

OVERVERHIT

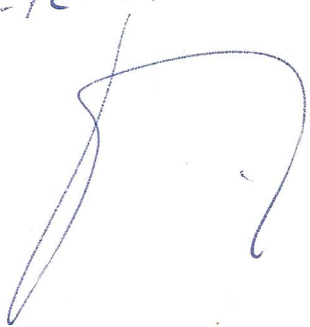
anderhalf miljoen jaar energiebeschaving



OVERVERHIT
anderhalf miljoen jaar energiebeschaving

Myriam De Clopper

8-12-84



SFINKS *vorming*



Gemeentekrediet

Dit boek werd gepubliceerd naar aanleiding van de tentoonstelling
'Oververhit. Anderhalf miljoen jaar energiebeschaving', georganiseerd
door Sfinks-Vorming en het Gemeentekrediet van België.

Woord vooraf

Deze rondreizende, educatieve tentoonstelling ligt volledig in de lijn van de culturele activiteiten van het Gemeentekrediet, dat zich immers niet beperkt tot de opbouw van eigen realisaties, maar ook de verwezenlijking van lokale en regionale initiatieven steunt.

Naast samenwerking met de stedelijke musea is ons cultureel beleid in de provincie er tevens op gericht bij te dragen tot de realisatie van tentoonstellingen in de culturele centra, die essentieel op het grote publiek afgestemd zijn.

Aangemoedigd door het succes van een eerste samenwerking in 1979, hebben wij dan ook zonder aarzelen het voorstel van Sfinks-Vorming aanvaard om borg te staan voor een overzichtstentoonstelling die voor Vlaanderen enig is in haar soort en die gewijd is aan energie als maatschappelijk verschijnsel.

Ik wens vormingscentrum Sfinks en haar medewerkers te danken voor de geleverde inspanningen en hoop van harte dat deze tentoonstelling mag bijdragen tot een grondiger inzicht in zo'n actueel en brandend vraagstuk als energie.

François NARMON,
Directeur-beheerder van het
Gemeentekrediet van België.

de werkgroep: Marie Boseret, Myriam De Clopper, Nille Van Hellemont
de stuurgroep: Jan Ceuleers, Florimond Collijn, Donaat Cosaert, Karel
Haustraete, Albert Himmler, Adriaan Linters
promotie en typewerk: Ghislaine Peeters, Frank Thiels
coördinatie bij Sfinks-Vorming: Frank Thiels
coördinatie bij het Gemeentekrediet: Jacques Deraeve

BOEK

tekst en research: Myriam De Clopper
lay-out en tekeningen: Marie Boseret, Nille Van Hellemont
omslagontwerp: Marie Boseret
technische coördinatie: de dienst publicaties van het Gemeentekrediet o.l.v.
Lieve Viaene-Awouters
druk: Ripa, Kapellen

TENTOONSTELLING

inhoudelijk concept: Myriam De Clopper
vormgeving: Marie Boseret
advies vormgeving: Jean-Jacques Stiefenhofer
assistentie vormgeving: Florimond Collijn, Jan Jansen, Zus Van Gerven

verleenden verder hun medewerking:

Peter Benoy, Jan Beurghs, E. Both, Diane De Clopper, Patricia De
Clopper, Bert De Loore, Jo De Schepper, Guido Everaerts, Jan Lambin,
Leopold Manch, ugo Matthijsen, Jan Michiels, Wim Offeciars, Linda
Peeters, Tinus Schneiders, Guido Totté, Jacques Van Bergeijk, Bert Van
Doorslaer, Ingrid Vanhaevere, Gerd Van Limbergen, Mark Van Ryssen,
Paul Verbraeken

contactadres:

Sfinks-Vorming, Heuvelstraat 31, 2530 Boechout
03/455.87.21.

1.1. Energie uit warmte: de thermodynamica.

Om de problemen van energie te doorgronden, beschikken we over een hulpmiddel, de *thermodynamica* of de leer van de warmtebewegingen. Deze tak van de fysica ontstond bij de ontwikkeling van de stoommachine tegen het einde van de 18e eeuw. De bestudering van de stoommachine zou leiden tot een nieuwe algemene denkwijze waarin mechanische arbeid en warmte in *theorie*, zoals dat dank zij de stoommachine al in de *praktijk* gebeurd was, aan elkaar gelijkgesteld werden onder de gemeenschappelijke noemer *energie of arbeidsvermogen*. De omzetting van energie verloopt volgens bepaalde wetten, de twee wetten van de thermodynamica: de eerste wet of de wet van behoud van energie, de tweede wet of de wet van beschikbaarheid van energie. Wat hierna volgt is een poging de principes, die in de twee wetten vervat liggen, duidelijk te maken. Laten we alvast het belangrijkste principe benadrukken: in welke verschijningsvorm energie zich ook voordoet, alle energie gaat uiteindelijk over in warmte van lage temperatuur, die niet meer om te zetten is in nuttige arbeid. Het is dan ook warmte, en de problemen die ermee gepaard gaan, die de rode draad van dit hoofdstuk vormen.

1.1.1. De prille praktijk: de stoommachine.

Vanaf de vroegste tijden werd warmte geassocieerd met de verplaatsing van lucht en dampen. Het was grotendeels door de ontdekking van de wetten van het gedrag van gassen in de 17e eeuw, de zgn. 'pneumatische revolutie' (omwenteling dank zij het inzicht in het gedrag van gassen) dat de bestudering van warmte uit de sfeer van de filosofie in die van de kwantitatieve wetenschap kwam. Gedurende de hele 17e eeuw fascineerde de idee om 'water met vuur te doen stijgen', de wetenschappelijke wereld. Op het vlak van de industrie leverde de ontginning van steenkool door de snel stijgende vraag steeds meer problemen op. Men moest immers steeds diepere lagen aanspreken, waardoor men diende af te rekenen met het grondwater.

In dit licht is de ontwikkeling van de vroegste stoommachine te verklaren: zij was essentieel bedoeld om het water uit de mijnen te pompen.

Zaak was een praktisch bruikbare pomp te maken, beantwoordend aan de volgende principes: eerst een lege ruimte door opzuigen (= een vacuüm) met water te vullen, daarna de inhoud naar buiten te stoten door de druk die wordt uitgeoefend door de uitzetting van lucht, stoom of gas.

De meeste wetenschapsmensen, die met vacua werkten, misten het technisch vermogen om er één te maken die zou werken.

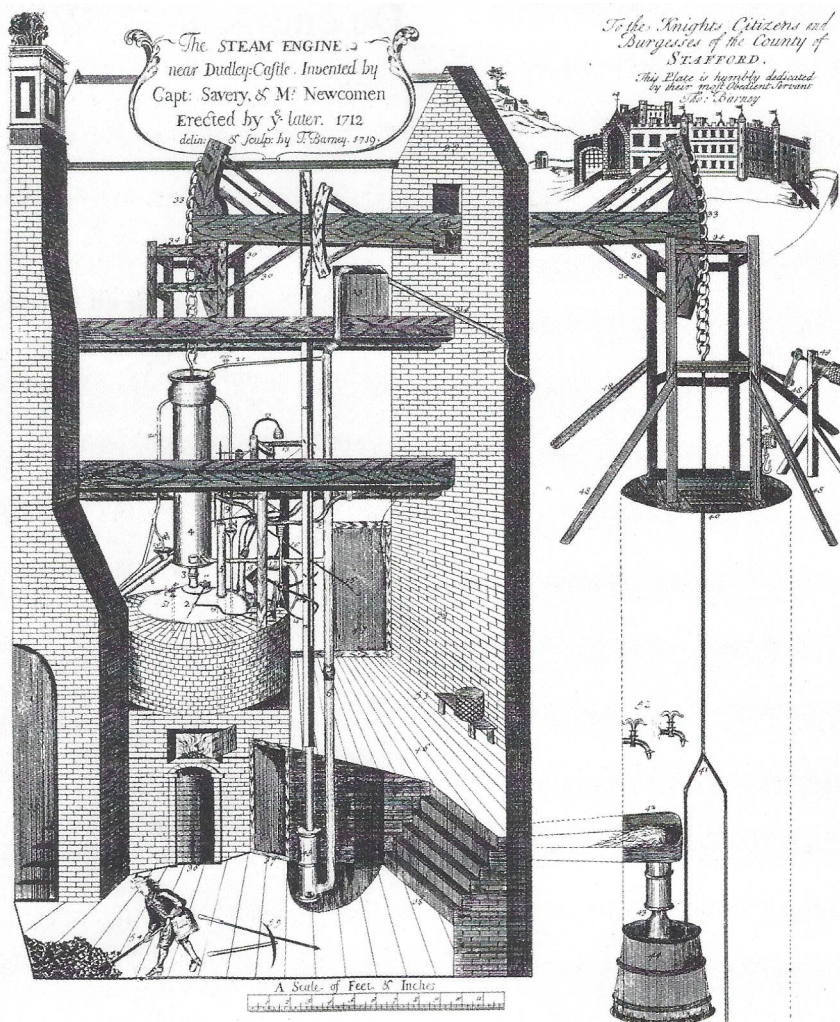
Uitzondering hierop vormde Denis Papin (begin 18e eeuw), die nauwkeurig aangaf hoe zo'n pomp met zuiger in elkaar zou moeten zitten, maar die niet over de nodige gelden beschikte om ze te bouwen.

De man die de bouw van een door vuur aangedreven pomp (ditmaal zonder zuiger) wel kon bekostigen was kapitein Savery van de Royal Engineers.

Zijn stoompomp, speciaal ontworpen om grondwater uit de mijnen te draineren, bestond uit twee vaten, die afwisselend met stoom gevuld werden om het water eruit te persen en weer afgekoeld om water aan te zuigen.

Een nog praktischer machine werd in 1712 vervaardigd door de

Newcomens stoompomp, gebouwd nabij
Dudley Castle, Staffordshire (1712).
Gravure van Thomas Barney (1719).



ijzerwarenhandelaar Thomas Newcomen uit Dartmouth, die een zuiger gebruikte die omlaag geduwd werd door stoom te laten condenseren in een cilinder die direct verbonden was met een lagedrukketel.

In de machine van Newcomen ging een zuiger omhoog in een verticale cilinder. Deze zuiger was met een ketting verbonden aan een balanshefboom. Aan het andere einde van deze hefboom was, eveneens met een ketting, een pomp of een reeks pompen verbonden die dienst deden als tegengewicht.

Onder de cilinder was een verwarmingsketel aangebracht. Het in stoom veranderde water werd in de cilinder gestuwd, terwijl door de druk van de stoom de zuiger een opwaartse beweging maakte. Eigenlijk deed de stoom eerder dienst om de ruimte op te vullen, het was immers stoom met een heel lage druk. Vervolgens koelde een straal water de stoom in de cilinder af, waardoor vanwege de condensatie een vacuüm ontstond. Hierdoor kon de luchtdruk boven de zuiger deze weer naar beneden drukken. Het stijgen en dalen van de zuiger vormde een heen-en-weer-beweging die door de balanshefboom werd doorgegeven aan de pomp. De drijfkracht werd dus uitgeoefend tijdens het dalen van de zuiger onder invloed van de luchtdruk of atmosferische druk. Vandaar dat men ook spreekt van een 'atmosferische machine'.

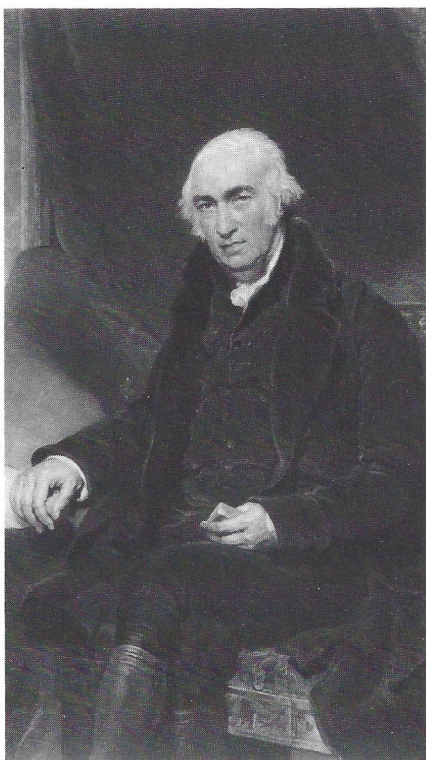
Deze machine hoefde niet, zoals die van Savery, onderin de mijnschacht geplaatst te worden, had minder bediening nodig en was veiliger omdat zij niet van hoge stoomdruk afhankelijk was.

Zij kende dan ook een onmiddellijk succes. Zo begon men reeds vanaf 1720 aan haar constructie in een kolenmijn nabij Luik. Bijna 70 jaar lang werd geen radicale verbetering aan Newcomens machine aangebracht en enkele van deze krachtwerktuigen waren bijna 200 jaar in gebruik.

Toch haalde de atmosferische machine van Newcomen slechts een laag rendement als gevolg van de verkwisting van de gebruikte stoom. Deze stoom diende immers in de eerste plaats om de afgekoelde cilinder te

2

In 1764 moest de Engelse mecanicien James Watt (1736-1819) een stoempomp van het Newcomen-type herstellen. Watt bestudeerde de werking van de stoempomp nauwkeurig met het doel het rendement te verbeteren. Toen hij zijn eigen verbeterde uitgave, de latere stoommachine, aan de mijnheers te koop aanbood, wilden deze weten hoeveel paarden door de aankoop van de machine konden uitgespaard worden. Op dat moment werden de meeste mijnpompen immers nog niet aangedreven door stoom, maar door paarden. Watt berekende dat een paard per seconde 7.500 kilogrammeter arbeid kon verrichten. Laten we dit vermogen één paardekracht (PK) noemen, zei Watt. De eenheid PK werd later vervangen door de eenheid Watt: $1 \text{ PK} = 736 \text{ W}$



verwarmen. In een zelfde ruimte vonden de opeenvolgende fasen van condensatie en opwarming plaats. Ze werkte zo onregelmatig dat ze alleen voor pompen en aanblazen kon dienen en verbruikte enorme hoeveelheden steenkool. De verdere ontwikkeling vereiste een nieuwe injectie uit de wetenschap, met name uit een nieuwe kwantitatieve wetenschap van de warmte.

Joseph Black was degene die de nieuwe visie op warmte introduceerde. Hij constateerde dat verschillende materialen tot verschillende temperaturen verwarmd werden door één zelfde hoeveelheid toegevoerde warmte.

Aldus stelde hij de warmtecapaciteit of soortelijke warmte van verschillende materialen vast. Hij dacht na over het feit dat het tijd kostte vóór sneeuw en ijs gingen smelten, d.w.z. dat sneeuw en ijs warmte opnamen zonder warmer te worden. Hij kwam tot de conclusie dat er daarom in gesmolten water warmte verborgen of *latent* moest zijn.

De eerste praktische toepassing van de ontdekking van de latente warmte was te danken aan James Watt, een jonge werktuigbouwkundige uit Glasgow, die de opdracht kreeg een demonstratiemodel van de machine van Newcomen te repareren. Hij ontdekte dat het probleem veroorzaakt werd doordat bij iedere zuigerstoot stoom verloren ging door condensatie in de koude cilinder. Black bood hem daarvoor de verklaring in de vorm van latente warmte en zo kwam Watt op het idee stoom gescheiden te condenseren, waardoor de cilinder zelf haar hoge temperatuur behield en daarom efficiënter en goedkoper functioneerde. Om de cilinder zo heet mogelijk te houden, werd hij in een mantel van stoom gehuld. Door deze technische verbeteringen werd de atmosferische druk als drijfkracht uitgeschakeld en kon de stoom afwisselend op elk zuigervlak gericht worden. Het gevolg hiervan was dat het rendement gevoelig toenam: Watts machine gebruikte een derde brandstof minder dan die van Newcomen. Toch had ook deze machine nog een beperkt toepassingsgebied: ze kon alleen een heen-en-weerbeweging, van beneden naar boven, leveren. Voor de aandrijving van machines was een omzetting van deze 'alternatiefbeweging' in een draaiende ('rotatiefbeweging') noodzakelijk. Na de uitvinding van de afzonderlijke condensor in 1765, bracht Watt talrijke verbeteringen aan, o.m. de invoering van het vliegwiel en de snelheidsregulator. Zo kwam hij tenslotte tot de constructie van een machine met dubbel effect: elke stoot van de heen-en-weerbeweging werd omgezet in de drijfkracht van de draaiende beweging. Aldus kon de stoommachine in alle omstandigheden gebruikt worden. Pas toen Watt in contact kwam met Matthew Boulton, gefortuneerd en gehaald zakenman uit Birmingham, werd de stoommachine waarop hij een patent verwierf in 1782, een verkoopbare machine. Het was Boulton, die in een brief aan keizerin Catharina van Rusland, het succes van de stoommachine als volgt verklaarde: 'Ik verkoop wat de hele wereld wenst — macht.'

Om te weten hoeveel paarden men door de aankoop van de dubbeleffectmachine kon uitsparen, vergeleek Watt het vermogen van zijn machine met de kracht van paarden. Zo ontstond de eenheid 'paardekracht'.

Deze paardekracht werd eind 1977 officieel afgeschaft ten voordele van de watt ($1 \text{ PK} = 735,49875 \text{ watt}$). De watt is de kracht van een motor die één joule per seconde produceert.

De joule, genoemd naar de Engelse 19e-eeuwse fysicus, is de energie nodig om een voorwerp één meter te verplaatsen tegen een kracht van één newton in. Omdat de aarde met een kracht van ongeveer één newton aan een massa van 100 gram trekt, is de joule ongeveer gelijk aan de energie, nodig om een massa van 100 gram één meter op te tillen.

Eigenlijk zijn we veel meer vertrouwd met de watt. Wanneer een apparaat een vermogen van één watt heeft, kan het per seconde één joule aan energie ontwikkelen. Vroeger gebruikte men de calorie i.p.v. de joule: één calorie is gelijk aan 4,1854 joule. Sinds 1978 echter is de joule de enige internationaal rechtsgeldige eenheidsmaat voor energie geworden.

De machine van Newcomen was alleen renderend voor het leegpompen van

De machine van Newcomen was alleen renderend voor het leegpompen van

Gebruik van paardekracht in de mijnen.
Gravures van de koolmijnen van
Northumberland en Durham, Engeland.



James Priscott Joule (1818-1889), oorspronkelijk brouwer van beroep, verrichtte belangrijk kwantitatief elektrisch onderzoek en talrijk experimenteel werk over energie-omzettingen. Zijn onderzoekingen om langs verschillende wegen het mechanische equivalent van een warmte-eenheid te bepalen, begonnen in 1843. Hij toonde aan dat de hoeveelheid arbeid verricht door elektriciteit in het aandrijven van een elektromotor gelijk was aan de hoeveelheid warmte die elektriciteit produceerde in een elektrische weerstand. Aldus waren elektriciteit, warmte en mechanische arbeid verschillende verschijningsvormen van één zelfde ding: energie, de capaciteit om arbeid te verrichten. De joule is sinds 1978 de enige internationaal rechtsgeldige eenheid voor energie.



kolenmijnen, waar steenkool van nature uiterst goedkoop was.

De stoommachine van Watt leverde energie, onder meer voor de industriële textielbedrijven die zich over het hele land verbreidden. In 1785 werd de eerste in werking gesteld in een katoenfabriek te Manchester.

De voorwaarden voor de Industriële Revolutie waren zowel economisch als technisch van aard — dat blijkt uit dit overzicht van de ontstaansgeschiedenis van de stoommachine:

— economisch: doordat de textielindustrie zich ontwikkelde voor produktie van een expanderende markt.

— technisch: doordat de nieuwe machines de enige manier waren om steenkool en drijfkracht en transport te bieden zonder welke de expansie van de textielindustrie onmogelijk zou geweest zijn.

1.1.2. De theorie: twee wetten.

Energie kan in vele gedaanten voorkomen en aldus aangewend worden om een verscheidenheid van taken te verrichten.

Sommige vormen zijn direct waarneembaar zoals licht, warmte, elektriciteit en beweging. Andere vormen zijn verborgen in grondstoffen b.v. chemische energie in steenkool en kernenergie in het metaal uranium. In feite wordt door geen enkel fysisch of chemisch proces energie gemaakt of vernietigd, maar omgezet van de ene vorm in de andere: *de eerste wet van de thermodynamica* of de wet van behoud van energie.

Deze wet, in 1842 nog geformuleerd als 'de regel van de onvernietigbaarheid van een kracht' kunnen we omschrijven als volgt: 'De energie van het heelal is constant. Zij kan noch geschapen, noch vernietigd worden, zodat de hoeveelheid altijd dezelfde blijft.' Met andere woorden, indien een systeem energie verliest of verkrijgt, dan moet een gelijke hoeveelheid energie in één of andere vorm naar of van zijn omgeving gaan. In elk proces is de totale hoeveelheid energie van het systeem en zijn omgeving constant.

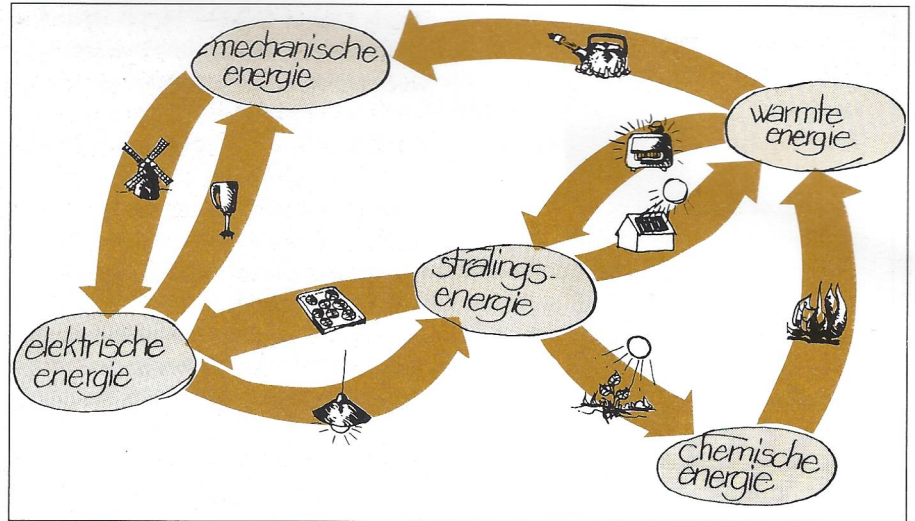
Ook massa kan omgezet worden in energie, getuige hiervan de energie die vrijkomt uit atoomkernsplitsing of — fusie. Dit is echter alleen meetbaar in kernreacties, niet in gewone chemische reacties.

De eerste wet van de thermodynamica leverde een éénmakend principe door aan te tonen dat de natuurkrachten die voorheen als aparte verschijnselen beschouwd waren — beweging van materie, geluid, warmte, licht, elektriciteit en magnetisme — alle in dezelfde eenheid gemeten konden worden: de eenheid van energie, waarvan de totale hoeveelheid in het universum toe- noch afnam. Het principe van behoud van arbeidsvermogen, waarvan mechanische arbeid, elektriciteit en warmte slechts verschillende verschijningsvormen zijn, was de grote synthetische idee van de natuurkunde van de 19e eeuw. Vele wetenschappen werden erin samengebracht en energie werd de gouden standaard van de veranderingen in het universum. Men ging alle activiteiten van de nieuwe industrie, transport, verlichting en uiteindelijk voedsel en het leven zelf

OVERVERHIT
anderhalf miljoen jaar energiebeschaving

5

Behoud van energie: energie wordt door geen enkel fysisch of chemisch proces gemaakt of vernietigd, maar omgezet van de ene vorm in de andere.



zien in afhankelijkheid van dit ene begrip: energie.

De ontwikkeling van de thermodynamica is te danken aan een groot aantal wetenschapsmensen, van Carnot tot Helmholtz. In de stoommachine werd de warmte, die vrijkwam door verbranding van steenkool, omgezet in mechanische drijfkraft. In die tijd bereikte het rendement van deze machine zelden de 5 %. Pogingen om de doelmatigheid ervan te verhogen hebben geleid tot de ontdekking van de *tweede wet van de thermodynamica*. Het is immers deze wet, ontdekt door Sadi Carnot in 1824, die zegt dat slechts een beperkte hoeveelheid arbeid door een bepaalde machine uit een bepaald gewicht steenkool kan gehaald worden.

Het is paradoxaal dat in Frankrijk, waar de stoommachine een importgoed uit het buitenland was, het functioneren ervan als een middel om warmte in arbeid om te zetten voor het eerst serieus wetenschappelijk bestudeerd werd.

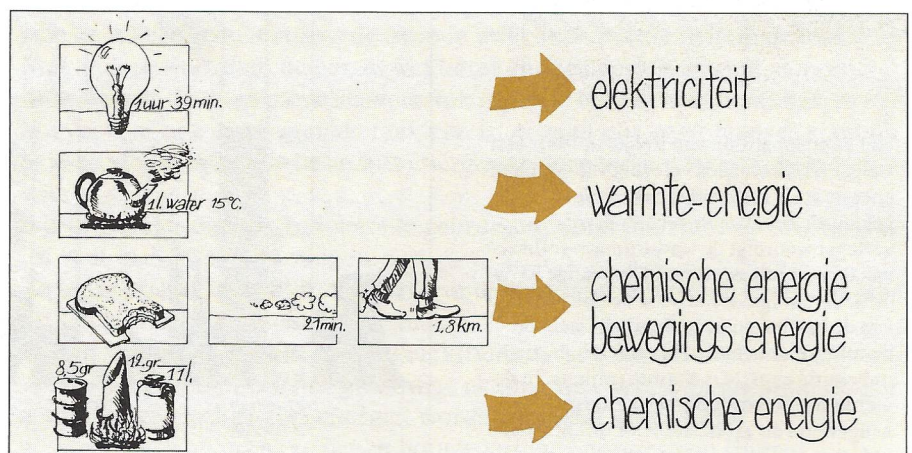
De omzetting van warmte in arbeid, die het vliegwiel van de stoommachine in beweging bracht, kon aanvankelijk niet exact wetenschappelijk benaderd worden.

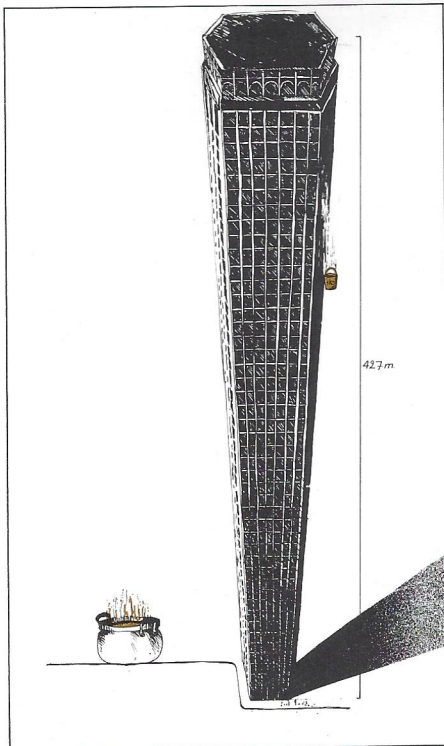
Was er een theoretische begrenzing aan? Het antwoord hierop werd gegeven door Carnot. Hij was één van de eersten die wiskundig-natuurkundige beginselen toepaste op de werking van de nieuwe stoommachine.

Carnot toonde aan dat arbeid alleen kon verricht worden door overdracht van warmte tussen verschillende temperaturen. Tevens kwam hij tot de vaststelling dat slechts een deel van de warmte in de machine in arbeid kon omgezet worden, en berekende zelfs hoeveel. Carnot stierf echter vroegtijdig aan cholera en het waren een aantal wetenschapslui na hem, zij het van diverse pluimage, die de definitieve uitwerking van de warmteleer op punt stelden. Zowel Mayer, Joule als von Helmholtz verrichtten metingen op dit vlak. Hoezeer hun benaderingen ook verschilden, hun ontdekkingen werden beïnvloed door de atmosfeer van het stoomtijdperk, in het bijzonder door de locomotief.

6

Energie kan in vele gedaanten voorkomen en aldus aangewend worden om een verscheidenheid van taken te verrichten.





7
Kwaliteit van energie: als men 1 kg water 1°C laat afkoelen, komt er energie vrij onder de vorm van warmte ten bedrage van 4.190 joule. Een zelfde energie-omzetting onder de vorm van arbeid vindt plaats als men dezelfde massa water van een hoogte van 427 m laat vallen.

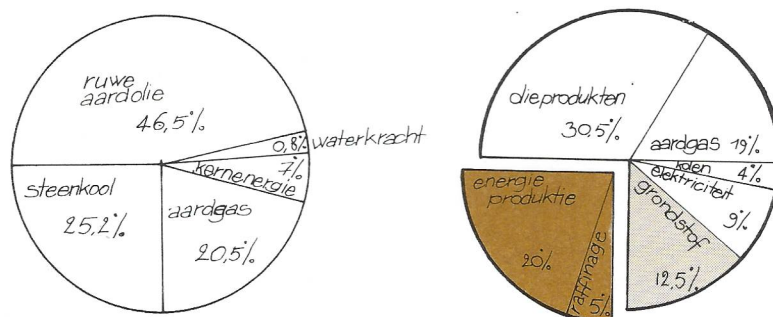
Toch heeft men in het tweede geval de indruk dat men over veel meer energie beschikt: de energie is veel bruikbaar. Anders gezegd, warmte is een minderwaardige vorm van energie.

Zoals Mayer stelde: 'Het is in de locomotief dat warmte uit de stoomketel gedistilleerd wordt, in de wielen in mechanische arbeid omgezet wordt en weer tot warmte gecondenseerd in de assen, wielen en rails'.

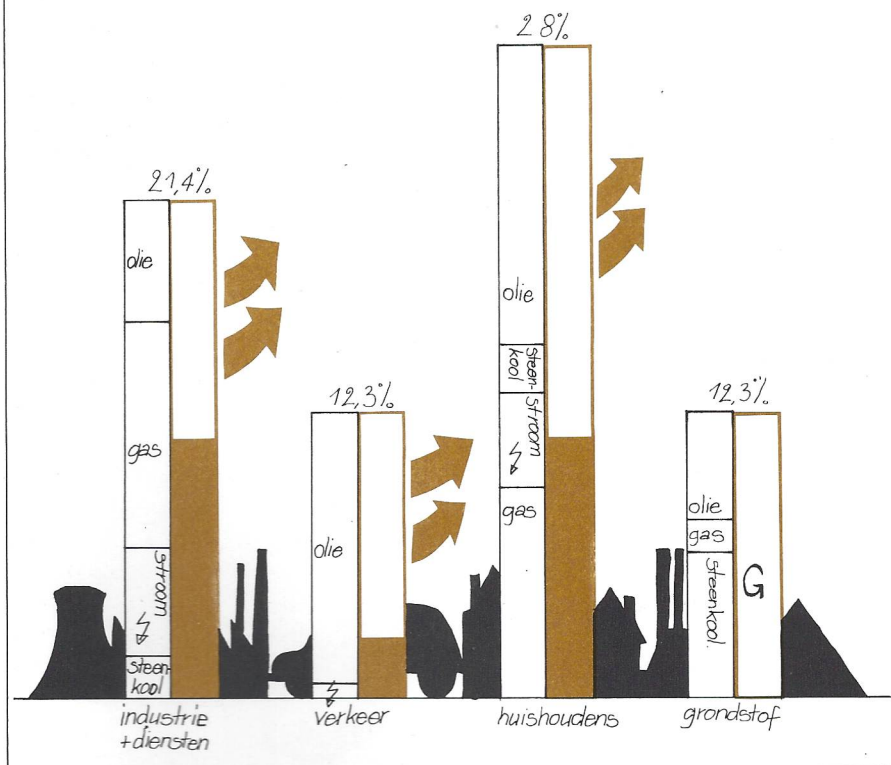
1.1.3. Kwaliteit van energie.

De wet van behoud van energie zou ons kunnen verleiden te beweren dat er geen energieprobleem mogelijk is. Maar de tweede wet leert ons dat niet de totale hoeveelheid energie van belang is, maar wel de beschikbare hoeveelheid hoogwaardige energie, m.a.w. de *kwaliteit van energie*. Wat wordt verstaan onder kwaliteit van energie? Energie 'verbruiken' is niets anders dan energie degraderen van hoge naar lage kwaliteit. Een maatstaf voor die kwaliteit is het aantal mogelijkheden dat men heeft om ze om te zetten in andere vormen van energie. Zo is elektriciteit een hoogwaardige energievorm omdat men ermee zowel verlichting, verwarming, transport als telecommunicatie kan verzorgen. Ook mechanische energie is een hoogwaardige energievorm.

Mechanische energie en elektriciteit kunnen voor honderd procent omgezet worden in warmte. Omgekeerd kan warmte slechts gedeeltelijk omgezet worden in arbeid: maximaal tot 47 %. Dat gebeurt dan met een stoomturbine bij een temperatuurverschil van 500°C met de omgeving. Warmte is aldus een 'gedegradeerde' of laagwaardige vorm van energie en des te laagwaardiger naarmate de temperatuur lager is. Uiteindelijk eindigt alle energie als warmte van lage temperatuur die, op grond van fundamentele natuurwetten, niet meer is om te zetten in nuttige arbeid. We kunnen maar tegen natuurlijke kwaliteitsdalingen ingaan door toevoeging van andere, hoogkwalitatieve energievormen.



8
Het energiepatroon van België in 1981. Het Belgisch binnenlands verbruik van primaire energie staat in de linkercirkel. Het gekleurde deel van de rechtercirkel vertegenwoordigt de transformatieverliezen van de verbruikssectoren. De overige 75 % dient als energie-input voor de linkershelft van de balken. In de rechterhelft staat de benutte en onbenutte energie. De onbenutte energie is warmte (pijlen). In de vierde sector wordt primaire energie aangewend als grondstof voor de chemische industrie (G).



Een voorbeeld hiervan is de warmtepomp: zij pompt warmte op omgevingstemperatuur op tot 30 à 50°C, mits toevoeging van elektriciteit. Aldus kunnen we het volgende concluderen: de term 'kwaliteit' geeft aan hoe goed bepaalde energievormen arbeid kunnen leveren. Deze kwaliteit, bruikbare arbeid, blijft niet behouden, maar gaat onherroepelijk verloren wanneer energie gebruikt wordt om arbeid te produceren.

Om te weten hoeveel energie verloren gegaan is, moeten we de weg terug naar de oorspronkelijke energiedrager volgen.

Deze wordt dan *primaire energie* genoemd: de ruwe aardolie uit Saoedi-Arabië, het uraniumerts uit Australië, de zonnestraling op ons huis.

Als de primaire energie een delfstof is, dan vereist de winning, zuivering en transport, toevoer van energie en komt er afval vrij.

Voorbeelden hiervan zijn de fossiele brandstoffen steenkool, aardolie en aardgas, en de grondstof uraniumerts.

Via allerlei industriële processen krijgen we daaruit afgeleide energiedragers, zoals benzine, stookolie, cokes en verrijkt uranium.

De energie wordt in deze energiedragers vastgehouden in chemische bindingen (chemische energie) of in atoomkernen (kernenergie) en komt pas vrij door respectievelijk verbranding of splijting.

De vrijgekomen energie is warmte, een afgeleide energievorm die niet aan een bepaalde stof gebonden is, maar kan stromen van de ene naar de andere stof. Met deze warmte kan men verwarmen, een machine aandrijven of elektriciteit opwekken via een turbine en een generator. Zoals warmte zijn ook elektriciteit en arbeid afgeleide energievormen; we spreken dan van *secundaire energie*. De overgang van primaire naar secundaire energie gaat altijd gepaard met energieverlies. Voorbeelden hiervan zijn:

— Een benzinemotor zet slechts 25 % van de primaire energie om in arbeid.

— Een elektriciteitscentrale heeft tot drie eenheden primaire energie nodig om één eenheid elektriciteit (secundaire energie) te produceren.

Uit elektrische kabel, boiler of fornuis komt dan ook slechts één derde van de in de centrale opgewekte warmte.

Hoe meer energie-omzettingen in een proces, hoe groter het energieverlies, hoe minder bruikbare energie.

1.1.4. Met een kanon op een vlieg schieten: het thermodynamisch rendement.

De term thermodynamisch rendement geeft de verhouding weer tussen de aangewende energiebron en de te verrichten taak. Is het rendement laag, betekent dit dat er energie verspild wordt. Verbetering van dit rendement zou kunnen leiden tot een sterke vermindering van het huidige energieverbruik, zonder verlaging van onze levensstandaard.

De vraag is dan: hoe doen we dat?

De twee wetten van de thermodynamica stellen ons in staat beide fundamentele eigenschappen van energie — haar hoeveelheid en haar vermogen om arbeid te verrichten — te meten. Allebei geven zij ons de middelen om het probleem van het rendement op te lossen, zij het vanuit een andere benadering. De benadering volgens de eerste wet concentreert zich op de bron, die volgens de tweede wet concentreert zich op de taak. Met andere woorden, de eerste wet berekent de energie-inhoud van een bron en wat daarvan mogelijk verloren gaat; de tweede wet berekent hoeveel energie een bepaalde taak vereist en stelt ons vervolgens in staat na te gaan welke methode het minst energie-opslopend is om die taak uit te voeren.

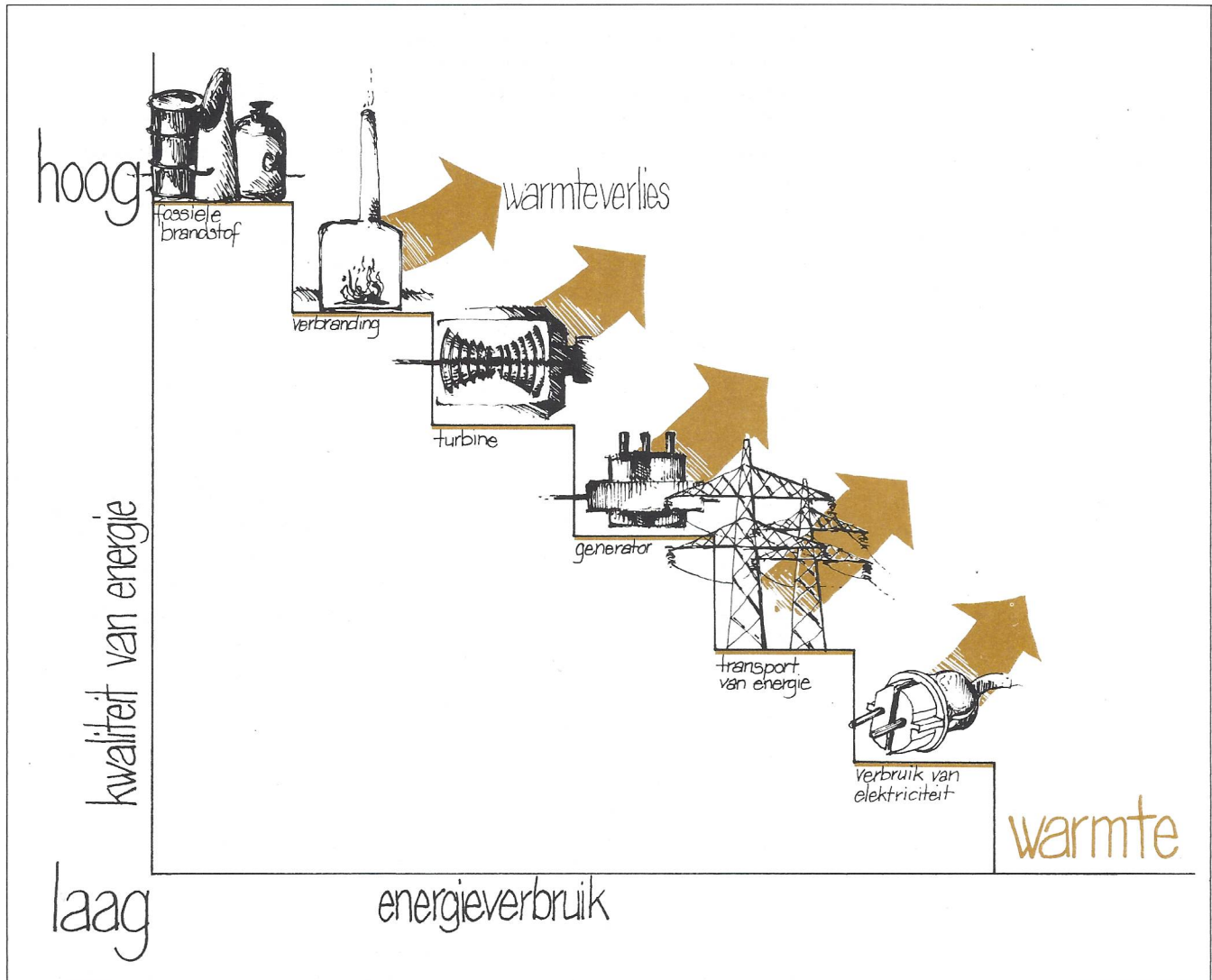
Als het doel is energie rationeel te gebruiken, komt men met de tweede wet tot veel realistischer ramingen.

Zaak is tenslotte toch die energievorm te kiezen die het nauwst aansluit bij de kwalitatieve vereisten van de taak.

Geven we het voorbeeld van een elektriciteitscentrale. Hoewel kolen, gas en olie dragers zijn van hoogwaardige chemische energie en uranium drager is van hoogwaardige kernenergie, worden zij eerst tot warmte gedegradeerd alvorens ze in een hoogwaardige energievorm (hier

elektriciteit) omgezet worden. Zolang men elektriciteit opwekt via een warmtebron, hetzij afkomstig van een brandstof, hetzij van een kernsplijtstof, is dit energieverlies onvermijdelijk, zoals volgt uit de thermodynamica. Wat we wel kunnen doen is verder overbodig energieverlies vermijden door elektriciteit, een hoogwaardige energievorm, om te zetten in een andere hoogwaardige energievorm b.v. mechanische arbeid.

Een voorbeeld van mechanische arbeid is het aandrijven van een motor. Gebruiken we elektriciteit voor verwarmingsdoeleinden aan relatief lage temperaturen, dan druist dit in tegen de optie van een rationeel energiegebruik.



9
Zolang men elektriciteit opwekt via een warmtebron, is energieverlies in de vorm van warmte onvermijdelijk, zoals volgt uit de thermodynamica. Uiteindelijk eindigt alle energie als warmte van lage temperatuur die, op grond van fundamentele natuurwetten, niet meer om te zetten is in nuttige arbeid.

In tegenstelling tot elektriciteit, die — op welke spanning ook — gelijkwaardig is, verliest warmte veel van haar kwaliteit bij een dalende temperatuur.

Zo kan warmte van 400° - 600°C gebruikt worden om elektriciteit te produceren. Vele processen in de industrie daarentegen vergen een veel hogere temperatuur. In de metaalindustrie bij voorbeeld zijn temperaturen tot 1.600°C nodig. De distillatie van ruwe aardolie in de raffinaderijen, de productie van de meeste chemicaliën en vele processen in de voedingsmiddelenindustrie moeten eveneens bij hoge temperatuur plaatsvinden.

Daalt echter de temperatuur tot 100°C, dan kan men deze warmte-energie alleen nog maar gebruiken voor ruimteverwarming. Precies warmte met een temperatuur van 40° tot 100°C is de meest gevraagde energievorm: voor het verwarmen van huizen, gebouwen en plantenkassen en voor vele processen in industrie en bedrijf. Toch dekt men deze behoefte aan een laagwaardige energievorm vaak met hoogwaardige energievormen: fossiele brandstoffen en elektriciteit. Negentig procent hiervan kan net zo goed

gedekt worden met laagwaardige energie zoals afvalwarmte van elektriciteitsopwekking of aardwarmte of zonnewarmte. Tegenover het verloren gaan van zoveel ongebruikte warmte staat een veel zinvoller omgaan met energie: energiebehoud. Wat kunnen we doen? Ten eerste, de keten van energie-omzetting zo klein mogelijk houden. Ten tweede, het thermodynamisch rendement verhogen, te weten de verhouding van de bruikbare energie tot de totale energie-input. Als we spreken over een rendement van 30 %, dan is er voor elke 100 joule energie, slechts 30 joule energie die bij de gebruiker komt. De derde methode om energieverlies tegen te gaan is zowel in machinepark als in gebouwen eenvoudige, weloverwogen, rationele technieken inschakelen die onnodig energieverlies uit het 'gadget-tijdperk' uitschakelen. Een flagrant voorbeeld van energieverlies is wel een glazen kantoorgebouw, voorzien van ramen die men niet kan openen, kunstmatig verwarmd en gekoeld i.p.v. door de natuur en 's nachts fel verlicht. Zulk gebouw is een symbool van ecologische en economische dwaling, gezien de relatieve schaarste van energiedragers en de tegenwoordige hoge energieprijzen.

1.2. Energie uit massa: kernenergie.

Eeuwenlang beïnvloedden alle activiteiten van de mens slechts de buitenkant van de atomen. Bij hersenwerking, ademhaling, spijsvertering, voortplanting, bij het maken van vuur, bij smelten en verdampen van stoffen, bij de vorming en ontleding van chemische verbindingen, bleven de *kernen* van de atomen volkomen onveranderd. Zij ondergingen geen invloed van wat zich op grote afstand aan de buitenkant van de atomen afspeelde. Pas in de 20e eeuw slaagde de mens erin reacties tussen deze kernen teweeg te brengen, waardoor hun massa omgezet werd in enorme hoeveelheden warmte-energie. Deze energie wordt *kernenergie* genoemd. Kernenergie zoals we die tegenwoordig kennen, komt vrij door het *splijten van kernen* van bepaalde soorten zeer zware atomen, voornamelijk uranium-235. Een andere manier om energie uit massa te verkrijgen is *kernfusie*: de kernen van de elementen deuterium en tritium worden samengesmolten of 'gefusioniseerd' tot zwaardere heliumkernen. Dit onderzoek verkeert thans nog in een wetenschappelijk stadium. Toch hoopt men ooit een fusieproces tot stand te brengen dat meer energie oplevert dan het verbruikt.

1.2.1. Kernsplijting.

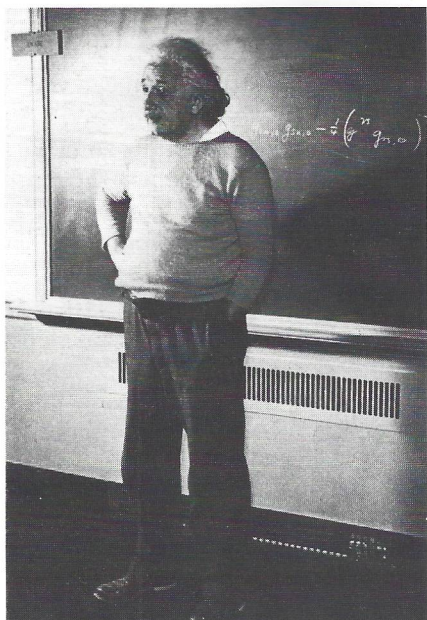
De kleinste deeltjes waaruit iedere willekeurige stof is opgebouwd, worden *atomen* genoemd. Reeds in het oude Griekenland veronderstelde men dat alle materie opgebouwd was uit ondeelbare en onveranderlijke deeltjes (atomos = niet deelbaar).

Toen de mens er in de 20e eeuw in slaagde reacties tussen de atoomkernen te veroorzaken, drong hij een geheel nieuwe wereld binnen, een wereld waarin de ruimtelijke dimensies miljoenen malen kleiner en de energieën miljoenen malen groter waren dan in de ons meer vertrouwde wereld van de buitenkant van atomen.

Hoe zien die atoomkernen er nu uit?

Het was Rutherford (1871-1937) die het atoommodel ontwierp, zij het nog niet in zijn volledige vorm. Hij gaf de naam 'nucleus' (Ned. kern) aan de zeer kleine, maar zware pit waarrond zeer kleine, lichte elektronen bewegen.

Het is erg moeilijk zich te realiseren hoe klein de kern van een atoom is in vergelijking met een zichtbaar voorwerp. Vergroten we in onze gedachten een willekeurig atoom tot een bol met een diameter van 200 m (groter dan de hoogte van de Keulse Dom) dan is de kern van een atoom op die schaal 'een erwt' met een diameter van slechts enkele millimeter. De elektronen



10
De speciale relativiteitstheorie (1907) van Albert Einstein (1879-1955) heeft nieuwe mogelijkheden van energie-omzetting aangewezen, namelijk die van materie in straling d.w.z. in energie van elektromagnetische velden. Zij leverde het antwoord op de oude vraag hoe de zon en de sterren altijd maar energie uitstralen. Ook ligt zij aan de basis van de ons zo vertrouwde stabiliteit van de materiële wereld. Einsteins wet stelt het behoud van massa gelijkwaardig met het behoud van energie: als de massa van de materie verdwijnt door uitstraling, vindt er wel vernietiging van materie plaats, maar niet van massa. De grootheden massa en energie blijken equivalent te zijn: massa is een vorm van energie.

11
Wanneer een neutron tegen een uranium-235 kern botst, is er een goede kans dat de kern zal splijten. De splijtingsprodukten zijn twee atoomfragmenten, plus gemiddeld twee à drie snel bewegende neutronen. Evenals de atoomfragmenten van de gespleten kern, worden deze neutronen met grote kracht weggeslingerd, waardoor ze weer andere atoomkernen kunnen raken, die op hun beurt splijten. Er ontstaat dan een kettingreactie.

zijn nog veel kleiner dan de kern. De verhouding tussen elektronen en de kern kan men vergelijken met die van planeten t.o.v. de zon. Zoals het zonnestelsel, is een atoom erg 'leeg'. De kern bestaat uit protonen, die een positieve elektrische lading dragen, en neutronen, die elektrisch neutraal zijn maar in massa niet van protonen verschillen. Meer dan 99,9 % van de massa en energie van het atoom is nu precies in die kleine kern geconcentreerd.

Een elektron draagt een even grote negatieve elektrische lading als een proton een positieve lading. Haar massa is echter veel kleiner.

De krachten die elektronen bijeenhouden zijn van elektromagnetische aard: het zijn de aantrekkingskrachten tussen de positief geladen kern en de negatief geladen elektronen.

Vanaf het einde van de 19e eeuw hielden steeds meer wetenschapsmensen zich bezig met de studie van de atoomstructuur. Van die generatie pioniers op het vlak van het kernfysisch onderzoek is Albert Einstein ongetwijfeld de meest bekende. Van hem komt de formule $E=mc^2$, waarbij E staat voor energie, m voor massa en c voor de snelheid van het licht. Volgens deze vergelijking kan de massa, waaruit dingen bestaan, in energie omgezet worden. De energie die vrijkomt, zetelt in de kernen van atomen. Daarom spreekt men over *kernenergie*. Deze term wordt over het algemeen niet gebruikt voor alle vormen van kernenergie (b.v. niet voor radioactiviteit) maar slechts voor de enorme hoeveelheden warmte-energie die in een kernreactor uit atomen kunnen vrijgemaakt worden.

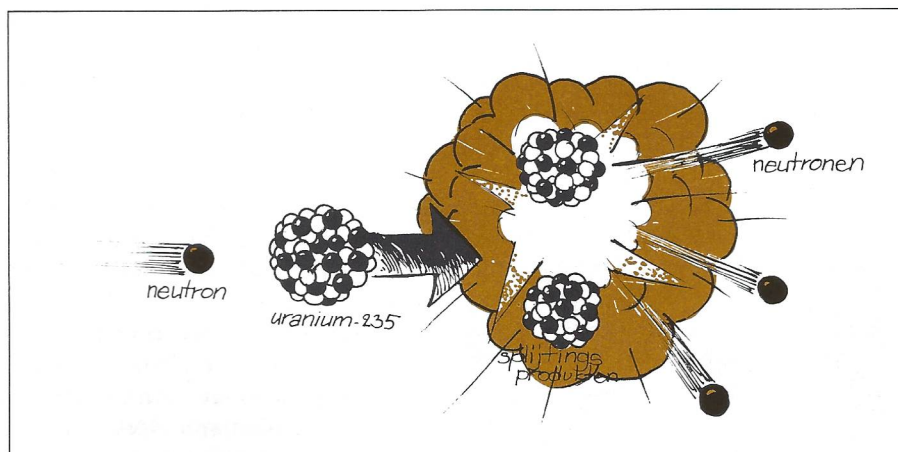
Kernenergie zoals we die tegenwoordig kennen, komt vrij door het splijten van bepaalde soorten zeer zware atomen, voornamelijk uranium-235 (U-235).

In de wolke rond deze kern van een uranium-235 atoom bevinden zich 92 elektronen.

De kern bestaat uit 92 positief geladen protonen en 143 neutronen: het atoomgewicht, 235, is de som van de massa van de protonen en neutronen. Wanneer een neutron er tegenaan botst, is er een goede kans dat de uranium-235 kern zal splijten.

De splijtingsprodukten zijn twee atoomfragmenten, plus enkele vrije, maar snel bewegende neutronen. Al deze splijtingsprodukten zijn bij elkaar opgeteld iets lichter dan de uranium-235 kern waaruit zij gevormd werden. Dit kleine verschil in massa is omgezet in energie, volgens Einsteins formule.

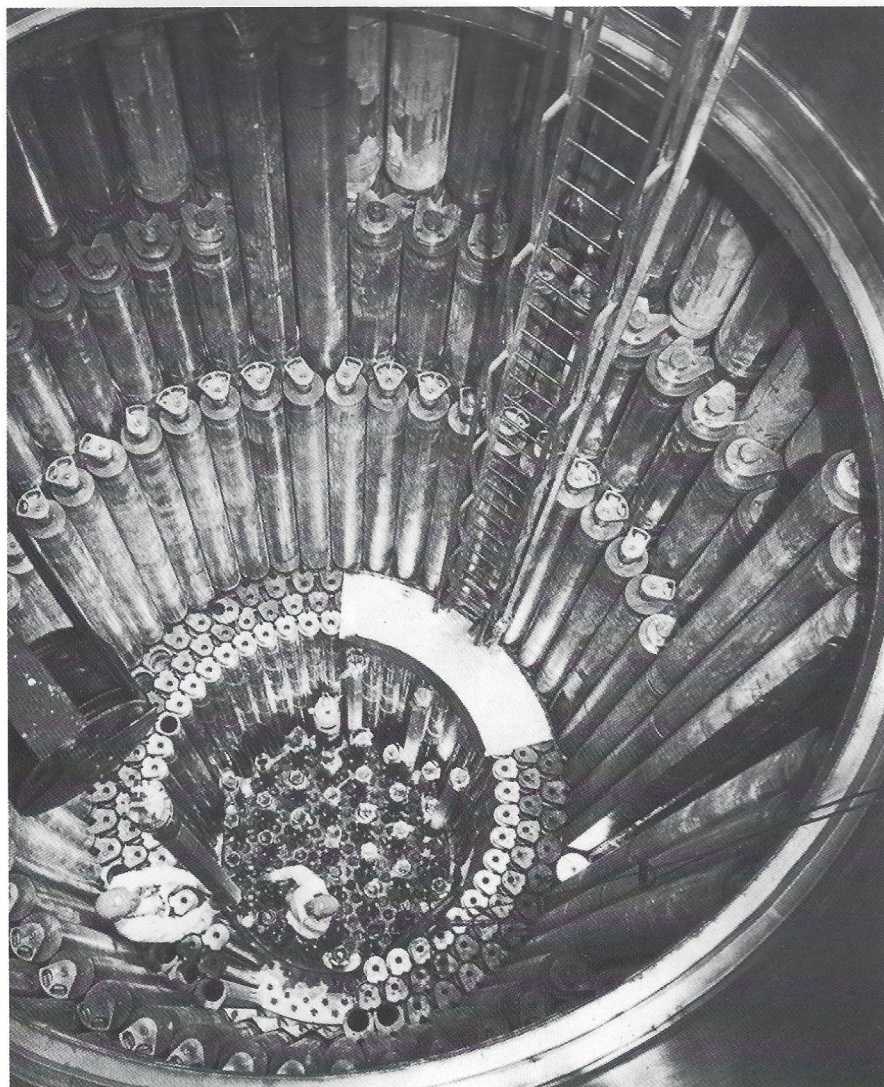
Omdat de snelheid van het licht een zeer groot getal bedraagt, is het kwadraat ervan iets enorms, zodat er werkelijk een kolossale hoeveelheid energie vrijkomt. Evenals de atoomfragmenten van de gespleten kern worden de vrijkomende neutronen met grote kracht weggeslingerd, waardoor ze weer andere atoomkernen kunnen raken, die op hun beurt splijten.



Per splijting van een atoomkern komen er gemiddeld twee à drie neutronen vrij. Zijn er in de buurt voldoende splijtbare atoomkernen, dan houdt het proces zichzelf aan de gang. Er is dan een kettingreactie tot stand gekomen. Uraniumerts, een natuurlijke grondstof, bevat slechts 0,7 % uranium-235 en bijna 99,3 % uranium-238. Anders gezegd: op elke 1.000 uraniumato-

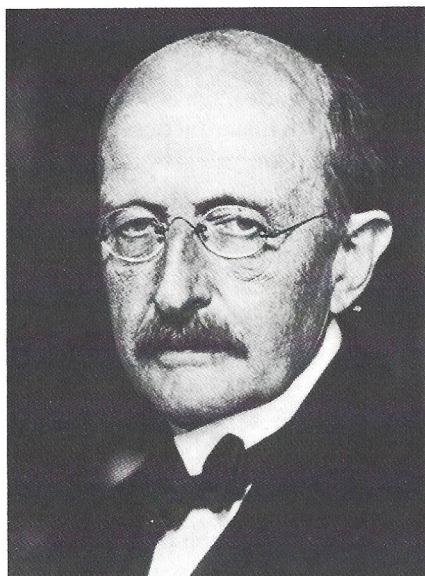
12

Een splijtstofelement bevat staven plutonium- en uraniumoxyden, die met roestvrij staal bekleed zijn. Ongeveer 100 elementen zijn nodig om het prototype van de snelle kweekreactor bij Dounreay, Schotland, te laden. Hier wordt een modelelement met de hand in positie gebracht. Normaal gebeurt het bijladen van brandstof met afstandsbediening om beschermd te blijven tegen de extreme radioactiviteit van de gebruikte brandstof.



13

Rond de eeuwwisseling gelukte het Max Planck (1858-1947) een wet te formuleren i.v.m. de uitstraling van energie door atomen, o.m. in de vorm van licht en warmte. Hij maakte daarbij veronderstellingen die de alomgeldigheid van de klassieke natuurkundige inzichten in het gedrang brachten. De energie die tijdens het stralingsproces wordt afgegeven, neemt niet gelijkmatig toe maar stootsgewijs, d.w.z. er worden pakketjes energie gevormd. Deze noemde hij quanten (hoeveelheden). De denkbeelden van Planck en Einstein hebben de weg geëffend voor het ontstaan van een 'nieuwe fysica': een fysica die het atomaire met het kosmische in één groot schouwspel opvoert.



men komen 993 atomen uranium-238 voor en maar 7 atomen uranium-235. Uranium-235 en uranium-238 hebben wel hetzelfde aantal protonen (92), maar een verschillend aantal neutronen, respectievelijk 143 en 146. Maar juist uranium-235 alleen is direct splijtbaar. Daarentegen vangen de uranium-238 atomen de neutronen op, met als gevolg dat ze na enkele tussenstappen worden omgezet in plutonium-239.

De hoeveelheid uranium moet zoveel uranium-235 kunnen bezitten, dat de neutronen voldoende trefkans hebben. Voldoende wil zeggen, dat er zoveel splijtingen plaatsvinden dat het proces zichzelf aan de gang houdt. Vandaar dat het uranium, dat in een gewone kernreactie gebruikt wordt, 'verrijkt' is: de concentratie aan uranium-235 is verhoogd van 0,7 % tot ongeveer 3 %. Dit vermindert de kans op een neutron/uranium-238 botsing die de kettingreactie zou stoppen.

Bovendien is het voor een splijttingsproces noodzakelijk dat de neutronen met een veel minder hoge snelheid met de kernen in botsing komen. Van nature hebben vrijkomende neutronen echter een zeer hoge snelheid. Daarom worden deze snelle neutronen afgeremd in een daarvoor geschikte stof, de moderator.

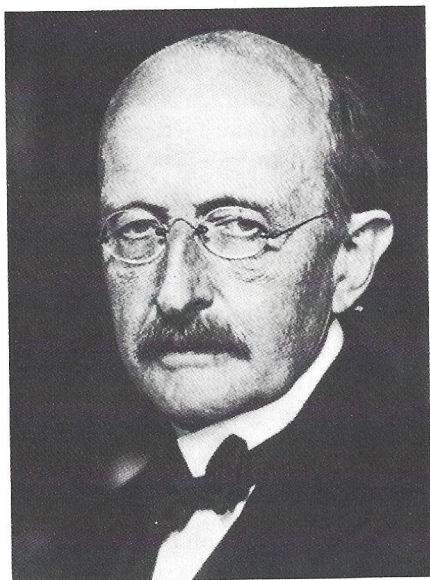
Er bestaat nochtans een ander type van reactor, dat wel gebruik maakt van snelle neutronen. In deze snelle reactor kan evenveel of zelfs meer splijtstof worden aangemaakt dan verbruikt. Men spreekt daarom van 'kweken' en van 'kweekreactoren'. Het onsplijtbaar, maar veel meer voorkomende uranium-238 wordt hier omgezet in een nieuw element dat weer wél splijtbaar is: plutonium-239.

Voorstanders van kernenergie zien in de snelle kweekreactoren dé oplossing voor een probleem van economische aard: de toekomstige schaarste en dus duurte van splijtstof. Een kweekreactor zou de hoeveelheid splijtstof immers aanzienlijk vergroten.

Een splijtstofelement bevat staven plutonium- en uraniumoxyden, die met roestvrij staal bekleed zijn. Ongeveer 100 elementen zijn nodig om het prototype van de snelle kweekreactor bij Dounreay, Schotland, te laden. Hier wordt een modelement met de hand in positie gebracht. Normaal gebeurt het bijladen van brandstof met afstandsbediening om beschermd te blijven tegen de extreme radioactiviteit van de gebruikte brandstof.



Rond de eeuwwisseling gelukte het Max Planck (1858-1947) een wet te formuleren i.v.m. de uitstraling van energie door atomen, o.m. in de vorm van licht en warmte. Hij maakte daarbij veronderstellingen die de alomgeldigheid van de klassieke natuurkundige inzichten in het gedrag brachten. De energie die tijdens het stralingsproces wordt afgegeven, neemt niet gelijkmatig toe maar stootsgewijs, d.w.z. er worden pakketjes energie gevormd. Deze noemde hij quanten (hoeveelheden). De denkbeelden van Planck en Einstein hebben de weg geëffend voor het ontstaan van een 'nieuwe fysica': een fysica die het atomaire met het kosmische in één groot schouwspel opvoert.



men komen 993 atomen uranium-238 voor en maar 7 atomen uranium-235. Uranium-235 en uranium-238 hebben wel hetzelfde aantal protonen (92), maar een verschillend aantal neutronen, respectievelijk 143 en 146. Maar juist uranium-235 alleen is direct splijtbaar. Daarentegen vangen de uranium-238 atomen de neutronen op, met als gevolg dat ze na enkele tussenstappen worden omgezet in plutonium-239.

De hoeveelheid uranium moet zoveel uranium-235 kunnen bezitten, dat de neutronen voldoende trefkans hebben. Voldoende wil zeggen, dat er zoveel splijtingen plaatsvinden dat het proces zichzelf aan de gang houdt. Vandaar dat het uranium, dat in een gewone kernreactie gebruikt wordt, 'verrijkt' is: de concentratie aan uranium-235 is verhoogd van 0,7 % tot ongeveer 3 %. Dit vermindert de kans op een neutron/uranium-238 botsing die de kettingreactie zou stoppen.

Bovendien is het voor een splijtingsproces noodzakelijk dat de neutronen met een veel minder hoge snelheid met de kernen in botsing komen. Van nature hebben vrijkomende neutronen echter een zeer hoge snelheid. Daarom worden deze snelle neutronen afgeremd in een daarvoor geschikte stof, de moderator.

Er bestaat nochtans een ander type van reactor, dat wel gebruik maakt van snelle neutronen. In deze snelle reactor kan evenveel of zelfs meer splijtstof worden aangemaakt dan verbruikt. Men spreekt daarom van 'kweken' en van 'kweekreactoren'. Het onsplijtbare, maar veel meer voorkomende uranium-238 wordt hier omgezet in een nieuw element dat weer wél splijtbaar is: plutonium-239.

Voorstanders van kernenergie zien in de snelle kweekreactoren dé oplossing voor een probleem van economische aard: de toekomstige schaarste en dus duurte van splijtstof. Een kweekreactor zou de hoeveelheid splijtstof immers aanzienlijk vergroten.

In de fusiereactor moet, net zoals in het binnenste van de zon, energie worden vrijgemaakt door het versmelten van atoomkernen bij temperaturen van meer dan 100 miljoen°C. Daarbij moet men werken met buitengewoon sterke magnetische velden, die alleen opgewekt kunnen worden met stroomsterkten van 45.000 ampère.

Om deze gigantische vermogens te kunnen opwekken, bouwt Siemens een buitenmodel energiecentrale (foto).

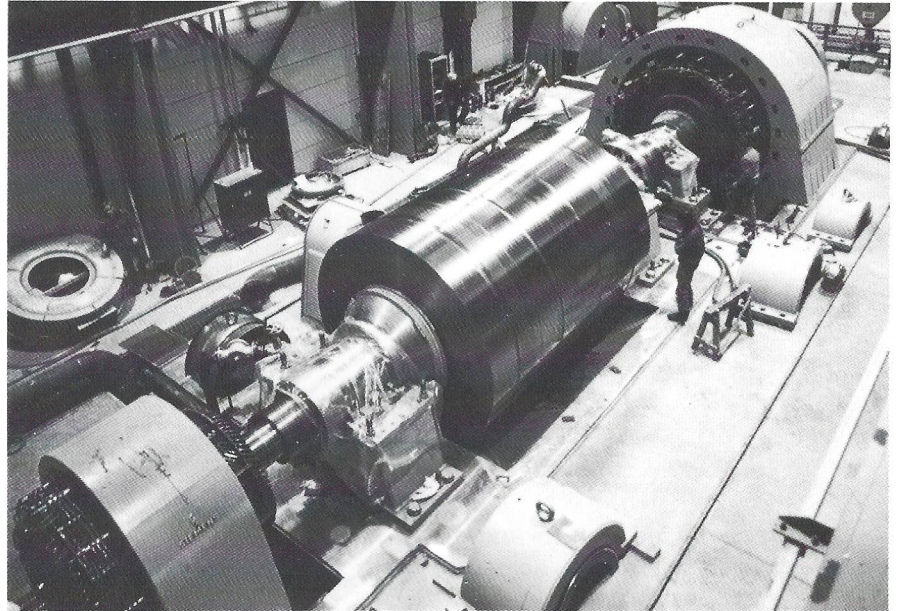
1.2.2. Kernfusie.

Een andere manier om energie uit massa te verkrijgen is kernfusie.

In tegenstelling tot kernsplijting, waarbij zware atoomkernen door beschieting met neutronen gespleten worden, worden bij kernfusie lichte atoomkernen samengesmolten tot zwaardere kernen.

De elementen waarvan de kernen tot samensmelting gebracht kunnen worden zijn deuterium, tritium en lithium.

Deuterium of zware waterstof komt voor in water. Op ca. 7.000 waterstofatomen in water komt slechts 1 atoom deuterium voor. Toch is de hoeveelheid water in zeeën en oceanen zo groot dat er praktisch onbeperkte hoeveelheden deuterium zijn.



Tritium, extra zware waterstof, komt in de natuur maar in zeer geringe hoeveelheden voor. Het kan echter met behulp van het fusieproces in een fusiereactor gewonnen worden uit lithium.

Lithium, een metaal, zit in de aardkorst (de meeste vindplaatsen bevinden zich in de Verenigde Staten en Afrika) en in de oceanen.

Een mengsel van deuterium en tritium is het meest geschikt voor toepassing in fusiereactoren. Hun kernen smelten samen tot heliumkernen. Ook de kernen van gewone waterstof, waarvan deuterium en tritium iets zwaardere familieleden zijn, kunnen samensmelten. Dit proces speelt zich onophoudelijk af in het centrum van de zon. De omstandigheden zijn er echter zodanig dat ze op aarde niet in beheersbare vorm na te bootsen zijn. Het probleem bij kernfusie is dat de kernen van lichte elementen elkaar afstoten omdat zij alle een positieve lading bezitten. Om die afstotende kracht te overwinnen, moet men de kernen een zeer hoge snelheid geven. Deze zeer hoge bewegingsenergie van kernen kan opgewekt worden door toevoer van warmte aan ontzaglijk hoge temperatuur.

Omdat de energie van de samensmeltende kernen veroorzaakt wordt door warmtebeweging, spreekt men van thermonucleaire fusiereacties. De temperaturen waar het hier om gaat, liggen in een orde van grootte van 100 miljoen graden.

Reeds vanaf een temperatuur van enkele tienduizenden graden zijn de stoffen, waarvan men de kernen wil laten samensmelten, via gasvormige toestand overgegaan in een plasmatoestand. Plasma is in bepaalde opzichten te vergelijken met een gas. Het verschil is dat plasma niet bestaat uit vrije moleculen maar uit vrije atoomkernen en vrije elektronen. Door de hoge temperatuur zijn de elektronen van de kern losgeraakt. In een plasma van 100 miljoen graden hebben de kernen een gemiddelde snelheid van meer dan 2 miljoen kilometer per uur. De energie van de kernen is bij die snelheid groot genoeg om de onderlinge afstotende kracht te overwinnen en ze te doen samensmelten.

Opdat in het hete plasma voldoende fusiereacties van kernen plaatsvinden, moet het plasma bij een voldoende hoge dichtheid opgesloten worden.

Door het feit dat elektronen en kernen elektrisch geladen zijn, sluit men ze op in een magneetveld. Dit houdt de elektrisch geladen deeltjes bij elkaar en vrij van de wand.

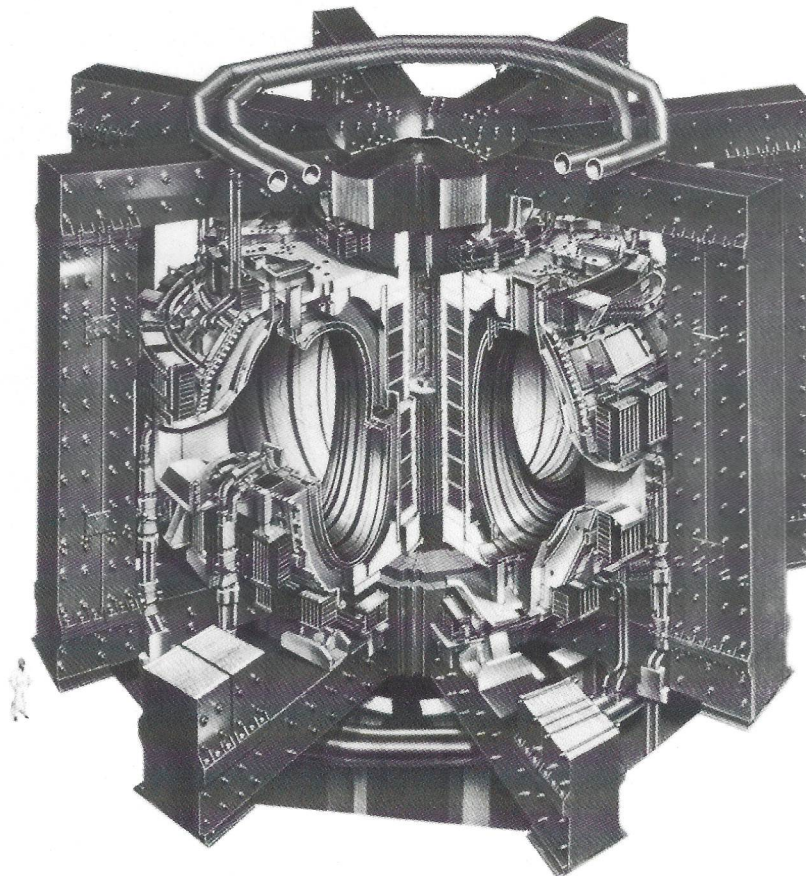
In de jaren zestig is door Russische natuurkundigen een systeem van magnetische opsluiting ontwikkeld, dat sindsdien bekend staat onder de naam Tokamak.

Bij vrijwel elk fusie-onderzoek werkt men aan verdere ontwikkeling en varianten van het Tokamak-systeem.

In de herfst van 1977 besloten de lidstaten van de Europese Gemeenschap samen met Zweden en Zwitserland hun activiteiten op het gebied van kernfusie-onderzoek te coördineren. In het Engelse dorp Culham nabij Oxford werken de Europese partners, waaronder België, gezamenlijk aan het zgn. JET-projekt, dat gebaseerd is op het Tokamak-systeem.

15

Doorsnede van de Tokamak. Joint European Torus (JET), Europees kernfusieproject in Groot-Brittannië.



Een tragisch aspect van de geschiedenis van techniek en wetenschap is dat uitvindingen en ontdekkingen vaak in de eerste plaats tot stand komen door en voor militaire doeleinden. Dit heeft zich in het bijzonder voorgedaan met kernenergie.

Vrijwel niemand moet er nog aan herinnerd worden dat in 1945 splijtingsbommen (A-bommen) gebruikt werden om de Japanse steden Hiroshima en Nagasaki totaal te verwoesten. Officieel vielen er (resp.) 80.000 en 27.000 doden ter plekke. Het totale dodenaantal ligt echter veel hoger, omdat tot op heden mensen sterven ten gevolge van de radioactieve straling, die bij de ontploffing vrijkwam.

In 1952 brachten de Amerikanen de eerste kernfusiebom of waterstofbom (H-bom) in de Stille Oceaan tot ontploffing.

Zowel bij kernsplijting als bij kernfusie ging men naderhand op zoek naar manieren om de daarbij vrijkomende energie voor vreedzame doeleinden te gebruiken.

Evenals bij kernsplijting heerste er aanvankelijk een groot optimisme over de mogelijkheden van kernfusie als nieuwe bron van energie. Ondertussen heeft men op tal van plaatsen in de wereld gedurende meer dan een kwart eeuw aan het probleem van de beheerste fusie gewerkt, maar van een

oplossing is men nog zeer ver verwijderd.

Het onderzoek is een miljardenaangelegenheid en een wezenlijke bijdrage van kernfusie tot de globale elektriciteitsvoorziening wordt zeker niet voor het tweede kwartaal van de 21ste eeuw verwacht.

Men verwacht dat in de loop van de komende decennia het zwaartepunt van het fusie-onderzoek kan verlegd worden van het wetenschappelijk terrein naar dat van de techniek. In de fase van de technische ontwikkeling zal moeten blijken of de wetenschappelijk uitgewerkte principes omgezet kunnen worden in een economisch verantwoorde energie-opwekking via de fusiereactor.

Ook al hoopt men met kernfusie het probleem van schaarste aan grondstoffen grotendeels te overstijgen, dit betekent nog niet dat men ermee een zorgeloze toekomst kan tegemoet zien. Aan kernfusie zijn veel grotere gevaren verbonden dan men oorspronkelijk dacht. Gevaarlijk is vooral het tritium, dat als brandstof voortdurend voorradig moet zijn. Evenals gewone waterstof heeft het de lastige eigenschap om bij hoge temperaturen zelfs door onbeschadigde metalen wanden te kunnen doordringen. Daarbij moet dan bedacht worden dat in een fusiereactor een miljoen maal zoveel tritium zou geproduceerd worden als in een splijtingsreactor van hetzelfde vermogen.

2.1. De ecosfeer, ons huis.

De mens maakt samen met dieren en planten deel uit van de *ecosfeer*, de gordel rond de aarde waarbinnen alle levende materie bestaat. De schepping en instandhouding van het leven op aarde hangt af van de zon, de bron van alle energie. Mensen en dieren zijn voor hun zuurstof en voedsel afhankelijk van planten.

Alleen planten en enkele bacteriën zijn immers in staat tot *fotosynthese*, een chemisch proces dat tot stand komt met behulp van zonlicht (fotonen), dat door de chlorofylmoleculen van groene planten opgevangen wordt. Binnen de ecosfeer onderhouden alle levende organismen een stofwisseling met hun levende en niet-levende omgeving in een zelfbedruipend systeem, een *ecosysteem*. In elk ecosysteem bewegen de elementen waaruit levende materie opgebouwd is, zich in verschillende stadia van onderling met elkaar verweven kringlopen. Zo'n systeem vormt voortdurend zijn eigen bouwstoffen zonder verliezen en is daarom stabiel. Als het niet van buitenaf verstoord wordt, zal het voortbestaan zolang de energie duurt waarop het berust.

2.1.1. De zon: dé bron!

Tegenwoordig wordt vrijwel algemeen aanvaard dat ons heelal omstreeks 15 miljard jaar geleden met een gigantische explosie tot leven kwam. Hiermee wordt de theorie van de 'Big Bang' of 'Oerknal' bedoeld. Volgens sommige sterrenkundigen bestond er eens een vorig heelal, waarin alle materie samengeballt was. Dit zou tot ontploffing gekomen zijn. Ongeveer een miljoen jaar achtereens was het heelal een uitdijende vuurbal van licht. Bij het afkoelen ontstonden de eerste atomen. Vervolgens ontwikkelde zich de zwaartekracht. Hierdoor werden de kleine atoomdeeltjes in een grote gas- en lichtbal samengetrokken. De materie van het heelal loste op in miljarden enorme wolken. In deze wolken werden de sterren geboren.

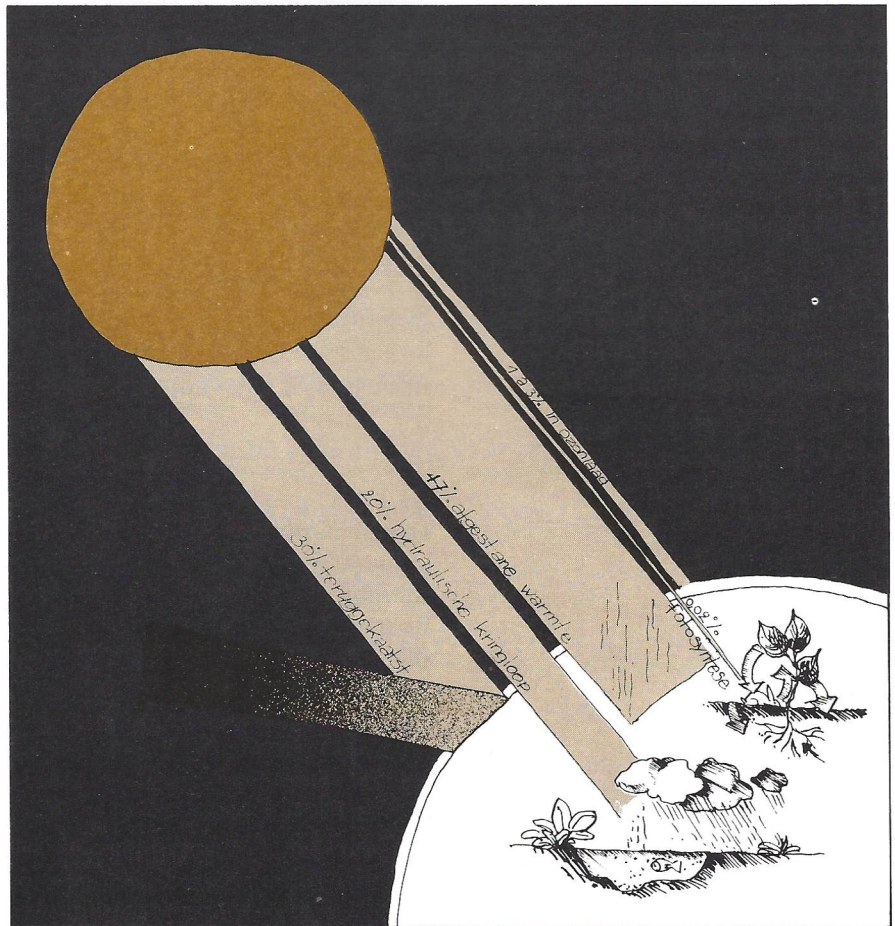
De zon is een middelgrote ster, grotendeels bestaande uit waterstof. Rond het middelpunt is het zo heet dat een speldekop die een dergelijke temperatuur zou bezitten, een mens in het heelal (luchtledig) op een afstand van 166 km zou doden. Onder zulke temperatuur (en druk) kunnen lichte waterstofkernen samensmelten of fusioneren tot zwaardere heliumkernen. In dit proces, kernfusie genoemd, wordt een gedeelte van de massa omgezet in energie. Dit nucleaire proces gaat in principe door tot alle waterstof is opgebruikt, wat pas over 10 miljard jaar zal zijn, dus naar menselijke tijdrekening vrijwel voor altijd. De hoeveelheid vrijgekomen energie is enorm.

De zon is werkelijk een gigantische thermonucleaire reactor, die op een afstand van 150.000.000 km per seconde ongeveer 418.540.000.000.000.000.000.000 (of $4,1854 \times 10^{26}$) joules warmte produceert. Deze per seconde door de zon uitgestraalde energie is gelijkwaardig met de warmte, vrijkomend bij verbranding van ruim 10.000 biljoen (1 biljoen is een miljoen maal een miljoen) ton steenkool of 8.000 biljoen ton aardolie.

De stralingsenergie van de zon doet zich voor als elektromagnetische golven, die onderling van elkaar verschillen in energie en in golflengte. Minder dan één miljardste ervan bereikt de aarde. Daar treedt zij in wisselwerking met de bestanddelen van de atmosfeer en vervolgens met de stoffen aan de oppervlakte: water, land en begroeiing. Van de zonne-energie die de aarde bereikt, wordt ongeveer 30 % teruggekaatst door de atmosfeer, de wolken of het aardoppervlak. Dit proces zorgt ervoor dat het grootste deel van de ultraviolet- en infraroodstraling het aardoppervlak niet kan bereiken, zodat de stralingsenergie die wel op aarde valt, grotendeels in het zichtbare deel van het spectrum ligt. We nemen het waar als zonlicht. Ongeveer 47 % bereikt het land of de oceaan en wordt geabsorbeerd. Wat met deze lichtenergie gebeurt hangt af van de kleur van het materiaal waarop het licht valt. Donkere gebieden, zoals oceanen en bossen, absorberen bijna alle energie die erop valt. Witte stoffen absorberen bijna niets van het erop vallende licht, maar kaatsen het terug. Over verloop van tijd is er noch winst noch verlies van warmte op aarde, aangezien alle oppervlaktewarmte uiteindelijk in de ruimte terugkeert.

16

Minder dan één miljardste van de stralingsenergie van de zon bereikt de aarde. Van deze zonne-energie wordt ongeveer 30 % teruggekaatst door de atmosfeer, de wolken of het aardoppervlak. Ongeveer 47 % bereikt het land of de oceaan en wordt geabsorbeerd. Ongeveer 20 % zet de zgn. waterkringloop in beweging. Slechts 0,02 % van de zonne-energie die de aarde bereikt, wordt opgevangen door groene planten en gebruikt voor de fotosynthese.

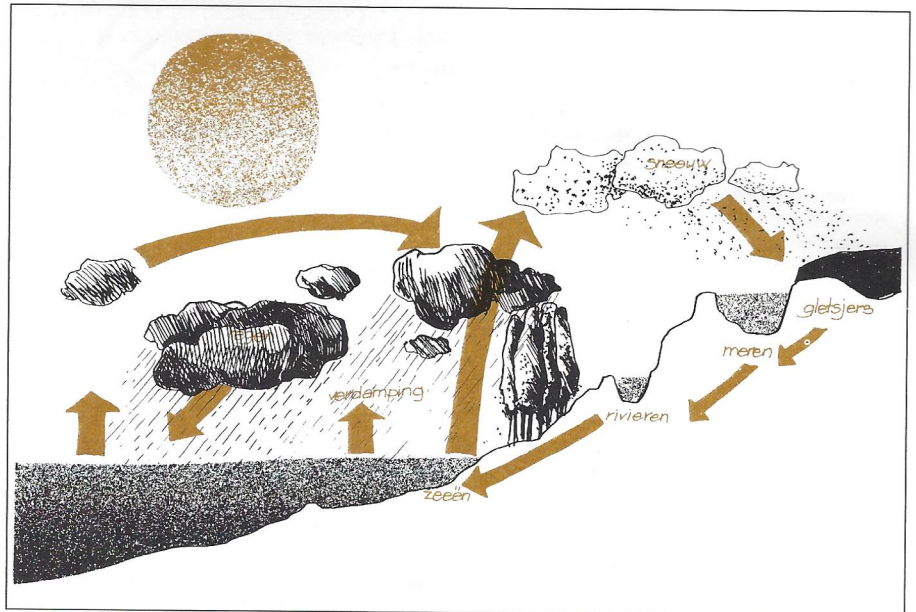


Binnen dat tijdsverloop doet de stralingsenergie van de zon zich in tal van verschijningsvormen voor. De aarde beschikt immers over de bijzondere eigenschap deze energie op te slaan, te verspreiden en in verschillende vormen te gebruiken.

Gedurende miljoenen jaren werd door de aarde zonnestraling opgeslagen. Grote hoeveelheden stralingsenergie zitten in resten van vroeger leven: planten en bomen. Het vuur, waarmee wij ons warmen is zonnewarmte, opgeslagen in het hout van de bomen en vrijkomend als wij het verbranden. De planten, die in vroeger tijden zonlicht opvingen, werden later turf, en nog veel later steenkool, aardolie en aardgas.

Door de zon waait de wind. Ze zorgt voor de watertoevoer van de rivieren. Ongeveer 20 % van de zonne-energie die de aarde bereikt, zet de zgn. waterkringloop in beweging. De herverdeling van water rond de wereld door toedoen van de zon verloopt in een kringloop. Het water wordt opgenomen door planten en keert als damp in de atmosfeer terug. Ook

De herverdeling van water rond de wereld door toedoen van de zon verloopt in een kringloop. Het water wordt opgenomen door planten en keert als damp in de atmosfeer terug. Ook door verdamping uit de oceanen komt waterdamp in de atmosfeer. Bij de afkoeling kan deze waterdamp wolken vormen en deze worden door de wind over de landmassa's gedreven. Daar slaat de damp neer als regen of sneeuw. Via de rivieren komt het water uiteindelijk weer in zee en zo sluit de waterkringloop zich.



door verdamping uit de oceanen komt waterdamp in de atmosfeer. Bij de afkoeling kan deze waterdamp wolken vormen en deze worden door de wind over de landmassa's gedreven, waar de damp neerslaat als regen of sneeuw. Via de rivieren komt het water uiteindelijk weer in zee en zo sluit de waterkringloop zich.

De zon doet planten groeien: het zonlicht wordt erin opgeslagen in levend weefsel.

Slechts 0,02 % van de zonne-energie die de aarde bereikt wordt opgevangen en gebruikt door planten die chlorofyl bevatten, waardoor een chemisch proces tot stand komt, dat fotosynthese wordt genoemd. Van deze fotosynthese hangt de schepping en instandhouding van het leven op aarde grotendeels af. Planten zorgen immers voor zuurstof en voedsel voor dier en mens.

2.1.2. Het liesje is een vlijtige zonneklopper: fotosynthese.

Mensen en dieren zijn voor hun zuurstof en voedsel afhankelijk van planten. Alleen planten en enkele bacteriën zijn immers tot fotosynthese in staat. Hoe gaat dit in zijn werk?

Levende, groene planten halen energie uit het zonlicht (fotonen).

Deze *fotonen* worden opgevangen door de chlorofylmoleculen van de groene bladeren. Hierdoor hebben planten de eigenschap een *synthese* tot stand te brengen tussen kooldioxyde (CO_2), dat ze uit de lucht halen en water (H_2O), dat ze uit de bodem halen. Daarom spreekt men over fotosynthese, letterlijk 'samenstelling met behulp van licht'.

Uit die anorganische bestanddelen worden organische verbindingen gevormd zoals koolhydraten, eiwitten en vetten.

Deze organische verbindingen vormen de brandstof voor het aandrijven van de kringloop van ecosystemen.

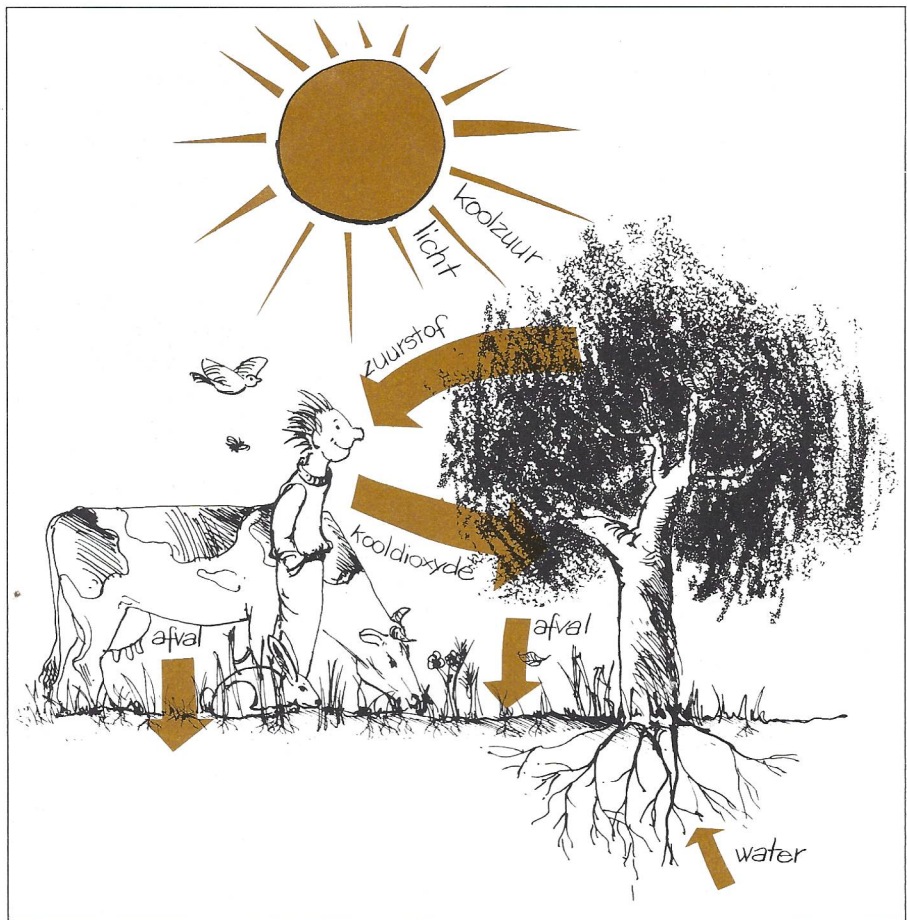
Voedselaanmaak en zuurstoftoevoer door planten grijpt plaats in een kringloop van zuurstof en koolstof.

We zouden ons kunnen afvragen waarom in de miljoenen jaren dat er leven op aarde is, alle zuurstof uit de lucht niet al lang opgebruikt is door ademhaling.

De zuurstof van de lucht wordt voortdurend verversd door het werk van de planten. Bij fotosynthese breken zij met behulp van zonne-energie het watermolecule H_2O af. De zuurstof erin (O_2) wordt vrijgegeven aan de lucht, de waterstof (H_2) wordt verbonden met kooldioxyde.

In de weefsels van ons lichaam verbranden wij heel langzaam voedsel. Deze voedselvoorraad in ons lichaam bestaat uit koolstofverbindingen. Als zuurstof zich met die verbindingen vermengt, wordt er water en kooldioxyde gevormd. Wanneer we uit onze longen ademen, bestaat onze adem gedeeltelijk uit water en kooldioxyde. Door kooldioxyde uit te ademen, leveren we de planten het gas dat zij voor de fotosynthese nodig hebben.

Fotosynthese is het proces waarbij groene planten zonne-energie absorberen en zuurstof en koolhydraten aanmaken uit kooldioxyde en water. Het proces werkt alleen overdag bij zonlicht. Bij ademhaling worden koolhydraten afgebroken, waarbij energie vrijkomt en kooldioxyde afgegeven wordt. Kooldioxyde wordt opgenomen door planten en zuurstof komt vrij. Als planten en dieren vergaan, komt weer kooldioxyde vrij.



Samenvattend: planten nemen kooldioxyde op en staan zuurstof af, mensen ademen zuurstof in en ademen kooldioxyde uit.

2.1.3. De komst van de energieke mens.

De mens maakt samen met dieren en planten deel uit van de *ecosfeer* of *biosfeer*, de gordel rond de aarde waarbinnen alle levende materie bestaat.

De vandaag bestaande vormen van leven zijn echter maar een kleine minderheid van alle vormen die het leven heeft aangenomen sinds het zo'n 4,5 miljard jaar geleden op aarde ontstond.

In het totaal hebben er 10.000 keer het aantal soorten bestaan dan de nu nog levende. Sinds het ontstaan van het dierlijk leven zo'n 600 miljoen jaar geleden ontstonden ongeveer 2.500 dierenfamilies, waarvan er nu al weer twee derden uitgestorven zijn.

Sinds Darwin (*Origin of Species*, 1859) weten we dat de mens in zijn huidige vorm (*homo sapiens*), die zowat 400.000 jaar op aarde is, behoort tot de mensapen in de klasse van de zoogdieren en ontstaan is uit een natuurlijk evolutieproces. De mens betreft door arbeid zijn bestaansmiddelen uit de natuur. In die omgang met de natuur gaat hij steeds bepaalde maatschappelijke betrekkingen met andere mensen aan: zijn relatie tot de natuur wordt bepaald door de wijze waarop hij georganiseerd is in de produktie.

In de landbouweconomie bleef de mens nog sterk verbonden met de natuurlijke ritmen. De opkomst van het kapitalisme bracht hierin verandering. Na een rijpingsproces van drie à vier eeuwen binnen de feodale structuren, werd het de laatste twee eeuwen de overheersende produktiewijze over de gehele wereld; de rechtstreekse verhouding van alle mensen met de natuur werd verbroken.

Elke zelfbedruipende gemeenschap waarin alle levende organismen een stofwisseling met hun levende en niet-levende omgeving binnen de *ecosfeer* onderhouden, noemen we een *ecosysteem*.

Een ecosysteem kan een planeet zijn, een woud, een vijver, een tuin, enz.

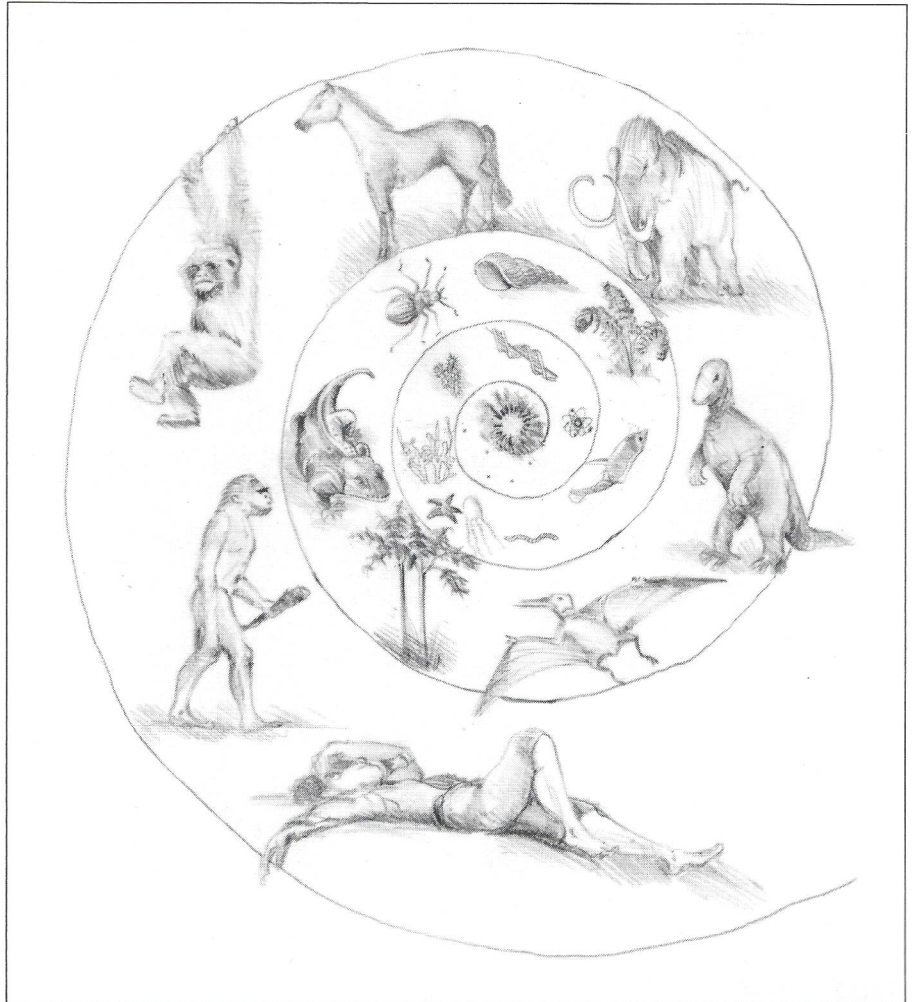
Alle ecosystemen op aarde zijn met mekaar verbonden binnen één planetair ecosysteem, de ecosfeer. Het belang van deze onderlinge verbanden is onschatbaar; verstoort men een ecosysteem op een bepaalde plaats, kan dit elders ingewikkelde en vaak onvoorspelbare problemen veroorzaken. Eveneens kenmerkend voor ecosystemen is dat materie er in een kringloop beweegt.

De vier elementen waaruit levende materie voornamelijk opgebouwd is zijn koolstof, waterstof, zuurstof en stikstof. Deze bewegen zich in verschillende stadia van onderling met elkaar verweven kringlopen door de natuur. Op een bepaald moment zijn ze een bestanddeel van de atmosfeer, dan weer bestanddeel van levende organismen, vervolgens komen ze in bepaalde afvalstoffen in het water voor, en na verloop van tijd kunnen ze aan mineralen of aan fossiele resten gebonden worden.

Het is duidelijk dat een systeem dat voortdurend zijn eigen bouwstoffen vormt zonder verliezen, stabiel is: als het niet van buitenaf verstoord wordt, zal het voortbestaan zolang de energie duurt waarop het berust.

19

De mens in zijn huidige vorm (*homo sapiens*), die zo'n 400.000 jaar op aarde is, behoort tot de mensapen in de klasse van de zoogdieren en is ontstaan uit een natuurlijk evolutieproces.



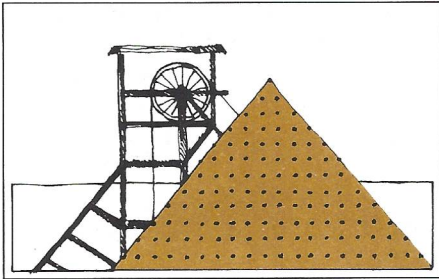
2.2.

De bijzonder tijdelijke kracht van energie.

Zoals we zagen is de bron van alle energie de zon, waarvan alle andere 'energiebronnen' afgeleid zijn. Deze laatste noemen we dan ook *energiedragers*: zij zijn dragers van geconserveerde zonne-energie. Steenkool, aardolie en aardgas ontstonden in de prehistorie uit overblijfselen van destijds levende organismen en worden *fossiele brandstoffen* genoemd. Bij de fotosynthese zagen we hoe de instandhouding en de groei van de plantenwereld afhankelijk is van zonlicht.

Om de zonne-energie, die in fossiele brandstoffen opgeslagen is, eruit te halen, moet men ze verbranden. Deze verbranding is niets anders dan de terugwinning van een bepaalde hoeveelheid

zonne-energie, die in de vorm van koolstofverbindingen opgeslagen is in de aardlagen. De aardkorst nu bevat slechts een eindige voorraad van elk van de fossiele brandstoffen. Ook de voorraad uranium, nochtans geen fossiele brandstof, is niet onuitputtelijk. Uranium wordt in de natuur aangetroffen in ertsen, die in open of ondergrondse mijnbouw gedolven worden, net als steenkool. Deze grondstof dient niet als brandstof maar als *splijstof*, nodig voor de opwekking van kernenergie. Het snelle tempo waarmee men fossiele brandstoffen en uranium verbruikt, staat in schril contrast met de miljoenen jaren die ze nodig hadden om gevormd te worden. Vroeg of laat raken deze voorraden uitgeput.



2.2.1. Steenkool, belegen bruinkool.

De meeste steenkoollagen werden gevormd in het Carboon, zo'n 270 tot 350 miljoen jaar geleden. Die vorming vindt zijn oorsprong in levende organismen, met name de planten.

Planten bestaan voor het grootste gedeelte uit water (95 %), dat zij met hun wortels uit de grond halen. Voor de opbouw van het plantenlichaam zijn nog een aantal stoffen noodzakelijk, die over het algemeen via het water uit de grond opgenomen worden zoals stikstof, fosfor en kalium. De afgestorven bladeren en takken van planten dienen evenals dierlijke overschotten als grondstof voor de aanmaak van deze bouwstoffen. Dit afvalmateriaal wordt ontbonden met behulp van een leger van organismen (virussen, bacteriën, schimmels, diverse insecten en hun larven) en via een ruime toevoer van zuurstof.

In een 'dichtgeslagen' bodem nu, waarin geen zuurstof meer wordt toegevoerd, kunnen afgestorven planten omgezet worden tot een veenbodem, laag op laag. Als dergelijk samengeperst veen gedroogd wordt, kan het gebruikt worden als brandstof (turfs). Doordat dit veen honderden miljoenen jaren lang bedolven geweest is, geraakte het 'versteend'. De gezamenlijke invloed van druk en warmte verwijderden de waterstof en zuurstof eruit. Hierdoor nam het percentage koolstof in het veen toe, zodat eerst bruinkool en later steenkool ontstond. De beste steenkool voor verwarming is de soort met het hoogste gehalte koolstof, met name antraciet. Daarentegen is de meest voorkomende steenkoolsoort de bitumensteenkool. Deze bevat tussen de 70 % en 90 % koolstof. Als regel geldt dat hoe ouder de afzetting, des te beter de kwaliteit steenkool is. Dit komt omdat het 'verkolings'-proces dan gedurende een langere periode heeft plaatsgevonden.

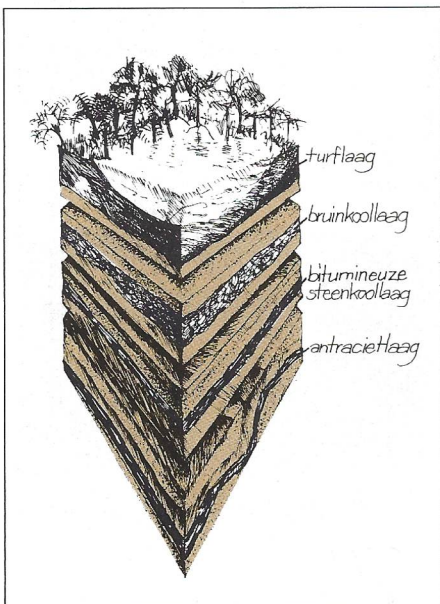
Een onderzoek van de steenkoollagen uit de Carboonperiode laat vermoeden dat ze afgezet werden in enorme kustmoerassen en dat iedere laag de vegetatie van zo'n moeras vertegenwoordigt. De echte steenkool vormt slechts een klein deel (minder dan 50 %) van het gesteente waarin de steenkoollagen aangetroffen worden. Leisteen, zandsteen en andere rotsen vormen het grootste gedeelte van het gesteente. Er is een duidelijke opeenvolging van gesteentesoorten, die vele malen herhaald wordt. De steenkoollagen komen voor met een dikte van enkele millimeters tot 15 meter of soms meer. De dikkere lagen vertegenwoordigen enorme opeenhopingen van plantenresten. Men heeft geschat dat 6 meter plantenafval werd omgezet in ongeveer 30 cm steenkool.

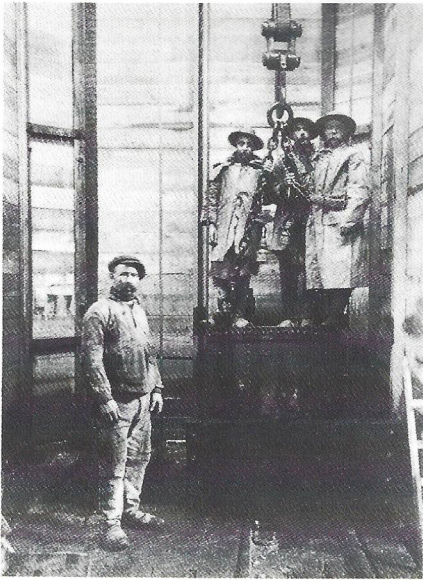
De bruikbaarheid van steenkool als brandstof was reeds tijdens de Oudheid bekend. Sinds de Romeinen werd het in Northumberland en in Schotland in dagbouw gewonnen. Bij dagbouw worden de bovenste grondlagen afgegraven (tot max. 600 m), waarbij het erts eenvoudig kan opgescheept worden. Dit systeem wordt vandaag nog onder meer in de Verenigde Staten en in Zuid-Afrika toegepast.

Wegens het nijpend houttekort nam de steenkoolproduktie vooral sinds de 16e eeuw snel toe.

De Industriële Revolutie, die een aanvang nam in de tweede helft van de 18e eeuw, creëerde aanzienlijke afzetgebieden voor de steenkool, die op wereldvlak tot 1960 de voornaamste brandstof bleef.

20
Bodemdoorsnede met de stadia die steenkool bij zijn vorming doorloopt. Hoe dieper de lagen, hoe hoger de energetische waarde door toename van druk en temperatuur.



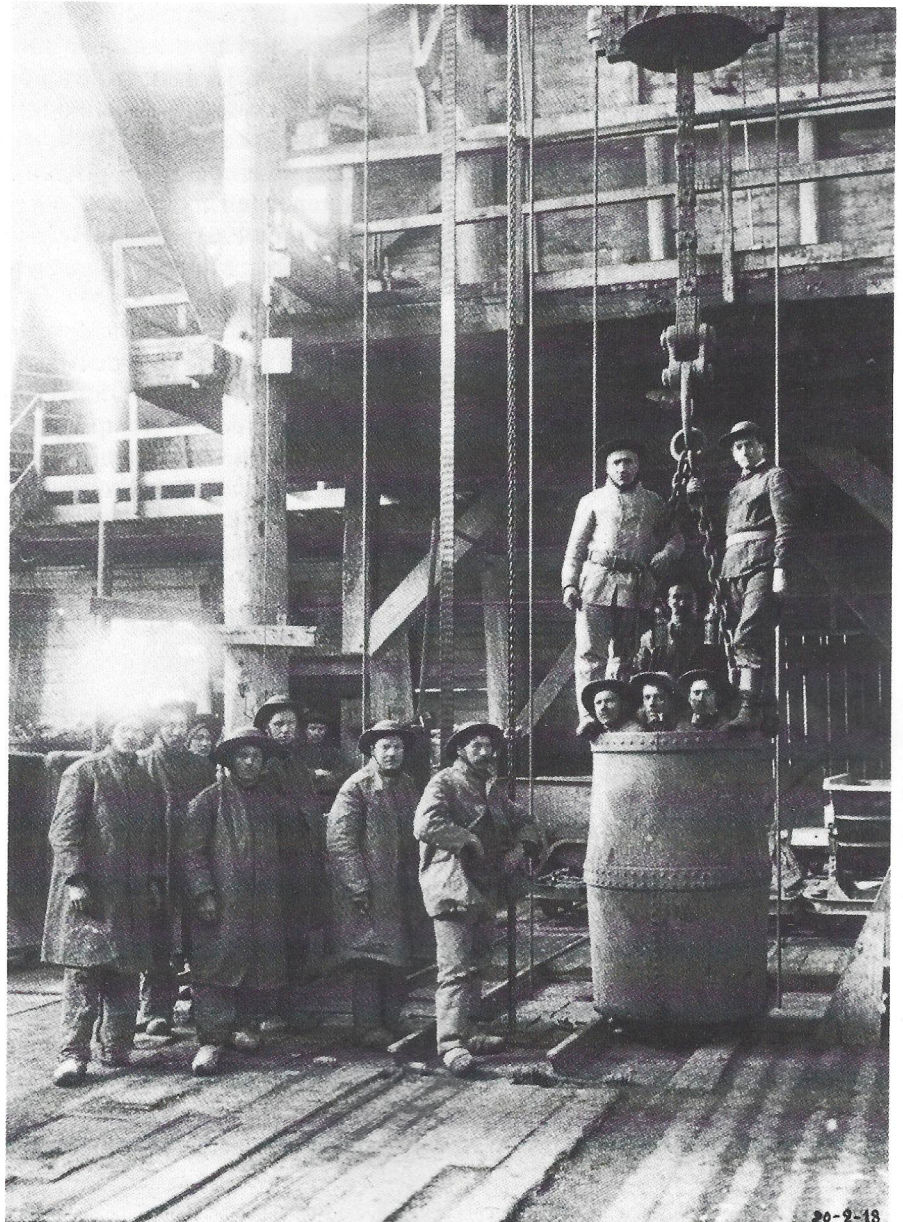


21
Bouw der schachten in de mijn van Beringen (1918).

22
Afdaling van de 'schachtstuikers' in de mijn van Beringen (1918). Zij moesten de bekuiping van de schacht waterdicht maken.

Meer dan 80 % van de steenkool in de wereld ligt in drie landen: de Verenigde Staten, de Sovjetunie en China. Andere landen die toch nog over aanzienlijke voorraden beschikken zijn Canada, Polen, Zuid-Afrika, Botswana, Australië, Engeland en West-Duitsland. Het Belgische steenkoolbekken behoort tot het Europese steenkoolgebied dat zich uitstrekt van Groot-Brittannië tot de Oekraïne. Volgens historische bronnen werd reeds steenkool ontgonnen in het Luikse vanaf het einde van de 12e eeuw. Tot 1900 kenden de Waalse steenkoolbekkens een steeds stijgende produktie die aan het binnenlands verbruik ruimschoots kon voldoen. Toch hadden de Waalse mijnen al te kampen met een tekort aan industriekolen, zodat in 1900 reeds 3 miljoen ton vette steenkool en cokeskolen ingevoerd werden. Hoe dan ook, in 1900 was een maximumproduktie van ongeveer 23 miljoen ton bereikt. Een kolennoed op langere termijn lag in het vooruitzicht. Vandaag liggen alle Waalse mijnen er verlaten bij. De laatste mijn van het Luikse bekken, die van Blegny-Trembleur werd in 1980 gesloten en wordt thans als een toeristische bezienswaardigheid uitgebaat. De laatste Waalse mijn die overbleef was die van Roton in het bekken van Charleroi, waar nog 1.518 mijnwerkers tewerkgesteld waren. Deze mijn werd op 28 september 1984 gesloten.

De late ontdekking van het Kempisch steenkoolbekken was in de eerste plaats te wijten aan de 500 meter dikke deklagen, waardoor de steenkool nergens aan de oppervlakte komt. Economische overwegingen, met name



de produktiestagnatie in het Waalse bekken en de stijgende kolenprijzen, lagen aan de basis van de eerste proefboringen in de Kempen. Het was André Dumont die met de financiële steun van het Waalse industriebekken, waaronder ook de Waalse staalindustrie, in 1901 de eerste succesvolle boring te As, in Limburg uitvoerde.

Toch zou de ontginning zelf nog lang op zich laten wachten. Pas in 1917, onder Duitse bezetting, kon de mijn van Winterslag haar produktie starten. Het was de enige mijn in de Kempen die niet af te rekenen had met de moeilijk doordringbare onderste drijfzandlagen.

Achtereenvolgens kwamen Beringen (1922), Eisden (1923), Waterschei (1925), Zwartberg (1926), Helchteren-Zolder (1930) en Houthalen (1939) in produktie.

Aangezien de Limburgse ondergrond vette steenkool bleek te bevatten, koesterde men optimistische vooruitzichten. De kwaliteit van steenkool wordt immers bepaald aan de hand van vluchtige bestanddelen: hoe hoger dit gehalte, hoe 'vetter' de steenkool. Deze vette steenkool kan gebruikt worden voor cokes (o.a. voor hoogovens van metaalfabrieken), als brandstof in de elektrische centrales of voor de gasproduktie (sterke concurrentie van aardgas).

Samen met andere vetkoolproducerende steenkoolmijnen werd het Kempisch bekken echter in de jaren vijftig het slachtoffer van het zuiniger verbruik in de staalproduktie, het goedkoper geworden transport, de invoer van betere en goedkopere Amerikaanse en Poolse steenkool en het verdwijnen van de stoommachine als grote verbruiker van halfvette steenkool.

Tussen 1957 en 1959 daalde het Europese steenkoolverbruik van 286 tot 243 miljoen ton. Hierdoor ontstonden produktie-overschotten op de markt. België werd een saneringsplan opgelegd door de Europese Gemeenschap voor Kolen en Staal (EGKS), die sinds haar oprichting in 1952 erover waakte dat de produktie en prijzen van steenkool en staal onder de aangesloten leden in overeenstemming waren.

Tussen 1959 en 1961 werd de Belgische produktiecapaciteit met 7 miljoen ton verminderd. Mijnsluitingen en reorganisaties volgden elkaar in steeds hoger tempo op.

In het sociaal conflict naar aanleiding van de sluiting van de mijn van Zwartberg in 1966, schoot de rijkswacht twee mijnwerkers dood.

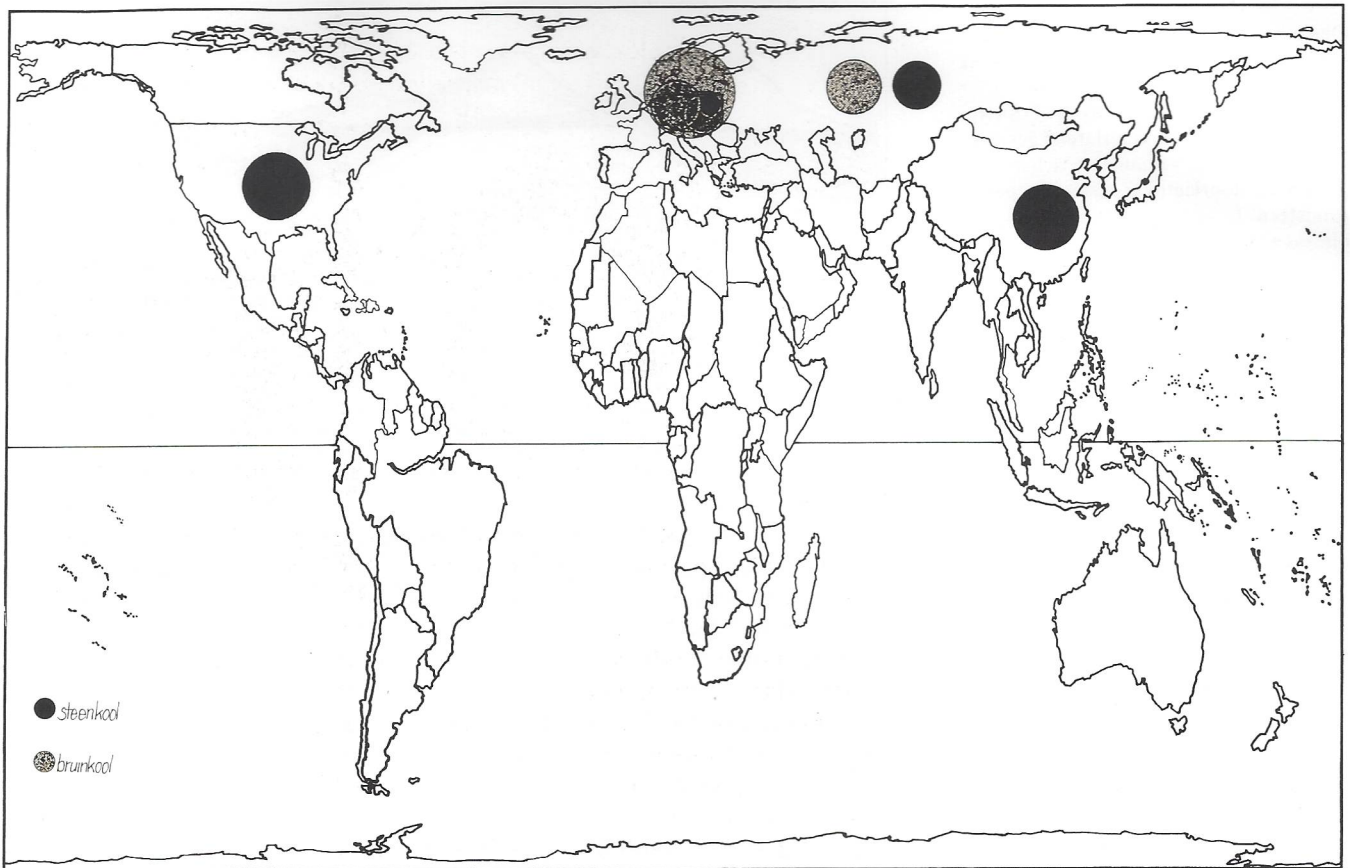
Een jaar later, in 1967, werden de vijf resterende Limburgse mijnen gefusioneerd in de NV Kempense Steenkoolmijnen (KS).

De KS is een fusie van vijf mijnen: Zolder, Beringen, Eisden, Waterschei en Winterslag. De administratieve zetel is in Houthalen. In 1982 produceerde de KS 6,2 miljoen ton steenkool. De Waalse mijn van Roton leverde in dat jaar 260.000 ton. De invoer van buitenlandse steenkool vooral vanuit Amerika, Zuid-Afrika en de Duitse Bondsrepubliek gaat

23

Binnenzicht van ketelhuis te Waterschei.
Eerste ketels voor kolengestookte
elektrische centrale (± 1920).



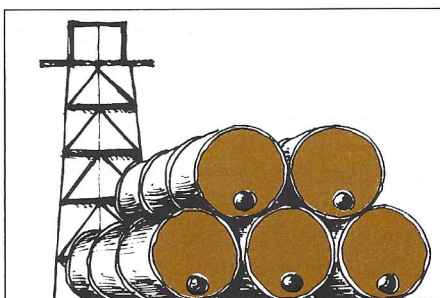


24
De voornaamste winningsgebieden van steenkool in de wereld.

intussen onverminderd verder: van 7 miljoen ton in 1978 tot 10,5 miljoen ton in 1982.

De prijs ervan is een heel stuk lager, soms niet eens de helft van wat de KS-kolen kosten. De Limburgse mijnexploitatie gebeurt immers in geologisch ongunstige omstandigheden. In tegenstelling tot vele buitenlandse mijnen, waar de kolen als het ware voor het opscheppen liggen, moeten bij ons de mijnwerkers 700 m, vaak 1.000 m onder de grond wroeten. Ondanks technologische verbeteringen blijft het zwaar labeur. Terwijl in andere landen de steenkool in volle expansie is als alternatief voor dure olie, krimpt de winning in België in. Door het uitblijven van de nodige investeringen is het rendement er veel lager: een Belgische mijnwerker haalt gemiddeld per dag 2,3 ton steenkool boven, de Amerikaanse produktie gaat van 9 ton ondergronds tot 90 ton bovengronds per man. Een Belgische ton steenkool kost rond de 3.000 frank, waarvan zowat een derde door de staat wordt gesubsidieerd.

De Kempische mijnindustrie, hoewel zwaar gehavend, leeft nog; zij is de broodwinning van zo'n 20.000 arbeiders (19.371 in 1983). De industrie die van de KS leeft, is goed voor nog eens half zoveel werknemers. Haar toekomst en haar rol in het Belgisch energiebeleid bekijken we in 4.2.2.



2.2.2. Aardolie, energie van 't vat.

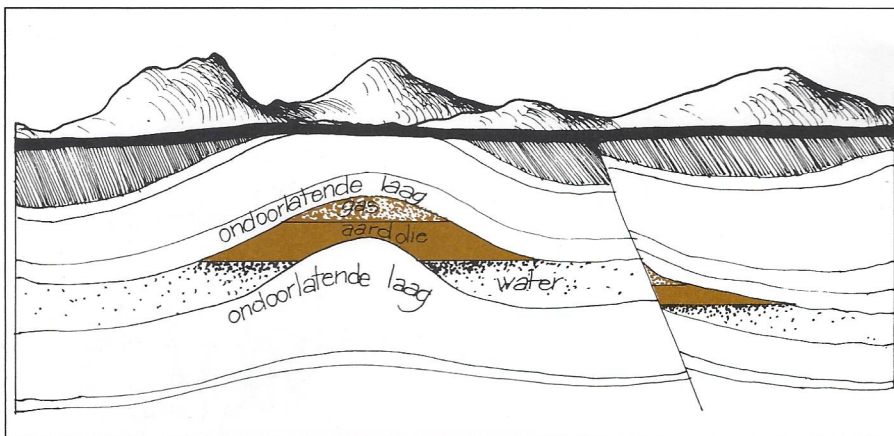
De vorming van olie lijkt goed op die van steenkool. Het verschil in samenstelling tussen deze twee brandstoffen wordt alleen veroorzaakt door de aard van de organismen waaruit ze oorspronkelijk bestaan. Steenkool is hoofdzakelijk afkomstig van landplanten die zeer rijk zijn aan koolstof. Olie is afkomstig van de lichamen van miljoenen zeeorganismen (plankton), die een grote hoeveelheid waterstof bevatten. De jongste aardolievondsten gaan terug tot ca. 10 miljoen jaar geleden. De oudste vondsten werden gevormd zo'n 1 miljard jaar geleden.

Het verzamelbegrip aardolie moet zeer ruim opgevat worden. Hieronder worden verstaan alle koolwaterstofverbindingen, die zowel in gasvormige (methaan), in vloeibare als in vaste toestand (harde paraffine en asfaltachtige produkten) kunnen voorkomen.

Olie of petroleum komt onder de grond niet voor in de vorm van verzamelde vloeistof, maar in de vorm van kleine druppeltjes tussen

25

Olie wordt uitsluitend aangetroffen in sedimentair gesteente, dat door bezinking op de bodem van de zee opgebouwd is. Olie druppels zijn onder druk opgesloten geraakt in een laag ondoorlatend gesteente zoals leisteen. Zij verzamelen zich in de poriën van doorlaatbaar gesteente zoals zandsteen. Deze laag bevat gewoonlijk gas, olie en water.



sedimentkorrels. Als een olieveld wordt gevormd, wordt de ruwe olie tegengehouden door een ondoordringbare laag leisteen, zout, gips en fijnkorrelige zandsteen. De oliedruppels worden dan gevangen en verzamelen zich in de meer poreuze gesteenten onder de ondoordringbare laag. Gewoonlijk is de druk groot genoeg om de olie omhoog te stuwten, naar de oppervlakte. Deze druk wordt echter geleidelijk minder. De olie die zich verzamelt op de bodem van de bron, wordt dan niet langer naar de oppervlakte gestuwd, maar moet mechanisch opgepompt worden of langs kunstmatige weg omhoog gestuwd worden door gasdruk.

In 1859 installeerde kolonel Drake zijn eerste boortorens te Titusville in Amerika en leidde aldus het tijdperk van de aardolie in.

Wat steenkool betekend had voor de politieke en economische expansie van Engeland, deed olie nu voor de Verenigde Staten. Het was een land rijk aan olie en grondstoffen met een jonge, snel groeiende industrie. Op het vlak van winning, verwerking en verbruik ontwikkelde het zich al gauw tot het belangrijkste olieland. Na de Eerste Wereldoorlog nam het de plaats van Engeland over als het voornaamste industrieland ter wereld en bracht een waar 'olie-imperialisme' tot stand.

26

Een olieveld in Californië tegen het einde van de jaren '20.

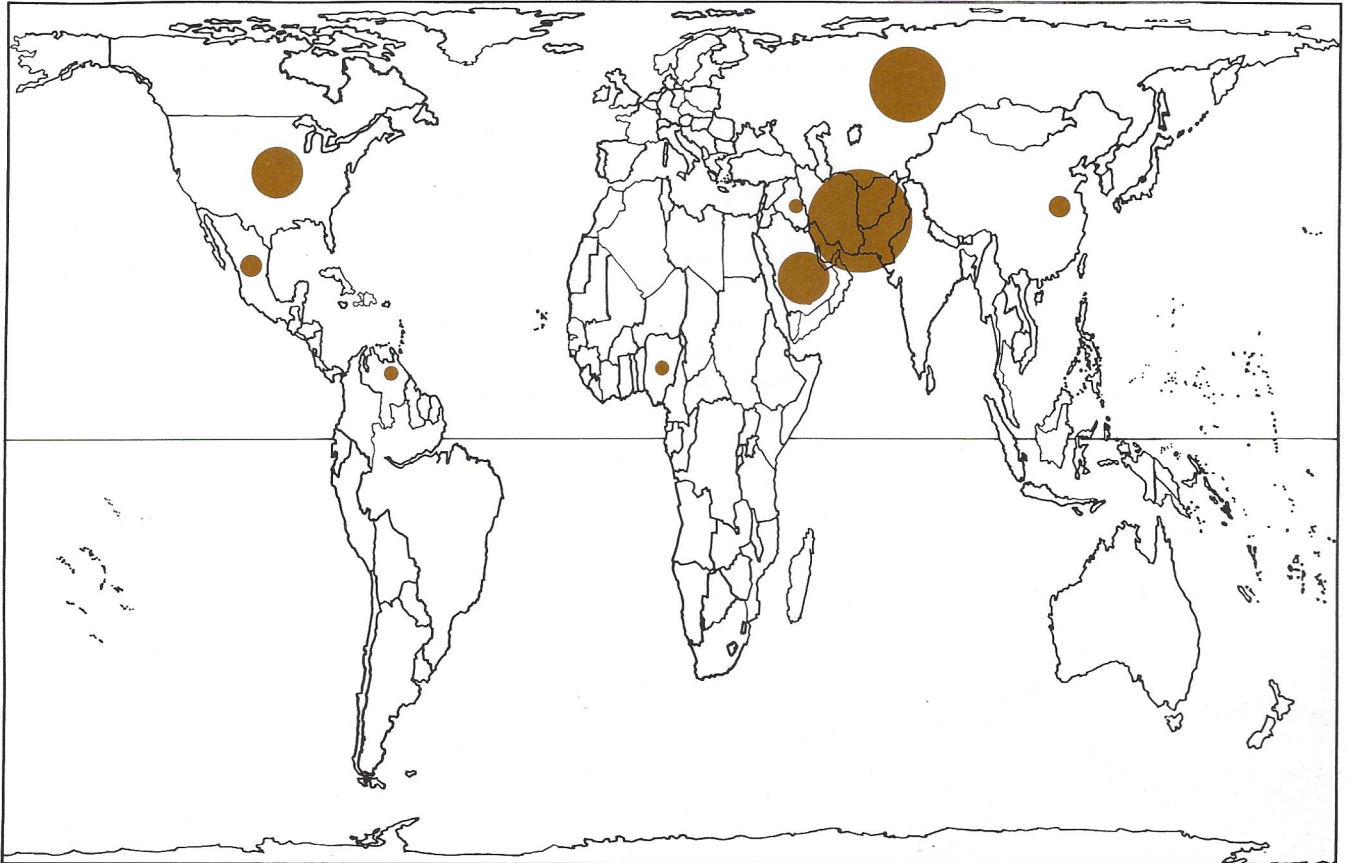


Weliswaar werd de zwartkleurige, kleverige vloeistof tot in het begin van de 20e eeuw nog maar in beperkte hoeveelheid gebruikt.

Vanaf 1895 echter zou de opkomst van de auto, uitgerust met motoren met inwendige verbranding, de vraag aanzienlijk doen stijgen.

De olieproductie was, van dat ogenblik af, nauw verbonden met de vooruitgang van de auto-industrie. Het geheel van vloeibare koolwaterstoffen, gedistilleerd tot 200° vormt de benzine die gebruikt wordt in ontploffingsmotoren. De opmars van de aardolie-industrie zou, omstreeks het midden van de 20e eeuw, het economisch belang van de steenkool brutaal fnuiken.

Lange tijd waren de Verenigde Staten de belangrijkste olie- en gasproducent. Nog in 1952 nam dit land 60 % van de wereldproductie voor zijn rekening. In de jaren vijftig echter besloten de grote Amerikaanse oliemaatschappijen de inspanning voor het vinden en ontginnen van olie te verplaatsen van de Verenigde Staten naar andere landen. Deze beslissing werd hen ingegeven door het vooruitzicht op veel hogere winsten; in het Midden-Oosten waren immers enorme voorraden goedkope ruwe olie ontdekt, waarvan de gemiddelde produktiekosten minder dan één tiende van die van de Verenigde Staten bedroegen. Met behulp van deze uit het Midden-Oosten ingevoerde olie, kwam trouwens in de jaren vijftig via het Amerikaanse Marshallplan de industriële ontwikkeling in West-Europa en Japan weer op gang.



27
De voornaamste winningsgebieden van aardolie in de wereld.

De distributie van olie was grotendeels gecentraliseerd in de handen van enkele machtige oliemultinationals. Deze kwamen vanaf 1960 tegenover een andere belangenorganisatie te staan: de OPEC of de organisatie van olie-exporterende landen.

Oorspronkelijk opgericht door de vier grootste olieproducerende landen van het Midden-Oosten, en Venezuela, groeide de OPEC al gauw uit tot een organisatie die alle olieproducerende landen van de Derde Wereld in haar schoot verenigde. De oprichting van OPEC was een reactie op het monopolie van de oliemaatschappijen; sinds 1973 is zij er grotendeels in geslaagd aanbod en prijs van olie (en aldus ook de wereldeconomie) mede te beïnvloeden. Op de politieke en economische implicaties van deze evolutie komen we later terug.

Vermelden we nog dat, naast de Verenigde Staten en de OPEC-landen, ook de Sovjetunie, Oost-Europa, China, Australië en West-Europa (Groot-Brittannië, Noorwegen) over belangrijke olievoorraden beschikken.

Ons land is volledig aangewezen op het buitenland voor de invoer van ruwe aardolie.

Was Saoedi-Arabië in 1981 nog veruit onze grootste olieleverancier, dan wordt deze rol in 1983 overgenomen door Groot-Brittannië. De Noordzee-olie vindt in België steeds meer een afzetgebied. Ook Noorwegen voert olie uit naar ons land; in 1983 was dit voor ongeveer 5 %, terwijl het Britse aandeel 20,5 % bedroeg.

Sinds de eerste aardoliecrisis in 1973, ontstond er een koortsachtige jacht naar olie in Alaska en vervolgens in de Noordzee. Uiteraard waren bij de winning van de Noordzee-olie alle grote oliemaatschappijen betrokken. Ook de Belgische oliemaatschappij Petrofina begon er een grote activiteit te ontplooiën: ze bekleedt na het Amerikaanse Phillips Petroleum de tweede plaats in de ontginning van het Ekofisk-veld, één van de rijkste vindplaatsen in de Noordzee.

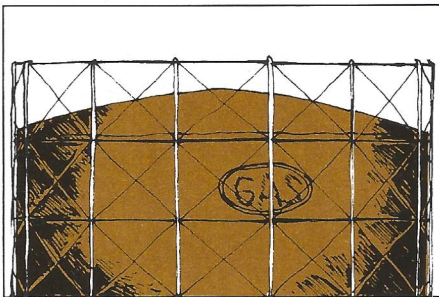
Vooraf in de grensstreek tussen de Noorse, Deense en Britse sectoren werden grote vondsten gedaan. De Noorse sector produceerde veel meer dan het nationale verbruik in Noorwegen, zodat dit land één van de nieuwe olie-uitvoerende landen werd. Groot-Brittannië daarentegen heeft een veel groter binnenlands verbruik vanwege zijn tien keer zo grote bevolking. Toch bracht de Noordzee vanaf 1980 meer op dan het (dalende) Britse binnenlands verbruik.

In dat jaar was de olieproductie in de Noordzee van vrijwel niets in 1975 opgelopen tot meer dan 500 miljoen vaten in 1980. Toch is deze olie altijd duur geweest, omdat ze van goede kwaliteit is. Het zwavelgehalte is zeer laag, wat deze olie erg geschikt maakt voor de raffinage van de veel gevraagde lichte produkten.

Van de OPEC-landen kan alleen Nigeria een dergelijke oliesoort leveren. Om aan zijn eigen economische problemen het hoofd te bieden, was Nigeria het eerste OPEC-land dat in februari 1983 zijn olieprijs terugbracht van 35,5 dollar naar 30 dollar per vat.

De Britten stemden hun prijsbeleid op dat van Nigeria af. Zo is de Britse Noordzee-olie steeds een halve dollar per vat goedkoper dan de duurste OPEC-olie.

Overlopen we het lijstje van de voornaamste olie-exporterende landen die in 1983 aan België leverden, dan ziet dat er zo uit (in volgorde van belang): Groot-Brittannië, Nigeria, Saoedi-Arabië, Libië, Sovjetunie, Irak, Iran, Noorwegen en Venezuela.



2.2.3. Aardgas, een bel in de bodem.

Natuurlijk gas is een mengsel van een aantal gassen, waarvan methaan het meest voorkomende is. De andere soorten gassen, die in natuurlijk gas voorkomen, zijn voornamelijk ethaan, propaan en butaan.

Natuurlijk gas wordt gevormd als dode organismen tot ontbinding overgaan bij gebrek aan vrije zuurstof. Door werking van de bacteriën wordt de zuurstof uit het materiaal verwijderd en dan blijft koolstof en waterstof over. Deze verbinden zich tot verschillende koolwaterstoffen, zoals methaan.

Als sediment bedolven wordt, worden door druk en warmte de gasvormige stoffen eruit verdreven. Dit verloopt echter zeer langzaam en steenkool die miljoenen jaren lang bedolven geweest is, bevat nog steeds een redelijke hoeveelheid gasvormige stoffen. Dit verklaart de aanwezigheid van methaan in kolenmijnen.

Als steenkool sterk verhit wordt zonder lucht, geeft het kolengas af, voornamelijk waterstof en methaan. Wat overblijft, cokes, is vrijwel zuivere koolstof.

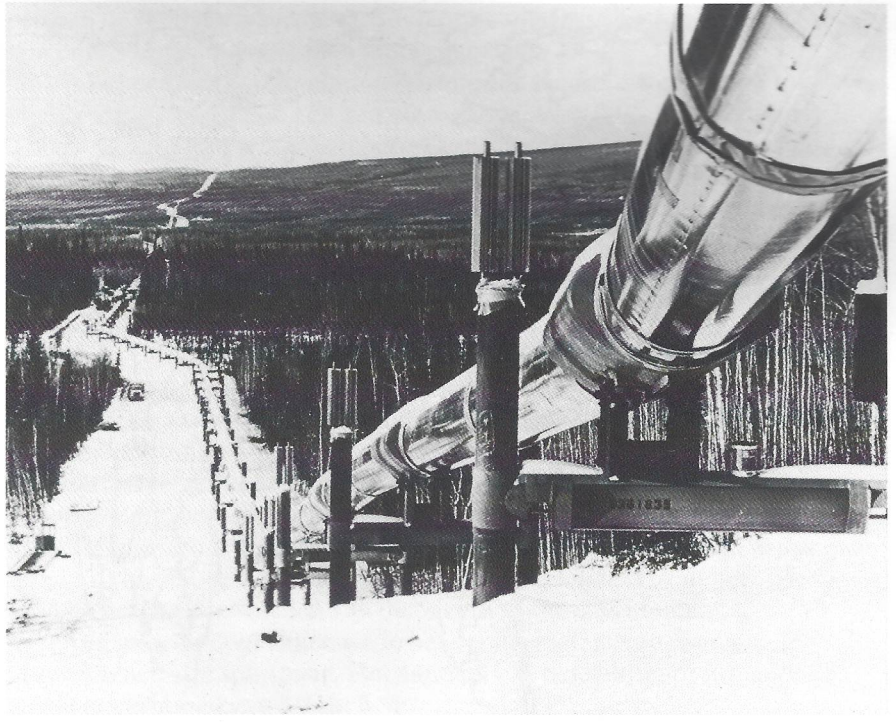
Rond 1800 werd kolengas gebruikt om de eerste straten te verlichten. Het bleef na de Tweede Wereldoorlog een gewaardeerde energiebron; in vele steden bepaalden de donkere gasfabrieken in belangrijke mate het silhouet. Mijnen, raffinaderijen en hoogovens maakten gas als bijproduct. Het ging hierbij steeds in hoofdzaak om waterstofgas.

De voorraden natuurlijk gas kunnen ook in verband staan met aardolie-afzettingen.

De druk van het bovenliggende gesteente drong het gas en de olie in het poreuze gesteente, zoals zandsteen, waar het nu aangetroffen wordt, afgesloten door bedekkingen van klei en ander ondoordringbaar gesteente. Vroeger beschouwde men natuurlijk gas uit oliebronnen als afvalmateriaal en liet men het affakkelen.

Het is echter gebleken dat dit het meest doelmatige gas is: het bevat meer dan 95 % brandbare koolwaterstof. Thans vormt aardgas de derde

De pijplijn ligt enigszins zigzag door het landschap van Alaska om inkrimpen en uitzetten door temperatuurverschillen te kunnen opvangen.



belangrijkste brandstof: 18 % in het wereldenergieverbruik. De rush naar aardgas begon omstreeks 1950 (in Nederland 1960). Aldus verdrong methaan, dat twee keer zoveel calorieën bevat, in snel tempo, het aloude waterstofgas. Men onderscheidt nat en droog aardgas.

Nat aardgas komt bij olie voor, droog gas is ontstaan uit kolen en zit daardoor veel dieper. De enorme hoeveelheden onderaards gas, zoals bij Slochteren in Nederland, worden verklaard door de aanwezigheid van enorme zoutpakketten die het gas als met dikke glasplaat afsluiten en voor ontsnapping behoed hebben.

In tegenstelling tot aardolie wordt aardgas in de eerste plaats verbruikt door de landen die het produceren. De voornaamste producenten in de wereld zijn de Verenigde Staten en de Sovjetunie; hun aandeel in de wereldproductie is respectievelijk 40 en 25 %.

Vermits het verbruik van aardgas in de Sovjetunie twee keer zo klein is als in de Verenigde Staten, kan de Sovjetunie aardgas exporteren, de Verenigde Staten niet.

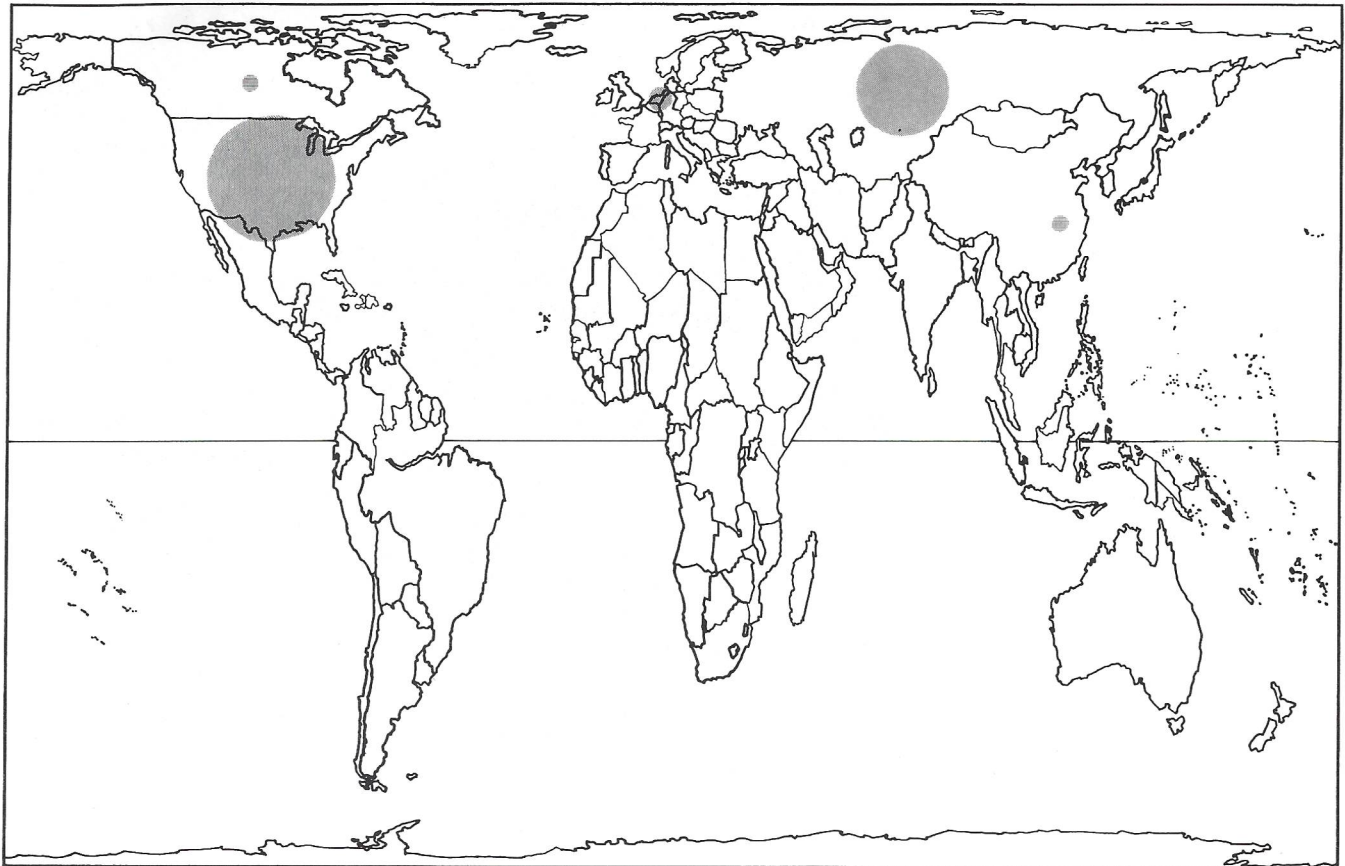
België was lange tijd vrijwel geheel aangewezen op het Nederlandse aardgas.

In Slochteren, in het noorden van Nederland, werd in 1959 één van de grootste aardgasbellen ter wereld ontdekt.

Het lag voor de hand dat de industrie in België er als de kippen bij was om het (toen nog) goedkope aardgas uit Groningen te importeren.

In het eerste jaar na oktober 1966, toen het aardgas voor het eerst de grens overkwam, bedroeg de levering een half miljard m³. Tien jaar later was deze hoeveelheid vierentwintig maal zoveel.

Na de ontdekking van de gasbel in Slochteren werd de exploitatie in de Noordzee nog opgevoerd. Er werden effectief grote gas- en olievelden gevonden, die reserves bewezen van 30 tot 45 miljard vaten olie en bij de 1.200 miljard kubieke meter gas. Nadat in 1973 de aardolie duurder geworden was, paste ook Nederland zijn aardgasprijzen aan. Bovendien wilde het langer van zijn eigen reserves genieten. Daarom zocht België, via de distributiemaatschappij Distrigas, naar andere gasleveranciers. In de Noorse sector van de Noordzee werd in de jaren zeventig overvloedig gas gevonden, onder meer in het Ekofisk-gebied. Hier is de oliemultinational Petrofina op één na de grootste werkmaatschappij. Ook nam België contact op met Algerije, dat over grote gashoeveelheden beschikt. Met de Algerijnse staatsmaatschappij Sonatrach sloot Distrigas een akkoord voor levering van aardgas. Het eerste aardgas uit dat land zou in 1982 per Belgisch en Algerijns methaanschip aan de LNG-terminal in Zeebrugge aangevoerd worden. Vertraging in de bouw van die terminal stuurde echter



29
De voornaamste winningsgebieden van aardgas in de wereld.

deze plannen in de war. Zo werd in 1982 het eerste Algerijnse gas geleverd via een Bretoense overslaghaven. Deze oplossing blijkt overigens goedkoper te zijn dan het vervoer naar en de verwerking in de nieuwe installatie in Zeebrugge.

Ook is mogelijke levering van aardgas vanuit de Sovjetunie via de 4.000 km lange pijp (in aanleg) uit Urengoy niet uitgesloten. Daar waar Nederland in 1979 nog voor 83,2 % van de aardgaslevering aan België instond, is dit cijfer in 1983 gedaald tot 59 %. In datzelfde jaar leverde Noorwegen voor 21 %, Algerije voor 20 %.



2.2.4.

Uranium, de kern van de zaak.

2.2.4.1.

De grondstof uranium.

Hoewel uranium geen fossiele brandstof is, waarvan het ontstaan afhangt van de zon, behoort het toch tot de niet-hernieuwbare energiedragers. Uranium wordt in de natuur aangetroffen in tal van gesteenten. Gesteenten met een hoog gehalte aan uranium noemen we ertsen.

De grootste voorraden uranium komen voor in zandsteen, d.i. samengeperst zand dat poreus is gebleven. Vaak stromen allerlei oplossingen door dit zandsteen en wanneer deze uranium bevatten is het mogelijk dat een deel van het uranium in het zandsteen achterblijft. Op dezelfde manier kan uranium vastgehouden worden door steenkool en kunnen er in principe radioactieve deeltjes vrijkomen wanneer deze steenkool verbrand wordt.

Uranium wordt op een vrij groot aantal plaatsen in de wereld aangetroffen, hoewel over het algemeen in vrij kleine hoeveelheden. Winning van uranium wordt pas echt lonend als het erts per kilo 1 tot 3 gram uranium bevat. De grootste voorraden van dergelijk uranium komen voor in vijf landen, die samen op dit moment ongeveer 80 % van de wereldvoorraden bezitten: de Verenigde Staten, Canada, Australië, Zuid-Afrika en Namibië.

Ook Gabon, Niger, Frankrijk en Zweden hebben vrij grote voorraden. Toch is voorzichtigheid geboden bij het gebruik van deze 'officiële' gegevens, vanwege het strategisch belang van uranium. Dit is ongetwijfeld

één van de redenen waarom de Sovjetunie, de Oostbloklanden en China hun cijfers omtrent voorraden niet vrijgeven.

Ook is het een feit dat uraniumimporterende landen erop moeten rekenen slechts arme ertsen, met een gehalte van ongeveer 0,01 % uraniumoxyde of 0,0085 % uranium, te kunnen betrekken. De rijkere ertsen zullen in de uraniumproducerende landen blijven als strategische voorraden.

En België? In 1982 waren Zuid-Afrika, Australië en Frankrijk onze voornaamste uraniumleveranciers. Ondertussen is er een contract met Canada in de maak en onderhandelt men met Niger en Gabon met het oog op een grotere spreiding van de uraniumleveringen.

2.2.4.2. Kernenergie en elektriciteit.

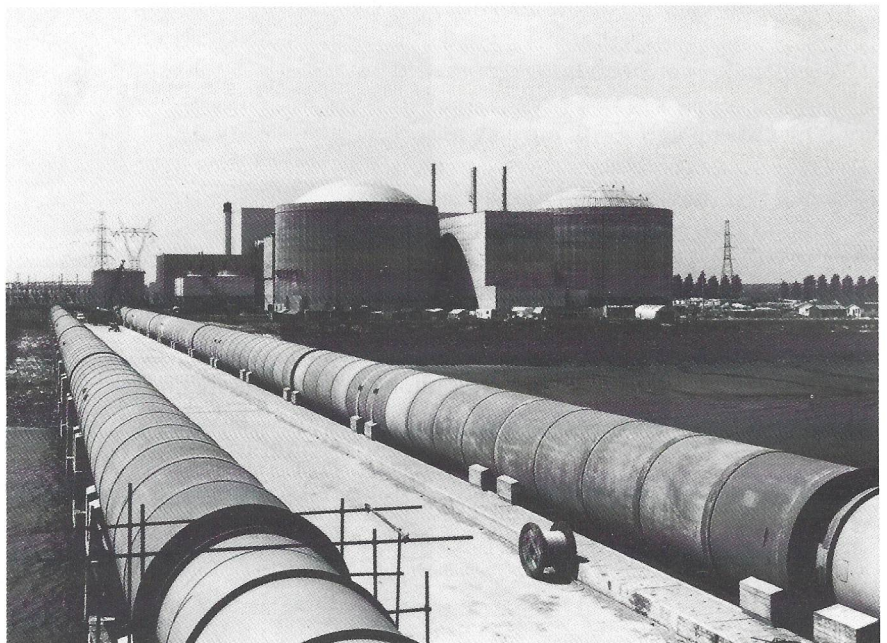
Na de winning wordt het uranium fijn gemalen en chemisch behandeld tot men zuiver uraniumdioxide, een gele vaste stof ('yellow cake'), heeft. Na deze raffinage wordt het uraniumdioxide via een aantal chemische processen omgezet in uraniumhexafluoride, bij lage druk en kamertemperatuur een kleurloos gas. Dit uraniumhexafluoride wordt naar de verrijkingsfabriek gebracht, waar de moleculen met uranium-235 atomen gescheiden worden van die met uranium-238 atomen.

Waarom men dit doet zagen we in het eerste deel: alleen uranium-235 atoomkernen zijn splijtbaar. Het aandeel van het splijtbare uranium-235 wordt er verhoogd van 0,7 tot 3 %.

Na verrijking wordt het uraniumhexafluoride omgezet in uraniumdioxide, met een smeltpunt van 2.865°C. Dit poeder wordt tot kleine tabletten geperst en deze tabletten worden opgestapeld in een enkele meters lange staaf van roestvrij staal. Deze staven, die we splijfstofstaven noemen, worden gebundeld in een vierkante koker. Een aantal van die kokers, de zgn. splijstofelementen, worden in de kernreactor geplaatst. Het type van kernreactor dat in alle Belgische kerncentrales sinds 1962 in bedrijf is, is de licht-waterreactor (LWR), waarvan het water, dat als remstof en als koelmiddel dient, onder hoge druk staat (Pressurized Water Reactor of PWR).

In tegenstelling tot een licht-waterreactor, moet een kweekreactor afgekoeld worden met vloeibaar natrium, een zacht en licht metaal met een smeltpunt van 98°C en een kookpunt van 890°C.

In de mantel omheen de reactorkern zit uranium-238, in de vorm van uraniumdioxide, dat door neutronen die vrijkomen bij de splijting van plutonium, omgezet wordt in plutonium-239. Door de bijzondere constructie van de reactor worden in de mantel meer plutonium-239 kernen gevormd dan er in het midden verspleten worden.



Een licht-waterreactor produceert ook plutonium, maar niet genoeg om het aantal splijtbare kernen op peil te houden.

Bij een kweekreactor ontbreekt de noodzaak tot verrijking van het uranium en bestaat de mogelijkheid om behalve natuurlijk uranium ook verarmd uranium, het afval van de verrijkingsfabrieken, te gebruiken. Men kan de kweekreactor opvatten als een reactor die uranium-238 versplijt, via de plutoniumkringloop.

Het verband tussen uraniumerts en het uiteindelijke doel, kernergie, is ons reeds bekend.

Maar waarvoor dient nu kernenergie?

Kernenergie wordt gebruikt voor het opwekken van elektriciteit. Daartoe zijn echter een aantal tussenstappen nodig. Om dit te begrijpen is het nuttig na te gaan wat elektriciteit eigenlijk is.

Al in de oudheid had men ontdekt dat door het wrijven van barnsteen (in het Grieks: elektron) over wol, het barnsteen voor korte tijd snippers perkament aantrok. Dit noemen we statische elektriciteit. Het is de oudst bekende vorm van elektriciteit. Alvorens elektriciteit echter op grote schaal kon toegepast worden, moest men wachten op de grote ontwikkelingen in de natuurkunde van de 19e eeuw. In 1831 ontdekte de Engelse natuurkundige Faraday dat wanneer men een magneet langs een ringvormige geleider haalde, er in die geleider een elektrische stroom ontstond. Men noemt die ontdekking de elektromagnetische inductie. Waarop berust nu die elektromagnetische inductie?

We zagen reeds dat elk atoom opgebouwd is uit een kern met daaromheen een aantal deeltjes, de elektronen.

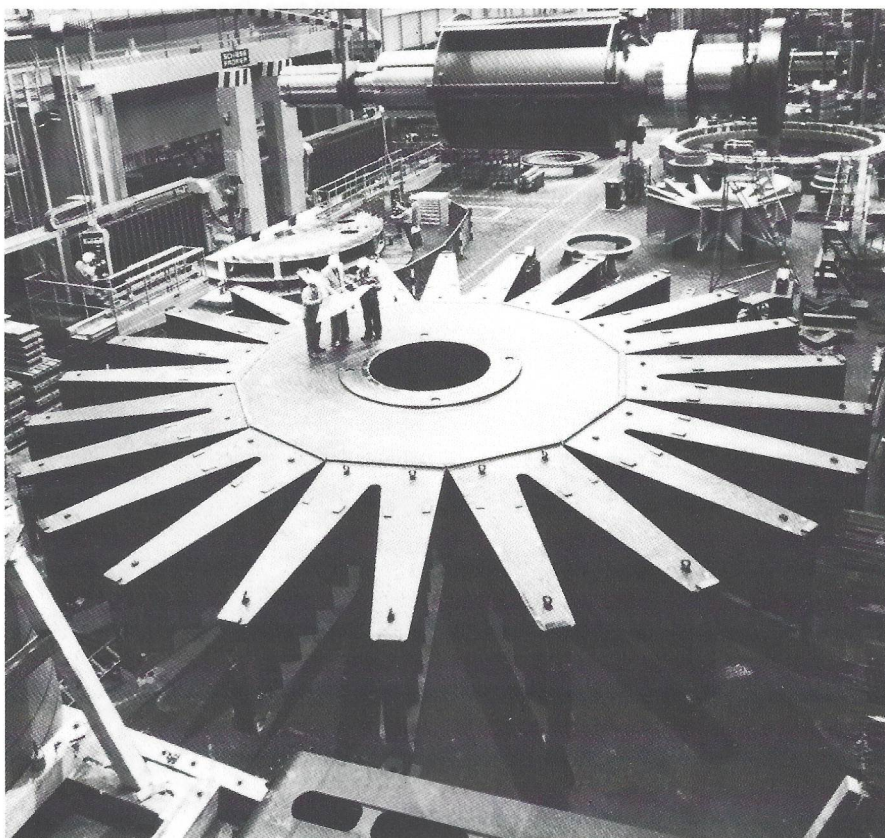
In sommige stoffen kunnen de elektronen zich niet vrij bewegen. In andere stoffen — zoals metalen — wel, omdat ze daar niet erg vastzitten aan de atoomkernen. Men noemt metalen daarom geleiders. Door nu een magneet langs een metalen draad te bewegen worden de elektronen daarin in beweging gebracht: ze gaan 'stromen'.

Electriciteit is dus een stroom van elektronen in een geleider. Dit principe vinden we bij een fietsdynamo in het klein en bij een generator van een elektriciteitscentrale in het groot.

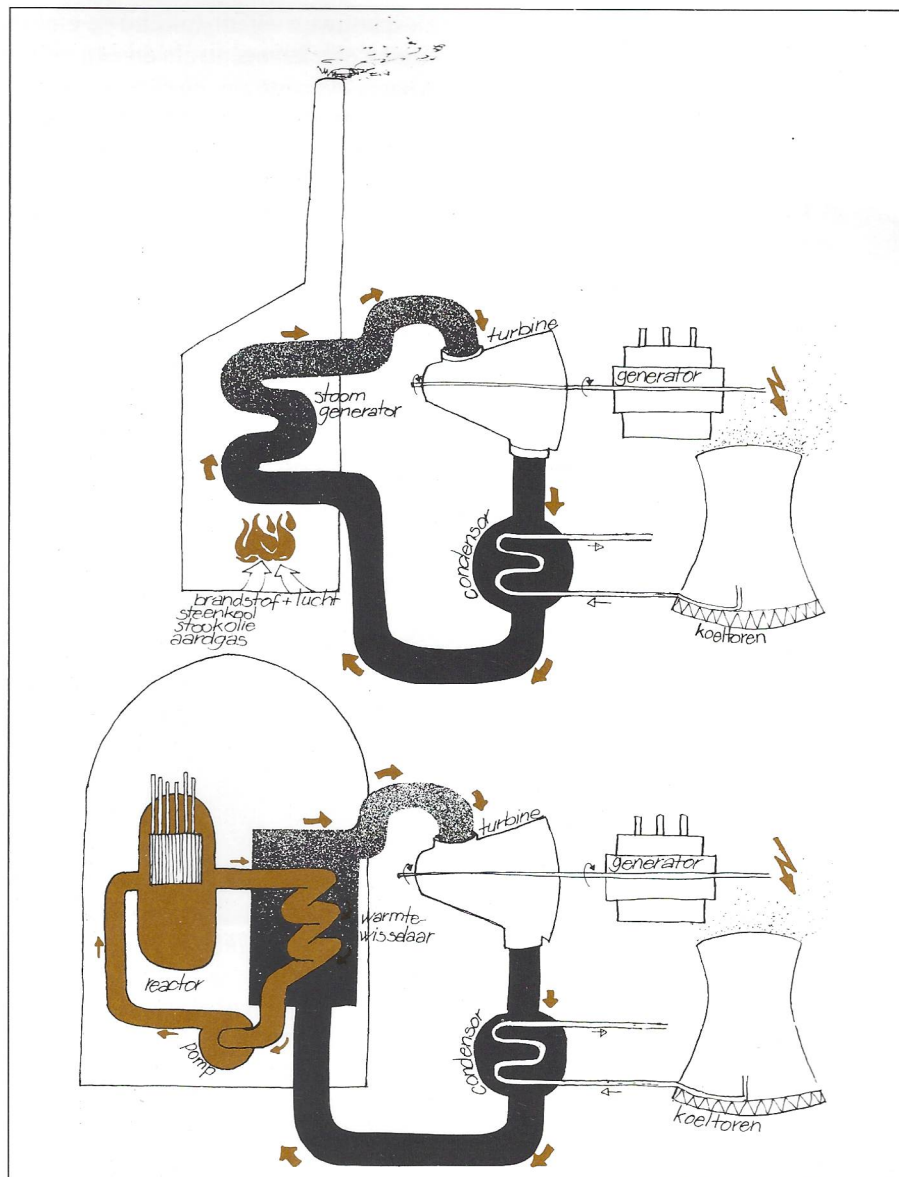
Daar draaien grote magneten langs een aantal spoelen van metaal draad, de geleider. Die spoelen hebben een groot aantal windingen, waardoor de

31

De waterkrachtgeneratoren van een elektriciteitscentrale in Argentinië, gebouwd door het Berlijnse Dynamowerk van Siemens (1976). Het anker draait met een toerental van ca. 94 omwentelingen per minuut en heeft een diameter van 16 m. De foto toont slechts een deel van het anker, de zogenaamde naafster.



Het verschil tussen een 'conventionele' en een nucleaire elektriciteitscentrale ligt in de wijze waarop warmte opgewekt wordt.



stroomopbrengst hoger wordt. Door magneten te laten draaien wordt de elektronenstroom in beweging gezet, m.a.w. elektrische energie wordt opgewekt. Om die magneten te laten draaien is energie nodig.

Bij een kleine fietsdynamo is die energie de menselijke spierkracht: door op de pedalen te trappen, gaat het wiel draaien en wordt die energie overgebracht op de dynamo die tegen het wiel drukt.

Een generator is een veel grotere dynamo en vergt daarom veel meer energie.

De magneten van een generator worden daarom in beweging gebracht door een turbine, een soort metalen wieken.

Die wieken kan men op verschillende manieren laten draaien. Het kan door wind zoals bij een windmolen, door waterdruk zoals bij een watermolen, door gasdruk of door stoom.

Bij de opwekking van elektriciteit via kernenergie wordt gebruik gemaakt van deze laatste mogelijkheid.

Stoom ontstaat door water te verwarmen. Daarvoor is warmte nodig. Deze warmte nu komt door splijting van atoomkernen. De snelheid waarmee de fragmenten van de gespleten kern wegvliegen, wordt al snel afgeremd door de omringende atomen. De bewegingsenergie wordt daarbij omgezet in warmte. Omdat in de stoomketel, die we bij een kerncentrale het reactorvat noemen, vele honderden miljarden kernsplijtingen per seconde plaatsvinden, ontstaat er voldoende warmte om ook het water te verhitten tot stoom.

Deze stoom brengt de schoepen van de turbine in beweging en daarmee ook de magneten van de generator.

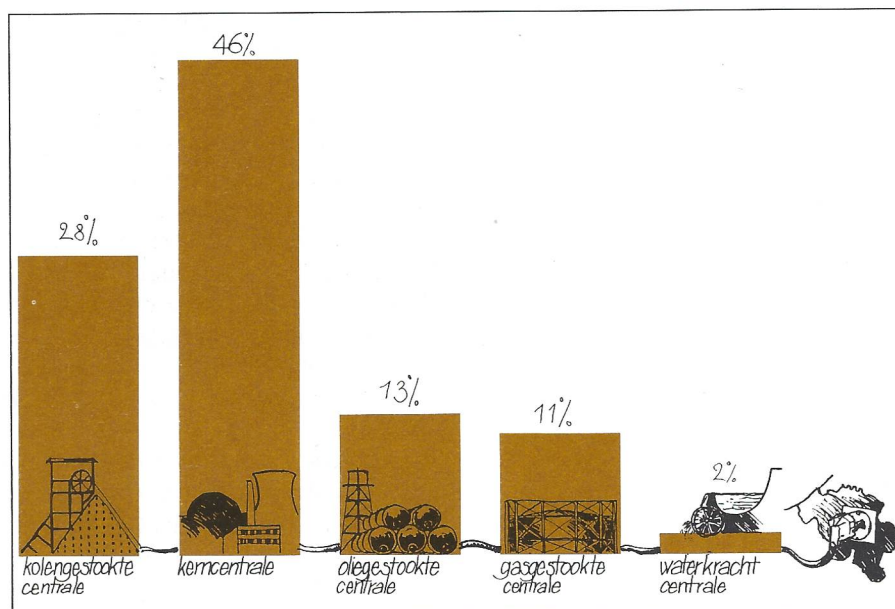
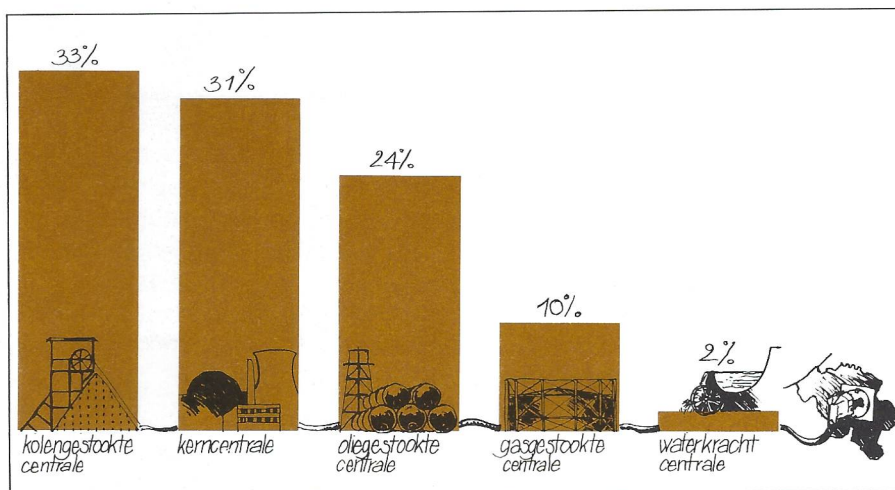
Beschouwen we uitsluitend de elektriciteitsopwekking, dan ligt het verschil tussen een kerncentrale en een gewone elektriciteitscentrale in de wijze waarop warmte opgewekt wordt. Een gewone of 'conventionele' elektriciteitscentrale kan een thermische of hydraulische centrale zijn. In België bestaan beide soorten centrales. In een thermische centrale wordt warmte opgewekt, maar in tegenstelling tot een kerncentrale gebeurt dit door verbranding van kolen, aardolie en aardgas.

Door grote verbrandingsovens lopen bundels waterpijpen. Het water daarin wordt verhit zodat stoom ontstaat, die de schoepen van de turbine in beweging brengt.

In een hydraulische centrale wordt deze turbine aangedreven door waterkracht. In 1983 zag de Belgische elektriciteitsproductie volgens energiedrager er zo uit: 46 % afkomstig van kerncentrales, 28 % van kolengestookte centrales, 13 % en 11 % van centrales gestookt resp. met olie en gas en tenslotte 2 % van waterkrachtcentrales.

33

Elektriciteitsopwekking in België in 1982 en 1983.



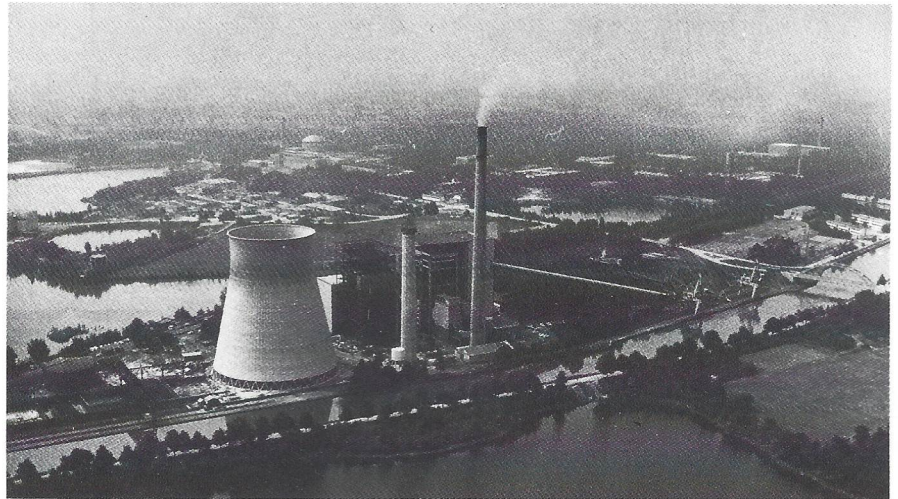
In de jaren vijftig werd België al gauw het toneel van een zeer actieve nucleaire industrie. De elektriciteitssector legde een grote belangstelling aan de dag voor de bouw van kerncentrales, niet in het minst onder impuls van de Kongolese vennootschap 'Union Minière du Haut-Katanga', die in de jaren veertig een grote uraniumproducent in het toenmalige Belgisch-Kongo was.

Vermits België via haar kolonie Kongo uraniumerts ter beschikking stelde, kon de technologie om elektriciteit uit kernsplijting op te wekken gemakkelijk in de Verenigde Staten verkregen worden. Vooral ACEC en Cockerill deelden via de Amerikaanse groep Westinghouse in deze technologie-overdracht.

Het wetenschappelijk onderzoek in eigen land werd sterk gestimuleerd. In 1952 werd het Studiecentrum voor de Toepassing van Kernenergie als v.z.w. opgericht. Vanaf 1957 werden deze werkzaamheden voortgezet door de openbare instelling Studiecentrum voor Kernenergie (SCK).

De laboratoria, gevestigd te Mol, zouden een experimentele kerncentrale vervaardigen.

Er werd geopteerd voor een drukwaterreactor (PWR) op basis van 3 % verrijkt uranium en lichtwater als koelmiddel. In oktober 1962 werd de eerste kerncentrale met een maximum vermogen van 10,5 megawatt elektriciteit te Mol op het elektriciteitsnet aangesloten.



Vier jaar later deed zich in het SCK Mol reeds een eerste ernstig bedrijfsongeval voor, waarbij een technicus een vrij sterke neutronenbestraling onderging. Maar de nucleaire industrie was in volle opgang, die niet te stuiten viel. Besloten werd over te gaan tot de bouw van een kerncentrale in het Franse Chooz, aan de Maas, in een 50 %-samenwerking met 'Electricité de France'. In 1967 leverde deze Belgisch-Franse centrale (338 megawatt el.) voor het eerst het 50 %-aandeel aan het Belgische net: 241,7 gigawattuur tegenover 84,7 gigawattuur, te Mol in datzelfde jaar geproduceerd.

Het jaar daarna beslisten de Belgische en Franse elektriciteitsindustrie samen opnieuw een kerncentrale te bouwen, ditmaal in Tihange op de Maas nabij Hoei en met een nog veel groter vermogen.

De Belgische elektriciteitsbedrijven INTERCOM en EBES beslisten twee kerncentrales op de Schelde te bouwen, te Doel bij Antwerpen.

Aldus werd vijf jaar vóór de oliecrisis van 1973 besloten tot de bouw van drie kerncentrales, die samen ongeveer 20 % van de Belgische elektriciteit zouden leveren.

Maar het bleef niet bij de bouw van kerncentrales alleen.

Al in 1957 had het Europees agentschap voor kernenergie de vennootschap Eurochemic opgericht. Deze vennootschap, gevestigd te Dessel, stond in voor de basistechnologie inzake opwekking van bestraalde splijtstof.

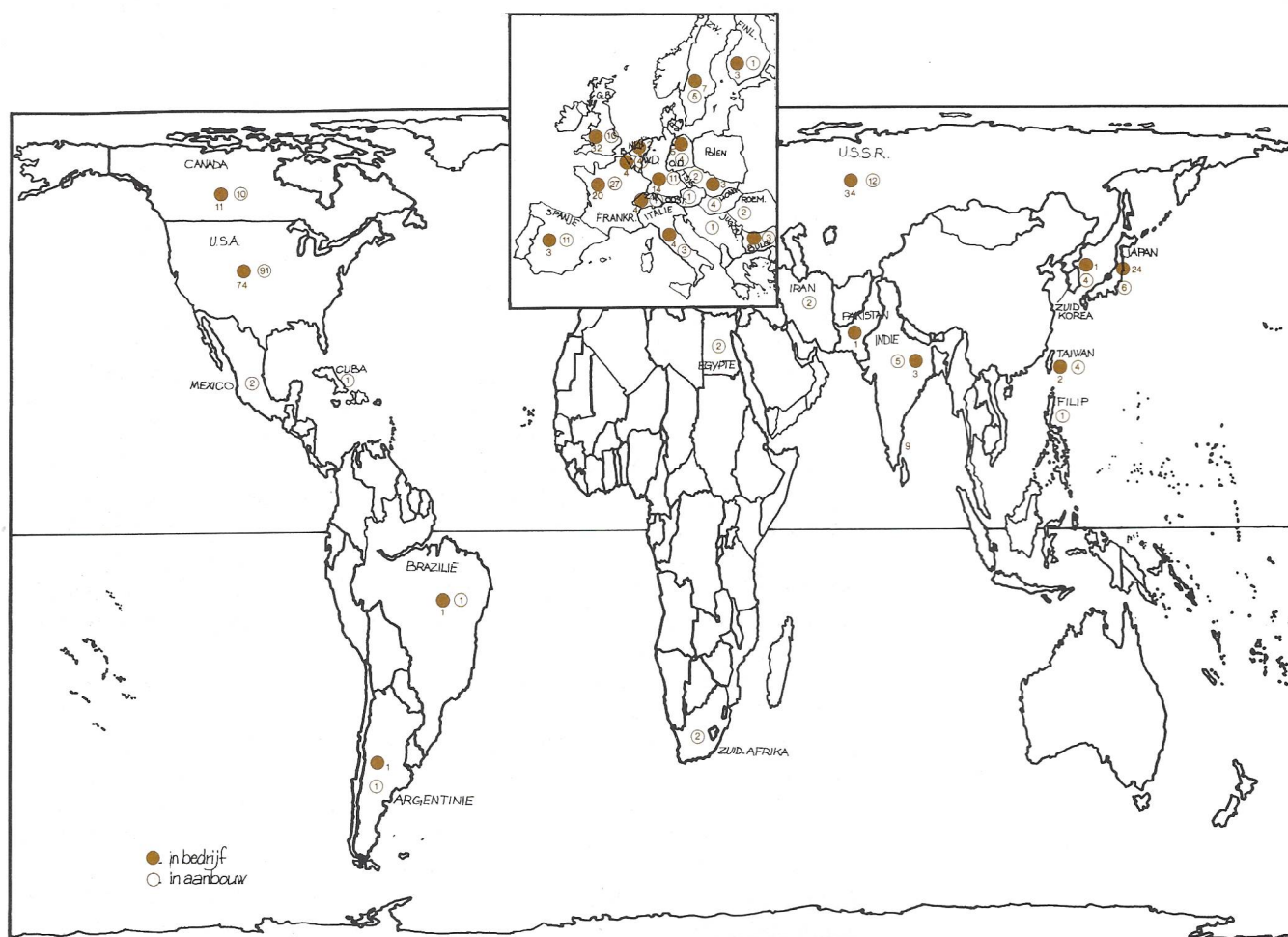
In 1971 besloten de belangrijkste partners, Frankrijk en de Bondsrepubliek Duitsland, zich terug te trekken.

Tussen 1966 en 1974 werd ca. 200 ton uranium verwerkt. De Belgische staat en de elektriciteitsbedrijven besloten tot overname van de installaties. Het plan was een opwerkingsvermogen van 60 ton uranium per jaar te bereiken, voldoende voor de behoefte van twee centrales van ca. 1.000 megawatt (el.) en dit omstreeks 1982. Thans is de opwerking, die in 1974 in Eurochemic stopgezet werd, nog steeds niet hervat. De beslissing hierover ligt bij de regering, die de behandeling van het dossier uitgesteld heeft tot het najaar van 1984.

België participeert tevens voor 11 % in het project Eurodif met een fabriek te Tricastrin (Frankrijk), voor splijtstofverrijking op basis van het gas-diffusieprincipe.

In heel deze expansiefase van kernenergie konden kerncentrales ondanks hun hoge startkosten concurreren met oliegestookte centrales. Toen die

olie in 1973 op de koop toe erg duur werd, kreeg de nucleaire industrie helemaal de wind in de zeilen. Thans produceert België kernenergie als geen ander land in de wereld in verhouding tot haar elektriciteitsproductie. Hoe deze ontwikkeling past in het Belgisch energiebeleid, zien we in 4.2.1.



35
Kerncentrales in de wereld in 1983.

2.2.5. Energieschaarste, een wereldbrand?

Eens zullen de voorraden steenkool, olie, gas en uranium op zijn, alleen valt niet precies te zeggen wanneer.

Het probleem van de schaarste kan men niet meer negeren: het hangt van het tijdstip van de schaarste af, hoe snel men een ander energiescenario zal moeten inschakelen. De moeilijkheid bij het bespreken van voorraden is dat gegevens hieromtrent verschillen naargelang van de bron en daarom sterk uiteenlopend zijn. De reden hiervoor ligt voor de hand: de omvang van economisch winbare reserves is per definitie afhankelijk van de economische toestand en dus ook van politieke factoren. Hier volgt een opsomming van de oorzaken die een accuraat beeld van de grootte van de voorraden bemoeilijkt.

- De schatting van een voorraad is afhankelijk van de gebruikte methode. Verschillende methoden leiden tot verschillende uitkomsten.
- Vaak worden alleen de economisch winbare voorraden genoemd nl. de voorraden die tegen een aanvaardbare kostprijs kunnen gewonnen worden. Deze kostprijs is echter onderhevig aan veranderlijke omstandigheden. Zo werd de Noordzee-olie, die onder diep water zit, vóór 1973 niet en na 1973 wel bij de economisch winbare voorraden gerekend. Door de prijsverhoging van ruwe olie uit de OPEC-landen werd de totale economisch winbare voorraad in de wereld plots twee keer zo groot.

Evenzo worden steenkoollagen, die dieper dan 1.500 m liggen, als niet economisch winbaar beschouwd. Men onderzoekt echter een nieuwe techniek, ondergrondse steenkoolvergassing, waardoor deze lagen in de toekomst wel lonend zouden kunnen worden.

- Over het algemeen worden alleen de bewezen reserves besproken, omdat deze cijfers gerapporteerd worden aan de overheid en de aandeelhouders. Een groot deel van de wereld is echter nog niet of nauwelijks onderzocht op de aanwezigheid van fossiele brandstoffen. Op grond van geologische gegevens worden hiervan wel schattingen gemaakt. Men spreekt dan van onontdekte potentiële reserves.
- De oliemaatschappijen hebben de meeste kennis over de olie- en gasvoorraden en vaak ook over de voorraden in het algemeen. De kwestie is dat zij vaak baat hebben bij pessimistische schattingen. Dat leert ons althans de 'energiecrisis' van 1973, toen een geësceneerde olieschaarste grote prijsstijgingen en dito winsten tot gevolg had.

Ook al is de paniek over schaarste wat geluwd, feit is dat energie niet zozeer schaars, dan wel duur is geworden.

De prijs van olie is nog steeds richtinggevend voor alle andere energieprijzen.

Elke barrel olie die uit de grond wordt gehaald, maakt de volgende duurder. Naarmate er meer olie gewonnen wordt, zullen de investeringen, nodig om dieper te boren en ingewikkelder winningsprocessen mogelijk te maken, toenemen. Meer kapitaal vergt grotere winsten. Grotere winsten betekenen hogere prijzen en/of meer belastingsfaciliteiten. Hoe dan ook, de meeste publikaties terzake zijn het eróver eens dat met de huidige stand van zaken aardolie en aardgas bovenaan het lijstje van uitputtelijke fossiele brandstoffen staan.

Steenkool zou van de bewezen voorraad niet-hernieuwbare energiedragers op de wereld (inclusief uranium, teerzand en leisteenuolie) 65 % voor zijn rekening nemen.

Volgens recente schattingen bedragen de steenkoolreserves 4.800 tot 11.000 miljard ton en de aardoliereserves 480 tot 610 miljard ton. De bekende kolenvoorraden zijn dus 10 maal groter dan de olie- en gasvoorraden. De winbare kolenreserves over de hele wereld zouden op het huidige verbruikersniveau ongeveer 600 tot 1.000 jaar meegaan. Gelet op het verbruik verwacht men dat het olie-aanbod kort na de eeuwwisseling zal teruglopen en dat 10 à 20 jaar daarna hetzelfde zal gebeuren met aardgas. De huidige voorraden olie en gas zouden, zelfs bij het vinden en exploiteren van nieuwe voorraden, nog toereikend zijn tot de tweede helft van de 21e eeuw.

Niet alleen van de fossiele brandstoffen zijn de voorraden beperkt. Dit is ook het geval met de grondstof van kernenergie, uranium.

Van de reserves van uraniumerts is het nog veel moeilijker een goed beeld te krijgen dan van de brandstofvoorraden. De hoeveelheden erts in verschillende lagen en de kwaliteit ervan lopen sterk uiteen. De rijkste ertsen zijn het minst overvloedig, maar zijn, zolang ze meegaan, de goedkoopste bron van uranium voor nucleaire brandstof. Vaak worden deze ertsen bewaard als strategische voorraden.

Daar de kosten van het winnen van uranium uit ertsen van steeds lagere kwaliteit sterk stijgen, hangt de hoeveelheid uranium die kan geproduceerd worden af van de verkoopprijs. Die prijs wordt uitgedrukt in dollars per kilogram uranium. De waarde van de dollar en de dollarwaarde van uranium zijn twee sterk variabele grootheden; bovendien wordt niet vastgelegd hoe men de dollarprijs van uranium berekent.

Lange tijd verwachtte men tegen het einde van de eeuw reeds tekorten van economisch winbaar uranium. Dit betekende dat elektriciteit uit kernenergie in de toekomst niet meer tegen concurrerende prijzen geleverd zou kunnen worden. Dit verklaart waarom men aanvankelijk alle hoop op de kweekreactor stelde.

Door uranium te veranderen in een vernieuwbare, opnieuw te gebruiken bron van nucleaire brandstof, kon de kweekreactor de hoeveelheid splijtstof die uit uraniumerts kon gehaald worden, enorm uitbreiden. Op voorwaarde dat het kweekprogramma dan ook werkte, beloofde het een bijna onbegrensde energievoorziening.

Van een economisch goed dat schaars wordt, stijgt de prijs.

Dit is van toepassing op fossiele brandstoffen en uranium, waarvan de

hoeveelheden beperkt zijn. In een tijd waarin de behoefte aan kapitaal en energie op wereldvlak nog steeds toeneemt, is de ontwikkeling van de zgn. *hernieuwbare of duurzame energiedragers* meer dan ooit actueel. Sinds de energiecrisis van de jaren zeventig is nu ook bij regeringen en bedrijfswereld belangstelling voor duurzame energie ontstaan, hoewel budgettaire inspanningen op grote schaal nog steeds achterwege blijven. Vaak worden de hoge investeringen hiervoor als reden aangehaald. Dit argument is op zich juist, maar misleidend. Ten eerste, een rationeel energiebeleid zou erin bestaan af te stappen van de klassieke korte termijn-opties en de kosten af te wegen tegen de baten op lange termijn. Ten tweede, men is bereid miljardenuitgaven te doen, zij het voor andere technologieën. Kernenergie, bij voorbeeld. Alle kernenergieprogramma's zijn bij uitstek zeer duur: zowel die voor kernsplijting met een 'conventionele' kernreactor als die met een kweekreactor, om maar niet te spreken van de research voor kernfusie. In België wordt meer dan de helft van het beschikbare geld voor wetenschappelijk onderzoek op het budget van Economische Zaken jaarlijks opgeslorpt door het kweekreactorproject van Kalkar (waarover later meer). De ontwikkeling van hernieuwbare energiedragers druist in tegen de belangen van de leveranciers van olie, gas, steenkool en uranium, omdat duurzame energievormen geen materiële grondstoffen verbruiken en kleinschalig kunnen worden aangewend. Niettemin is het met de huidige economische structuren goed mogelijk dat de grote energieconcerns ook de markt van de uitrustingsgoederen voor deze alternatieve energie gaan beheersen en er een winstgevende zaak van maken.

Duurzame energie is duidelijk niet de oplossing voor onze *onmiddellijke* problemen.

In 1981 berekende de UNO-energieconferentie te Nairobi (Kenia) dat hernieuwbare energiedragers voor 15 % van het wereldenergieverbruik zorgden, in de Derde Wereldlanden liep dit aandeel op tot 40 %. Hierin zijn ook brandhout en houtskool begrepen, energiedragers die aan drie vierde van de bevolking van de Derde Wereld (2 miljard mensen) de enige beschikbare energie leveren om voedsel te bereiden en het huis zonodig te verwarmen.

In de geïndustrialiseerde landen is dit percentage heel wat lager. Volgens een recente studie, verricht door Esso, zou in 1980 de toepassing van hernieuwbare energiedragers, waaronder voornamelijk waterkracht, in West-Europa voor 8 % van het totale energieverbruik ingestaan hebben. Hierbij dient gezegd dat deze cijfers nooit een exacte weergave van het werkelijk verbruik kunnen geven: de energie-opbrengst van particulieren kan slechts bij benadering in statistieken opgenomen worden.

Hoe dan ook, men zou nu alvast een aanvang kunnen nemen met op grote schaal hernieuwbare energiedragers in een verstandige combinatie met niet-hernieuwbare energiedragers aan te wenden. Het is aan de overheid om dit initiatief te nemen. Veel zal afhangen van de politieke wil daartoe.

2.3. Zachte stille krachten.

Zonnestraling, wind, stromend water in rivieren en zeeën, biomassa worden *hernieuwbare of duurzame energiedragers* genoemd omdat zij onuitputtelijk zijn zolang de zon straalt. Reeds geruime tijd houden ecologen een pleidooi voor de toepassing van deze 'zachte' energietechnologie. Duurzame energiedragers zijn immers 'schoon': bij een zorgvuldige aanwending is hun milieuhinder vrijwel nihil en afval wordt niet geproduceerd.

Aardwarmte of geothermische energie is niet afkomstig van de zon. In dat geval zou het immers aan het oppervlak warmer moeten zijn dan in de diepte. Wél komt ze voort uit de aarde zelf: aardwarmte is voor 99 % het resultaat van de warmte die vrijkomt bij radioactieve vervalprocessen in de aardkorst. Aardwarmtebronnen zijn evenmin onuitputtelijk. Aardwarmte

heeft wel met hernieuwbare energiedragers gemeen dat ze milieuvriendelijk is, tenminste als het zoute water in de bodem teruggepompt wordt. Tevens kan ze voor een lokale en continue energietoevoer zorgen.

2.3.1. Le Roi Soleil.

Zonne-energie is de rijkste hulpbron op aarde, maar in haar rechtstreekse vorm niet de meest gebruikte. Thans gebruiken we slechts een paar honderdsten van 1 % van deze energie: voornamelijk om gewassen te kweken voor voedsel, vezels en hout. Per jaar ontvangt de aarde meer dan 10.000 maal de energie die zij nodig heeft. Juist het feit dat zonnestraling zo diffuus over het aardoppervlak wordt verspreid, geeft haar het vermogen om aan zeer uiteenlopende taken te worden aangepast, op voorwaarde dat men haar tot de gewenste graad concentreert.

Omdat zonnestraling bij betrekkelijk lage temperatuur op aarde beschikbaar komt, wordt zij algemeen erkend als erg geschikt voor taken die laagwaardige energie vereisen — zoals de produktie van warm water of ruimteverwarming. Maar zelfs voor hoogwaardige taken kan men gebruik maken van zonne-energie. Alles wat nodig is om zonne-energie van elke gewenste temperatuur te verkrijgen, is de straling vanuit een voldoende groot oppervlak te concentreren. Een lens met een middellijn van 7,5 cm verzamelt genoeg licht om een temperatuur van een paar 100 graden te produceren. Zo verzamelt de reusachtige parabolische spiegel van de Franse zonne-oven in de Pyreneeën genoeg straling om wolfram bij een temperatuur van 3.300°C te smelten.

37

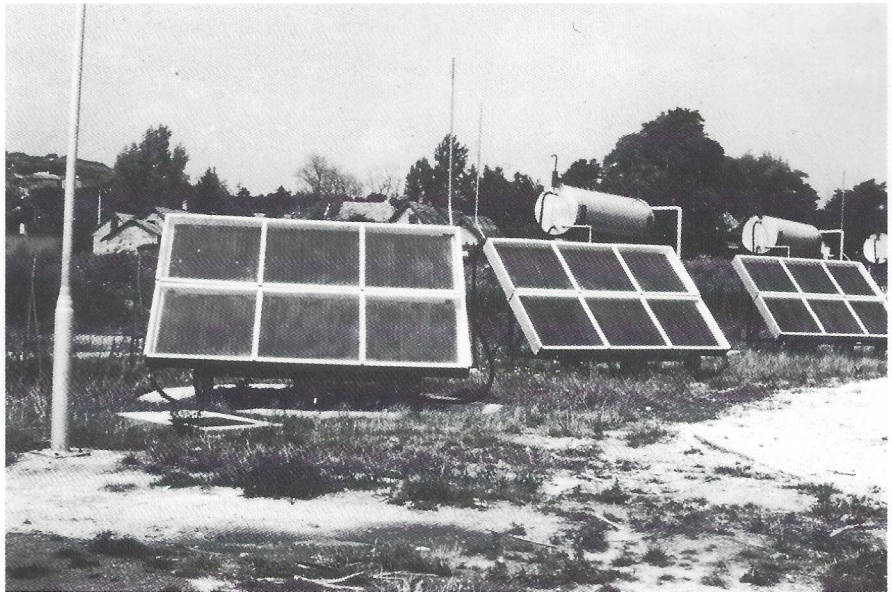
Zonne-oven van Odeillo in de oostelijke Pyreneeën, gebouwd in 1956 door het Franse Nationaal Centrum voor Wetenschappelijk Onderzoek.



De thans meest gebruikte apparaten waarmee zonne-energie rechtstreeks omgezet wordt in bruikbare energie zijn *zonnectoren* en *zonnecellen*. De eerste vangen de warmte van de zonnestraling, de tweede zetten zonnestraling direct om in elektriciteit.

De *vlakke-plaat collectoren* concentreren de straling helemaal niet. Ze bestaan gewoon uit een vlakke, zwart geverfde plaat die opgesloten zit in een met glas afgedekte doos. De glasplaat dient om te vermijden dat een deel van de geabsorbeerde warmte in de vorm van infraroodstraling verloren gaat, zonder dat het binnenkomen van de lichtenergie evenwel belemmerd wordt (het serre-effect). Zo'n collector kan temperaturen tot ongeveer 100°C bereiken.

Door water in een buis langs de warme plaat te laten circuleren, kan de collector heel goed voor warm water en ruimteverwarming zorgen, waarbij het water een temperatuur van 60°C bereikt. De collector kan eveneens voor ruimteverwarming gebruikt worden als men lucht over de warme plaat



laat stromen. De temperatuur die bereikt kan worden wanneer zonnestraling geabsorbeerd wordt door een collector is afhankelijk van de mate waarin de collector de energie concentreert. Voor iets hogere temperaturen wordt het licht geconcentreerd door middel van een gebogen spiegel, waarbij het apparaat gedraaid wordt om de dagelijkse beweging van de zon te volgen. Zo'n toestel, de *zonne-oven*, kan temperaturen tot ongeveer 550°C bereiken.

Het licht kan verder geconcentreerd worden, bij voorbeeld door een reeks spiegels te richten op een centrale toren die een stoomketel bevat. Een stoomturbine kan heel efficiënt werken bij 550° - 1.100°C. Vervolgens kan met behulp van hogedrukstroom elektriciteit opgewekt worden, in een conventionele thermische centrale.

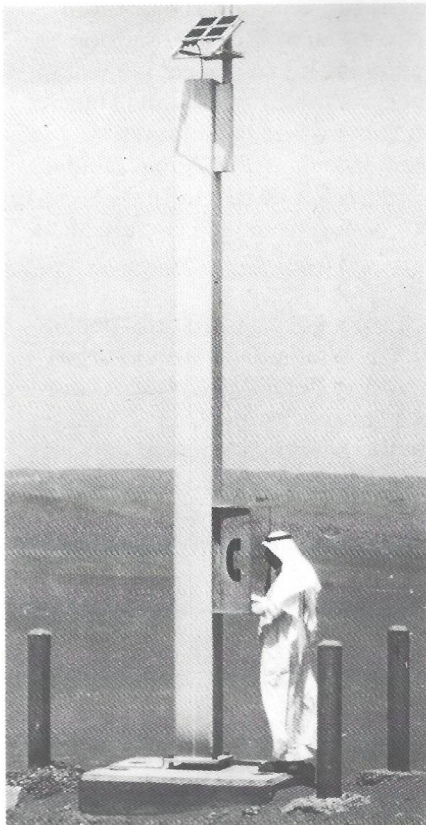
Men kan echter ook elektriciteit verkrijgen door directe omzetting van zonnestraling in elektrische energie met behulp van *zonnecellen*.

Daarbij wordt gebruik gemaakt van de eigenschappen van bepaalde stoffen, zgn. halfgeleiders (o.a. silicium), waarin een elektrische stroom ontstaat als er zonlicht op valt. Ze worden toegepast in een systeem, waar een groot aantal zonnecellen (dunne plaatjes silicium) bij elkaar geplaatst zijn: een zonnepaneel. Grote reeksen van dergelijke zonnecellen worden onder meer gebruikt voor de energievoorziening van ruimtesatellieten. Wat zonnepanelen zo duur maakt is de fabricage van de zonnecel, ook wel fofovoltaïsche cel genoemd, omdat die heel nauwgezet vervaardigd moet worden.

Dit zou evenwel opgelost kunnen worden door aangepaste massaproductiemethoden. Op dergelijke manier daalde destijds de prijs van transistoren, die in bouw en werking erg veel op fofovoltaïsche cellen lijken, ongeveer honderd keer. Maar nogmaals, om over 25 jaar over een zonne-energietechnologie te beschikken die resulteert in de produktie van economisch concurrerende elektrische energie, moet men nu meer dan een symbolisch bedrag voor research willen uitgeven.

De toevoer van zonne-energie gebeurt niet altijd in gelijke mate vanwege de dag- nachtcyclus en de klimatologische omstandigheden. Om verzekerd te zijn van energie op elk gewenst tijdstip, kan gedurende de tijden dat de zon niet of onvoldoende schijnt, geput worden uit een opslagtank.

Trouwens, zonnestraling hoeft niet te worden gebruikt om alle benodigde warmte te produceren. In die perioden waarin er onvoldoende zonne-energie is, kan men wel degelijk gebruik maken van niet-hernieuwbare energiedragers. Uitgaande van de vaststelling dat de huidige kosten van zonnecollectoren op een kleinschalige produktie gebaseerd zijn en moeten dalen bij uitbreiding van die produktie, en gegeven dat de prijzen van niet-hernieuwbare energiedragers snel stijgen, zouden zulke gemengde zon/conventionele installaties het meest economische alternatief in grote delen van de wereld kunnen worden.



39
Op zonne-energie werkende telefoon in Saoedi-Arabië.

Zelfs al maken we geen gebruik van zonnestraling voor de verwarming van onze huizen, dan nog zorgt het zonlicht, dat door de ramen naar binnen valt, voor een redelijk deel van onze jaarlijkse verwarmingsenergie. Alle maatregelen die vanuit een bewust omgaan met deze zonne-energie genomen worden, worden gerekend tot het *passief gebruik van zonne-energie*. Deze term is eigenlijk misleidend, er is immers geen passief gebruik zonder actieve gebruikers.

De maatregelen zijn in eerste instantie van bouwkundige aard, gebaseerd op drie principes:

1. Het huis is zelf een zonnecollector. De oppervlakte van de ramen aan de zuidkant van het huis bepaalt hoeveel zonnestraling er naar binnen komt.
2. Het huis moet de zonnewarmte goed vasthouden. Goede isolatie, liefst aan de buitenkant, en tochtvrij raamwerk beperken het verlies van zonnewarmte.
3. De massa van vloeren en muren moet geschikt zijn om warmte te kunnen opslaan. Dat is nodig om temperatuurschommelingen op te vangen.

Energiebewuste gebruikers kunnen op tal van manieren hun profijt halen uit zonnestraling: oriëntatie van ramen op het zuiden en zo beperkt mogelijk op het noorden, het aanbrengen van een aanbouwserra op het zuiden, dubbele beglazing, woon- en leefruimten aan de zuidkant van de woning, het sluiten van gordijnen na zonsondergang, het vergroten van de (steen)massa, die de warmte absorbeert en weer afgeeft in frissere perioden, en afscherming tegen overdreven instraling van de zon. Op dergelijke manier zou in ons klimaat voor 30 tot 50 % in de ruimteverwarming kunnen voorzien worden. Daar passieve zonnehuizen zeer goed geïsoleerd zijn, wordt ook het aandeel van warmte-uitstralende apparaten, zoals lampen, koelkasten, T.V.'s veel groter.

Een voorbeeld van zo'n huis is het Saskatchewan House in Canada, dat sinds 1977 zelf volledig energievoorzienend is.

Het klimaat is er ongeveer tweemaal strenger dan in ons land. Toch zorgt het passief gebruik van zonne-energie voor 44 % van de verwarming, grotendeels vanwege de zeer goede isolatie: hout met 30 cm glaswoldeken.

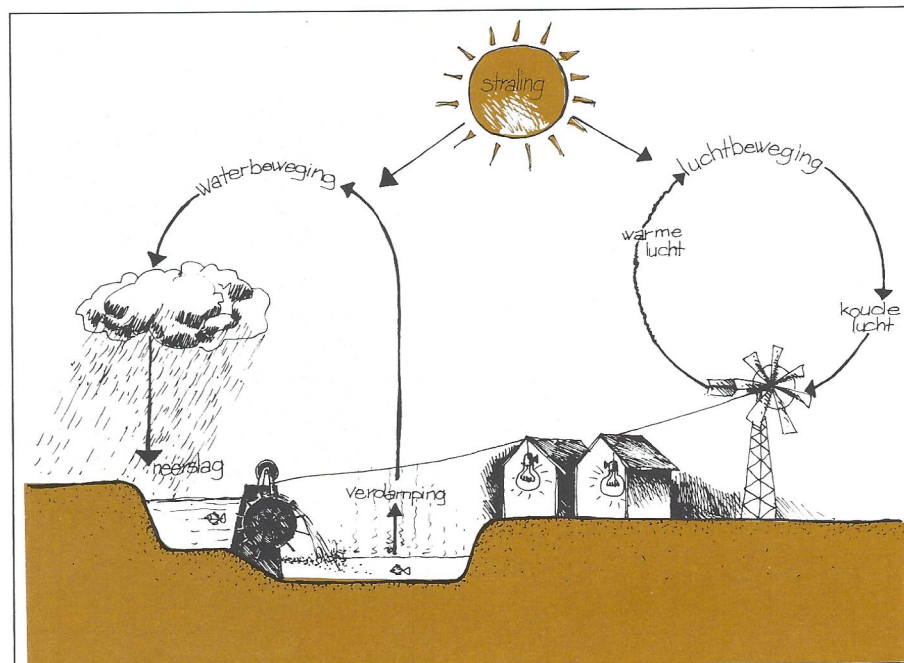
2.3.2. Laat maar waaien. Windenergie.

Wind is een vorm van zonne-energie en een windmolen is een apparaat om die energie op te vangen.

Winden ontstaan doordat de aarde ongelijkmatig door de zon verwarmd wordt. De atmosfeer of de dikke luchtlaag rond de aarde, is op sommige

40

Wind- en waterkracht zijn vormen van zonne-energie. De zon verwarmt de lucht. Omdat warme lucht uitzet en daardoor lichter wordt, zal ze de neiging hebben op te stijgen. Ze zal dan vervangen worden door toestromende koelere lucht. Deze lucht in beweging noemt men wind. De zon verdampt water en veroorzaakt de waterkringloop zodat regen valt en rivieren stromen.



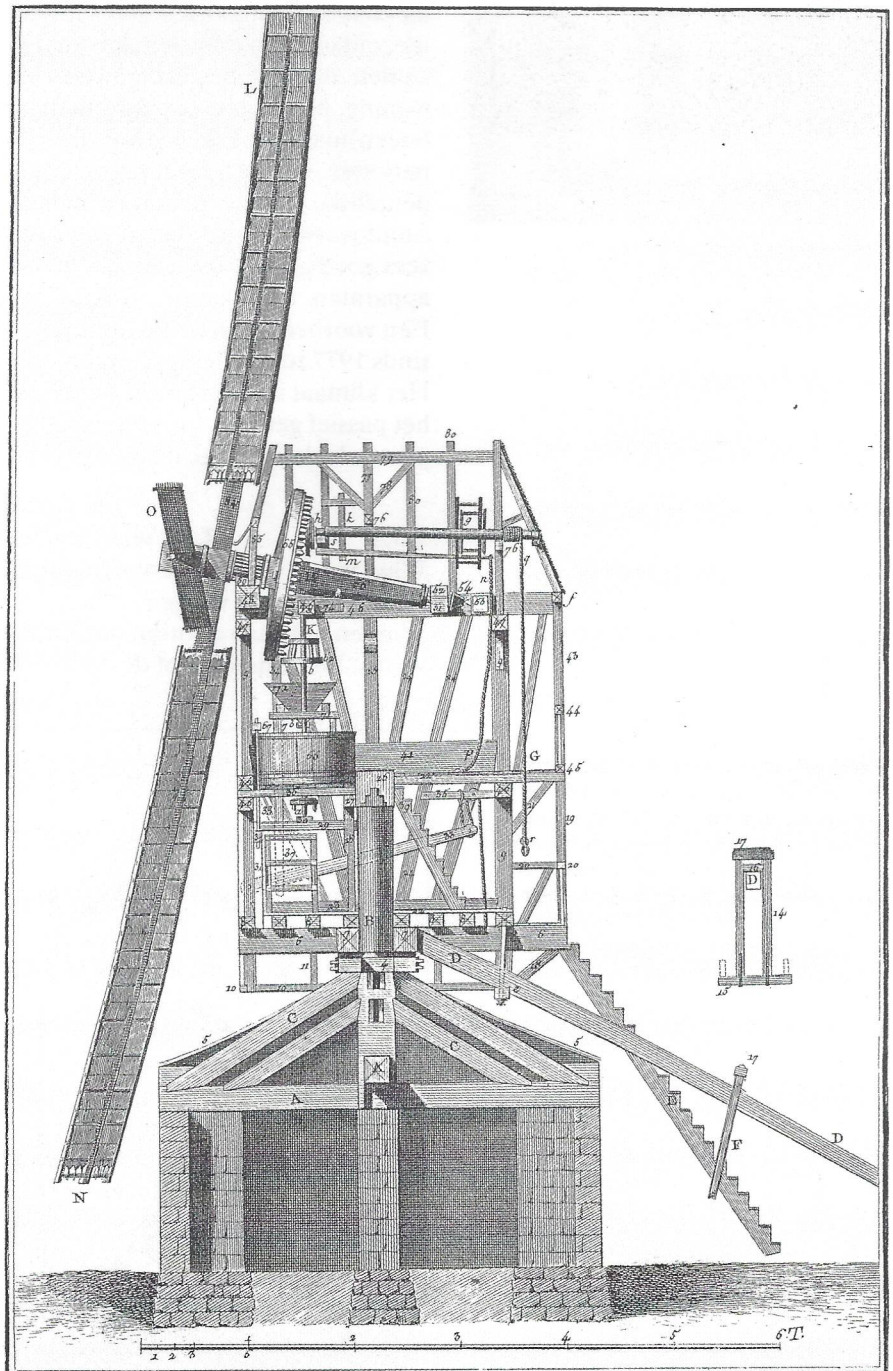
plaatsen warmer dan op andere. Dit hangt af van verscheidene factoren zoals de geografische breedte, het overdrijven van wolken, het seizoen en de tijd van de dag. Bij zonsopgang of -ondergang bij voorbeeld komen zonnestrallen heel schuin door de atmosfeer, waardoor ze een veel langere weg moeten afleggen dan wanneer de zon hoog aan de hemel staat. Dergelijke temperatuurverschillen brengen de lucht in beweging. Omdat warme lucht uitzet en daardoor lichter wordt, zal ze de neiging hebben op te stijgen. Ze zal dan vervangen worden door de toestromende koelere lucht. Zo ontstaan winden.

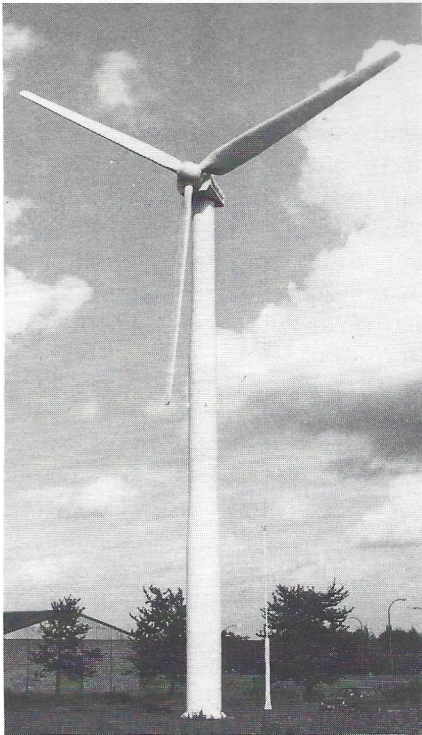
Het gebruik van windenergie is niet nieuw.

Reeds 5.000 jaar geleden maakte men in Egypte gebruik van zeilschepen voor het transport van goederen en personen. Windmolens treft men pas veel later aan. In de 7e eeuw na Chr. waren er in Perzië windmolens voor het malen van graan. Bij het begin van de 11e eeuw werden ze in China voor irrigatiedoeleinden toegepast. Lange tijd heeft men gedacht dat windmolens in West-Europa geïntroduceerd werden door de kruisvaarders. Dit concludeerde men uit het feit dat de eerste bronvermeldingen over de aanwezigheid van windmolens in onze gewesten dateren van de 12e eeuw, de periode van de kruistochten.

41

Windmolen. Gravure van Bernard (18e eeuw).





42

De 'Windmaster', gebouwd door een bedrijf uit Zepperen, Limburg. Heel wat van deze windmolens werden reeds aan Amerika geleverd. Ze zullen vanaf 1985 ook in ons land, nl. in de haven van Zeebrugge, geïnstalleerd worden.

Niettemin vertoonden de Perzische windmolens geen overeenkomst met de Europese. De Perzische hadden geen wieken. Ze bezaten een horizontaal wiel dat opgesteld was op een verticale as, in een gesloten toren; de wind viel via langwerpige sleuven de toren binnen en bracht de schoepen van het windwiel in beweging. Bovendien, ook al gaat men ervan uit dat de Perzische windmolen zich verspreidde over het Midden-Oosten, India en China, geen enkele kroniekschrijver over de kruistochten maakt melding van windmolens in Palestina.

De oudst bekende Europese windmolens zijn deze van Yorkshire (1158) en van Frans-Vlaanderen (1183). Alle middeleeuwse windmolens bezaten wieken en een horizontale as.

De meeste afbeeldingen uit die tijd tonen molens, die qua constructie bijna niet verschillen van de hedendaagse: het hele houten molenlichaam draaide op één staak.

In onze gewesten, met hun veranderlijke windrichtingen, konden alle windmolens naar de wind gedraaid (gekruid) worden. Het vermogen van een windmolen is afhankelijk van de diameter van de rotor (het stel wieken) en vooral van de windsnelheid: een dubbele straal betekent 4 maal meer opbrengst, terwijl een dubbele windsnelheid de opbrengst verachtvoudigt.

Bij gelijkblijvende omstandigheden beïnvloedt het aantal wieken de opbrengst niet. Voor de elektriciteitsopwekking worden 2 tot 4 wieken gebruikt, de zgn. snellopers, omdat zij sneller draaien dan veelbladige turbines, langzaamlopers. Deze laatste zijn beter geschikt voor het leveren van arbeid (aan graanmolens, waterpomp, enz...). Omdat windenergie bewegingsenergie is, kan ze ook uitstekend gebruikt worden voor de opwekking van elektriciteit. Met behulp van een windturbine (een moderne windmolen) wordt een generator in beweging gebracht. De generator wekt elektriciteit op, zoals dit op kleine schaal gebeurt bij een fietsdynamo.

Naast het type van de 'klassieke' windmolen met horizontale as (propellermolen, Hollandse molen), maakt men sinds het begin van de jaren zeventig ook gebruik van de Darrieusmolen, genoemd naar de Franse uitvinder (patent van 1925). Dit type van windmolen heeft een soort 'hoepels' in plaats van wieken, en een verticale as.

Windgeneratoren kunnen in principe op het elektriciteitsnet aangesloten worden. Het voordeel van directe toevoer aan een bestaand distributienet is dat geen speciaal opslagsysteem nodig is. Bij opslag van energie van een niet gekoppelde windturbine in accu's gaat veel energie verloren, waardoor de opbrengst veel kleiner is.

Vanwege de relatief kleine energiedichtheid van stromende lucht betekent een windenergie-installatie bijna per definitie decentralisatie. Wil men het toch grootschalig, dan is men aangewezen op een windturbinepark nl. een aaneenschakeling van windturbines.

Het plaatsen van grote aantallen windturbines vergt een aanzienlijke ruimte. Ze kunnen immers niet te dicht bij elkaar geplaatst worden vanwege de onderlinge beïnvloeding (de zgn. zogeeffecten).

Uit experimenten in Nederland is gebleken dat een onderlinge afstand van windturbines in een park ongeveer 6 à 10 maal de rotordiameter moet bedragen. Bij kleinere afstanden neemt de energieproductie per windturbine snel af, bij grotere afstanden wordt de energieproductie te laag per m² grondoppervlak.

Vandaar dat in Nederland, Engeland, de Verenigde Staten en Zweden onderzoek verricht wordt naar de mogelijkheden van windenergieparken op zee. De zogeeffecten spelen er geen grote rol omdat de windturbines gemakkelijker verder uit elkaar gezet kunnen worden.

In tegenstelling tot het vlakke en kustrijke Nederland, bleef de ontwikkeling van windturbines voor elektriciteitsopwekking in België lange tijd in de kinderschoenen staan. De laatste jaren is hierin verandering opgetreden; ook in universitaire kringen is men volop bezig met experimenten op dit vlak. Een hoopgevend bericht kwam in 1983 vanuit het Limburgse Zepperen, waar een privé-bedrijfje in samenwerking met studenten van de Industriële Hogeschool van Hasselt tot de bouw van een windmolen kwamen die commercieel exploiteerbaar bleek te zijn.

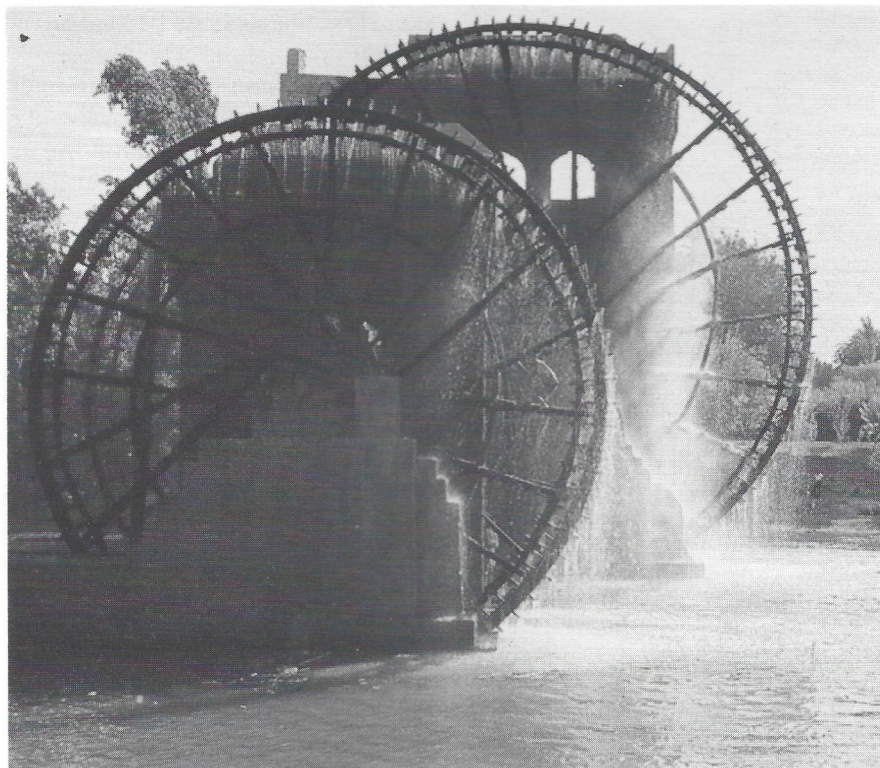
43

Eeuwenlang al is de noria in gebruik in China, Egypte en het Midden-Oosten. In Hama, Syrië, wordt er nog altijd water mee gewonnen om het land te bevoelen.

2.3.3. Waterkracht, een zee van mogelijkheden.

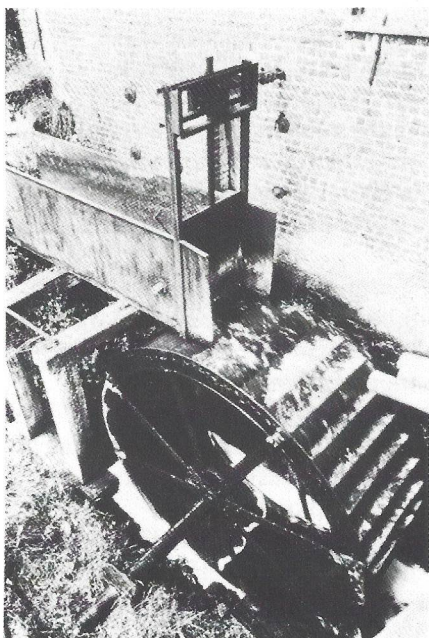
Water stroomt in beken en rivieren van berghellingen af en beweegt in de golven van zeeën en oceanen. Deze beweging vertegenwoordigt energie, die als drijfkracht kan aangewend worden.

In de Oudheid werd de kracht van stromend water vooral gebruikt om schepraderen, de noria's, te laten draaien. De noria is een houten wiel, voorzien van bakjes of emmers om het water op te scheppen. Eénmaal de emmers gevuld en op het hoogste punt van de omloop gekomen, liepen ze leeg in een houten kanaaltje. Nu nog wordt de noria in China en India gebruikt voor irrigatiedoeleinden. Eigenaardig genoeg waren de eerste eigenlijke waterradmolens niet geïnspireerd op de noria: zij hadden nl. een horizontaal geplaatst schoepenrad.



44

Waterrad bestaande uit een bovenslagwiel, draaiend door middel van een goot, die het water afgeeft in de schoepen aan de bovenrand van het wiel.



De oudste door water aangedreven molens waren graanmolens, die al in de 2e eeuw voor Christus bij de Grieken in gebruik geweest zouden zijn. De draaiende beweging van het waterrad gebeurde rond een vertikale as, waarop de molensteen onmiddellijk gemonteerd was.

Een nadelig aspect hiervan was dat één omwenteling van het waterrad overeenkwam met slechts één draaibeweging van de maalsteen. Waterwiel en molensteen draaiden immers in hetzelfde vlak.

Het gebruik van een vertikaal rad om een horizontale molensteen te doen draaien is een idee van de Romeinen. In de 1e eeuw na Chr. omschreef de Romeinse architect Vitruvius er de principes van.

De eerste tot dusver archivalisch bewezen aanwijzingen van watermolens in onze streken dateren van de 8e en 9e eeuw, in Frans-Vlaanderen en in de Kempen. In Vlaanderen schijnt de oudste vermelding op te klimmen tot 982, toen een graaf een watermolen schonk aan de Sint-Pietersabdij te Gent.

In de 11e eeuw vermeldde het Engelse Domesday Book, een lijst van bezittingen van 1080 tot 1086 en opgesteld door Willem de Veroveraar met het oog op de belastingheffing, reeds meer dan 5.000 watermolens. In onze streken worden de vermeldingen van watermolens talrijker vanaf de 12e eeuw.

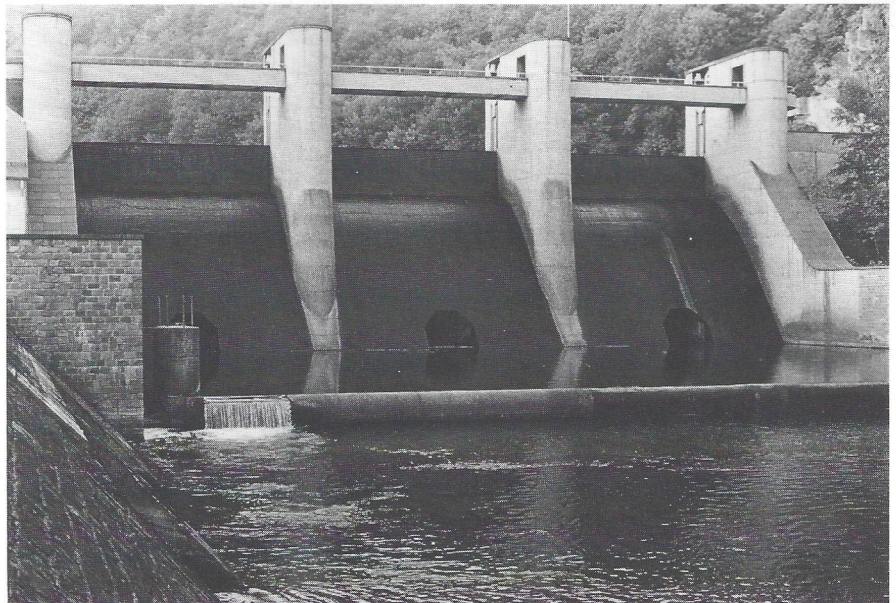
Waterkracht is de enige hernieuwbare energiedrager die op vrij grote schaal gebruikt wordt, met name in die landen die rivieren bezitten met een aanzienlijk verval of debiet op hun grondgebied. Verval is het hoogteverschil tussen het bovenwater en het onderwater. Debiet is de hoeveelheid water die binnen een bepaalde tijdsspanne langs een bepaalde plaats stroomt (meestal m³/sec).

In West-Europa zijn Zwitserland en Noorwegen vanwege hun talrijke watervallen de landen met een groot waterkrachtpotentieel. In Noorwegen staat de grootste Westeuropese waterkrachtcentrale buiten Rusland, nl. die van Ulla-Førre, met een vermogen van 1.680 megawatt.

Hydraulische energie kan, zoals windenergie, omgezet worden zowel in mechanische als in elektrische energie. De eerste waterkrachtcentrale die elektriciteit produceerde, dateert van 1881, in de Amerikaanse staat Wisconsin. Vanaf het einde van vorige eeuw schakelde men over op de waterturbine i.p.v. op het waterrad, dat eerst uit hout, later uit hout en metaal vervaardigd was. Deze waterturbine was goedkoper, haalde een hoger toerental (60 tot 80 omwentelingen per minuut) en bezat een veel groter rendement. Eén kwart van alle elektriciteit in de wereld wordt tegenwoordig opgewekt met behulp van waterkracht, ook wel 'witte steenkool' genoemd. De theoretisch te benutten capaciteit van waterkracht in de wereld wordt geschat op 3 miljoen megawatt, voldoende om elke wereldbewoner het elektrisch vermogen te leveren dat nu voor elke Belg geïnstalleerd is. Van dit wereldpotentieel aan hydraulische energie bezitten de Derde Wereldlanden 67 %. Daarentegen bedraagt hun aandeel in het wereldtotaal aan waterkrachtenergie die nu reeds gebruikt wordt, slechts 19 %. Grote hydro-elektriciteitscentrales werken immers remmend op de ontwikkeling van deze landen vanwege de hoge investeringen en de ongerijmdheid om elektriciteit door de huishoudens te laten afnemen. Er stellen zich nog andere problemen bij het aanwenden van waterkracht. Om een groter verval te bekomen, wordt in de rivier vaak een dam gebouwd waardoor het water zich daarvoor ophoopt in een stuwmeer. Dergelijke menselijke ingreep in de natuurlijke stroom der rivieren heeft nadelige consequenties en maakt tegenmaatregelen noodzakelijk. Deze verschijnselen hebben voor ernstige problemen gezorgd, onder meer na de bouw van de Assoeandam in de Egyptische Nijl en van de Abosombodam in Ghana. Eén van de nadelen is het feit dat het slib geen vruchtbare laag meer achterlaat op de oever, wat normaal bij overstromingen aan de benedenstroom wel gebeurt. Anderzijds neemt de hoeveelheid vissen in het meer ineens zeer snel toe, maar ook dragers van besmettelijke ziekten, zoals bepaalde slakken.

45

Dam te Nandrin, België.



In België zorgde waterkracht in 1983 voor 2 % van de totale elektriciteitsproductie. De laatste jaren werden in de Maas vijf waterkrachtcentrales in gebruik genomen, met een totaal vermogen van ca. 75 megawatt (weliswaar als een aanhangsel van de nucleaire elektriciteitsopwekking). Vooral de ontwikkeling van de turbine van de Oostenrijkse ingenieur Kaplan, een relatief snel draaiende turbine met verticale as, maakt waterkrachtcentrales bij ons financieel haalbaar omdat hierbij relatief kleine hoogteverschillen bij grote hoeveelheden water rendabel geëxploiteerd kunnen worden.

Waterverplaatsingen bij eb en vloed, die veroorzaakt worden door de aantrekkingskracht van zon en maan, vormen eveneens een bron van energie. Om dit energiepotentieel rendabel te benutten, moet men echter over een relatief smalle kustopening beschikken, waardoor het getijdenverschil veel groter is dan op de open oceaan (bijv. 6 m i.p.v. 0,5 m à 1 m). Daarachter ligt dan een afsluitbaar bassin of de riviermond. De enige twee getijdencentrales die op dit moment in bedrijf zijn, zijn enerzijds gelegen aan de monding van de rivier de Rance, aan de noordkust van Bretagne, en anderzijds aan de Kislayabaai in het noorden van de Sovjetunie. Elders deden zich ook wel gunstige omstandigheden voor, maar stond een sterke afwisselende opbrengst (springtij/doodtij) een commerciële exploitatie in de weg. Nog veel meer energie zit opgeslagen in de wereldzeeën, hoewel de winning hiervan nog in een experimenteel stadium is. Zo wordt vooral in Groot-Brittannië en Japan onderzoek geleverd naar de mogelijkheden van golfslagenergie op grote zee-oppervlakten.

2.3.4. De machtige mesthoop: biomassa.

Deze vorm van zonne-energie vindt zijn oorsprong in de eerder genoemde fotosynthese, waarbij organisch materiaal door de groene planten geproduceerd wordt met behulp van zonlicht. Voedsel en veevoeder zijn vormen van biomassa waarmee we het langst vertrouwd zijn.

Een andere vorm van zonne-energie die dank zij groene planten wordt opgeslagen is hout.

Indien men niet méér hout zou verbruiken dan er jaarlijks gevormd wordt, zou hout geen belasting voor het milieu vormen vermits deze energiedrager niet méér CO₂ (kooldioxyde) in de lucht brengt dan er voor de vorming werd opgenomen.

Op wereldvlak houdt de houtproductie echter geen gelijke tred met de houtconsumptie. Voor het overgrote deel van de Derde Wereldbevolking is hout de enige vorm van energie. Het grootste deel van de houtproductie wordt gebruikt als brandhout voor kookdoeleinden. Bij gebruik van een open vuur heeft koken op hout echter een rendement van 2 tot 10 %, terwijl een kacheltje dit rendement kan verhogen tot 30-35 %.

Méér dan 1 miljard mensen op het platteland verbruiken hout ten koste van overexploitatie van de bossen zodat ze vóór 2000 met een ernstig brandstoftekort te kampen zullen hebben. Honderd miljoen mensen zitten reeds in zo'n crisissituatie en kunnen niet meer in hun minimale energiebehoefte voorzien.

Toch zal de Derde Wereld nog geruime tijd op deze energiedrager een

46

Een vrouw bereidt een maaltijd in het dorpje Pizonou, Opper-Volta (1976).

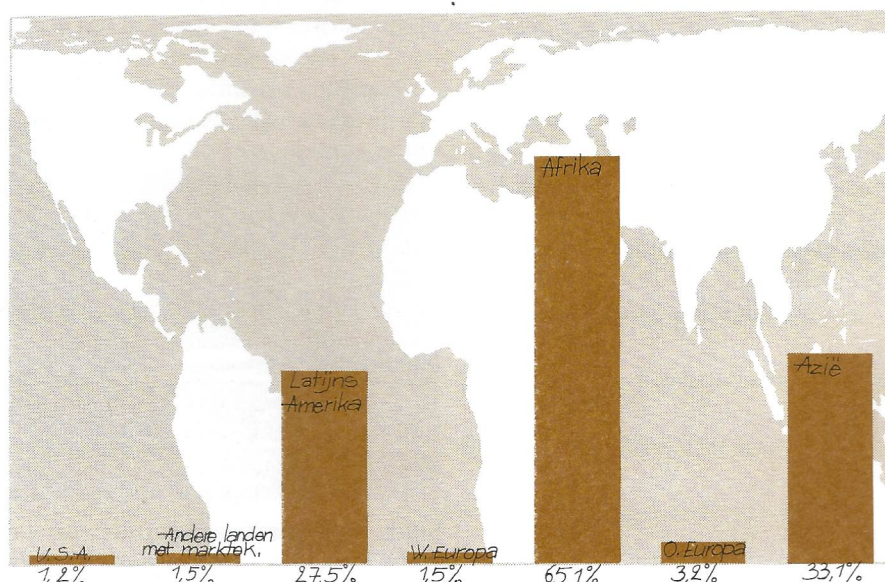


beroep moeten doen. Daarom moet op grote schaal aan herbebossing gedaan worden. Hiervoor zijn grote financiële middelen nodig: 1 miljard dollar per jaar tot 2000, te weten vijf maal zoveel als wat er nu ter beschikking wordt gesteld door de Wereldbank. Voorlopig komt dit geld niet vrij, zodat de Derde Wereld maar op zijn honger moet blijven zitten. Als er al een energiecrisis is, dan is het de energiecrisis van de armen. Vloeibare en gasvormige brandstoffen kunnen gemakkelijk betrokken worden uit biomassa: b.v. door alcohol te destilleren uit graan of fruit, dat gefermenteerd is met gist, of door methaan, gevormd door bacteriën, uit mest, rioolslib of huisvuil, op te vangen.

Gasvormige en vloeibare brandstoffen zijn van levensbelang voor het soepel draaien van een modern energiesysteem. Vloeibare brandstoffen zijn essentieel voor vliegtuigen en zware voertuigen, die niet gauw op elektriciteit zullen draaien. Gasvormige brandstof is een belangrijk middel om energie te transporteren en kan bovendien heel wat energiebesparing opleveren als ze voor warmtepompen gebruikt wordt. Een warmtepomp betekent immers minder brandstof bij een gelijkblijvende warmteproductie.

47

Het gebruik van biomassa in de wereld.



Als organisch afvalmateriaal (voedselresten, papier, hout, faecaliën) apart beschikbaar komt, zoals bij rioleringen en veeteeltbedrijven, dan is *methaangisting* aangewezen om er energie aan te onttrekken.

Methaangisting komt op gang als het organisch afval goed van de lucht afgesloten wordt en op temperatuur gehouden (25 à 35°C). De organische stoffen worden dan omgezet in methaangas (70 %) en koolzuurgas (30 %). Wat overblijft kan gebruikt worden als compost, die effectiever is dan stalmest. Bovendien schakelt men aldus de noodzaak aan energieverslindende chemische meststoffen uit.

In India en China maakt men op het platteland veelvuldig gebruik van deze zogenaamde biogasinstallaties en spaart men zo brandhout uit.

Behalve voor kookdoeleinden kan methaangas gebruikt worden om er tractoren mee te laten rijden of gasmotoren voor elektriciteitsopwekking aan te drijven.

Uit afvalmateriaal zoals mest, rioolslib, huisvuil, afval uit land- en bosbouw en organisch industrieel afval kan ook vloeibare brandstof geproduceerd worden.

De alcoholproductie uit landbouwprodukten is met name in Brazilië reeds ver gevorderd. Men hoopt er het nationaal benzinegebruik stelselmatig mee te kunnen vervangen. De alcohol wordt er echter grotendeels gewonnen uit monoculturen zoals suikerriet. Ten behoeve hiervan is reeds één miljoen hectare goede landbouwgrond in gebruik. In dit geval ziet het er naar uit dat de energieproductie uit biomassa in concurrentie komt te staan met de productie van voedsel en timmerhout.

2.3.5. Warme voeten: aardwarmte.

Bij afdaling in mijnschachten voelt men het steeds warmer worden naarmate men verder naar beneden gaat; gemiddeld wordt het 1°C warmer op iedere 30 m die afgedaald wordt. Direct onder het aardoppervlak is de temperatuur ongeveer 10°C.

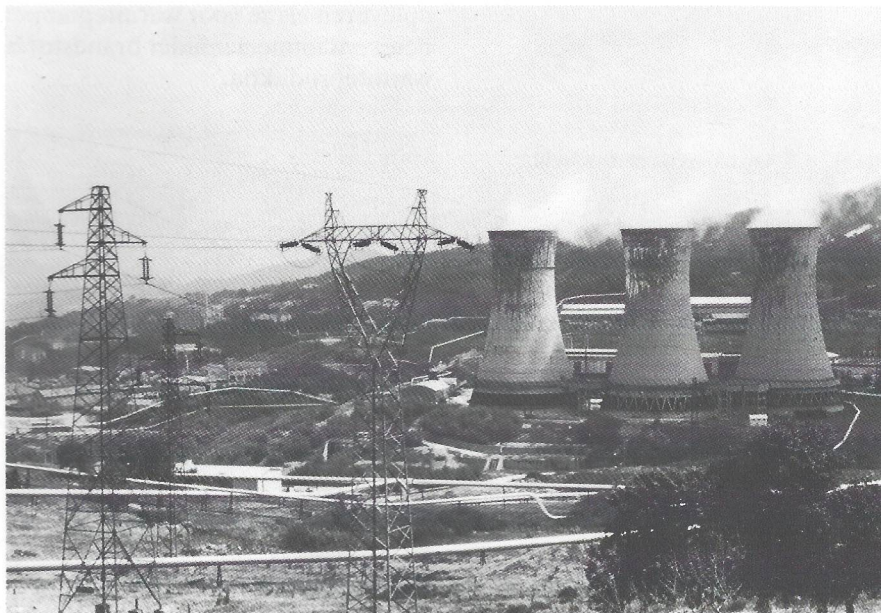
In sommige gebieden wordt vulkanische aardwarmte van een zeer hoge temperatuur aangetroffen. Vulkanisme ontstaat op plaatsen waar zich zulke intense warmteproductie voordoet dat de gesteenten er gedeeltelijk smelten. Dit gebeurt op diepten tussen 60 en 150 km.

De temperaturen bedragen er ongeveer 1.000°C. Wanneer dit vloeibaar kokend heet gesteente, magma genaamd, zich onder hoge druk een weg naar boven zoekt, spreken we van een vulkaanuitbarsting.

De enige nog werkende vulkanen in Europa zijn de Etna en de Stromboli. Geothermisch is vooral de provincie Toscane erg interessant. Hier bevindt zich de oudste aardwarmtecentrale ter wereld, nl. in Larderello nabij Pisa.

48

Koeltorens van de geothermische elektriciteitscentrale van Larderello, Italië.



Sinds 1904 wordt aardwarmte er benut door water met een temperatuur van 200 à 300°C via grote buizen naar een centrale te leiden. Daar wordt de stoom gebruikt voor de produktie van elektriciteit. Thans zijn ongeveer een half miljoen mensen op dit net aangesloten.

Maar ook elders in de wereld wordt hoog calorische warmte uit de aardkorst gewonnen. Zo is de stad San Francisco in de Verenigde Staten vrijwel geheel aangewezen op geothermische energie voor haar elektriciteitsvoorziening. In Mexico, IJsland, Rusland, Japan en Nieuw-Zeeland wordt eveneens elektriciteit opgewekt met behulp van aardwarmte.

Warmte en dus ook aardwarmte kan alleen getransporteerd worden als zij gebonden is aan één of andere materie zoals bijvoorbeeld water. We zagen reeds dat water een goede warmte-accu is. In de aardkorst is water opgeslagen in een laag doordringbaar gesteente, zoals zandsteen. Door het boren van gaten kan deze warmte vrijgemaakt worden. In deze gaten worden buizen geplaatst, waardoor het (zoute) warme water omhoog gepompt kan worden. Vlakbij de bron staan warmtewisselaars waarmee de warmte aan het bronwater wordt onttrokken.

Deze operatie vereist een goede kennis van de geologische structuur van de bodem. De winning van warm water lijkt dan ook veel op aardolie- en gaswinning. Het zijn voornamelijk de olie- en boormaatschappijen die de nodige geologische kennis en de produktietechnieken voor winning van vloeistoffen op grote diepte bezitten. Deze kennis is noodzakelijk voor een snelle introductie van aardwarmtewinning.

Voor de economische haalbaarheid van aardwarmtewinning is het van belang de boorkosten zo laag mogelijk te houden, omdat deze ca. 50 % van de investeringskosten bedragen. Ook is het rendabeler als de

warmteproductie het hele jaar door plaatsvindt. De overproductie aan warmte tijdens de zomer zou men tijdelijk kunnen opslaan in niet al te diep gelegen gesteenten.

Transport van warm water over afstanden langer dan 20 km, is niet haalbaar zodat de gebruikers van aardwarmte op een relatief kleine afstand van de put moeten wonen.

In West-Europa komt exploiteerbare aardwarmte grotendeels voor op ongeveer 3.000 m diepte. Wegens de betrekkelijk lage temperatuur (minder dan 120°C) kan deze warmte slechts voor ruimteverwarming gebruikt worden.

De Parijse nieuwbouwwijk Melun wordt al sinds 1966 op die manier van energie voorzien. Het gaat hier om ongeveer 3.000 woningen. In Frankrijk zijn op grond van deze positieve ervaring een tiental projecten in voorbereiding. Men verwacht dat tot 1990 jaarlijks 50.000 woningen op geothermische verwarming aangesloten zullen worden.

In ons land werd een eerste proefboring verricht in Hoogstraten-Meer, teneinde met aardwarmte tuinbouwkassen te verwarmen, echter zonder succes. Recente pogingen in de streek rond Turnhout en in het Waalse Saint-Ghislain wezen op de aanwezigheid van warm grondwater, maar de vraag is of deze vondsten commercieel exploiteerbaar zijn, in het Turnhoutse wellicht wel.

Alleen aardwarmte in vulkanische gebieden, zoals in Nieuw-Zeeland, kan tot duurzame energie in eigenlijke zin gerekend worden. Gewone aardwarmtebronnen hebben immers naar schatting slechts een levensduur van 30 à 40 jaar. Dit komt omdat een geleidelijke afkoeling van de ondergrond optreedt wanneer er warmte aan onttrokken wordt.

Doordat gesteenten zulke slechte warmtegeleiders zijn, kan deze warmte niet snel genoeg aangevuld worden. Pas na een proces van duizenden jaren kan de temperatuur in de diepe ondergrond op het vroegere niveau terugkeren.