

**STAATSOLIE BIBLIOTHEEK  
PAKKET I**

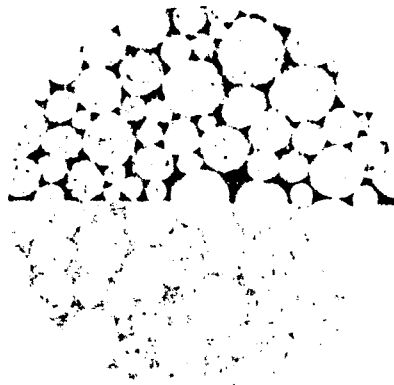
**AARDOLIE - ALGEMEEN**

**ONDERWERPEN:**

- 1. VERSTEEND VERLEDEN  
ONTSTAAN VAN GAS EN OLIE  
DE AARDKORST ALS LEGPUZZEL  
GREEP IN DE DIEPTE**
- 2. KORTE INLEIDING IN DE AARDOLIE  
GEOLOGIE**
- 3. AARDOLIE EN AARDGAS**
- 4. INLEIDING TOT OLIEWINNINGSTECH-  
NIEKEN**
- 5. INLEIDING - ENERGIE**
- 3. AARDOLIE IN SURINAME (1981)**

VERSTEEND VERLEDEN.

## Ontstaan van gas en olie.



Doorsnede van een poreus reservoirsteente.

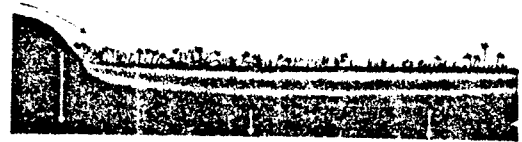
Ondergrondse oliemeren bestaan niet. Ondergrondse aardgasbellen al evenmin. Aardolie en aardgas worden aangehouden in poreuze gesteenten, die vaak diep weggezonden liggen in de aardkorst. De aardolie die in Schoonebeek wordt gewonnen, bevindt zich op een diepte van ongeveer 700 meter. Het Groninger aardgas komt uit een gesteente dat zich op een diepte van  $\pm 3000$  meter bevindt.

De aardkorst, een pantser van ongeveer 35 kilometer, is opgebouwd uit vele opeen gestapelde gesteentelagen. Er zijn lagen ontstaan op de zeebodem, waar samen met door water en wind van het vaste land aangevoerde stoffen als zand, grint en klei, plankton neerduwde. Op plaatsen, waar zich eens zeeën bevonden, werden door verdamping soms enorme zoutpakketten afgezet. Ook op het land hadden processen plaats die tot vorming van gesteentelagen leiden. Steenkoollagen bijvoorbeeld zijn ontstaan uit moerassige oerwouden. Steenkool is in feite het restant van in lang vervlogen tijden afgestorven planten en bomen, dat later door de zee met zand en klei werd bedekt en zo bewaard is gebleven. De ene laag na de andere werd gevormd. Verschillende lagen stapelden zich op. Lager gelegen gesteenten werden daardoor steeds meer samengeperst.

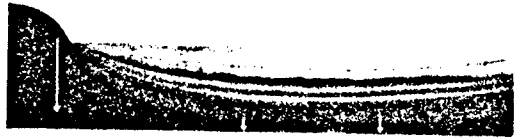
Onder invloed van vele factoren vormden zich poreuze en minder poreuze gesteenten. Alleen in poreuze gesteenten kunnen aardolie en/of aardgas voorkomen.

Aardolie moet ontstaan zijn in gesteenten, die zich op de zeebodem vormden uit de organische resten van plankton en ander plantaardig en dierlijk zeeleven.

## Tropisch moeras



Bekkenvorming en veenafzettingen in het Carboon tijdperk (tropisch moeras). Sterkere bodemdalingen waardoor de vegetatie 'verdrong' en werd bedekt door klei-, zand- en kalklagen, waaraan met minder sterke bewegingen van het bekken zodat de vegetatie zich opnieuw kon ontwikkelen.



Op deze periode volgde een continue daling van het bekken gepaard gaande met een invasie van de zee. Op de bodem van de zee worden sedimenten afgezet die ook de plantenresten in de jongste veenlaag luchtdicht afsluiten. Ontstaan van steenkoollagen uit het veen onder de druk van de door verdere sedimentatie steeds toenemende deklast.

(Sedimenten = afzettingsgesteenten)



Het bekken is nagenoeg geheel opgevuld. De zee trekt zich terug. Begin van de plooiing ten gevolge van ophefing en zijdelingse druk. Vorming van gas door inkleding van steenkoollagen. Migratie (verplaatsing) van gas naar een zandlaag.



Voortgezette ophefing gevolgd door erosie. Plooiing en breukvorming. Accumulatie (verzamelen) van gas in een zandlaag.



Daling en lichte kanteling. Hernieuwde invasie van de zee. Sedimentatie.



Ophefing. Vorming van de zee  
1. Boring in antieke gas-accumulatie  
2. Boring in gas-accumulatie-regio en breuk  
3. Boring ter verifiëring van de flank (toe-zien ring-sluitingen)  
4. Boring tot verifiëring van de reservoirstructuur

Daarna gaat de ontwikkeling - althans op de klok - in een razend tempo. Een toeschouwer zou in enkele uren een verbijsterende variatie aan leven en bewegen aan zijn ogen voorbij zien gaan. Hij zou dieren, zowel minuscule als kolossaal in een kort tijdsverloop zien ontstaan en weer uitsterven. De toe-

schouwer zou bergen zien oprijzen en weer verdwijnen, hij zou zien dat zeeën het land overspoelen en dat het land vervolgens de zee weer verdringt.

Tussen 18 en 21 minuten over elf zou het reservoirgesteente van het Groninger gas gevormd worden. Precies 19 minuten later dat van de Schoonebeker olie-

Een geoloog aan het werk.

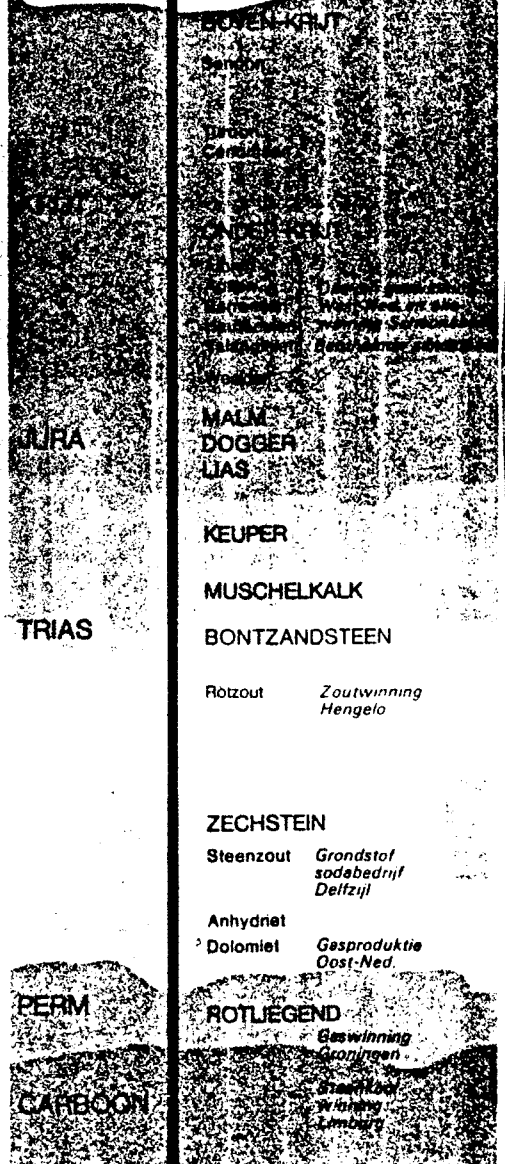


**KWARTAIR**

Holoceen *Turfwinning*  
Pleistoceen

**TERTIAIR**

Ploceen  
Mioceen  
Oligoceen  
Eoceen *Gaswinning West-Ned*  
Paleoceen



Nog geen tien seconden voor twaalf zou de mens zich aandienen en een fractie van een seconde voor het middaguur zou de periode beginnen, die wij plegen aan te duiden als de periode van menselijke beschaving.

De onderverdeling van de verschillende perioden van de tijdsklok.

## Versteend verleden.

Jules Verne is de enige die er ooit geweest is en dan ook alleen nog maar in zijn fantasie: het middelpunt der aarde, 6400 kilometer onder het aardoppervlak gelegen.

De mens, die wel de bijna 400.000 kilometer naar de maan wist te overbruggen, is in de aardkorst nog niet dieper doorgedrongen dan tien kilometer.

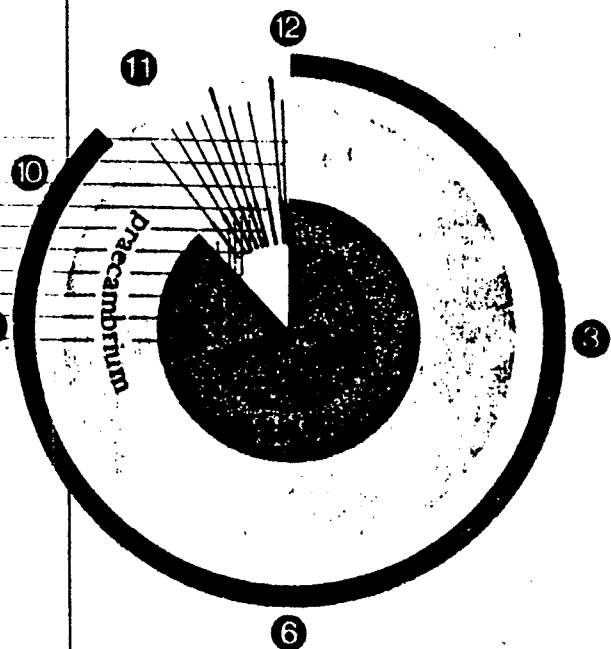
De aardkorst verbergt dan ook nog altijd sporen van leven uit lang vervlogen tijden. In die aardkorst is het onbekende verleden versteend.

Bij de vorming van aardlagen gaat het om processen die miljoenen jaren duren. Een voorbeeld: in de ondergrond van Limburg is een pakket steenkool (versteende resten van afgestorven bomen en planten) met een dikte van 100 meter aanwezig. Voor de opbouw van een dergelijk dikke laag steenkool

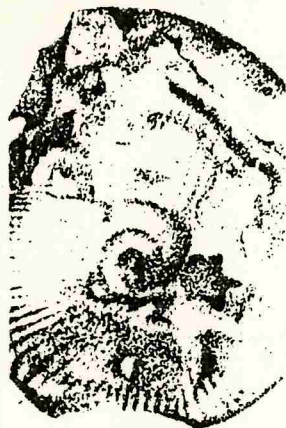
moet een plantaardige massa met een dikte van zeker 1000 meter nodig geweest zijn.

De ontwikkelingsgeschiedenis van de aarde kan op verschillende manieren uitgebeeld worden. Een daarvan is de weergave door middel van een 'geologische klok'. Bij het samenstellen van deze klok is men er van uitgegaan dat de aarde 4600 miljoen jaar oud is. Zes en veertig honderd miljoen jaren worden nu samengeperst in precies twaalf uur. Een minuut op de wijzerplaat komt op deze wijze overeen met 6,4 miljoen jaren. Het beeld gaat er vanuit dat de aarde om 0 uur 's nachts ontstond. Drie uur en acht minuten – of wel 1200 miljoen jaar – waren nodig om de vloeibare, gloeiend-hete massa te laten stollen. Van die vele miljoenen jaren durende beginperiode is nagenoeg niets bekend. Tot ongeveer half elf 's ochtends kent de aarde geen leven.

kwartaar	2
tertiair	63
krijt	70
jura	55
trias	35
perm	55
carboon	65
devoon	50
siluur	105
cambrium	70



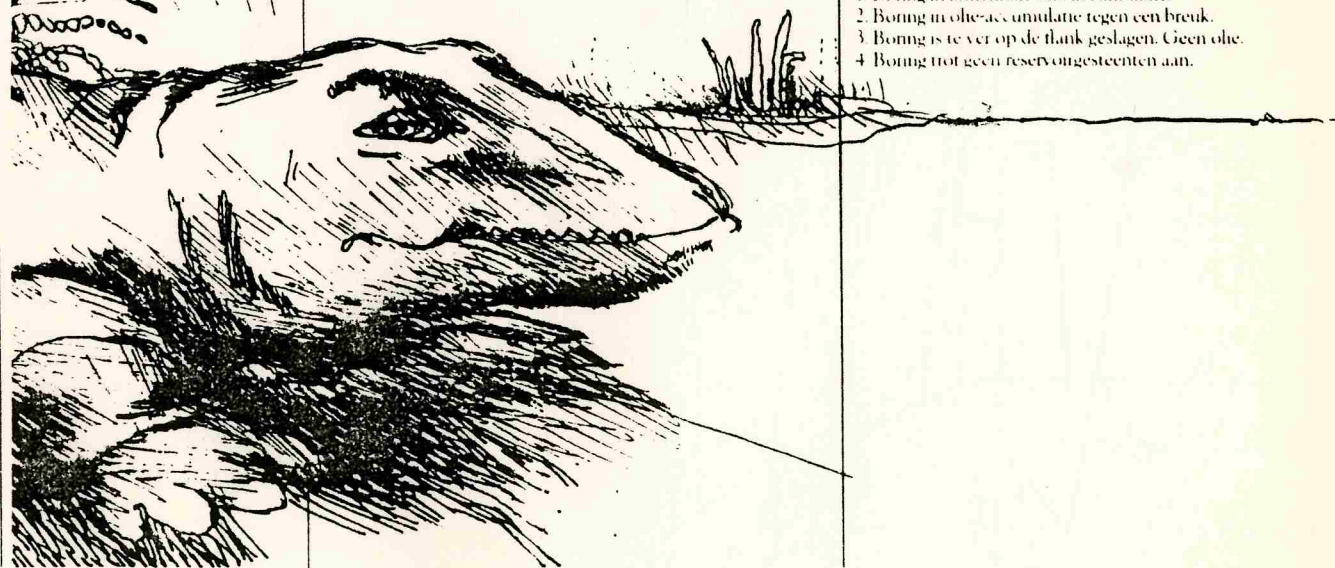
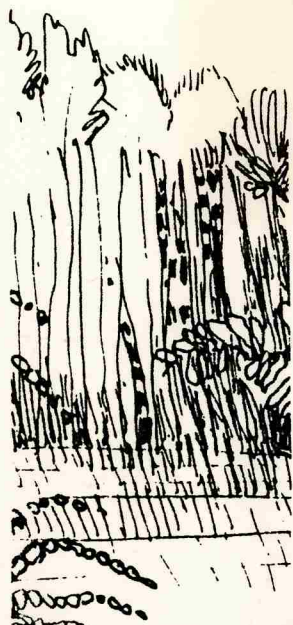
Een geologische tijdsklok: 4.600 miljoen jaar in twaalf uur. De periode tussen half elf en twaalf uur kan weer onderverdeeld worden in Kwartair, Tertiair etc. . . . Achter de namen van deze perioden staat de tijdsduur in miljoenen jaren vermeld.



Het is echter bijna zeker dat het Groninger gas en het gas van de meeste andere velden in Nederland en het zuidelijk deel van de Noordzee op een geheel andere wijze zijn ontstaan. De Nederlandse geoloog Dr. R.J.H. Patijn kwam in 1963 tot de konklusie dat we te maken hebben met een 'mijngas'. Dr. Patijn neemt aan dat steenkoollagen de geboorteplaatsen van ons aardgas zijn. In een later stadium van inkoling van de steenkoollagen, zouden door 'na-inkoling' grote hoeveelheden aardgas zijn vrijgekomen. Dit gas moet zich verplaatst hebben naar hoger gelegen zandgesteenten. Het dikke pakket zoutlagen daarboven voorkwam dat het aardgas zich nog verder naar boven verplaatste. Deze visie wordt momenteel in geologische kringen algemeen als de meest waarschijnlijke beschouwd.

Aardlagen liggen niet keurig in volgorde van ouderdom op elkaar gestapeld. Door het voortdurend in beweging zijn van de aardkorst - een beweging overigens die zo traag verloopt dat wij er nauwelijks iets van merken - traden en treden verstoringen van en in de gesteentelagen op. Gesteentelagen zijn op vele plaatsen gebroken. Soms zijn kilometers dikke lagen door erosie weer totaal verdwenen. Jongere lagen zijn soms onder oudere geschoven.

Een voorbeeld: onder geheel Nederland komen Carboonlagen (steenkool, zand en klei) voor. Soms liggen ze enkele honderden meters onder het aardoppervlak, soms duizenden meters.



Organismen



Erosie en transport in een dalend bekken. Bezinking van dode organismen en afbraakprodukten van bergland (sediment).



Verdere daling en opvulling van het bekken.



Het bekken is nagenoeg geheel opgevuld. De zee trekt zich terug. Begin van plooiing ten gevolge van ophetting en zijdelingse druk. Vorming van olie en gas in een kleilaag. Migratie van olie en gas naar en in een zandlaag.



Voortgezette ophetting, gevolgd door erosie. Plooiing en breukvorming. Accumulatie van olie en gas in een zandlaag.



Daling en lichte kanteling. Hernieuwde invasie van de zee. Sedimentatie.



Ophetting. Terugtrekken van de zee. Huidige situatie.  
 1 Boring in antieclinale olie-accumulatie.  
 2 Boring in olie-accumulatie tegen een breuk.  
 3 Boring is te ver op de flank geslagen. Geen olie.  
 4 Boring trot geen reservoirsteentem aan.

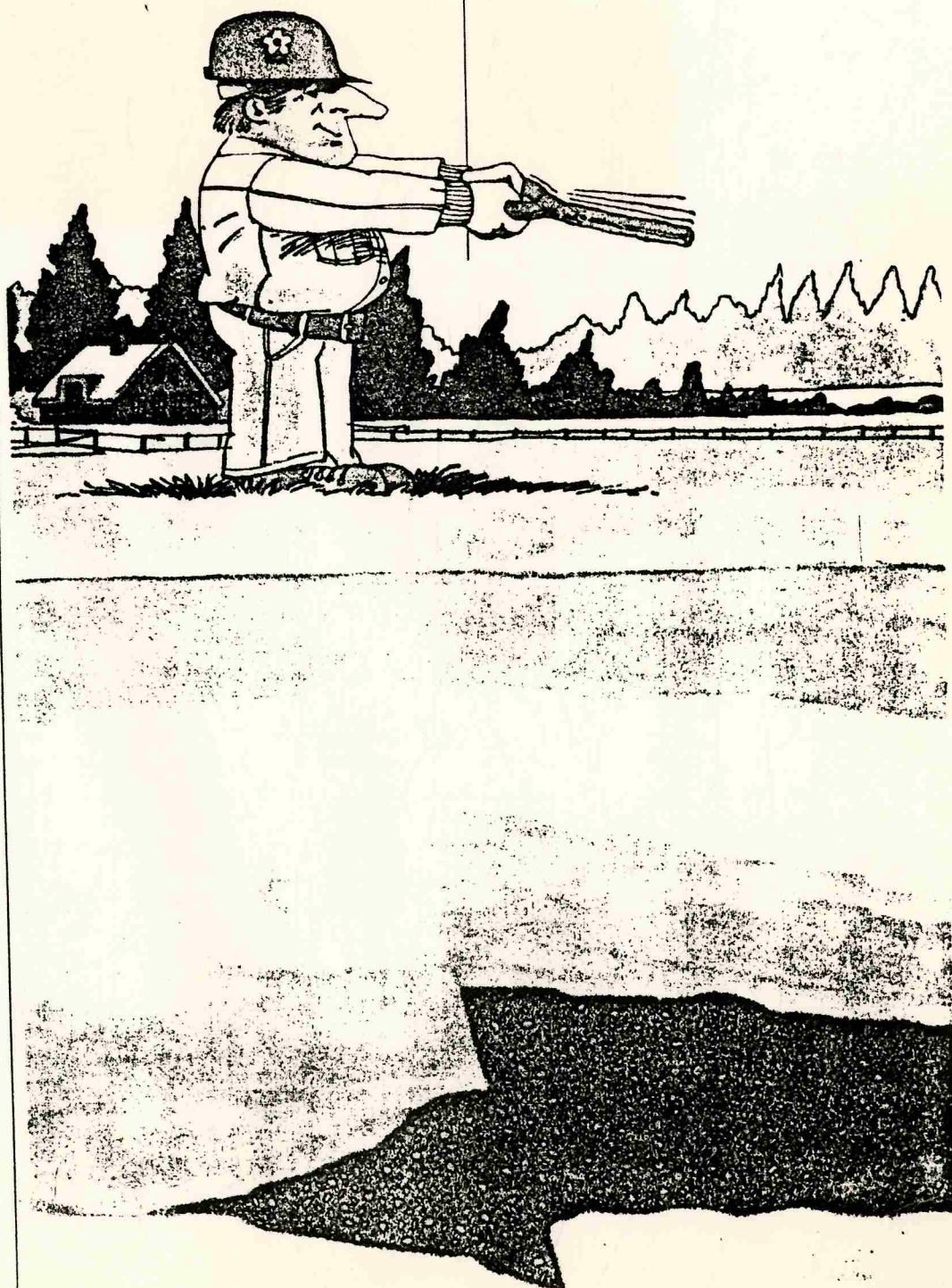
## De aardkorst als legpuzzel.

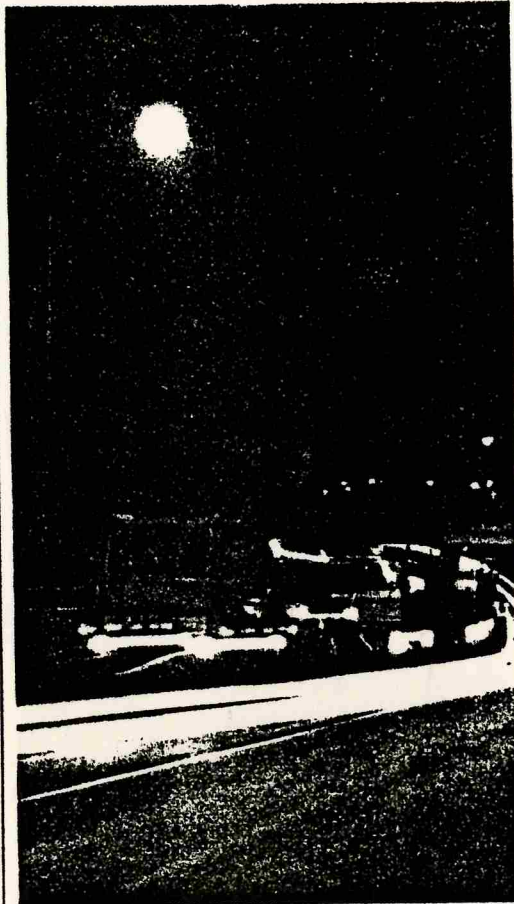
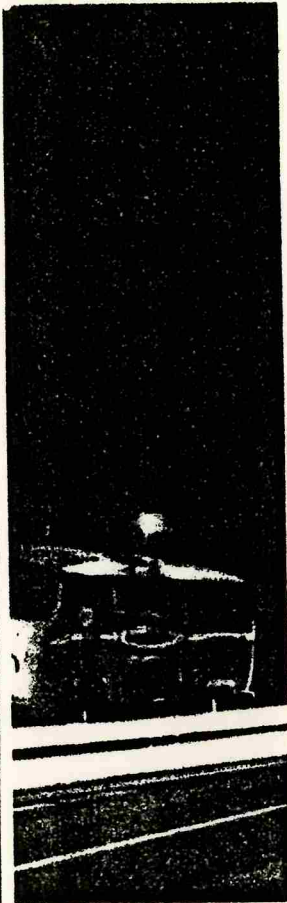
De eerste stap op de lange weg van het zoeken naar olie en gas is een uitgebreid onderzoek naar de samenstelling van de aardkorst. Mensen, die zich met dit onderzoek bezig houden noemt men geologen. Zij proberen antwoord te geven op vragen als: hoe zijn de aardlagen opgebouwd, uit welke geologische periode stammen ze, op welke diepte liggen ze, kunnen ze aardolie of aardgas bevatten.

De antwoorden op deze vragen moeten als minuscule stukjes van een enorme puzzel bij elkaar gezocht worden.

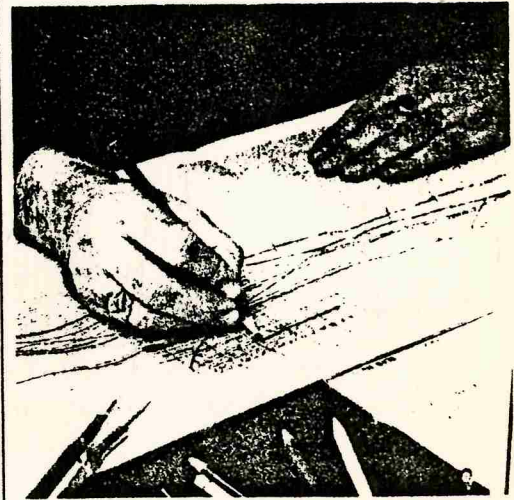
De geoloog vervaardigt met behulp van de uit bodemonderzoek verkregen gegevens geologische kaarten. Er bestaat een aantal methoden om de ondergrond in kaart te brengen:

\* Gravimetrisch: gebaseerd op zwaartekracht

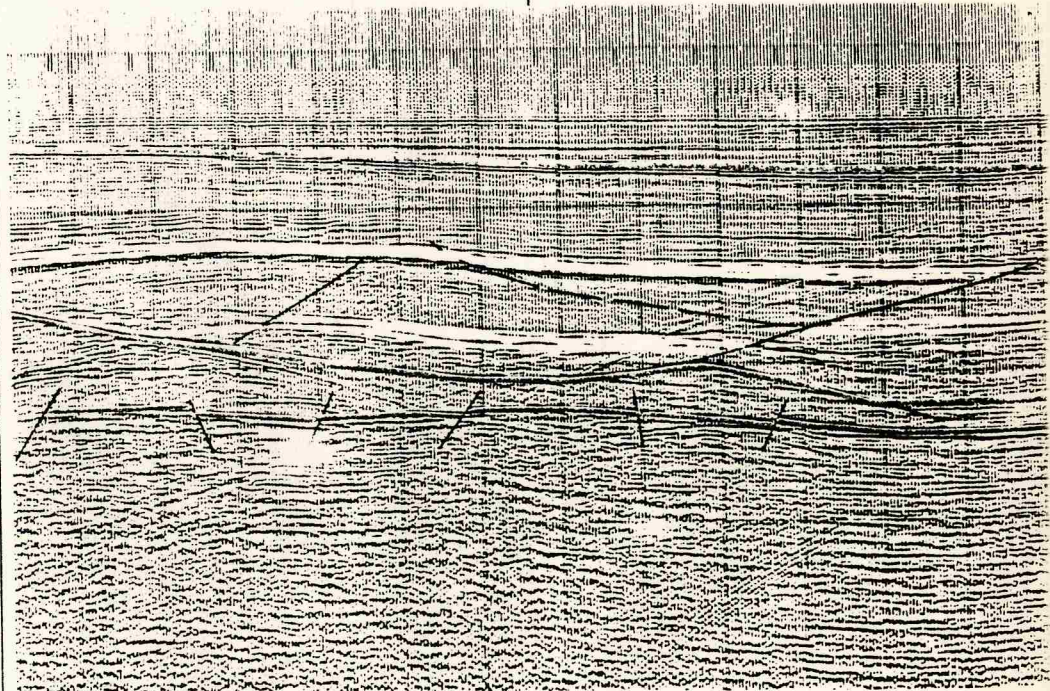




- \* Magnetometrisch: gebaseerd op het in verschillende aardlagen aanwezige magnetisme
- \* Remote Sensing: infrarood-metingen met behulp van satellieten en vliegtuigen
- \* Veldgeologie: onderzoek van het aardoppervlak
- \* Seismisch onderzoek: gebaseerd op het opwekken van trillingen



Een uitgewerkt seismogram.





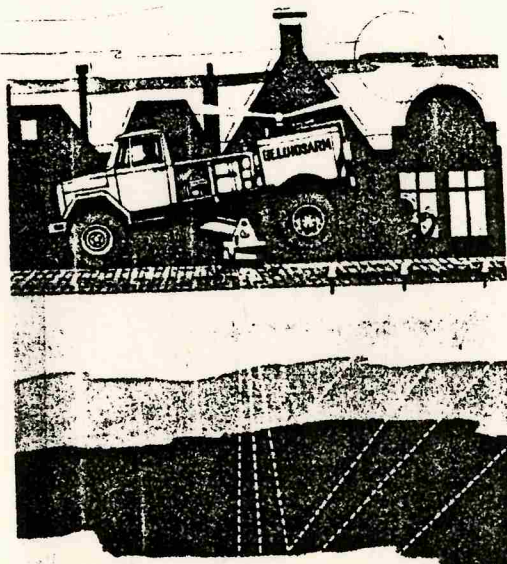
In dit boekje wordt alleen nader ingegaan op het seismisch onderzoek, omdat deze methode uitsluitend in Nederland wordt toegepast. Dit vanwege het feit dat men geïnteresseerd is in lagen, die door later afgezette gesteentelagen aan het oog onttrokken worden.

Het principe van seismisch onderzoek berust op het opwekken van trillingen. Hiervoor bestaan verschillende methoden. Het is mogelijk in ondiepe gaten kleine ladingen explosieve stof tot ontploffing te brengen. Een andere methode heet 'vibroseis'. Bij deze methode worden onder voertuigen bevestigde, trillende platen tegen het aardoppervlak gedrukt. Deze methode past men veelal toe wanneer gewerkt moet worden in dorpen en steden.

Op zee maakt men gebruik van de zogeheten 'airgun', een apparaat, waarvan de werking berust op het plotseling vrijgeven van hoeveelheden samengeperste lucht.

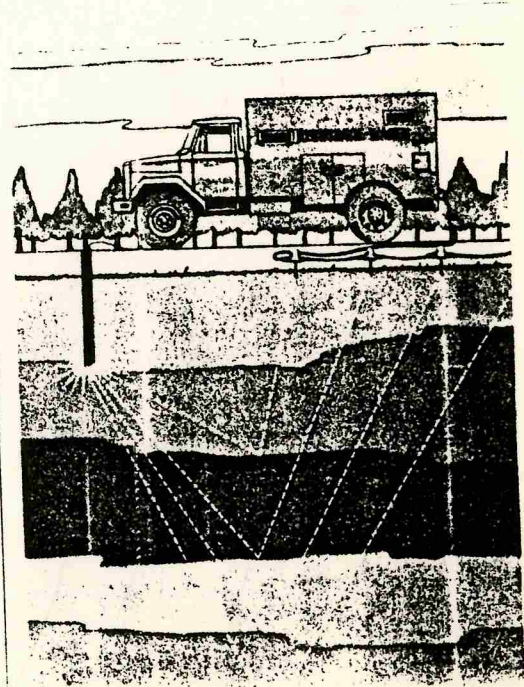
De opgewekte trillingen planten zich in de aarde voort. Bij de grensvlakken van de verschillende aardlagen worden ze teruggekaatst naar het aard- of wateroppervlak, waar ze door gevoelige instrumenten, seismometers, worden opgevangen.

Vibroseis.



Deze 'oren' registreren de teruggekaatste signalen op een magnetische band. In de komputer vindt daarna verwerking van de gegevens plaats. Het resultaat wordt seismogram genoemd. Op een seismogram vergelijkt de seismoloog de tijdstippen waarop de teruggekaatste signalen zijn binnengekomen en leest daarbij de tijd af, die de signalen nodig hadden voor de tocht: oppervlakte - grensvlak - oppervlakte. Daar de voortplantingssnelheden door verschillende gesteentelagen bekend zijn, kan de diepte van de verschillende grensvlakken worden berekend. Door vervolgens de seismogrammen samen te voegen, ontstaat een beeld van het verloop der gesteentelagen. Door het seismogram te vergelijken met de gegevens verkregen uit een eventueel in een later stadium uit te voeren boring, kan het oorspronkelijke beeld waar nodig worden herzien of aangepast. Hernieuwd onderzoek kan dan het gevolg zijn.

"Gewone" seismiek.

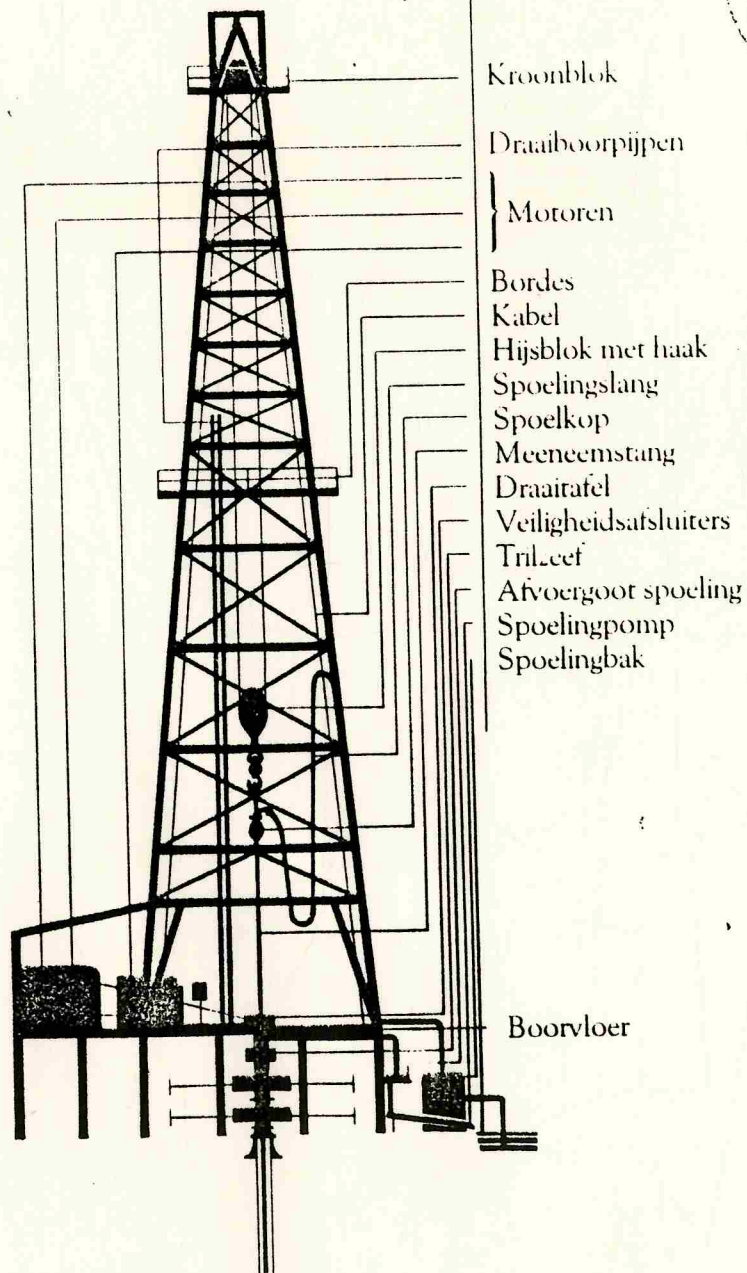


## Greep in de diepte.

Wie wil weten of de geologen gelijk hebben, wanneer zij veronderstellen dat zich op zekere plaats, diep onder het aardoppervlak aardolie of aardgas kan bevinden, heeft maar een controlemiddel: boren.

Nadat de overheid toestemming heeft gegeven om een boring te mogen uitvoeren, dient grond gehuurd te worden voor de aanleg van een lokatie. Soms moet een weg worden aangelegd en voordat de toren daadwerkelijk opgebouwd kan

worden, is heel wat voorbereidend werk nodig. De duur van een boring kan variëren van enkele weken tot enkele maanden. Wijst de boring uit dat geen olie of gas te vinden is (men spreekt dan van een 'droge' put), dan brengt NAM het terrein weer in de oorspronkelijke staat terug. Een proefboring op het land kost vele miljoenen guldens. De kosten van een boring op zee bedragen veelal het vijfvoudige. In principe wordt recht naar



Kroonblok

Draaiboorpijpen

Motoren

Bordes

Kabel

Hijsblok met haak

Spoelingslang

Spoelkop

Meeneemstang

Draaitafel

Veiligheidsafsluiters

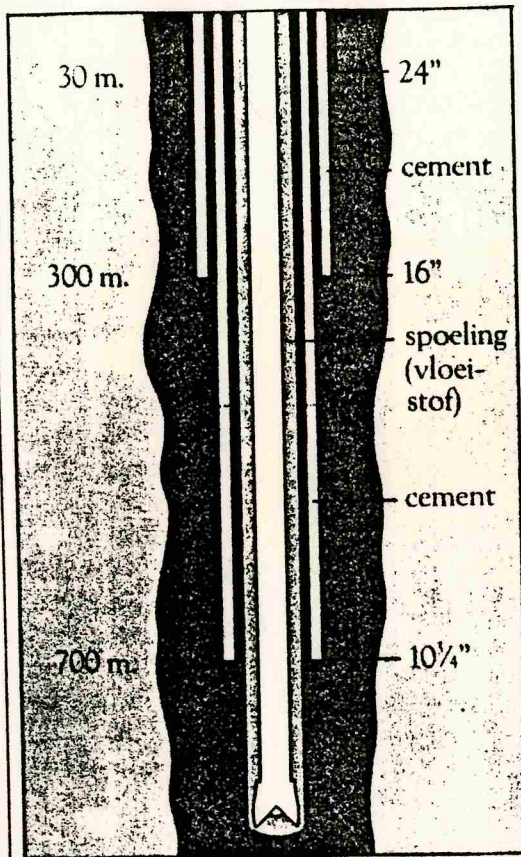
TrilLeef

Afvoergoot spoeling

Spoelingpomp

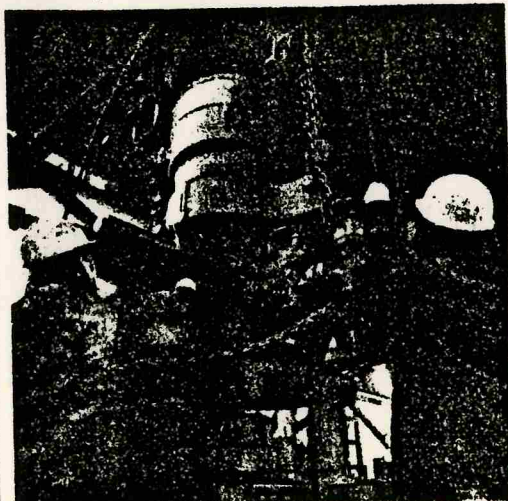
Spoelingbak

Boorvloer



Hoe het er onder de grond in het boorgat uitziet, duidt de schets aan. Zij biedt een beeld van de "verbuizingen" die nodig zijn om een diepte van ca. 3000 meter te bereiken.

Ieder boorgat wordt voorzien van veiligheidsafsluiters die op afstand bediend kunnen worden.

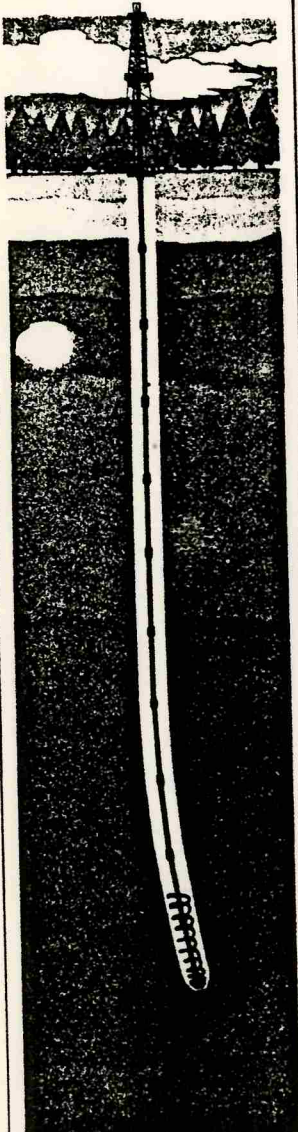


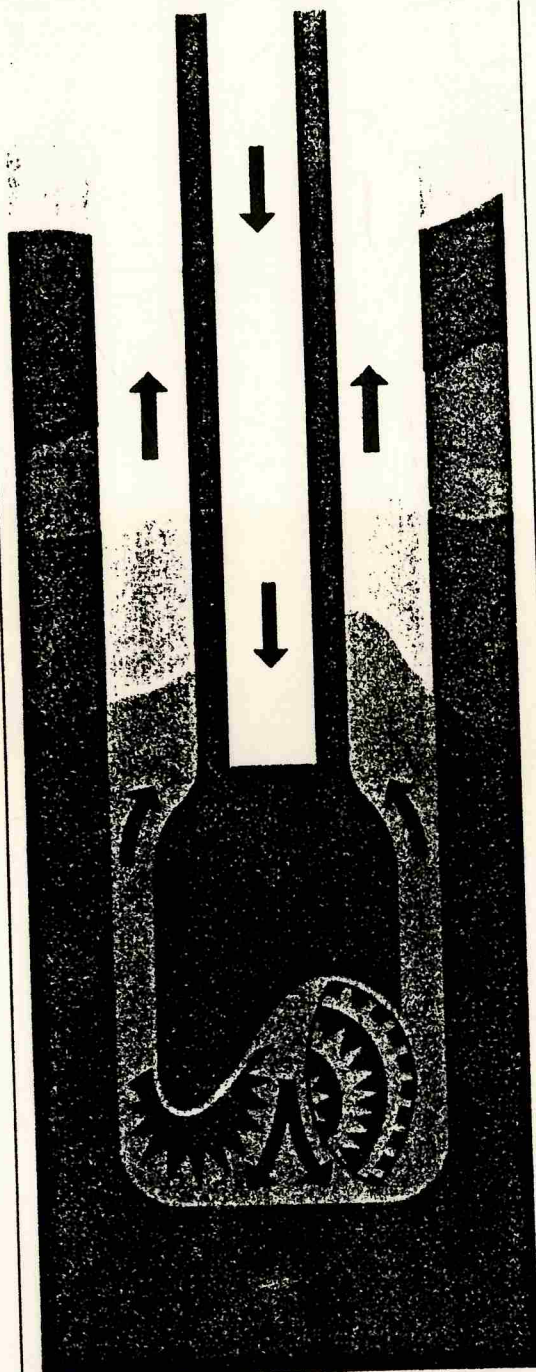
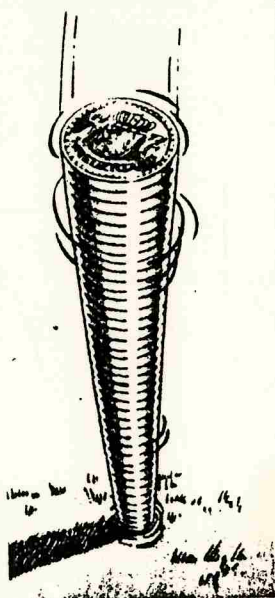
beneden geboord. Er kunnen zich echter situaties voordoen, waarin dit niet mogelijk is. In die gevallen kan gedeveerd (schuin) boren uitkomst bieden. Gedeveerd boren wil zeggen dat eerst met een vertikaal boorgat wordt begonnen, waarna men in een schuine richting verder gaat. Vanwege een naar verhouding dichte bebouwing en vanwege stringente milieu-voorschriften worden in Nederland de meeste boringen gedeveerd uitgevoerd. Gedeveerd boren kent echter een aantal technische beperkingen, eenvoudig omdat de hoek waaronder geboord kan worden, beperkt is.

Tussen de top van de vijftig meter hoge toren en de vloer hangt een serie zware hulpstukken, die de boormeester 'in toom' moet houden. Bovenin de boortoren bevindt zich een serie schijven, waarover een kabel loopt, die een hijsblok van vijf ton draagt. Aan de onderzijde van dit blok bevindt zich een haak, waaraan een bolvormig apparaat, de spoelkop is opgehangen.

Voor de noodzakelijke roterende beweging zorgt de draaitafel, een stalen schijf, aangebracht in het hart van de toren: de boorvloer. Door deze tafel draait een vier- of zeskantige stang mee. Deze 'meeneemstang' kan in de spoelkop vrij draaien. Bij het begin van een boring is de stang aan de onderzijde voorzien van een beitel. Wanneer de gehele lengte van de stang is 'afgeboord' hijst de boormeester het boorgereedschap omhoog. Tussen meeneemstang en beitel wordt nu een boorpijp bevestigd, waardoor de beitel zijn tocht naar de diepte verder kan vervolgen. Zo groeit met de diepte van het gat de lengte van de boorpijpen.

De energie die deze ingewikkelde machinerie in beweging brengt, wordt geleverd door elektromotoren, die op hun beurt door eigen generatoren van stroom worden voorzien. Natuurlijk komt er bij boren meer kijken dan hetgeen hiervoor in enkele regels is beschreven.



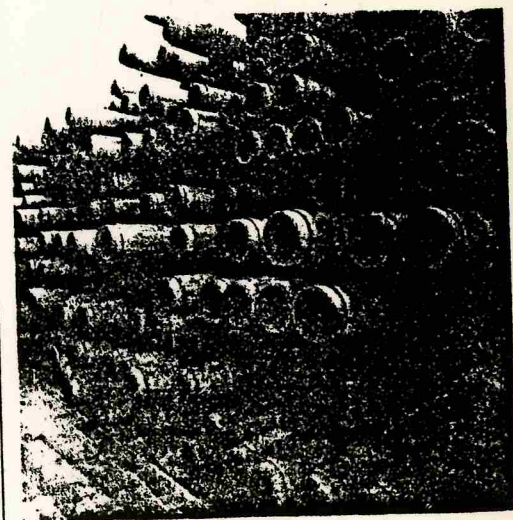


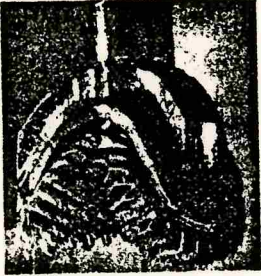
De weg die de boerspoeiing volgt.  
Het gewicht van de spoeling voorkomt dat gas of olie via het boorgat ontsnapt.

In een met staal bekleed gat van bijv. 3000 meter kan voor de lieve som van ruim f 1.500.000,- aan buis zijn ingebouwd.

Een vloeistof, spoeling genoemd, die tijdens het boren via de al eerder genoemde spoelkop door de boorpijpen wordt geperst, zorgt er voor dat het door de beitel vermalen gesteente tussen boorpijp en boorwand naar de oppervlakte wordt gevoerd. Deze spoeling gaat ook instorting van het boorgat tegen en voorkomt dat gas of vloeistoffen uit doorboorde lagen het boorgat instromen. Boven elk boorgat is een aantal veiligheidsafsluiters aangebracht, die op elk gewenst moment, eventueel op afstand gesloten kunnen worden. Om het boorgat te beveiligen wordt het 'verbuisd' door stalen buizen met cement aan de boorgatwand vast te zetten.

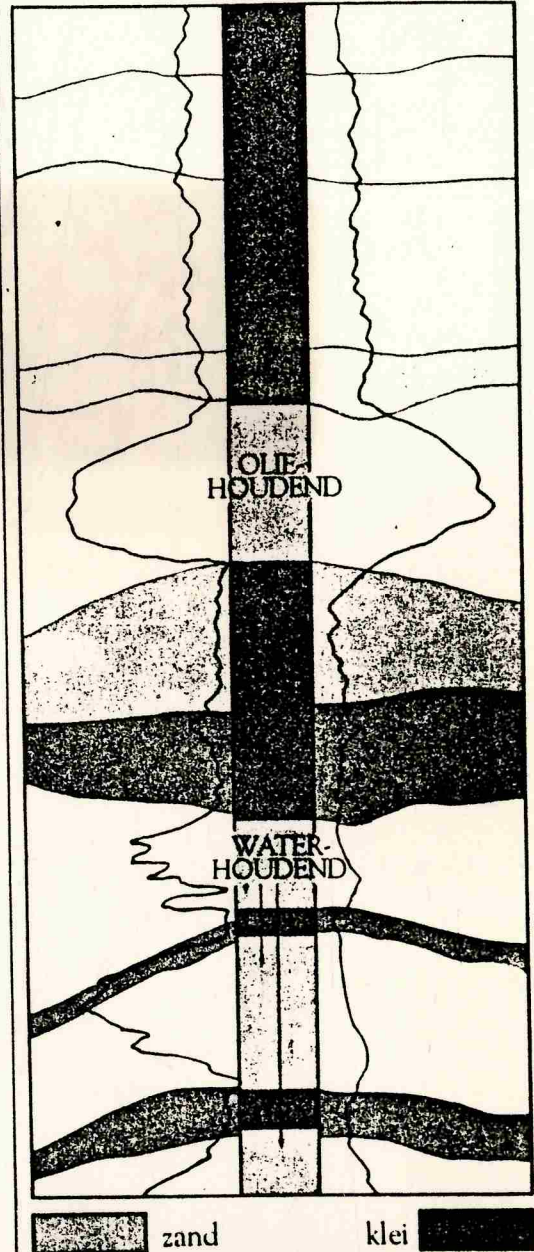
De diepte van het gat, de aard, de dikte en de 'inhoud' van de lagen zijn bepalend voor de lengte en het aantal malen dat een buizenserie moet worden aangebracht. Tegenwoordig wordt een boorgat veelal bekleed met vijf series. In een met staal bekleed gat van 3000 meter kan voor een bedrag van ruim f 1.500.000,- aan buis zijn aangebracht.



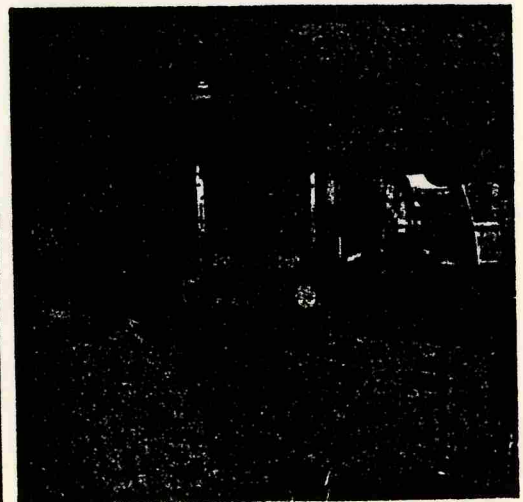


In het midden van de dertiger jaren vonden de gebroeders Schlumberger uit Frankrijk een methode uit, die het mogelijk maakte gegevens over aardlagen te verkrijgen, zonder dat ook maar iets van deze lagen naar de oppervlakte behoefde te worden gebracht. Bij deze methode laat men verschillende meetinstrumenten aan een geïsoleerde kabel in het boorgat neer. Deze instrumenten meten gesteente-eigenschappen, zoals de elektrische weerstand, de voortplantingssnelheid van geluid en de natuurlijke radio-activiteit. De diagrammen die door deze metingen worden verkregen, stellen deskundigen in staat de gesteente-eigenschappen vast te stellen die bij de speurtocht naar olie en gas van belang zijn: porositeit, doorlatendheid of permeabiliteit en de aanwezigheid van olie of gas.

## ELEKTRISCHE METING



De firma Schlumberger aan het werk.



INLEIDING TOT  
OLIEWINNINGSTECHNIEKEN.

# Inleiding tot oliewinnings- technieken

## Inleiding tot oliewinningstechnieken

Zelfs bij de nu verwachte, geringe economische groei zal de wereld tegen het jaar 2000 heel wat meer olie nodig hebben. Verhoging van het winningspercentage van de olie in de bodem is één manier om hieraan te komen. Gemiddeld wordt maar ongeveer 25% van die olie met behulp van natuurlijke produktiemechanismen gewonnen (primaire winning), maar dit percentage kan worden verhoogd door gas of water te injecteren (secundaire winning).

Nog hogere percentages zijn mogelijk door verbeterde winningsmethoden, waarbij gebruik wordt gemaakt van warmte, het injecteren van chemische stoffen of het injecteren van vloeistoffen (bijvoorbeeld CO<sub>2</sub>) die zich met olie kunnen vermengen.

Deze brochure, de eerste in een serie van drie over de winning van olie, gaat over de grondbeginselen van de primaire en secundaire methoden, die al meer dan 30 jaar op ruime schaal worden toegepast. De bedoeling is op eenvoudige wijze het nodige basismateriaal te verschaffen voor de volgende twee afleveringen – één gewijd aan thermische procédés en één aan andere verbeterde winningsmethoden – waarbij speciaal zal worden stilgestaan bij de moderne technieken die Shell-maatschappijen hebben ontwikkeld.

## Inleiding

Hoewel we tegenwoordig nogal eens horen spreken van verbeterde oliewinningsmethoden, vaak aangeduid als tertiaire methoden, wordt ongeveer 95% van de olie in de wereld nog steeds gewonnen met behulp van natuurlijke produktiemechanismen of door het injecteren van water en gas. Deze brochure is een inleiding tot deze primaire en secundaire winningsmethoden. Aan de orde komen de grondbeginselen van oliereservoirs, het gedrag van de daarin aanwezige vloeistoffen en de verdringingsprocessen die voor het produceren van de olie worden gebruikt. Veel aandacht wordt besteed aan computers die het mogelijk maken de juiste winningsmethode voor een bepaald veld op het juiste tijdstip te kiezen.

## Reservoirvloeistoffen en -eigenschappen

Een oliereservoir is een poreuze, sedimentaire rotsformatie, waarboven zich een laag ondoordringbaar gesteente bevindt dat vloeistoffen en gas hermetisch afsluit. Oorspronkelijk waren de poriën gevuld met water, maar olie en gas, ontstaan in het aangrenzende gesteente, sijpelden of borrelde er geleidelijk door en raakte opgesloten onder de hermetisch afdekkende gesteentelaag. Figuur 1 laat hiervan een vereenvoudigd voorbeeld zien. De vorm van het reservoir moet het de olie (of het gas) mogelijk maken zich op te hopen. De afdekkende gesteentelaag is een noodzakelijke voorwaarde om te voorkomen dat de olie of het gas zich verder naar boven verplaatst. Door de capillaire werking zal een deel van het oorspronkelijk in de poriën aanwezige water niet door de zich oomsprinkende koolwaterstoffen worden verdrongen. Dit onbeweeglijke water wordt hechtwater of poriënwater genoemd (figuur 2). Het volume van alle poriën en openingen in een reservoirgesteente (porositeit) wordt gewoonlijk uitgedrukt in een percentage van het totale gesteentevolume. Hoe groter de porositeit is, hoe meer olie kan worden opgeslagen. De porositeit varieert van 1 tot 30% van het totale gesteentevolume.

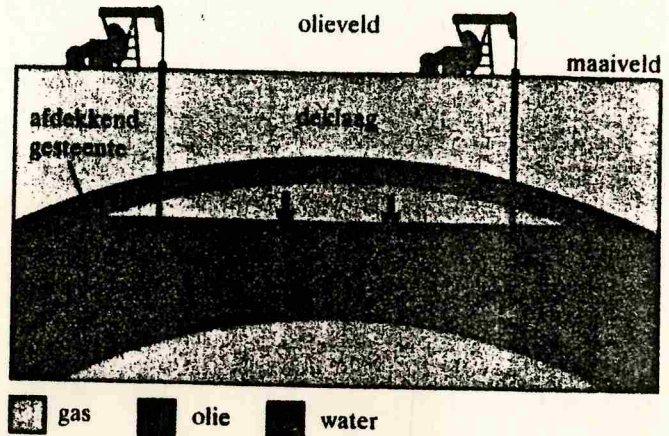
Wil olie zich door het reservoir kunnen verplaatsen, dan moet er een vrije verbinding tussen de poriën bestaan; het vermogen van het gesteente om vloeistoffen door te laten (de permeabiliteit) hangt af van de grootte van de kanaaltjes die de poriën met elkaar verbinden.

Zowel de porositeit als de permeabiliteit variëren in een gesteenteformatie, zodat putten in verschillende delen van een reservoir sterk uiteenlopende productiesnelheden te zien geven. Oliereservoirs kunnen dicht aan het aardoppervlak voorkomen, maar ook meer dan 6.000 meter eronder. De druk kan variëren van atmosferische druk voor reservoirs die dicht aan het aardoppervlak liggen, tot meer dan 15.000 psi voor diep gelegen reservoirs.

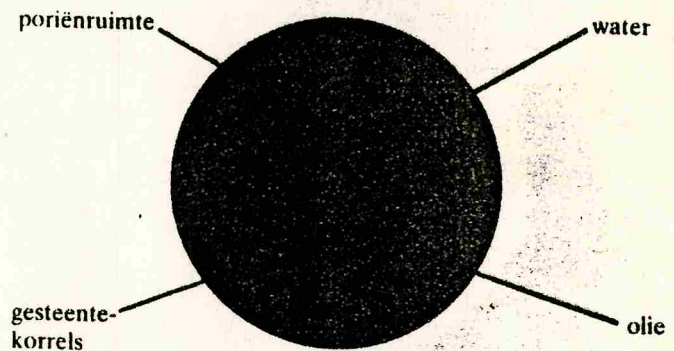
De olie bevat opgelost gas waarvan de maximumhoeveelheid afhangt van de druk en temperatuur in het reservoir. Als de olie bij de heersende reservoirdruk en -temperatuur geen gas meer kan oplossen, is er sprake van verzadigde olie; het overtollige gas zal zich dan boven in het reservoir ophopen, waar het een gaskap vormt. Als de olie onder deze omstandigheden wél meer gas kan oplossen, wordt ze als onderverzadigd aangeduid en is er in het begin geen gaskap aanwezig.

Olie varieert van nature van zeer zwaar en viskeus tot zeer licht. Zware olie (met een soortelijk gewicht dat ongeveer gelijk is aan dat van water en met een viscositeit die 10 tot 10.000 keer zo hoog is), wordt gewoonlijk aangetroffen in ondiepe reservoirs met weinig of geen opgelost gas. Lichte olie met een lage viscositeit wordt aangetroffen in diepe reservoirs, waarin een grote hoeveelheid opgelost gas aanwezig is. Hoe minder viskeus de olie is, hoe gemakkelijker ze door de tussenruimten van het reservoirgesteente naar een put zal stromen.

Figuur 1  
Reservoir met bodemwater en gaskap



Figuur 2  
Reservoir op microscopische schaal met hecht- of poriënwater





## Natuurlijke produktiemechanismen

Om door het reservoirgesteente naar een put te kunnen stromen, moet de olie in het reservoir onder een druk staan die groter is dan de druk op de bodem van de put. De snelheid waarmee de olie zich naar de put verplaatst, hangt af van het drukverschil dat er is tussen het reservoir en de put, de permeabiliteit, de dikte van de laag en de viscositeit van de olie.

In het begin is de reservoirdruk gewoonlijk hoog genoeg om de olie in de producerende putten naar het oppervlak te kunnen stuwten, maar naarmate de winning langer duurt, neemt de druk af en daalt het produktietempo. Hoewel de produktie afneemt, kan deze nog enige tijd worden gehandhaafd met behulp van natuurlijke processen, zoals expansie van het sterk comprimeerbare gas en het binnenstromen van water. De belangrijkste natuurlijke produktiemechanismen zijn waterstuwing, gas-in-oliestuwing en gaskapstuwing.

### Waterstuwing

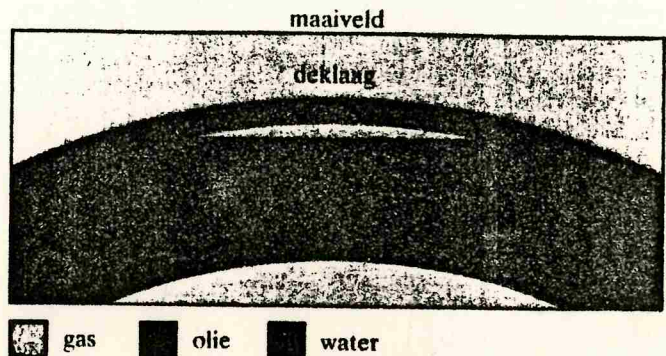
Onder de meeste olievelden ligt een waterlaag. Naarmate de druk in het oliereservoir vermindert, begint het water het reservoir binnen te stromen als gevolg van de expansie van het water en de verkleining van het poriënvolume (samendrukking van het gesteente). Dit binnendringende water houdt de reservoirdruk min of meer op peil, afhankelijk van de omvang van de waterlaag. Aangezien het volume van de waterlaag vaak vele malen groter is dan het volume van het oliereservoir, krijgt een olieveld op deze wijze een aanzienlijke hoeveelheid energie toegevoerd. Tal van belangrijke olievelden (bijvoorbeeld de meeste velden in Nigeria) werken met natuurlijke waterstuwing.

### Gas-in-oliestuwing en gaskapstuwing

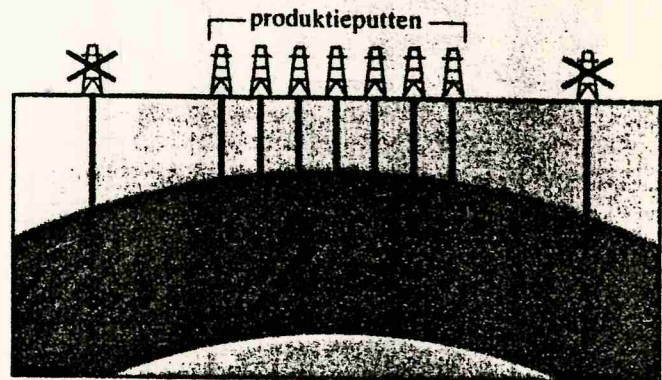
Bij het winnen van olie, en naarmate de reservoirdruk afneemt, komt er gas vrij uit de olie. Het gas vormt kleine belletjes die de olie geleidelijk verdringen (gas-in-oliestuwing). De grootte van de afzonderlijke gasbelletjes neemt toe totdat ze gezamenlijk een continue fase vormen, waarna het gas begint te stromen. Een deel van het vrijgekomen gas verplaatst zich naar de producerende putten, maar een ander deel gaat naar de gaskap bovenin het reservoir of vormt, als daar aanvankelijk geen gaskap aanwezig is, een secundaire gaskap. Door opschuiving van de primaire of secundaire gaskap wordt de olie door het gas verdrongen (gaskapstuwing). Wanneer er een grote gaskap bestaat (of wordt gevormd), zorgt de hoge comprimeerbaarheid ervan voor een nuttige energiebron bij de winning van olie. Deze winningsmethode zien we bij sommige velden in Oman, Brunei, Serawak en Denemarken.

Reservoirs kunnen zelden exact in één van deze categorieën worden ingedeeld. In de meeste gevallen spelen diverse, of alle, stuwingsmechanismen een rol. Natuurlijke produktiemechanismen dragen bij tot wat bekend staat als de primaire winning. Afhankelijk van de soort olie, de aard van het reservoir en de locatie van de putten, varieert de hoeveelheid in eerste instantie in een reservoir aanwezige olie die met behulp van deze mechanismen kan worden gewonnen (de winningsfactor), van een paar procent voor gas-in-oliestuwing tot wel 30 à 35% in geval van water- of gaskapstuwing. Op wereldschaal gezien kan men met primaire winningsmethoden naar schatting 25% van de in de bodem aanwezige olie winnen.

Figuur 3a  
Veld onder oorspronkelijke omstandigheden



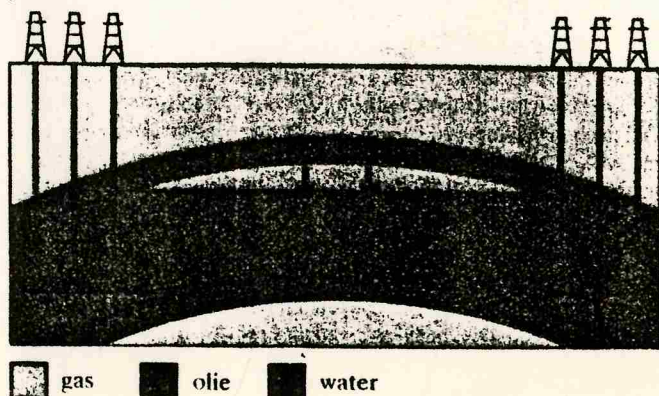
Figuur 3b  
Veld na jarenlange produktie, met krachtige waterstuwing



verlaten, verwaterde putten

olie door water verdrongen olie water

Figuur 3c  
Veld na produktie door gaskapstuwing en zwakke waterstuwing



## Secundaire winning

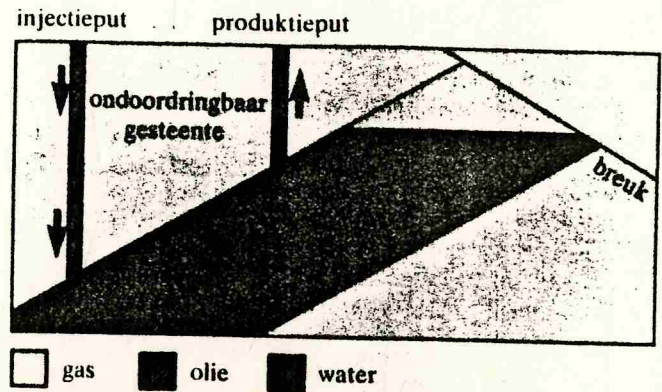
Door de jaren heen hebben olietechnici ondervonden dat technieken voor het handhaven van de reservoirdruk méér olie kunnen opleveren dan alleen met primaire methoden kan worden gewonnen. Met behulp van dergelijke technieken (bekend als secundaire winningstechnieken) wordt het voor de primaire winning verantwoordelijke energie- en verdringingsmechanisme, dat in het reservoir van nature aanwezig is, aangevuld door injectie van water of gas. Het geïnjecteerde medium verdringt echter niet alle olie. Een aanzienlijke hoeveelheid blijft door capillaire werking opgesloten in de poriën van het reservoirgesteente. Wat achterblijft, noemt men residuale olie, die 20-50% van het poriënvolume kan innemen. Door variaties in permeabiliteit kan het ook gebeuren dat het geïnjecteerde water voorts bepaalde oliehoudende gebieden links laten liggen (figuur 4).

Het totale rendement van een verdringingsproces hangt niet alleen af van aantal en locatie van de injectie- en produktieputten en van de reservoir-eigenschappen (permeabiliteit en residuale olie), maar ook van de relatieve mobiliteit van de verdringingsvloeistof en de verdrongen olie. Als de mobiliteit minder is dan 1 (d.w.z. als de verdringingsvloeistof een lagere mobiliteit heeft dan de verdrongen vloeistof), zal het verdringingsrendement hoog zijn en zal er een grote hoeveelheid olie worden verplaatst. Een voorbeeld is de verdringing door water van een lichte olie met een lage viscositeit (figuur 5a en 5b). Als de mobiliteit groter is dan 1 (het water heeft dan een grotere mobiliteit dan de olie), zal het rendement lager zijn. Door het verschil in soortelijk gewicht van de twee vloeistoffen treedt over het algemeen scheiding door zwaartekracht op en zal de mobieler verdringingsvloeistof sneller gaan stromen dan de olie. Een en ander heeft tot gevolg dat de verdringingsvloeistof eerder doorbreekt en aldus afbreuk doet aan de efficiëntie van het proces (zie figuur 5c).

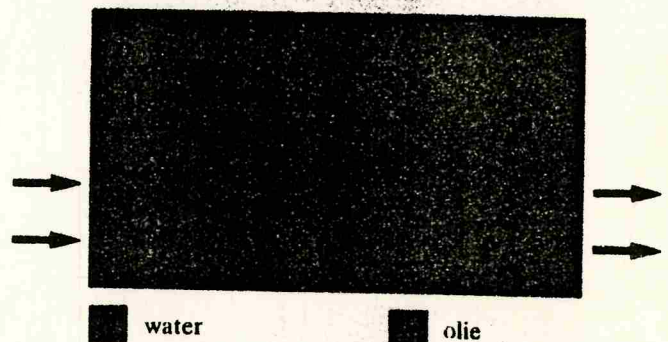
De viscositeit van de verdringingsvloeistof die bij secundaire winningsmethoden wordt toegepast, is van vitaal belang. Deze viscositeit zou niet veel lager moeten zijn dan die van de te verdringen vloeistof. In feite doet deze situatie zich voor bij water in een reservoir met lichte olie, omdat water en lichte olie ongeveer dezelfde viscositeit hebben. Aardgas heeft echter een veel lagere viscositeit en heeft daardoor een grotere mobiliteit dan welke olie ook. Als verdringingsmedium heeft het dan ook de neiging zich om de olie heen te verplaatsen. De toepassing van gas wordt gewoonlijk alleen overwogen als het reservoir een sterke helling vertoont (figuur 6) en/of een hoge permeabiliteit heeft. Onder deze omstandigheden wordt de verdringing van olie door gas overheerst door zwaartekracht - bijvoorbeeld in het Fahud-veld in Oman. Maar ook onder minder gunstige omstandigheden moet soms gas worden geïnjecteerd om het gas dat in het reservoir aanwezig is, tijdelijk te conserveren. Aangezien gas waardevol is en water vaak een efficiënter middel is om olie te verdringen, is waterinjectie de meer conventionele secundaire winningstechniek geworden, die ook het meest wordt toegepast.

Een fundamentele overweging bij het ontwerpen van een doeltreffend en efficiënt secundair winningsproject is hoe men de olie uit een zo groot mogelijk reservoirvolume kan verdringen. Injectieputten kunnen aan de omtrek van het reservoir zijn gelegen of in een volgens verschillende lijnen verloopend patroon, afhankelijk van de reservoir- en vloeistofeigenschappen. Figuur 7 laat een voorbeeld zien van een project met

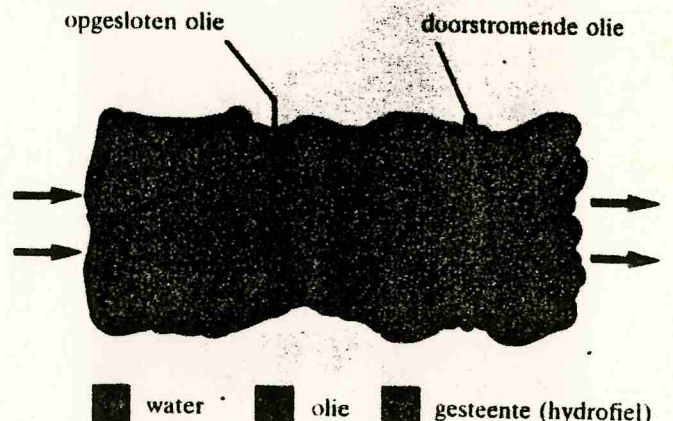
Figuur 4  
Verdringing van olie door water



Detail



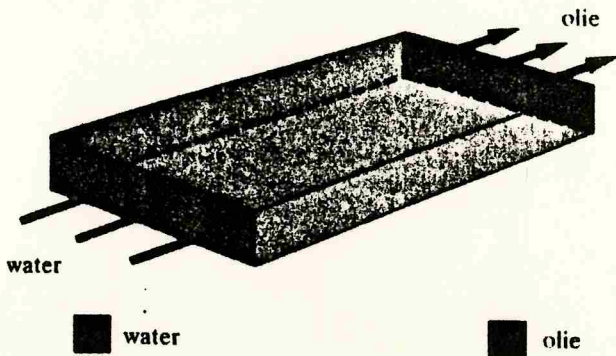
Stuwingsfront op microscopische schaal



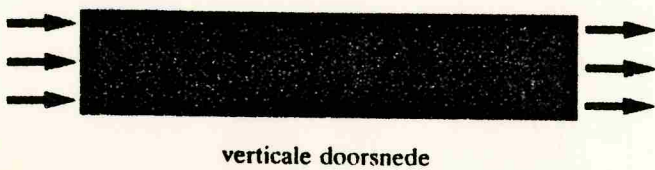
waterinjectie aan de omtrek.

De voornaamste praktische problemen die zich voordoen bij het uitvoeren van een secundair winningsproject, komen voort uit de laagsgewijze ligging van reservoirs en variaties in permeabiliteit, die het moeilijk maken het injecteren van water zodanig te regelen dat de olie niet opgesloten raakt. Bij nieuwe projecten worden putten zorgvuldig gecontroleerd en zelfs afgewerkt

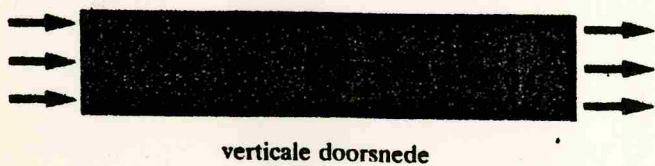
**Figuur 5a**  
 Voorbeeld ter illustratie van het effect van de verschillen die er in viscositeit en soortelijk gewicht tussen olie en water bestaan, op het verdringingsrendement



**Figuur 5b**  
 Verdringing onder gunstige omstandigheden; de verdringingsvloeistof heeft een geringere mobiliteit dan de verdrongen vloeistof



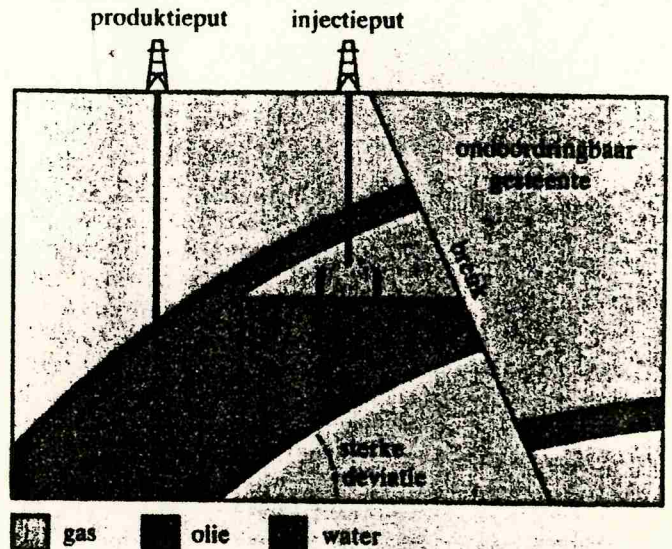
**Figuur 5c**  
 Verschil in soortelijk gewicht en een ongunstige mobiliteitsverhouding veroorzaken „onderschuiving” van de olie door het verdringende water (tongvorming door zwaartekracht)



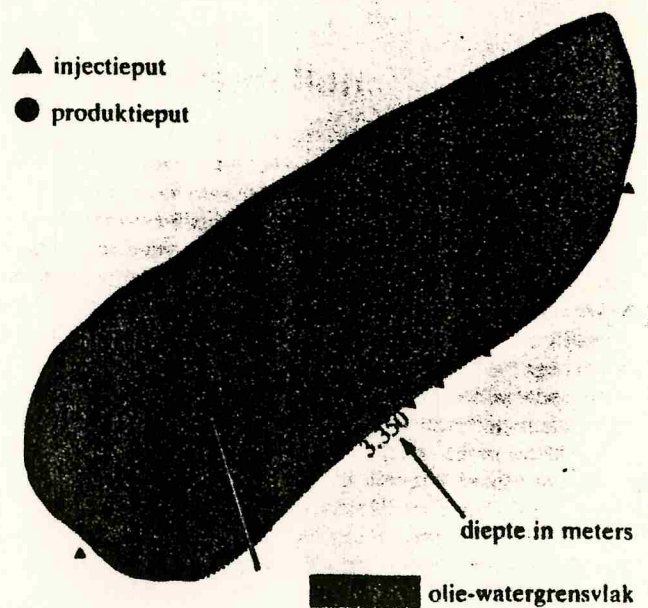
op zodanige wijze dat een selectieve injectering in en een selectieve winning uit onderlagen in het reservoir mogelijk is. Op deze manier wordt een verdringingsvloeistof optimaal gebruikt. Deze technieken worden bijvoorbeeld toegepast in het Britse Brent-veld op de Noordzee.

Een andere factor die invloed heeft op de efficiëntie van een project, is de kwaliteit van het geïnjecteerde water. Dit water moet afgestemd zijn op het water in de formatie en op het reservoirgesteente. Is dit niet het geval, dan zullen vaste stoffen bezinken, waardoor de formatie verstopt raakt en er een punt wordt bereikt waarop geen water meer kan worden geïnjecteerd. Zwevende deeltjes kunnen eveneens verstopping veroorzaken. Tenzij het water afkomstig is uit een onderaardse bron en in een gesloten kring wordt geïnjecteerd, moet het worden ontluicht om corrosie te voorkomen.

**Figuur 6**  
 Voorbeeld van een gasinjectieproject in een steil hellend reservoir met gas-oliescheiding onder invloed van zwaartekracht



**Figuur 7**  
 Bovenaanzicht van een reservoir met waterinjectieputten aan de omtrek



## Winningsfactoren

De hoeveelheid olie in de bodem die met behulp van verschillende winningstechnieken kan worden gewonnen, varieert sterk. Dit heeft te maken met een aantal factoren, waaronder de viscositeit, de oplosbaarheid van het gas en het soortelijk gewicht van de olie. Voorts zijn van invloed het al dan niet aanwezig zijn van een gaskap, de aanwezigheid en sterkte van een waterlaag, de diepte, druk en complexiteit van het reservoir en de permeabiliteit en porositeit van het gesteente.

De volgende tabel geeft een overzicht van de winningsfactoren die voor verschillende soorten olie kunnen worden verwacht.

Soort olie	Primaire winning percentage olie in de bodem	Secundaire winning percentage extra olie in de bodem
Extra zwaar	1 - 5	-
Zwaar	1 - 10	5 - 10
Middelzwaar	5 - 30	5 - 15
Licht	10 - 40	10 - 25

De lage percentages voor elke soort houden meestal verband met de door een lage oplosbaarheid van gas gekenmerkte oliën in ongunstige reservoirs. De hoge waarden daarentegen hebben betrekking op de door een hoge oplosbaarheid gekenmerkte oliën in gunstige reservoirs. De primaire winning kan zelfs nog hoger zijn dan hierboven is aangegeven, en wel wanneer er een krachtige waterhoudende laag aanwezig is. Onder dergelijke omstandigheden zijn secundaire winningsmethoden niet aantrekkelijk.

## De voorbereiding van oliewinningsprojecten

Met de primaire ontwikkeling van olievelden zijn vaak hoge investeringen gemoeid. Voor de uitvoering van secundaire winningsprogramma's zijn deze zelfs nog hoger. Winningsprojecten moeten daarom zeer zorgvuldig worden voorbereid. Hiervoor kunnen veldproeven nodig zijn, maar ook laboratoriumresearch en simulatie per computer van de gedragingen van het reservoir. Op basis van de op die manier verkregen informatie kan men besluiten nemen over bijvoorbeeld het juiste aantal injectie- en produktieputten, het aantrekkelijkste „putpatroon“, injecteer- en produktiesnelheden en over de nodige veldfaciliteiten en pijpleidingen.

De veldproeven kunnen drukproeven zijn, uitgevoerd op één enkele put, of speciaal berekend zijn voor een serie putten. Het doel van deze proeven is de eigenschappen van het reservoir vast te stellen, evenals mogelijke factoren die de stroming

belemmeren. Andere proeven kunnen nodig zijn om de injectiviteit van water- of gasinjectieputten vast te stellen. En bij wijze van proef wordt er soms eerst in een deel van het veld water ingelaten voordat men het project voor het gehele veld uitvoert.

Het laboratoriumonderzoek is onder andere bedoeld om de parameters van gesteenten en vloeistoffen vast te stellen. Daarbij wordt bijvoorbeeld de bij water- of gasstuwung te verwachten residuale olie gemeten, evenals de permeabiliteit van het reservoirgesteente ten opzichte van olie, water en gas, die afhankelijk is van het totale volume dat elk van deze media inneemt.

Soms kan het gewenst zijn fysische experimenten op schaal uit te voeren, waarbij men uitgaat van de feitelijk heersende omstandigheden met betrekking tot reservoir en vloeistoffen. Reservoirsimulatie met computermodellen levert uiterst nuttige aanvullende gegevens op om de ontwikkeling van een veld te kunnen plannen.

In een reservoirsimulatiemodel worden de fysische gegevens van een meerfasenstroming benut om te komen tot een mathematische formulering van het winningsproces, die rekenkundig kan worden opgelost. Deze benadering biedt een aantal voordelen boven de conventionele methoden die worden toegepast voor het ontwerpen en begeleiden van primaire en secundaire winningsprojecten. Terwijl het eigenlijke reservoir slechts éénmaal en tegen hoge kosten in produktie kan worden gebracht, kan het simulatiemodel vele malen tegen relatief lage kosten worden gebruikt om de vermoedelijke resultaten bij verschillende winningsmogelijkheden te bepalen.

Bij zijn eindonderzoek van de modelresultaten moet de ingenieur, net als in het verleden, nog steeds zijn eigen oordeel laten meespelen, maar het simulatiecomputermodel kan hem goed van pas komen bij de kwantitatieve evaluatie van zijn plannen. Hoe dit in de praktijk gaat, wordt hierna besproken.

## Reservoirmodellen

Het construeren van een reservoirmodel is een kwestie van samenwerking tussen petroleumingenieurs en geologen. Hierbij worden de uit de putten verkregen informatie, de interpretaties van gegevens die zijn verkregen bij het onder druk testen, en laboratoriummetingen van gesteente- en vloeistofeigenschappen gebruikt. Volumetrische berekeningen worden gemaakt om de aanvankelijk in de bodem aanwezige hoeveelheden olie en gas te bepalen. Porositeits- en permeabiliteitskaarten worden vervaardigd voor de verschillende lagen die in het reservoir voorkomen. Hermetisch afdichtende leisteformaties tussen deze lagen en andere belemmeringen voor een vlotte doorstroming, zoals breuken en grenslagen, worden aangekend. Men berekent tevens de oorspronkelijke verdeling van water, olie en gas over het gehele reservoir.

Vervolgens wordt een grondige analyse gemaakt van de geschiedenis van het reservoir. Kwantiteit en kwaliteit van deze gegevens kunnen van reservoir tot reservoir verschillen. Zo kunnen voor een pas ontdekt Noordzee-reservoir slechts zeer beperkte gegevens beschikbaar zijn uit enkele proefboringen en eerste produktieputten, maar deze gegevens zijn gewoonlijk van een kwalitatief hoog gehalte. De produktiegegevens kunnen soms een zeer korte periode bestrijken (bijvoorbeeld één jaar) en betrekking hebben op slechts een fractie van de aanvankelijk in de bodem aanwezige olie. Aan de andere kant is er

over een groot reservoir dat al jaren in productie is, misschien een overvloed aan gegevens beschikbaar, die ten dele tegenstrijdig en ten dele twijfelachtig zijn. De gegevens over de geschiedenis van een reservoir hebben meestal betrekking op druk en productie van afzonderlijke putten (inclusief de ontwikkeling van de gas-olieverhouding en de water-olieverhouding).

Daarna worden er berekeningen gemaakt om de „actuele” en „initiële” vloeistoffen in de bodem te vergelijken met de cumulatieve productie, om tot een raming te komen van de hoeveelheid water die het reservoir kan zijn binnengedrongen. Ook wordt op deze wijze een aanwijzing verkregen over het relatieve belang van de verschillende reservoirmechanismen (waterstuwing, gas-in-oliestuwing, gaskapstuwing).

Bij al deze berekeningen spelen minicomputers een belangrijke rol. Deze zijn voorzien van randapparatuur (printers, plotters, beeldschermen, kopieerinrichtingen) en zijn via gegevensbeheersystemen aangesloten op grote computers. Zo is een adequate analyse, verwerking en visualisering van reservoirgegevens voor studie- en verslaggevingsdoeleinden verzekerd.

## Reservoirsimulatie

De hiervoor beschreven berekeningen geven een aardig inzicht in de eigenschappen van het reservoir en stellen de reservoiringenieur in staat althans kwalitatief de relatieve voordelen te bepalen van de verschillende methoden om olie en gas uit het reservoir te produceren. In dit stadium zal hij de doelstellingen van zijn studie duidelijk kunnen omschrijven en een bepaalde aanpak voor het vervaardigen van een model kunnen kiezen die met deze doelstellingen overeenstemt.

Eerst zal een keus moeten worden gedaan uit een reeks computerprogramma's die voor reservoirsimulatie doeleinden zijn opgesteld. Eén groep modellen („zwarte-olie”-modellen) gaat uit van slechts twee koolwaterstofcomponenten in de vloeibare fase (olie plus het daarin opgeloste gas) en één component in de dampfase (het vrije gas). Dit type model voldoet heel goed voor de ontwikkeling en planning van tal van reservoirs. Maar voor andere reservoirs, bijvoorbeeld de reservoirs die zeer lichte olie bevatten, kan een model van meer verfijnde samenstelling nodig zijn, dat rekening houdt met de individuele koolwaterstofcomponenten in de vloeibare fase en in de dampfase.

Dan moet een beslissing worden genomen over de omvang van het model in relatie tot de beschikbare hoeveelheid gedetailleerde informatie en tot de doelstellingen van de studie. Deze keus hangt ook af van de vraag of het gehele veld, een enkele put of een representatief symmetrie-element in het model wordt opgenomen.

Er zijn, en worden, verschillende technieken ontwikkeld om de voorbereiding van de invoer van gegevens en de visualisering van wat er uit de computer komt voor reservoirsimulatie-onderzoek te vergemakkelijken. Om een beter inzicht in de reservoirprocessen te krijgen, hebben Shell-maatschappijen een dynamische beeldschermtechniek ontwikkeld die het mogelijk maakt de verdeling van olie, water en gas in het reservoir, evenals de druk- en temperatuurverdeling, in kleur op een videobeeldscherm te laten zien. Deze benadering is een waardevol hulpmiddel voor een optimale oliewinning, voor het beoordelen en controleren van de werking van het simulatiemodel en voor het presenteren van de onderzoekresultaten.

## Toekomstperspectief

Hoewel thermische en andere verbeterde methoden vaker op de voorgrond treden, wordt 95% van de wereldolieproductie verkregen met behulp van conventionele winningsmethoden, die een geraamde winningsfactor van gemiddeld 35% van de in de bodem aanwezige reserves opleveren. Bovendien moet worden bedacht dat de kosten per vat olie dat met behulp van thermische of andere verbeterde methoden wordt geproduceerd, wel 5 tot 100 maal zo hoog kunnen zijn als voor een vat dat via primaire of secundaire winningsmethoden is geproduceerd. Hoewel de beginselen die aan primaire en secundaire winning ten grondslag liggen, zeker bekend zijn en al jaren worden toegepast, wordt door Shell-maatschappijen nog heel wat research verricht (en voorbereid) om manieren te vinden ter verbetering van de daarbij toegepaste technieken.

KORTE INLEIDING  
IN DE AARDOLIE GEOLOGIE

## 1. KORTE INLEIDING IN DE AARDOLIE GEOLOGIE

Olie ontstaat uit organisch materiaal, voornamelijk plankton, dat zich ophoopt in een sedimentair bekken. Een sedimentair bekken is een gebied op aarde dat gedurende lange tijd een daling vertoont, waarbij door de zee, sedimenten worden afgezet. Bij het sterven van het plankton hopen de miljarden restanten zich samen met het sediment op tot dikke pakken, waarvan de dikte vele duizenden meters kan bedragen. Onder speciale gunstige omstandigheden kan het materiaal omgezet worden in olie en gas. Het gesteente waarin de olie en het gas ontstaan, heet het moedergesteente. De olie blijft echter niet in het moedergesteente zitten, doch migreert naar een poreuzer gesteente. Dit poreuzer gesteente (b.v. zand) wordt reservoirgesteente genoemd. De migratie van olie kan onderscheiden worden in:

1. de migratie van olie van het moedergesteente naar het reservoirgesteente;
2. de verdere migratie van olie in het reservoirgesteente naar plaatsen waar de olie niet verder naar boven kan migreren en dus gevangen wordt en moet accumuleren.

De olievallen kunnen onderscheiden worden in:

1. stratigrafische olieval;
2. structurele olieval; en
3. vloeistof olieval.

Ad 1. Door verschillen in het sedimentatie-milieu kan een permeabele laag overgaan in een impermeabele laag (b.v. door toenemende kleigehalte of cementering).

Ad 2. a) Anticlinalen - Door plooien of breukvormen wordt de samenhang van het gesteente verstoord. Bij plooien verbuigt het gesteente; er ontstaat een koepelvorming. Indien permeabele en inpermeabele lagen elkaar afwisselen, kan olie die in de permeabele lagen migreert in het hoogste koepelvormig gedeelte van de plooi gevangen worden, onder een impermeabele laag.

b) Bij breuken kan een poreuze laag tegen een impermeabele laag geschoven worden, waardoor er een olieval ontstaat.

c) Door zoutbewegingen ontstane olieval. Als het onder druk komt te staan, gaat het vloeien. Aangezien zout een lager soortelijk gewicht heeft dan de omringende lagen gaat het stijgen en voor grote verbuigingen zorgen, waardoor er potentiële olievalen kunnen ontstaan.

Ad 3. De opwaartse beweging van een olie in een waterig medium kan tot staan gebracht worden door een tegenstroom van het water. Hierdoor kan een olieval gevormd worden.

Van de drie genoemde olievalen zijn de structurele olievalen het makkelijkst op te sporen. Dit kan geschieden door de structuur van de bodem door geofysisch onderzoek in kaart te brengen. De twee andere zijn wat moeilijker te ontdekken. Het aanwezig zijn van een olieval is een noodzakelijke voorwaarde voor het vinden van olie, hetgeen niet betekent dat in elke olieval er olie zit. Het is zelfs gebleken dat in negen van de tien gevallen het boorgat geen olie bevat, een "dry hole" dus.



## 2. MOGELIJKE AARDOLIE-VOORKOMENS IN SURINAME

Deze gegevens zijn afkomstig uit het rapport van M.J. Hanou: "Geology and Petroleum Analysis of the Suriname Coastal Region (1981)".

Er is gedurende zeer lange tijd onderzoek gedaan over de kustvlakte van Suriname. In dit kader heeft Staatsolie een onderzoek gedaan met als doel het analyseren van de regionale stratigrafie van het gebied, en om het karakter en de verspreiding van de sedimenten en hun potentiële eigenschappen om als olieval (oiltrap) te fungeren. Het grootste gedeelte van het werk is geconcentreerd geweest in het Calcutta- en Tambaredjo gebied, alsgevolg van de aardolie indicaties aldaar. Men heeft gebruik gemaakt van reeds bestaande gegevens van het gebied. Well logs van 24 boorgaten die geboord waren door de Shell Oil Company vormden een basis voor een regionale correlatie netwerk om de distributie en de veranderingen in dikte van de sedimenten vast te stellen.

### *Koolwaterstoffen-potentieel*

Als resultaat van de onderzoekingen die door de jaren heen zijn gedaan, is men gekomen tot conclusies omtrent het koolwaterstoffen-potentieel van Suriname (onshore).

In het rapport van Hanou wordt aangegeven waar in Suriname het eerste in aanmerking komt voor olie-onderzoek. Het meest geschikte gebied voor directe exploratie is het Calcutta gebied, waar olie en water is aangetroffen, en het Tambaredjo gebied waar zuiver olie is gevonden. Een potentiële stratigrafische olieval en de vorm van het basement maakt dit gebied erg geschikt voor de exploratie. Aangezien er

in de boorgaten geen aanwijzingen zijn gevonden die op de aanwezigheid van breuken duiden, kan breukvorming geen mechanisme zijn voor olievallen.

De "T" zanden (genoemd naar het Tambaredjo gebied waar het indicaties heeft op de aanwezigheid van aardolie), blijkt continu te zijn in de 3 boorgaten van Tambaredjo (TA-2, TA-3 en TA-4) en het blijkt uit de gegevens van de logs dat ze goede reservoir eigenschappen bezitten. De meest prospectieve zanden zouden de Onverdacht zanden en de "P" zanden kunnen zijn, vanwege hun continuïteit en hun goede reservoir eigenschappen. Exploratie van olie in de "A" zandenformatie heeft in het kustgebied geen succes opgeleverd. Aangezien het een goede Aquifer is, is de olie waarschijnlijk weggespoeld, alhoewel de verspreiding van de zanden het tot een goed reservoir zou kunnen maken.

### AARDOLIE

De exploratie naar aardolie in Suriname, die in 1929 begon, kwam eerst goed op gang omstreeks 1965. De Colmar concessie van 1957, aangevuld begin 1965, omvatte de kustvlakte en het noordelijk aangrenzend zeegebied. De eind 1965 teruggegeven landconcessie werd aan Shell gegund van 1968 tot 1970, maar er werden door deze maatschappij geen economisch interessante indicaties gevonden. De zee concessie is momenteel in handen van Elf en Shell, waarbij Elf de exploratie uitvoert.

### ECONOMISCHE GEOLOGIE

De totale investering in aardolie-exploratie tot 1974 inclusief onderzoek door de overheid bedraagt rond Sf. 40 miljoen.

In 1929 werd in de kustvlakte voor het eerst naar aardolie geboord en daarna door Esso in 1942. Vanaf 1963 toen boringen in het zee areaal aanvingen, verrichtten Colmar, Elf en Shell in totaal 28 boringen op het land en 5 op zee. In de periode 1965-1967 boorde de Geologische Mijnbouwkundige Dienst 12 gaten in de kustvlakte, waarbij olie-indicaties werden gevonden nabij de kust tussen de Coppename en de Suriname. De tot 1974 in totaal geboorde diepte bedraagt ongeveer 35 km.

Seismische onderzoeken in verband met de opsporing van aardolie zijn door particuliere maatschappijen uitgevoerd in land- en zee-areaal vanaf resp. 1939 en 1960, maar het meeste seismische werk werd sinds 1965 door Elf op zee uitgevoerd. In 1973 werd het gehele zuidelijk zee-areaal, tot ongeveer de 8ste breedtegraad, seismisch verkend. Praktisch alle boringen in de kustvlakte bereikten de Precambrische ondergrond, op diepten tot ongeveer 1500m

in de buurt van Nieuw Nickerie, terwijl de over het algemeen diepere boringen op zee in de sedimentaire bedekking eindigden.) De sedimenten van het kustbekken liggen in de kustvlakte en een groot deel van het continentale plat vrijwel horizontaal een zeer geringe helling in noordelijke, zeewaartse richting. In het landgebied zijn hiaten in de sedimentatie vastgesteld aan de bovenzijde van de Precambrische ondergrond en op verschillende nivo's in de jonge sedimentaire *bedekking* zoals het Oligocene bauxiethiaat. (Op het continentale plat heeft minstens vanaf het Albien, een in hoofdzaak ononderbroken sedimentatie plaatsgehad.)

Vanaf de in het zuidelijk kustgebied aan de oppervlakte tredende Precambrische ondergrond neemt het sedimentpakket in dikte toe tot meer dan 4500m aan de rand van het continentale plat, ongeveer 150 km uit de kust. In de hier geplaatste boring van Galibi diepte 4663m, hebben het Quartair en Tertiair en het krijt vanaf het Albien dikten van resp. 2640 en 1930 m. Het sedimentpakket in de kustvlakte omvat maximaal Albien tot Holoceen, waarbij de dikte van het Krijt tenhoogste 800-900m bedraagt bij een totale sedimentdikte van meer dan 1500 m. In 1965 werden door de Geologisch Mijnbouwkundige Dienst olie-indicaties aangetroffen in een waterboring bij Calcutta. Kort daarna werd ook olie aangetoond bij Tambaredjo en Weg naar Zee. De in de verschillende boringen aangetroffen aardolie is van hetzelfde type en heeft een soortelijk gewicht van 13"-15" API. De olie is waarschijnlijk op geringe diepte ontstaan en migreerde zowel horizontaal als verticaal over betrekkelijk korte afstanden. De af-

wezigheid van lichtere bestanddelen wijst op diffusie, die werd mogelijk gemaakt door de geringe dikte van de bovenliggende sedimenten en door grondwaterbewegingen in de zanden. De oliehoudende zanden behoren tot het Paleoceen-Eoceen en het Mioceen en werden aangetroffen op diepten van 180-300 m. In het zee-<sup>lin</sup>areaal werden de boringen van Coronie en Galibi olie-indicaties aangetroffen. /

Uit: De Encyclopedie van Suriname

INLEIDING  
ENERGIE.

## Inleiding.

Nog geen honderd jaar geleden was 94% van de in de industrie gebruikte energie afkomstig van de rug van de mens, tegenwoordig is dat slechts 8%.

In China van vandaag waar 80% meer mensen moeten leven van 1 hectare landbouwgrond dan in India heerst er geen honger, omdat men de mens zodanig heeft kunnen motiveren en organiseren, dat de menselijke energie nu woestijnen in graansilo's heeft getransformeerd.

Het unieke van de mens is ook dat hij gebruik weet te maken van andere mogelijkheden van energie bronnen om het effect van zijn arbeid te vergroten, door b.v. herbivoren te temmen (paard, olifant etc.) of door hout te branden.

Alle energie echter die hierbij vrijkomt, dus de menselijke energie (arbeidsprestaties), energie onttrokken aan herbivoren (domme kracht) en energie van brandend hout, is van een bron afkomstig namelijk, de levende planten en dus de Zon.

Andere bronnen van energie die door de moderne mens gebruikt worden

- zijn:
1. fossiele energie,  
energie van fossiele plantenresten en andere organismen,  
zoals steenkool, gas en aardolie.
  2. waterreservoirs, watervallen.
  3. hoogteverschillen bij eb en vloed.
  4. geothermale energie, geisers.
  5. kernenergie.

De eerste twee bronnen van energie zijn in de loop der tijden van vitaal belang geworden voor de moderne mens. We zullen echter op de eerste plaats zeer zuinig moeten omspringen met onze huidige energie voorraden, aan de andere kant moeten wij naarstig zoeken naar nieuwe bronnen, zoals bijv. solar energie, de windmolen weer in ere herstellen, energie van de golven van de zee, etc.

De energie flowsheet van de aarde is in nevenstaand schema (fig.1) weergegeven.

De verschillende bronnen van energie die ons nu ter beschikking staan hebben ertoe geleid dat de consumptie schrikbarend omhoog is gegaan, vooral in Amerika. In 1900 bedroeg de consumptie  $8 \times 10^{15}$  BTU\* en in 1965 was dat al  $50 \times 10^{15}$  BTU. (fig.2)

\* 1 BTU (Britisch Thermal Unit) is de warmte energie nodig om 1 pound water  $1^{\circ}\text{F}$  in temperatuur te doen stijgen.

1 gramcalorie is de warmte energie nodig om 1 gram water  $1^{\circ}\text{C}$  in temperatuur te doen stijgen.

1 BTU = 252 gram calorien

1 joule = 0,2390 gram calorien  
= 0,000948 BTU

1 watt = 1 joule per seconde.

Rond 1878 was 70% van de gebruikte energie afkomstig van hout, het huidige gebruik is echter dusdanig veranderd dat maar 0,5% van de totale energieverbruik van hout afkomstig is.

De voornaamste energiebron is tegenwoordig fossiele brandstof- steenkool, olie en gas- en in mindere mate waterkracht. Echter zijn deze bronnen van energie (fossiele energie) non-renewable. Vandaar dat na de recente oliecrisis de Amerikanen meer hun heil zoeken in atoom energie (deze is echter ook non-renewable) welke in grote mate aanwezig is. Men probeert steeds meer andere vormen van energie aan te boren en aan te wenden of het gebruik te vergroten van zonne energie en geothermale energie (IJsland). Deze vormen van energie missen echter nog de flexibiliteit en de overbrenging die fossiele energie en atoom energie bezitten, en ze zijn waarschijnlijk van lokale betekenis.

### Fossiele brandstoffen.

Planten resten zijn op verschillende wijze in verscheidene vormen bewaard gebleven, maar slechts drie vormen zijn van belang als energie bron; steenkool, aardolie en aardgas, 95% van alle opgewekte energie in de U.S.A. is hiervan afkomstig. In andere landen is dit percentage veel hoger. (fig. 3)

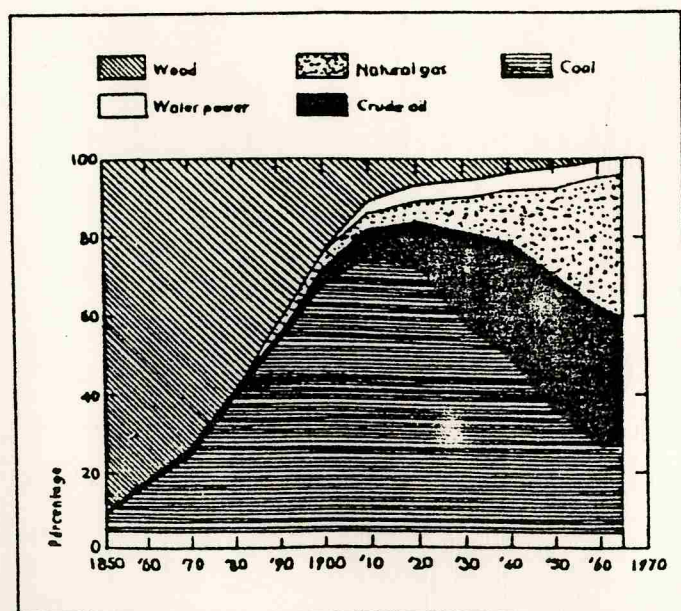


Figure 3 Percentage production of energy from different fuels and water power in the United States. Nuclear power production is still too small to show on this plot. (After U.S. Bureau of Mines and S.H. Schurr, B.C.Netschert 1960).

De hoeveelheid zonne energie die tijdelijk in planten opgespaard ligt en door fotosynthese verkregen is, is zeer groot. Echter gaat praktisch alle op deze wijze verkregen energie verloren door middel van



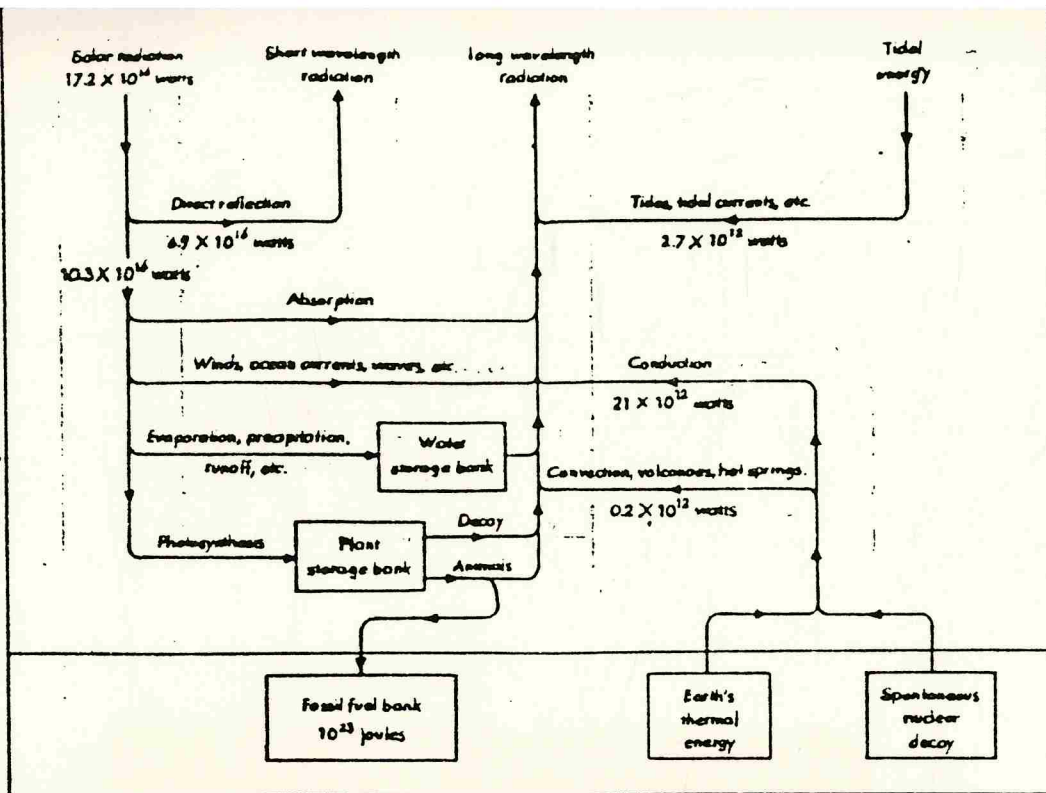


Figure 1 An energy flow sheet for the Earth. The unit of energy used is the joule. Where the energy flux is continuous, such as that following in from the Sun, the absolute power unit, the watt, is used to measure the flux. A watt is equal to one joule per second. All the energy temporarily stored in the fossil fuel bank, therefore, is equal only to the energy radiated to the Earth every seven days by the Sun. (After M.K.Hubbert, Energy Resources, Pub.1000-D, Committee on Natural Resources, Nat. Academy of Sciences-Nat. Research Council, Washington D.C. 1962.)

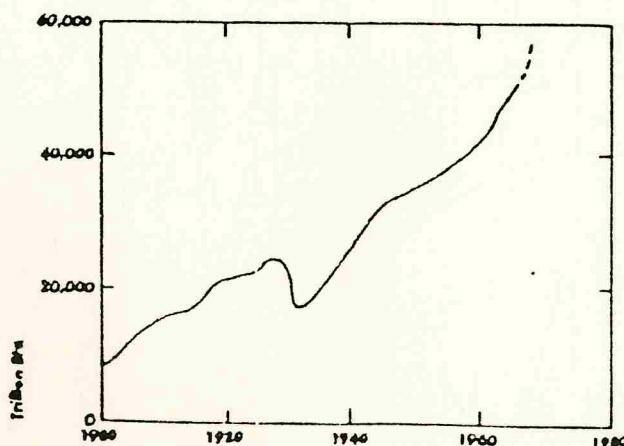


Figure 2 Growth of energy. Production in the United States from mineral fuels and water power. During the 65 year period when power consumption

verval (verrotting) in de oxiderende <sup>at</sup>atmosfeer, de energie komt terug in de ruimte en is dan verloren, Slechts op enkele plaatsen, zoals zwampen, moerassen, of andere ondiepe meren en uitgestrekte riviervlakte's, waar het plantenmateriaal gepreserveerd wordt in een reducerend milieu gaat deze energie niet verloren. Het reducerend milieu vertraagt het verrottingsproces hetgeen leidt tot opslag van een kleine hoeveelheid op deze wijze verzamelde energie gedurende een cyclus is zeer gering, echter is de accumulatie van plantentresten gedurende de laatste 600 miljoen jaren aanzienlijk geweest.

Aardolie en steenkool zijn dus niet anders dan met de jaren (miljoenen) opgehoopte zonne energie in de vorm van koolwaterstofverbindingen.

### Steenkool.

Steenkool wordt gevormd uit de overblijfselen van zoetwater plantenresten, het is dus duidelijk dat het milieu waarin dit geschied een dicht bebost zwamp (moeras) of meer is. In het stilstaand water vallen dorre takken, stammen, bladeren en sporen, die na verzadigd te zijn met water naar de bodem zinken. Alles wat boven water blijft zal vergaan en overgaan tot  $CO_2$  en  $H_2O$ .

Eenmaal onder water zijn ze buiten de invloed van de atmosfeer, de beschikbare zuurstof in het water is overal verbruikt en vindt dus geen verder verval (verrotting) meer plaats zoals boven water, en daar de anaerobe bacteriologische omzetting zeer traag verloopt kan het restant hout geaccumuleerd worden tot een amorfe massa veen. Slechts (schatting) 0,01% van alle plantaardig materiaal blijft op deze wijze bewaard. Vooral die bestanddelen die slechts langzaam omgezet worden als lignine (houtstof), cuticula's, huidjes van sporen, harsen en was blijven op deze wijze bewaard.

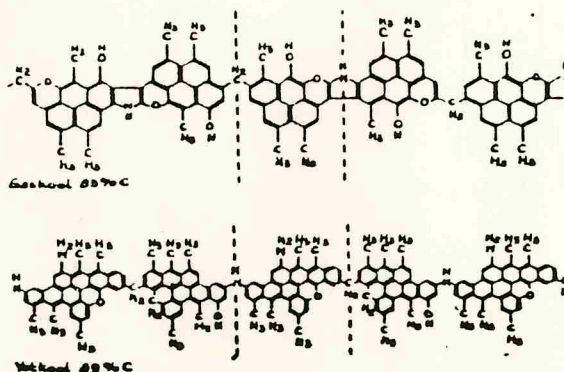
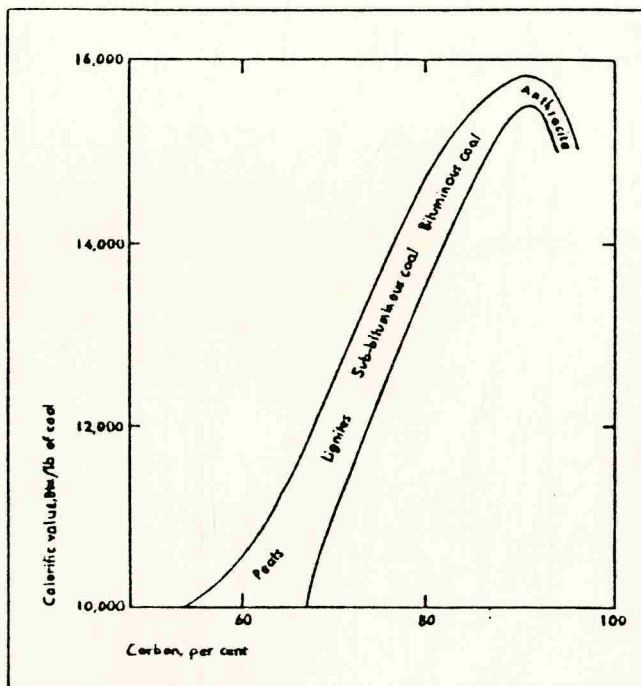
Dikke accumulatie kan echter alleen plaats vinden als een zwampbasin langzaam daalt, en een rijke afzetting zal slechts gevormd worden als er weinig klei of andere anorganisch detritisch materiaal wordt neergezet.

Tegenwoordig zijn er slechts weinig geschikte plekken voor steenkool accumulatie zoals b.v. in Virginia en North Carolina.

Gedurende de geologische historie hebben zich echter op verscheidenen plaatsen gedurende vele tijdperken vele steenkool afzettingen plaatsgehad. De eerste bekende steenkoolafzettingen dateren van het Boven-Siluur. Maar eerst in het Boven-Devon werden afzettingen van enig belang afgezet, en in het Carboon en het Perm werden de belangrijkste en grootste steenkool reserves van de gehele geologische historie afgezet. Op alle continenten werd toen steenkool afgezet

afgezet. *(beginnen de eerste stap tot steenkool vorming, het heeft relatief een laag koolstof gehalte en dus een laag calorisch gehalte en produceert weinig hitte. Tijdens het proces dat hierop volgt, diagenese en compactie (inklinking, inkoling, het veen is onder een dik sediment pakket komen te liggen) vinden een aantal reacties plaats waarbij water, zuurstof, stikstof (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub>) en andere planten elementen verwijderd worden, hierbij een dichte zeer compacte koolstof rijke steenkool achterlatend. (fig. 4 en 5)*

Figure 4 Increase calorific value of coal with increasing rank.



Figuur 5 Structuurformules van gaskool met 83% C (boven) en vetkool met 89% C (onder). Bij voortgaande inkoling worden de moleculen water door polymerisatie. (Naar Van

Oudere steenkool afzettingen hebben dus een hoger koolstof gehalte dan jongere.

Natuurlijk liggen de bituminieuze steenkool en anthraciet zeer goed op de brandstof markt. Na een depressie begint de steenkool mijnbouw zich weer te herstellen, dankzij de OPEC (1974) en Iran (1979). Steenkool blijft echter een weinig mobiele brandstof, niet bruikbaar voor auto, buitenboordmotor, petroleumstel etc.

Steenkool afzettingen zijn gebonden aan sediment basins en wel zoetwater sediment afzettingen. De meeste steenkool reserves zijn volgens de geologen reeds ontdekt vandaar dat de U.S. Geological Survey die winbare steenkool reserve op  $8,415 \times 10^9$  ton ~~geschat~~ geschat. Tot winbare afzettingen worden gerekend een laag van 30 cm dik en niet dieper dan 1800 meter. Ook wordt aangenomen dat met de meest efficiënte mijnmethode er slechts 50% uitgehaald wordt (recovery van 50%). Met deze restrikties rekening houdend komt op bovengenoemd reserves, hetgeen desondanks een enorme hoeveelheid is.

De grootste afzettingen komen voor in Noord Amerika, Europa en Azie. (fig. 6 en 7)

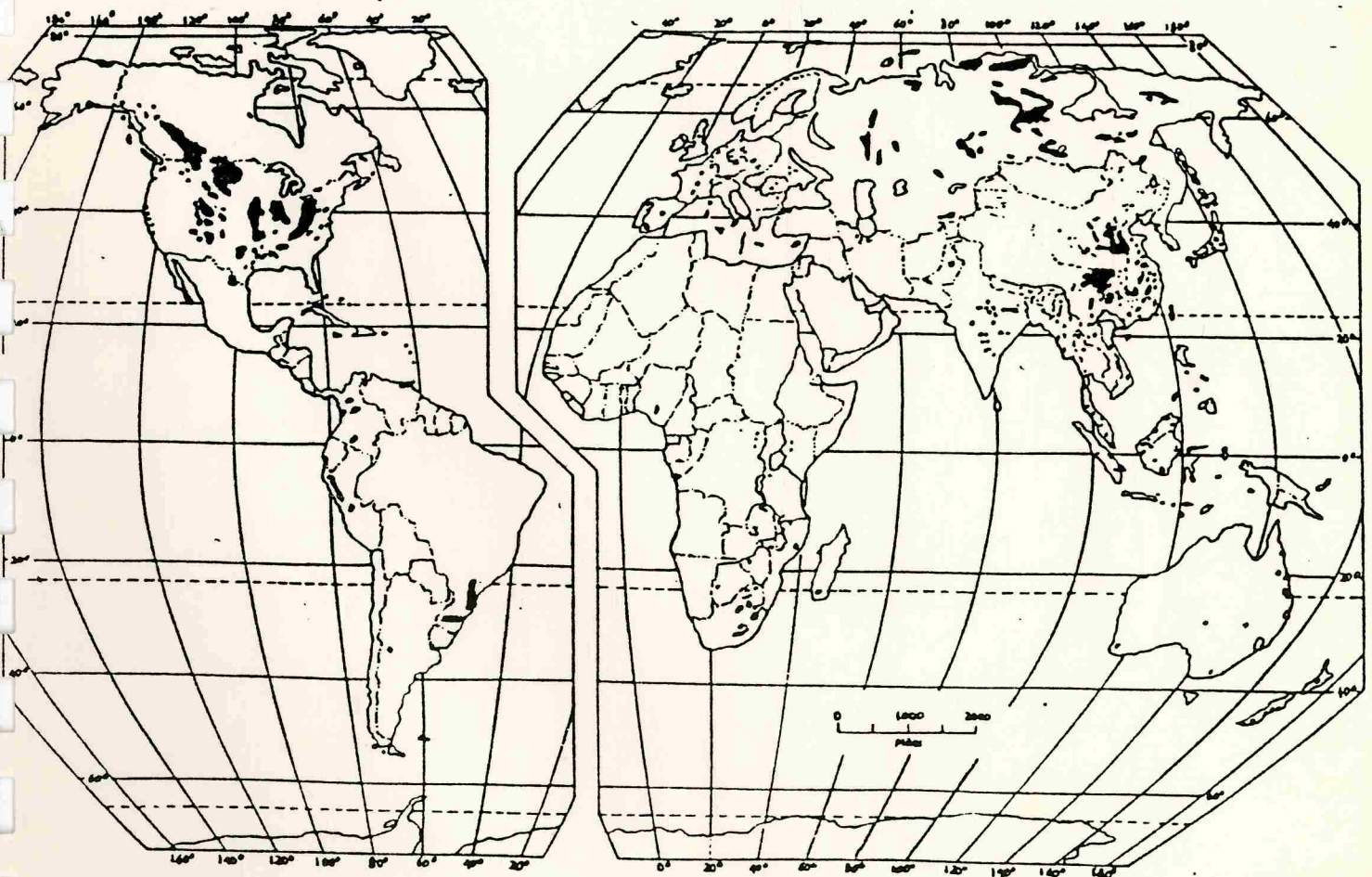


Figure 6 Occurrence of coal measures around the world has a very erratic distribution, with most known reserves occurring in North America, Europe, and Asia. (After Oxford Economic Atlas of the World.)

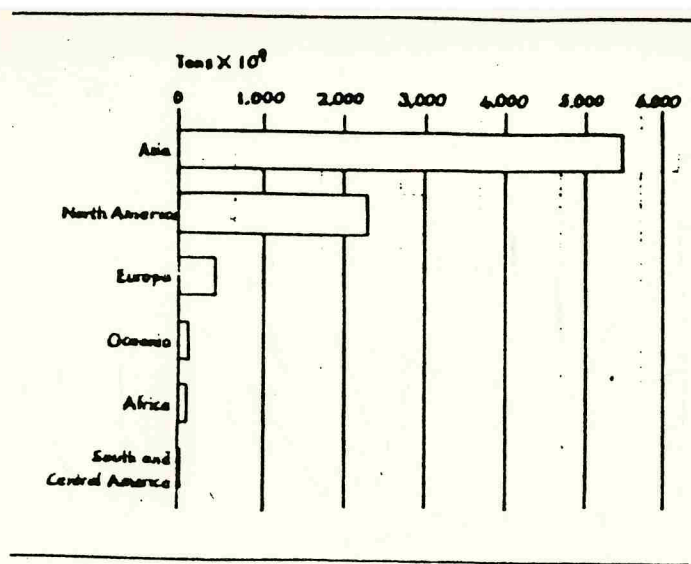


Figure 7 Geographic distribution of recoverable coal reserves. (After P. Averitt, 1969)

De Chinezen maakten reeds 2000 jaar geleden gebruik van steenkool. En de Hopi Indianen van de Jeddith Vallei in Arizona hadden tussen de 13e en 17e eeuw 100.000 ton steenkool gemijnd en verbruikt. Echter kreeg steenkool pas een wereldwijde verbruik, nadat inwoners van de noord-oost kust van Engeland rond 1200 vlambaar zwart gesteente dat van de verweerde kust afbrokkelde als stookmateriaal begonnen te gebruiken in plaats van het steeds schaarser wordende bosmateriaal. Het gebruik werd groter totdat in 1273 Londenaren begonnen te klagen over 'milieuvervuiling', desondanks begon het gebruik steeds te groeien door geheel Europa.

In sommige olie rijke landen is het gebruik van steenkool sterk gedaald, maar in andere landen is steenkool toch noch hoofdenergie bron. (fig. 8)

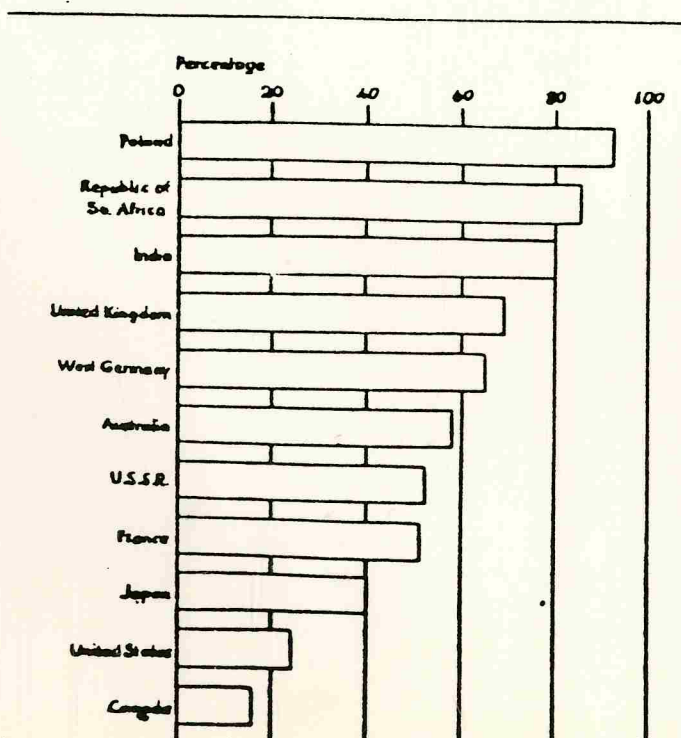
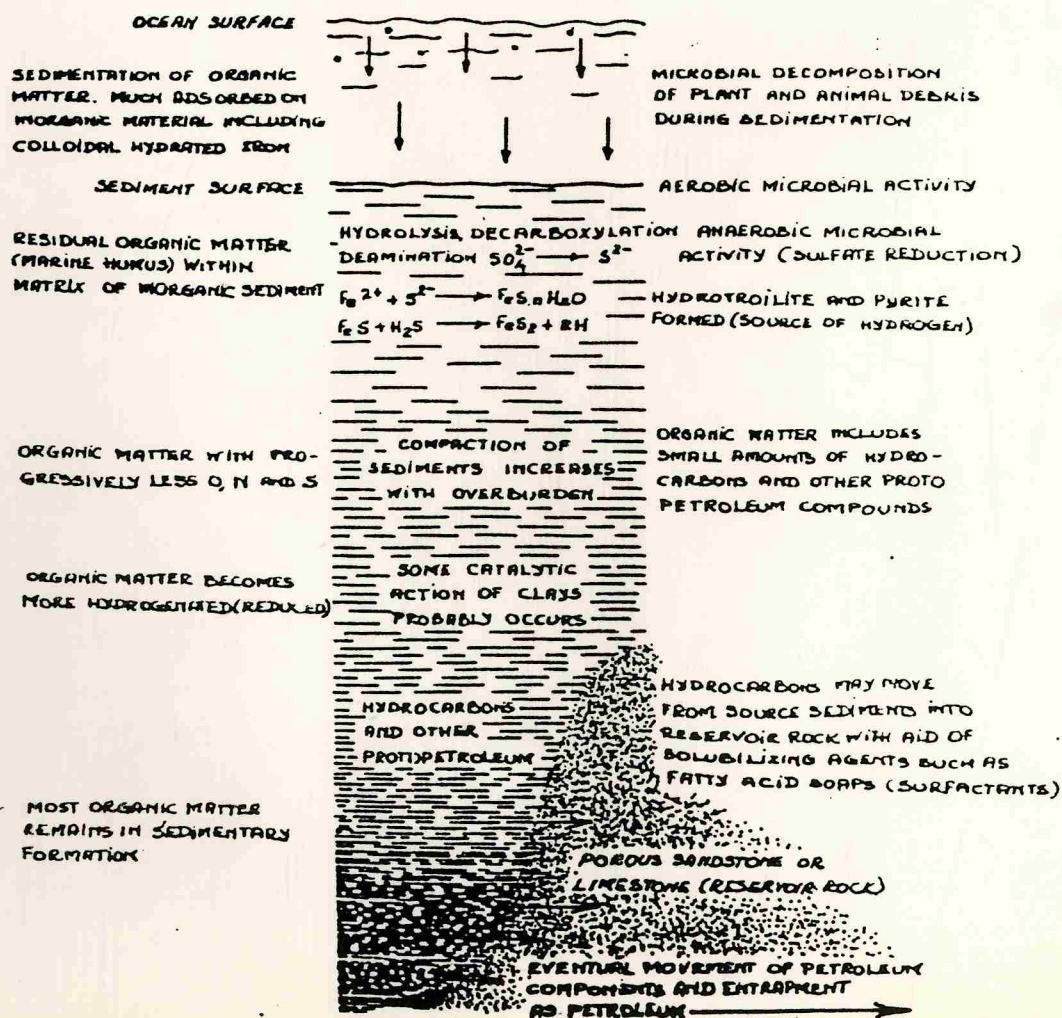


Figure 8 Percentage of total energy supplied by coal in selected countries, 1964 (After H. Perry 1967)

## Aardolie en Gas.

Aardolie (ruwe olie of petroleum) is een vloeistof, die vanuit het gesteente waarin het gevormd is (moedergesteente) grotendeels is geëmigreerd naar een ander gesteente waar de olie zich nu bevindt in de porien tussen de korrels (het reservoir gesteente) maar waarin het niet is ontstaan.

Aardolie en gas zijn de vloeibare en gasvormige componenten van petroleum, ze hebben min of meer dezelfde samenstelling en hebben ook dezelfde oorsprong waarover nog niet het laatste woord gesproken is. Het is namelijk zeer zeldzaam petroleum terug te vinden op de plaats van oorsprong, het is veelal naar elders geëmigreerd en is dus het oorspronkelijk milieu en hiermede het ontstaansmateriaal, of tenminste de voorlopers niet terug te traceren. Door de snelle opkomst echter van de organische geochemie, de microbiologie en nieuwe analytische apparaten en methoden is men dichterbij de oplossing, alhoewel er nog heel wat mysteries zijn. Onderstaand diagram (fig. 9) geeft een opeenvolging van gebeurtenissen die een rol spelen bij de omzetting van organisch materiaal in petroleum.



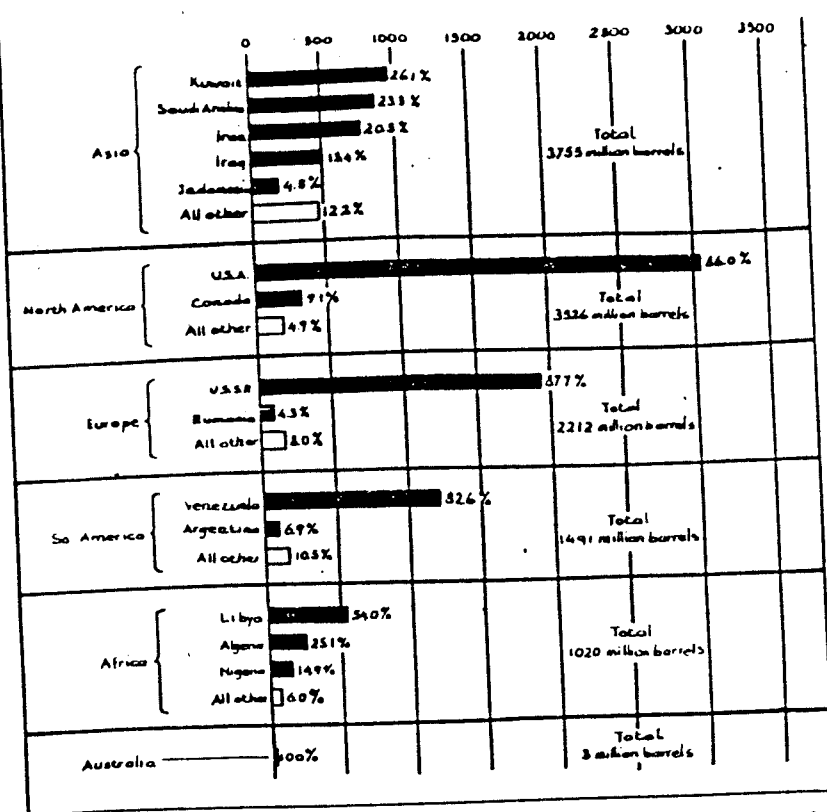
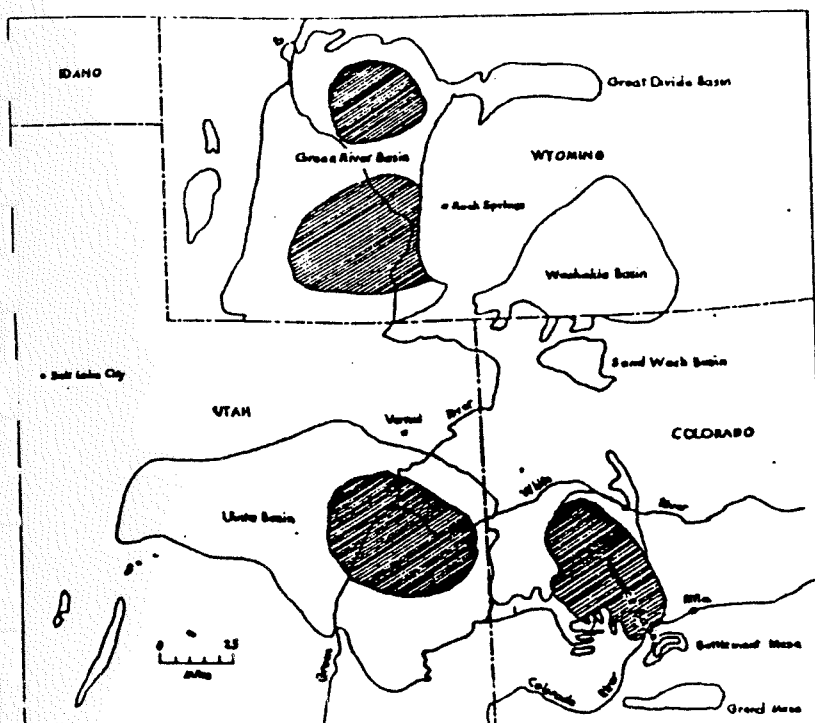


Figure 13 World distribution of the  $12,890 \times 10^6$  barrels of petroleum produced in 1966. (After U.S. Bureau of Mines.)

Figure 15 Organic-rich shales were laid down in ancient freshwater lakes during the Eocene Epoch in parts of Colorado, Wyoming, and Utah. Little of these valuable sediments has been removed by later erosion.

Although the whole area shown is underlain by only shale, only the darkly shaded areas are underlain by shales that are more than 10 feet thick and that are capable of yielding 0.5 barrels or more oil per ton of shale. (After U.S. Department of Interior, 1968)



Aardolie en aardgas bestaan hoofdzakelijk uit koolwaterstoffen en worden als steenkool gevonden in sedimentaire basins (fig. 10)



Figure 10 Distribution of the sedimentary basins of the world and the petroleum accumulations that have been located in them. The continental shelf areas—these covered portion of the continental crust—are potential sites of future petroleum discoveries, particularly where they contain seaward projections of the sedimentary basins. (After International Petroleum Encyclopedia, 1968)

Petroleum wordt veelvuldiger gevonden in mariene basins dan in zoetwater basins en prevaleert natuurlijk in basins met hoog percentage organisch rijk sediment.

Bijna alle sedimenten hebben echter wat organische resten en een grote varieteit aan koolwaterstoffen en zelfs druppels ruwe olie zijn geassocieerd gevonden met min of meer onveranderd plantenresten. Het is daarom vrijwel zeker dat wijd verspreide sedimentaire organisch materiaal van microscopische planten en dierlijke oorsprong, de bron is van petroleum. En verder is het wel duidelijk dat petroleum vorming direkt begint na afzetting van organisch materiaal.

Afzetting van organisch materiaal kan echter alleen als het zuurstof gehalte beperkt is tot de bovenste lagen <sup>van</sup> ~~em~~ het zeewater waar zich dan benthonische evertbraten en bacterien huizen die het organisch materiaal grotensdeel verteren, het restant gedeel-  
te <sup>lijk</sup> verteerd of afgebroken organisch materiaal bezinkt aldus in



een zuurstof vrije omgeving. Hier beneden vindt nog gedeeltelijk afbraak plaats door anaerobe bacterien in het bijzonder zwavelbacterien.

Hierna vindt transformatie (of metamorfose) plaats van de in sedimenten aanwezige organische stoffen in verschillende in aardolie voorkomende koolwaterstoffen.

De eerste petroleum die gevormd wordt is natuurlijk 'zware olie' (met zware molecuulgewichten). Met de loop der tijden als de olie steeds onder een dikker pakket sediment komt te liggen en als de temperatuur stijgt worden de moleculen in lichtere en mobieleren ~~toestand~~ (thermodynamisch verval) en zodoende wordt de 'zware olie' steeds 'lichter'.

De bulk chemische samenstelling van aardolie varieert niet veel, zie onderstaand tabel,

Chemical Composition of Typical Petroleum.

Element	Crude Oil	Natural Gas
Carbon	82.2-87.1%	65-80%
Hydrogen	11.7-14.7	1-25
Sulfur	0.1- 5.5	trace-0.2
Nitrogen	0.1- 1.5	1-15
Oxygen	0.1- 4.5	-

maar toch verschilt de aardolie van plaats tot plaats door de grote diversifikatie van de individuele componenten.

Olie, gas en water in sedimenten hebben de neiging naar de oppervlakte te migreren, hoe lichter de olie hoe sneller de migratie richting oppervlakte, tenzij het onderweg opgevangen wordt in zogenaamde oil traps (fig. 11), waar accumulatie plaats vindt.

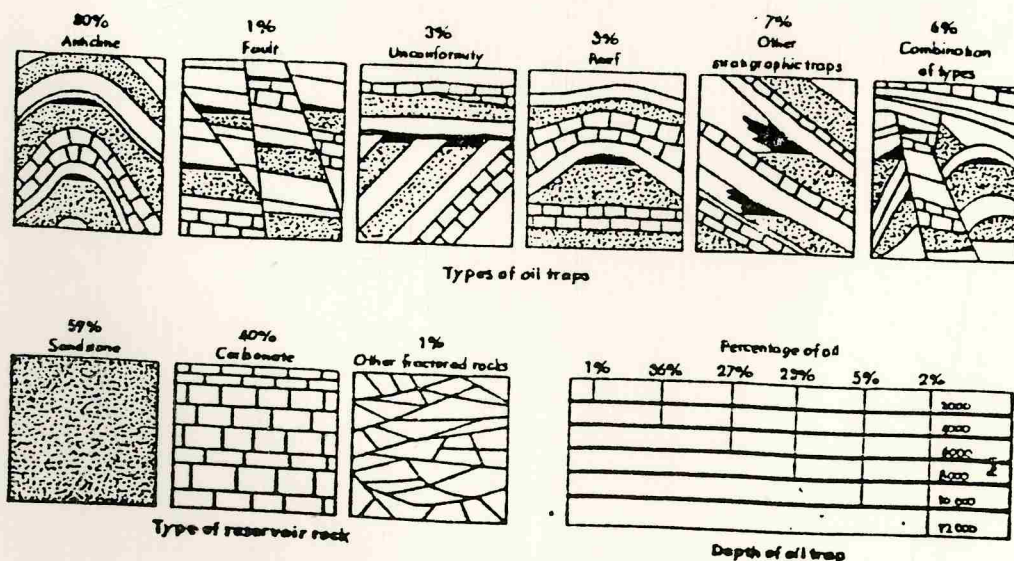


Figure 11 Types of oil traps and reservoir rocks, and the depth of known oil pools, together with the percentage of the world's oil production from each. (From *Man's Physical World* by J. S. Van Riper. Copyright

de oliemaatschappijen wel min of meer de reserve kennen van huidige produktie putten en van putten die op korte termijn geëxploiteerd zullen worden.

Olie en gasvelden zijn t.o.v. steenkoolvelden relatief veel kleiner, de kosten om een dergelijk veld te vinden is dan ook veel hoger.

Een ander manier om toch tot een redelijke wereldschatting te komen is de bestaande olievoorkomens of reeds uitgeputte voorkomens te relateren aan het sediment voorkomen over de wereld, aangenomen natuurlijk dat de potentie van de niet geëxploreerde voorkomens even goed zijn als in de bekende intensief geëxploreerde gebieden, dan zouden we tot een olie reserve kunnen komen van  $1500-3500 \times 10^9$  barrels. Terwijl de tot nu toe opgegeven olie- en gasreserve door Oil en Gas Journal van 1967  $600 \times 10^9$  barrels bedraagt voor measured, indicated en inferred reserves.

Dat geëstimeerde olie reserves zoals opgegeven door verschillende autoriteiten sterk van elkaar kunnen verschillen ligt in het feit dat het percentage recovery niet door iedereen op 35% wordt gehouden, zoals tegenwoordig geldt voor de meest efficiënte olievelden.

Sommigen zoals M.K.Hubert beweren dat we de grootste piek in olie vondsten reeds achter de rug hebben en dat we naar andere energie bronnen moeten uitkijken, de recente vondsten in Mexico (40.1 miljard barrels proven, 44,6 miljard barrels probable en 200 miljard barrels potential) bewijzen echter het tegendeel. De voorkomens hier blijken veel groter te zijn dan die van tot nog<sup>toe</sup> als grootste olieland bekende Saoedie-Arabie.

### Teerzand.

Komt in grote hoeveelheden voor in Noord-Alberta langs de Athabasca Rivier (fig. 14).

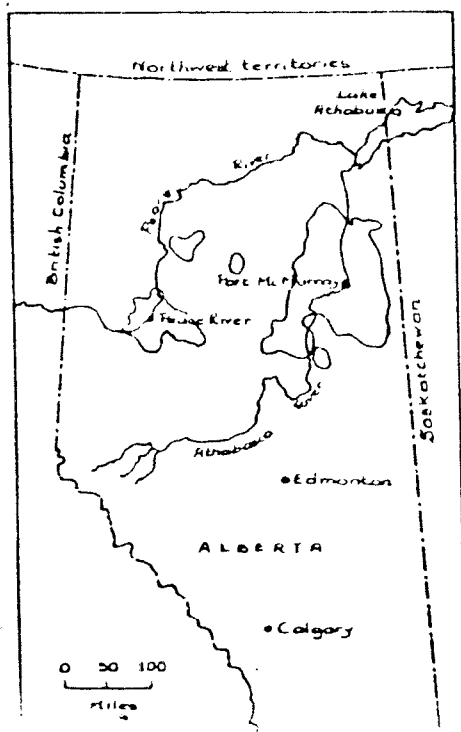


Figure 14 Areas in Alberta, Canada, known to be underlain by tar sands. The first commercial production has begin near Fort McMurray, where 45.000 barrels of oil are produced from 100.000 tons of sand mined each day.

De reserve wordt geschat op een equivalent van  $600 \times 10^9$  barrels olie.

Teer is hetzelfde als aardolie alleen bestaat het uit grote zware moleculen asfalt hydrocarbonaten. Echter is het niet vloeibaar en treedt het op als een kitmiddel voor de zandkorrels. Het gesteente moet dus in zijn geheel gemijnd worden en verhit worden met stoom om het asfalt te laten vloeien. De teer wordt dan later verwerkt tot bruikbare olie.

De reserves van Athabasca beslaan een gebied van  $75.000 \text{ km}^2$  bij een dikte van  $\pm 60 \text{ m}$ . Dit is het grootste voorkomen tot nu toe ontdekt en de enigste dat op het ogenblik gemijnd wordt. Het vermoeden bestaat dat andere evengrote of grotere voorkomens ontdekt zullen worden.

### Olie schalie.

Sommige schalies bezitten zoveel bituminieus organisch materiaal dat grote hoeveelheden petroleum eruit gedistilleerd kunnen worden.

De tot nu toe rijkste afzetting geeft een average van 1 (een) tot 2 (twee) barrels per ton gesteente, terwijl plaatselijk er wel 4 (vier) barrels per ton gemaakt kan worden.

De grootste reserves komen in Noord-Amerika voor en wel in de staten Wyoming Utah en Colorado, waar gedurende het Eoceen tijdperk sedimentatie van organisch rijke kleien plaatsvond in drie grote ondiepe meren.

Reserve van deze afzettingen worden geschat op  $850 \times 10^9$  barrels, bij een produktie van  $1-1\frac{1}{2}$  barrel per ton.

De grootste vondst tot nu toe buiten Noord-Amerika is die van Zuid-Oost Brazilië in de Irati Schalie met  $400 \times 10^9$  barrels aan olie reserve.

Wereld reserves worden geschat op  $200 \times 10^9$  barrels volgens 'Oil and Gas Journal', bij een recovery van 50%.

Onderstaand tabel geeft de stand van zaken weer van de huidige fossiele brandstof reserve.

### Potential Resources of Fossil Fuels and Their Energy.\*

	Barrels x $10^9$	Btu x $10^{15}$
Coal	34,500	197,000
Oil and Gas	2,500	14,250
Oil Shale	1,000	5,700
Tar Sands	at least 600	3,400
1966 Energy Consump.	equiv. to 30	170
1976 Energy Consump.	(estimated) 48	270

\* 1 barrel of crude oil is taken to be approximately equal to 0.22 tons of coal and to generate  $5.7 \times 10^6$  Btu of energy

AARDOLIE EN AARDGAS.

pompt wordt voor een nieuwe rondgang. Twee belangrijke soorten pech komen voor: 'blow-outs' en vastzittende buizen. Blow outs zijn plotselinge uitbarstingen als gevolg van een onverwacht snel oplopende druk. Zij komen gelukkig niet vaak voor, maar voor de zekerheid hebben de boorgaten afsluiters, waarmee het gat in zijn geheel snel afgesloten kan worden. Bij vastzittende buizen is men genoodzaakt een geheel nieuw boorgat te maken.

Als een boorgat eenmaal diep genoeg is, wordt de wand met beton versterkt. Daarna wordt een produktiebuis tot de juiste diepte in het gat gebracht, en met explosieven worden dan gaten in de boorwand geslagen, waardoor de olie in de produktiebuis kan binnendringen.

**Transport en opslag**

Pijpleidingen zijn vaak de meest economische manier om olie of gas van de bron naar de raffinaderij te brengen. De buizen worden vervaardigd van gelast staal en hebben een middellijn tot wel 125 cm. Ter bescherming zit er een asfaltlaag omheen, en worden zij meestal ondergronds gelegd.

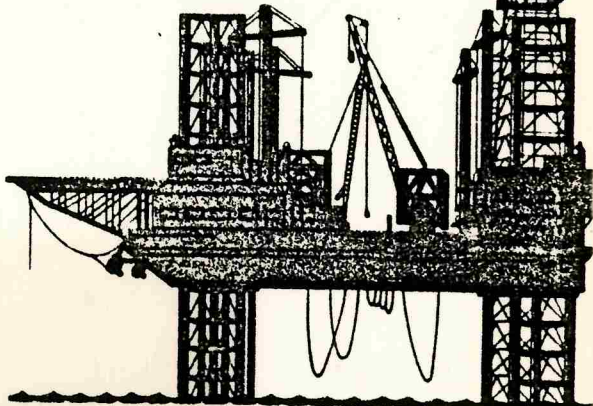
Pompstations houden op regelmatige afstanden de druk op peil. Transport over zee is vaak duurder. Mammoettankers, die de olie uit bij voorbeeld het Midden-Oosten halen, zijn de grootste schepen ter wereld en vervoeren soms meer dan een miljoen barrels olie. Vloeibaar gemaakt gas kan ook zo over zee vervoerd worden. De hiervoor noodzakelijke, duurdere schepen worden LNG (liquefied natural gas) tankers genoemd.

Olie wordt gewoonlijk opgeslagen in tanks met een middellijn tot 40 m en een hoogte tot 9 m. Gas kan als vloeistof worden opgeslagen in gekoelde tanks of in ondergrondse opslagruimten, die gasdicht zijn gemaakt door de grond te bevriezen. Deze ruimten kunnen een middellijn van bijna 40 m hebben; het erin gepompte vloeibare gas zorgt er zelf voor dat de grond bevroren, dus gasdicht blijft.

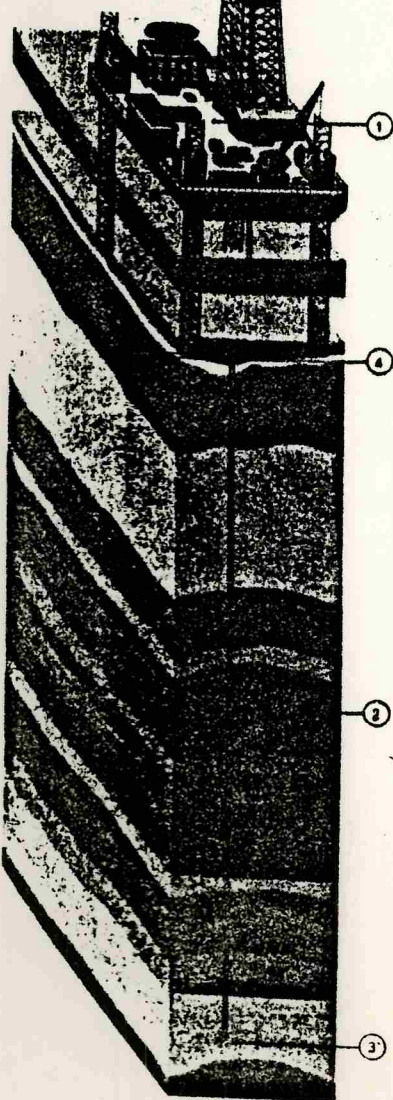
Een ideale manier van opslag is in 'verlaten' ondergrondse reservoirs vlak bij de verbruikers. Ook kolenmijnen kunnen hiervoor gebruikt worden. In België, bij Fontaine l'Evêque, is zo'n gashouder in gebruik met een inhoud van 500 miljoen m<sup>3</sup>.

Aardgas wordt vaak onder de zeebodem gevonden. Het kan direct gebruikt worden als brandstof (zowel voor huisverwarming als voor de industrie) en

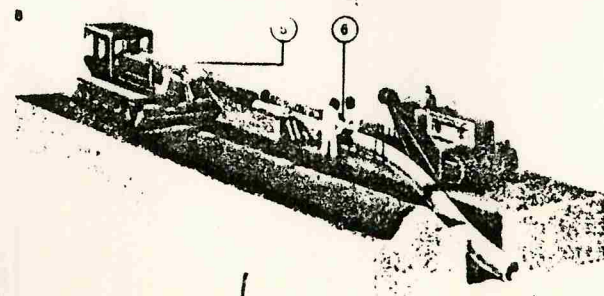
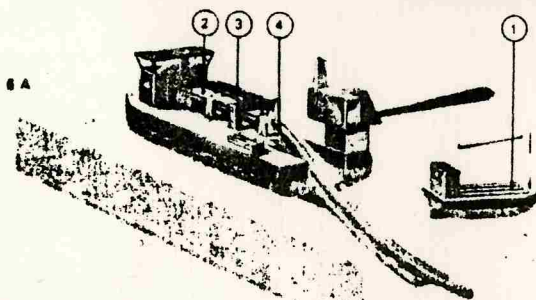
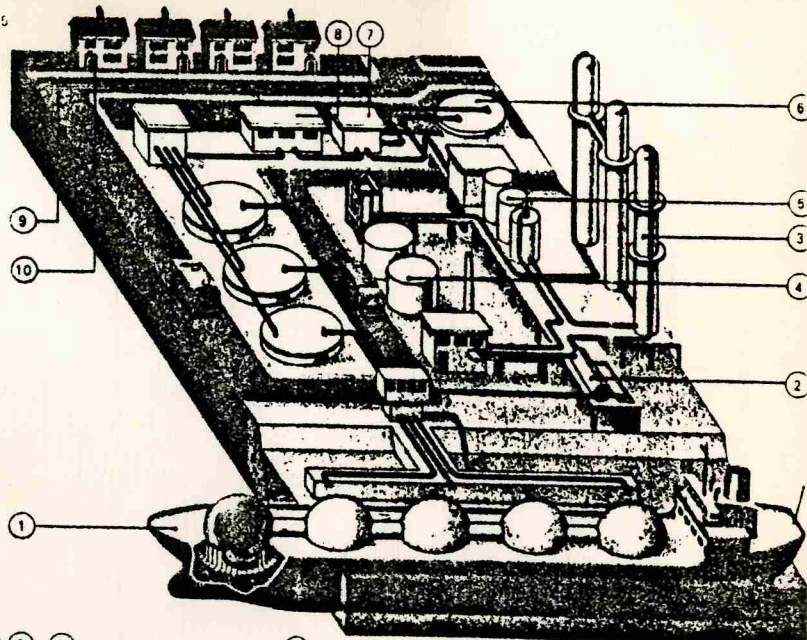
voor de opwekking van elektriciteit. Ook kan het als grondstof dienen voor de petrochemische industrie, waar er talloze producten van worden gemaakt.



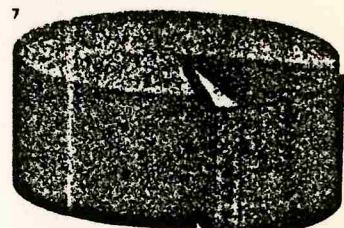
4 Door een boortoren (1) brengt men een groot aantal buizen (2) in het gasreservoir (3). Een pijpleiding (4) geeft een directe verbinding met het vasteland.



5 Gas wordt vervoerd via pijpleidingen of met gastankers (1). Voordat het gebruikt kan worden, moeten diverse chemische verbindingen eruit verwijderd worden. Water en vloeibare koolwaterstoffen worden verwijderd in een expansieruimte (2). De gasvormige koolwaterstoffen worden afgescheiden (3) en zwavelwaterstof wordt verwijderd en na oxydatie (5) als zwavel opgeslagen (4). Daarna worden de resterende vloeistoffen verwijderd en wordt het gas vloeibaar gemaakt en ondergronds opgeslagen (6). Voor gebruik wordt het weer verdampt (7), en door pompen (8) door een buisnet geleid (9) waarna het bij de consument komt (10).



6 Olie- en gasleidingen kunnen zowel onder water (A) als ondergronds (B) gelegd worden. De buizen worden gecontroleerd (6), tegen corrosie behandeld, en in de sleuf gelegd. en ingebed in beton (4). Op het land wordt een sleuf gegraven (5), de buizen worden geleid en gecontroleerd (6), tegen corrosie behandeld, en in de sleuf gelegd.



7 Aardgas heeft een van plaats tot plaats wisselende samenstelling. Methaan maakt gewoonlijk 85 tot 95% van het gas uit. Verder zijn er ook andere koolwaterstoffen aanwezig, wat stikstof, kooldioxyde en soms

helium. Vaak kan dit laatste gas economisch gewonnen worden.

Ruwe olie — vaak petroleum genoemd, dat 'rots olie' betekent — is de grondstof voor een grote verscheidenheid van chemicaliën, zoals plastics, geneesmiddelen, cosmetika, lijnstoffen, polijstmiddelen, verven, explosieven en bestrijdingsmiddelen.

Aardolie is een mengsel van veel verschillende soorten chemische verbindingen, die men koolwaterstoffen noemt omdat zij vnl. uit koolstof en waterstof zijn opgebouwd. Ruwe olie is een kleverige, ontvlambare vloeistof die in kleur van geel via groen, rood of bruin tot zwart kan variëren en die ook fluorescerend kan zijn. De samenstelling wisselt ook sterk van de ene vindplaats tot de andere.

Aardolie wordt in een raffinaderij verwerkt. Allereerst wordt door distillatie een scheiding in verschillende fracties gemaakt. Koolwaterstoffen hebben verschillende kookpunten, waardoor zij gescheiden kunnen worden. Dit gebeurt in zgn. distillatiekolommen. De verschillende fracties kunnen dan verder geraffineerd worden, chemisch omgezet of soms weer met de rechtstreeks gedistilleerde fracties gemengd worden ter verbetering van hun kwaliteit.

De acht hoofdfracties, in volgorde van hun kookpunt, zijn gassen (die uit de top van de kolom ontwijken), benzine, kerosine (petroleum), dieselolie, smeeroilie, stookolie en was (die alle gedistilleerd worden) en een bitumineus residu dat van de bodem van de kolom wordt afgetapt. Voor een goede scheiding van de verschillende fracties passeert de olie een serie distillatiekolommen. De relatieve hoeveelheden en eigenschappen van de producten worden aangepast aan de behoeften van de markt. Naarmate het aantal auto's groeide, steeg de vraag naar benzine; ook nam de vraag naar petroleum toe als brandstof voor straalmotoren in vliegtuigen.

Aardolieproducten kunnen ook 'gekraakt' worden, waarbij grote moleculen worden afgebroken tot kleinere. Op deze manier kunnen zware fracties als dieselolie omgezet worden in lichtere als benzine. Hiertoe worden de zware fracties onder verhoogde druk en in aanwezigheid van katalysatoren tot ca. 500° C verhit. Dit noemt men katalytisch reformeren. Het verkregen mengsel wordt opnieuw gefractioneerd om bijv. de gevormde benzine eruit te distilleren. Naast

benzine ontstaan nl. nog een groot aantal andere produkten.

#### Omzettingsprocessen

Een andere mogelijkheid om meer benzine te krijgen bestaat uit het opbouwen van kleine moleculen tot grotere. Er is ook een aantal processen nodig om de zwavel uit de verschillende brandstoffen te verwijderen. Bij de verbranding komt de zwavel vrij in de vorm van zwaveldioxyde. Dit is een belangrijke component in de luchtverontreiniging. Vooral de zware fracties bevatten veel zwavel (tot wel 4%). Zwavel kan verwijderd worden door het betreffende produkt met waterstof te behandelen. Hierbij ontstaat zwavelwaterstof, dat als gas opgevangen wordt en waaruit de zwavel wordt teruggewonnen.

Oorspronkelijk werden allerlei chemicaliën gemaakt uit de overgebleven raffinagegasen. Dit gebeurt nog steeds, maar een groot deel van de gassen (als etheen en propen) wordt verkregen door kraakprocessen. Buteen wordt eveneens op deze wijze gemaakt. Hieruit wordt butadiën gemaakt, de grondstof voor vele synthetische rubbers

zie ook  
284 Aardolie en aardgas 1  
1642 Aardolie en aardgas 2  
1804 Chemische technieken  
1806 De chemische industrie

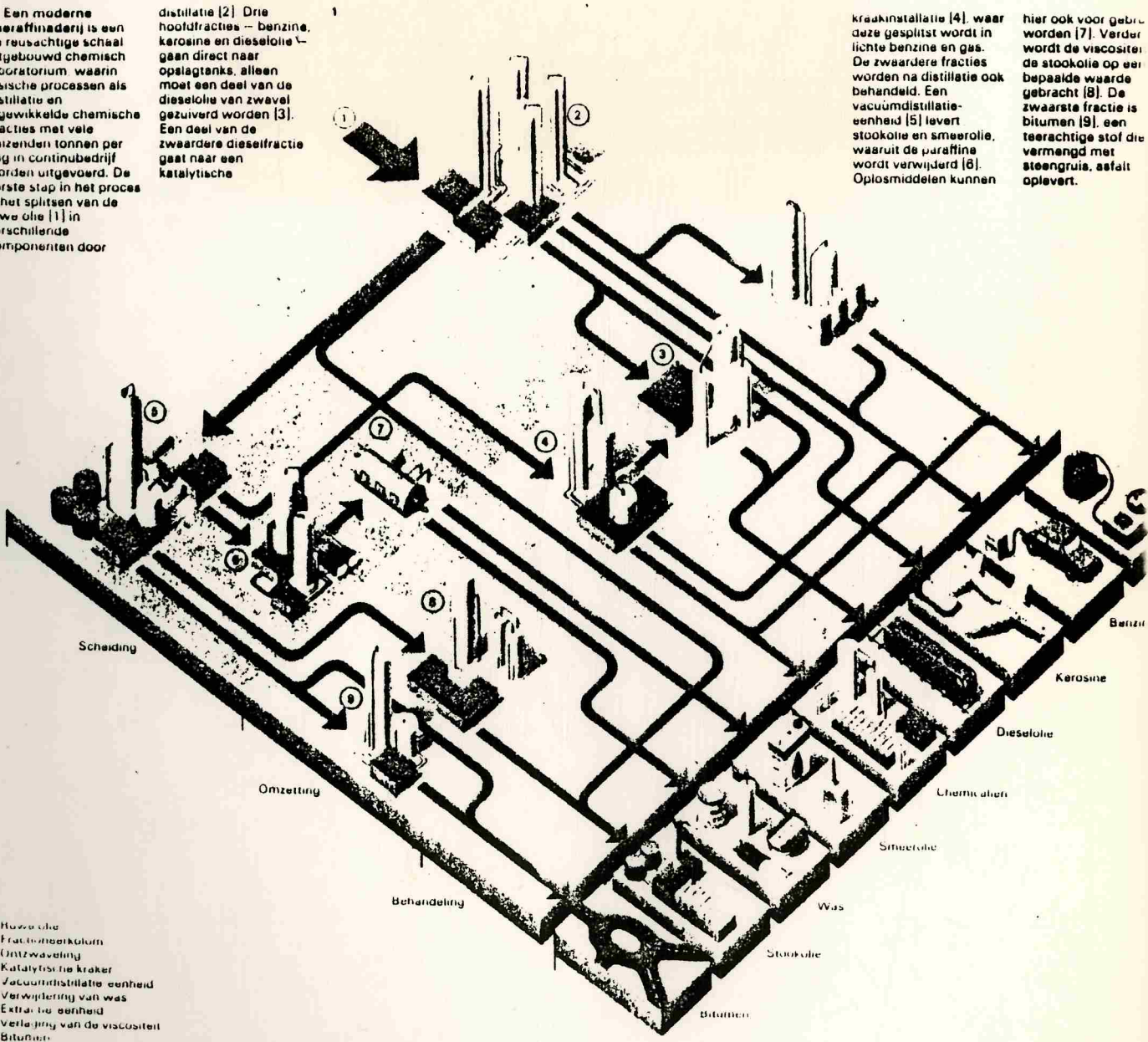
3

1 Een moderne olieraffinaderij is een op reusachtige schaal uitgebouwd chemisch laboratorium waarin fysische processen als distillatie en ingewikkelde chemische reacties met vele duizenden tonnen per dag in continubedrijf worden uitgevoerd. De eerste stap in het proces is het splitsen van de ruwe olie [1] in verschillende componenten door

distillatie [2]. Drie hoofdfracties — benzine, kerosine en dieselolie — gaan direct naar opslagtanks, alleen moet een deel van de dieselolie van zwavel gezuiverd worden [3]. Een deel van de zwaardere diesel fractie gaat naar een katalytische

kraakinstallatie [4], waar deze gesplitst wordt in lichte benzine en gas. De zwaardere fracties worden na distillatie ook behandeld. Een vacuümdestillatie-eenheid [5] levert stookolie en smeeroilie, waaruit de paraffine wordt verwijderd [6]. Oplosmiddelen kunnen

hier ook voor gebruikt worden [7]. Verder wordt de viscositeit van de stookolie op een bepaalde waarde gebracht [8]. De zwaarste fractie is bitumen [9], een teerachtige stof die vermengd met steengruis, asfalt oplevert.



- 1 Ruwe olie
- 2 Fractiezuiveringskolom
- 3 Ontzwaveling
- 4 Katalytische kraaker
- 5 Vacuümdestillatie-eenheid
- 6 Verwijdering van was
- 7 Extractie-eenheid
- 8 Verlaging van de viscositeit
- 9 Bitumen

en oplosmiddelen. In de VS wordt uit aardgas (methaan) etheen en propeen bereid. De hieruit gemaakte producten beschouwt men ook als petrochemicaliën.

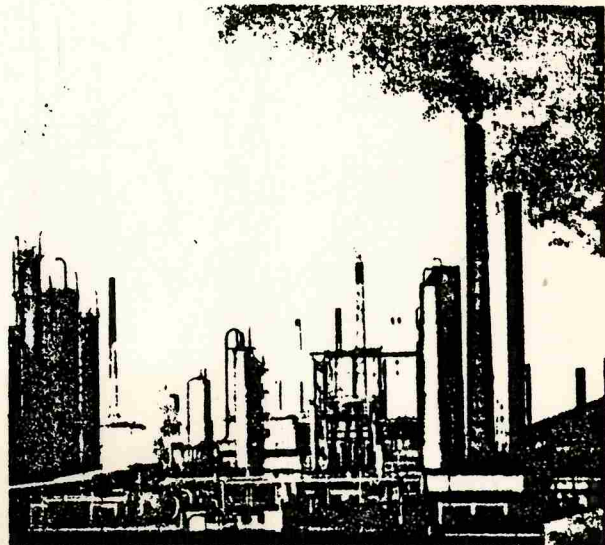
**Aardolie als grondstof**

Etheen en propeen behoren tot de belangrijkste basisproducten van aardolie. Uit deze bouwstenen wordt een groot aantal verschillende plastics gemaakt als polyetheen, polypropreen, PVC (polyvinylchloride), polystyreen, polyester en synthetische rubbers. Polypropreen wordt verder gebruikt bij de bereiding van oplosmiddelen, acrylvezels, polyurethaan, schuimplastics en nylon.

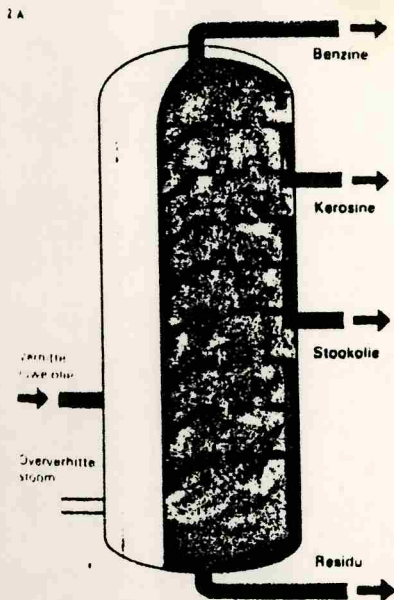
Een andere belangrijke groep producten vormen de aromaten benzeen, toluen en de xylenen. De voornaamste bron daarvoor is de gefractioneerde distillatie, maar een deel ontstaat ook tijdens het kraken van nafta's voor de benzinebereiding. Hierbij ontstaat meer toluen dan nodig is; het teveel wordt omgezet in benzeen. Hieruit worden polystyreen, synthetische rubbers, harsen en reinigingsmiddelen gemaakt. Toluën is ook het uitgangspunt voor het

maken van oplosmiddelen en polyurethaanharsen. Xylenen worden als grondstof gebruikt voor de vervaardiging van polyestervezels en weekmakers. Acetyleen (ethyn), dat zelf een bouwsteen is voor allerlei syntheses, wordt tegenwoordig vaak uit aardolieproducten gemaakt. Kerosine, de eigenlijke petroleum (die vroeger wel paraffine-olie werd genoemd), is een aardolieproduct dat vnl. gebruikt wordt als brandstof voor straalvliegtuigen.

Aardolie vormt de belangrijkste grondstof voor de wereldproductie van plastics, harsen, synthetische rubbers, kunstvezels, oplosmiddelen en ongeveer de helft van de synthetische wasmiddelen. Uit al deze voorbeelden blijkt wel dat aardolie een zeer belangrijke grondstof is voor een groot aantal producten. Iedereen komt dagelijks met deze producten in aanraking. De wereld is niet meer voor te stellen zonder al deze producten. Maar de aardolievoorraden zijn eindig. Een lichtpuntje is, dat slechts een paar procent van de aardolie gebruikt wordt als grondstof, en meer dan 95% als brandstof die te vervangen is door andere energiebronnen.



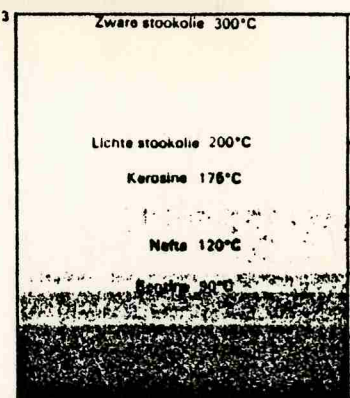
Een olieraffinaderij neemt de ruwe olie vaak rechtstreeks op uit tankers en zet deze om in benzine en andere brandstoffen en grondstoffen voor vele chemicaliën.



2 Een fractioneerkolom (A) is de distillatie-eenheid waarin ruwe olie gescheiden wordt in haar voornaamste componenten. Oververhitte stoom doet de olie koken, de damp stijgt in de kolom omhoog. Daar condenseert de damp, al naar gelang het kookpunt op horizontale schotels en stroomt weg. In elke schotel zit een stijfbuis waaroverheen een borrelkap (B) zit die stoom en oliedamp geleegenhed geeft op te stijgen, en het



condensaat verhindert terug te vloeien. Het vluchtigste bestanddeel is een gas dat in samenstelling met aardgas overeenkomt. De volgende fracties omvatten vloeibare brandstoffen en oplosmiddelen, zoals benzine, kerosine en huisbrandolie. Fracties met nog hogere kookpunten worden gebruikt als dieselolie voor scheepsmotoren, als stookolie en als smeeroilien. De achterblijvende vaste componenten bevatten paraffine en teerachtige stoffen (bitumen).

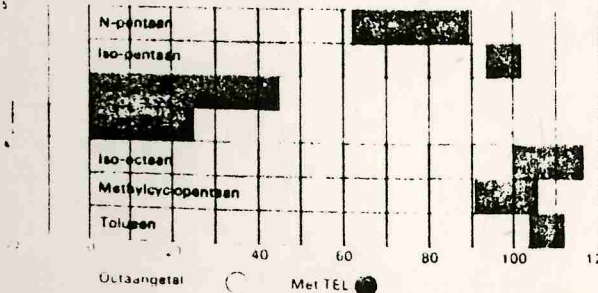
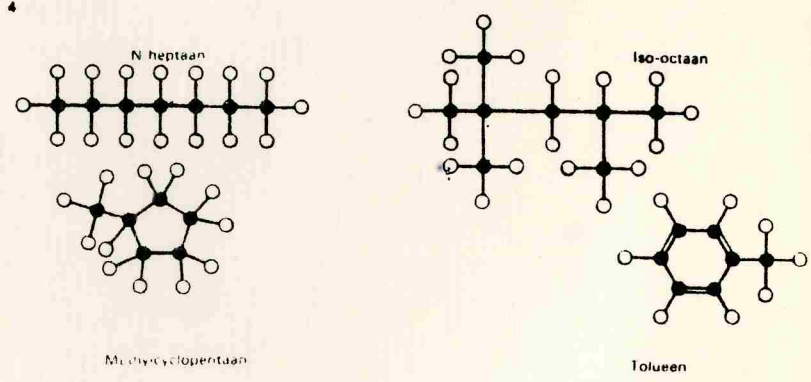


3 Aardolie heeft een wisselende samenstelling, afhankelijk van de vindplaats. Dit schema geeft de samenstelling en de kookpunten van een bepaald soort aardolie. Alle genoemde stoffen zijn koolwaterstoffen - verbindingen van koolstof en waterstof - hoewel er meestal ook andere stoffen als verontreiniging aanwezig zijn. Deze moeten eruit gehaald worden om de luchtverontreiniging bij de verbranding te beperken.

4 De moleculen van de koolwaterstoffen hebben de vorm van een open keten (met een ruggegraat van koolstofatomen, recht of vertakt) of van een gesloten ring die ook rijketens kan hebben. Afmeting en vorm van

de moleculen bepalen eigenschappen als kookpunt en octaangetal. N-heptaan heeft een rechte keten en kookt bij 98,4° C, terwijl iso-octaan, met een vertakte keten, kookt bij 99,3° C; iso-octaan is een goede

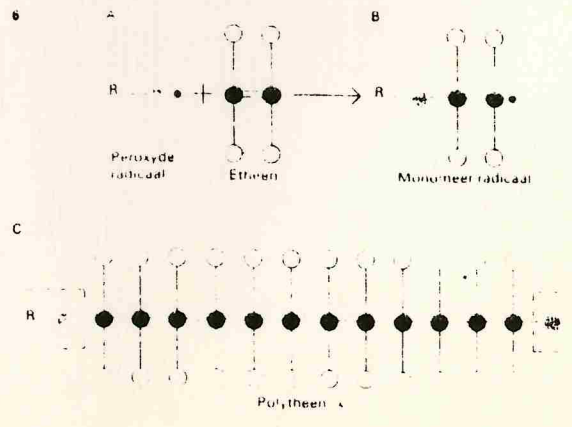
motorbrandstof. n-heptaan echter niet. Methylcyclopentaan heeft een vijfvijf van koolstofatomen met een zijtak; toluen heeft een zesring met een zijtak



5 Het octaangetal van een brandstof is een maatstaf voor de weerstand tegen kloppen of pingelen (spontane verbranding). Koolwater-

stoffen met vertakte ketens of cyclische structuren hebben een hoger octaangetal dan verbindingen met rechte ketens. Zij kunnen alle ver-

beterd worden door toevoeging van de voor het milieu schadelijke organische metaalverbinding tetraethyllood (TEL).



6 Eenvoudige koolwaterstoffen als etheen kunnen ook uit aardolie gemaakt worden. De dubbele binding in etheen (A) kan men laten openspringen en doen reageren met een radicaal (reactieve, ongeladen atoomgroep) R, waardoor een reactieve verbinding ontstaat die weer andere dubbele bindingen kan openbreken (B), zodat een lange keten (een polymeer) ontstaat (C) een plastic. Men kan zure radicalen ook met zuren laten reageren, waarbij ingewikkelde moleculen ontstaan zoals bijv. van wasmiddelen.