen dus geconfirmeerd worden.

Als algemeen besluit willen wij stellen dat de steenkoolreserves in de Kempen nog ruim voldoende zijn om verdere aanwending van steenkool als energiebron mogelijk te maken. Hierbij dient aangestipt dat grote lokale verschillen in steenkoolgehalte optreden, zoals aangetoond door de geologische exploratie, en dat bij iedere toepassing met geologisch vooronderzoek gerekend moet worden.

Mijnbouwmogelijkheden in Limburg

Ir. Francis Duvivier, Prof. Ing. Pierre Stassen en Dr. Roland Dreesen

Geachte vergadering,

alvorens over te gaan tot het thema "Mijnbouwmogelijkheden in Limburg", wens ik even terug te gaan in de geschiedenis van de Kempense Steenkoolmijnen.

In de loop van de jaren zijn er immers zoveel onomkeerbare beslissingen genomen in dit economisch toch belangrijke energiedossier. Beslissingen, die de geschiedenis en het voortbestaan van de K.S. medogenloos hebben beïnvloed.

Tot in de beginjaren '60 bedroeg de jaarlijkse produktie 10 à 11 miljoen ton.

In 1963 werd de eerste fusie Zolder en Houthalen verwezenlijkt.

In oktober 1966 wordt Zwartberg gesloten, de produktie daalde tot ongeveer 8 miljoen ton per jaar.

In 1967 werd besloten tot de oprichting van de Kempense Steenkoolmijnen (K.S.), fusie van de nog bestaande maatschappijen, met als hoofddoel het sluitingsproces verder te zetten.

Er werden toen 2 beslissingen genomen:

1. Om de reconversie van mijnwerkers voor te bereiden werd in Eisdon een industrieterrein opgezet, juist boven het rijkste kolenveld van Eisdon.
2. De pensioenleeftijd voor ondergrondse arbeid wordt in 2 stappen teruggebracht van 30 jaren naar 27 en 25 jaren.

Deze twee beslissingen zullen enkele jaren later reeds produktiviteit en kostprijs zeer negatief beïnvloeden.

In 1974 biedt zich een oliecrisis aan. De bevoorrading van België moet verzekerd blijven.

Er moet meer geproduceerd worden!

Maar:

1. In Eisden moeten kilometers lange steengangen gedolven worden om een nieuw kolenterrein te bereiken - steengangen delven kostte in die periode ongeveer 125.000 F per meter - want er mocht niet gedolven worden onder het gedeeltelijk in bedrijf zijnde industrieterrein (hier lagen niettemin 16 miljoen ton kolen onmiddellijk ontginbaar).
2. Om te produceren zijn er arbeiders nodig. De ervaren arbeiders met 25 jaren dienst verlaten de mijn (vroeger genomen beslissing). Zij worden vervangen door onervaren, nederlandsonkundige buitenlandse arbeiders,

met als gevolg:

1. Produktiviteitsdaling van 2.700 kg/man/post in 1970 tot 2.250 kg/man/post in 1975.
2. Stijging van de kostprijs van 937 tot 2.454 F/ton, met als resultaat hoog oplopende verliezen!

Vanaf dan kan men zeggen dat er eigenlijk nooit een lange termijn- planning voor K.S. geweest is, die nochtans noodzakelijk is voor een kolenontginning.

Het beheerscontract tussen de B.S., K.S. en N.M.N.S. voorziet in een financieringsenveloppe van 31,9 miljard voor een periode van 5 jaar van 1983 tot en met 1987. Reeds in 1985 werd dit beheerscontract in vraag gesteld door:

- hoog oplopende verliezen (buiten de voorziene enveloppe) omdat verkocht wordt aan de prijzen van ingevoerde kolen van lage kwaliteit,
- de regionalisering van de nationale sectoren bepaalt dat bijkomende verliezen, dus buiten de enveloppe, uit Vlaanderen moeten komen.

Tijdens besprekingen in Hertoginnendal in april 1986, verklaart de eerste minister dat de regering het volgende wenst:

1. het behoud van een belangrijke mijnactiviteit in Limburg,
2. herstructurering om te komen tot een aanvaardbaar permanent verlies,
3. uitspreiden van herstructurering over 10 jaar, begeleid met sociale maatregelen en reconversie- en diversificatieinitiatieven,
4. aanstelling van een crisis manager.

Na aanduiding van de manager is het in het Oosten van het bekken zeer snel gegaan. De zes schachten van Waterschei, Eisden en Winterslag waren reeds einde 1988 allemaal opgevuld.

Voor het Westen (Beringen en Zolder) werd een 10 jaren-planning met financiering voorzien (tot en met 1996). Maar reeds in maar 1989 wordt ook deze planning in vraag gesteld.

Men vraagt een aktualisering van het plan en de Vlaamse regering beslist ook het westen te sluiten met als streefdatums:

- ten vroegste op 1/01/1992
- ten laatste op 1/01/1993.

Het aanhouden van deze beslissing - en het dadelijk afvullen van al de schachten zoals in het oosten gebeurd is - zal een groot verlies betekenen van de nog beschikbare rijkdommen aan mijnbouwmogelijkheden in Limburg.

Huidige mijnbouwmogelijkheden

1. Concessies

De huidige concessie bedraagt op dit ogenblik nog 12.000 Ha, geen rekening gehouden met de beschikbare reserves B, en de noordelijke uitbreidingsmogelijkheden in de Kempense Staatsconcessie.

2. Infrastructuur

2.1. Schachten

Men beschikt op dit ogenblik nog over 6 toegankelijke schachten. Zij zijn uitgerust met een totaal van 9 ophaalmachines.

Een van de schachten, in Zolder, is uitgerust met een skipinstallatie met een ophaalcapaciteit van 1.000 ton/uur bruto.

Een van de schachten van Houthalen werd afgediept tot 1.050 meter om het nieuwe verdiep, waaraan reeds begonnen was, voor te bereiden.

Met de huidige aanwezige ventilatoren is er voldoende verluchttingscapaciteit.

2.2. Bovengrondse infrastructuur (summier)

- 2 kolenwasserijen
- 2 elektrische centrales - waarvan één met wervelbed
- 2 kolenhavens met infrastructuur voor vervoer en overladen
- vervoerband voor het sturen naar steenstort in Zolder
- mengcentrale voor kolen
- houtpark met infrastructuur
- werkhuizen
- 2 installaties voor mijngasextractie
- betoncentrale

2.3. *Ondergrond*

Modern steengangennet van meer dan 200 km met een doorsnede van 4,20 meter. Daarbij zijn de schachten van Beringen, Houthalen en Zolder onderling met elkaar verbonden door dubbele toegangsgangen.

Deze tunnels zijn volledig uitgerust voor:

- vervoer van personeel, kolen en materiaal
- aanvoer van energie (elektriciteit, perslucht en water)
- afvoer van bemalingswater dat afgevoerd wordt met krachtige bemalingspompen
- verluchttingscapaciteit opgevoerd door aanwezige hulpventilatoren

2.4. *Machines*

- Moderne delvingsmachines voor het delven van steengangen en galerijen
- afbouwmachines
- hydraulisch ondersteuningsmateriaal
- vervoerbanden

Professor Stassen zal hierover verder uitwijden.

En complément à ce que Monsieur Duvivier vient de vous exposer, il est opportun de rappeler que nos mines disposent des équipement les plus modernes, contrairement à ce que certains pensent.

Dans les chantiers d'abatage, l'équipement des tailles est identique à celui de toutes les belles mines d'Europe occidentale: convoier blindé ripable pour le transport du charbon en taille, rabot ou abateuse chargeuse à double tambour pour l'abatage mécanique du charbon suivant leur dureté, soutènements mecanises du type bouclier, très robustes et bien adaptés à la campagne.

Les voies de chantiers sont creusées mécaniquement à l'aide de machines à attaque ponctuelle, les travaux d'entretien du genre rabassenage sont exécutés à l'aide de machines Hausherr.

Le transport du charbon dans les voies de chantiers est assuré par convoyeurs à courroie à commande en série.

Dans les puits intérieurs ou burquins, il se fait par descenseur hélicoïdal. Le transport du matériel pour approvisionner les chantiers est assuré par mono-rail.

Etant donné les fortes pressions de terrains qui caractérisent le gisement de campine, les bouevaux sont revêtus soit de cloveaux de béton, soit de panneaux en béton armé placés mécaniquement à l'aide de machines de pose spécialement conçues à cet effet. Il existe actuellement 200 km de bouevaux ainsi revêtus dans les 3 dernières mines encore ouvertes.

Le forage des mines dans ces galeries est exécuté à l'aide de jumbos. Les mines disposent d'installations locales de réfrigération de l'air dans les quartiers chauds.

La surveillance de l'air de ventilation des tailles est assurée partout par des télégrisoumètres multifonctions qui transmettent leurs indications en surface. Ils sont capables de couper automatiquement l'alimentation en courant électrique des tailles, si la teneur en grisou dépasse un certain seuil.

Le captage du grisou a été appliqué systématiquement dans les mines de Campine depuis 1915. Des millions de mètres cubes de grisou ont ainsi été captés et valorisés.

Les mines possèdent également des télévigiles, installations qui, depuis la surface permettent de surveiller et de contrôler la marche de tous les engins dans tous les chantiers. Le transport dans les réseaux d'ossature est assuré par trains de berlines tirés par locomotives diesel. Les trains de berlines sont orientés, à partir d'un dispatching situé en surface, vers les chantiers, en fonction des besoins en berlines vides.

Les machinistes des locomotives sont en liaison directe et permanente avec le dispatching, à l'aide d'appareils radios spécialement conçus pour fonctionner en milieu confiné. Dans les puits, l'extraction est assurée par skips.

Il existe encore de nombreux autres équipements auxiliaires dont il serait trop long de parler ici, mais ce tableau vous montre que les mines de Campine ont suivi l'évolution extraordinaire qui s'est produite dans la mécanisation et l'automatisation des travaux miniers au cours de ces 30 dernières années.

Je passe la parole maintenant au Dr. Roland Dreesen, chef du Département Ressources Naturelles à l'Institut Scientifique de Service Public de Liège, qui vous parlera de la "Planification et conduite optimisées des exploitations fondées sur l'interprétation des données géologiques et leur traitement automatique en cours de l'exploitation".

Geoptimaliseerde planning en steenkoolontginning op basis van geologische gegevens.

Het onderzoeksproject heeft als doel het voorspellen van de samenstellingen van diverse steenkoollagen die worden afgebouwd in verschillende pijlers, binnen twee aangrenzende exploitatiezetels van het Kempens steenkoolbekken (de Zetels Beringen en Zolder van de N.V. Kempense Steenkoolmijnen). Deze voorspellingsmethode is gebaseerd op de interpretatie van computer-verwerkte geologische data, afkomstig uit het mijnarchief of verworven tijdens de ontginning.

Na de keuze van de te bestuderen steenkoollagen, pijlers en zones, werd een groot gedeelte van het onderzoeksproject in beslag genomen door het sorteren en het evalueren van de mijnarchieven in de mijnzetels. Ondanks het ondankbare en tijdrovende karakter hiervan, is het van groot belang geweest voor het volgende stadium van het project: namelijk het coderen en de computer-verwerking der geselecteerde gegevens. Een strenge selectie bleek inderdaad onontbeerlijk gezien de grote verscheidenheid en sterk uiteenlopende waarde der beschikbare gegevens (meestal handgeschreven data of manueel getekende documenten daterend van de eeuwwisseling tot heden).

Voor de automatische verwerking der gegevens werd er de voorkeur gegeven aan het aanpassen van bestaande software pakketten eerder dan aan de ontwikkeling van nieuwe programma's. Zo werden dan verschillende procedures van de Star Topographic software opnieuw geprogrammeerd en werd er voor de gegevens van de Kempense mijnzetels een aangepaste geologisch databank ontworpen. Deze geologische databank bevat verschillende types van kaartsystemen die automatisch kartografische, lithologische en lithostratigrafische verwerkingen mogelijk maken. Tenslotte werd er, aan de hand van enkele recente toepassingen in de mijnzetels, een evaluatie gemaakt van de verschillende door de computer gerealiseerde grafische documenten als voorspellingshulpmiddel. In de loop van de afbouw is het merendeel der voorspellingen die gebaseerd waren op deze grafische documenten, bevestigd geworden. Evenwel zijn we slechts ten dele tegemoet kunnen komen aan dringende vragen in verband met de ontginbaarheid van bepaalde pijlers, omwille van de konstante veranderingen in de planning, en dit tengevolge van de recente economische recessie van de steenkoolontginning in de Kempen.

Door het digitaliseren van de verschillende types van mijnkaarten zijn automatische afdrukken mogelijk (op eenderwelke schaal) hetgeen een aanzienlijke tijdswinst betekent voor de mijnmeters.

In de loop van het onderzoek is dan duidelijk gebleken dat de contourkaart, gerealiseerd door automatische routines, en vooral dan de isopachenkaart in

combinatie met de mijnkaart , een der meest nuttige grafische documenten uitmaakt voor de planning der ondergrondse werken. Inderdaad, er kunnen nu duizenden handgeschreven gegevens uit de notaboeken van de mijnmeters (opmetingen, langsheen het front , van de respektievelijke diktes of "machten" van de koollagen en van hun tussengesteenten) eenvoudig ingegeven worden in de databank en door de computer verwerkt worden tot isopachenlijnen. Deze isopachenlijnen kunnen dan geëxtrapoleerd worden naar onbekende of weinig verkende panelen, waardoor de respektievelijke dikten van de koollaag en van het steriel tussengesteente kunnen voorspeld worden.

De geoloog van de mijnzetel beschikt voortaan tevens over een grafisch instrument om automatisch lithologische of sedimentologische logs te tekenen, waarvan de analyse en de interpretatie kunnen helpen bij het voorspellen van de ontginbaarheid van bepaalde steenkoollagen evenals bij het voorspellen van geologische hindernissen tijdens de afbouw. Daarenboven maakt een automatische lithostratigrafische correlatie van deze lithologische logs het mogelijk waaier- of paneeldiagrammen te tekenen, die de evolutie in tijd en ruimte illustreren van een stratigrafisch interval bestaande uit verschillende koollagen en de ermee geassocieerde siliciclastische gesteenten, en dit over het gebied van twee aangrenzende zetels. Deze lithostratigrafische waaierdiagrammen (fence diagrams) laten o.a. toe het fossiele fluviatiele systeem te reconstrueren (identificatie en ligging van de verschillende types zandsteenlichamen) en hierdoor potentieel gevaarlijke zones voor de afbouw af te bakenen ("washouts" en hiermee geassocieerde risico's).

Door een te lage densiteit van ondergrondse kernboringen en door de onnauwkeurigheid of zelfs door het totale ontbreken van enige informatie over de juiste lithologische natuur der verschillende "steriele" gesteenten die met de koollagen zijn geassocieerd, was het helaas niet mogelijk om dak- en muurkaarten (isopachen-of isolithenkaarten) voor de respektievelijke in afbouw zijnde koollagen te realizeren. Nochtans zijn dit soort kaarten een waardevol hulpmiddel bij het voorspellen van geologische gevaren voor de ontginning, zoals: instortende daken , opsplitsingen, washouts, enz.

Het gebruikte computersysteem en de voorgestelde databank zijn slechts werktuigen die noch uniek noch zeer gesofistikeerd zijn. Er bestaan inderdaad verschillende zogenaamde "geografische informatie systemen" op de markt die aan de hier gevraagde eisen voldoen en die bevredigende resultaten opleveren, die vergelijkbaar zijn met de verschillende toepassingen uit dit projekt.

Anderzijds is de geologische benadering bij het interpreteren van computer-verwerkte gegevens van veel groter belang: immers, de identificatie van potentiële geologische obstakels vereist een geologisch model van de steenkoolafzetting, dat niet alleen op tektonische parameters berust maar ook, en vooral in het geval van steenkool, op geologische parameters van sedimentaire oorsprong. Dit geologisch model is noodzakelijk gebaseerd op voldoende, betrouwbare en nauwkeurige gegevens, afkomstig uit een voldoende aantal en optimaal gespreide observatiepunten (bij voorkeur gekernde boringen).

Het is vanzelfsprekend dat zelfs het meest gesofistikeerde computersysteem (CAD) totaal ondoeltreffend zal zijn zonder voldoende en betrouwbare basisgegevens. De betrouwbaarheid van de geologische (sensu lato) waarnemingen is dan ook een voorwaarde "sine qua non" voor een optimale planning der ondergrondse mijnactiviteiten.

Deze betrouwbaarheid kan in grote mate opgevoerd worden door een bijkomende geologische opleiding van de mijnmeters (én van de mijningenieurs) en door een verhoogd aantal ondergrondse kernboringen. Om de produktieverliezen tot een minimum te beperken zou men daarenboven tijdens de verschillende stadia van de planning op het advies van de geoloog beroep moeten doen.

Ik verleen graag terug het woord aan Ir. Duvivier, die U de toestand van de steenkoolreserves binnen KS zal toelichten.

Ontginbare steenkoolreserves in het westelijk bekken

1. Toestand Beringen - Zolder
2. Als minimummacht wordt 0,85 m aangenomen
3. Bij de berekening worden volgende coëfficiënten in acht genomen:
 - panelen die zeker zijn berekend à 90 %
 - panelen die waarschijnlijk zeker zijn berekend à 70 %
 - mogelijke afzettingen berekend à 50 %

Ik geef U hierbij aan de hand van de mijnkaart, de situatie per 1 juli 1988, en dit voor de ontginbare steenkool BINNEN de huidige concessie:

1. Onmiddellijk bereikbaar vanaf het bestaande steengangennet	65.310.391	ton
2. Op - 1.000 m mits uitbreidingsnet en uitbreiding in de Kempense Staatsconcessie	123.101.800	ton
3. In de noordelijke uitbreidingszone	166.542.458	ton
Totaal	354.954.649	ton

Er zijn dus in Zolder - Beringen nog enorme kolenreserves, goed voor exploitatie van ruim 200 jaar!

Blijft men bij de beslissing om effectief te sluiten en gaat men over tot het dumpen van de schachten, dan zal men niet meer over deze reserves kunnen beschikken.

In Duitsland heeft men dit reeds lang ingezien en houdt men angstvallig de bestaande infrastructuur om van daaruit opnieuw op grotere schaal te ontginnen (vb. Haus Aden). Bij sluiting zijn de enorme kolenreserves definitief verloren is en zijn wij op energiegebied volledig van het buitenland afhankelijk.

Besluit

De beschikbare kolenreserve bedraagt 350 miljoen ton.

Naast de materiële infrastructuur en technische mogelijkheden, beschikt het personeel over de nodige knowhow.

Samengevat kan men besluiten dat de huidig aanwezige exploitatie-infrastructuur een kapitaal vertegenwoordigt van minimaal 250 miljard belgische frank.

Het definitief sluiten van de nog bestaande mijnen en het dumpen van de schachten zal voor de staat een enorm eigendomsverlies betekenen, aan materiaal, aan steenkoolreserves, en aan know-how.

Dank voor uw aandacht.

Versuchstechnische Möglichkeiten zur veredlungstechnologischen Bewertung von Kohlen

Dr.-Ing. Werner März (Vortragender)

Prof. Dr.-Ing. Erhard Klose

Bevor ich die versuchstechnische Möglichkeiten zur veredlungstechnologischen Bewertung von Kohlen am Deutschen Brennstoffinstitut und der Bergakademie Freiberg vorstellte, möchte ich einleitend eine Übersicht zur thermisch-chemischen Steinkohlen-veredlung zeigen.

Übersicht zur thermisch-chemischen Steinkohlenveredlung

Dargestellt und erläutert werden die Veredlungstechnologien

- Entgasung,
- Vergasung und
- Hydrierung

sowie die in diesen Prozessen gewinnbaren Produkte.

Im Jahre 1990 wurden am Deutschen Brennstoffinstitut und der Bergakademie Freiberg belgische Steinkohle hinsichtlich ihrer veredlungstechnologischen Eigenschaften auf der Grundlage von petrologischen, chemisch-physikalischen und laboratoriumsmäßig technologischen Untersuchungen bewertet.

In den nachfolgenden Vorträgen werden Ihnen die Ergebnisse vorgestellt, die eine orientierende Beurteilung der Veredlungseigenschaften dieser Kohlen gestatten und die Grundlage für die Auswahl weiterer verfahrensorientierter Untersuchungen bilden. Ich möchte Ihnen nun einen kurzen Überblick zu den wichtigsten versuchstechnischen Möglichkeiten, die am DBI und der BA Freiberg vorhanden sind, geben.

Deutsches Brennstoffinstitut Freiberg

Zur mechanischen Veredlung von Kohlen besitzt das DBI alle Voraussetzungen zur Lösung brikettiertechnischer Probleme einschließlich der Vorbereitung des zu brikettierender Gutes. Die technischen Voraussetzungen des DBI ermöglichen sowohl im Labormaßstab als auch in einer halbindustriellen Brikettier-technischen Versuchsanlage Arbeiten zu den Untersuchungs-komplexen

- Grob- und Feinzerkleinerung von Förderkohle und ähnlichen Materialien,
- Trocknung,
- Siebung und Feinstzerkleinerung trockener Güter,
- Verdichtung feinstgemahlener Güter und
- Verpressung nach unterschiedlichen Preßprinzipien mit und ohne Bindemittel.

Damit ist eine umfassende Bewertung zur Brikettierbarkeit verschiedenster Produkte gewährleistet.

Die Brikettiertechnische Versuchsanlage ist eine kontinuierlich arbeitende halbindustrielle Brikettieranlage mit einer Durchsatzleistung von 0,2 - 2 %.

Brikettiertechnische Versuchsanlage - Strangpresse

Brikettiertechnische Versuchsanlage - Röhrentrockner

Von den Veredlungsmöglichkeiten für Kohle kommt denen der Entgasung eine besondere Bedeutung zu, weil deren Hauptprodukte (Koks, Flüssigprodukte, Gas) Einsatzstoffe für viele Industriezweige und/oder Energieträger sind.

Die vorhandenen Laboreinrichtungen gestatten eine Bewertung der Entgasungseignung von Kohlen sowie eine Aussage zur Menge und Qualität der Entgasungsprodukte, selbstverständlich auch bei verschiedenen Entgasungstemperaturen und Aufheizgeschwindigkeiten. Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen können in einer halbtechnischen und kontinuierlich arbeitenden Entgasungsanlage auf ihre Reproduzierbarkeit unter praxisnahen Bedingungen überprüft werden. Die kleintechnische Verkokungsanlage des DBI mit einem Spülgastrockner und Vertikalkammerverkoker zur Entgasung stückiger, nichtbackender Kohlen läßt Durchsatzleistungen von 20 kg Kohle/h zu.

Kleintechnische Verkokungsanlage

Seit 1981 beschäftigt sich das DBI mit der Entwicklung eines neuartigen Verfahrens zur Hydrierung von Braunkohle ohne Katalysatorzusatz in der Sumpfhase. Die errichtete kleintechnische Versuchsanlage wird seit 1983 betrieben. Die Technologie des Verfahrens wird genauer im Vortrag von Herrn Dr. Mehnert beschrieben.

Die Anlage besteht aus den Hauptteilen:

- Gasspeicher mit Verdichterstation und Einrichtung zur Herstellung von Gas-gemischen,
- Kohleanmischung mit Kugelmühle und Kreiselmischer,
- Hydrierteil mit Maischepumpen, Vorheizer, Reaktor, Abscheider, Entspannungs-vorrichtungen,
- Destillationsanlage für die Produkttrennung und Maischölrückgewinnung.

Der Hydrierteil als Herzstück der kleintechnischen Versuchsanlage erlaubt die Einstellung folgender Parameter:

- | | |
|-----------------------|-------------------------------|
| - Druck | bis 30 MPa |
| - Temperatur | bis 480 °C |
| - Maischedurchsatz | 1 ... 5 kg/h |
| - Hydriergasdurchsatz | 1 ... 5 m ³ i.N./h |

Die Kohlekonzentration in der Maische kann bis zu 50 M.-% betragen.

Als Hydriergas sind wasserstoff und H₂-CO-Mischungen einsetzbar. Es kann mit und ohne Katalysator gearbeitet werden. Eine umfang-reiche meßtechnik erlaubt die präzise Auswertung der Versuche.

Die möglichen Arbeiten zur Kohleverflüssigung umfassen:

- Laboratoriumsuntersuchungen an Einsatzkohlen, Maischölen und Produkten,
- Prüfung der Eignung von unterschiedlichen Einsatzkohlen von Braunkohle bis Steinkohle,
- Untersuchung spezieller Hydriersysteme, z. B. H₂/CO/H₂O,
- Untersuchung unterschiedlicher Katalysatoren,
- katalytische Hydrierung asphaltenreicher Teere.

Außerdem sind Untersuchungen zum Werkstoffverhalten möglich.

Kleintechnische Hochdruck-Versuchsanlage

Die Festbettdruckvergasung ist bekanntlich ein Verfahren zur Erzeugung von Stadt- und Synthesegas in ruhender Schüttung mit Wasserdampf und Sauerstoff als Vergasungsmittel im Gegenstrom, unter einem Druck von 2,0 bis 3,0 MPa. Die Bewertung der Vergasungseignung eines Brennstoffes wird am Deutschen Brennstoffinstitut an Hand folgender Untersuchungskomplexe vorgenommen:

- Petrologische und chemische Untersuchung von festen Brennstoffen,
- Vorausberechnung von Vergasungsergebnissen mittels zuverlässiger mathematischer Modelle,
- Spezielle Untersuchungen zum Verhalten der Mineralbestandteile von festen Brennstoffen unter den Bedingungen der Festbettdruckvergasung,
- Untersuchungen zum Zerfallsverhalten fester Brennstoffe unter generator-ähnlichen Bedingungen,
- Vergasungsteste unter Druck in Technikumsanlagen im Kilogramm-Maßstab,
- Ermittlung von Einsatz- und Ausbeutekennziffern für unterschiedliche Betriebsbedingungen,
- Untersuchungen zur Auswahl und Optimierung geeigneter Trocknungstechnologien für den Rohbrennstoff,
- Ausarbeitung technischer Konzeptionen für komplette Druckvergasungsanlagen zur Erzeugung von Stadtgas, Synthesegas und Heizgas einschließlich Anpassung an den zur Verfügung stehenden Rohbrennstoff.

Zur Vergasung von staubförmigen Brennstoffen unter Druck wurde unter Federführung des Deutschen Brennstoffinstitutes ein neues Verfahren entwickelt. Das Verfahren ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Vergasung von Kohlenstaub mit Sauerstoff nach dem Prinzip der Partialoxydation in einer Flammenreaktion bei Temperaturen oberhalb des Schmelzbereiches der mineralischen Bestandteile,
- Betriebsdruck ca. 3 MPa,
- Zuführung und Dosierung des Staubes durch ein neu entwickeltes Dichtstrom-Fördersystem mit gasförmigen Trägermedien,
- Gemeinsame Abführung von flüssiger Schlacke und Rohgas aus dem Hochtemperatur-Reaktionsraum.

Das Verfahren ist besonder geeignet zur stoffwirtschaftlichen Verwertung von Kohlen mit hohem Aschegehalt oder von salz- bzw. alkalireichen Brennstoffen wie salzhaltiger Rohbraunkohle. Produziert wird ein CO/H₂-reiches Gas, das nach verfügbaren Auf-bereitungsstechnolgien als Synthesegas für Methanol-, Ammoniak- oder Kohlenwasserstoff-Synthesen, als Hydrierwasserstoff insbesondere für die Kraftstofferzeugung aus Kohle durch Hydrierung, als metallurgisches Reduktionsgas, als Gas für die öffentliche Versorgung oder für die umweltfreundliche Beheizung von Industrieöfen, Gasturbinen und Dampferzeugern herangezogen werden kann.

Das Verfahren ist in einer Demonstrationsanlage großtechnischer Dimension erprobt worden.

Zur Bewertung von Brennstoffen in- und ausländischer Kunden steht eine Pilotanlage für 5 bis 10 t Tagesdurchsatz zur Verfügung. Die Palette der in dieser Anlage erfolgreich durchgesetzten Brennstoffe reicht von stark salzhaltiger Braunkohle über Braun- und Steinkohle mit Aschegehalt über 40 % bis zu Schwel- und Hochtemperaturkoksen und kohlenstoffhaltigen festen Rück-ständen. Auf der Basis solcher Versuche und spezieller Laboratoriumtests zur Beurteilung von Brennstoffeigenschaften, die für die Staubvergasung wesentlich sind sowie eines umfangreichen Know-how können den Bedingungen und Wünschen des Kunden angepaßte technische Konzeptionen für komplette Anlagen - von der Aufbereitung der Rohkohle bis zum synthesefertigen Gas - ausgearbeitet werden.

Reaktor der halbtechnischen Versuchsanlage zur Staubdruck-vergasung

Blick auf die Versuchsanlagen zur Vergasung von Brennstäuben

Bergakademie Freiberg Wissenschaftsbereich Reaktions- und Brennstofftechnik

Der Wissenschaftsbereich Reaktions- und Brennstofftechnik an der Bergakademie Freiberg, dessen Leiter Herr Prof. Dr. Klose ist, beschäftigt sich neben der Lehre vorrangig mit der Entwicklung der Grundlagenforschung und Entwicklungsarbeiten der Brennstoff-technik. In diesem Zusammenhang sind nicht nur labor- und kleintechnische Versuchsanlagen für die Prozesse der Stoff-wandlung vorhanden, sondern selbstverständlich auch die Einrichtungen zur eindeutigen Charakterisierung der Kohle-produkte. Bekanntlich lassen sich die Eigenschaftsmerkmale von Kohleprodukten in zwei große Gruppen einteilen:

1. chemische Kennwerte
2. physikalische Kennwerte

Kennwerte zur Qualitätscharakterisierung von Kohleprodukten

Neben den Eigenschaftsmerkmalen der einzelnen Produkten spielen bei den Kohleprodukten und deren Herstellung noch Untersuchungsmethoden eine Rolle, welche die bei der Stoffwandlung auftretenden Prozesse charakterisieren. Als wichtigste Untersuchungsmethoden zur Charakterisierung der thermischen Prozesse und zur Interpretation der Vorgänge lassen sich nennen:

- Thermogravimetrie (TG)

Thermogravimetrische Messungen geben Aufschluß über den Ablauf von chemischen Reaktionen oder physikalischen Vorgängen, die mit einer Masse-änderung verbunden sind.

Als meßgerät dient eine Thermowaage.

Thermogravimetrie (Thermowaage)

Die an einer Feder aufgehängte Probe, die sich in einem Metall- bzw. Quarzglasrohr befindet, kann bis zu 1000 °C erhitzt werden. Die dabei auftretende Masse-abnahme der Probe wird über einen induktiven Geber, der die Veränderung der Federstellung erfaßt, gemessen.

Vorhandene Einrichtungen gestatten die Untersuchung von feinkörnigen Proben bis 200 mg und stückigem oder geformtem Probematerial bis 500 g in beliebiger Gasatmosphäre bis zu Aufheizgeschwindigkeiten von maximal 20 K/min.

- Thermovolumetrie (TV)

Zur Untersuchung der Gasabspaltung bei der Pyrolyse von Kohleprodukten wird die TV benutzt. Aus den Gasabspaltungskurven kann man Rückschlüsse ziehen auf die Art der Abspaltreaktionen und auf den Reaktionsablauf. Für TV-Messungen stehen mehrere Einrichtungen zur Verfügung, die Untersuchungen bis 1000 °C gestatten. Bei Einwaagen zwischen einigen Gramm und mehreren Kilogramm sind Aufheizgeschwindigkeiten bis maximal 20 K/min möglich; in einer besonderen Einrichtung lassen sich mit Probenmengen von einem Gramm Versuche zur Schnellentgasung mit Aufheizgeschwindigkeit von rd. 1000 K/min durchführen.

- Differentialthermoanalyse (DTA)

Mit der DTA können exotherme und endotherme chemische oder physikalische Effekte sowie Umwandlungen, die eine Änderung der Wärmeleitfähigkeit oder der spezifischen Wärme bedingen, nachgewiesen werden. Die zu untersuchende Probe wird unter den gleichen Bedingungen aufgeheizt, wie eine inerte Vergleichsprobe. Infolge der genannten Effekte ergeben sich dabei in der Probe Temperaturabweichungen gegenüber der Inertsubstanz. Diese Abweichungen trägt man über der Temperatur auf und kann sie qualitativ und quantitativ auswerten.

Schema des Differentialkreislaufreaktors mit Thermowaage

Die Apparatur selbst besteht aus Quarzglasteilen, die durch Schlaustücke miteinander verbunden sind. Im eigentlichen Reaktorteil ist die Thermowaage untergebracht, die prinzipiell den gleichen Aufbau aufweist, wie die im Bild 9 beschriebene. Das verwendete Reaktionsgas wird einem Vorratsgefäß entnommen und der dem Reaktor zugeführte Volumenstrom mit einem Kapillarströmungsmesser quantitativ erfaßt.

Nach Austritt aus dem Reaktor wird das Gas gekühlt und durch eine Gaspumpe wider dem Reaktor zugeführt. Da die Kreislaufmenge ein vielfaches der zugeführten Menge beträgt, wird aus dem Kreislaufsystem nur so viel abgeführt, wie dem System zugeführt wird, unter Berücksichtigung einer Volumenänderung durch ablaufende Reaktionen, so daß letztlich der Systemdruck konstant bleibt. Das austretende Gas wird gemessen und gaschromatographisch analysiert.

Mit dieser Anordnung ist man bei Ablauf nur einer Reaktion in der Lage, auf zwei unabhängigen Wegen die Reaktionsgeschwindigkeit zu ermitteln: einmal über die Messung von Gaskonzentration und Volumenstrom und zum anderen über das Thermowaagensystem.

Das Thermowaagensystem liefert darüber hinaus die momentane Bezugsmasse, die sonst nur über eine Bilanzrechnung anhand der Gaskonzentration über die Zeit und den Volumenstrom ermittelbar wäre.

Die vorhandene Apparatur gestattet Messungen unter folgenden Bedingungen:

Temperaturbereich	20 bis 1000 °C
Aufheizgeschwindigkeit	10 bis 15 K/min
Druck	1 bis 30 bar
Versuchsatmosphäre	Luft, N ₂ , CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄
Probenmengen	100 bis 500 mg

Die im Wissenschaftsbereich Reaktions- und Brennstoff-technik der BA Freiberg vorhandenen Versuchsanlagen zur Entgasung und Hydrierung werden in den Vorträgen von Herrn DR. Kuchling erwähnt.

Abschließend sollen in diesem Übersichtsvortrag noch die kleintechnischen Versuchsanlagen für Untersuchungen zum Aktivierungsverhalten von Kohlenstoffmaterialien genannt werden.

- Drehrohrofen für Laborversuche

Schema der Versuchsanlage zur Aktivierung

Die Versuchsanlage erlaubt, unter eindeutigen und reproduzierbaren Bedingungen ein homogenes Endprodukt von 50 bis 100 g zu erzeugen. Nach Erreichen der gewünschten Reaktionstemperatur, wird über die Schüttung das Aktivierungsmedium, meist überhitzter Wasserdampf, geleitet. Bei Aktivierung mit reinem Wasserdampf werden, je nach Art des Rohstoffes und der Reaktionstemperatur, 30 bis 70 M.-% des Reaktionsmittels umgesetzt. Der Rest wird nach dem Reaktor kondensiert. Die Wasserdampf-menge beträgt 200 g/h.

Von dem aktivierten Gut werden die durch den Prozeß entstandenen Unterkornanteile und folgende Parameter ermittelt:

- Der Kornzerfall während der Aktivierung
- der Aschegehalt
- die Mechanischen Eigenschaften (Schütt- und Rütteldichte, Rohdichte, Porengroßen-Verteilung, spezifische Oberfläche und mechanische Festigkeit,
- die Adsorptionseigenschaften.

Während des Versuches werden neben den Prozeßparametern und der Aktivierungsgasmenge die Masse des nicht umgesetzten und kondensierten Wasser-dampfes, das Reaktionsvolumen und die Gasanalyse ermittelt.

In einer "großen Versuchsanlage" können 1 bis 3 kg Produkte gewonnen werden: eine Menge die ausreicht, um außer Laboruntersuchungen noch Technikums-versuche beim Anwender der Aktivkohle durchzuführen. Mit diesen Produkten lassen sich also für die Rohstoff-testung weitgehende Aussagen gewinnen.

- Wirbelschichtapparatur

Die Aktivierung von Kohlenstoffmaterialien in der Wirbelschicht ist gegenüber der Prozeßführung in durch- oder überströmten Ruheschichten mit wesentlichen Vorteilen verbunden. Neben einer Laborapparatur (D = 20 mm) ist eine halbtechnische Anlage (D = 120 mm) konzipiert worden.

Schema der halbtechnischen Versuchsanlage zur Aktivierung in der Wirbelschicht

Die Wärmezufuhr erfolgt allein über das Wirbelmedium, welches in einer keramischen Brennkammer durch Verbrennung von Erdgas und Zumischung des Aktivierungsdampfes erzeugt wird. Der zylindrische Innenraum der Brennkammer mißt 200 mm im Durchmesser und 650 mm in der Höhe.

Der Drallbrenner kann mit maximal 2 m³i.N./h Erdgas geaufschlagt werden. In die Brennkammer münden die Zuführungsleitungen für den Aktivierungsdampf und das Rückgas. Möglichkeiten der Temperatur- und Druckmessung sowie der Entnahme von Gasproben sind gegeben.

Auf die Brennkammer aufgesetzt ist der mit einem Lochboden aus Sicromal versehene Wirbelschicht-reaktor von 120 mm Durchmesser und 400 mm Höhe (zylindrischer Teil). Zur Verminderung des Gutaustrages mit dem Gasstrom ist das Oberteil konisch erweitert. Über seitlich in verschiedenen Höhen (maximal 400 mm) angeordnete, einzeln verschließbare Öffnungen wird das aktivierte Gut in einen Behälter ausgetragen. Das vom Gasstrom mitgerissene feinkörnige Gut wird von zwei hintereinandergeschalteten Zyklonabscheidern zurückgehalten und in Sammelgefäßen aufgefangen.

Das gereinigte Gas durchströmt einen Röhrenkühler und wird durch ein Drehkolbengebläse wahlweise in die Brennkammer zur Temperierung des Wirbelmediums oder ins Freie gefördert. Zur Versuchsüberwachung und -auswertung sind an den erforderlichen Stellen Möglichkeiten der Temperatur-, Druck- und Mengenmessung vorhanden; gleiches gilt für die Kontrolle der Gaszusammensetzung.

Zur Kontrolle des Wirbelschichtzustandes sowie der Bettausdehnung sind Druckmeßstutzen über die gesamte Höhe des Reaktors angeordnet.

Meine Damen und Herren,

dieser kurze Überblick hat Ihnen gezeigt, daß am DBI und der BA Freiberg labor-, klein- und halbtechnische Voraussetzungen vorhanden sind, um Kohlen sowohl umfassend chemisch-physikalisch zu charakterisieren, als auch hinsichtlich ihrer veredlungs-technologischen Eigenschaften zu bewerten und zu testen.

Im Anschluß an meine Ausführungen sehen Sie noch einige Videobilder von Versuchseinrichtungen am DBI und der BA Freiberg, die dankenswerter Weise von Herren des Europäischen Studienkomitees aufgenommen wurden.

Physiko-chemische Charakterisierung von Kohlen

Dr.-Ing. Thomas Kuchling

Dr. rer. nat. Eberhard Künstner

Einleitung

Steinkohlen sind, wie die anderen Kohlearten auch, Naturprodukte, deren chemische, physikalische und technologische Eigenschaften von den pflanzlichen Ausgangsstoffen und vor allem von den Bedingungen während der Inkohlung abhängig sind. So unterscheiden sich die Eigenschaften (und damit auch das technologische Verhalten gegenüber den verschiedenen Veredlungsverfahren) von Kohlen unterschiedlicher Lagerstätten, aber auch innerhalb eines Flözes teilweise sehr stark. Durch physikalische und chemische Untersuchungsmethoden, die überwiegend in Standards, z.B. DIN-Vorschriften (1), festgeschrieben sind, können bereits ohne größeren versuchstechnischen Aufwand wertvolle Aussagen gewonnen werden.

Inkohlungsgrad

Entscheidende Bedeutung für die technologische Einsetzbarkeit der Kohlen ist der Inkohlungsgrad, d.h. das Stadium, in welchem die Kohle im Inkohlungsprozeß stehengeblieben ist. Der Inkohlungsgrad ist nicht direkt meßbar. Einige Kohleeigenschaften jedoch verändern sich systematisch und sehr regelmäßig während der Kohlebildung, so daß diese als Maß für den Inkohlungsgrad herangezogen werden können. Solche Kenngrößen sind beispielsweise die Elementarzusammensetzung, der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen und auch das Reflexionsvermögen des Haupt-macerals Vitrinit.

Die Vitrinitreflexion wird entsprechend internationaler Festlegungen durch Auflichtmikroskopie an polierten Kohlekornanschliffen bestimmt (2-6). Bild 1 zeigt den Zusammenhang zwischen Reflexionsvermögen und dem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen, wie er für deutsche Kohlen gefunden wurde (7). Die Zuordnung der verschiedenen Kohlearten entsprechend der deutschen Nomenklatur ist mit eingetragen. Es wurden für die 3 untersuchten belgischen Kohlen folgende Vitrinitreflexionen festgestellt:

- Flammkohle:	0,83 %
- Koks-kohle:	0,98 %
- Spezialkohle:	1,01 %

Damit werden

- die Flammkohle als *Gasflammkohle* mit einem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen zwischen 37 und 38 % ausgewiesen, wobei Reflexionseinzelnwerte sowohl im Flamm- als auch im Gaskohlebereich liegen,
- die Koks-kohle sowie die Spezialkohle dagegen als *Gaskohlen* mit einem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen von ca. 33 bis 34 %. Dabei weisen einige Vitrinitanteile sowohl Gasflammkohlenreflexionen als auch Übergänge im Grenzbereich zur Fettkohlenreflexion auf.

Die experimentell ermittelten Anteile an flüchtigen Bestandteilen liegen im Bereich zwischen 32,2 % und 34,7 %, so daß sich die im Diagramm eingetragene Lage für die untersuchten 3 Kohlen ergibt. Für die Koks- und Spezialkohle stimmen die Ergebnisse gut mit den Erwartungen auf der Basis der Vitrinitreflexion überein, für die Flammkohle liegt die experimentelle Wert etwas niedriger. Trotzdem ist bereits anhand dieser Ergebnisse ersichtlich, daß alle 3 Kohle sehr ähnliche Eigenschaften aufweisen und daß sie sich hinsichtlich des Inkohlungsgrades im Grenzbereich zwischen Gasflamm- und Gaskohlen befinden, in einem Bereich also, in dem sich solch wichtigen technologischen Eigenschaften wie das Verkokungsverhalten sehr stark verändern.

Bild 2 zeigt den Zusammenhang zwischen der Elementar-zusammensetzung, einem weiteren Maß für den Inkohlungsgrad, und dem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen (8).

Mit

- Kohlenstoffgehalten im Bereich zwischen 85 und 88 %,
- Wasserstoffgehalten von 5,2 bzw. 5,3 % und
- Sauerstoffgehalten zwischen 4,5 und 7,5 %

passen sich die untersuchten Kohlen gut in die bekannten Zusammenhänge ein. Allerdings ist auch bei der Elementarzusammensetzung wie schon beim Gehalt an flüchtigen Bestandteilen eine Ähnlichkeit zwischen Flammkohle und Spezialkohle zu beobachten. Dagegen zeigten die mikro-petrografischen Untersuchungen zum Reflexionsvermögen bzw. bei der Maceralanalyse nahezu identische Ergebnisse für Kokskohle und Spezialkohle.

Die Schwefelgehalte liegen mit Werten zwischen 0,6 und 0,8 % sehr niedrig. Fast der gesamte Schwefel - sicherlich auch bedingt durch den niedrigen Aschegehalt - ist organisch gebunden.

Auch Heizwerte und Brennwerte sind vom Inkohlungsgrad abhängig. Es lassen sich, ebenso wie bei der Elementar-zusammensetzung, Zusammenhänge zum Gehalt an flüchtigen Bestandteilen herstellen (Bild 3) (8). Die ermittelten Werte entsprechen in der Größenordnung den Heiz- und Brennwerten der Ruhrkohlen. Unter Berücksichtigung des Gehaltes an flüchtigen Bestandteilen besitzt die Kokskohle (2) einen etwas höheren Energieinhalt, die Flammkohle (1) und die Spezialkohle (3) dagegen einen etwas niedrigeren gegenüber den mittleren Werten von Ruhrkohlen. Im Bild ist nur ein Ausschnitt für den Bereich der Steinkohlen dargestellt. Nach rechts setzt sich der Trend weiter fort, d.h. Heiz- und Brennwerte nehmen dabei stetig über den Bereich der Braunkohlen und Torfe ab. Am Ende steht Holz mit Werten um 20 MJ/kg, natürlich auf wasserfreie Substanz bezogen.

Verkokungstechnische Untersuchungen

Das traditionelle und wohl bedeutenste Veredlungsverfahren für Steinkohlen ist die Verkokung. Deshalb wird das Veredlungsverhalten der Kohlen beim Erhitzen unter Luftabschluß (= Entgasung, Verkokung) für die Kohlenklassifikation verwendet. Das internationale Klassifikationssystem für Steinkohle ordnet jeder Kohle eine 3-stellige Codenummer zu. Neben dem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen werden dabei als Parameter das Backvermögen (ausgedrückt durch den Swelling-Index) und das Kokungsvermögen (Dilatationsverhalten) herangezogen. Backvermögen und Kokungsvermögen beschreiben die Fähigkeit von Kohlen, beim Erhitzen zu erweichen, d.h. in einen plastischen Zustand überzugehen und sich bei weiterer Temperatursteigerung zu einem prösen, stückigen Koks zu verfestigen.

Zur bestimmung des Swelling-Indexes werden Kohleproben unter definierten Bedingungen in einem definierten gefäß verkocht. Durch einen Vergleich des Profiles des entstandenen Koks mit Musterprofilen, können der Kohle Werte zwischen 0 und 9 als Swelling-Index zugeordnet werden. Die Flammkohle führte zu einem gesinterten, schwach gebackenen Koks, dementsprechend niedrig lag der Swelling-Index mit $1\frac{1}{2}$. Kokskohle bzw. Spezialkohle ergaben einen sehr stark gebackenen, schaumigen Koks: Swelling-Index $8\frac{1}{2}$ und $7\frac{1}{2}$.

Das Kokungsvermögen wird durch den Dilatationsverlauf beschrieben. Man versteht darunter die Längenänderung eines konischen Kohlepreßlings während der Erhitzung. Bild 4 zeigt die für verschiedene Kohlearten typischen Verläufe (8) im Vergleich zu den Befunden für die 3 untersuchten Kohlen.

Gute Kokskohlen, also Gaskohlen und Fettkohlen erweichen beim Erhitzen. Durch den Druck des aufliegenden Meßstempels kommt es zunächst zu einer Kontraktion, bevor bei weiterer Steigerung der Temperatur die Kohle durch die entweichenden flüchtigen Bestandteile aufgebläht wird und sich anschließend verfestigt. Nur Kohlen mit einem derartigen Verlauf sind als Kokskohlen geeignet. Höher oder niedriger inkohlte Kohlen zeigen

- entweder gar keine Erweichung, (wie z.B. Anthrazit, Magerkohle, teilweise Eßkohle) oder
- erweichen zwar, verfestigen sich jedoch, ohne daß sich der Kontraktion ein Aufblähen angeschlossen hat (Gasflammkohle).

Gemäß den gefundenen Ergebnissen sind die Kokskohle und die Spezialkohle als mittelmäßig kokend, die Flammkohle als sehr schlecht kokend einzuschätzen.

Entsprechend des Internationalen Klassifikationssystems besitzen die untersuchten Kohlen folgende Code-Nummern:

- Flammkohle: 611 (entspricht einer Gasflammkohle)
- Kokskohle: 533 (entspricht einer Gaskohle)
- Spezialkohle: 533 (entspricht auch einer Gaskohle).

Kokskohle und Spezialkohle können, auch unter Berücksichtigung der sehr niedrigen Aschegehalte als ausgezeichnete Kokskohlen eingeschätzt werden. Die Flammkohle ist jedoch für eine alleinige Verkokung ungeeignet und kann nur in der Mischung mit stark backenden Kohlen zu einem guten Koks verarbeitet werden.

Auffällig ist, daß die sich in vielen Analysenwerten (z.B. dem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen, der Elementarzusammensetzung, Brennwert) so ähnlichen Kohlesorten Flammkohle und Spezialkohle sich in ihren Verkokungsverhalten sehr stark unterscheiden. In dieser Hinsicht ergeben sich Gemeinsamkeiten zwischen Koks-kohle und Spezialkohle. Damit werden die mikropetrografisch gewonnenen Erkenntnisse bestätigt.

Aschezusammensetzung - Ascheschmelzverhalten

Für das Veredlungsverhalten von Kohlen sind nicht nur die Zusammensetzung und die Eigenschaften des organischen Anteils entscheidend. Von sehr großer Bedeutung für die Brennstoff-veredlung sind auch der Anteil und die Eigenschaften des anorganischen Teils der Kohlen.

Die in der Kohle enthaltenen mineralischen Anteile unterliegen bei der Brennstoffverwertung, (z.B. der Verbrennung oder der Vergasung) chemischen Umsetzungen, die in Art und Umfang von den jeweiligen Prozeßbedingungen abhängig sind. Zusammensetzung und Menge des verbleibend anorganischen Rückstandes stimmen somit nicht mit dem ursprünglichen Mineral-stoffgehalt und der ursprünglichen Bindungsform überein. Da diese nur sehr schwer ermittelbar sind, werden als Ersatz zur Charakterisierung des Unverbrennlichen der Gehalt und die Zusammensetzung eines unter definierten Bedingungen erzeugten Verbrennungsrückstandes, der Asche, herangezogen. Dabei wird der Gehalt bestimmter Elemente als prozentualer Anteil an Oxiden dieser Elemente angegeben, z.B. SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO .

Die Aschegehalte der Kohlen liegen, wie eingangs bereits erwähnt, mit Werten zwischen 2 und 5 % sehr niedrig. Dies wirkt sich besonders vorteilhaft bei der Verwertung zur Kokserzeugung aus, bei der sich die Asche im entstehenden Koks anreichert. Aber auch für andere Veredlungsverfahren erweisen sich die niedrigen Asche-gehalte als günstig (Hydrierung, Vergasung).

Die Zusammensetzung der Asche kann zur Beurteilung des Verhaltens der mineralischen Anteile bei der Veredlung, z.B. zur Beurteilung des Ascheschmelzverhaltens bzw. der Verschlackungs-neigung herangezogen werden. So können aus den Anteilen bestimmter Oxide verschiedene Kennzahlen berechnet werden, die eine erste Einschätzung zum Verhalten der Aschen ermöglichen sollen.

Die Zusammensetzungen der 3 Kohleaschen unterscheiden sich qualitativ und quantitativ sehr wenig (Bild 5) und entsprechen den durchschnittlichen Werten von Ruhrkohlen (8).

Die geringen Unterschiede sind erwartungsgemäß, den auch für die Ruhrkohlen wurde kein signifikanter Einfluß des Inkohlungsgrades auf die Aschezusammensetzung festgestellt. Dagegen bestehen zwischen den einzelnen Aschebestandteilen bestimmte Gesetzmäßigkeiten (8) (Bild 6). Z.B. können die Anteile der einzelnen Bestandteile als Funktion des SiO_2 -Gehaltes dargestellt werden. Die für die belgischen Kohlen ermittelten Ergebnisse lassen sich gut in die für Ruhrkohlen typischen Verläufe einordnen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zum Ascheschmelzverhalten sind in Bild 7 dargestellt. Das Schmelzverhalten von Aschen hängt sowohl von der Aschezusammensetzung als auch von den Prozeßbedingungen bei der Aschebildung ab. Die unter standardisierten Bedingungen (1) im Labor ermittelten charakteristischen Temperaturen sind somit nur bedingt auf technische Einsatzfälle übertragbar und können bestenfalls zum Vergleich zwischen verschiedenen Brennstoffaschen herangezogen werden.

Entsprechend der geringen Unterschiede in der Aschezusammensetzung unterscheiden sich auch die Erweichungs-, Schmelz- und Fließtemperaturen für die Kohlen nur wenig. In Ergänzung dazu sind in der Tabelle auch Angaben für deutsche Braunkohlen enthalten. Entsprechend den gegenüber von Braunkohlen sehr hohen Siliziumoxid- und Aluminiumoxidgehalten liegen auch die charakteristischen Temperaturen etwas höher. Die Erhöhungen stehen allerdings in keinem Verhältnis zu den großen Unterschieden in der Aschezusammensetzung und der aus der Aschezusammensetzung berechneten Kennzahlen nach Teune. Der Wert der Angaben zum Ascheschmelzverhalten darf also keineswegs überbewertet werden.

Druckvergasung von Kohlenstaub im Flugstrom nach dem GSP-Verfahren

Dr. sc. techn. Winfried Wenzel, Dr. M. Schingnitz und Dr. P. Göhler

Aufgabenstellung

Für das Verfahren der Flugstromvergasung nach der GSP-Technologie, das ab 1976 vom Deutschen Brennstoffinstitut Freiberg entwickelt wurde, galten folgende Aufgabenstellungen:

- Einsatz eines breiten Brennstoffbandes mit weitgehender Unabhängigkeit vom Inkohlungsgrad, Aschegehalt und -zusammensetzung
- Totale Vergasung der organischen Kohlesubstanz, kein Anfall von Kohlenwasserstoffen
- Bildung des Vergasungsrestes als geschmolzene, granuliert und auslaugfeste Schlacke
- Weitgehende Vermeidung schwer deponierbaren Flugstaubes.

Technologische Lösungen

Die Erfüllung der vorgenannten Zielstellungen der Verfahrensentwicklung erforderte folgende besondere technologische Lösungen, die das GSP-Verfahren auszeichnen:

1. Pneumatisches Brennstaubeintrags- und -dosiersystem

Bei Vergasung des Brennstaubes unter Druck (Bild 1) werden zwei Schleusen aus einem Vorratsbunker wechselseitig gefüllt, mit einem Inertgas bespannt und einem Dosiergefäß zugeführt. In diesem Dosiergefäß wird durch Zuführung von Wirbelgas über einen Wirbelboden eine Wirbelschicht hoher Dichte erzeugt. In diese Schicht tauchen die Förderleitungen für den Brennstaub ein. Wirbel- und Fördergas sind identisch. Es können mehrere Förderleitungen gleichzeitig bespeist werden. Dichte und Geschwindigkeit der Brennstaub-Trägergas-Suspension liegen im Bereich der Fließförderung. Das System arbeitet rein pneumatisch ohne bewegte Elemente. Folgende Betriebserfahrungen liegen vor:

- Stabile Förderung bei Dichten von 250 - 450 kg/m³
- Verschleißfreie Förderung bei Geschwindigkeiten zwischen 2 - 8 m/s
Kohlenstaubleitungen sind seit mehreren Jahren in Betrieb
- Hohe Stetigkeit des Massenstromes als Voraussetzung für Messung und Regelung des Staubstromes.

Die notwendigen Meß- und Überwachungseinrichtungen für den Brennstaubstrom haben sich bewährt. Der Massenstrom wird mit einer Genauigkeit von $\pm 2\%$ gemessen. Die Technik der Fließförderung wurde zwischenzeitlich auf verschiedene Schüttgüter und technologische Anwendungsfälle übertragen.

2. Vergasungsreaktor

Die Forderung nach Einsatz praktisch aller festen Kohlenstoffträger erforderte neben der trockenen Brennstaubzuführung als zweite Konsequenz eine feuerraumseitige Kontur des Reaktors, die unabhängig von der Aschezusammensetzung ausreichende Reisezeiten sichert. Es wurde deshalb ein Reaktorkonzept gewählt, dessen schematischen Aufbau Bild 2 zeigt. Die innere Kontur des Vergasungsraumes wird durch einen Kühlschirm begrenzt, der in das Druckgefäß beweglich eingehangen wurde. Die Vergasungsbrenner befinden sich in einer Flammenreaktion. Vergasungsgas und flüssige Schlacke verlassen den Reaktor gemeinsam über eine Schlackeablaufvorrichtung. Die Rohre des Kühlschirmes sind über Stege gasdicht verschweißt und auf der Innenseite dicht mit Stiften versehen, die einer speziellen feuerfesten Stampfmasse den entsprechenden Halt verleihen. Beim Auftreten von flüssiger Schlacke auf die gekühlte feuerfeste Stampfmasse bildet sich eine erstarrte Schlackeschicht aus, die schließlich in einem Film flüssig ablaufender Schlacke übergeht. Stampfmasse und erstarrte Schlackeschicht bilden einen festen und starren Verband.

Die aus dem Reaktor in den Kühlschirm eingetragene Wärmemenge liegt bei 1 - 3 % der Bruttoleistung des Reaktors. In einer groß-technischen Anlage wurden über einem Zeitraum von 5 Jahren sowohl SiO₂-reiche als auch CaO-reiche Kohlen mit Erfolg vergast.

Das aus dem Reaktionsraum gemeinsam mit flüssiger Schlacke austretende Rohgas gelangt in einen Abhitzeessel oder einen Quenchraum. Die Abhitzevariante ist typisch für die Einbindung der GSP-Flugstromvergasung in ein Kombikraftwerk (integrated gasification combinec cycle) zur umweltfreundlichen Strom-erzeugung auf der Basis fossier Brennstoffe. Kombikraftwerke mit GSP-Flugstromvergasung werden heute bis zu Listungen von 300 MW_e in einem Strang angeboten.

Im Falle der Synthesegaserzeugung geschieht die Abkühlung zweckmäßig durch intensive Besprühung in einem Quenchraum nach Bild 3. Der Quenchung kann im Falle der Synthesegas-erzeugung eine Rohgaskonvertierung nachgeschaltet werden.

Nach der Vergasung von 284.000 t SiO₂-reicher ostelbischer Brauhkohle und 64.000 t CaO-reicher westelbescher Salz-braunkohle in einer technischen Großanlage lassen sich folgende Erfahrungen zum Reaktor zusammenfassen:

- Die Konstruktion des Reaktors hat sich in vollem Umfang bewährt. Unabhängig vom Charakter der Schlacke wird der Betrieb voll beherrscht. Durch die gewählten Temperaturen im Kühlschirm tritt Hochtemperatur-korrosion durch Schwefelwasserstoff nicht auf.
- Bei Einhaltung entsprechender Rohgasaustritts-temperaturen funktioniert der Schlackeablauf ohne sekundäre Maßnahmen problemlos.
- Im Bereich des Quenchers auftretende Auskristallisation aus dem Wasser werden mit Hilfe von Inhibitoren beherrscht.

3. Kombinationskohlenstaubbrenner und Reaktionsraumkontur

Die Minimierung des Wärmeeintrages in den Reaktorkühlschirm und der Schutz der Oberfläche erfordern, daß ein möglichst hoher Schlackeanteil auf die innere Oberfläche gebracht wird. Dazu wurden folgende konstruktive Lösungen gefunden:

- Konstruktion des Kohlenstaubbrenners mit Verwirbelung des zugeführten Kohlenstaubes
- Wahl eines großen Verhältnisses von Reaktordurchmesser zum Durchmesser des Rohgas- und Schlackeaustrages, um eine hohe Rückverwirbelung zu erreichen.

Der Kohlenstaubstrom wird dem Brennermund ringförmig zugeführt, Sauerstoff und Dampf zentral. Die Kühlprobleme an den Brennerstirnflächen werden beherrscht, ebenso wie Korrosionsprobleme. Die Brenner waren gleichfalls mehrere tausend Stunden störungsfrei im Einsatz.

Mit der gewählten Reaktor- und Brennerkonfiguration wurden folgende Erfahrungen gesammelt:

- Die Reaktionsraumkontur wird gleichmäßig mit Schlacke belegt.
- Der Kohlenstoffumsatz liegt über 99 %
- Der Vergasungsrückstand bildet sich zu 95 - 97 % als granuliert, lasige Schlacke. Der Flugstaubanteil liegt bei 3 - 6 %. Er ist abhängig von Aschegehalt und -zusammensetzung in der Kohle. Seine Entsorgung ist durch Rückführung zum Brennerstaub möglich.

Ausführliche technologische Beschreibungen finden Sie in der Literatur (1 bis 3).

Einsatz des GSP-Verfahrens zur Abfall- und Reststoffverwertung:

Die technologische Konzeption des GSP-Verfahrens schafft die Möglichkeit, auch Abfall- und Reststoffe allein oder als Zusatz zum vergasten fossilen Brennstoff stofflich und energetisch nutzbringend zu verwerten. Als Abfall- und Reststoffe verstehen wird Haus und Industriemüll, Kläreschlämme, belastete Altöle, belastete Gase z. B. aus Deponien, Teere, organische Schlämme, Säureharze u. ä.

Die Ergebnisse umfangreicher Vergasungsversuche, die mit den obengenannten Abfall- und Reststoffen in unserer Freiburger Pilot-anlage (bild 4) durchgeführt worden sind, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Durch die Vergasung bei hohen Temperaturen $> 1.400\text{ }^{\circ}\text{C}$ werden in der stark reduzierenden Atmosphäre unter Druck hochtoxische Dioxine und Furane zerstört bzw. nicht gebildet. Das Gleiche gilt für toxische Kohlenwasserstoffverbindungen. Die Schwermetalle werden zum Teil in die Schlacke eingebunden (bilder 5 und 6). Der Rest fällt durch sulfidische bindung in den Wässern schwerlöslich aus und ist deshalb technologisch einfacher zu handhaben und zu entsorgen als in Form löslicher Schwermetallsalze.

4. Vergasungseignung belgischer Steinkohlen

Anlaß für den vorliegenden Vortrag gab ein an das Deutsche Brennstoffinstitut erteilter Auftrag zur Bewertung der Vergasungseignung von 3 belgischen Steinkohlen.

Angelieferte Proben dieser Kohlen wurden zu Staub aufgemahlen und dessen Fließverhalten im Labortest untersucht. Im Ergebnis kann festgestellt werden, daß alle 3 Kohlen nach entsprechender Aufmahlung für die Fließförderung des GSP-Verfahrens geeignet sind.

An Hand von Erfahrungen, die bei der Vergasung vergleichbarer Steinkohlen gesammelt worden sind, wurde eine erste Hoch-rechnung der zu erwartenden Vergasungsergebnisse durchgeführt. Die Rechnung gilt für einen Anlagenstrang mit einer Vergaser-leistung von $100.000\text{ m}^3\text{N/h}$ Rohgas (trocken) und dessen Inte-gration in ein IGCC-Kraftwerk. Die erhaltenen Ergebnisse sind näherungsweise auf dei Synthesegaserzeugung übertrabgar, wobei der N_2 -Gehalt des Rohgases durch geeignete Wahl des Träger-gases für den Kohlenstaub den jeweiligen Forderungen angepaßt werden kann.

Berechnungsgrundlagen

Kohle

- Rohzustand entsprechend Tabelle 1
- Einsatzzustand

	Probe 1	Probe 2	Probe 3
Elementaranalyse Gew-%			
Wasser	1,0	1,0	1,0
Asche	3,3	4,37	1,96
C	81,49	83,41	82,63
H	6,03	5,45	7,45
O	5,34	2,97	4,23
N	1,92	1,71	1,79
S _t	0,92	1,09	0,94
Heizwert LHV kJ/kg			
analytisch	31.825	32.945	32.484
rechnerisch	33.861	34.194	36.065

Der analytische Heizwert bezieht sich auf die Bestimmung im Labor Espenhain (Tabelle 1). Der zum Vergleich angegebene rechnerische Heizwert ergibt sich als Mittelwert aus 8 internationalen Berechnungsformel.

Vergasungsmedien

Die Qualität des Vergasungsmittels Sauerstoff als auch die des für die Kohlenstaubbförderung sowie für verschieden Spühlvoergänge (Kühlschirmspalt, Flammenüberwachung, Staublanzenspülung) benötigten Stickstoffes ist wählbar. Die Vergasungsmedien wurden für die Hochrechnugn wie nachstehend angegeben vorausgesetzt:

Medium	Qualität		
Sauerstoff	O ₂ -Gehalt	93	Vol.-%
	N ₂ -Gehalt	7	Vol.-%
Dampf	Hochdruckdampf, Öl und fettfrei		
Stickstoff (Trägergas)	O ₂ -Gehalt	2	Vol.-%
	N ₂ -Gehalt	98	Vol.-%
Erdgas (Brenngas)	N ₂ -Gehalt	1,6	Vol.-%
	CO ₂ -Gehalt	0,1	Vol.-%
	CH ₄ -Gehalt	97,4	Vol.-%
	C ₂ H ₆ -Gehalt	0,65	Vol.-%
	C ₃ H ₈ -Gehalt	0,15	Vol.-%
	C ₄ H ₁₀ -Gehalt	0,1	Vol.-%

Anlagenspezifischen Daten

Prozeßdruck (Reaktor) 2,6 MPa

Brenngas für Pilotbrenner

Art: Erdgas (rückgeführtes Eigengas ist
möglich)

Menge: 500 m³N/h

Kohlenstaubdurchsatz für eine Rohgaserzeugung von
100.000 m³N/h (trocken)

Probe 1: 42,1 t/h

Probe 2: 40,4 t/h

Probe 3: 41,3 t/h

Rohgastemperatur (Reaktorausgang) auf Basis der Asche-
zusammensetzung

Probe 1: 1.500 °C

Probe 2 und 3: 1.450 °C

C-Vergasungsgrad 99 %

Flugasche im Rohgas etwa 15 % des nichtflüchtigen Asche-
anteils der Kohle
Korngröße ≤ µm

Schlacke etwa 85 % des nichtflüchtigen
Ascheanteils der Kohle

Ergebnisse der Hochrechnung

Die hochgerechneten Verbrauchs- und Erzeugungszahlen der bewerteten Kohlenproben sind in der Tabelle 2 angegeben. Sie unterscheiden sich auf Grund der geringen Qualitätsunterschiede der Proben nur wenig und sind insgesamt typisch für die Vergasung ascheärmerer Steinkohlen.

Eine Ausnahme bilden der spezifische Sauerstoffverbrauch und der CO₂-Gehalt des Rohgases für Probe 3, die gegenüber den beiden anderen Proben deutlich höher liegen. Die Ursache dafür ist möglicherweise ein zu niedriger analytischer Heizwert der Probe 3; die Abweichung vom rechnerischen Kontrollwert liegt mit rd. 10 % außerhalb des üblichen Toleranzbereiches.

Für die Gewinnung detaillierter Angaben empfehlen wir die Durchführung von Vergasungsuntersuchungen in unserer 3 MW-Pilotanlage in Freiberg.

Tabelle 1: Auszug aus dem Laborlumsbericht für 3 belgische Steinkohleproben

Hauptlabor Espenhain

Probe 1: Vlamkolen 0/10 (Flammkohle)
 Probe 2: Cokeskolen 0/10 (Koks- und Fettkohle)
 Probe 3: Speciale kolen 12/20 (Spezialkohle zwecks Elektrokohleerzeugung für Schweden)

(Bei allen 3 Kohlesorten handelt es sich um Förderkohle vom 31. 7./1. 8. 1990)

	TGL- symbol	Din- Symbol	Probe 1	Probe 2	Probe 3
Wasser i.roh	W _v ^d	W i.roh	8,4	6,6	2,0
Asche i.wf.	A	Ai.wf.	3,59	4,66	2,08
Flüchtige Bestandteile i.wf.	V ^d	F i.wf.	33,19	29,45	33,88
Kohlenstoff i.wf.	C ^d	C i.wf.	82,31	84,25	83,46
Wasserstoff i.wf.	H ^d	H i.wf.	6,09	5,50	7,53
Brennbarer Schwefel i.wf.	S _c ^d	S brennb.i.wf.			
		N i.wf.	0,80	0,94	0,87
Stickstoff i.wf.	N ^d		1,94	1,73	1,81
Sauerstoff i.wf.		O i.wf.			
(als Differenz)	O _d ^d	S ges.i.wf.	5,27	2,92	4,25
GesamtSchwefel i.wf.	S _t ^d	H _v i. w f.	0,93	1,10	0,95
Heizwert i.wf	Q _i ^d	kcal/kg			
			7678	7948	7837

Aschezusammensetzung als Oxide:

	%	Probe 1	Probe 2	Probe 3
SiO ₂	%	40,0	40,2	40,1
Fe ₂ O ₃	%	10,8	18,8	19,0
Al ₂ O ₃	%	17,5	17,3	14,1
CaO	%	6,2	3,7	5,6
MgO	%	6,5	7,7	5,0
SO ₃	%	6,2	3,4	2,8
Rest (Alkali u.a.)	%	12,8	8,9	13,4

Tabelle 2: Ergebnisse der Hochrechnung

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	
Rohgasleistung der Anlage in MW (therm.) (Volumenstrom x Heizwert des Rohgases)		305,8	305,6	305,6	
Kohlenstaubverbrauch	t/h	42,1	40,4	41,3	
spezif. Verbrauch	/MWh				
Kohlenstaub	kg	137,7	132,2	135,1	
Erdgas	m ³ N	1,64	1,64	1,64	
Sauerstoff	m ³ N	110,2	101,8	120,4	
Stickstoff	m ³ N	12,2	11,9	12,1	
Dampf	kg	9,8	27,4	7,5	
Rohgas					
-	Ausbeute pro kg Kohlen- staub				
	* feucht				
	* trocken	m ³ N	2,47	2,61	2,64
-	chemische Zusammen- setzung (trocken)	m ³ N	2,37	2,48	2,47
	H ₂				
	CO	Vol%	29,2	30,9	30,7
	CO ₂	Vol%	61,8	59,8	58,7
	N ₂	Vol%	2,1	2,7	3,6
	H ₂ S	Vol%	6,7	6,3	6,7
	COS	Vol%	0,25	0,28	0,25
-	Heizwert	Vol%	0,02	0,02	0,02
-	Dichte	MJ/m ³ N	11,02	10,96	10,80
		kg/m ³ N	0,928	0,912	0,921
Vergasungswirkungsgrad	%	81,1	91,6	80,9	
Vergasungsrückstand pro kg Kohlenstaub					
	Flugasche				
	Schlacke	kg	0,0049	0,0065	0,0029
		kg	0,0280	0,0370	0,0170

Untertagevergasung im Kempener Becken, Möglichkeiten und Beschränkungen

Dipl.-Ing. Wilhelm Mottitscha

1. Einleitung

Im Jahre 1981 wurde im Deutschen Brennstoffinstitut der internationale Stand und die künftige Perspektive der Untertagevergasung von Kohlen analysiert.

Grundlage dieser Einschätzung bilden der Erkenntnisstand, der bis 1987 in der damaligen DDR erreicht wurde und Informationen aus Studienreisen in die UdSSR und CSFR. Praxisnahe Studienaufenthalte fanden in der Zeit vom 01. bis 05.03.1982 und vom 25. bis 28.07.1983 in der UdSSR (Angren) statt. Weitere zwei Informationsreisen zur UTV fanden zum CSFR-Partner UVP-Prag-Bechovice statt. Eigene Erfahrungen liegen durch das 2jährige Betreiben einer eigenen UTV-Station in Welzow (Land Brandenburg) vor.

2. Historische Entwicklung

Die Untertagevergasung von Kohlen hat bis heute eine fast 60 jährige Entwicklung durchlaufen, und es ist das Verdienst der USSR auf diesem Gebiet Pionierarbeit geleistet zu haben. Die ersten Vorschläge, die Kohle nicht zu fördern, sondern in situ zu vergasen, gehen auf den Engländer Williams Siemens (1868), und den Russen Dimitri J. Mendeljew (1888) zurück. Frühe Experimente machte W. Ramsey bereits 1912 in County Durham.

Größere Versuche begannen aber erst nach 1930 in der UdSSR in Gorlowha und Lisitschansk, die jedoch durch Kriegsbeginn unterbrochen wurden. Die 2. Etappe begann Mitte der 50er Jahre in der UdSSR, aus welcher noch gegenwärtig 2 UTV-Stationen in Betrieb sind - Juzno Abinsk seit 1955 und Angren seit 1961.

Weitere praktische Versuche wurden noch in mehreren Ländern unternommen, so in:

Newman Spiney	(GB, 1949)
Gorgas	(USA, 1947)
Borislav u. Brezno	(CSFR, 1956/58)
Djerada	(Marokko)

Um 1960 wurde es um die untertägige Vergasung wieder ruhiger. Zu den wirtschaftlichen Einwänden gegen die UTV wurden noch die verfahrenstechnischen Mängel hochgespielt, wie:

- Nichtbeherrschen der Strömungsverhältnisse in der Reaktionszone des "unter Tage Reaktors" und vor allem noch die
- mangelnden Verfahrensmeß- und Regelmöglichkeiten.

Auf Grund der sich nach 1973 weltweit veränderten Energie- und Rohstoff-situation, und der dadurch wieder stärkeren Einbeziehung der Kohle, wurde in einigen Ländern die Möglichkeit der zusätzlichen Kohlegewinnung durch eine Untertagevergasung erneut in den Vordergrund gerückt, zum Beispiel wurden in den USA große Investmittel für neue Forschungsprogramme und Feldversuch in Hanna I - IV, Rawlins und Pricetown bereitgestellt. In dieser Zeit war auch in einigen westeuropäischen Kohleländern das Interesse an der unterirdischen Vergasung bei konventionell nicht abbauwürdigen Kohlen wieder gewachsen.

Belgien	Intex	Feldversuch
BRD	RW TH Aachen	Laborexperimente
	Saarberg Interplan	Erfassung Feldparameter
	MBB	Datenerfassung
	BF-GmbH	Modell UTV-Generator
Großbritannien	NCB	Wirtschaftlichkeitsstudien
Frankreich	GECS	Untersuchungsprogramm

Als bemerkenswert ist hier noch das Vorhaben Belgien/BRD mit folgender Grundkonzeption zu nennen:

- Vergasung in Lagerstätten, die dem konventionellen Bergbau nicht zugänglich sind;
- Vergasung mit höheren und wechselnden Drücken;
- Nutzung verschiedener Flözhorizonte mit einer Bohrung und
- gestaffelte Anwendung von Luft, Sauerstoff mit Wasserdampf und Wasserstoff als Vergasungsmittel.

3. Möglichkeiten der Gewinnung schwer abbaufähiger Kohlenlagerstätten

Mit dem konventionellen bergbaulichen Verfahren, dem Bergbau unter Tage und dem Tagebau, sind heute noch durch die Teufe und den geologischen Verhältnissen der einzelnen Lagerstätten sowohl technische als auch wirtschaftliche Grenzen gesetzt. Eine zusätzliche Nutzung von schwer abbaufähigen Kohlenlagerstätten kann aber durch den "Bohrlochbergbau" erfolgen. Wird aber diese Technik in der Kohle angewandt, so muß diese vorher in ein anderes Medium umgewandelt werden. Möglichkeiten dazu sind:

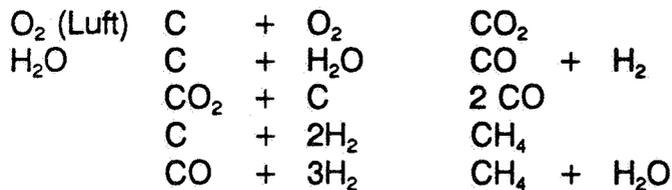
- Auslaugen (z.B. Abbau durch Mikroben) - Verflüssigen der Lagerstätte oder - Vergasen.

Aus heutiger Sicht erscheint eine industriemäßige untertägige Vergasung am ehesten realisierbar, wenn auch noch eine Vielzahl von Problemen dabei ungelöst sind. Die UTV könnte damit ein risikoreiches, ergänzendes Verfahren darstellen, das die weltweit gewinnbaren Kohlevorkommen vergrößert. Es muß aber auch festgestellt werden, daß die UTV nur dort möglich ist, wo gasdichte Gebirge (Hangendes und Liegendes) vorhanden sind. Weiterhin müssen auch die obertägigen Umweltgegebenheiten wegen möglicher Gasleckage und der großflächigen Bodenabsenkungen diesen neuen Kohlenabbau gestatten. Auch eine Beeinflussung des Grundwassers muß ausgeschlossen werden, da sich bei dem Vergasungsprozeß Teer und Phenolwasser bildet.

4. Grundlagen der Untertagevergasung

Grundsätzlich gibt es bei der UTV die gleichen chemischen Reaktionen wie im herkömmlichen Gsgenerator. Die Grundgleichungen seien hier nochmals angeführt:

Vergasungsmittel



Beim untertägigen Vergasungsvorgang treten 2 Stadien auf.

Das 1. Stadium ist eine thermische Zerlegung, bei welcher von der Kohle Feuchtigkeit und flüchtige Bestandteile frei werden und ein heißer Koksrest entsteht, dessen brennbarer Anteil Kohlenstoff ist.

Das 2. Stadium besteht einmal aus der Umwandlung des Koks-restes in Brenngas mit Hilfe des freien oder des gebundenen Sauerstoffs, und zum anderen aus der Reaktion des Brenngases mit Sauerstoff und Wasserdampf. Dieses Stadium der Gasbildung ist das wichtigste und bestimmt auch die Zusammensetzung des Produktgases.

Der theoretische Heizwert des Endproduktes kann mit Luft als Vergasungsmittel nicht mehr als 4 400 kJ/m³ betragen. Auf Grund einer bestimmten Menge an Wasserdampf und der Zersetzung der organischen Stoffe der Kohle kann der Heizwert aber 4 600 - 5 000 kJ/m³ erreichen. Bei Eindrücken von mit Sauerstoff angereicherter Luft (Konzentration um 65 %) kann jedoch der Gasheizwert noch auf etwa 6 300 kJ/m³ angehoben werden.

Die UTV verlangt noch Kenntnis von den veränderlichen Prozeß-einflußgrößen, die mehr von den kinetischen Abläufen der auf-tretenden Mengen- und Wärmeprobleme abhängen, als von den thermo-dynamischen Reaktionen im Reaktor. Die mehrfachen Feldversuche und die geringe bisherige Gas-erzeugung haben bestätigt, daß eine Kontrolle dieser Prozeßabläufe noch nicht zufriedenstellend beherrscht wird.

Das Vorhandensein einer geeigneten Meßtechnik ist deshalb unbedingte Voraussetzung, um zu der geregelten in-situ-Vergasung zu kommen. Solche Meßsysteme sind sowohl über als auch unter Tage notwendig. Z. B. sind unbedingt zu überwachen:

- Die Bestimmung und der Fluß des Grundwassers;
- Das Feststellen von geologischen Störungen;
- Das Messen der Permeabilität der Kohle und umliegenden Gesteinsschichten;
- Temperaturmessungen in der Lagerstätte und den Verbrennungszonen;
- Das Bestimmen von Gasmenge und Gasfluß und
- Das Feststellen von Leckagen.

5. UTV-Verfahren

Ausgehend von vorhandener Literatur und den neuen amerikanischen Bemühungen zur Untertagevergasung können die bestehenden Konzepte nach der Gasströmung im Kohleflöz unterschieden werden. Alle bekannten Verfahrensvorschläge zur Untertagevergasung lassen sich auf Grund ihrer Gas- und Brennfrontführung in

- Gasströmung parallel und
- Gasströmung senkrecht

zur Bewegungsrichtung der Brennfront einteilen.

Ausgehend von diesen Grundvorstellungen ergeben sich 3 Verfahrensvarianten zur Untertagevergasung:

- das Filtrationsverfahren,
- das Kanalverfahren,
- das Blockumströmungsverfahren.

Alle diese Verfahren haben Vor- und Nachteile. Der Gesamtvorgang wird ausgehend von diesen Grundvorstellungen wie folgt ablaufen:

- Niederbringen der Bohrungen
- Herstellung einer Verbindung
- Absaugen von Grubengas
- Vergasung der Kohle

Durch Permeabilitätsmessungen und Vergasungsexperimente mit Modellrechnungen kann die Anwendbarkeit der einzelnen Varianten auf die konkreten Bedingungen beurteilt werden.

Auf Grund von Permeabilitätsuntersuchungen kann bereits gesagt werden, daß ein ideales Filtrationsverfahren nicht anwendbar zu sein scheint. Ein Verfahrensschritt zur Erhöhung der Permeabilität, z. B. Airlinking (pneumatisches Verbindungsverfahren von Bohrlöchern im Flöz), scheint notwendig.

6. Anforderungen an die Untertagevergasung

Ziel der UTV ist die Erzeugung eines Gases mit einem möglichst gleichbleibenden Heizwert, um das Gas als Heizgas oder als Kraftgas in Gasturbinen einsetzen zu können. An die UTV sind jedoch einige Voraussetzungen geknüpft, die sich insbesondere auf die Ausbildung und Mächtigkeit der Hangendschichten, auf den Wassergehalt der Kohle und auf die Wasserführung in den Hangendschichten beziehen. Letztlich spielen wirtschaftliche Erwägungen eine nicht zu übersehende Rolle.

Von Bedeutung ist die Dichtigkeit des UTV-Generators. Sie wird begünstigt, wenn das Hangende aus gasundurchlässigen Schichten aus Ton oder Lehm besteht bzw. wenn sandiges Hangendes von solchen Schichten durchzogen ist. Ein gleich-mäßiges Absinken des Hangenden nach erfolgter Vergasung ist erwünscht, da Rißbildung zu Verlusten an Gas und Vergasungsmittel und so zu Störungen im Vergasungsprozeß führen. Von Einfluß ist auch der Wassergehalt der Kohle. Dazu kommt die Lage des Grundwasserspiegels bzw. die Ausbildung wasserführender Schichten. Eine UTV ist bei Kohlen mit hohem Wassergehalten nur nach Vorentwässerung und bei Ausschaltung weiterer Wasserzuflüsse möglich. Der Aufwand hierfür wird die UTV verteuern.

Folgende weitere Gesichtspunkte müssen als wesentlich für die Auswahl einer Untertagevergasung herangezogen werden:

- Vorhandensein einer mindestens 6 m tonigen Deck-Schicht oder 10 m bindige Schluffe im Hangenden des zu vergasenden Flözes
- Mindestteufe 30 m
- Mindestmächtigkeit des UTV-Flözes 2 m sowie keine stark schwankenden Flözmächtigkeiten
- Ungestörte Lagerung und Fehlen tektonischer Störungen im Untergrund, Abstand zu tektonischen Störungen mindestens 30 m
- Mindestabstand zu Altbergbau 100 m
- kein Auftreten gespannter Wässer im Liegenden und Hangenden des UTV-Flözes sowie keine Verbindung zu stark wasserführenden Schichten (Kiesschichten, Rinnen)
- Entfernung zu Wohn-, Industrie- und Tierhaltungen mindestens 100 m
- Möglichst keine LNF und kein Wald im unmittelbaren Oberflächenbereich der Testfläche.

7. Das Kempener Becken

Das Vorkommen, in dem die Bohrungen niedergebracht wurden, befindet sich im NO-Teil Belgiens, unweit der deutschen Grenze (ca. 15 km). Das Kempener Becken schließt an das Limburger Becken nach NW an. Nach SW ist es durch das Massiv von Brabant begrenzt. In der Kempen wird das Karbon überall von einer mächtigen Deckgebirgsschicht verhüllt, die von etwa 300 m an der holländischen Grenze bis auf über 1000 m im NW ansteigt. Am Aufbau des Deckgebirges ist vor allem das Tertiär mit großer Mächtigkeit beteiligt, darunter folgen Kreideschichten und im nördlichen Teil außerdem Schichten der Trias und des Perms. Die Schichten des Oberkarbons sind im S noch von den Ausläufern der Störungen des Aachener Gebietes betroffen, weiter im N wird die Lagerung ruhiger und flacher. Außerdem zeigen die Schichten ein Einfallen von S nach N, so daß sich nach N zu immer jüngere Schichten einstellen, was durch Staffelsprünge noch unterstützt wird. Die Mächtigkeit der Flöze beträgt im Durchschnitt etwa 100 cm, was auch die Bohrungen 168 und 172 bestätigen (Bohrung 172 - 97 bis 200 cm; Bohrung 168 - 94 cm bis 181 cm). Die unteren Flöze besitzen einen Gehalt an flüchtigen Bestandteilen von 20 bis 25 %, die oberen einen solchen von 25 bis 47 %. Die Gesamtmächtigkeit der produktiven Karbonschichten beträgt im nördlichen Teil der Kempen über 1000 m.

Bergmännisch erschlossen ist vorläufig nur der südliche Teil im Gebiet von Belgisch-Limburg, und schon hier hat das Nieder-bringen der Schächte wegen des wasserreichen Deckgebirges manche Schwierigkeiten bereitet.

Durch die niedergebrachte Bohrung 172 und 168 läßt sich die Situation wie folgt charakterisieren:

	Bohrung	172	168
Kohleflöze		24	33
abbauwürdige Kohleflöze	/ Anzahl /	8	18
flözführende Schichtenfolge	/ m /	987-1580	690-1264
Art der Kohle		Gas/Fettkohle	Flammkohle
Flözmächtigkeit	/ cm /	97-200	94-181
	ø 132	ø 124	
Flözneigung		n.b.	10-12°
Bemerkung		thermische Anomalie	Verwerfungen
Carbon ab	/ m /	833	25 - 40 m 653

Die Analysenwerte sind in den nachfolgenden Tabellen enthalten.

8. Allgemeine Probleme der UTV

Zu einigen Problemen, die wohl bereits mit angeklungen sind, muß noch ausführlicher Stellung genommen werden. Es sind dies im einzelnen Angaben zu den Vergasungsnebenprodukten und über den Ausbeutegrad der vergasteten Lagerstätten. Weiter ist für eine Vergleichbarkeit die Festlegung des energetischen Wirkungsgrades erforderlich. Dem Zeiterfordernis entsprechend sind auch die Umwelteinflüsse dieser untertätigen Energiegewinnung unbedingt zu beachten.

8.1. Die Vergasungsnebenprodukte

Viele Kohlelagerstätten enthalten beträchtliche Mengen an Methan, welches durch die Vorentgasung separat gewonnen und als Natur-gas abgesetzt werden kann. Daneben kann das Methan aber auch als Brennstoff innerhalb des Kohlevergasungsprozesses belassen werden. Als unmittelbares Nebenprodukt ist aber Kohleteer vor-handen, und zwar ca. 100 kg/t vergaster Kohle.

Es kann eingeschätzt werden, daß die Kohleteerprodukte bis 5 % der Gesamtenergie ausmachen. Diese Tatsache erfordert eine industrielle Aufarbeitung. Entsprechend dem Wassergehalt der Kohle und der Menge des Zulaufwassers entsteht Phenolwasser, das aufbereitet werden muß. Je nach

dem niederkalorischen Gas-einsatz werden auch aus der entsprechenden Gasaufbereitung noch Nebenprodukte (Phenolwasser, Öl, Schwefel) anfallen.

8.2. Der Ausbeute- oder Vergasungsgrad

Als ein wichtiges Kriterium der UTV ist das Ausbringen, oder hier der Vergasungsgrad, zu werten. Im Kohletiefbau wird das Ausbringen mit rd. 50 % gerechnet. Bei der untertägigen Vergasung ist der Vergasungsgrad der Kohleanteil, der tatsächlich vergast wurde, gegenüber den im Vergasungsfeld anstehenden Gesamtvorräten. Abhängig vom jeweiligen Vergasungsverfahren kann maximal an-genommen werden, daß ca. 60 % zu erwarten sind.

8.3. Der energetische Wirkungsgrad

Als energetischen Wirkungsgrad bezeichnet man das Verhältnis der gesamten produzierten Energie zum Energieaufwand, unter Einrechnung der verlorenen Energie in der Lagerstätte sowie den Transportverlusten.

$$\eta = \frac{\text{gesamt gewonnene Energie} - \text{nicht verwertbare Energie}}{\text{aufgewendete Energie} + \text{verbleibende Energie in der Lagerstätte}}$$

Aus den bisherigen Ergebnissen kann dieser Wirkungsgrad mit 60 % angenommen werden.

8.4. Umwelteinflüsse

Die Landschaftsveränderung über Tage, wie sie beim Tagebau auftritt sowie die Gefahren für die Sicherheit der Belegschaft, die im Kohletiefbau unvermeidbar sind, werden bei der untertägigen Ver-gasung weitgehend ausgeschaltet. Die Probleme der Umweltbeeinflussung werden dagegen bei der UTV die gesamte Umgebung einschließen. Unmittelbar mit dieser Technologie muß deshalb festgestellt werden, ob neue bisher nicht bekannte Umwelt-schädigungen auftreten, d. h. Boden, Luft, Wasser und Vegetation einschließlich Tierwelt sind durch entsprechende Kontrollsysteme zu beobachten. An Schädigungen können u. a. erwartet werden:

Boden: Durch unbeobachtete Absenkungen wird die spätere Landnachnutzung erschwert. Dies dürfte im vorliegendem Fall keine großen Probleme bereiten.

Luft: Bei Gasleckagen muß erwartet werden, daß das Rohgas schädigende bzw. toxische Stoffe enthält. Besonders bei tektonischen Störungen wird dieser Punkt kritisch.

Wasser: Durch verändertes Grundwasser können Trinkwasser-horizonte gestört werden. Von den angeführten Schädigungen erscheint der möglicherweise gegebene Phenoleintrag in das Grund- bzw. Trinkwasser am kritischsten zu sein.

Vegetation und Tierwelt:

Die umfangreichen Bohrbereiche wirken ohne Zweifel negativ auf die Vegetation (Bohrabstände 20 m). Die größten Einflüsse dürften hier jedoch von den Teerprodukten kommen.

9. Chancen für die Untertagevergasung im Kempener Becken

Das Kempener Becken, das vorliegend durch den Leitfaden der Kohlengeologie (Wilhelm Knapp-Verlag - Halle 1953) und durch die Bohrungen 168 und 172 charakterisiert ist, kann prinzipiell für die Untertagevergasung als geeignet eingeschätzt werden. Die Flöze liegen in großer Tiefe und erfahren durch die Einbettung in Ton-schiefer, was kohlengenetisch bedingt ist, nach oben und unten eine gute Abdichtung. Überdeckt wird das flözführende Karbon durch mächtige Gebirgsschichten von 300 - 1000 m. Am Aufbau des Deckgebirges ist vor allem das Tertiär mit großer Mächtigkeit beteiligt, darunter folgen Kreideschichten.

Auf Grund der Kohleanalysen aus Pkt. 7 ist einzuschätzen, daß die Kohle gut vergasbar ist und daß der Heizwert des Produktgases zwischen 5000 - 6000 kJ/m³ liegen würde. Neben diesen ersten positiven Gegebenheiten stehen aber auch schwerwiegende Nachteile gegenüber:

- In die Kosten gehen am stärksten die Flözmächtigkeit und die Flözteufe ein. Da die Bohrkosten bereits bei Teufen von 100 m ca. 30 % der Gesamtinvestkosten ausmachen, ist bei den vorliegenden Lagerungsbedingungen mit extremen Kosten zu rechnen.
- Entsprechend den Erfahrungen aus den USA und der UdSSR sind die vorliegenden Flözmächtigkeiten zu gering, um wirtschaftlich ein energetisches Gas zu erzeugen.
- Die geringe Flözmächtigkeit und die vielen Flöze, die auf große Höhenunterschiede verteilt sind, machen die technische Durchführung problembehaftet.

- Die Fettkohle wird im Bereich der plastischen Verformung eine gasundurchlässige Schicht bilden, die den Kanal-brand bzw. Vergasungsablauf zum Erliegen bringen wird.
- Die überlagerten Schichten des Tertiärs und der Kreide sind stark wasserführend und stellen für den UTV-Betrieb Probleme der Gasqualität und der Beherrschung des Vor-ganges dar.
- Das einzuschätzende Gebiet besitzt tektonische Störungen, die den UTV-Prozeß stören.
- Die UTV wird das Grund- und Trinkwasser durch die entstehenden Phenole und Teere beeinflussen.

Um eine Vorstellung zu gewinnen, mit welchen Bedingungen man bei einer Vergasung in großer Tiefe zu rechnen hat, wurde ein deutsch-belgischer Feldversuch in 860 m Tiefe in Thulin unternommen. Die Verbindung der beiden Bohrlöcher durch Kanalbrennen gelang dabei nicht. Beim Kanalbrennen - genauer Testverbrennung im Gegenstrom - wandert eine Reaktionszone dem einströmenden Vergasungsmittel entgegen und verbrennt dabei einen Teil der auf ihrem Weg liegenden Kohle.

Dadurch entsteht eine Zone erhöhter Gasdurchlässigkeit, von der aus die Vergasung einsetzen kann.

Der Hauptgrund dafür, daß das Gegenbrennen in Thulin nicht gelang, bestand darin, daß sich die Kohle unter Druck- und Temperatureinfluß plastisch verformte. Abgelenkte Bohrungen bedeuten hohe Präzision und genaue Kenntnis der Lagerstätte und trotzdem kommt es zu Abweichungen von einigen Metern, die dann über hydraulisches Brechen oder Elektroaufheizung permeabel gemacht werden müssen.

Bei den Versuchen in Thulin entstand nach eingeleiteter Vergasung eine größere Kaverne. Die Kohle vergaste weit weniger an deren Randflächen als aus Kohle, die durch Erwärmung, Eigengewicht und Gebirgsdruck von der Decke herabstürzten.

Aus wirtschaftlichen und umweltpolitischen Gesichtspunkten kann aus heutiger Sicht die Untertagevergasung im Kampens-Becken nicht empfohlen werden.

10. Risikoeinschätzung

Die Fülle der bisher gewonnenen Kenntnisse darf nicht darüber täuschen, daß sich die Entwicklung dieses neuen Gebietes in einem sehr frühen Stadium befindet. Ein Vergleich mit der Technik des Bohrens auf Öl und Gas, wo man bereits viele Tausende von Bohrungen niedergebracht hat, ist nicht zulässig. Vielmehr ist von einem ersten Einstieg in eine sehr schwierige Technik zu sprechen.

Es verbleiben daher noch nachstehende Risiken:

- Verhinderung von Wasserzuflüssen aus dem UTV-Horizont
- Verhinderung von Wasserdurchbrüchen aus dem Liegenden und Hangenden
- Kontrolle und Steuerung des Vergasungsablaufes
- Beherrschung von Prozeßstörungen und Havarie-situationen
- Maßnahmen zur Verbesserung der Gasqualität durch Sauerstoffanreicherung
- Vermeidbarkeit bzw. Beherrschung von Umwelteinflüssen, insbesondere in Form von
 - * Absenken/Einbrechen des Bodens
 - * Austritt von Produktgas in die Atmosphäre
 - * Verschmutzung des Grundwasser (Phenole, Teere) oder Veränderung des Wasserlaufes

Laboranalysen der Kohleproben

	TGL Symbol	Din- Symbol		Flamm- kohle	Fett- kohle
Wasser i.roh	(W ^r)	(W i.roh)	%	8,4	6,6
Asche i.roh	(A ^a)	(A i.roh)	%	3,29	4,35
Asche i.wf	(A ^d)	(A i.wf)	%	3,59	4,66
Flüchtige Bestand- teile i.roh	(V ^a)	(F i.an)	%	30,40	27,50
Flüchtige Bestand- teile i.wf.	(V ^d)	(F i.wf)	%	33,19	29,45
Brennbarer Schwefel i.roh	(S ^a)	(S brennb. i. an)	%	0,73	0,88
Brennbarer Schwefel i.wf	(S ^d)	(S brennb. i. wf)	%	0,80	0,94
Gesamt-Schwefel (S ^a) i.roh		(S ges. i. an)	%	0,85	1,03
Gesamt-Schwefel (S ^d) i.wf		(S ges. i. wf)	%	0,93	1,10
Chlorgehalt i.wf.	(Cl ^r)	(Cl i.wf)	%	0,14	0,11
Kohlenstoff i. wf.	(C ^d)	(C i.wf.)	%	82,31	84,25
Wasserstoff i.wf.	(H ^d)	(H i.wf.)	%	6,09	5,50
Stickstoff i.wf.	(N ^d)	(N i.wf.)	%	1,94	1,73
Sauerstoff i.wf. (als Differenz)	(O ^d)	(O i.wf.)	%	5,27	2,92
Heizwert i.roh	(Q ^r)	(H _v i.roh) kcal/kg		6984	7384
Heizwert i.waf.	(Q _{daf})	(H _v i.waf) kcal/kg		7964	8336
Heizwert i.wf.	(Q ^d)	(H _v i.wf.) kcal/kg)		7678	7948

Aschezusammensetzung (als Oxide):

		Flammkohle	Fettkohle
SiO ₂	%	40,0	40,2
Fe ₂ O ₃	%	10,8	18,8
Al ₂ O ₃	%	17,5	17,3
CaO	%	6,2	3,7
MgO	%	6,5	7,7
SO ₃	%	6,2	3,4
Rest (Alkali u.a.)	%	12,8	8,9

Ascheschmelzverhalten:

Sinterpunkt	(t ^s)°C	960	970
Erweichungspunkt	(t ^A)°C	1080	1040
Halbkugelpunkt	(t ^B)°C	1300	1280
Fließpunkt	(t ^C)°C	1360	1380

Pyrolyse unter Schwelbedingungen (K. Fischer-Schwelung)

Teer	i.roh	%	11,5	9,1
Teer	i.wf.	%	12,5	9,7
Schwelkoks	i.roh	%	71,5	75,7
Schwelkoks	i.wf.	%	78,1	81,0
Zersetzungswasser	i.roh	%	2,7	0,6
Zersetzungswasser	i.wf.	%	2,9	0,6
Gas + Verlust	i.roh	%	5,9	8,0
Gas + Verlust	i.wf.	%	6,5	8,7

Untersuchung belgischer Steinkohlen

Probe-Nummer Bezeichnung		1250 Kokskohle	1251 Flammkohle	1252 Spezialkohle
Wasser	(%)	1,84	4,15	2,00
Asche (d)	(%)	4,91	4,00	2,51
Flüchtige 900° C(d)	(%)	30,58	33,44	32,96
Swelling-Index	(%)	8½	1½	7½
Gesamt-Schwefel (d)	(%)	0,89	0,71	0,78
Koksausbeute (d)				
bei 600° C	(%)	76,16	72,61	72,42
bei 800° C	(%)	70,48	67,45	67,88
bei 1000° C	(%)	68,64	65,24	65,84
Methylenblau-Wert		bei allen 9 Koksen < 1,5		
Gesamt-S der Kokse (d)				
verkocht bei 600° C	(%)	0,74	0,55	0,60
verkocht bei 800° C	(%)	0,76	0,56	0,61
verkocht bei 1000° C	(%)	0,74	0,55	0,62
Asche der Kokse (d)				
verkocht bei 600° C	(%)	8,11	5,68	4,68
verkocht bei 800° C	(%)	7,50	6,63	4,31
verkocht bei 1000° C	(%)	7,23	6,38	3,71

Möglichkeiten der Herstellung von Kohlenstoffadsorbentien aus Kohlen

Prof. Dr.-Ing. Erhard Klose

1. Einleitung

In den letzten 30 Jahren haben adsorptive Trennverfahren eine breite Anwendung für industrielle Aufgabenstellungen gefunden:

- als Alternative zu absorptiven und extraktiven Trennverfahren
- und - als Reinigungsverfahren im Umweltbereich im weitesten Sinne.

Es lassen sich dabei folgende Haupteinsatzgebiete nennen:

- Wasserreinigung (Trinkwasser, Abwässer)
- Abgasreinigung
- und - Gastrennung.

Für derartige Prozesse nehmen kohlenstoffhaltige Adsorbentien einen führenden Platz ein.

Unter dem allgemeinen Oberbegriff "Kohlenstoffhaltige Adsorptionsmittel" werden die Produkte

- Aktivkohle
 - Aktivkoks
 - und - Kohlenstoffmolekularsiebe
- zusammengefaßt.

Gemeinsam ist diesen Adsorptionsmitteln ein amorphes Feststoffgerüst mit einem Kohlenstoffgehalt von über 90 % und ein hydrophober Oberflächencharakter.

Von der äußeren Form her unterscheidet man

- pulverförmige, (Pulverkohle)
- körnige (Kornkohle)
- und - geformte Adsorbentien (Formkohle).

Bedingt durch den hydrophoben Charakter der Oberfläche sind Kohlenstoff-adsorbentien besonders geeignet, unpolare organische Stoffe selektiv aus der Gasphase und der flüssigen Phase zu adsorbieren. Zusätzlich können an den Oberflächen katalytische Reaktionen ablaufen. Aus diesem Grund werden Kohlenstoffadsorbentien auch als Katalysatoren oder Katalysatorträger technisch genutzt.

2. Einteilung von Kohlenstoffadsorbentien

Für die einzelnen Arten lassen sich folgende Anwendungsschwerpunkte nennen:

Aktivkohle

- Trinkwasser- und Abwasserreinigung,
- Lösungsmittelrückwinnung,
- Entfärben,
- Katalysatormaterialien.

Aktivkoks

- Rauchgasreinigung (DeSO_x, DeNO_x),
- Reinigung von Deponiesicker- und stark verschmutzten Industrieabwässern,
- Zusatz in biologischen Kläranlagen.

Kohlenstoff-Molsiebe

- Trennung von Gasgemischen (Abtrennung von H₂; Biogastrennung, Luftzerlegung)

Die Kohlenstoffadsorbentien besitzen eine ausgeprägte Porentextur (siehe Tab. 1). In den Makroporen findet der Transport der Adsorptive von der Kornoberfläche in das Porensystem schnell statt, so daß sie auch als Zuleitungs- oder Diffusionsporen bezeichnet werden. Von diesen Makroporen zweigen dann zahlreiche fein verästelte Meso-, Mikro- und Submikroporen ab, in denen die eigentlich Adsorptionsvorgänge ablaufen.

Die Eigenschaften der Kohlenstoffadsorbentien sind in recht komplexer Weise
- vom verwendeten Einsatzstoff
und - vom Herstellungsprozeß
abhängig.

Technisch werden Kohlenstoffadsorbentien aus verschiedenen kohlenstoffhaltigen Materialien

- Holz
 - Torf
 - Braunkohle
 - Steinkohle
- und - Fruchtschalen (vorwiegend Kokosnußschalen)
durch eine chemische Aktivierung oder durch eine Gasaktivierung hergestellt.

Die Herstellung von kohlenstoffhaltigen Adsorptionsmitteln aus Steinkohle wird an einem Beispiel (Bild 1) erläutert:

- Speziell entaschte und fein aufgemahlene Steinkohle wird nach einer oxidativen Vorbehandlung mit einem Bindemittel gemischt und zu zylindrischen Formlingen verpreßt. Diese Formlinge werden einer Pyrolyse bei Temperaturen zwischen 800 und 900 °C unter Inertgas unterzogen. Es entsteht Aktivkoks.
- Durch einen Teilvergasungsschritt mit Wasserdampf wird das Porensystem des Aktivkokes so aufgeweitet, daß eine Aktivkohle mit der gewünschten Porentextur und inneren Oberfläche entsteht.
- Kohlenstoffmolekularsiebe entstehen, wenn das Porensystem eines genau definierten Vorproduktes (Aktivkohle) durch eine gezielte Abscheidung von Pyrokohlenstoff verengt wird. Kohlenstoff-Molekularsiebe besitzen deutlich engere Poren als Aktivkohle und Aktivkoks. Die Porenradien sind den Molekülgrößen der aufzunehmenden Gase angepaßt.

Vor dem Prozeß der Aktivierung muß das Ausgangsmaterial für die Aktivkohle zunächst auf eine einheitliche Korngröße gebracht werden. Dafür stehen verschiedenen Methoden zur Verfügung, die in Tabelle 2 zusammengestellt sind. Durch Extrudierung einer Mischung lassen sich sehr feste zylindrische Formlingen mit glatter Oberfläche im Bereich einer Korngröße zwischen 1 und 9 mm herstellen. Das Kornspektrum ist sehr eng.

Im allgemeinen schwankt der Zylinderdurchmesser nur innerhalb sehr geringer Toleranzen, während die Länge der einzelnen Formkörper eine gewisse Verteilung aufweist. Grundsätzlich lassen sich auch Formlinge herstellen, bei denen die Länge in derselben Größenordnung ist wie der Durchmesser. Eine weitere Formungsmethode ist die Pelletierung.

Sie führt zu runden Körnern mit befriedigender Härte, wobei allerdings das Kornspektrum wesentlich größer ist, verglichen mit der Extrudierung. Pellets lassen sich für Adsorptionszwecke in den Korngrenzen von 4 bis 9 mm herstellen. Eine weiterhin angewandte Methode zur Formung feinkörnigen Ausgangsmaterials besteht in einer Brikettierung mit nachfolgender Brechung und Aussiebung, die sowohl nach der Pyrolyse als auch nach der Aktivierung erfolgen kann. Wegen des Brechvorganges ist die Kornform unregelmäßig und die Kornoberfläche kantig. Die Härte solcher Körner kann gut bis sehr gut sein. Das Kornspektrum ist weit. Schließlich läßt sich auch im Prinzip für die Aktivkohlenherstellung ein von vornherien körniges Ausgangsmaterial verwenden, das entweder vor oder nach der Aktivierung gebrochen wird. Es entstehen ebenfalls unregelmäßige und kantige Körner, deren Härte im allgemeinen geringer ist als die der durch Formung hergestellten Produkte.

Seit langem ist die Herstellung von Aktivkohle Stand der Technik. Aufgrund der abzusehenden Bedarfsanforderungen bei Kornkohle sind aber weitere Entwicklungsarbeiten notwendig:

- Erweiterung der Rohstoffpalette,
 - Optimierung der einzelnen Teilprozesse
- und - Anwendung effektiverer Wirkprinzipien der Gasaktivierung.

Umfangreiche Grundlagenuntersuchungen hierzu wurden in den letzten Jahren durchgeführt. Diese zeigen immer wieder, daß das Makroporensystem bereits beim Formgebungsprozeß vorgebildet und durch die nachfolgende Pyrolyse fixiert wird. Starke Einfluß auf das Mikroporensystem und damit auf die Eigenschaften der Aktivkohle hat der Ablauf des Aktivierungsprozesses. Bei kurzen Behandlungszeiten in aktivierender Gasatmosphäre wird nur wenig Kohlenstoff teilvergast, entsprechend ist die Zunahme des Mikroporensystems gering. Mit zunehmender Aktivierungsdauer kann das Mikroporensystem in definierter Weise vergrößert werden. Als Maß für den Aktivierungsgrad benutzt man den sogenannten Abbrand, ausgedrückt durch die relative Masseabnahme, die als korrelative Größe für die Aktivitätseigenschaften besser geeignet ist als der Kohlenstoffumsatz.

Die wichtigsten Eigenschaften der Aktivkohle ändern sich mit den Abbrand (Bild 2):

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| - Rohdichte, Schüttdichte: | fallen linear |
| - Härte (Stoßhäre, Abrieb): | fällt |
| - Makroporenvolumen: | steigt |
| - Mikroporenvolumen: | steigt |
| - BET-Oberfläche: | Maximum bei ca. 60% Abbrand |
| - Jodzahl: | Maximum |
| - Methylenblau-Titer: | Maximum |

Einige qualitative Aussagen hierzu zeigen die Darstellungen in Bild 2.

3. Untersuchungsergebnisse

Ausgehend von den vorliegenden Erfahrungen bei der Herstellung von Aktivkohlen aus Braunkohlen wurden Testversuche mit belgischen Steinkohlen im Labormaßstab durchgeführt. Dabei wurde ein einfacher Herstellungsweg, als der in Bild 1 gezeigte, gewählt.

Eine Mischung der Koks- und der Gasflammkohle mit einer Körnung kleiner 1 mm wurde in einer Graphitretorte pyrolysiert. Die erhaltene körnige Kokscharge wurde auf eine Körnung von 2 bis 5 mm zerkleinert und in diesem Zustand einer Wasserdampfaktivierung unterzogen. Die für die Herstellung gewählten Bedingungen im Vergleich mit den bei Braunkohle üblichen sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Bei der gewählten Arbeitsweise wurde auf die Herstellungsstufen oxidative Vorbehandlung und Formgebung mit einem Bindemittel verzichtet.

Der Vergleich einiger Qualitätsparameter der Pyrolysekoks aus Stein- und Braunkohle (Tabelle 4) zeigt bei gleicher Festigkeit (Roga-Index) große Unterschiede bei den spezifischen Oberflächen. Im Gegensatz zu den aus Braunkohlenbriketts erzeugten Koksen ist bei dem Steinkohlenkoks ein Großteil des Meso- und Mikroporensystems nach der Pyrolyse nicht zugänglich, und sie können erst durch eine anschließende Teilvergasung geöffnet werden. Entsprechend ungenügend sind auch die Adsorptionseigenschaften (Methylenblautiter).

Die Ergebnisse der Gasaktivierung, ebenfalls im Vergleich mit Braunkohlen-Aktivkohlen, sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Bei den gewählten Bedingungen für die Pyrolyse und Aktivierung erhält man aus den benutzten Steinkohlenproben eine großporige Aktivkohle mit guter Festigkeit, die prädestiniert ist für die Flüssigphaseadsorption relativ großer organischer Moleküle bei der Abwasserreinigung und Entfärbung. Für den Einsatz als Kornkohle in Festbettfiltern der Trinkwasseraufbereitung muß ein um 10 bis 15 % höherer Abbrand angestrebt werden, um die geforderte Volumenleistung der Filter zu erreichen.

Erste Testversuche haben ferner ergeben, daß durch Variation der Kohlevorbereitung (oxidative Behandlung, Formgebung) und der Aktivierungsbedingungen der Anteil feinerer Poren erhöht werden kann, so daß ein Einsatz auch für die Gasphaseadsorption möglich ist.

Erzeugung flüssiger Produkte aus Kohlen durch Hydrierung

Dr.-Ing. Thomas Kuchling

1. Einleitung

Eine thermische Behandlung von Kohle bewirkt deren Umwandlung in eine Vielzahl von festen, flüssigen und gasförmigen Produkten (Bild 1). Durch Variation der Reaktionsbedingungen (Druck, Zeit, Temperatur, Reaktionsgaszusammensetzung und ggf. Einsatz von Katalysatoren) lassen sich Quantität und Qualität der anfallenden Stoffe in weiten Grenzen steuern. So bietet die Hydrierung die Möglichkeit, Kohlen bei Temperaturen zwischen 400 und 500 °C und Drücken > 30 MPa mit hoher Ausbeute in flüssige Brenn- und Treibstoffe bzw. Rohstoffe für die chemische Industrie umzuwandeln.

Die Kohlehydrierung ist ein Verfahren, daß gewenwärtig weltweit keine Anwendung findet, daß allerdings in der deutschen Wirtschaft während des 2. Weltkrieges eine bedeutende Rolle gespielt hat (Bild 2). 1943/44 waren 12 Hydrierwerke in Betrieb. Diese hatten eine Jahresproduktion von ca. 4 Mio. Tonnen Treibstoffen und deckten damit etwa ein Drittel des deutschen Mineralölbedarfes ab. Etwa die Hälfte des Autobenzins und des Dieselmotortreibstoffs und sogar über 90 % des Flugbenzins entstammten den Hydrierwerken (1,2). Als Einsatzstoffe kamen sowohl Stein- als auch Braunkohlen bzw. Teere aus diesen Kohlen sowie schwere Erdölfraktionen in Frage. Stein- und Braunkohlen sind also gleichermaßen für eine Hydrierung geeignet; die strukturellen Besonderheiten der Kohlen führen jedoch zu Unterschieden in der Produktverteilung und erfordern differenzierte Reaktionsbedingungen.

2. Chemismus der Kohlehydrierung

Kohlemoleküle bestehen aus mehrkernigen aromatisch-hydroaromatischen Ringkomplexen unterschiedlicher Größe. Diese werden "Cluster" genannt. Die Cluster werden vor allem durch aliphatische Ketten und durch Etherbrücken, aber auch durch N- und S-Brücken zusammengehalten (Bild 3) (3). Dieses Gerüst bildet die feste Kohlenmatrix. In ihr werden kleinere Moleküle, die sogenannte "mobile Phase", festgehalten. Das Bild zeigt stark vereinfacht, welche Vorgänge bei einer thermischen Behandlung ablaufen:

1. "Abdestillation" der mobilen Phase, d.h. die kleineren, eingelagerten Moleküle werden als flüssige Produkte ausgetrieben.
2. Bildung von Fragmenten aus der festen Kohlematrix, durch Bruch der schwächeren Bindungen an den Verknüpfungsstellen der Cluster.

Die gebildeten Fragmente haben radikalischen Charakter. Die Beschaffenheit der endprodukte wird durch die Art und Weise der Absättigung der freien Valenzen bestimmt. Dabei sind 2 Wege offen. Wird Wasserstoff angelagert, so entstehen überwiegend flüssige Produkte, die Molekülgröße der primär gebildeten Fragmente bleibt weitestgehend erhalten. Steht Wasserstoff jedoch nicht in geeigneter Form zur Verfügung, so kommt es durch Rekombination und Kondensationsreaktionen zur Bildung von festem Koks. Dieser Ablauf entspricht dem der Pyrolyse.

Es ist leicht vorstellbar, daß die entstehenden Hydrierprodukte in Menge und Qualität sowohl vom chemischen Aufbau der Cluster als auch von der Anzahl und der Art der Vernetzungen abhängig sind. Hier unterscheiden sich Stein- und Braunkohlen deutlich, wie Bild 4 zeigt. Es ist ersichtlich, daß mit zunehmendem Inkohlungsgrad

- der Sauerstoffgehalt und damit die Zahl der Etherbrücken in den Verbindungen zwischen den Clustern,
 - die Zahl der Substituenten an den aromatischen Ringen
- und
- die Funktionalität
- abnimmt sowie
- die Aromatizität
- und
- das Ausmaß der Kondensation aromatischer Ringe

zunimmt. Die Destruktion der festen Matrix erfolgt umso leichter, je schwächer die Verbindungen zwischen den Clustern sind, bzw. je höher der Anteil der Bindungen mit relativ niedriger Bindungsenergie (z.B. Etherbrücken) im Kohlemolekül ist. Demzufolge sollten niedrig inkohlte Braunkohlen leichter, d.h. bei milderem Bedingungen, hydrierbar sein als Steinkohlen. Andererseits bewirkt der hohe Heteroatomgehalt von Braunkohlen ausbeutelimittierend und verursacht ein Ansteigen der Gasbildung (Wasser, Kohlenoxide).

Diese Tendenzen werden durch die Gegenüberstellung von Ergebnissen in großtechnischen Anlagen (1,4) bestätigt (Bild 5). Zur Erzielung vergleichbarer Kohleumsatzgrade > 90 % sind bei Steinkohlen schärfere Reaktionsbedingungen hinsichtlich Temperatur und Druck erforderlich als für Braunkohle. Bei Steinkohle allerdings ist die gewinnbare Benzinmenge erheblich höher als bei der Braunkohlehydrierung, bei der aufgrund des hohen Sauerstoffgehaltes große Mengen an Wasser und Kohlenoxiden gebildet werden.

Dies allgemeinen Tendenzen werden jedoch oftmals durch die Wirkung anderer, nicht immer bekannter bzw. analytisch faßbarer Einflußgrößen (S-Gehalt, H/C-Verhältnis, Bindungsform der einzelnen Elemente u.a.) überlagert oder verdeckt. So ist es bisher nicht möglich, die Kohlen anhand analytischer Daten hinsichtlich ihrer Eignung zur Verflüssigung sicher und ausreichend zu charakterisieren. Eignungstest durch Laborversuche in Autoklaven oder Pilotanlagen sind deshalb notwendig.

3. Hydrierverhalten belgischer Steinkohlen

3.1. Experimentelles

Für die Beurteilung des Hydrierverhaltens der übergebenen belgischen Steinkohlen wurden Untersuchungen in 200 ml Autoklaven (maximaler Druck: 30 MPa, maximale Temperatur: 450 °C) durchgeführt. Bild 6 zeigt das Schema der Versuchsanlage (5). Zur Gewährleistung der für die Reaktionen notwendigen guten Durchmischung der festen, flüssigen und gasförmigen Reaktionspartner wurden die Autoklaven horizontal gelagert und über die Längsachse geschüttelt.

Die Kohle wurde gemeinsam mit einem staubförmigen Katalysator, einem eisenhaltigen Abfallprodukt der Aluminiumherstellung, in einem Anmaisöl dispergiert. Zum Einsatz kam ein steinkohlenstämmiges Anthrazenöl.

Die Autoklaven wurden mit Wasserstoff auf einen Anfangsdruck von 14 bis 15 MPa bespannt und schnell auf Reaktionstemperatur aufgeheizt. Daran schloß sich eine Haltezeit bei Reaktionstemperatur von 45 min. an.

Nach Beendigung des Versuches und Abkühlung wurden die Autoklaven entspannt. Das Produktgas wurde gaschromatografisch analysiert. Die als Gemisch vorliegenden festen und flüssigen Produkte wurden entsprechend ihrer Löslichkeit in organischen Lösungsmitteln fraktioniert (Bild 7):

- Feste Rückstände: unlösliche in Tetrahydrofuran (THF)
- Preasphaltene: löslich in THF, unlöslich in Benzen
- Asphaltene: löslich in Benzen, unlöslich in Normalbenzin
- Öle: löslich in Normalbenzin.

Zur vergleichenden Beurteilung des Hydrierverhaltens von Kohlen ist es nicht sinnvoll, alle möglichen Einflußgrößen zu variieren. Es wurden deshalb für folgende parameter Festwerte gewählt:

- Reaktionsdruck: ca. 27 MPa
- Reaktionszeit: 45 min
- Katalysatormenge: 5 % (bez. auf das Kohle)
- Maischöl/Kohle-Verhältnis: 1:1

Nur die Reaktionstemperatur als eine der Haupteinflußgrößen wurde für alle Kohlen in 3 Abstufungen (400, 425 und 450 °C) variiert.

3.2 Ergebnisse

Bild 8 zeigt den Vergleich des Hydrierverhaltens der einzelnen Kohlen bei unterschiedlichen Temperaturen. Zum Vergleich wurden noch Ergebnisse für eine deutsche Braunkohle mit einbezogen. Im Vergleich zur Braunkohle sind die Ergebnisse der Steinkohlenhydrierung bei den jeweiligen Temperaturen niedriger. Das bezieht sich nicht nur auf wesentlich kleinere Kohleumsätze und Flüssigproduktausbeuten. Auch das Verhältnis der unerwünschten hochmolekularen flüssigen Produkte (Preasphaltene, Asphaltene) zu den erwünschten Ölen ist erheblich ungünstiger. Von den 3 Steinkohlen werden mit der niedriger inkohlten Gasflammkohle erwartungsgemäß die besten Resultate erhalten.

Die Ergebnisse spiegeln die eingangs beschriebenen strukturellen Unterschiede wider und weisen auf einen höheren Kondensationsgrad in den Clustern und eine stärkere Vernetzung der Steinkohlemoleküle hin. Um eine durchgreifende Hydrierung zu erreichen, müssen erheblich höhere Temperaturen zur Anwendung kommen.

Diese Aussage wird durch Bild 9 bestätigt. Es ist die Veränderung der Produktverteilung mit steigender Temperatur, getrennt für die 3 Steinkohlen und die Braunkohle dargestellt. Bei Braunkohle wird schon bei 400 °C ein fast vollständiger Kohleumsatz erreicht. Preasphaltene und Asphaltene werden mit Zunahme der Temperatur verstärkt zugunsten der niedermolekularen Öle abgebaut.

Im Gegensatz dazu wächst bei Steinkohle mit steigender Temperatur im untersuchten Bereich die Asphaltmenge stetig an, die Preasphaltmenge verändert sich ebenso wie die Ölmenge kaum. Auch aus diesen Verläufen läßt sich auf ein zu tiefes Temperaturniveau schließen.

Abbildung 10 gibt die Erklärung. Es sind qualitativ die charakteristischen Veränderungen der Produktmengen mit Zunahme der Temperatur dargestellt. Diese ergeben sich aus dem Reaktionsablauf, der im Bild dargestellt ist (6). Die Bildung der Preasphaltene, Asphaltene Öle und gasförmigen Kohlenwasserstoffe tritt dabei als Folgereaktion auf, die von einer Temperaturzunahme begünstigt wird. Demzufolge durchlaufen Preasphaltene, Asphaltene und Öle nacheinander charakteristische Maxima. Diese resultieren aus der jeweiligen Überlagerung von Bildungs- und Zersetzungsreaktionen. Bei tieferen Temperaturen überwiegt die Neubildung, bei höheren die Zersetzung.

Das Temperaturoptimum liegt im Bereich der maximalen Ölausbeute. Während bei der Braunkohle mit 450 °C dem Optimum schon sehr nahe gekommen wurde, sind bei Steinkohlen erheblich höhere Temperaturen erforderlich (450 bis 500 °C). Leider konnten noch keine Untersuchungen bei diesen Temperaturen durchgeführt werden, da die vorhandenen Autoklaven nur für maximal 450 °C zugelassen sind und der Bau neuer Druckgefäße noch nicht rechtzeitig abgeschlossen werden konnte.

Unabhängig davon kann zusammenfassend eingeschätzt werden, daß die untersuchten Kohlen prinzipiell für eine Verflüssigung geeignet sind. Zur Erzielung hoher Kohleumsätze und Ölausbeuten sind hohe Reaktionstemperaturen notwendig. Es ist zu erwarten, daß bei geeigneten Reaktionsbedingungen gegenüber der Braunkohlenhydrierung höhere Ölausbeuten bei gleichzeitig geringeren Gasmengen (Kohlenoxide, Wasser) erreichbar sind. Sollte eine Steinkohlenhydrierung zur Diskussion stehen, so ist bevorzugt die Gasflammkohle ins Auge zu fassen, nicht nur weil sie das bessere Hydrierverhalten gezeigt hat. Während die Kokskohle und die Spezialkohle ausgezeichnete verkokungstechnische Eigenschaften aufweisen, kann die Gasflammkohle nur im Gemisch mit guten Kokskohlen verkocht werden.

4. Chancen für die technischen Nutzung

Wie stehen nun die Chancen für die technische Nutzung des Verfahrens der katalytischen Hydrierung von Kohlen zur Gewinnung von flüssigen Treibstoffen?

Technische und technologische Probleme dürften einer Nutzung des Verfahrens kaum entgegenstehen.

Wie eingangs erwähnt, wurde die Kohlehydrierung bereits in großen Dimensionen praktiziert; dabei wurde auch der Nachweis der Hydrierbarkeit von Steinkohle erbracht. Die vorliegenden Untersuchungen geben keinerlei Hinweise, daß die belgischen Kohlen hierbei eine Ausnahme bilden könnten.

Die Antwort auf die Frage nach den zukünftigen Chancen wird deshalb weitestgehend durch die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens gegeben. Unter diesem Gesichtspunkt, so muß leider eingeschätzt werden, fällt die Antwort eindeutig negativ aus.

Bild 11 zeigt die Wärmebilanz für die Steinkohlehydrierung und damit auch den Kohlebedarf für die Erzeugung von einer Tonne Treibstoff. Die eigentliche Hydrierkohle macht mit rund 1,55 t nur etwa ein Drittel des gesamten Kohlebedarfs aus.

Fast 3 t sind für die Bereitstellung von Energie bzw. Hydrierwasserstoff erforderlich (7). Setzt man einen Kohlepreis von 250 DM pro Tonne Steinkohle an, so ergeben sich für die Erzeugung von 1 Tonne Treibstoff Kohlekosten in Höhe von 1.125 DM. Personalkosten oder Abschreibungen in etwa der gleichen Größenordnung sind dabei noch gar nicht erfaßt. Als Betriebskosten zur Herstellung von einer Tonne Treibstoff ergeben sich somit ca. 2.250 DM.

Demgegenüber stehen die niedrigen (von staatlichen Abgaben wie Mineralölsteuer und Mehrwertsteuer befreiten) Tankstellenabgabepreise für Normalbenzin. 1990 lagen diese in Deutschland bei etwa 300 DM pro Tonne (8). Selbst der Spitzenwert von über 800 DM im Jahre 1981, also im Anschluß an die Explosion der Rohölpreise, liegt noch weit unterhalb des o.a. Preises.

Die Rohölpreisentwicklung in den 70iger Jahren, in denen sich der Preis für Rohöl verzehnfacht hat, war weltweit ein Anlaß, um Arbeiten zur Kohlehydrierung aufzunehmen. Dabei wurde die Entwicklung bis hin zum Bau von halbtechnischen Demonstrationsanlagen (USA, Deutschland) geführt. Der Hintergrund für diese Arbeiten waren Prognosen, nach denen bei weiterer Steigerung des Rohölpreises der Rentabilitätspunkt für "Kohlebenzin" erreicht werden könnte. Dies haben sich aus 2 Gründen nicht erfüllt:

- Dem Trend der Rohölpreisentwicklung folgten auch die Preise anderer Brennstoffe, so auch die Kohlepreise.
- Ab 1981 stagnierte die Rohölpreisentwicklung und 1986 folgte der drastische Preiseinbruch.

Als Fazit kann festgestellt werden, daß der Rentabilitätspunkt wohl nie erreicht werden kann. "Kohlebenzin" wird somit immer kostspieliger sein als "Erdölbenzin", falls nicht durch das Eingreifen der Politiker die Situation verändert werden kann. Denkbar wäre eine Umlage der Mineralölsteuer zur Subventionierung der Kohleindustrie.

Abschließend möchte ich allerdings auch auf einen Sachverhalt hinweisen der für die Nutzung der Kohlehydrierung spricht. Bild 12 zeigt den Verbrauch und die Reserven an fossilen Energieträgern (8). Wie dem rechten Bildteil zu entnehmen ist, werden die bekannten Energievorräte der Welt zu über 75 % durch Kohle ausgemacht, der Anteil an Erdöl beträgt nur 14 %. Im Gegensatz dazu wird der Bedarf fast zur Hälfte durch Erdöl gedeckt. Aus dieser Diskrepanz ergeben sich sehr unterschiedliche Nutzungszeiten für die einzelnen Energieträger. Setzt man die derzeitigen bzw. bekannten Werte für Verbrauch und Vorkommen an, so ergibt sich für Erdöl eine Reichweite von nur etwa 30 Jahren, für Kohle dagegen von 215 Jahren.

Die Aussagekraft und der Wert einer solchen Zahlenspielerei sollten nicht überbewertet werden. Die Grundaussage bleibt jedoch erhalten und zeigt, daß zukünftig eine stärkere Zuwendung zur Kohle unumgänglich sein wird.

Literatur

- (1) W. König:
Katalytische Druckhydrierung. Springer-Verlag. Berlin, Göttingen, Heidelberg: 1950
- (2) Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie, Band 14, 4. Auflage
Verlag Chemie. Weinheim, New York: 1977
- (3) H. Jüngten:
Erdöl und Kohle 40 (1987), S. 153
- (4) A. Lissner und A. Thau:
Die Chemie der Braunkohle. Ban II: Chemisch-technische Veredlung. 3. Auflage.
Wilhelm Knapp Verlag, Halle: 1953
- (5) T. Lange, R. Köpsel, T. Kuchling, E. Klose:
Hydrogenation behavior of a German brown coal.
1. Influence of pressure, temperature and reaction time.
Fuel 68 (1986)3, S. 361-365
- (6) T. Lange, R. Köpsel, T. Kuchling, E. Klose:
Hydrogenation behavior of a German brown coal.
2. Non-isothermic kinetics.
Fuel 68 (1986)3, S. 365-370
- (7) W. Wilke:
Wege zur Linderung unseres Kraftstoffmangels.
Erdöl und Kohle 2 (1949)2, S. 71-74
- (8) Aralverkehrstaschenbuch 1990/91

Die Verflüssigung von Kohlen unterschiedlicher Qualität mittels CO-haltiger Hydriergas

Dr. rer. nat. Eberhard Mehnert

An vielen Stellen in der Welt wird heute an Verfahren zur Umwandlung von Kohlen in flüssige Kohlenwasserstoffe gearbeitet. Erklärtes Ziel aller dieser Forschungsarbeiten ist eine Modernisierung und Optimierung des Verfahrens von Bergius und Pier, wie es in den zwanziger Jahren entwickelt und bis Ende der fünfziger Jahre betrieben worden ist.

Fig. 1:

In der Tabelle sind die elementaren Zusammensetzungen von Braunkohle, wasseraschefrei gerechnet, und dieselkraftstoff einander gegenübergestellt. Dieselkraftstoff steht hier als Beispiel für die Endprodukte einer Kohleverflüssigung. Um die Kohle in derartige Endprodukte umzuwandeln, ist es nötig, Wasserstoff anzulagern, aber Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel zu entfernen.

Beim Bergius - Pier - Verfahren geschieht dies mit Wasserstoff bei einem Druck von 20 - 70 MPa und einer Temperatur von 480 °C unter Mitwirkung eines Katalysators. Die Heteroatome werden dabei entsprechend den dargestellten Reaktionsgleichungen als H_2O , NH_3 und H_2S entfernt.

Das Verfahren wird in zwei Stufen durchgeführt:

- In der 1. Stufe, der "Sumpfphase", erfolgt die Verflüssigung der Kohle, danach wird der verbleibende Feststoff (Asche und Restkohle und Katalysator) aus dem Reaktionsprodukt entfernt.
- In der 2. Stufe, der "Gasphase", wird das primär entstandene Kohleöl einer Hydroraffination unterworfen.

Diese Zweiteilung hat sich bewährt und steht nicht zur Diskussion.

Wir wenden unsere Aufmerksamkeit im folgenden nur der 1. Stufe des Verfahrens zu, da hier die größten Notwendigkeiten und Möglichkeiten für Prozessverbesserungen liegen.

Vor Bergius wurde schon mit anderen Hydriermitteln als Wasserstoff gearbeitet:

Berthelot verwendete Jodwasserstoff, der bei höheren Temperaturen in die Elemente dissoziiert und dabei Wasserstoff in statu nascendi liefert.

Franz Fischer setzte mit Erfolg Natriumformiat ein, das in der Hitze ebenfalls Wasserstoff abspaltet, oder Kohlenmonoxid zusammen mit Wasser, wobei über die Konvertierungsreaktion ebenfalls Wasserstoff gebildet werden kann.

Von technischem Interesse ist nur das System $\text{CO}/\text{H}_2\text{O}$, mit dem sich in neuerer Zeit auch Forschungsgruppen an der Technischen Universität Clausthal (D), an der Universität von Nord-Dakota (USA), im Pittsburgh Energy Technology Center (USA) und an der Bergakademie Freiberg (D) befassen haben.

Über den Reaktionsmechanismus der Umsetzung von Kohle mit CO und Wasser gibt es verschiedene Hypothesen, ohne daß bisher eine endgültige Klärung in Sicht ist.

Fig. 2:

Krönig spricht von einer Reduktion sauerstoffreicher Kohlen durch CO , wobei CO wirksamer sei als H_2 . Es sind folgende Reaktionen denkbar:

Nach (1) reagiert CO mit einer Hydroxylgruppe zum Ameisensäure-ester, welcher sofort nach (2) unter CO_2 -Abspaltung zum entsprechenden Kohlenwasserstoff weiterreagiert.

Analog ist nach (3) die Bildung von Ameisensäure möglich, die als starkes Reduktionsmittel nach (4) die Hydrierung von Keto-gruppen bewirken kann. Unterstützt wird diese Hypothese durch die Tatsache, daß CO bei sauerstoffreichen jüngeren Kohlen besonders wirksam ist, bei sauerstoffarmen Steinkohlen aber nahezu unwirksam.

Da sich CO und H₂O unter den Bedingungen der Kohleverflüssigung nach (5) zu CO₂ und H₂ umsetzen können, ist auch die Einwirkung von H₂ in statu nascendi auf die Kohle möglich.

Schließlich muß noch ein Katalysator-Mechanismus mit intermediärer Eisenpentacarbonylbildung nach (6) in Betracht gezogen werden. In Autoklavenversuchen konnte der Beweis für die Wirksamkeit von Eisenpentacarbonyl-Zusätzen zum Reaktionsgemisch erbracht werden.

Fig. 3:

Die Reaktionsbedingungen entsprachen denen der Kohleverflüssigung. Als Hydriergas wurde ein Kohlenmonoxid - Wasserstoff - Gemisch verwendet. Um Reaktionen des Kohlenmonoxides mit dem Werkstoff auszuschließen, wurde der Autoklav mit Aluminium ausgekleidet. Man erkennt, daß der Kohleumsatz bei Abwesenheit von Eisenpentacarbonyl recht gering ist und schon bei sehr kleinen Carbonylzusätzen sprunghaft ansteigt.

Die Erklärung für die Wirkungsweise des Eisenpentacarbonyls ergibt sich aus dem Bildungs und Zerfallsverhalten dieser Verbindung.

Fig. 4:

In dieser Tabelle sind die Gleichgewichtskonzentrationen von Eisenpentacarbonyl in einem CO/H₂-Gasgemisch bei 30 MPa in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt. Bei Raumtemperatur liegt das Gleichgewicht weitgehend auf der Seite des Carbonyls, allerdings ist hier die Bildungsgeschwindigkeit äußerst gering. Sie nimmt aber mit steigender Temperatur zu, so daß bei 200 °C die Carbonylbildung ein Maximum erreicht. Bei 400 °C dagegen liegt das Gleichgewicht nahezu völlig auf der Seite der Zerfallsprodukte Fe und CO.

In einer kontinuierlich arbeitenden Kohleverflüssigungsanlage wird sich demnach bei ausreichend hohem CO-Partialdruck Eisenpentacarbonyl bilden und anschließend im Reaktor wieder zerfallen, wobei sich feindisperses Eisen bildet, das mit dem stets vorhandenen H_2S zu katalytisch wirksamen Pyrrhotit reagieren kann. Als Eisenquelle wirkt vor allem der Mineralbestand der Kohle, weniger die Wand des Vorheizers.

Nachdem Teubel und Mitarbeiter von der Bergakademie Freiberg bei Auto-klavenversuchen gefunden hatten, daß der Einsatz von Kohlenmonoxid bei der Verflüssigung von Braunkohle Vorteile bietet, wurde am Brennstoffinstitut Freiberg eine kontinuierlich arbeitende kleintechnische Versuchsanlage für die Kohleverflüssigung mit Kohlenmonoxid errichtet.

Fig. 5:

Die Kohle-Öl-Maische wird in einer Kugelmühle erzeugt und manuell in der Vorratsbehälter (1) gefüllt. Der Vorratsbehälter ist mit Rührwerk und Heizung ausgerüstet, um die Maische homogen und flüssig zu halten. Zur Kontrolle der Dosierung steht der Vorratsbehälter auf einer Waage. Zur Unterstützung der Maischeförderung zur Maischepumpe (2) wird der Vorratsbehälter mit Druckluft von 0,3 MPa beaufschlagt.

Die Maischepumpe (2) ist eine Membran-Dosierpumpe und fördert die Maische gegen den Anlagendruck von 30 MPa. Das Hydriergas wird in einer Gasmisch- und Speicheranlage hergestellt und auf 35 MPa verdichtet. Es wird über eine Mengenregelung der Maische vor dem Vorheizer (3) zugegeben.

Der Reaktor (4) ist 4 m lang und hat einen Innendurchmesser von 55 mm. Er ist - wie der Vorheizer - elektrisch beheizt.

Im Heißabscheider verlassenden Gase und Dämpfe werden gekühlt (6), wobei leichte Öle und Wasser kondensieren. Die Trennung des Gases vom Kondensat erfolgt im Kaltabscheider (7). Dessen Entleerung geschieht analog der des Heißabscheiders.

Das Produktgas wird über eine Druckreglung entspannt, durchläuft eine Mengemessung und einen Analysator und wird schließlich verbrannt (9).

Fig. 6:

In dieser Abbildung sind die Verfahrensparameter zusammengestellt. Die Autoklavenversuche hatten ergeben, daß die günstigsten Ergebnisse mit einer äquimolaren Mischung aus CO und H₂ erzielt werden.

Höhere CO-Gehalte verbessern den Kohleumsatz nicht weiter, führen nur zu einem stärkeren Ablauf der Konvertierungsreaktion. Desweiteren ist ein Kohlewassergehalt von 20 % bis 30 % für die Reaktion notwendig; höhere Wassergehalte fördern ebenfalls nur den Ablauf der Konvertierungsreaktion. Glücklicherweise kommen diese Ergebnisse einer technischen Gestaltung entgegen, denn CO/H₂-Gasgemische erzeugt man unmittelbar in Vergasungsprozessen, dagegen ist die Herstellung reinen Wasserstoffes oder reinen Kohlenmonoxides teuer. Auch größere Wassermengen würden den Prozeß stark belasten.

Der Siedebereich des Maischöles und die KohleKonzentration der Maische sind so abgestimmt, daß die Maische bei 70 °C gut förderbar ist. Höhere Siedebereiche des Maischöles verlangen höhere Verarbeitungstemperaturen, die aber wegen des Wassergehaltes der Kohle nicht ohne weiteres realisiert werden können.

Selbstverständlich wird eine möglichst hohe KohleKonzentration in der Maische angestrebt. Mit 48 % scheint das Maximum erreicht zu sein. Der Maischedurchsatz ergibt eine Verweilzeit bei Verflüssigungsbedingungen von 40 bis 60 Minuten. Bei diesem Durchsatz werden die günstigsten Ergebnisse erzielt.

Es hat sich bewährt, ein Hydriergas-Maische-Verhältnis von 1 m³ i.N./1 l einzustellen. Geringere Gasmengen verschlechtern die Umsatzkennziffern, größere Gasmengen nehmen auch größere Mengen an Öldämpfen auf, wodurch die Gefahr der Reaktoraustrocknung entsteht.

Aus dem gleichen Grunde müssen auch Reaktionstemperatur und Siedebereich des Maischöles aufeinander abgestimmt sein. Da der Siedebereich des verwendeten Maischöles relativ niedrig liegt, sollten 420 °C nicht überschritten werden. Ab 440 °C wurden Reaktorverstopfungen festgestellt, deren Ursache in zu hoher Ölverdampfung aus der Maische und dem Verlust der Fließfähigkeit lagen.

Nachfolgend wird über einige Ergebnisse berichtet.

Fig. 7:

Es werden vier unterschiedliche Kohlen eingesetzt: die Salzkohlen M und E, die Normalkohle D 2 mit hohem Asche-, insbesondere Pyritgehalt und die Hartbraunkohle K aus Kansk-Atschinsk. Die Kohleumsätze liegen zwischen 85 % und 95 %, wobei K den niedrigsten und D 2 den höchsten Wert erreicht. Parallel dazu erreicht der Ölgewinn Werte zwischen 65 % und 71 %. Allerdings gibt es wesentliche Unterschiede in der Qualität der Produktöle, wovon noch zu sprechen sein wird.

Größere Unterschiede traten im Hydriergasumsatz auf. Dieser Wert, der den Verbrauch an H_2 und CO während der Reaktion angibt, ist ein Maß für die Intensität der Hydrierung und indirekt auch für die Qualität der erzeugten Öle. Bei der Kohle D wurde ein Hydriergasumsatz von $0,633 \text{ m}^3 \text{ i.N./kg Kohle}$ dafür erreicht, was dem Effekt einer katalytischen Hydrierung mit Wasserstoff nahekommt ($0,72 \text{ m}^3 \text{ i.N./kg Kohle}$ dafür in Leuna).

Dabei wird etwa doppelt so viel CO verbraucht wie H_2 .

Im Gegensatz zur Hydrierung mit H_2 , bei der Wasser entsteht, wird bei Anwendung von CO Wasser verbraucht. Der Wasserumsatz erreichte $0,265 \text{ kg/kg Kohle}$ dafür. Dies sind etwa 75 % der dem ungesetzten Kohlenmonoxid entsprechenden Menge.

Die Ausbeute an gasförmigen Kohlenwasserstoffen erreicht nur Werte zwischen 6 % und 8 % gegenüber 15 % bei katalytischer Hydrierung nach Bergius-Pier. Dies ist ein Vorteil, der dem Ölgewinn zugute kommt und durch die milderen Reaktionsbedingungen hervorgerufen wird.

Die aufgeführten Umsatzkenngrößen stellen aber nur einen Teil der Ergebnisse dar. Ein entscheidendes Problem der kontinuierlichen Prozeßführung sind Reaktorverstopfungen.

Beginnenden Abscheidungen im Reaktor machen sich durch schwankende Temperaturen bemerkbar. Nach einiger Zeit treten Druckanstiege im Reaktor und Versetzungen in den abführenden Rohrleitungen auf. Die Abscheidungen bestehen aus Asphaltinen und Präasphaltinen, die sich nicht im Maischöl lösen. Diese Asphaltene schließen nicht umgesetzte Kohle ein und verkoken allmählich, wenn der Reaktor weiterbetrieben wird. Auf diese Weise kommt es schließlich zur Verstopfung, und die Anlage muß außer Betrieb genommen werden. Hinsichtlich der beschriebenen Abscheidungen gab es zwischen den untersuchten Kohlen erhebliche Unterschiede:

Starke Abscheidungen bis zur Reaktorverstopfung zeigte die Kohle M. Die Kohle E zeigte schwache Abscheidungen, K und D 2 keine Abscheidungen. Mit der Kohle D 2 wurde ein Versuch von über 200 Stunden Dauer gefahren und nach Beendigung ein völlig sauberer Reaktor vorgefunden.

Die Neigung zu Abscheidungen korreliert offenbar mit dem Asphaltengehalt des Produktöles. Das Gemisch aus Maischöl und Kohleöl hat offenbar die Fähigkeit, bis zu 10 % Asphaltene zu lösen. Höhere Asphaltengehalte führen zu den erwähnten Ausfällungen und Verstopfungen. Unterhalb dieses Grenzwertes verläuft die Hydrierung glatt und ohne Abscheidungen im Reaktor.

Der wesentlichste Unterschied zwischen den Kohlen D 2 und M liegt im Mineralbestand dieser Kohlen: D 2 enthält etwa 4 % Pyrit, der offensichtlich katalytisch wirksam wird. In M ist der Pyritgehalt dagegen vernachlässigbar klein.

Die Kohle E enthält zwar keinen Pyrit, ist aber wasserstoff- und bitumenreich und läßt sich daher leichter hydrieren als M. Die Hartbraunkohle K ist weder bitumenreich noch enthält sie Pyrit in merklichen Mengen. Offenbar hängt der gute Kohleabbau mit der andersgearteten Struktur dieser Kohle zusammen.

Schließlich wurde versucht, das schlechte Reaktorverhalten der Kohle M zu verbessern. Zuerst wurde sie in Mischung mit der pyrithaltigen Kohle D eingesetzt. Diese Maßnahme hatte sofort Erfolg. Die Ergebnisse sind in der vorletzten Spalte dargestellt: Hohe Umsatzkenngrößen, niedriger Asphaltengehalt, keine Reaktorabscheidungen. Auch die Zugabe von aktiviertem Koksstaub in einer Menge von 3 % der Einsatzkohle führt zum Erfolg, wie die letzte Spalte ausweist. Damit werden Wege aufgezeigt, wie eine ursprünglich ungeeignete Kohle der Verflüssigung zugänglich gemacht werden kann.

Bei den bisher genannten Versuchen wurde mit einer Schwelteerfraktion als Fremdmaischöl gearbeitet. In der Technik geht man dagegen so vor, daß prozeßeigenes Maischöl verwendet wird. Um einen solchen Fall zu simulieren, wurde eine Versuchsreihe gefahren, bei der die Maischölfraktion aus dem Produktgemisch durch Vakuumdestillation zurückgewonnen und beim folgenden Versuch erneut eingesetzt wurde.

Fig. 8:

Als Einsatzkohle für diese Rezyklisierungsversuche diente eine andere Probe der pyritreichen Kohle D. Der Startversuch wurde mit Fremdöl durchgeführt und drei Rezyklisierungen angeschlossen. Kohleumsatz und Ölausbeute schwanken um Mittelwerte, Tendenzen sind nicht erkennbar.

Veränderungen gibt es bei der Qualität des erzeugten Öles. Beim Startversuch wird offenbar eine höhere Ausbeute an niedriger siedenden Ölen vorgetäuscht, da ein Teil des Fremdüles hydriert wird. Das prozeßeigene Maischöl ist dagegen stabiler. Die bei den Rezyklisierungen gemessene Qualität des Produktöles, also das Überwiegen der schwereren Anteile gegenüber den leichteren, ist selbstverständlich das im Hinblick auf den technischen Fall realere Ergebnis.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis der Rezyklisierungsversuche war, daß auch die verwendete Maischölfraktion 250 - 420 °C vollständig reproduzierbar war bzw. sogar ein leichter Gewinn erzielt werden konnte. Dies ist wichtig für die Autarkie des Prozesses.

Schließlich wurde noch die Raffinationsfähigkeit des erzeugten Kohleöles getestet. Verwendet wurde die unterhalb 350 °C siedende Fraktions des 3. Rezyklisierungsversuches.

Fig. 9:

Die Hydrierung erfolgte in einer kleintechnischen Druckwasserstoff-Raffinationsanlage am Katalysator 8197 bei einer Temperatur von 400 °C, einem Druck von 25 MPa und einem H₂ : Öl-Verhältnis von 1.000 : 1 (m³ i.N./m³). Die Ausbeute an Raffinat betrug 90 %.

Der Überblick zeigt, daß der Raffinationseffekt sehr gut war. Stickstoff, Schwefel und Sauerstoff wurden weitgehend abgebaut. Doppelbindungen wurden hydriert, wie H/C-Verhältnis, dichte und Bromzahl zeigen. Der Hydrospalteffekt jedoch war bei den milden Reaktionsbedingungen erwartungsgemäß gering (Molmasse). Insgesamt weisen diese Ergebnisse aus, daß das erzeugte Kohleöl für die Weiterverarbeitung geeignet ist.

Abschließend kann festgestellt werden, daß der Einsatz von Kohlenmonoxid bei der Kohleverflüssigung eine Reihe von Vorteilen bietet, ohne daß gegenwärtig gravierende Nachteile erkennbar wären. Die Vorteile bestehen vor allem in

- dem direkten Einsatz von Vergasungsgas als Hydriergas ohne vorherige Konvertierung,
 - den milderen Reaktionsbedingungen
- und
- der Nutzbarkeit unkonventioneller katalytischer Effekte.

Selbstverständlich läßt sich in der beschriebenen Versuchsanlage auch die Verflüssigung von Steinkohle mit Wasserstoff als Hydriergas durchführen. Die Auslegung des Reaktors gestattet eine maximale Reaktionstemperatur von 480 °C bei einem Druck von 30 MPa, Parameter, wie sie für die Steinkohlehydrierung heute allgemein üblich sind. Eine kurzfristige Entscheidung über die Wiederaufnahme des Versuchsbetriebes ist jedoch notwendig, da mit der gegenwärtig stattfindenden Aufspaltung des Deutschen Brennstoffinstitutes in mehrere Nachfolgegesellschaften die Demontage der Anlage erwogen wird.

Fig. 1a: Elementary Analysis:

Mass-%	C	H	O	N	S
Brown Coal	72	5	20	0,5	2,5
Diesel	86	14	-	-	-

Fig. 1b: Bergius - Pier - Process

Liquefaction of Coal with H₂

Fe-Catalyst
 P = 20 - 70 MPa
 T = 480 °C

1. Hydrogenation of Carbon



2. Elimination of Heteroatoms

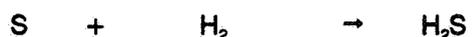


Fig. 2: Reactions of CO in Coal-Liquefaction

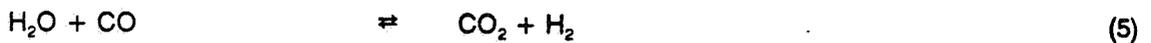
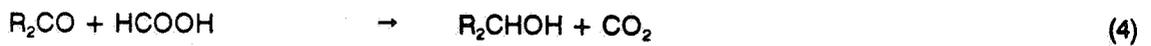
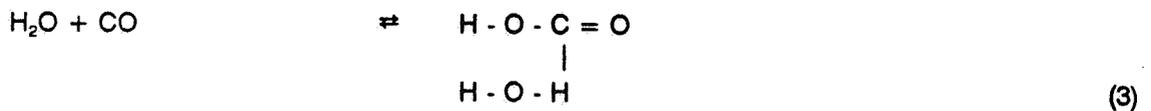
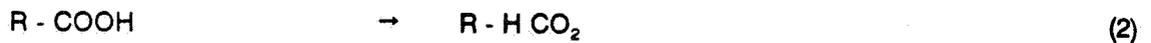
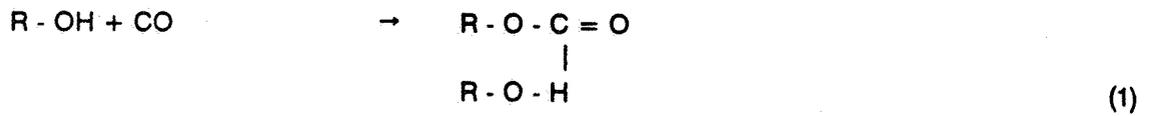


Fig. 3: Effect of Fe(CO)₅ on Coal-Liquefaction

Experimental conditions:

Autoclave
T = 400 °C
p = 26 MPa
CO : H₂ = 60 : 40
Browncoal in Oil/50 %

Fe(CO) ₅ [M-% of Coal]	Coal-Conversion [% of Coal (maf)]
0	56
0,35	70
1,0	76
3,0	84
5,0	89

Fig. 4: Equilibrium concentration of $\text{Fe}(\text{CO})_5$ in CO/H_2

Total pressure: 30 MPa
 CO partial pressure: 15 MPa

T [°C]	$\text{Fe}(\text{CO})_5$ $\frac{\text{g}}{\text{m}^3 \text{ i.N.}}$
0	56
0,35	70
1,0	76
3,0	84
5,0	89

Fig. 6: Experimental Unit for coal-liquefaction - Process conditions

Feed Gas	$\text{CO}:\text{H}_2 = 1:1$	H_2
Liquefaction solvent, boiling range	250 - 420	°C
Coal - Water content	20 - 30	%
- particle size	< 0,2	mm
Slurry - Coal content	43 - 48	%
Slurry flow rate	3 - 4	l/h
Gas Flow rate	3 - 4	$\text{m}^3 \text{ i.N./h}$
Pressure	30	MPa
Temperature	410 - 420	°C
Residence time	40 - 60	min

Fig. 7: Test runs with different coals

Coal		M	D2	E	K	M+D2	M+Cat
Coal conversion	%	87,6	95,2	92,1	85,8	96,6	98,5
H ₂ -conversion	m ³ i.N./kg	0,118	0,182	0,145	0,184	0,185	0,181
CO-conversion	m ³ i.N./kg	0,398	0,451	0,429	0,254	0,428	0,384
H ₂ O-conversion	kg/kg	0,161	0,265	0,204	0,187	0,299	0,247
Oil-yield	%	67,3	70,5	71,4	65,7	70,2	78,7
C ₁ . . . C ₄ -yield	%	5,8	6,6	7,7	6,3	8,1	8,5
Asphaltenes in Product Oil	%	15,4	7,1	10,9	8,1	3,5	4,7
Reactor deposits		strong	no	week	no	no	no

Fig. 8: Test runs with Oil-recycling

Feed coal : D1

	Start	1.R.	2.R.	3.R.
Coal conversion %	87,3	84,7	83,1	87,5
Oil yield %	62,0	62,3	60,9	64,3
< 350 °C %	44,2	22,8	20,3	30,6
> 350 °C %	17,8	39,5	40,6	33,7
C ₁ . . . C ₄ -yield %	8,2	5,6	5,0	4,6

Fig. 9: Results of Hydrorafination

D1-coal oil after 3rd Recyclisation < 350 °C

Cat. 8197

p =

250 MPa

t =

400 °C

H₂

		before	after
		Hydrorafination	
C	%	83,25	85,99
H	%	10,38	13,86
N	%	0,27	0,005
S	%	0,66	0,02
O	%	5,44	0,13
H/C-ratio		1,49	1,93
Density at 20 °C	g/cm ³	0,927	0,827
Bromine number	g Br/100g	45,2	0,7
Average Molecular weight		183	132

Methanol uit Steenkool Project Edelsteen

Dr. Walter Goossens

Aansluitend aan de mededeling over synthetische koolwaterstoffen uit steenkool, wil ik uw aandacht vragen voor één concreet geval: de produktie van 'methanol uit steenkool'.

In 1983 bestudeerde een feitelijk studiesyndicaat technologische, micro-economische, macro-economische en sociale aspecten van steenkoolvergassing. Dit feitelijk studiesyndicaat met de naam 'Edelsteen' had als penvoerder het

- Studiecentrum voor Kernenergie (SCK/CEN) te Mol.

De andere deelnemers waren:

- Kempense Steenkoolmijnen (KS),
- Limburgs Universitair Centrum (LUC),
- Economische Hogeschool Limburg (EHL), en
- Gewestelijke Ontwikkelingsmaatschappij Limburg (GOM Limburg).

Op basis van een uitvoerbaarheidsstudie kwam dit feitelijk studiesyndicaat tot het besluit dat er in België nood was aan een technische pilootinstallatie van steenkoolvergassing waarin de bovengrondse vergassing van binnenlandse steenkoolsoorten kon vergeleken worden met de vergassing van ingevoerde steenkoolsoorten.

Als mogelijke verdere veredeling van het bekomen gas werd toen de methanolfabricatie kwantitatief onderzocht. De geproduceerde methanol heeft potentiële gebruiksmogelijkheden als chemische grondstof, als motorbrandstof en als brandstof voor piekcentrales.

De potentiële markt in België werd, op lange termijn, geraamd op een steenkoolverbruik van 4,2 miljoen ton/jaar.

Deze dia geeft concrete cijfers over de geraamde produktiekosten van methanol uit steenkool. Noteer dat de raming uitgevoerd werd in 1983. De produktiecapaciteit van de methanolfabriek is grootschalig, namelijk 5.000 ton methanol/dag, wat overeenkomt met een verbruik van 2.100.000 ton kwaliteitskolen/jaar.

Het cijfermateriaal over investeringen, kapitaalkosten en werkingskosten werd geput uit een document van het Amerikaanse Department of Energy (ref. DOE CS/50009-01 van April 1980).

Dit cijfermateriaal werd geactualiseerd volgens de situatie van de Belgische staatshuishouding van 1983.

De berekeningen werden uitgevoerd voor twee soorten van Limburgse steenkolen. Het resultaat gaf een kostprijs van 14,52 BF - 14,36 BF voor methanol/liter equivalent benzine. Deze kostprijs was 25 % hoger dan de toenmalige kostprijs van motorbrandstof, geproduceerd in een raffinaderij van ruwe aardolie.

Daarom pleitte het feitelijke studiesyndicaat voor een beleidsmatige aanpak van de accijnzen op motorbrandstoffen om methanol op de markt een kans te geven.

Het proefproject van 1 ton steenkool/uur zoals voorgesteld door het studiesyndicaat Edelsteen, werd niet gerealiseerd. Wel heeft het SCK in het kader van diversificatie-onderzoek een materialen-testbank voor steenkoolvergassing gebouwd met een doorzet van 10 kg steenkool/uur.

De haalbaarheid van dergelijk secundaire energievectoren uit steenkool dienen verder geëvalueerd te worden, gebruikmakend van de huidige technische kennis en voortbouwend op vroegere, en huidige studies.

Met dank voor uw aandacht.

Symposium 13/09/1991, Steenkool met toekomst

NAAM		FUNCTIE	Adres
Adams		Europees Parlement	
Auquier	Willy	Chargé de recherches ISSEP	Liège
Baerts	Danny	Sales & Marketing	Genk
Baerts	Danny	Sales Manager	Genk
Bartok	Laszlo	Voorzitter Europees Studiekomitee	Hasselt
Beyer	Edgard	Tolk	
Bogaerts	Mark	SNC	Antwerpen
Bouko	Philippe	Cabinet du Secrétaire Energie	Bruxelles
Bovend'aerde	Joseph	Ingenieur	Maasmechelen
Bracke	J.	Hoofdingenieur-Directeur	Cuesmes
Brych	J.	Profesneur	Mons
Chandelle	V.	IDGS	Liège
Charlier	François	ISSEP	Liège
Claeys	Eugène	Mines & Géologie	Rhode-Saint-Genèse
Cnudde	J.-P.	Werkleider geologie	Gent
Coens	Robert	Hoofdopzichter KS	Zolder
Collart	Yves	Ingenieur	Diepenbeek
Comte d'Ursel	Aymard	Société Belge de Géologie	Moulbaix
Crolla	H.E.	Consultant	Leatherhead (United Kingdom)
D'Angioletti	Sabrina	Onthaal	Heusden-Zolder
Danheux-Braekman	Collette	Profesneur	Bruxelles
De Beul		Agfa Gevaert	Mortsel
De Blende	G.	Afdeling Energie Agfa-Gevaert	Mortsel
De Boose		Onthaal	
De Braal	W.	Marnebel nv	Lanaken
de Crombrughe	Olivier	Professor KUL	Lummen
De Groote	Paul	Geoloog	Genk
De Mulder	Jean	SNC NV	Antwerpen
De Salle	Paul	Foraky	Machelen
Deflandre	H.	Ingenieur-Directeur	Houthalen
Defourny (i.p.v. Pissart)		Solvay	Bruxelles
Degueldre	Gérard	Profesneur	Nouvelles
Delmer	A.		Bruxelles
Derijckere	Patricia		
Dreesen	Roland	Diensthoofd ISSEP	Liège
Dylst	Michel	Hoofdopzichter KS	Zolder
Dylst	Désiré	P.R. Studiekomitee	
Fabry		Ingenieur	Gent
Fermon	Jean	Avocat	Brussel
Fonteyn		Vlaamse gemeenschap	Markiesstraat 1 Brussel
Fransman	Miet	Onthaal	Zolder
Froment	B.	Faculté de Mons	Mons
Goossens	Walter	SCK / VITO	Mol
Graulus	Rik	Video-opnamen	Herk-De-Stad
Grutman	Léon	Card Concept	Hasselt
Gryp	Eric	Senator	Gent
Heintze	Peter	Heitkamp GmbH	Herne 2 (Deutschland)
Hendrickx		Directeur institut technique	Wanze

Symposium 13/09/1991, Steenkool met toekomst

Hermant	S.		
Hillen	Albert	Arbeidsgeneesheer	Zolder
Hiroux			
Hoge	E.	Dr.	Alverna, Chambre 502, Av. Mic
Houben	Robert	Tandarts	Zolder
Juvens	J.	Salaco nv	Hasselt
Kleinworth	Ralf	Tolk	
Koch	Cornelius		
Kuschke	Michael	Markscheider	Dorsten (Deutschland)
Küpper	Werner	Tolk	
Lagneau	Olivier	Faculté de Mons	Montigny-les-tilleuil
Langenacker	Vital	Assistent KU-Leuven	Leuven
Ledent	P.	IDGS	Liège
Lemaître	Pierre		
Lie Sun Fang		Ingenieur	Edegem
Luysterman	K	Petrofina	Brussel
Maldoy	Dhr.	Maldoy nv	Hasselt
Maldoy	Mevr.	Maldoy nv	Hasselt
Medaets	J.	IDGS	Liège
Melis	Eddy	Hoofdopzichter KS	Zolder
Mondelaers	R.	Syndikale kamer bouwnijverheid	Hasselt
Nasdrovisky	Laurence	Région Wallone	Mons
Nelissen	Nathalie	Onthaal	Hasselt
Noterman	Erik	Openbare werken & vervoer	Brussel
Osterrieth	Ann	Chargée de Mission	Bruxelles
Panou	G.	Professeur ULB	Bruxelles
Peerts	Marc	Ministère Région Wallone	Namur
Pée	Lutgard		Mol
Planchat	René		Bruxelles
Plevoets		Hoofdingenieur-Directeur	Hasselt
Plumot	Angèle	Regentes	Landen
Ramaekers	Danielle	Techniek	Zolder
Roche	Marc	Attaché-Laborant	Liège
Schellen	L.	Chef du Service Marketing	Bruxelles
Schmitz	Fernand	Avocat	Bruxelles
Schrooten		De Standaard	
Schuurmans	E.	Marnebel nv	Lanaken
Segers	Paul	GOM-Limburg	Hasselt
Sluijmsmans	R.W.J.	Conrector	Kerkrade (Nederland)
Smet	Hugo	Smet boring NV	Dessel
Soetens	E.	Distrigaz	Bruxelles
Stassen	Jean	Professeur/Inspecteur	Liège
Stoop	Jean	Belgische koleninvoerder	Antwerpen
Streel	Maurice	Professeur	Liège
Thayer	Thomas	Administrateur Délégué Ryan	Charleroi
Timmermans	Marc	Techniek	Alken
Tys	Emiel	Geoloog	Borgerhout
Van der Stichelen	Rogier	CEPCEO	Bruxelles
Van Dijk	Bernard	Studiekomitee	Landen

Symposium 13/09/1991, Steenkool met toekomst

Van Gheem	Roger	IBSO	Brussel
Van Lerberghe	D.	Petrofina	Brussel
Van Thournout	Frank	Expert ABOS	Brugge
Van Vaerenbergh	E.	Burgemeester	Lennik
Vanderputte	Jacques	Ere-Direkteur-Generaal KS	Maasmechelen
Vaneste	Jean-Pierre		
Vanheusden	Renaat	Studiekomitee	Hasselt
Vansteenlandt	Paul	Vlaams gewest	
Verbrugge	Romain	Waescoal nv	Sint-Niklaas
Verlinde	Michel	Distrigaz	Brussel
Vermeire	J.	Distrigaz	Brussel
Watson	Allen	Directeur Opération Ryan	Charleroi
Weltjens	Frans	Afgev. bestuurder Transport nv.	Bochelt
Wergifosse	G.	Distrigaz	Brussel
Werkers			Aartselaar
Whatelet	Jean-Charle	SWDE	Vedrin
Willame	Christian	Faculté de Mons	Mons
Willems	N.	Rijksuniversiteit Gent	Gent
Witters	Francine	Onthaal	Koersel
Wong	Th. E.	Rijksgeologische dienst	Haarlem (Nederland)

Verontschuldiging:

ANSELME, Bernard
Ministre-Président Exécutif Région Wallon

PUMANS
De Lijn

MAINIL, Pierre
Staatssecretaris voor Middenstand en voor de oorlogsslachtoffers

GABRIELS, Jaak
Burgemeester, Volksvertegenwoordiger

L'HOMME, G.
Professeur Université de Liège

DE WASSEIGE, Yves
Sénateur

DHOORE, Luc
Ondervoorzitter & Fractievoorzitter Kamer voor Volksvertegenwoordiging
"Wenst veel succes met dit initiatief"

AERTS, J.
Ere-Burgemeester

CHABERT, J.
Minister Brusselse Hoofdstedelijke Exécutieve

MOYSARD
Agence de Presse Internationale

PAPROTH, Eva
Voorzitter Intern Commissie van de Stratigrafie van het Karboon

DE CROO, Herman
Gewezen Minister, Volksvertegenwoordiger

JACOBS, P.

VANDERBERGHE, N.

LOGR, P.

MARAITE, Joseph
Minister-Präsident Exekutive der Deutschsprachigen Gemeinschaft

SWAELEN, Frank
Senaats-Voorzitter

VANDENWIJNGAERT, J.
Burgemeester Heusden-Zolder

VANVELTHOVEN, Louis
Voorzitter, Volksvertegenwoordiger De Vlaamse Raad

VAN DEN BOSSCHE, Luc
Gemeenschapsminister van Binnenlandse Aangelegenheden en Openbaar Ambt
Vlaamse Exécutieve

KUIJPERS, Willy
Senator

DELIZEE, R.
Le Secrétaire d'Etat à la Santé Publique et à la Politique des Handicapés

WATHELET, Melchior
Le Vice-Premier Ministre

PEDE, Elisabeth
De Staatssecretaris voor de Middenstand en voor de Oorlogsslachtoffers

GABRIELS, Jaak
Burgemeester, Volksvertegenwoordiger

WITHOFS, Vera
Schepen van Middenstand, Mindervaliden

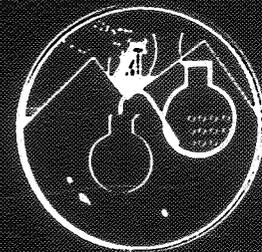
MOORS, Chris
Volksvertegenwoordiger, Boerenbond

VAN PARYS, Tony
Volksvertegenwoordiger Gent

VAN DEN BROECK, O.
Senator

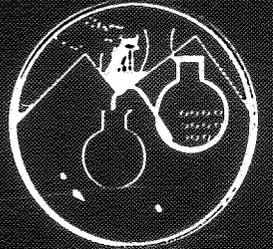
DEVOLDERE, Paul
Opdrachthouder Programmatie van het Wetenschapsbeleid

Verkokung bei unterschiedlichen Entgasungsendtemperaturen



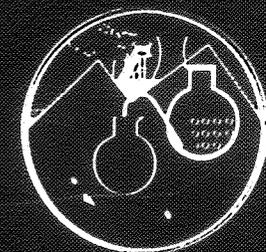
	Gasflamm	Koks	Spezial
Gesamtschwefel der Ausgangskohle			
M-%	0.71	0.89	0.78
Koksausbeute (d)			
bei 600 °C	72.61	76.16	72.42
bei 800 °C	67.45	70.48	67.88
bei 1000 °C	65.24	68.64	65.84
Methylenblautiter		bei allen 9 Koksen < 1,5	
cm /0,1g			
Gesamtschwefel der Kokse (d)			
verkokt bei 600 °C	0.55	0.74	0.60
verkokt bei 800 °C	0.56	0.76	0.61
verkokt bei 1000 °C	0.55	0.74	0.62
Asche der Kokse (d) M-%			
verkokt bei 600 °C	5.68	8.11	4.68
verkokt bei 800 °C	6.63	7.50	4.31
verkokt bei 1000 °C	6.38	7.23	3.71

Ergebnisse der Hochrechnung Rohgas



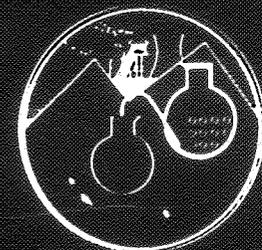
		Probe 1	Probe 2	Probe 3
- Ausbeute pro kg Kohlenstaub				
feucht	m^3_{N}	2,47	2,61	2,64
trocken	m^3_{N}	2,37	2,48	2,47
- chemische Zusammensetzung (trocken)				
H_2	Vol.-%	29,2	30,9	30,7
CO	Vol.-%	61,8	59,8	58,7
CO_2	Vol.-%	2,1	2,7	3,6
N_2	Vol.-%	6,7	6,3	6,7
H_2S	Vol.-%	0,25	0,28	0,25
COS	Vol.-%	0,02	0,02	0,02
- Heizwert	$\text{MJ}/\text{m}^3_{\text{N}}$	11,02	10,96	10,80
- Dichte	$\text{kg}/\text{m}^3_{\text{N}}$	0,928	0,912	0,921
Vergasungswirkungsgrad %		81,1	91,6	80,9
Vergasungsrückstand pro kg Kohlenstaub				
- Flugasche	kg	0,0049	0,0065	0,0029
- Schlacke	kg	0,028	0,037	0,017

Ergebnisse der Hochrechnung



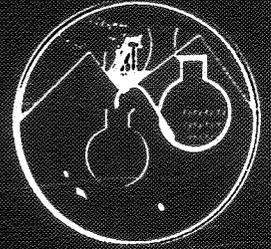
		Probe 1	Probe 2	Probe 3
Rohgasleistung der Anlage in MW(therm.) (Volumenstrom x Heizwert)		305,80	305,60	305,60
Kohlenstaubverbrauch in t/h		42,10	40,40	41,30
spezif. Verbrauch	pro MWh			
Kohlhenstaub	kg	137,70	132,20	135,10
Erdgas	m ³ _N	1,64	1,64	1,64
Sauerstoff	m ³ _N	110,20	101,80	120,40
Stickstoff	m ³ _N	12,20	11,90	12,10
Dampf	kg	9,80	27,40	7,50

Auszug aus dem Laboratoriumsbericht für 3 belgische Steinkohle Proben



	TGL	DIN		Probe 1	Probe 2	Probe 3
Wasser i.roh	$W_{t,d}^r$	W i.roh	%	8,4	6,6	2,0
Asche i.wf.	A	Ai.wf.	%	3,59	4,66	2,08
Flüchtige Best. i.wf.	V^d	F i.wf.	%	33,19	29,45	33,88
Kohlenstoff i.wf.	C^d	C i.wf.	%	82,31	84,25	83,46
Wasserstoff i.wf.	H^d	H i.wf.	%	6,09	5,50	7,53
Brennb. Schwefel i.wf.	S_c^d	S brennb.i.wf.	%	0,80	0,94	0,87
Stickstoff i.wf.	N^d	N i.wf.	%	1,94	1,73	1,81
Sauerstoff i.wf. (Diff.)	O_t^d	O i.wf.	%	5,27	2,92	4,25
Gesamt-Schwefel i.wf.	S^d	S ges.i.wf.	%	0,93	1,10	0,95
Heizwert i.wf	Q_i^d	H i.wf. kcal/kg		7678	7948	7837
Aschezusammensetzung als Oxide						
SiO ₂	%			40,0	40,2	40,1
Fe ₂ O ₃	%			10,8	18,8	19,0
Al ₂ O ₃	%			17,5	17,3	14,1
CaO	%			6,2	3,7	5,6
MgO	%			6,5	7,7	5,0
SO ₃	%			6,2	3,4	2,8
Rest (Alkali u.a.)	%			12,8	8,9	13,4

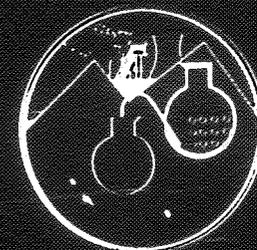
Auszug aus de Laboratoriumsbericht für 3 belgische Steinkohle Proben



- Probe 1 : Vlamkolen 0/10 (Flammkohle)
- Probe 2 : Cokeskolen 0/10 (Koks- und Fettkohle)
- Probe 3 : Speciale kolen 12/20
(Spezialkohle zwecks
Elektrokohleerzeugung für Schweden)

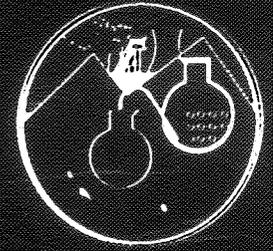
Bei allen 3 Kohlesorten
handelt es sich um Förderkohle
vom 31. 7./1. 8. 1990

Korngrößenzusammensetzung der Asche



	D/O ₂ kg/m ³ i.N.	Fraktion in mm						
		10	10/5	5/3,15	3,15/2	2/1	1/0,5	0,5
		Anteil in M-%						
Belgische Kohlen								
- Probe 1	5,5:1	19.35	20.29	12.86	9.91	10.67	8.74	18.18
- Probe 2	5,5:1	25.91	16.98	9.85	7.70	9.74	8.96	20.86
Chemische Kohlen								
- Probe 1	5,5:1	25.10	12.55	10.53	7.92	9.87	10.17	23.86
- Probe 2	5,5:1	36.57	15.04	9.72	7.12	8.42	7.66	15.47

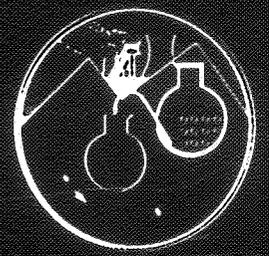
Einsatz- und Ausbeutekennziffern



	D/O ₂	Spzif. Kohle- verbr. kg(d)/m ³ i.N.	Gas- ausb. m ³ i.N. /kg(d)	Spezif. Sauerst.- verbr. m ³ i.N. /m ³ i.N.	Spezif. Dampf- verbr. kg/m ³ i.N.	Dampf- zersetz.- grad %	Verga- sungswir- kungsgrad %
Belgische Kohlen							
- Probe 1	5,5:1	0.463	2.160	0.210	1.156	30.4	78.7
- Probe 2	5,5:1	0.461	2.160	0.210	1.155	30.6	80.7
- Durchschnitt	5,5:1	0.432	2.165	0.210	1.156	30.6	79.7
Chemische Kohlen							
- Probe 1	5,5:1	0.502	1.995	0.196	1.079	32.0	80.9
- Probe 2	5,5:1	0.498	2.008	0.178	0.977	38.4	80.4
- Durchschnitt	5,5:1	0.500	2.000	0.187	1.028	35.2	80.5

Tabelle 7

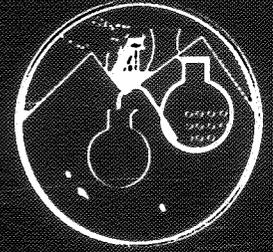
Mittlere Gaszusammensetzung



	CO ₂	CO	H ₂ S	CH ₄	C _n H _n	H ₂	N ₂	Heizwert MJ/m ³ i.N.
Belgische Kohlen								
- Probe 1	37.8	11.0	0.1	13.7	0.3	36.1	0.8	11,02
- Probe 2	38.9	9.2	0.1	14.1	0.3	35.4	2.0	10.86
Chemische Kohlen								
- Probe 1	38.1	9.8	0.1	13.7	0.3	34.8	3.2	10.73
- Probe 2	38.7	8.6	0.1	13.9	0.3	37.8	0.6	10.97

D/O₂ (kg/m³ i.N.) 5,5:1
 O₂ -

Chemische Kenngrößen der chinesischen Gasflammkohle



Symbol

d

Ascheschmelzverhalten (°C)

Oxidierend

- Erweichungspunkt
- Schmelzpunkt
- Fließpunkt

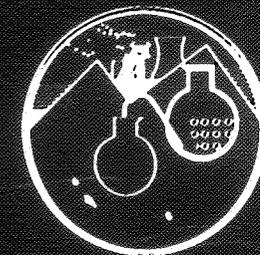
t_A	1227
t_B	1240
t_C	1252

Reduzierend

- Erweichungspunkt
- Schmelzpunkt
- Fließpunkt

t_A	1142
t_B	1179
t_C	1262

Chemische Kengrößen der chinesischen Gasflammkohle

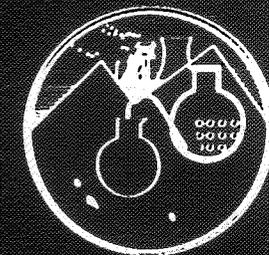


d

Ascheanalyse (M-%)
(Asche 815 °C)

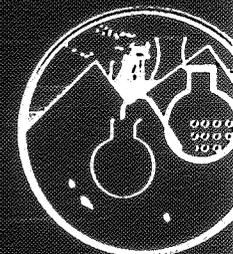
SiO ₂	37.5
Al ₂ O ₃	15.3
(Fe) _t als Fe ₂ O ₃	10.9
CaO	20.2
MgO	2.5
SO ₃	8.2
(Na) _t als Na ₂ O	0.6
K ₂ O	1.0
TiO ₂	0.7

Chemische Kengrößen der chinesischen Gasflammkohle



	Symbol	d
Schwefel (M-%)		
Gesamtschwefel	S_t	0.49
Ascheschwefel	S_a	0.34
verbrennl. Schwefel (Diff.)	$(S_c)_b$	0.15
Heizwerte (J / g)		
Verbrennungswärme	Q_s	29980
Heizwert	Q_i	28984

Untersuchungen zum Verkokungsverhalten



	Gasflamm	Koks	Spezial
Flüchtige Bestandteile (daf) %	34,4	32,2	34,7
Brennwert (lftr af) MJ/kg	33,38	35,51	34,09
1. Codeziffer des Internat. Klassif.-systems für SK	6	5	6
Swelling-Index (Blähzahl)	1 1/2	8 1/2	7 1/2
2. Codeziffer des Internat. Klassif.-systems für SK	1	3	3
Dilatationsverhalten			
Kontraktion %	26	28	25
Dilatation %	keine	49	23
Temp. bei Erweichung °C	385	373	378
Temp. bei Kurvenminimum °C	445	425	425
Temp. bei Wiederverfestigung °C	445	460	455
3. Codeziffer des Internat. Klassif.-systems für SK	1	3	3

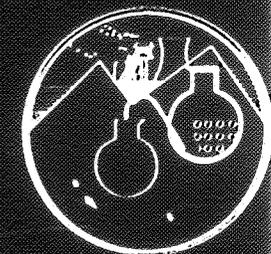
Aschezusammensetzung Ascheschmelzverhalten



	Gasflamm	Koks	Spezial
1°C/			
reduzierende Atmosphäre			
- Erweichungspunkt	1220	1256	1218
- Schmelzpunkt	1373	1390	>1420
- Fließpunkt	1405	>1430	>1420
oxidierende Atmosphäre			
- Erweichungspunkt	1329	1347	1335
- Schmelzpunkt	1392	1424	>1420
- Fließpunkt	1396	>1430	>1420

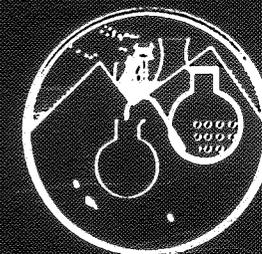
Aschezusammensetzung

Ascheschmelzverhalten



	Gasflamm	Koks	Spezial
/M-%/			
SiO_2	42.7	42.5	40.4
Fe_2O_3	8.2	12.6	14.8
Al_2O_3	27.9	29.5	31.7
CaO	7.7	4.5	5.8
MgO	2.3	2.5	2.1
SO_3	5.3	3.1	2.5
Na_2O	0.7	0.9	0.6
K_2O	1.9	2.1	0.8
Summe	96.7	97.7	98.7

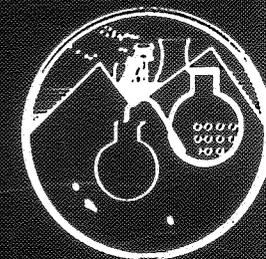
Laboranalytische Charakterisierung der untersuchten Kohlen



SCHWELGAS- ZUSAMMENSETZUNG		Probe 1	Probe 2	Probe 3
	Vol.-%			
Wasserstoff	H ₂	9.9	12.6	8.5
Stickstoff	N ₂	0.1	15.5	2.6
Methan	CH ₄	50.1	45.3	37.1
Kohlenmonoxid	CO	4.7	3.0	1.8
Kohlendioxid	CO ₂	12.4	7.9	7.6
Etan	C ₂ H ₆	13.6	9.5	25.6
Ethen	C ₂ H ₄	1.8	1.3	9.3
Propan	C ₃ H ₈	3.8	2.5	4.0
Propen	C ₃ H ₆	2.1	1.5	2.3
i-Butan	i-C ₄ H ₁₀	0.3	0.2	0.3
n-Butan	n-C ₄ H ₁₀	1.2	0.7	0.9

■ Tabelle 3a

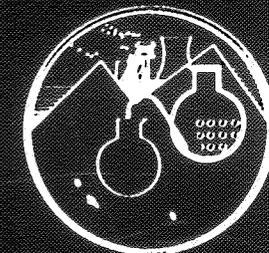
Laboranalytische Charakterisierung der untersuchten Kohlen



		Probe 1	Probe 2	Probe 3
SCHWELANALYSE (520 °C)	wf			
Schwelkoks	%	78.1	81.0	78.7
Schwelteer	%	12.5	9.7	12.6
Zersetzungswasser	%	2.9	0.6	2.0
Gas und Verlust	%	6.5	8.7	6.7
Gasmenge	l/kg (wf)	48.3	56.7	52.3

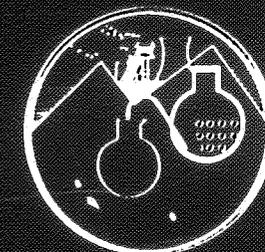
■ Tabelle 2b

Laboranalytische Charakterisierung der untersuchten Kohlen



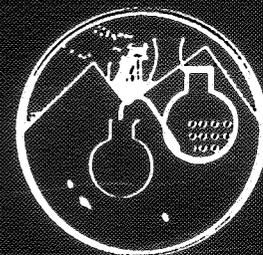
Elementarzusammensetzung		Gasflamm		Koks		Spezial	
		d	daf	d	daf	d	daf
Kohlenstoff	Ma-%	81,8	85,0	83,6	87,7	83,8	85,8
Wasserstoff	Ma-%	5,0	5,2	4,9	5,2	5,2	5,3
Schwefel (organisch)	Ma-%	0,6	0,6	0,8	0,8	0,7	0,7
Stickstoff	Ma-%	1,8	1,9	1,7	1,8	1,7	1,7
Sauerstoff (differenz)	Ma-%	7,0	7,3	4,3	4,5	6,3	6,5
Chlor	ppm	1400		1100		3500	
Schwefel		d	daf	d	daf	d	daf
Gesamtschwefel	Ma-%	0,63	0,58	0,84	0,82	0,71	0,70
Ascheschwefel	Ma-%	0,07	-	0,06	-	0,02	-
Organ. Schwefel	Ma-%	0,56	0,58	0,78	0,82	0,69	0,70
Heizwert	MJ/kg	32,08	33,35	33,26	34,90	32,74	33,51
Brennwert	MJ/kg	33,17	34,48	34,33	36,02	33,88	34,68

Laboranalytische Charakterisierung der untersuchten Kohlen



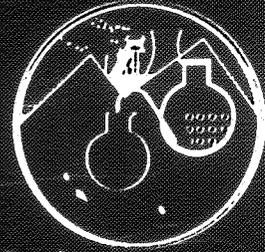
	Ma-%	Gasflamm		Koks		Spezial	
		d	daf	d	daf	d	daf
Wasser (roh)	Ma-%	8,4		6,6		2,0	
Wasser (lufttrocken)	Ma-%	3,2		1,4		1,7	
Kurzanalyse							
Asche	Ma-%	3,8	-	4,7	-	2,3	-
Flüchtige Bestandteile	Ma-%	33,1	34,4	30,7	32,2	33,9	34,7
Koksausbeute	Ma-%	66,9	65,6	69,3	67,8	66,1	65,3
Fixer Kohlenstoff	Ma-%	63,1	65,6	64,6	67,8	63,8	65,3

Ergebnisse der Mikrolithotypenanalyse



		Gasflamm	Koks	Spezial
Vitrit	Vol.-%	19	20	21
Liptit	Vol.-%	0	0	0
Inertit	Vol.-%	7	8	6
Clarit	Vol.-%	30	27	25
Durit	Vol.-%	3	3	6
Vitrinerit	Vol.-%	6	11	14
Trimacerit	Vol.-%	33	28	27
Carbominerit	Vol.-%	2	3	1

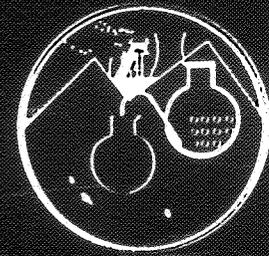
Ergebnisse der Maceralanalyse und der Vitrinit-Reflexion



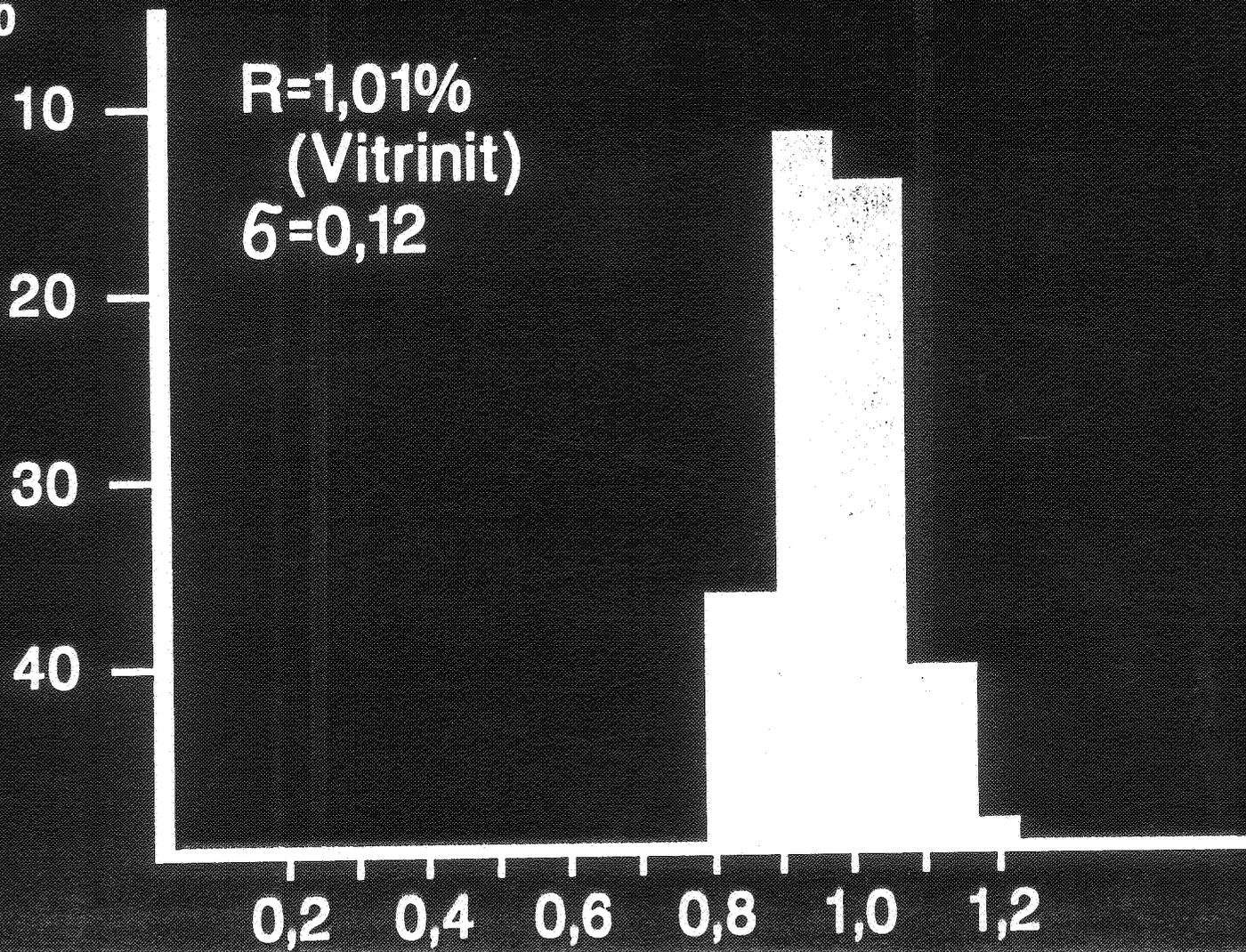
		Gasflamm	Koks	Spezial
Vitrinit-reflexion	$R_{m(OI)}$ (PR) %	0,83	0,98	1,01
- Vitrinit	Vol.-%	65	68	67
- Exinit	Vol.-%	12	9	11
- Inertinit	Vol.-%	21	20	21
Min.		2	3	1
- Vitrinit	min.frei (mf)	66	70	68
- Exinit	min.frei (mf)	12	9	11
- Inertit	min.frei (mf)	22	21	21

Abbildung 1c

Reflektogramme belgischen Spezialkohlen



Anteil
(FRQ) %

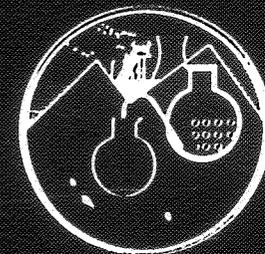


$R=1,01\%$
(Vitrinit)
 $\sigma=0,12$

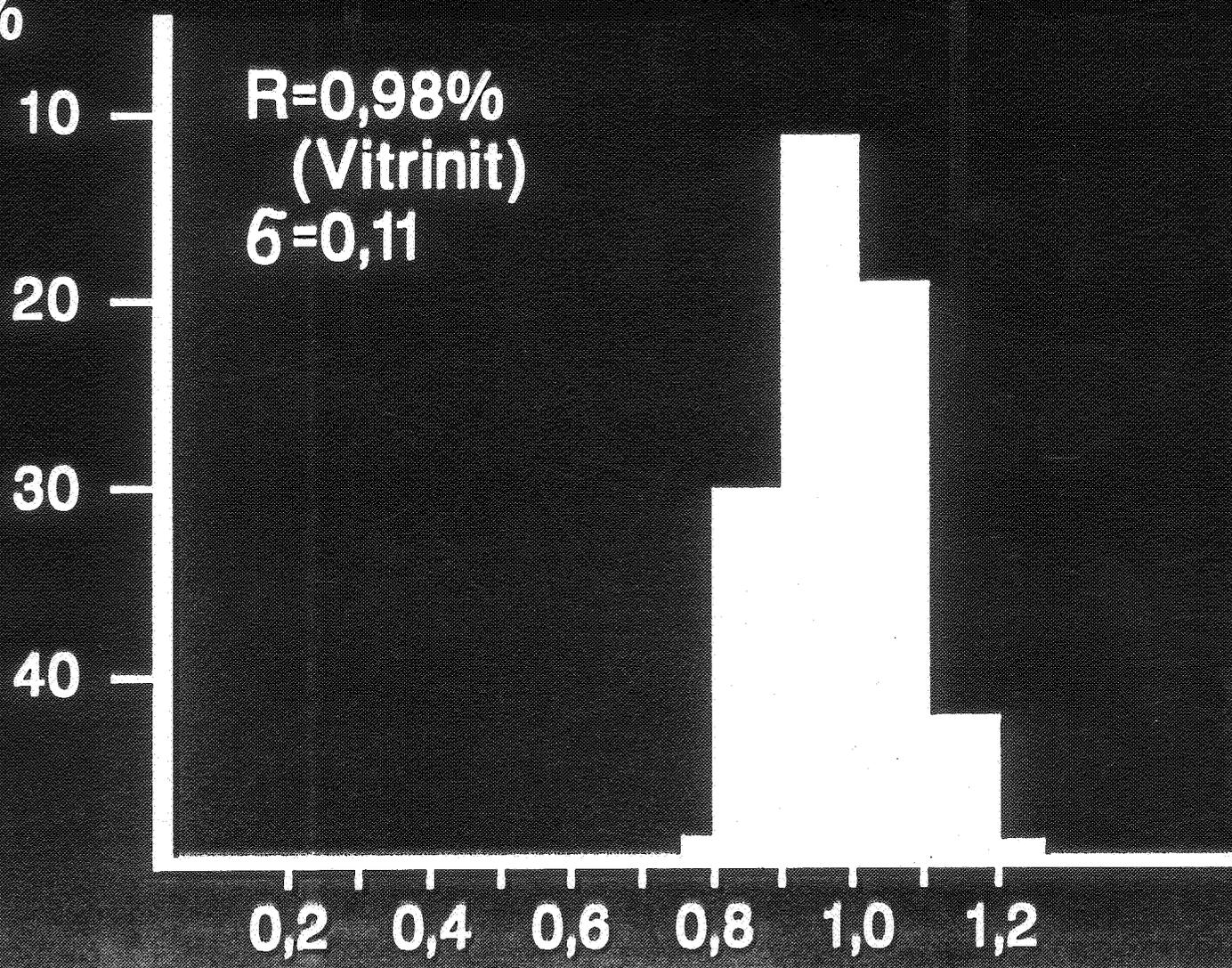
Reflektions-
vermögen
% $R_m(OI)$

Abbildung 1b

Reflektogramme belgischen Kokskohlen



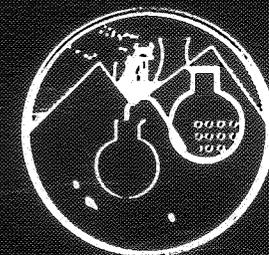
Anteil
(FRQ) %



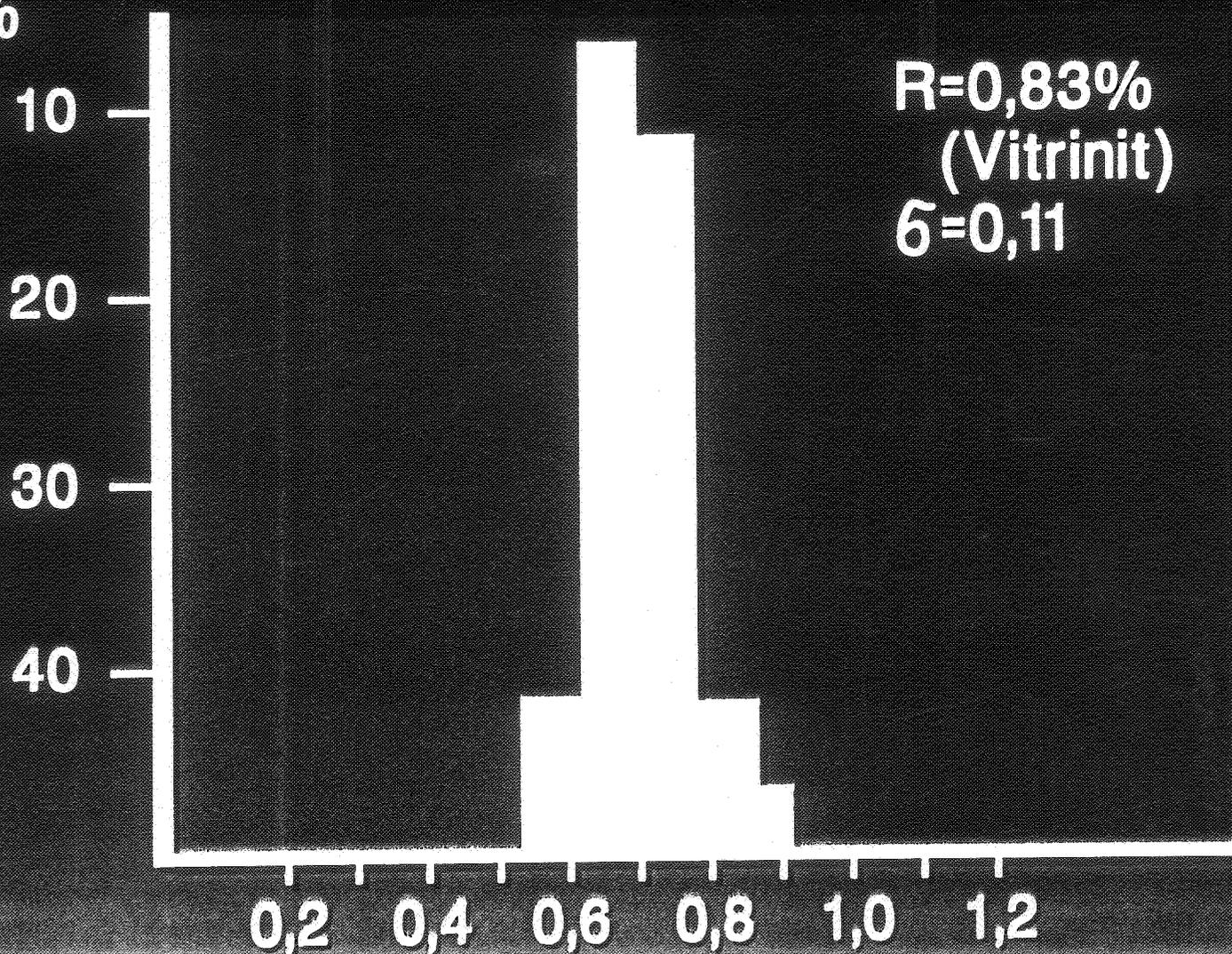
Reflektions-
vermögen
% $R_m(01)$

Abbildung 1a

Reflektogramme belgischen Gasflammkohlen



Anteil
(FRQ) %



$R=0,83\%$
(Vitrinit)
 $G=0,11$

Reflektions-
vermögen
% $R_m(01)$