

CHEMISCH WEEKBLAD

ORGAAN VAN DE NEDERLANDSE CHEMISCHE VERENIGING

INHOUD

	Blz.		Blz.
Verhandelingen, Overzichten, Verslagen	233	Mededelingen van het Secretariaat. — Examens voor Analyst. — Secties. — Chemische Kringen.	
Dr. D. W. van Krevelen, Steenkool, van brandstof tot chemische grondstof.	—	Mededelingen van verwante verenigingen	259
Boekbesprekingen	253	Mededelingen van verschillende aard	260
Korte Economische berichten	256	Vraag en Aanbod	260
Allerlei nieuws op chemisch en aanverwant gebied	256	Aangeboden betrekkingen	260
Personalia	256	Gevraagde betrekkingen	260
Verenigingsnieuws	256	Agenda van Vergaderingen	260

Verhandelingen, Overzichten, Verslagen

Steenkool

van brandstof tot chemische grondstof *)

door D. W. van Krevelen.

662.66.002.3 : 66.013.1

Dit artikel poogt een samenvatting te geven van de huidige stand van de steenkool-technologie. Na een kort overzicht over voorraden en productie wordt een beeld gegeven van de vraagstukken welke samenhangen met de intrinsieke eigenschappen en de classificatie van steenkool; o.a. wordt aandacht besteed aan de ontstaanswijze en de petrologie. Vervolgens worden de diverse technologische bewerkingen behandeld, nl. de fysische extractie, de destructieve extractie (ontsluiting), de hydrogenering, de carbonisatie, de totale vergassing, de gecontroleerde oxydatieve afbraak en de type-transformatie; van elk dezer bewerkingen worden de voornaamste wetenschappelijke, technische en economische aspecten besproken. Na een kort overzicht van de huidige betekenis van steenkool voor de chemische industrie in Nederland wordt een prognose gewaagd over de toekomstige mogelijkheden, waarin o.a. nader op de bereiding van vloeibare brandstoffen en chemicalien uit steenkool wordt ingegaan.

In this paper the author tries to give a summary of the present state of coal technology. After a short survey on coal reserves and production the problems are illustrated which are connected both with the intrinsic properties and the classification of coal; for example attention is bestowed upon coal genesis and petrology.

Subsequently the various technological operations are dealt with such as physical extraction, solvent extraction, hydrogenation, carbonization, total gazification, controlled oxidation and type-transformation; of each of these operations the chief scientific technical and economic aspects are discussed. After summarizing the present importance of coal for the Dutch chemical industry the author ventures upon a prognosis of future possibilities particularly in connection with the manufacture of liquid fuels and chemicals from coal.

Inleiding.

Toen Dr. Weidlein, directeur van het vermaarde Mellon Institute te Pittsburgh, in 1948 werd geëerd met de Priestley-medaille, zei hij in zijn toespraak o.a. het volgende: „Far too little fundamental research has been done on mineral coal. We still do not know what coal is chemically, and until we have this knowledge, we are working under a handicap.”

Dat dit zonder aarzeling kon worden geconsta-

teerd na 40 jaren van intensief researchwerk, vormt op zichzelf reeds een bewijs er voor, hoe hardnekkig de steenkool weerstand heeft geboden aan alle pogingen tot opheldering van zijn chemische structuur.

Er is in de natuur wel geen enkele macromoleculaire stof, waarvan de betekenis voor onze huidige samenleving zo groot is en waarvan wij tevens — chemisch gezien — zo weinig weten, als de steenkool. Eén van de redenen daarvan is, dat er geen twee steenkool-lagen met identieke samenstelling worden gevonden. Zowel het uitgangsmateriaal als de vormingswijze is

*) Voordracht, gehouden op de 103e Algemene vergadering van de Nederlandse Chemische Vereniging op 23 December 1949 te Amsterdam.

telkens verschillend geweest en daardoor is het vraagstuk van de steenkoolstructuur zo ongemeen ingewikkeld.

Inmiddels is op grond van een betrekkelijk beperkt *kennen* het technologisch *kunnen* niet onbelangrijk gevorderd. Ik wil trachten U in kort bestek een overzicht te geven van het huidige *kennen* en *kunnen* in de steenkoolchemie.

Alvorens hiertoe over te gaan wil ik allereerst de economische betekenis van steenkool trachten te schetsen.

Productie en voorraden.

Steenkool is thans één van de pijlers van onze samenleving en zal dit nog lang blijven.

In het begin van de 19e eeuw was de productie nog zeer gering; in 1838 bedroeg zij op de hele wereld slechts 38 miljoen ton. Bij het uitbreken van de eerste wereldoorlog, in 1914, was de wereldproductie gestegen tot ruim 1200 miljoen ton en om deze waarde is zij sedertdien blijven schommelen; slechts een geringe stijging valt nog waar te nemen. Figuur 1 geeft weer, hoe de productie per werelddeel zich van 1920 af heeft ontwikkeld.

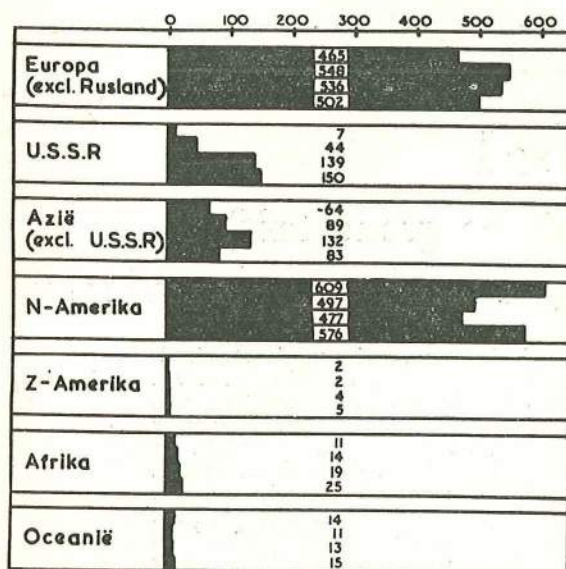


Fig. 1. Wereldproductie van steenkool (in miljoenen tonnen).

1920: 1172
1930: 1205
1940: 1320
1948: 1356

In vergelijking met deze productiecijfers is het interessant de gegevens te bezien over de waarschijnlijke voorraden van deze delfstof. Deze zijn weer gegeven in figuur 2.

Deze wereldreserve stelt 7000 maal het huidige jaarverbruik voor. De hoeveelheden die tot dusverre ontgonnen zijn vertegenwoordigen minder dan 1 % van de beschikbare voorraad. Daar staat tegenover, dat men tot dusverre de allerbeste lagen heeft ontgonnen, en dat op vele plaatsen reeds merkbare uitputting te constateren valt.

In ons land is de situatie minder gunstig. De aangetoonde ontginbare reserve bedraagt ca. 1650 miljoen ton, waarvan ca. 700 miljoen ton in Zuid-Limburg, een gelijke hoeveelheid in de Peel en kleinere voorraden bij Vlodrop, Arcen en in de

Gelderse Achterhoek. Ten dele liggen deze lagen op grote diepte (tot 1200 m). De totale waarschijnlijk aanwezige reserve is ruim twee maal zo groot, doch slechts ten dele ontginbaar. Bij een kolenproductie

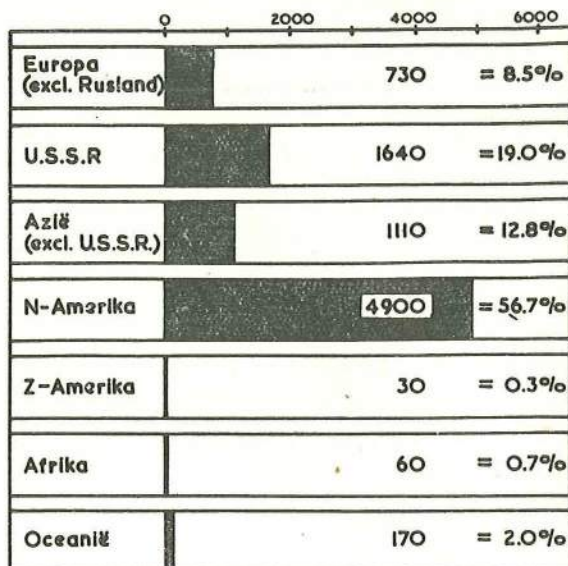


Fig. 2. Waarschijnlijke wereldvoorraden aan steenkool in milliarden tonnen (totaal 8640 milliard ton).

van ca. 13 miljoen ton per jaar zal de kolenrijkdom in Nederland over ruim 100 jaar derhalve op bedenkelijke wijze zijn verbruikt.

Verbruiksdoeleinden.

Sinds het begin van deze eeuw heeft de steenkool als primaire energiebron, een geduchte concurrentie gekregen van de aardolie en de waterkracht.

Het wereld-energieverbruik is sinds 1913 gestegen van 7×10^{15} tot 15×10^{15} kcal per jaar; daarbij vertegenwoordigen de diverse energiebronnen de in figuur 3 weergegeven procentuele bijdragen.

De enorme stijging van het aandeel van petroleum en natuurgas kan worden verklaard uit de specifieke voordelen die vloeibare en gasvormige brandstoffen bezitten tegenover vaste: gemakkelijke hanteerbaarheid, betere temperatuurcontrole, ontbreken van de zo hinderlijke asvormende bestanddelen, directe toepassingsmogelijkheid in explosiemotoren etc.

Daartegenover staat dat de voorraden olie en natuurgas t.o.v. steenkool gering zijn, zodat op den duur het relatieve aandeel van de steenkool weer zal kunnen stijgen. Dan echter zal de stand van de techniek zodanig zijn dat elke willekeurige vloeibare en gasvormige brandstof op economische wijze uit steenkool verkregen kan worden.

Om deze inleiding te besluiten laat ik hier nog een raming volgen van het procentuele verbruik van de steenkool zelf (figuur 4).

Het ontstaan van steenkool.

De wereldgeschiedenis heeft twee machtige kolenvormende tijdperken gekend: het Carboon en het Eoceen. In de andere geologische periodes was de steenkoolvorming van meer ondergeschikte betekenis.

Tijdens het Carboon zijn o.a. de Europese kolenvelden, die zich uitstrekken van Silezië tot Engeland, verder de Russische bekkens van Donetz en Moskou, de velden in de oostelijke delen van de Ver. Staten

en Canada, en die in Z.-Afrika en Oost-China gevormd.

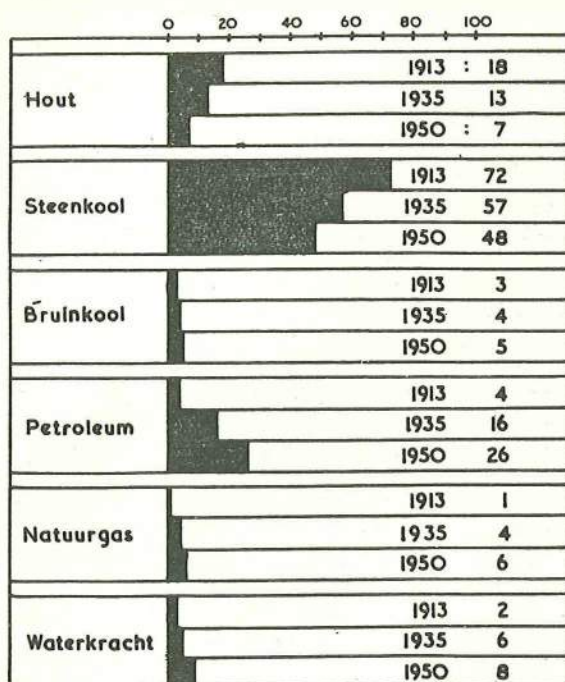


Fig. 3. Procentuele bijdrage van de verschillende energie-bronnen in het wereld-energie-verbruik in de jaren 1913—1950.

In het laatste deel van het Krijt en in het begin van het Tertiair (Eoceen) zijn o.a. de steenkolen gevormd, die thans in het midden, Westen en Noorden van N.-Amerika worden gevonden. De tertiaire steenkool maakt 54 % van de totale wereldvoorraad uit, doch de kwaliteit is minder dan die uit het Carboon.

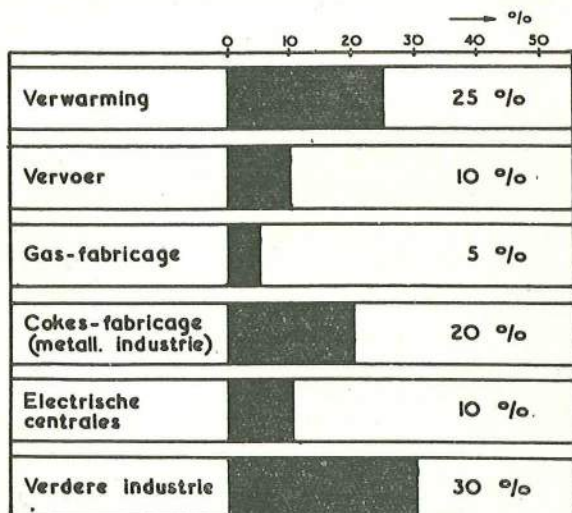


Fig. 4. Toepassingen van steenkool voor verschillende gebruiksdoeleinden in W.-Europa (in procenten).

Thans wordt algemeen aanvaard, dat steenkool zijn oorsprong vindt in de enorme massa's plantaardig materiaal, die in de vorm van uitgestrekte woudmoerassen grote delen van de aarde hebben bedekt. Via veen en ligniet is hieruit de steenkool ontstaan. Een noodzakelijke voorwaarde van veenvorming over grote uitgestrektheid en aanmerkelijke laagdikte is een relatief hoge grondwaterspiegel en een gestadige daling van de bodem. Door het water kunnen de afgestorven plantenresten worden behoud voor volle-

dige mineralisatie, d.w.z. omzetting tot koolzuur en water.

Het is vooral aan de petrografische analyse te danken dat ons inzicht in de samenstelling en vormingswijze van steenkool gedurende de laatste tientallen jaren aanmerkelijk is verrijkt.

De petrografie heeft aangetoond dat steenkool een aantal grondelementen bevat, die men — naar analogie met de mineralen in de gesteenteleer — *maceralen* heeft genoemd. Men onderscheidt:

1. de volledige structuurloze kolloïdale grondmassa van de steenkool welke *colliniet* wordt genoemd. Soms vertoont deze grondmassa celstructuur; men spreekt dan van *teliniet*. Colliniet en teliniet worden wel samengevat onder de naam *vitriniet*, het hoofdbestanddeel van de *glanskool* (vitriet) (figuur 5);



Fig. 5. Vitriniet met celstructuur. Vergroting 150 X (naar R. Thiessen en C. G. Sprunk).

2. een zeer karakteristiek bestanddeel, dat zich voor doet als een dofke zwarte substantie, welke echter onder het microscoop een typische celstructuur vertoont, *fusiet* of *fusiniet* genoemd, of ook wel, i.v.m. zijn sterke gelijkenis op de houtskool, fossiele houtskool (figuur 6).

Zowel vitriet als fusiet zijn uit de houtmassa (voornamelijk uit de schors) van de planten gevormd. Het is begrijpelijk dat er vele overgangsvormen tussen vitriet en fusiet worden gevonden (vitrofusiet);

3. de restanten van herkenbare plantendelen, zoals bladhuiden en sporen, die men samenvat onder de naam *exiniet*. Zij vormen het hoofdbestanddeel van de *dofke kool* (duriet) (fig. 7 en 8).

Uiteraard bestaat er ook weer overgangen tussen glanskool en dofke kool, meestal typisch laags-

gewijs, welke men *gestreepte kool* of *clariet* noemt (figuur 9);

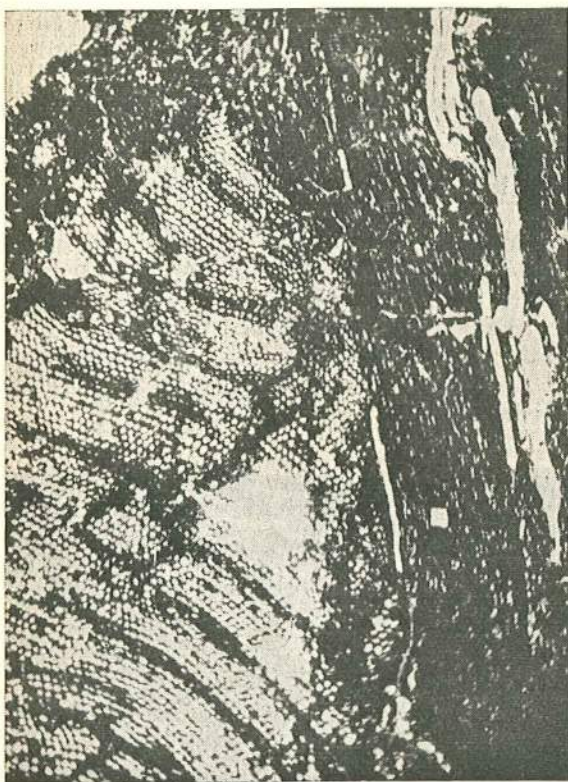


Fig. 6. Fusiet. Vergroting $30\times$ (naar Tideswell).

4. een massa van dofzwarte kleur en zeer fijnkorrelige structuur, ook in zeer dunne slijpplaatjes ondoorzichtig, welke men *micriniet* noemt, de grondstof van de *pseudo-cannel kool* (figuur 10).

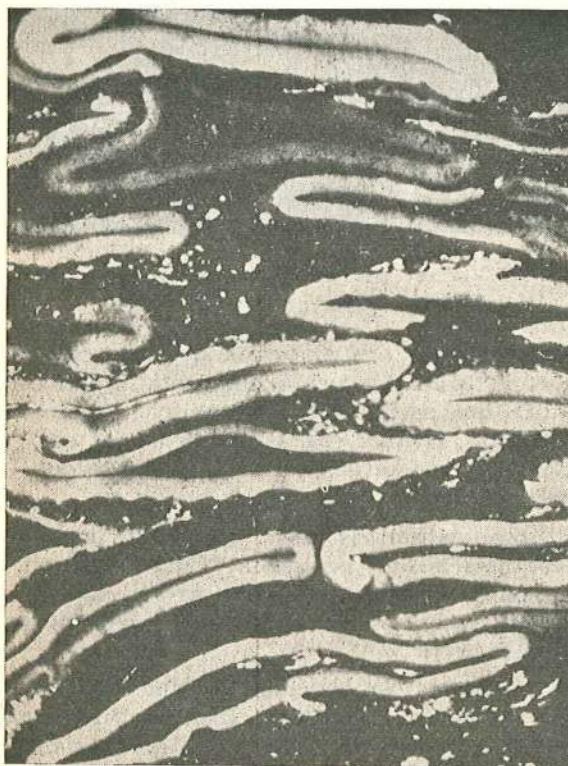


Fig. 7. Duriet met magasporen (exiniet). Vergroting $70\times$ (naar Sprunk, Selvig en Ode).

In chemische samenstelling gelijkijkt dit materiaal enigszins op fusiet;

5. de restanten van harsen en wassen, tezamen *resiniet* genoemd (figuur 11). Voor de samenhang van petrografische steenkooltypes en maceralen zie men figuur 12.



Fig. 8. Duriet met voornamelijk microsporen (exiniet). Vergroting $160\times$ (naar Sprunk, Selvig en Ode).

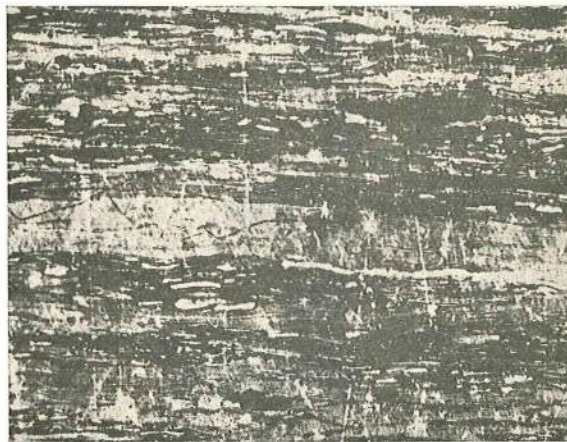


Fig. 9. Clariet. Vergroting $90\times$ (naar Boddy).

Het ontstaan van steenkool, en dus van deze maceralen uit het plantenmateriaal werd in hoofdzaak bepaald door de grondwaterstand en de zuurgraad in het woudmoeras.

Het feit, dat fusiet, met een hoog koolstofgehalte, wordt aangetroffen in bruinkool en soms zelfs in turf, wijst er op dat dit maceraal op een bijzondere wijze is ontstaan en wel door een *zeer snelle inkoling*, welke men *fusinisatie* heeft genoemd. Zeker is dat de om-

standigheden waaronder dit product werd gevormd, zeer droog zijn geweest. Bekend is, dat uitgedroogd hout niet meer doordrenkt kan worden met humuszuren: de membranen zijn impermeabel geworden. Het moet waarschijnlijk worden geacht, dat fusiet zijn ontstaan dankt aan een proces dat vergelijkbaar is met hooi-broei: de temperatuurstijging door fermen-

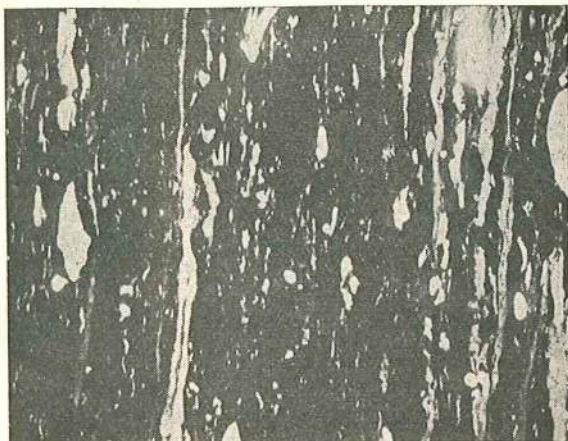


Fig. 10. Duriet van het pseudo canal-type. Doorvallend licht. Vergroting 110× (naar R. Thiessen).

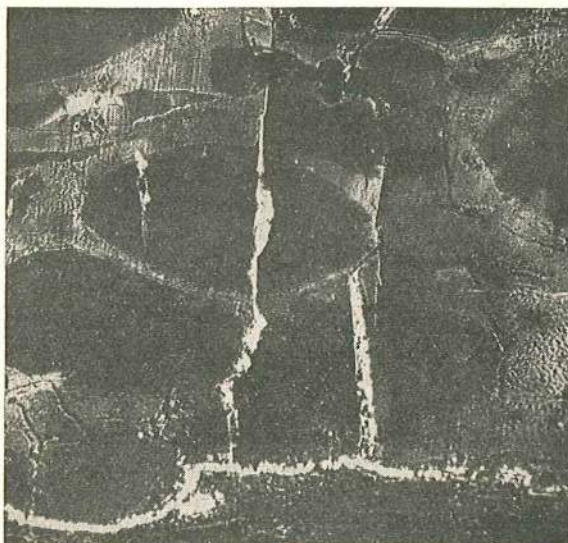


Fig. 11. Resiniet insluitingen in bitumineuze kool. Vergroting 135 × (naar L. C. Mc. Cabe).

tatie-processen, bij gelegenheid zelfs overgaande in spontane ontbranding; op deze wijze is ook de opvallende gelijkenis met houtskool te verklaren.

Het ontstaan van de overige maceralen kan vrijwel geheel worden verklaard uit grondwaterstand en zuurgraad. Was de grondwaterspiegel relatief laag, dan kwam het afgestorven materiaal, dat in de weke humusbodem wegzakte, te liggen in een omgeving waarin uiterst weinig stroming, dus uiterst weinig verversing van het water plaats had. In een dergelijke omgeving is zo weinig zuurstof aanwezig, dat ook anaerobe bacteriën er nauwelijks meer kunnen leven. Het materiaal wordt dan „gemummificeerd” en er ontstaat een product dat uiteindelijk overgaat in vitriet. In meer open water, met betere zuurstoftoevoer, zullen vele plantenelementen geheel afgebroken zijn; alleen meer resistente delen zijn dan overge-

bleven; het grondmateriaal voor duriet werd waarschijnlijk op deze wijze gevormd. In het meest open water wordt vrijwel alle plantaardig materiaal afge-

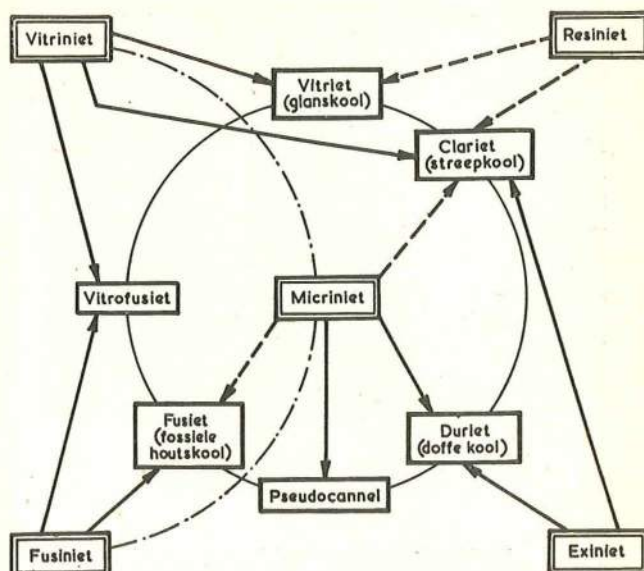


Fig. 12. Petrografische steenkooltypen en steenkool-maceralen.

broken; wat er over blijft is een resistente plantaardige modder welke bezinkt; zo zal uiteindelijk pseudo-cannel kool zijn ontstaan.

Deze wijze van voorstelling wordt geïllustreerd door figuur 13, ontleend aan White.

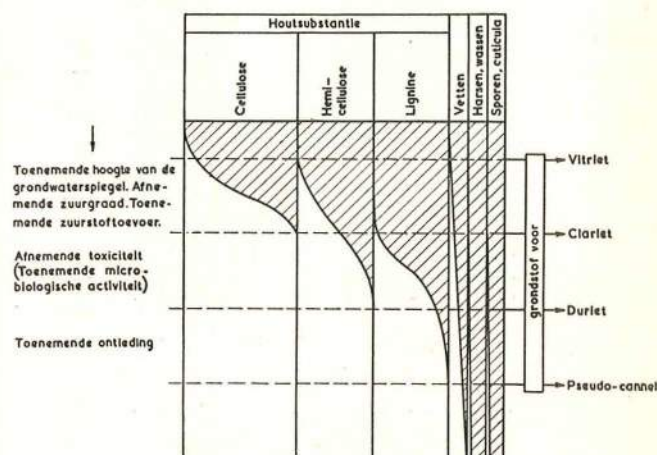


Fig. 13. Ontstaan van steenkolen (naar White).

Enige tijd geleden werd ik zeer gefraspeerd door enkele recente foto's van naald- en loofhout, afkomstig van Staudinger, en hier afgebeeld als figuur 14 en 17. In deze opnamen ziet men in het midden de microfoto van het oorspronkelijke hout. Rechts ziet men het hout, na extractie van lignine (de kitsubstantie), zodat alleen de cellulose (de skeletsubstantie) is overgebleven. Alle cellen hebben hun oorspronkelijke vorm behouden, zij hebben echter hun samenhang verloren. Links ziet men het hout, waaruit de cellulose door extractie is verwijderd; lignine resteert. De cellen schrompelen nu samen, verliezen hun scherpe vorm, de lumina (celholtes) verdwijnen, doch de samenhang blijft bestaan.

Opvallend is nu de gelijkenis van het oorspronkelijke hout en van de cellulose met het fusiet, dat in figuur 16 is afgebeeld. Evenals de na extractie van

lignine resterende cellulose is fusiet zeer bros, vertoont duidelijk lumina, en heeft weinig samenhang.

Even karakteristiek is de gelijkenis van de min of meer amorse lignine met vitriet, afgebeeld in figuur

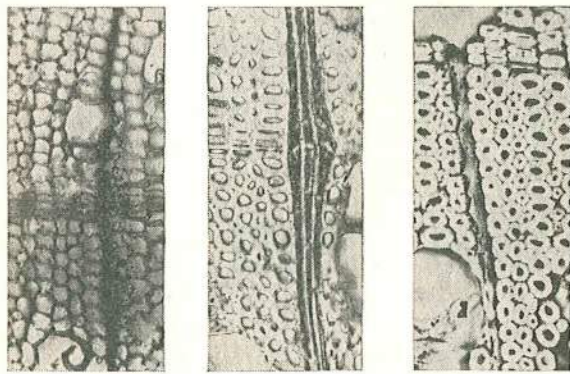


Fig. 14. Hout van de berk. Doorsnede op de jaarringrens. Vergroting $140\times$ (naar Staudinger).



Fig. 15. Vitriet met celstructuur. Vergroting $325\times$ (naar Boddy).



Fig. 16. Fusiet Vergroting $120\times$ (naar Kühlwein).

15 (en in figuur 5). Zowel lignine als vitriet vertonen een sterke samenhang; vitriet breekt zelfs met een schelpachtige breuk.

De hypothese ligt dus voor de hand, dat vitriet in hoofdzaak uit lignine is ontstaan, een opvatting die reeds meer dan twintig jaar geleden door Fischer en

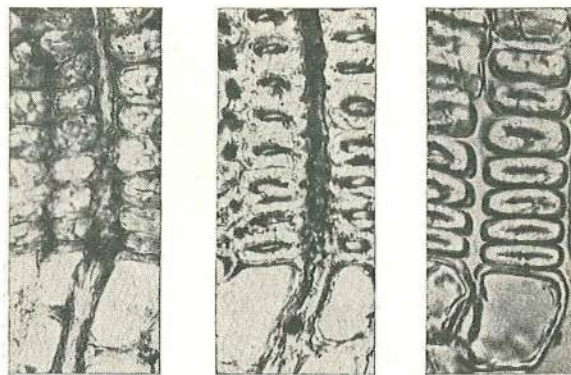


Fig. 17. Hout van de larix. Doorsnede op een jaarringrens. Vergroting $250\times$ (naar Staudinger).

Schrader is uitgesproken maar die sedertdien zeer sterk werd betwijfeld. Het is trouwens bekend dat cellulose microbiologisch sneller wordt afgebroken dan lignine.

Elk normaal steenkooltype doorliep naar alle waarschijnlijkheid een turf- en een bruinkoolstadium (*normale inkoling*). Na het bruinkool-stadium heeft, onder invloed van tektonische druk en temperatuur, een metamorfose plaats gehad.

Naast de hier beschreven normale humeuse steenkoolbestanddelen, vindt men hier en daar bijzondere steenkoolsoorten: de *cannel kool* en de *boghead kool*. De eerste is gevormd uit hetzelfde grondmateriaal als de pseudo-cannel kool, nl. plantaardige modder, waar doorheen echter grote hoeveelheden sporen verdeeld zijn, die allochthoon (dus aangevoerd door wind en water) naar de diepste delen van de veenplassen zijn gevoerd. *Boghead kool* dankt zijn ontstaan aan afgestorven algenkolonies, die in helder water leven. Het bezit veel afgestorven micro-organismen (*sapropelium*). Er is een geleidelijke overgang van steenkool via *cannel* en *boghead kool* naar bitumineuse leisteen en petroleum.

De uitweiding over het ontstaan van steenkool achte ik nodig om u een beeld te geven van de complexiteit van het vraagstuk van de steenkoolstructuur. Behalve het feit dat het plantenmateriaal onder zeer verschillende omstandigheden kan worden ingekoold, is er nog het verschil in de aard van het uitgangspunct. In het Carboon waren het vrijwel uitsluitend Cryptogamen (sporeplanten) die de aarde bevolkten, in het Eoceen en het Krijt kwamen Angiospermen (loofbomen) en Gymnospermen (naaldbomen) voor. De geologische ouderdom is verder in het geheel geen maat voor de graad van inkoling; in het Moscou-bekken komt bruinkool voor uit het Carboon; in Amerika en Indonesië vindt men steenkool uit het Tertiair. Het zijn veeleer de technische druk en de temperatuur, welke optraden bij de gebergtevormingen, die de metamorfose van het veen en de bruinkool bepaalden.

Alvorens van dit onderwerp af te stappen, wil ik niet nalaten te wijzen op het werk van Clarence

Seyler, een der grootmeesters der steenkool-petrologie, die door meting van de optische reflexie voor het eerst een kwantitatieve methode vond om de gehalten der maceralen te bepalen. Belangrijker is nog, dat hij ontdekt heeft, dat de inkolingsreeks zich voltrekt in een aantal (tien) discrete overgangen.

Classificatie van steenkool.

Na het voorgaande zal het duidelijk zijn, dat de classificatie van het materiaal, dat wij gemeenlijk steenkool noemen behoort te berusten op de *intrinsieke* eigenschappen ervan.

Men zou natuurlijk een classificatie kunnen baseren op de elementaire samenstelling, hetgeen dan ook door Regnault in Frankrijk en door Seyler in Engeland is voorgesteld. Voor wetenschappelijke doeleinden verdient deze classificatie zeer nadrukkelijk de voorkeur. Echter leert de elementaire samenstelling op zichzelf niets over de praktische eigenschappen, terwijl bovendien vitriet en duriet bij gelijke elementaire samenstelling geheel andere eigenschappen hebben. Zo zwelt vitriet bij verhitting sterk op en bakt samen; duriet bakt wel samen, maar zwelt vrijwel niet.

Het lijkt aantrekkelijk de classificatie te baseren op eigenschappen die direct iets leren over het gedrag van de steenkool bij hoge temperatuur, omdat de meeste steenkool bij hoge temperatuur wordt verwerkt.

Helaas bestaat er, internationaal gezien, een Babylonische spraakverwarring aangaande de parameters, welke hiervoor in aanmerking komen, en aangaande de nomenclatuur, welke thans wordt toegepast.

Een voor de hand liggende eigenschap is het z.g. gehalte aan vluchtige bestanddelen, d.w.z. het percentage gewichtsverlies dat as- en vochtvrije kool ondergaat bij verhitting tot hoge temperatuur (ca. 1000° C). Deze eigenschap leert terstond iets over de bruikbaarheid van steenkool voor gasfabricage en bijv. voor het gebruik in vlamovens.

In vrijwel alle landen is dan ook de bepaling van het gehalte aan vluchtige bestanddelen genormaliseerd en wordt gebruikt als criterium voor de classificatie.

Het gehalte aan vluchtige bestanddelen alleen is echter volstrekt onvoldoende. Twee kolen van hetzelfde gehalte kunnen zich bij verhitting totaal anders gedragen: de een kan samenbakken, de andere kan verkolen tot een zandachtig poeder.

In een aantal landen, waar normaalvoorschriften over de classificatie van kolen bestaan is dan ook het vermogen van steenkool tot opzwellen en samenbakking bij verhitting als tweede criterium voor de classificatie gekozen, zo bijv. in Frankrijk, Engeland en Polen. De Verenigde Staten nemen een uitzonderingspositie in; daar berust nl. de classificatie gedeeltelijk op het gehalte aan vluchtige bestanddelen (tot 30 % vluchtig), gedeeltelijk op de calorische waarde (boven 31 % vluchtig).

Helaas hebben Frankrijk, Engeland en Polen verschillende criteria om in wezen dezelfde eigenschap te bepalen. In Frankrijk bezigt men de vrije zwelling bij zeer snelle verhitting als maatstaf, in Polen het vermogen tot samenbakking van steenkool met anthraciet (Roga-methode); in Engeland is het nog ingewikkelder: men bezigt daar voor weinig zwellende kolen de aard van de cokeskoek, gevormd na zeer langzame verhitting, bij sterk zwellende kolen het

vermogen tot samenbakking met electrodenkool (Gray-King-methode). De in Frankrijk genormaliseerde methode is uit Engeland afkomstig (British Standard Swelling Index), is in vele landen bekend of zelfs genormaliseerd en is zeer gemakkelijk uitvoerbaar. Het is dan ook dit criterium, dat uit dien hoofde het meest voor internationale toepassing in aanmerking zou komen.

Onlangs is te Genève, onder auspiciën van de United Nations een internationale conferentie gehouden, georganiseerd door het Coal Committee van de Economic Commission for Europe, ten einde te komen tot een internationaal erkende classificatie. Ik had het voorrecht op deze vergadering Nederland te vertegenwoordigen.

Het lijkt mij van voldoende interesse om hier iets van de conclusies waartoe men gekomen is, mede te delen, te meer, omdat de vorderingen welke daar gemaakt zijn, gezien de chaotische toestand, die reeds meer dan honderd jaar bestond, van internationaal belang zijn.

Overeenstemming bestond unaniem over het feit, dat als eerste parameter het gehalte van vluchtige bestanddelen (V) diende te worden gebruikt.

Dit ene criterium is voldoende voor steenkool met een gehalte aan vluchtige bestanddelen beneden 12 à 14 %, de anthraciteuse kolen.

Voorts was men het er over eens dat bij kolen met een gehalte aan vluchtige bestanddelen boven ca. 14 % (welke grens voorlopig nog niet bepaald is en nog ergens tussen 12 en 16 % kan liggen) de eigenschap van steenkool, die het typische gedrag bij verhitting (dus de verweking, de opzwellen en het samenbakken) op de eenvoudigste en meest karakteristieke wijze uitdrukt, als tweede parameter dient te worden gebezigd. Uit het voorgaande bleek, dat het om verschillende redenen aantrekkelijk lijkt, hiervoor de zwel-index te bezigen; maar overeenstemming hierover kon nog niet worden bereikt, omdat onvoldoende vergelijkingsmateriaal beschikbaar was. (Voor de Engelse kolen voldoet de zwel-index als classificatieparameter nl. niet geheel aan de in Engeland zelf gestelde eisen.)

Ten slotte bereikte men weer overeenstemming over het feit, dat voor kolen met meer dan 28 % vluchtige bestanddelen, welke *niet* samenbakken of zwellen, de calorische waarde als tweede parameter moet worden gebruikt, overeenkomstig de praktijk in de U.S.A., waar enorme hoeveelheden van deze kolen voorkomen.

Het internationale classificatie-systeem zal er dan ongeveer gaan uitzien als in figuur 18 is weergegeven. Hier is dus de parameter X (zwelgraad of bakkend vermogen) afgezet tegen het vluchtig gehalte. De criteria voor de normale steenkool liggen dan als een brede band om de klokvormige kromme der middelwaarden (in de figuur als een stip-streep-lijn weergegeven). Door streeplijnen zijn bepaalde klasse-indelingen gemaakt.

Niet-zwellende en niet-bakkende kolen met een gehalte aan vluchtige bestanddelen van 0—8 % stellen de eerste groep voor, welke nog zou worden onderverdeeld in twee ondergroepen: 0—3 % (meta-anthraciet) en 3—8 % (anthraciet). Deze kolen worden gekarakteriseerd door hun gehalte aan vluchtige bestanddelen *alleen*.

Boven 8 % vluchtig komt een band, die al of niet

bakkende eigenschappen kan bezitten, waarvan een deel (tot 12 %?) misschien nog (als derde ondergroep) tot de eerste groep kan worden gerekend.

In de groep van de bakkende kolen met een vluchtig gehalte beneden 28 %, en met als benedengrens een

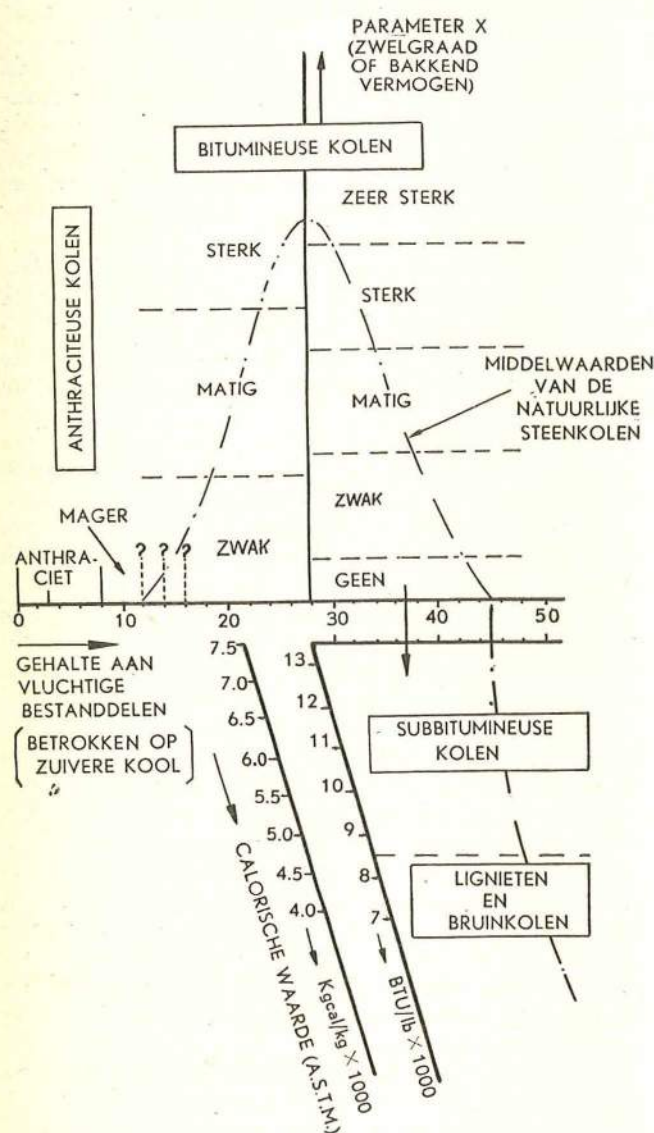


Fig. 18. Voorstel voor internationale steenkool-classificatie.

waarde, ergens tussen 12 en 16 %, lijkt een indeling in drie groepen (gebaseerd op parameter X), voldoende.

De groep, welke de bakkende kolen met een vluchtig gehalte hoger dan 28 % bevat, zou worden onderverdeeld in vier ondergroepen (eveneens op basis van parameter X).

Ten slotte zullen voor alle kolen, die een gehalte aan vluchtige bestanddelen, hoger dan 28 % bevatten, en geen bakkende en zwellende eigenschappen hebben (zoals vele Amerikaanse kolen) worden gekarakteriseerd door het gehalte aan vluchtige bestanddelen en door de calorische waarde.

De classificatie van steenkolen naar hun intrinsieke eigenschappen is van wezenlijk belang voor alle chemische bewerkingen die de steenkool kan ondergaan, in de eerste plaats voor de oudste en nog altijd meest toegepaste bewerking: de verbranding, doch ook voor de overige.

Chemisch-technologische bewerkingen in de steenkoolindustrie.

De oudst bekende en nog altijd de meest toegepaste chemische bewerking van de steenkool is de volledige verbranding; hierover is het laatste woord nog lang niet gesproken; integendeel!

De volledige verbranding behoort echter niet tot het domein van de chemische industrie; daarom zal ik deze bewerking hier niet verder in beschouwing nemen, doch mij richten tot de enkelvoudige bewerkingen (unit processes) die in de chemische techniek een rol spelen.

Een vergelijking met de petroleumindustrie lijkt hier op zijn plaats. Dank zij intensief researchwerk is de petroleumingenieur thans in staat door bewerkingen als cracking, hydrogenering, polymerisatie, alkylering, aromatisering e.a. uit een willekeurige grondstof een vrijwel van te voren te bepalen eindproduct te maken. Deze grootse technische vooruitgang is, behalve aan wetenschappelijke en technische bekwaamheid, toe te schrijven aan de relatieve eenvoud van het uitgangspunt; eenvoud in structuur vergeleken met die van steenkool, wel te verstaan!

De steenkool-chemici hebben te doen met een complex, chemisch nauwelijks hanteerbaar materiaal, waarvan de constitutie nog vrijwel geheel in mysteries is gehuld.

Aan de andere kant was — wanneer wij even afzien van de cokesfabricage — tot voor kort de steenkoolindustrie nooit geplaatst voor de urgente noodzaak een chemische industrie op te bouwen, ten einde een afzet te vinden voor grote hoeveelheden van ongewenste fracties. De op andere wijze onverkoopbare fijnkoolfracties uit de anthracietmijn konden, door brikettering, langs niet-chemische weg worden veredeld.

Door de opkomst van andere energiebronnen, zoals de waterkracht, en in de toekomst mogelijk de getijde-energie en de kern-energie, zal de steenkoolveredeling langs chemische weg op den duur een steeds grotere rol moeten gaan spelen, wil de steenkoolindustrie in staat zijn haar vooraanstaande positie te behouden. Van de unit-processes, die thans voor steenkool bekend en toegepast worden, wil ik in het kort de volgende behandelen:

1. de fysische extractie;
2. de ontsluiting of destructieve extractie met chemisch reagerende ontsluitingsvloeistoffen;
3. de destructieve hydrogenering, d.w.z. de reactie met waterstof bij hoge druk;
4. de kalking of carbonisatie, zowel bij hoge temperatuur als bij z.g. „lage” en middelhoge temperatuur;
5. de totale vergassing, door reactie met zuurstof en stoom;
6. de gecontroleerde oxydatieve afbraak;
7. de type-transformatie van steenkool.

Fysische extractie van steenkool.

De gewone fysische extractie van kool heeft alleen betekenis voor bruinkool, ligniet en zeer jonge bitumineuse kool, welke rijk zijn aan resiniet. In Duitsland en Amerika wordt dit proces op vrij grote schaal toegepast. Men gebruikt een benzol-alcohol-mengsel

als oplosmiddel. Door op het extract de normale bewerkingen als stoomdestillatie, kristallisatie, filtratie, raffinage met bleekarde etc. toe te passen, verkrijgt men als eindproduct een helgele was, welke als montaanwas in de handel komt (smeltpunt 52—76° C).

De overgebleven restkool leent zich vaak voor carbonisatie.

Ontsluiting of destructieve extractie van steenkool.

Van veel groter belang dan de fysische extractie is de destructieve extractie met chemisch reagerende oplosmiddelen welke men *ontsluiting* kan noemen.

Bekend is geworden het *Pott-Broche-procédé* dat in Duitsland werd ontwikkeld. Hierbij behandelt men de kool bij 400° C met een mengsel van tetraline, naphthaline en phenol. Het staat wel vast dat hierbij overdracht van waterstof van het „oplosmiddel” op de kool een zeer belangrijke rol speelt. (Men kan berekenen dat bij 450° tetraline dissocieert en dat de evenwichtsdruk van de waterstof dan 10 atm bedraagt). Technisch gelukt het, 60 tot 80 % van de steenkool in „kolloïdale” oplossing te brengen. Het Pott-Broche-procédé was in Duitsland van groot belang als leverancier van grondstoffen voor de hydrogeneringsfabrieken.

Veel wetenschappelijk werk is verricht over steenkoolontsluiting, waarmede men steeds gehoopt heeft de steenkoolstructuur te ontsluiten — tot dusverre met betrekkelijk gering resultaat. Bekend zijn de proeven van *Fischer* (met benzol onder druk als oplosmiddel) en die van *Wheeler* (met pyridine). In de laatste jaren zijn nieuwe zeer effectieve oplosmiddelen ontdekt: aethyleendiamine (*Dryden*), anthraceenolie (*Gillet*), β -naphthol (*Gillet*) en tetralol (*Storch en Orchin*).

Het inzicht in de specifieke werking van een bepaald extractiemiddel is vrij gering. Grootheden die het oplossend vermogen gunstig beïnvloeden zijn: de oppervlaktespanning en de zg. inwendige druk ($P_i = \frac{\Delta E_v}{M/\rho} = \frac{\text{molaire verdampingsenergie}}{\text{molair volume}}$). Een algemeen geldende correlatie is tot dusverre echter niet gevonden.

Naast de fysische werking van het oplosmiddel zijn, zoals reeds vermeld, oxydo-reductie-processen bij de ontsluiting van essentieel belang. *Ashmore* en *Wheeler* vonden bijv. dat steenkool bij verhoogde temperatuur benzeen in phenol kan omzetten, terwijl door koken van fijn verdeeld ligniet met alcohol, acetaldehyde wordt gevormd.

Ten slotte is de korrelgrootte van de kool van belang; bij verkleining van de korrelgrootte tot 1 μ vond *Fischer* een plotselinge sterke stijging in het extractie-rendement.

Enkele interessante gegevens over de ontsluiting van steenkool geven de figuren 19 en 20, ontleend aan proeven op het Centraal Laboratorium der Staatsmijnen. In figuur 19 is weergegeven het rendement van de extractie (in gew. %) van steenkool met anthraceenolie als functie van de inkolingsgraad; de extractietijd bedroeg 2 uur. Men ziet dat steenkool met een gehalte aan vluchtige bestanddelen van 25—28 % bij temperaturen boven 250° C de hoogste extractierendementen geeft. Figuur 20 geeft hetzelfde beeld voor de extractie met β -naphthol.

Zeër belangrijk is, dat de elementaire samenstelling

van het extract (na coagulatie met benzine bijv.) en van de restkool vrijwel identiek zijn; dit wijst er op dat de gehele steenkoolmassa als zodanig wordt ontsloten en dat geen selectieve verwijdering van bepaalde bestanddelen plaats heeft.

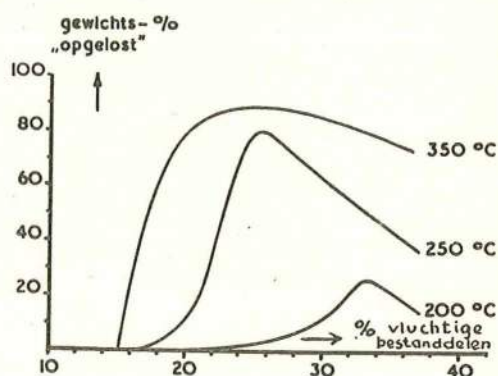


Fig. 19. Steenkoolextractie. Extractie met anthraceenolie (duur 2 uur).

De belangrijkste technische toepassing van de destructieve extractie is geweest de bereiding van grondstoffen voor de hydrogeneringsfabrieken.

In Amerika is kortgeleden het extractie-procédé opnieuw bestudeerd, waarbij men voor extractievloeistof de middelolie van een steenkoolhydrogenering gebruikte.

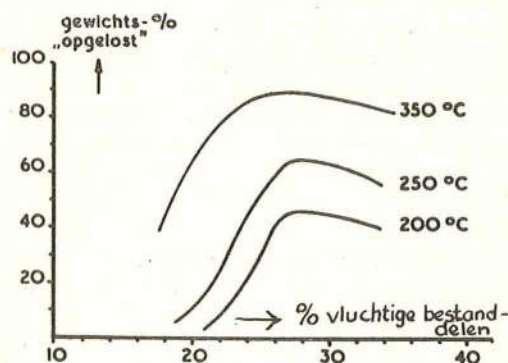
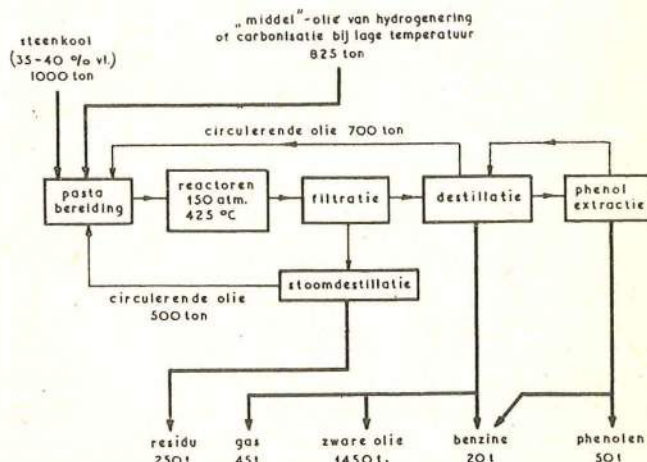


Fig. 20. Steenkoolextractie. Extractie met β -naphthol (duur 3 uur).

Een blokdiagram van het procédé is gegeven in schema 1, waarin ook de opbrengsten zijn vermeld. Het schijnt, dat de combinatie van hydrogenering



Schema 1. Extractie van steenkool onder druk.

en ontsluiting bijzondere voordelen biedt in de grondstoffeneconomie van de bereiding van synthetische olie.

Maar niet alleen als grondstoffenproducent voor hydrogeneringsdoeleinden is de ontsluiting van belang. Door „oplossen” krijgt men een asvrije zware vloeibare brandstof, die in de toekomst misschien een belangrijke rol kan gaan spelen; door „oplossen” gevolgd door coagulatie of precipitatie krijgt men een vrijwel asvrije poedervormige kool. Wat de mogelijkheden kunnen zijn toont het Engelse *Delanium-procédé*: deze asvrije kool kan in vormen worden geperst en daarna bij 1000° C worden gecarboniseerd; men kan op deze wijze constructiematerialen voor de chemische industrie (buizen, flenzen, recuperatoren) alsook zeer goede elektroden bereiden.

Destructieve hydrogenering van steenkool.

Reeds in 1869 deed *Berthelot* onderzoeken met het doel steenkool door hydrogenering om te zetten in meer waterstofrijke vloeibare producten. Door de steenkool 24 uur lang bij 270° C met joodwaterstof te behandelen, slaagde hij er in een olie-opbrengst van 60 % te bereiken. De door *Berthelot* gevolgde methode kwam zoals vanzelf spreekt niet voor technische toepassing in aanmerking.

In 1913 begon het klassieke werk van *Bergius*: de hydrogenering met waterstof onder druk. *Bergius* legde daarmee de grondslag voor de hydrogeneringstechniek, die zich later tot een zo ongekennde hoogte zou ontwikkelen. Hoewel de eerste wereldoorlog de regelmatige voortgang der proefnemingen zeer vertraagde, slaagde *Bergius* er in zijn procédé in een proeffabriek te Rheinau bij Mannheim uit te werken, waarna in 1926 de I.G. Farben haar grote installatie bij Leuna bouwde, welke in 1927 in bedrijf kwam met een capaciteit van 100.000 ton per jaar. Op het eind der twintiger jaren begon ook in andere landen hiervoor grote interesse te ontstaan en zo zien wij, dat omvangrijk researchwerk bij het Fuel Research Station in Engeland en het Bureau of Mines in Amerika aan de koolhydrogenering wordt gewijd. In 1931 werd een proeffabriek te Billingham gebouwd door I.C.I., in 1934 gevolgd door een grote installatie met een capaciteit van 100.000 ton per jaar.

Tijdens de tweede wereldoorlog werd in Duitsland de totale hydreercapaciteit uitgebreid tot ruim 4.000.000 ton per jaar, waarvan de helft voor hydrogenen van kolen, de andere helft voor hydrogenen van steenkoolteer, pek, petroleumresidu's etc.

Thans wordt vooral in Amerika de „know how” van de steenkoolhydrogenering verbreed en verdiept.

Bij het destructief hydrogenen wordt het steenkoolmacromolecule in kleine eenheden gesplitst, welke met waterstof worden verzadigd. Daardoor gaat de steenkool die ca. 86 % C, 5,5 % H en 8 % O bevat over in een product dat naast ca 85 % koolstof, 10—15 % waterstof en 0—4 % zuurstof bevat. Bij dit hydrogenen maakt men gebruik van katalysatoren en van waterstofoverdragers.

Als katalysatoren worden gewoonlijk sulfiden en oxyden van de zware metalen gebruikt; bekende katalysatoren zijn: de combinatie tinoxalaat-ammoniumchloride, de combinatie ferrosulfaat-natriumsulfideluxmassa (Fe_2O_3) etc.

Waterstofoverdragers zijn stoffen die in het algemeen een polaire groep aan een aromaatring en een

naphteenring bevatten; men kan hiervoor de zware en middelolies uit de hydrogenering zelf, of ook de middelolie uit de carbonisatie bij lage temperatuur gebruiken.

Het mechanisme van de hydrogenering werd tot voor kort als volgt geïnterpreteerd: Primair wordt de steenkool thermisch en extractief afgebroken; vervolgens worden de afbraakproducten verzadigd door waterstofoverdracht van de „carrier” op de kool; ten slotte wordt de waterstofoverdrager zelf weer gehydrogeneerd, waarbij de katalysator een rol speelt. Om dit laatste proces snel te doen verlopen is hoge druk vereist. De laatste tijd is twijfel aan de juistheid van deze opvatting gerezen en helt men er toe over aan de directe inwerking van waterstof meer betekenis toe te kennen.

Bij de waterstofoverdracht wordt de zuurstof uit de kool geleidelijk verwijderd. Er blijkt echter geen direct verband te bestaan tussen de snelheid van waterstofopneming en die van zuurstofafbraak.

Het is gebleken dat de verschillende steenkoolbestanddelen verschillend reageren bij de hydrogenering: vitriet wordt vrijwel volledig omgezet in phenolen en aromaten, resiniet en exiniet gaan grotendeels over in verzadigde koolwaterstoffen (paraffinen en naphtenen), fusiniet en micriniet daarentegen zijn zeer resistent en dus moeilijk om te zetten.

In het algemeen werkt men bij hoge druk: 300 tot 700 atm. en bij temperaturen van 425 tot 490 °C.

Het schijnt echter kort geleden bij het Bureau of Mines te Bruceton gelukt te zijn steenkool in een door waterstof gefluïdiseerd bed bij betrekkelijk lage drukken om te zetten in olie *).

Van groot wetenschappelijk belang is een onderzoek, uitgevoerd bij het Bureau of Mines, over de hydrogenering van vitriet. De resultaten er van zijn in figuur 21 samengevat. Hieruit blijkt dat steenkool met een koolstofgehalte boven 89 % zeer moeilijk te

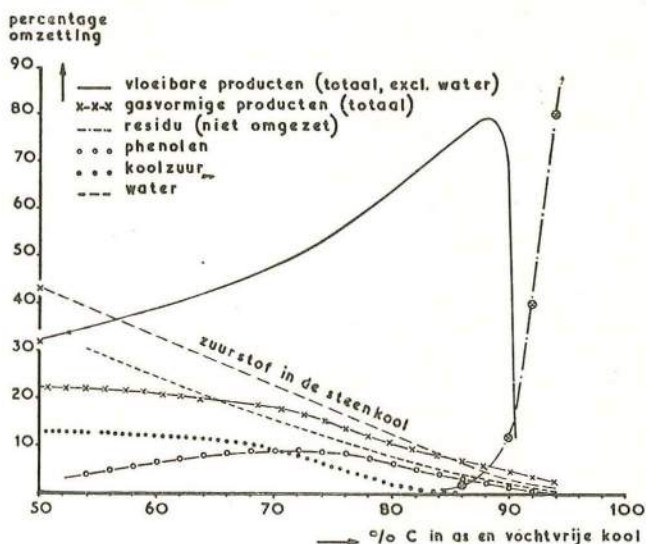


Fig. 21. Hydrogenering van vitriet.

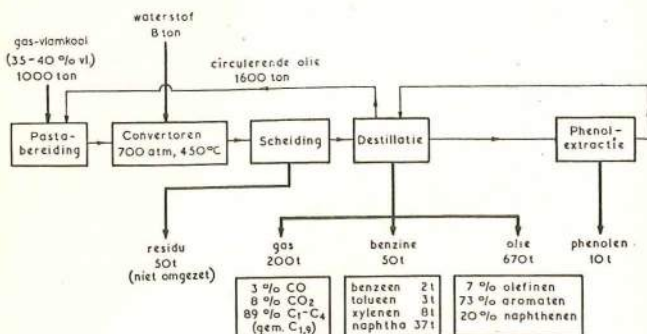
hydrogeneren is. Bij 88 % koolstof ligt echter het maximum van de olieopbrengst!

Het gehalte aan vluchtige bestanddelen is dan ca. 28 %, waar dus ook de zwel-index een maximum ver-

*) Mededeling van *El Clark, M. G. Pelipetz, H. H. Storch, S. Weiler* en *S. Schreiber* op de National Meeting van de Am. Chem. Soc. 1949 (zie Chem. Age van 8 October 1949, blz. 491).

toont. Het maximum in de opbrengst aan phenolen ligt bij ca. 72 % koolstofgehalte, d.w.z. bij de overgang van bruinkool in ligniet. In dit stadium bevat de kool dus een maximum aantal phenolische OH-groepen.

Thans nog een enkel woord over technische uitvoering en economische betekenis.



Schema 2. Hydrogenering van steenkool bij hoge druk.

In schema 2 is in een blokdiagram een vereenvoudigd productieschema weergegeven, waarin tevens de opbrengsten aan de verschillende producten zijn vermeld.

Karakteristiek is, dat van het totale verbruik aan motorbrandstoffen in Duitsland (ruim 8 miljoen ton per jaar) in het begin van 1944 ca. 5 miljoen ton uit steenkool werd bereid. De verdeling was als volgt:

Tabel 1.

Aandeel van verschillende procédés bij de bereiding van vloeibare brandstoffen in Duitsland.

Hydrogenering	65 0/0
Fischer-Tropsch-synthese	10 0/0
Carbonisatie van bruinkool bij lage temperatuur	7 0/0
Carbonisatie van steenkool bij lage temperatuur	3 0/0
Carbonisatie van steenkool bij hoge temperatuur	15 0/0
(Waarvan benzol:	8 0/0)

Een aantal gegevens over de Duitse hydrogeneringsindustrie is samengevat in tabel II.

Op dit ogenblik is steenkoolhydrogenering (bij hoge druk) niet economisch rendabel. In de toekomst zal de steenkoolprijs beslissend zijn voor de rentabiliteit.

Carbonisatie van steenkool.

Wanneer men steenkool met een gehalte aan vluchtige bestanddelen tussen 15 en 40 % verhit, neemt men bij een bepaalde temperatuur het belangrijke verschijnsel waar, dat de steenkool plastisch, soms zelfs min of meer dun-vloeibaar wordt. Zet men de verhitting voort, dan gaat bij een gegeven temperatuur de steenkool merkbaar ontleden en ten gevolge van deze gasontwikkeling gaat de plastische massa opzwellen. Uiteindelijk wordt de massa weer vast. Men heeft dan halfcokes verkregen, welke na verdere verhitting wordt omgezet in cokes.

Men kan het verwekingspunt en de zwelling meten met een dilatometer, de plasticiteit met een plastometer en de ontledingssnelheid met een registrerende balans.

Typische krommen voor een goede cokeskool zijn weergegeven in figuur 22, terwijl figuur 23 een samenvatting geeft van het thermisch gedrag van de Limburgse kolen.

Al deze bepalingen worden verricht bij een constante verhittingssnelheid van 2.5° C/min, overeenstemmend met de gemiddelde verhittingssnelheid in een cokesoven.

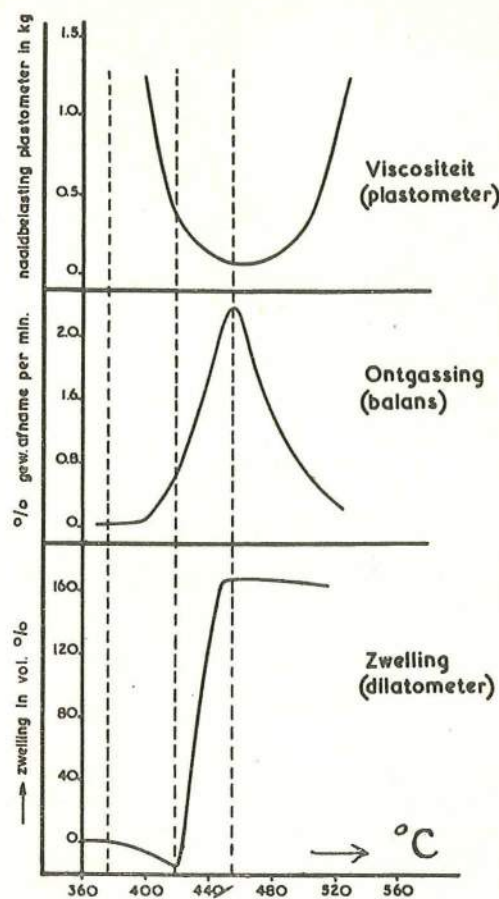


Fig. 22. Steenkoolkarakteristieken (vetkool).

Voor de bereiding van een dichte cokes is het noodzakelijk, dat de maximale snelheid van ontleding ongeveer samenvalt met de maximale plasticiteit en de maximale zwelling.

Uit figuur 23 blijkt, dat bij een gehalte van ca. 24 % aan vluchtige bestanddelen de plasticiteit maximaal is. Een steenkoolmengsel van deze samenstelling levert dan ook de beste metallurgische cokes, welke

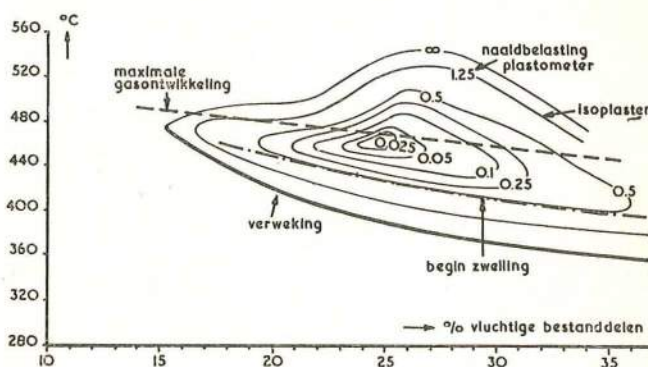


Fig. 23. Steenkoolkarakteristiek. Limburgse kolen. (Verhittingssnelheid 2° C/min).

zeer dicht homogeen samengebakken en toch poreus is. Het spreekt van zelf, dat bij de carbonisatie de korrelverdeling van het uitgangsmateriaal zeer belangrijk is. Niet alle kolen echter vertonen het gedrag, zoals

Tabel II.
Gegevens over de Duitse hydrogeneringsinstallaties.

	Leuna	Scholven	Gelsenberg	
grondstof temperatuur druk (atm)	bruinkool 475 °C 230	Ruhrkool (40 0/0 vl.) 460 °C 300	Ruhrkool (40 0/0 vl.) 480 °C 700	
Opbrengst van vloeistof-phase hydrogenering in gew. 0/0	benzine + middelolie KW gas CO + CO ₂ niet omgezet verlies	50 15 11 1.5 8.5	60—61 24—25 — 8 6	66.8 21 — 4 5
waterstofverbruik in gew. 0/0	6.7	9—10	10.3	
Opbrengst na vloeistof en dampphase hydrogenering in gew. 0/0	benzine KW gas	40—46 19—26	47—57 29—37	54—61 26—35
totaal waterstofverbruik in gew. 0/0	9.1—9.3	14.6—15.0	14.5—14.8	
capaciteit ton kolen/m ³ /h	0.46	0.26	0.39	
ton grondstof/ton benzine	2.07	1.77	1.63	
bewerkingskosten RM/ton benzine	76	?	86	
reactie-volume m ³ /ton benzine/j :				
vloeistofphase hydrogenering	84	168	105	
dampphase hydrogenering	35	34	34	
hydrogenerende cracking	46	25	25	
investering RM/ton benzine/j	?	?	600	

wij dit bij de Limburgse kolen waarnemen. De Franse kolen kunnen bijv. in twee klassen worden onderscheiden, waarvan klasse A de normale volgorde (verweking → ontleding → zwelling) vertoont, doch klasse B geheel afwijkt (volgorde: ontleding → verweking → zwelling). Een en ander blijkt uit figuur 24.

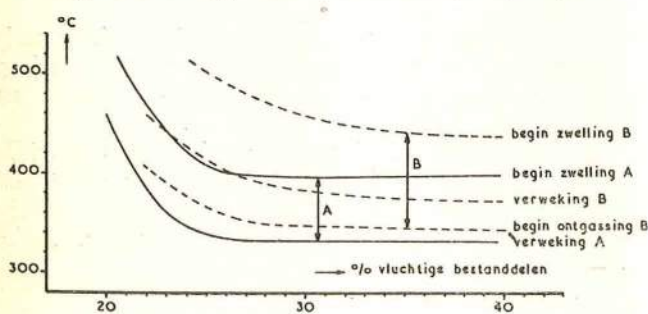


Fig. 24. Steenkoolkarakteristiek, Franse kolen.

Tot de laatste klasse behoren o.a. vele kolen uit de Saar; deze kunnen door voorafgaande verhitting volledig van hun bakkende eigenschappen worden beroofd, terwijl dit bij de kolen van klasse A nooit het geval is. Kolen van klasse B dienen altijd snel te worden verhit om een bruikbare cokes op te leveren. Het zal verder duidelijk zijn dat ook menging van klasse B met klasse A goede resultaten zal kunnen opleveren.

De aard der producten welke men bij carbonisatie krijgt hangt sterk af van de temperatuur; de hoeveelheid is verder afhankelijk van het uitgangsmateriaal, speciaal van het gehalte aan vluchtige bestanddelen. Figuur 25 geeft hiervan eenanschouwelijk overzicht. In het algemeen kan men zeggen, dat er bij 550° C voldoende samenbakking optreedt, terwijl boven

700° C grafitisatie van het oppervlak van de gevormde halfcokes begint op te treden, waardoor deze zijn reactiviteit verliest.

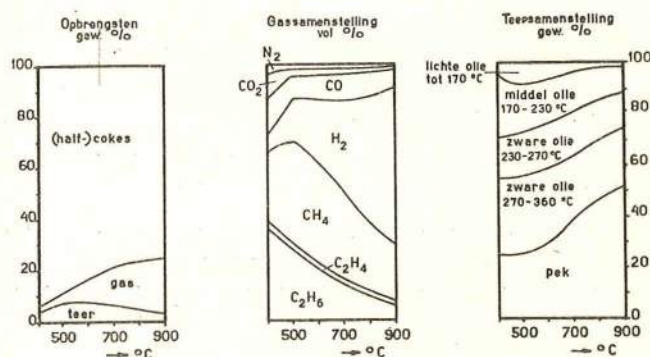


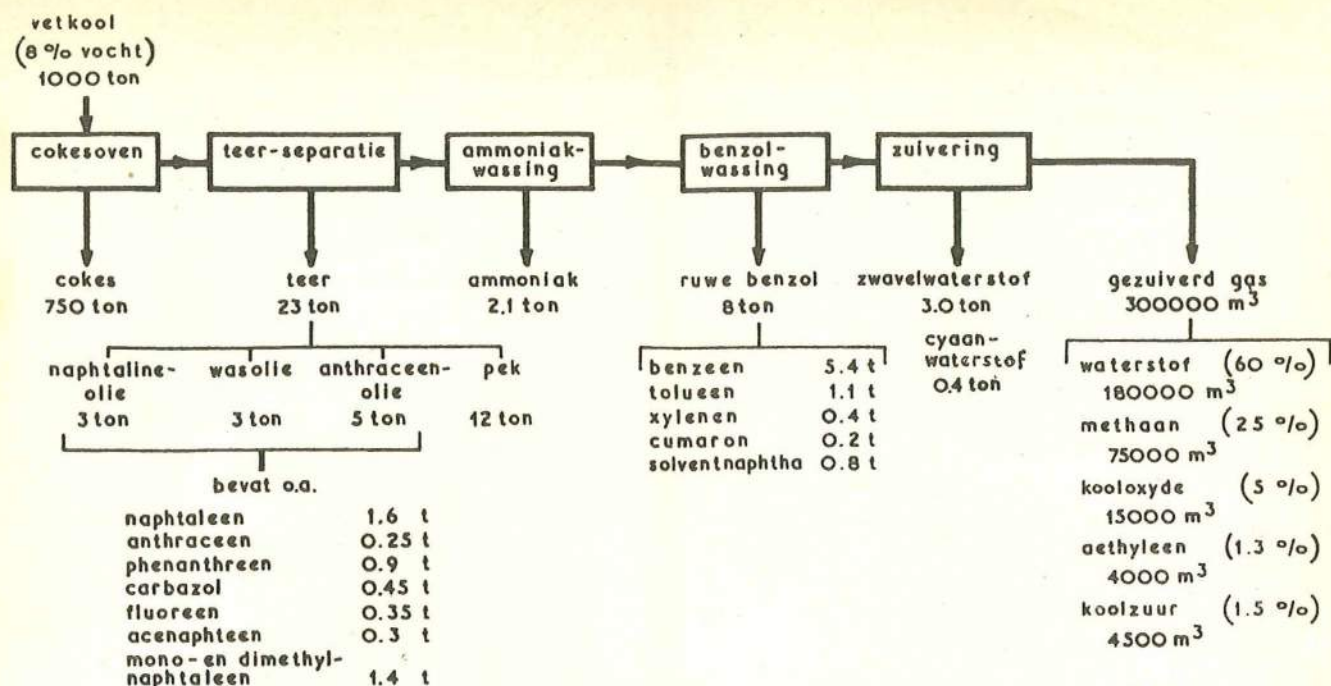
Fig. 25. Carbonisatieproducten bij verschillende temperaturen.

Men onderscheidt:

- carbonisatie bij „hoge” temperatuur, d.w.z. boven 850° C;
- carbonisatie bij „lage” temperatuur, d.w.z. beneden 650° C;
- carbonisatie bij „middelmatige” temperatuur, d.w.z. bij 650—850° C.

Het eerste procédé wordt toegepast op cokesfabrieken en moderne gasfabrieken, het tweede bij de bereiding van z.g. smokeless-fuels voor open haarden, het derde bij gasfabrieken met continu werkende verticale retorten en bij enkele moderne bedrijven voor de productie van rookloze reactieve huisbrand.

Een van de principiële moeilijkheden van de carbonisatie is de slechte warmtegeleiding van de steenkool. Bij de carbonisatie bij hoge temperatuur lost men dit op door een zeer groot temperatuurverschil tussen



Schema 3. Carbonisatie van steenkool bij hoge temperatuur.

wand en koolmassa. Ook dan duurt het in normale cokesovens nog ongeveer een etmaal voor de inhoud gaar is.

Bij de veel lagere wandtemperatuur, die bij de carbonisatie bij lage temperatuur wordt toegepast, wordt de verhittingssnelheid van de koolmassa gering, zodat men gedwongen is te carboniseren in nauwe retorten of smalle kamers (de carbonisatietijd is ongeveer omgekeerd evenredig met het kwadraat van de diameter van de oven), liefst met metalen wanden, — of in dunne lagen (roterende ovens).

Een zeer zorgvuldige menging en granulometrie (juiste korrelverdeling) is bij alle carbonisaties van het grootste belang.

Carbonisatie bij hoge temperatuur.

Als veredelingsindustrie van steenkool heeft juist deze bewerking de allergrootste vlucht genomen: in de zo uiterst belangrijke gas- en cokesindustrieën wordt ca. 25 % van alle beschikbare steenkool omgezet in edeler producten cokes, gas en vloeibare koolwaterstoffen.

Ik behoef U hier nauwelijks te schetsen welk een grote betekenis bijv. de cokesfabrieken bezitten voor de metallurgische industrie (cokes), de openbare gasvoorziening (gas), de ammoniaksynthese (waterstof uit gas) en de chemische industrie (benzolkoolwaterstoffen, teeroliën).

Technisch heeft deze industrie een klassiek te noemen eindvorm bereikt: de moderne compound-cokes-oven met warmteregeneratie, gekoppeld aan gasreinigingsinstallaties en bijproducten-winning.

Voor de openbare gasvoorziening wordt de cokes-oven van steeds groter belang en verdringt hij geleidelijk de horizontale en verticale retorten.

Het bestek van deze voordracht belet mij verder uit te weiden over het zo interessante procédé der bij hoge temperatuur bereide cokes; ik moet hier volstaan met schema 3, dat een blokdiagram geeft van het chemische bedrijf, zoals het aan een moderne cokes-

fabriek is gekoppeld, uit welk schema men tevens de hoeveelheden der eindproducten direct kan aflezen.

Carbonisatie bij lage temperatuur („Schwelung“).

De carbonisatie bij lage temperatuur met *bruinkool* als grondstof vormde tot het eind van de tweede wereldoorlog een enorme industrie met een capaciteit van 35.000.000 ton bruinkool en een productie van 2.000.000 ton bruinkoolteer per jaar. De bruinkoolteer was een van de belangrijkste grondstoffen voor de hydrogeneringsindustrie, de bruinkoolcokes anderzijds voor de bereiding van synthesesgas door totale vergassing.

De bruinkoolcarbonisatie is overigens een reeds 100 jaar oude industrie o.a. voor de bereiding van paraffinen (uit de montaanwas die in bruinkool aanwezig is).

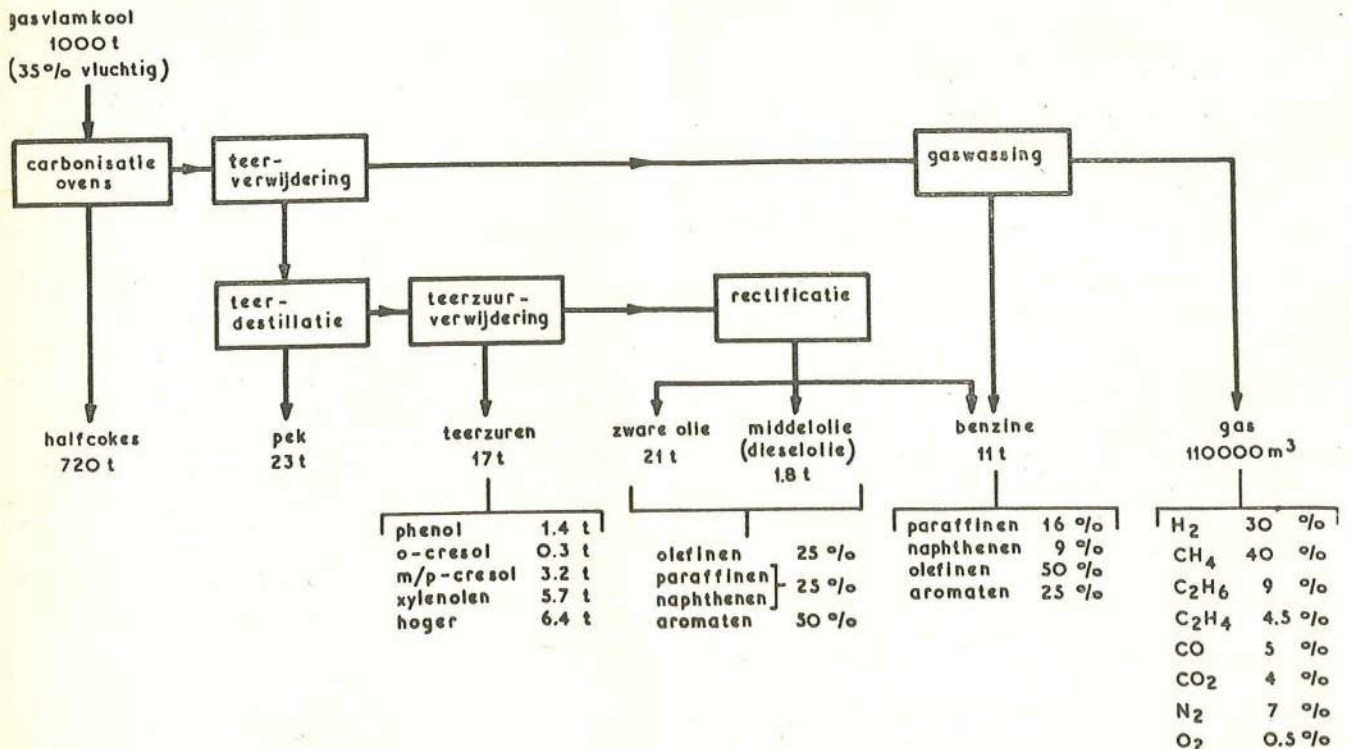
De carbonisatie van *steenkool* bij lage temperatuur is veel minder ontwikkeld. Na de eerste wereldoorlog bestond hiervoor, vooral in Duitsland en Engeland, grote belangstelling in verband met de voorziening van deze landen met vloeibare brandstoffen. De jaren 1920—1930 leverden een stortvloed van uitvindingen en octrooi-aanvragen op dit gebied. Miljoenen gulden werden opgeofferd — grotendeels zonder resultaat. In Engeland bestond een programma om per jaar 30.000.000 ton gasvlamkolen door carbonisatie bij lage temperatuur om te zetten in halfcokes en vloeibare brandstoffen, de laatste als stookolie voor de Britse Marine.

Al deze verwachtingen zijn te hoog gespannen geweest en het resultaat is, dat slechts drie procédés de kinderziekten hebben doorstaan en tot levensvatbare technische procédés zijn uitgegroeid, nl. het Coalite-proces in Engeland, het Krupp-Lurgi-proces in Duitsland en het Disco-proces in Amerika.

Tabel III geeft enkele nadere bijzonderheden. Van deze procédés, die gemeen hebben, dat de steenkool bij ca. 600—650° C wordt gecarboniseerd, is het

Tabel III.
Carbonisatie bij lage temperatuur.

Naam van het procédé	Land	Firma	Fabriek	Capaciteit t/jaar	Carbonisatie-oven
Coalite	Engeland	Coalite and Chemical Products Ltd.	{ Askern Bolsoven	275.000	cylindrische buizen oven van Cr-Ni staal (125 mm diameter)
Krupp-Lurgi	Duitsland	Krupp	Wanne-Eickel	132.000	smalle kameroven met wanden van Martin-staal (breedte van 75 mm)
Disco	USA	Disco Company (subsidiary van Pittsburgh Consolidation Coal Company)	Mc Donald (Pa)	300.000	roterende oven (met voorverhitting van de steenkool in een etage oven)



Schema 4. Carbonisatie van steenkool bij lage temperatuur.

Coalite-proces het enige, dat zich tot een volledige industrie heeft ontwikkeld.

Schema 4 geeft een overzicht van de mogelijkheden, die de carbonisatie bij lage temperatuur biedt, en die door de Coalite Company in Engeland thans vrijwel ten volle wordt benut.

Dank zij de uitstekende prijzen die het eindproduct, de coalite, opbrengt — het is een bij uitstek geschikte brandstof voor open haarden — en de huidige prijzen van de chemische bijproducten, is het bedrijf renderend.

De installaties zijn echter zeer duur en de raffinage der bijproducten is buitengewoon gecompliceerd, zodat een massaal uitgroeien van deze industrie niet in de naaste toekomst kan worden verwacht.

Carbonisatie bij middelmatige temperatuur.

Een interessante vertegenwoordiger van deze uitvoeringsvorm der carbonisatie is het Carbolux-proces, toegepast door de Mines de Bruay in Frankrijk.

Hierbij gaat men uit van een zeer vluchtige fijnkool

(32—40 % vluchtige bestanddelen) die op zichzelf te gasrijk is om een goede cokes te bereiden. Men past daarom eerst een carbonisatie bij lage temperatuur (475° C) in roterende ovens toe, waarin 1/3 van de grondstof wordt omgezet in pulverulente halfcokes. De laatste wordt dan intensief gemengd met het resterende 2/3 deel van de oorspronkelijke kool, waarna het verkregen mengsel in smalle kamerovens van vuurvaste steen wordt gecarboniseerd bij 700° C. De gevormde halfcokes heeft als huisbrand uitstekende kwaliteiten, vergelijkbaar met anthraciet, de bijproducten staan in hoeveelheid en aard tussen de producten van de carbonisatie bij hoge en lage temperatuur in.

Totale vergassing van steenkool.

Geen enkele technologische bewerking in de steenkoolchemie heeft gedurende de laatste decennia zulk een stormachtige ontwikkeling doorgemaakt als de totale vergassing, d.w.z. de volledige omzetting van steenkool in brandbare gasvormige producten. De

Tabel IV.
Procédé's voor totale vergassing (watergas-fabricage).

Vorm van de brandstof	Bijzonderheden	Thermisch evenwicht gerealiseerd in:				
		a. Periodiek proces (blaas- en gasgang)	b. Continu proces			
			Warmtetoevoer via generatorwand	Warmtetoevoer door verhit omloopgas	Warmtetoevoer door verhitting van vaste brandstof	Warmteproductie door zuurstoftoevoer
A. Grofkorrelige brandstof in vast bed	1) Afvoer van asbestanddelen in vaste vorm	Klassiek Watergas-proces (cokes)	Bubiag-Didier proces (bruinkool)	Koppers-proces Pintsch-Hillebrand proces (bruinkool)		Brassert-proces (cokes) Wellman-Galusha-proces (cokes) Viag-proces (ligniet) Lurgi-proces (bruinkool)
	2) Afvoer van asbestanddelen als vloeibare slak					Leuna-proces Thyssen-Galoczy-proces (cokes)
B. Poedervormige brandstof	1) z.g. „fluid” bed				I.C.I.-proces (poederkool)	Winkler-proces (bruinkool)
	2) Min of meer ijle suspensie			Schmalfeldt-Wintershall-proces (bruinkool)		Koppers-proces (poederkool)

traditionele vormen van dit procédé zijn de continue generatorgasbereiding, en de discontinue watergasbereiding.

Generatorgas is uitsluitend als stookgas geschikt, watergas daarentegen is een belangrijke grondstof voor chemische syntheses, zoals de ammoniak-, methanol- en Fischer-Tropsch-syntheses; bovendien is er een toenemende behoefte aan rijke stookgassen zowel voor industrieel als voor huishoudelijk gebruik.

Door de genoemde tendensen in de industriële ontwikkeling is er een grote stimulans ontstaan om te komen tot een continue watergasbereiding; een groot aantal procédé's werd ontwikkeld om dit doel te verwezenlijken, ieder met een min of meer specifiek toepassingsgebied.

Het zou mij te ver voeren om hier deze verschillende procédé's afzonderlijk te karakteriseren, te meer daar onlangs mijn medewerker Ir. W. van Loon een voortreffelijk overzicht over het gehele gebied der vergassingstechniek heeft gegeven.

Ik wil mij bepalen tot enkele grondprincipes.

De bruto-reactie waarop de totale vergassing berust is:



Deze reactie is endotherm. Om het procédé continu te doen verlopen, is dus warmtetoevoer noodzakelijk.

Dit kan nu in principe langs 2 wegen:

- I. toevoer van „voelbare” warmte van buiten af;
- II. opwekking van warmte in het systeem zelf door zuurstoftoevoer.

In de eerste groep kan men dan weer onderscheid maken tussen warmtetoevoer door een wand, warmtetoevoer door een heet circulatiegas en warmtetoevoer door de verhitte vaste stof.

Alle procédé's uit deze eerste groep werken bij een — vergassingstechnisch gesproken — „lage” temperatuur ($< 1000^\circ \text{C}$); daardoor is enerzijds een zeer reactieve grondstof vereist, anderzijds is de capaciteit betrekkelijk laag en bevat het resulterende gas vrij veel koolzuur.

Belangrijker is daarom de tweede groep; hier is de

ontwikkeling in twee richtingen gegaan: de vergassing van stukvormige brandstoffen en die van poedervormige brandstoffen. Een kritische analyse toont aan, dat de voordelen van de vergassing met zuurstof en de daarbij gegeven mogelijkheid van zeer hoge vergassingstemperaturen alleen volledig worden uitgebuit in de generatoren met aftap van de slak in vloeibare toestand.

Van de vele mogelijkheden der totale vergassing, waarvan tabel IV een samenvatting geeft, wil ik een tweetal nader behandelen, nl. het ICI-proces en het Leuna-Thyssen-Galoczy-proces.

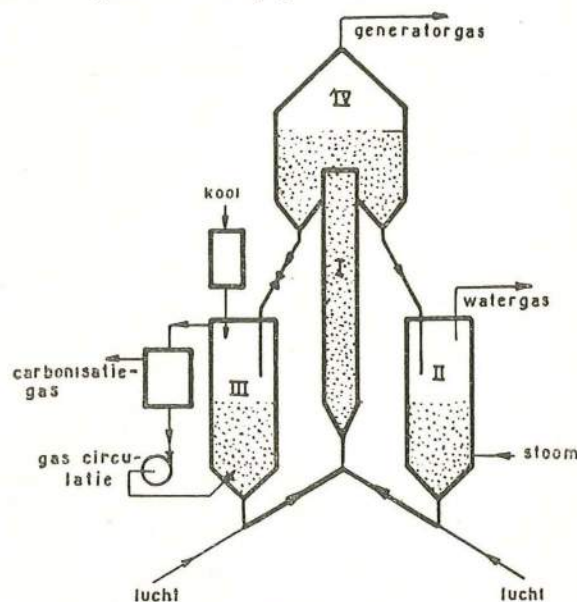


Fig. 26. I.C.I. Fluidized gas generator.
I: luchtreactor
II: stoomreactor
III: carbonisatiekamer
IV: sedimentatiekamer.

Geen dezer twee processen zijn tot dusverre op grote schaal toegepast, doch beide hebben veelbelovende perspectieven. In het ICI-proces wordt de fluidisatietechniek toegepast (figuur 26). In een

reactor I wordt poedercokes door partiële verbranding met lucht zeer hoog verhit en stroomt vervolgens in een generator II, waarin uit deze warme brandstof met behulp van stoom watergas wordt gemaakt. Behalve naar generator II stroomt de hete poedercokes ook naar carbonisator III, waarin met behulp van de beschikbare voelbare warmte poederkool wordt gecarboniseerd. Luchtinjecteurs blazen continu een deel van de inhoud van II en III weer naar I. Men krijgt dus uit één apparaat generatorgas, watergas en carbonisatiegas. Het grote nadeel van dit procédé is de vergruizing van het poeder in het gefluidiseerde bed en het daarmee samenhangende stofprobleem.

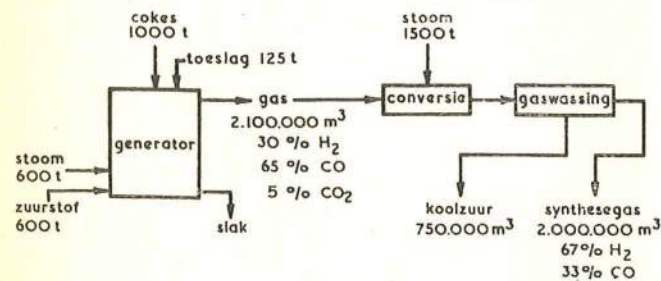
In de Leuna- en Thyssen-Galoczy-generator wordt cokes met zuurstof en stoom vergast, waarbij de slak in vloeibare toestand wordt afgetapt. De temperatuur van de vuurhaard is hier 1700—2000° C, waardoor capaciteit en rendement hoger liggen dan bij enig ander vergassingsprocédé; een vergassingsrendement van 85 % is normaal, evenals een capaciteit van 4000 m³ per m² schachtdoorsnede per uur.

Om de slak voldoende vloeibaar te houden is een toeslag nodig in de vorm van kalk, hetgeen een inhaerent nadeel van dit procédé is, naast de bijzondere voordelen.

In schema 5 is dit procédé schematisch weergegeven.

De betekenis van de totale vergassing is reeds gebleken in de benzine-synthese volgens Fischer-Tropsch, zoals deze in Duitsland vóór en tijdens de tweede wereldoorlog werd toegepast.

Aangezien het synthesegas enorme mogelijkheden biedt (men denke aan de totale vergassing onder druk, zoals in het Lurgi-procédé wordt toegepast, waar in één trap een zeer goed stadsgas wordt ge-



Schema 5. Totale vergassing.

fabricceerd), mag verwacht worden, dat de betekenis der totale vergassing in de toekomst nog zal toenemen.

Gecontroleerde oxydatieve afbraak van steenkool.

Oxydatie van steenkool is in vele gevallen een zeer ongewenst proces. Ik behoef hier slechts te herinneren aan de *verwerking* van gas- en cokeskool, waardoor het bakkend vermogen verloren gaat en de calorische waarde achteruit loopt, aan de *broei* van opgeslagen steenkool met het daaraan verbonden gevaar voor ontvlaming van enkele steenkoolsoorten.

Deze genoemde processen vinden in hoofdzaak plaats aan het uitwendig oppervlak der steenkooldeeltjes en planten zich slechts vrij langzaam voort naar de kern. Bij voortschrijdende oppervlakteoxydatie reageert het genoemde kool-zuurstof-complex meer en meer zuur en ten slotte wordt de kool geheel in loog oplosbaar. De stoffen die dan ontstaan noemt men „geregenereerde humuszuren”. Ze bevatten 35—

40 % zuurstof en vertonen uiterlijk overeenkomst met de natuurlijke humuszuren; dat er overeenkomst in chemische structuur zou bestaan is weinig waarschijnlijk.

Zeer verdienstelijk werk over de kinetika van deze steenkooloxydatie is hier te lande verricht door *Kreulen*. Door meting van de activeringsenergie der oxydatie was hij in staat een geheel nieuwe methode ter determinatie van steenkooltypen te ontwikkelen.

Voorts kon hij uit de kinetika conclusies trekken over de stadia die tijdens de oxydatie worden doorlopen.

Wanneer ik hier echter spreek over de oxydatieve afbraak heb ik nog een drastischer afbraak dan die tot geregenereerde humuszuren op het oog. Zet men nl. de oxydatie langer voort, of beter, met krachtiger middelen, dan ontstaan ten slotte in water oplosbare verbindingen. Wordt de oxydatie in de vloeistofphase uitgevoerd, dan verandert de kleur van de oplossing van roestbruin via geelgroen in kleurloos.

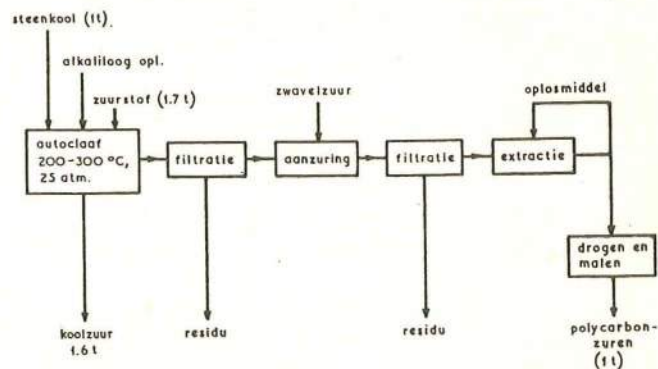
Men kan dan oxaalzuur, mierenzuur, azijnzuur en barnsteenzuur aantonen naast een groot aantal benzeenpolycarbonzuren.

In principe kan men de steenkooloxydatie met alle oxydatiemiddelen uitvoeren (lucht, permanganaat, hypochloriet, chloraten, etc.) doch slechts twee methoden zijn bruikbaar bevonden voor praktische toepassing, nl. de oxydatie met zuurstof onder druk (in alkalisch milieu) en de oxydatie met salpeterzuur.

De eerste weg werd onder leiding van Dr. H. H. Lowry ingeslagen door het Coal Research Laboratory van het Carnegie Institute of Technology (Howard, Franke, Kiebler).

Fijngemalen steenkool, in alkalihydroxyde gesuspenderd, werd bij 200—300° C behandeld met zuurstof onder druk (ca. 25 atm). Na een reactietijd van 2—3 uur is alle kool omgezet, voor de helft tot carbonzuren, voor de andere helft tot koolzuur. Na filtratie wordt geneutraliseerd met zwavelzuur, waardoor een deel der zuren wordt geprecipiteerd; de vloeistof wordt geëxtraheerd en het extract wordt teruggewonnen.

Het eindproduct is een geel poeder. De gewonnen zuren kunnen worden veresterd en bieden interessante technische mogelijkheden als weekmakers, etc.



Schema 6. Oxydatieve afbraak van steenkool.

Dit procédé (zie schema 6) wordt op semi-commerciële schaal toegepast door de Mellitic Association te Pittsburgh (Pa.).

In Duitsland is de oxydatie met salpeterzuur op semi-technische schaal bestudeerd, en wel door de Gesellschaft für Kohlentechnik (Jüttner). Hierbij

werd voorgeoxydeerde steenkool bij 110° C gedurende 48 uur met salpeterzuur (s.g. 1.2) geoxydeerd. De ontstane stikstofoxyden kunnen volgens het gebruikelijke proces weer tot salpeterzuur worden geregenereerd. Een kleine proeffabriek, waarin dit procédé werd uitgevoerd, is bij de bombardementen in 1944 verwoest.

Hoewel de oxydatie-afbraak van steenkool als technologische bewerking nog slechts zeer weinig ontwikkeld is, mag men verwachten dat deze directe bereiding van chemicaliën uit steenkool in de toekomst nog interessante resultaten zal afwerpen.

Type-transformatie van steenkool.

Met deze benaming wil ik aanduiden de technologische bewerking, welke tot doel heeft een bepaald steenkooltype te transformeren in een ander, meer gewenst type. Het is bijv. een bekend feit, dat de voorraad aan zeer goede vetkool, die direct geschikt is voor de fabricage van eerste kwaliteit metallurgische cokes, snel vermindert, zodat andere steenkoolsoorten voor dit doel moeten worden ingeschakeld.

Hierover is nog betrekkelijk weinig bekend. De methodes welke hierbij kunnen worden toegepast zijn: een zeer voorzichtige carbonisatie, een voorzichtige hydrogenering en een zeer milde oxydatie.

Het gelukte bijv. aan *Blayden, Gibson en Riley* een niet-bakkende cannel-kool (met 45 % vluchtige bestanddelen) door zorgvuldige verhitting tot 400° C (in stikstofatmosfeer) bij een verhittingssnelheid van 5° C/min, te transformeren in een kool, die alle eigenschappen bezat van een vetkool, dus sterk bakkend was.

King deelt mede, erin geslaagd te zijn door milde hydrogenering van een niet bakkende gasvlamkool een vetkool te verkrijgen met phenomonaal goede bakkende en zwellende eigenschappen; bij deze behandeling had de kool slechts 0.6 gew. % waterstof opgenomen.

Audibert beschrijft, hoe hij een slechte gaskool, door zeer snel verhitten tot het verwekingspunt, gevolgd door een langzame verhitting, kon omzetten in een kool, die bij carbonisatie goede cokes gaf.

Door vetkoolnootjes gedurende 200 uur bij 200° C te verhitten, gevolgd door een carbonisatie bij 700° C, is men er verder in geslaagd een synthetische „magerkool” te maken.

Al deze voorbeelden zijn nog slechts laboratoriumcuriositeiten. De reden, waarom ik ze hier noem, is, dat deze bewerking, de type-transformatie, in de toekomst mogelijk een analoge rol kan gaan spelen, als de omzettingen, die men in de petroleumindustrie reeds met zo veel succes uitvoert, om ruwe olie te transformeren in gewenste eindproducten.

Capacitieve vergelijking der verschillende „Unit-processes”.

Het is van belang, na de bespreking der verschillende technologische bewerkingen, nog een overzicht te laten volgen van het reactievolumen, nodig om de bewerking uit te voeren. Als maat nemen wij hierbij de reactieruimte in m³ bij een capaciteit van 1000 ton steenkool per dag. Tabel V geeft hiervan het overzicht.

Hieruit blijkt wel zeer duidelijk, dat de bereiding van metallurgische cokes een zeer lage „space-time yield” heeft, hetgeen samenhangt met de bijzondere eisen, die aan het product worden gesteld.

Tabel V.
Benodigde reactieruimte bij een capaciteit van 1000 ton steenkool per dag

Bewerking	Reactieruimte in m ³
Destructieve extractie	100
Destructieve hydrogenering (liquid phase)	130
(na-hydrogenering in vapour phase)	60)
Carbonisatie bij hoge temperatuur	1800
Carbonisatie bij lage temperatuur	250
Carbonisatie tot pulverulente half-cokes	125
Totale vergassing (Leuna-proces)	140

De betekenis van steenkool voor de chemische industrie.

Op dit ogenblik hebben nog slechts twee bewerkingen een grote betekenis voor de chemische industrie, nl. de carbonisatie en de totale vergassing.

De carbonisatie is een volledig ontwikkelde techniek. Cokes, gas en steenkool zijn uitermate belangrijke grondstoffen voor de chemische industrie. De chemicaliën uit de steenkoolteer vormen de grondslag van de fabricage van kleurstoffen en pharmaceutische producten, terwijl zij ook in de jongere kunststoffenindustrie een belangrijke plaats innemen. De waterstof uit het cokesovengas is in West Europa één van de pijlers, waarop de stikstofindustrie rust; de aethyleen uit het gas is een belangrijke grondstof voor fabricage van alcohol, dichlooraethaan, styreen, polytheen, dus in het algemeen voor de oplosmiddelen- en kunststoffenindustrie. De betekenis van cokes voor de metallurgische industrie behoeft hier niet nader te worden omschreven.

Tot dusverre is cokes ook de voornaamste grondstof voor de bereiding van watergas, volgens de tweede, zeer belangrijke bewerking: de totale vergassing. Watergas is op zijn beurt de grondstof voor de ammoniak- en methanol-synthese en de synthese volgens Fischer-Tropsch. (Voor de bereiding van belangrijke chemicaliën biedt de Fischer-Tropsch synthese nu reeds economische perspectieven.)

Cokes is verder de grondstof voor de bereiding van calcium-carbide en opent daarmee de weg naar kalkstikstof en acetyleen. De betekenis van acetyleen voor de chemische industrie is in de laatste jaren vooral door het werk van *Reppe* voldoende gebleken.

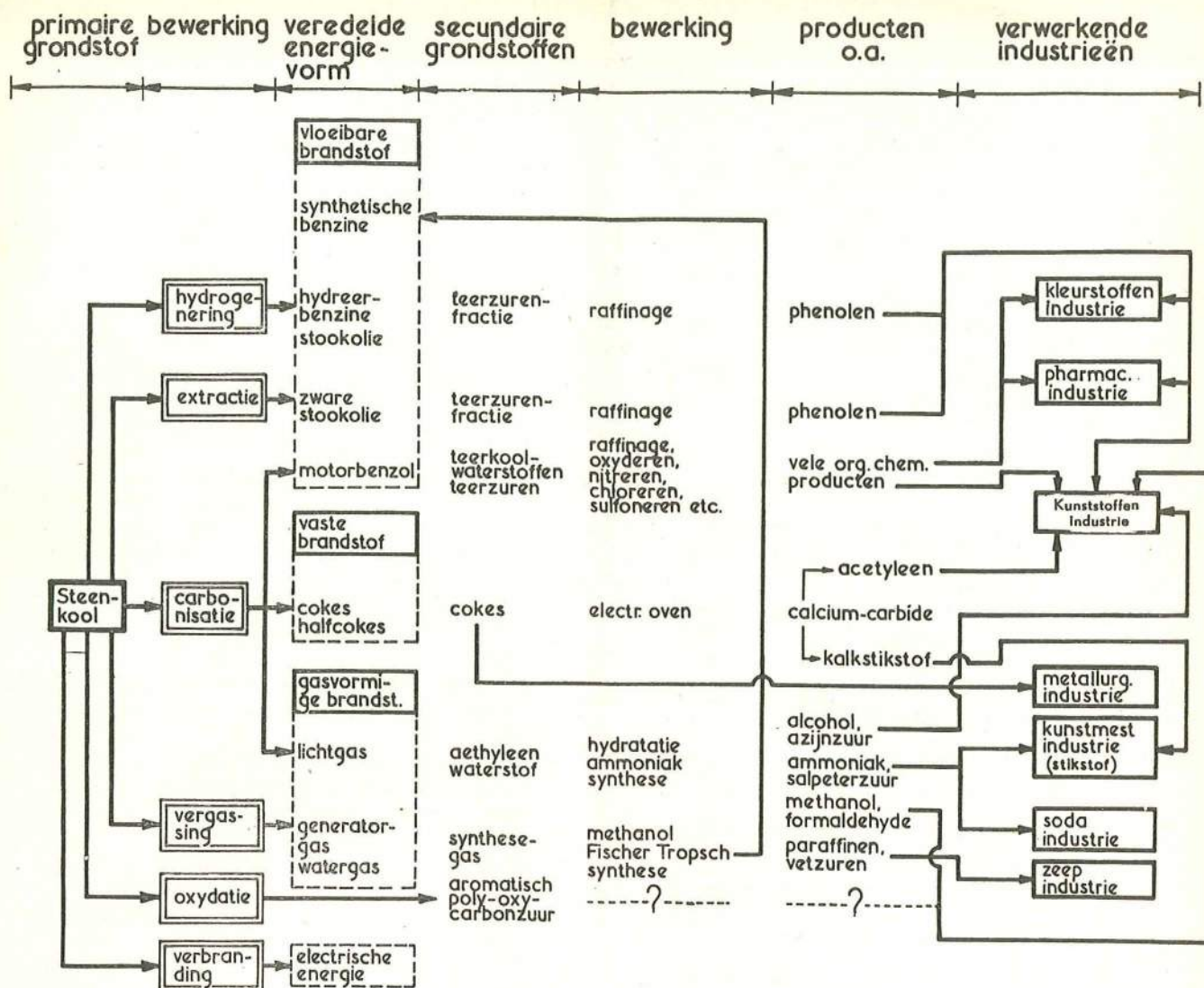
Het (geenszins volledige) ensemble van mogelijkheden, die door steenkool als basis voor de chemische industrie worden geboden, is weergegeven in schema 7. Het bestek van deze voordracht laat niet toe, hier in verdere bijzonderheden te treden.

Ook in ons land neemt de steenkoolnijverheid als basis voor de chemische industrie een vooraanstaande plaats in. Vóór de oorlog was de productiecapaciteit aan metallurgische cokes 3.5 miljoen ton, d.w.z. ruim 2 % van de wereldbehoefte. Binnenkort zal deze capaciteit — tijdelijk verminderd door geleden oorlogsschade — weer geheel hersteld zijn. Cokes is voor Nederland een belangrijk exportproduct.

De cokesindustrie verzorgt een belangrijk deel van de nationale gasvoorziening. Zo bedroeg bijv. in 1949 de totale gasafgifte van Staatsmijnen naar buiten rond 200.000.000 m³; het afstandsnet heeft een lengte van 500 km. Bij de toekomstige gasvoorziening van ons land zal op deze carbonisatie-industrie zeker nog een verder beroep worden gedaan.

De afzondering en verwerking van zuivere com-





Schema 7. Chemische veredeling van steenkool.

ponenten uit de steenkoolteer heeft thans reeds betekenis voor de vervaardiging van tussenproducten voor kleurstoffen en grondstoffen voor kunstharsen, lakken, vernissen etc.

Ten slotte is de gehele Nederlandse stikstofindustrie (vóóroorlogse capaciteit 100.000 ton/jaar, d.i. $3\frac{1}{2}\%$ van de wereldproductie) in Nederland gebaseerd op steenkool, en wel ten dele op basis van cokesovengas, ten dele op watergas. De grote hoeveelheden koolzuurgas, die door uitwassing van het geconverteerde watergas worden verkregen, zullen toepassing vinden voor de fabricage van soda en ureum; watergas opent verder de mogelijkheid tot vervaardiging van methanol en formaldehyde.

De Nederlandse chemische industrie, gebaseerd op steenkool, staat voor een grote taak. Het is uiteraard niet mogelijk de onder handen zijnde projecten op korte termijn te realiseren. Vast staat echter, dat deze industrie een belangrijke bijdrage zal leveren tot de verdere industrialisatie van ons land.

Wat tot dusverre, uitgaande van steenkool, reeds is gerealiseerd, toont U figuur 27, het productieschema van de Staatsmijnen.

De toekomstige mogelijkheden van de steenkool-technologie.

Ik wil thans, om mijn voordracht te beëindigen, een

enkel woord wijden aan de toekomstmogelijkheden van de steenkoolindustrie.

Als *energiebron* zal steenkool zich ongetwijfeld handhaven, hoewel in de komende decennia de aardolie tijdelijk en de waterkracht blijvend veld zullen winnen. Vandaar dat het in de toekomst steeds dringender zal worden steenkool zo ver mogelijk te veredelen; hierdoor kan de grondslag van deze industrie in sterke mate worden versterkt.

Het is dan ook te verwachten, dat het moderne cokesbedrijf in nog sterker mate dan tot dusverre de versteviging van zijn chemische basis zelf ter hand zal nemen, d.w.z. een zo volledig mogelijke winning van chemicaliën uit gas en steenkoolteer in eigen huis.

Daarnaast zal waarschijnlijk de totale vergassing een grote vlucht nemen, vooral nu „tonnage-oxygen” goedkoop kan worden bereid. De totale vergassing opent voor de steenkoolindustrie de deur tot de alifatische producten, zoals de carbonisatie dit reeds eerder deed voor de aromatische.

Over de rechtstreekse winning van chemicaliën uit kool kan men moeilijk een prognose maken, doch gezien de betrekkelijk goedkope grondstof heeft deze bewerking zeker kansen.

Ik ben er zeker van, dat U een enkel woord van mij verwacht over de mogelijkheden, die de steenkool in

de toekomst zal bieden als grondstof voor vloeibare motorbrandstoffen.

Laat ik dan beginnen met de vaststelling, dat thans de Fischer-Tropsch-synthese — in zijn moderne, in Amerika ontwikkelde vorm — grotere kansen heeft dan de hydrogenering. Onlangs is in Amerika (door de Stanolind Oil and Gas Co.) een zorgvuldige raming gemaakt van de productieprijzen van synthetische benzine. Figuur 28 toont U hiervan het resultaat. Benzine uit ruwe olie is thans nog bijna half zo duur als die uit steenkool. De directe kosten schelen echter niet zo heel veel en men verwacht, dat de kostprijs van benzine uit steenkool tot 17 dollarcent per barrel zal dalen. Stijgt omgekeerd de petroleumprijs, bijv. door schaarste, dan zullen de prijzen elkaar kunnen naderen. En wanneer kan men dat dan verwachten?

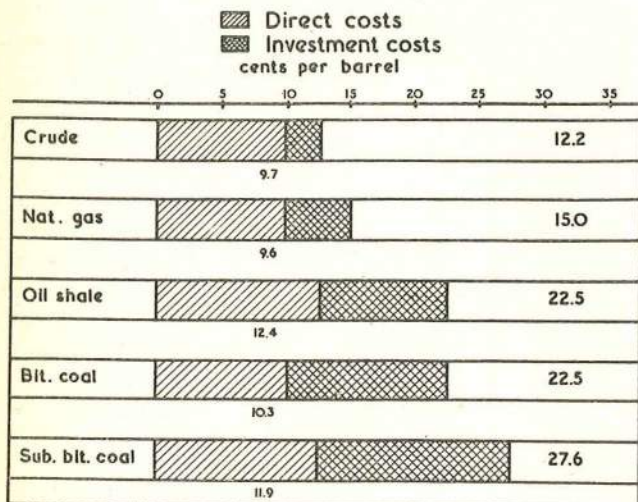


Fig. 28. Raming van de kosten van de productieprijzen van synthetische benzine.

Ook hierover is een schatting gemaakt, en wel op grond van vrij betrouwbare cijfers ten aanzien van de oliereserves. Figuur 29 toont U hiervan het resultaat, dat voor de olie-industrie waarschijnlijk niet te geflatteerd is berekend — gezien de herkomst der cijfers.

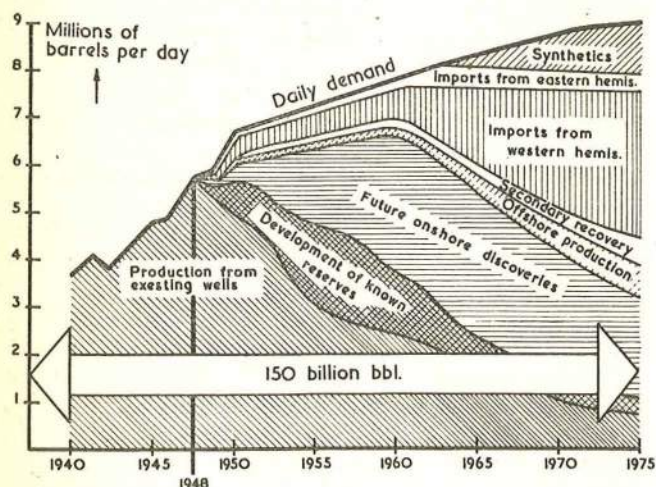


Fig. 29. Vraag en aanbod.

Het verrassende resultaat is, dat verwacht mag worden, dat tussen 1960 en 1965 synthese van benzine uit steenkool in de Verenigde Staten een uitgesproken kans krijgt!

Wat voor de U.S.A. geldt is weliswaar niet direct op Europese omstandigheden toepasselijk, te verwachten is echter wel, dat onze generatie nog een benzine-synthese op grote schaal en op economische basis zal beleven.

Wij moeten bovendien niet vergeten, dat, naast de benzinemotor, de gasturbine en de straalmotor op het toneel zijn verschenen. De beide laatste werken op een veel zwaardere motorbrandstof. Het schijnt mogelijk — hoewel dit technisch nog lang niet voldoende ontwikkeld is — de gasturbine te drijven met poederkool.

Foxwell zegt in een recente publicatie: „A decade hence it may not be considered necessary to manufacture oil from coal; alternatively it may be possible to device a process for the production from coal of a suitable oil, much cheaper than those now known, since a much heavier and cruder product will probably serve our purposes for aerial and land transport.”

Mogelijk zal in de nabije toekomst aan de steenkoolindustrie het probleem worden gesteld, een brandstof van zeer laag asgehalte te bereiden voor verstuiving in de straalmotor en de poederkoolturbine. Niet onmogelijk is, dat dan de ontsluiting van steenkool met efficiënte „oplosmiddelen” van betekenis zal worden.

Ik wil deze voordracht besluiten met een terugblik op het woord van Weidlein, dat ik in het begin heb geciteerd.

Na het beeld, dat ik getracht heb U te geven van chemisch kennen en technologisch kunnen in de steenkoolindustrie past nog altijd zijn uitspraak: „We still do not know what coal is chemically and until we have this knowledge we are working under a handicap.”

Ik hoop er in geslaagd te zijn, U een indruk te geven van de mogelijkheden die steenkool in chemisch opzicht biedt, vooral voor de researchman! Voor hem is steenkool een studie-object, dat steeds boeit en veelal teleurstelt, doch hem, die er zich aan wil wijden, ondanks alles blijft fascineren!

Bibliografie.

Inleiding — Productie en voorraden.

Delmer, A., „L'Industrie Charbonnière dans le monde”, Ann. Mines Belg. 48, 9—38 (1949).

Moore, E. S., Coal — its properties, Analysis, Classification Geology, Extraction, Uses and Distribution”. John Wiley & Sons New York (1940).

Terres, E., „Oel und Kohle in Politik und Wirtschaft”, Brennstoffchem. 30, 22—31 (1949).

Ontstaan van steenkool, petrografie, steenkoolchemie.

Cassan, H., „Constitution, structure physico-chimique et propriétés des combustibles fossiles naturels solides”. Chaleur et Ind., Nov.—Dec. 1946, Janv.—Févr. 1947.

Fischer, F. & Schrader, H., „Entstehung und chemische Struktur der Kohle”. Girardet, Essen (1922).

Fuchs, W., „Die Chemie der Kohle”. Springer, Berlin (1931).

Heide, S. van der, „Steenkool bruinkool en petroleum”. Thieme, Zutphen (1944).

Kreulen, D. J. W., „Elements of Coal Chemistry”. Nijgh & van Ditmar, Rotterdam (1948).

Kreulen, D. J. W. en medewerkers, Chem. Weekblad 36, 870 (1934); Rec. trav. chim. 59, 1165 (1940), 61, 269 (1942), 62, 215 (1943).

Krevelen, D. W. van, „Nieuwe inzichten in de structuur van steenkool, de inkoling en de carbonisatie”. Chem. Weekblad 43, 20—27 (1947).

Mott, R. A., „The origin and composition of coals”. Fuel 21, 129; 22, 20 (1942).

Proceedings of a Conference on the Ultra-fine structure of Coals and Cokes, held at the Royal Institution, B.C.U.R.A., London (1944).

- Seyler, C. A., "The past and future of coal — the contribution of petrology". Proc. S. Wales Inst. of Engrs. 63, 213—243 (1948).
- Stach, E., Lehrbuch der Kohlenmikroskopie. Glückauf, Kettwig (1949).
- Stadnikoff, G., "Die Chemie der Kohle". Enke, Stuttgart 1931.
- Staudinger, H., "Makromolekulare Chemie und Biologie". Wepf & Co., Basel (1947).
- Classificatie van steenkool.*
- Seyler, C. A., Proc. S. Wales Inst. Engrs. 21, 483 (1900); 22, 112 (1901); 47, 547 (1931); 53, 398 (1938); 63, 213 (1948).
- Mott, R. A., "Coal Assessment". J. Inst. Fuel, Jan. 1948.
- Chemisch-technologische bewerkingen.*
- Algemeen:*
- Lowry, H. H., "Chemistry of Coal Utilization". John Wiley and Sons, New York (1945).
- Hydrogenering en extractie.*
- Golumbic, N., "Some chemicals from synthetic liquid fuels processes". U.S. Bur. Mines R.I. 4467 (1949).
- Gordon, K., "The development of coal hydrogenation by I.C.I.". J. Inst. Fuel, Dec. 1935.
- Hirst, L. L., Skinner, L. G., Clarke, E. A., Dougerty, R. W. and Levene, A. D., "Estimated Cost of producing heavy fuel Oil by hydrogenation of coal." U.S. Bur. Mines, R.I. 4413 (1948).
- Report on the Petroleum and Synthetic Oil Industry of Germany (Bios Overall Report No. 1). H.M. Station Office, London (1947).
- Carbonisatie.*
- Audibert, E., Fuel 5, 229 (1926); 6, 185 (1927).
- P. Georges, "La carbonisation à basse température". Ann. Mines 136, VI, 45—83 (1947).
- Koopmans, H., "Bijdrage tot de kennis van het cokesvormingsproces", Diss. Delft, 1935.
- Mott, R. A. and Wheeler, R. V., "The Quality of Coke". Chapman and Hall, London (1939).
- Reed, Frank, "Some observations on coking practice in Germany". U.S. Bur. Mines I.C.I. 462 (1948).
- Rhodes, E. O., "German Low temperature Coal-tar Industry". U.S. Bur. Mines I.C.I. 490 (1949).
- Thau, A., "Kohlenschwelung", Wilhelm Knapp, Halle (1938).
- Totale vergassing.*
- Loon, W. van, "Vergassing van vaste brandstoffen". Het Gas 69, No. 9 (1949).
- Rettenmaier, A., "Der Entwicklung der restlosen Vergasung". Öl und Kohle 38, 457 (1942).
- Thau, E. A., "Grosswassergaserzeugung für chemische Synthesen". Öl und Kohle 38, 589—601, 617—625, 685—691, 721—727, 749—765 (1942).
- Diversen.*
- Roberts, G. and Schulz, P. R., "Liquid Fuels from coal and oil shale". Oil and Gas J. 48, 116—125 (1949).
- Solliday, A. L., "When do we need a synthetic fuel industry?". Oil and Gas J. 48, 86—88 (1949).