

# DE LAATSTE ENERGIECRISIS?

BETEKENT PIEKOLIE  
HET BEGIN VAN HET EINDE  
VAN DE  
HOMO PETROLIENSIS?



Elias Verbanck

**MO\*** PAPER

nummer 48 – november 2010

[www.mo.be](http://www.mo.be)



**MO\*papers** is een serie analyses die uitgegeven wordt door Wereldmediahuis vzw. Elke paper brengt fundamentele informatie over een tendens die de globaliserende wereld bepaalt. MO\*papers worden toegankelijk en diepgaand uitgewerkt.

MO\*papers worden niet in gedrukte vorm verspreid. Ze zijn gratis downloadbaar op [www.mo.be](http://www.mo.be). Bij het verschijnen van een nieuwe paper wordt een korte aankondiging gestuurd naar iedereen die zijn of haar e-mailadres bezorgt aan [mopaper@mo.be](mailto:mopaper@mo.be) (onderwerp: alert)

**Elias Verbanck** studeerde aan de Universiteit van Wageningen (Nederland) en is bio-ingenieur. Hij werkt bij het Agentschap voor Natuur en Bos, een onderdeel van de Vlaamse Overheid. In zijn vrije tijd is hij actief bij Terra Reversa en de transitiebeweging. Via deze organisaties vatte hij belangstelling op voor het probleem van piekolie. Op basis van wetenschappelijke rapporten maakte hij een presentatie over dit onderwerp voor de transitiebeweging. Hij bedankt Miranda Verbanck en Paul Henderick voor het nalezen van deze paper.

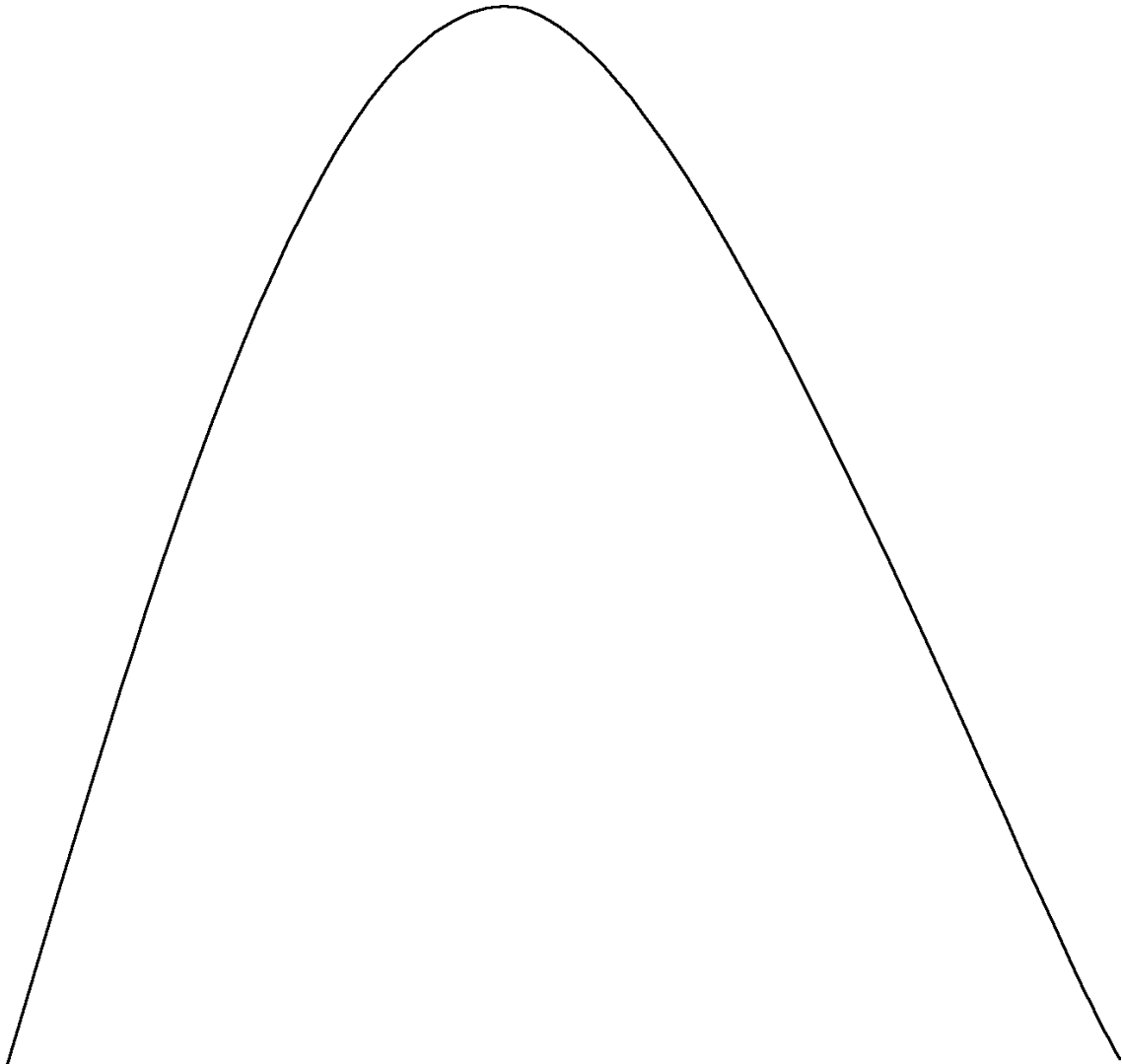
**Redactieraad MO\*papers:** Saartje Boutsen (Vredeseilanden), Ann Cassiman (Departement Sociale en Culturele Antropologie, KU Leuven), Ludo De Brabander (Vrede), Ann De Jonghe (Wereldsolidariteit), Lieve De Meyer (eindredactie), Rudy De Meyer (11.11.11), Gie Goris (MO\*), Nathalie Holvoet (Instituut voor Ontwikkelingsbeleid en -beheer Universiteit Antwerpen), Huib Huyse (HIVA KULeuven), Gijs Justaert (Wereldsolidariteit), Els Keytsman (Vluchtelingenwerk Vlaanderen), Hans Van de Water (VLIR-UOS), Didier Verbruggen (IPIS), Françoise Vermeersch (ABVV), Emiel Vervliet (hoofdredacteur MO\*-papers), Koen Vlassenroot (UGent).

**Informatie:** [mopaper@mo.be](mailto:mopaper@mo.be) of MO\*paper, Vlasfabriekstraat 11, 1060 Brussel

**Suggesties:** [emiel.vervliet@mo.be](mailto:emiel.vervliet@mo.be)

Wereldmediahuis is ook uitgever van het maandblad MO\* en van de mondiale nieuwssite [www.MO.be](http://www.MO.be) (i.s.m. het nieuwsagentschap IPS-Vlaanderen).

Overname van de teksten is toegestaan mits toestemming van auteur en uitgever.



*“The oil boom is over and will not return. All of us must get used to a different lifestyle”*

*Koning Abdullah van Saoedi-Arabië.*

## [ inleiding ]

Het voorbije decennium zaten de olieprijsen fors in de lift. Zelfs in de huidige economische crisis blijft de olieprijs op een hoog niveau. Landen met bodemrijksdommen zien hun macht toenemen en kloppen zich zelfzeker op de borst. Olieafhankelijke landen worden zenuwachtig. Een toenemend aantal energiespecialisten schetst een grimmig toekomstbeeld en waarschuwt voor olietekorten. Wat is er aan de hand?



## OLIEMENSEN

Elk proces, elke beweging, elke verandering en ontwikkeling vraagt energie. De zon voorziet de aarde van een constante stroom energie. Planten, dieren en mensen leven bij de gratie van die energiebron. Doordat de hoeveelheid zonne-energie beperkt is, zijn ecosystemen in hun opbouw en complexiteit altijd beperkt door de hoeveelheid beschikbare zonne-energie. Dat gold ook voor de mens. Tot voor kort stelde de hoeveelheid zonne-energie die de mens in zijn landbouwsysteem kon opvangen, een harde bovengrens aan de bevolkingsgrootte en de complexiteit van de samenleving. Arbeid werd geleverd door spierkracht van dieren en mensen. Het voedsel dat de mensen en dieren aan het werk hield, is uiteindelijk niets anders dan door planten vastgelegde zonne-energie. In die samenleving was een groot deel van de bevolking actief in de voedselvoorziening.

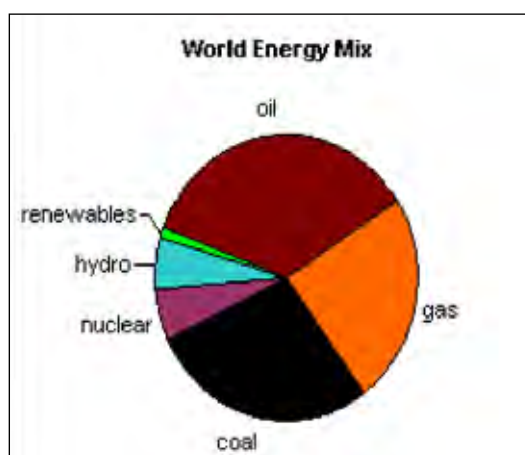
Maar halverwege de achttiende eeuw ontdekte de mens een manier om de energetische grenzen te verleggen. Hij begon fossiele energiebronnen aan te spreken en kon hiermee als het ware zonne-energie uit een ver geologisch verleden aan zijn samenleving toevoegen. Fossiele energie (steenkool, gas en olie) ontstond miljoenen jaren geleden toen planten- en dierenresten bedekt werden met zware lagen sediment. De druk en de temperatuur waaraan het organisch materiaal gedurende vele duizenden jaren blootstond, leidde tot de vorming van steenkool, gas en olie.

De eerste fossiele energiebron die de mens benutte, was steenkool. Olie en gas werden pas later ontgonnen. Het opgraven van die steenkool, in combinatie met technologische ontwikkelingen maakte de industriële revolutie mogelijk. De industriële revolutie leidde tot een nieuwe samenleving. Menselijke arbeid kreeg een andere betekenis, aangezien die vervangen kon worden door goedkope en veelvuldig beschikbare fossiele energie. In de Verenigde Staten bijvoorbeeld werd de slavernij afgeschaft op het moment dat het goedkoper werd om steenkool te gebruiken dan om te voorzien in het levensonderhoud van slaven.

In 1859 werd in Titusville (Verenigde Staten) de eerste commerciële olieput geslagen. De eerste oliewerkers zullen niet geweten hebben dat de hele mensheid hiermee een hoofdprijs had geschoten. De olie die daar uit de eerste putten kwam, bleek een ongelooflijk energiedicht product te zijn. Eén liter olie bevat 38 MJ energie – dat komt overeen met ongeveer twee weken menselijke arbeid van tien uur per dag. Deze enorme energiedichtheid, de hoge *energy return on energy investment* (EROEI), het gemak waarmee opslag en transport mogelijk werden en de bijna oneindige toepassingsmogelijkheden maken van olie vermoedelijk de beste energiebron die de mens ooit kende. Olie bleek niet alleen als energiebron maar ook als grondstof een droomproduct. Geleidelijk aan ontwikkelde zich een chemische industrie die de menselijke wereld een nieuw uiterlijk gaf: kunststof, plastic, verf, vernis, medicijnen en kledij verschenen in haast ontelbare gedaantes. De Homo Petroliensis was geboren.

Vandaag leven we nog volop in het fossiele tijdperk. Ruim 80% van de wereldwijde energievoorziening bestaat uit steenkool, gas en olie. Olie is goed voor 37% van de totale energievoorziening en is daarmee kwantitatief de belangrijkste energiebron van de wereld.

Ons industriële bestel is grotendeels op olie gebaseerd. Het zwarte goud is zowel energiebron als grondstof voor onze industrie. Onze omgeving is grotendeels opgebouwd uit olie. Om een computer te fabriceren, is zeshonderd liter olie nodig. Voor een gsm is dat zes liter. Voor een auto op de weg komt, is tijdens het productieproces in de fabriek al achtduizend liter olie verbruikt. Zelfs de voorwerpen in je huiskamer die 'natuurlijk' aandoen, de houten stoel, tafel of deur bijvoorbeeld, houden verband met olie. Denk maar aan de motorzagen van de bosarbeiders, de bosbouwmachines, de zagerij, de laag vernis die het hout krijgt, het verpakkingsmateriaal en de vrachtwagens die het hout naar de winkel brengen. Olie heeft onze moderne wereld vorm gegeven en is het bloed dat onze moderne economie draaiende houdt.



Ons industriële bestel is grotendeels op olie gebaseerd. Het zwarte goud is zowel energiebron als grondstof voor onze industrie. Onze omgeving is grotendeels opgebouwd uit olie. Om een computer te fabriceren, is zeshonderd liter olie nodig. Voor een gsm is dat zes liter. Voor een auto op de weg komt, is tijdens het productieproces in de fabriek al achtduizend liter olie verbruikt. Zelfs de voorwerpen in je huiskamer die 'natuurlijk' aandoen, de houten stoel, tafel of deur bijvoorbeeld, houden verband met olie. Denk maar aan de motorzagen van de bosarbeiders, de bosbouwmachines, de zagerij, de laag vernis die het hout krijgt, het verpakkingsmateriaal en de vrachtwagens die het hout naar de winkel brengen. Olie heeft onze moderne wereld vorm gegeven en is het bloed dat onze moderne economie draaiende houdt.

De transportsector is de grootste olieverbruiker. De meeste olie die de aarde prijsgeeft, wordt verbrand in motoren van voertuigen. In bijna alle landen ter wereld wordt meer dan de helft van de olie gebruikt als brandstof voor personenwagens, vrachtwagens, schepen en vliegtuigen. Zonder olie zou de wereldhandel stilvallen en zouden we in de supermarkt voor een leeg rek staan. Onze ruimtelijke ordening zoals die na de tweede wereldoorlog tot stand is gekomen, is afgestemd op de auto en is daarmee eveneens het resultaat van petroleum. Mensen wonen, werken en recreëren op verschillende plaatsen, die met elkaar verbonden zijn via een complex netwerk van wegen. En zelfs die wegen zijn, voor zover ze van asfalt gemaakt zijn, ook een olieproduct.

Olie zit nog ergens waar je ze niet meteen verwacht: in onze landbouw en voedselvoorziening. De moderne geïndustrialiseerde landbouw heeft door mechanisering, plantenveredeling, het gebruik van kunstmest en gewasbeschermingsmiddelen een enorme productieverhoging geforceerd. Recordoogsten van granen, rijst en knolgewassen werden mogelijk met een fractie van

de arbeid van enkele eeuwen geleden. De wereldbevolking volgde de trend in de landbouwproductie en explodeerde. Binnenkort mag de wereld zijn zeven miljardste aardbewoner verwelkomen.

De modernisering van de landbouw ging gepaard met een enorme toename van het gebruik van fossiele brandstoffen. Volgens sommige bronnen ligt het energieverbruik van de moderne landbouw vijftig maal hoger dan dat van de pre-industriële landbouw. Tractoren die de grond bewerken, zaaien en oogsten hebben met hun enorme trekkracht een buitensporig oliegebruik. In het bijzonder het aanmaken van kunstmest vraagt zeer veel energie (hiervoor wordt vooral aardgas gebruikt). De biociden waarmee we onze gewassen beschermen tegen plagen, zijn petroleumproducten. Ook bij het regelen van de waterhuishouding van landbouwgronden door draineren en irrigeren komt vaak olie kijken. Het voedsel wordt gedroogd, gekoeld en ten slotte verpakt in uit olie vervaardigde plastics. Cijfers uit de VS van de jaren 1990 becijferen het oliegebruik in de moderne landbouw op duizend liter per hectare per jaar. Onze moderne landbouwmethodes zijn vanuit energiestandpunt dan ook onwaarschijnlijk inefficiënt. Voor elke calorie aan voedsel die we consumeren, zijn in het productieproces, afhankelijk van de geraadpleegde bron, 7,3 tot 10 calorieën fossiele energie nodig. Vervolgens moet het voedsel nog bij de consument raken. De afstand tussen de landbouwer en de consument is vandaag zeer groot. De zogenaamde voedselkilometers zijn de voorbije decennia enorm toegenomen. Wie denkt er tijdens het tafelen aan dat we met elk bord een enorme schaal olie consumeren?

Richard Heinberg vat het als volgt samen: “Met de opkomst van fossiele brandstoffen als hulp voor de mens om in zijn levensonderhoud te voorzien, veranderde alles in de menselijke samenleving van opvoeding tot politiek, van culturele mythen tot individuele dromen.”

Fossiele energiebronnen, en vooral olie, hebben onze moderne wereld in belangrijke mate vorm gegeven. Onze welvaart, ons consumptieniveau, onze geïndividualiseerde mobiliteit en ons sociaal zekerheidsstelsel hebben zich kunnen ontwikkelen dankzij veelvuldig beschikbare goedkope energie. Voor Europa en Noord-Amerika kunnen we alvast stellen dat ook de gewone man voor het eerst in de geschiedenis kan leven als een koning. De gemiddelde Amerikaan gebruikt evenveel energie als vijftig denkbeeldige energieslaven die dag en nacht voor hem fietsen. In de documentaire *A crude Awakening* brengt Mat Savinar onze olieafhankelijkheid treffend onder woorden: “Olie is onze God. Het maakt me niet uit of iemand zegt dat hij in Jezus, Boeddha of Allah gelooft, eigenlijk zijn we allemaal aanhangers van olie.”







## DE VRAAG NAAR OLIE

Een olieverslindende levensstijl bleef tot voor kort grotendeels beperkt tot de geïndustrialiseerde wereld: de VS, Canada, Europa, Australië en Japan. De VS is de trieste recordhouder, die met 5% van de wereldbevolking maar liefst 25% van de olie opslokt. Vandaag neemt het oliegebruik in de geïndustrialiseerde wereld niet verder toe. Als gevolg van de economische crisis is het oliegebruik in Europa en vooral in de VS de voorbije twee jaar zelfs afgenomen. Maar de rest van de wereld begint steeds meer dorst te krijgen. De nieuwe economieën bouwen een industrie- en transportsector uit en een groter deel van de bevolking begint de levensstijl van de westerling over te nemen. Zo reed in China twintig jaar geleden bijna iedereen met de fiets. Ondertussen hebben tientallen miljoenen nieuwe rijken de fiets aan de kant gezet en zijn ze in de auto gestapt. Vandaag verbruikt de wereld ongeveer 85 miljoen vaten olie per dag (een vat is ongeveer 160 liter). Een groeiende wereldbevolking in combinatie met de stijgende levensstandaard van de nieuwe mondiale middenklasser zorgt ervoor dat de vraag naar olie nog lang zal toenemen. Vermoedelijk zal de vraag aangroeien met 1 tot 2% per jaar. Projecties voorspellen een toename van de vraag met 27% tegen 2030.

### Problemen met het olieaanbod

De vraag is natuurlijk of de productie deze groeiende vraag kan blijven volgen. Enkele vooraanstaande bronnen menen van wel en beloven een geweldige groei in de olieproductie. *The sky is the limit*, de wereldolieproductie zal stijgen tot 100 en zelfs 120 miljoen vaten per dag, zo beloven die optimistische stemmen. Ze verwijzen hiervoor naar de enorme reserves die de aarde herbergt. Maar er zijn ook steeds meer kritische geluiden te horen in de oliewereld. En er zijn dan ook redenen om achterdochtig te zijn. Met het zwarte goud is te veel geld gemoeid en gaat te veel macht gepaard om er zeker te kunnen van zijn dat alles volledig duidelijk en eerlijk verloopt. Dat illustreren de onderstaande voorbeelden.

In 1982 besliste de OPEC dat de verdeling van de productiequota over de landen zou gebeuren overeenkomstig de beschikbare reserves. In 1985 verhoogde Koeweit zijn reserves van 64 naar 90 miljard vaten, waarmee het een hoger aandeel van de OPEC-productie veroverde ten koste van andere OPEC-leden. In 1998 wilden Abu Dhabi, Dubai, Iran en Irak ook deelnemen aan het feest en declareerden zij reserves die dubbel en driedubbel zo hoog waren als voordien. Saoedi-Arabië vond dat het niet kon

achterblijven en verhoogde twee jaar later zijn reserves van 170 naar 258 miljard vaten. Die uitzinnige claims werden nooit systematisch gecontroleerd, maar de cijfers kwamen wel terecht in de rapporten van het Internationaal Energieagentschap (IEA).

Veel olieproducerende landen die jaarlijks vele miljoenen vaten uit de grond halen, geven nog altijd dezelfde reserves op als tien, twintig en dertig jaar geleden. De cijfers over de oliereserves van Saoedi-Arabië, de nummer één van alle producenten in de wereld, zijn vandaag bijna dezelfde als in 1989. Dat lijkt ongerijmd, vooral omdat er, zoals later in deze paper zal blijken, veel te weinig nieuwe olievondsten zijn om die beweringen te staven. Ook de technologische vooruitgang in de ontginningstechnieken, die aanleiding geeft tot zogenaamde *reserve growth*, lijkt geen afdoende verklaring voor decennialang ongewijzigde reserves. Hebben we hier te maken met leerling-tovenaars die jarenlang uit hetzelfde glas kunnen drinken zonder dat de inhoud vermindert?

Slechts een deel van de reserves is effectief ontginbaar. Het is moeilijk in te schatten in welke mate voorraden daadwerkelijk kunnen worden omgezet in productie. Technologie speelt hierbij een belangrijke rol. Daarom worden reserves soms aangeduid met P1 (*proven*), P2 (*proven + probable*) en P3 (*proven + probable + possible*). Dit leidt tot misverstanden en schept ruimte voor manipulatie.

Vijf van de tien grootste bedrijven ter wereld zijn oliebedrijven. Zij nemen kleine oliebedrijven over, waardoor zij hogere productiecijfers voorleggen zonder dat er daadwerkelijk meer olie uit de grond komt. De grote oliebedrijven moeten concurrenten het hoofd bieden en aandeelhouders geruststellen. Het is voor hen niet eenvoudig om een onaangename boodschap te brengen over olievoorraden en toekomstige productie.

Eens er mist is gespoten, is het moeilijk om de waarheid te onderscheiden. Ook het Internationaal Energieagentschap (IEA), de autoriteit in de energiewereld, lijkt geneigd de optimistische stemmen over reserves en toekomstige productie te volgen. Er bestaat een sterk economisch geloof dat er wanneer er een vraag is, ook voldoende aanbieders zullen zijn. In zijn jaarlijkse *World Energy Outlook* (WEO) beloofde het IEA tot enkele jaren geleden een toekomst met een overvloedig olieaanbod en een fors stijgende productie tot 120 miljoen vaten per dag tegen 2030. Vanaf 2006 werd de toon geleidelijk aan iets voorzichtiger, de productievooruitzichten zijn intussen verlaagd en her en der verschenen waarschuwingen in de tekst van de WEO. Toch vermeldt de WEO van 2009 nog altijd dat de wereldolieproductie tegen 2030 zal stijgen tot 105 miljoen vaten per dag. Het IEA geeft wel aan dat bijkomende investeringen in de oliewinning een absolute noodzaak zijn om de productie verder te verhogen.

Nationale overheden baseren hun energiebeleid op de informatie van het Internationaal Energieagentschap. Op enkele uitzonderingen na, zijn de landen dan ook niet gealarmeerd. Er zijn nochtans wel redenen om verontrust te zijn. Steeds meer oliespecialisten en instituten proberen de wereld te waarschuwen voor olietekorten die de komende jaren al zullen ontstaan, met verstrekkende gevolgen voor de wereld.

Met olietekorten wordt niet bedoeld dat de olie opraakt. Dat is zeker niet het geval. Waarschijnlijk is nog niet eens de helft van de aanwezige aardolie opgepompt. De vraag wanneer de olie opraakt, of voor hoe lang we nog olie hebben, is eigenlijk niet relevant. Die vragen gaan immers uit van de verkeerde veronderstelling dat de olie constant beschikbaar zal zijn, tot ze plotseling volledig op is. Maar de aarde laat haar lichaams-sappen niet in één teug leegdrinken, zij geeft ze geleidelijk aan en met steeds meer tegenzin prijs. We hoeven dus niet bang te zijn voor het moment dat de olie opraakt,

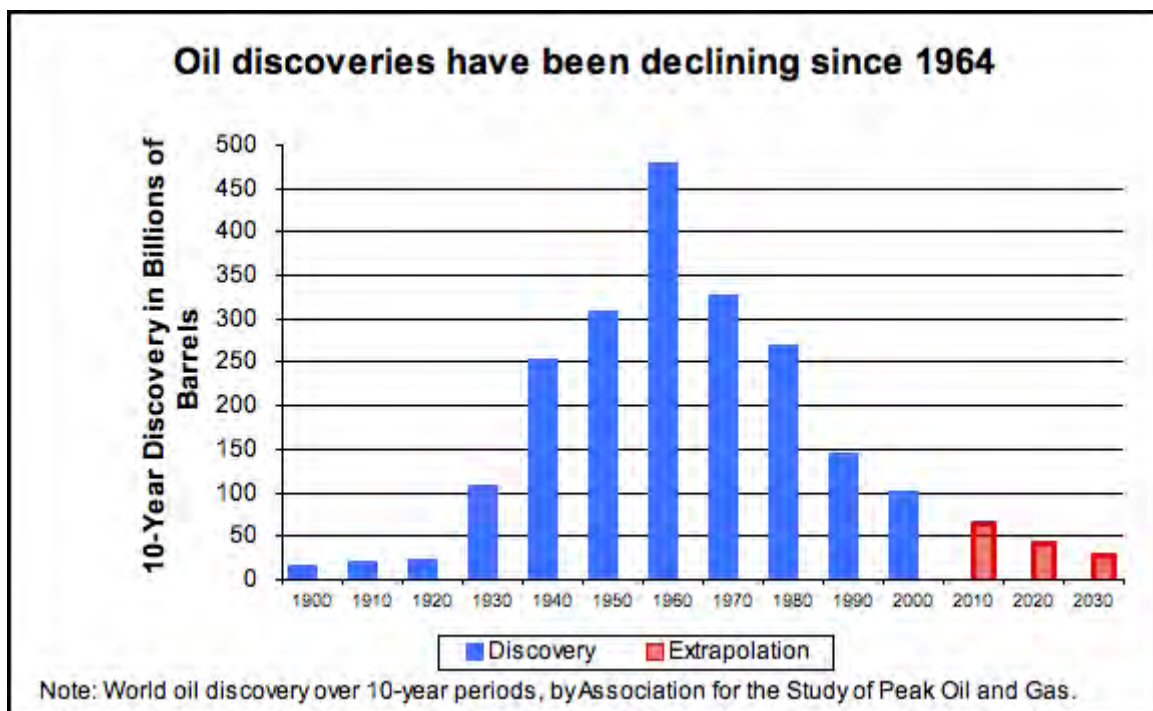


want dat zal eigenlijk nooit gebeuren. Onze achterkleinkinderen zullen in 2100 en 2500 nog altijd wel ergens ter wereld moeizaam wat olie uit de grond kunnen wringen. De oliecrisis die zich weldra zal aftekenen, ontstaat doordat de productie geleidelijk aan maar onverbiddelijk afneemt, terwijl de winning van de resterende olie financieel en energetisch steeds meer kost. Onze wereld die steeds meer olie nodig heeft om te blijven draaien, begeeft zich met een afnemende olieproductie op onbekend terrein.

## Olievondsten

Vooraleer je olie kunt oppompen, moet je ze vinden. Halfweg de twintigste eeuw werd er veel olie gevonden. In die tijd werden de meeste zogenaamde *megagiants* of *elephants* ontdekt. Dit zijn de grootste olievelden ter wereld, goed voor een dagproductie van één miljoen of meer vaten. De Ghawar (1948, Saoedi-Arabië), de Burgan (1938, Koeweit), het Da Qing-veld (1959, China) werden allemaal in die periode ontdekt. Die velden staan nog altijd in voor een belangrijk deel van onze dagelijkse behoefte, maar ze worden wel oud.

Vanaf de tweede helft van de jaren 1960 begonnen de olievondsten geleidelijk aan af te nemen. Die neerwaartse trend zet zich tot vandaag voort (zie grafiek). De nieuwe technologie om minutieus de bodem van oceanen en afgelegen gebieden af te speuren, heeft de trend niet gekeerd. De velden die vandaag worden ontdekt, zijn klein. Met een gemiddelde grootte van honderd miljoen vaten vallen zij in het niet tegenover de *megagiants*. De Ierse oliespecialist Colin Campbell formuleerde het ooit mooi: “Vandaag hebben we de technieken om een naald in een hooiberg te vinden en weet u wat we vinden? Naalden in hooibergen.” De olievelden die de voorbije jaren zijn gevonden, zijn niet alleen klein, maar vaak gaat het ook om olie in de diepzee, olie van slechte kwaliteit, zogenaamde onconventionele olie of olie die zeer moeilijk te ontginnen is. BP kondigde in september 2009 bijvoorbeeld een grote olievondst aan in de golf van Mexico. De olie bevindt zich echter op 11.000 m diepte – elf kilometer! Het is een enorme uitdaging om een dergelijk veld rendabel te exploiteren.





## DE OLIEPRODUCTIE

Zoals hierboven aangegeven verloopt de olieproductie niet constant door de tijd. Ze vertoont een kenmerkende klokvormige curve: nadat een veld is aangeboord, stijgt de productie geleidelijk aan, maar na verloop van tijd bereikt het productieniveau een maximum in de vorm van een piek of plateau, waarna het gestaag begint af te nemen.

### Olievelden

Die klokvormige productiecurve ontstaat als volgt. Olie zit onder druk in de grond in een poreus substraat. Als de olie aangeboord wordt, zal zij vanwege de overdruk spontaan naar buiten spuiten. Aangezien de olie niet door één boorput gewonnen kan worden, boort de exploitant geleidelijk aan extra putten. De productie neemt bijgevolg toe. Na vele jaren pompen en naarmate er meer olie wordt gewonnen, zal de druk in het veld geleidelijk aan afnemen. De olie begint moeizamer en trager naar de boorputten te sijpelen. Op een gegeven moment kan de productie niet meer stijgen. Er wordt een piekproductie bereikt, die daarna gestaag afneemt. Als de productie zo sterk daalt dat het winnen niet meer rendabel is, wordt het veld verlaten. Het veld is dan helemaal nog niet leeg; er zit nog veel olie in, maar het is te moeilijk en te duur om ze te ontginnen. Met moderne technologie, de zogenaamde technieken voor *Enhanced Oil Recovery* (EOR), is het mogelijk om effectief een groter percentage van de olie in een veld te winnen. Het gaat om een reeks technieken waarbij de druk kunstmatig wordt verhoogd door water of gas in het veld te pompen, horizontale boorgaten te maken, hete lucht en chemicaliën en zelfs bacteriën in te brengen om de olie vrij te maken. Uiteindelijk zakt de productie van een veld toch, waardoor de oliebedrijven voortdurend op zoek moeten naar nieuwe velden.

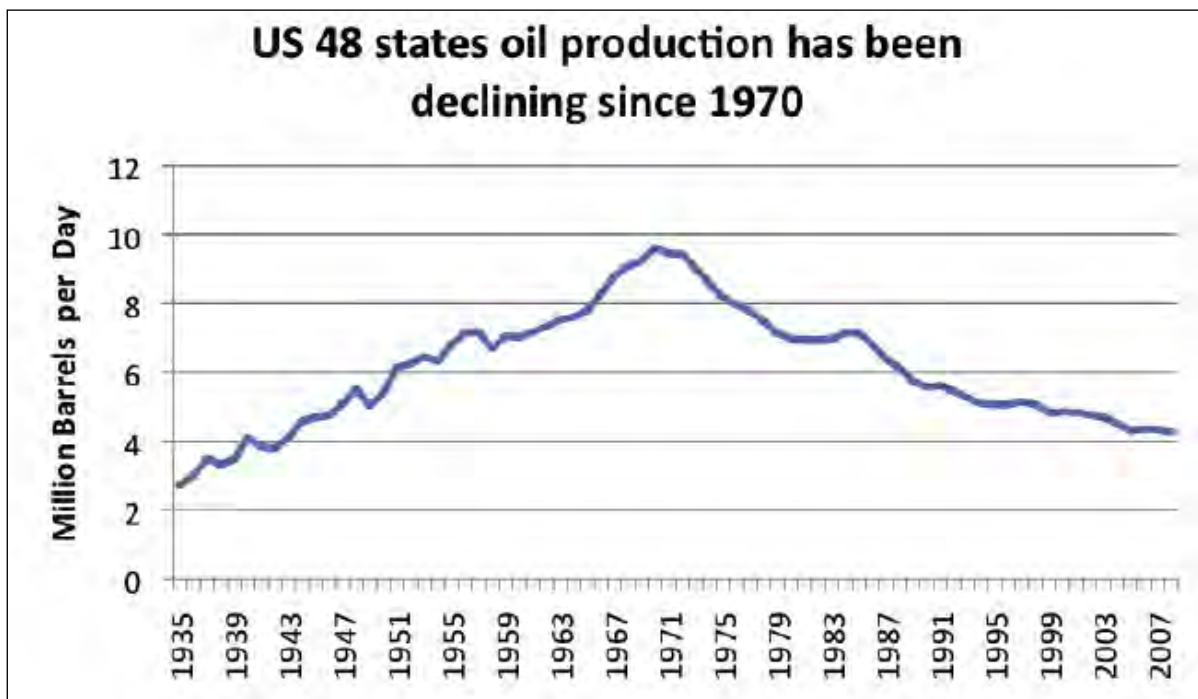
Globaal zijn er naar schatting 70.000 olievelden. De meeste daarvan zijn zo klein dat hun bijdrage aan de wereldolieproductie verwaarloosbaar is. Er is maar een beperkt aantal grote velden dat de wereld voedt. De helft van de wereldolieproductie komt uit slechts 110 velden. De dertien grootste velden zijn goed voor ongeveer een kwart van de totale productie. Het grootste olieveld ter wereld, de Ghawar in Saoedi-Arabië, staat in voor maar liefst 7% van onze oliebehoefte.

Veel velden zijn oud, hebben al gepiekt of hebben de grootste moeite om de productie op peil te houden. Van de twintig grootste velden hebben er maar liefst zestien gepiekt! Van de vijf grootste velden hebben er al drie gepiekt. Over de Ghawar zijn de meningen verdeeld. Sommigen denken dat de productie nog een aantal jaren kan stijgen, ander beweren dat de productie weldra zal beginnen afnemen of dat dit al het geval is, maar dat het niet bekendgemaakt is. Zeker is dat de Ghawar oud is en dat er al jarenlang

zeewater in gepompt wordt om de druk kunstmatig te verhogen. De laatste tijd blijkt er met de opgepompte olie ook steeds meer water mee naar boven te komen...

## Olielanden

De olieproductie van een regio of land bestaat uit de som van de productie van alle velden in exploitatie. Ook regio's of landen vertonen een min of meer klokvormige productiecurve door de tijd. Een regio of een land kent eerst een aantal jaren een stijgende productie en bereikt dan een maximum. Op een gegeven moment begint de productie geleidelijk aan af te nemen. Die afname is structureel en kan noch gekeerd noch gestopt worden. Toen M.K. Hubbert, een professor in de geofysica, in 1956 voorspelde dat de olieproductie van de VS-staten zou pieken aan het eind van de jaren 1960 en het begin van de jaren 1970, stuitte hij op ongeloof. Zijn voorspelling werd zwaar bekritiseerd, zijn piekolytheorie zou onjuist en te pessimistisch zijn, zo luidde het. Maar Hubbert kreeg gelijk, de olieproductie van de Verenigde Staten piekte in 1970 en zakte daarna steeds verder weg. Hubbert waarschuwde toen al dat het fossiele tijdperk verrassend kort zou duren en dat de piek van de wereldolieproductie wel eens omstreeks het jaar 2000 zou kunnen bereikt worden.



Intussen is die theorie in veel landen van de wereld bevestigd. Een honderdtal landen produceert olie, Zestig daarvan hebben al gepiekt en hun productiecijfers dalen bijgevolg jaar na jaar. Bij de landen die hun piekproductie al achter de rug hebben, zitten grote olieproducenten als Mexico, de Verenigde Staten, Egypte, Noorwegen, Indonesië, het Verenigd Koninkrijk en Venezuela.

Het aantal landen waar de productie nog kan verhogen, is daarentegen beperkt. Angola, Azerbeidzjan, Brazilië, Koeweit, Libië, Algerije en Qatar kennen een lichte productiegroei. Kazachstan wordt vaak genoemd als beloftevolle kandidaat om de productie nog een behoorlijke tijd op te drijven. Voor Irak is dat zeker het geval. Het land kan de huidige productie van twee miljoen vaten optrekken tot zes miljoen, als de politieke situatie dat tenminste toelaat.

Over de toekomstige olieproductie van de nummers één en twee van de wereld, Saoedi-Arabië en Rusland, bestaat twijfel. De situatie in Rusland is dubbelzinnig. Volgens sommigen is het mogelijk de productie nog wat te verhogen, anderen beweren dat ze geleidelijk aan zal afnemen. Rusland beloofde enkele jaren geleden dat het twaalf miljoen vaten per dag op de markt zou brengen, maar in werkelijkheid heeft het geen tien miljoen vaten gehaald. Rusland heft hoge belastingen op de productie en de export en dat vormt een belemmering voor de oliewinning. Misschien is het antwoord op de vraag of Rusland zijn productie de komende jaren kan verhogen: als tsaar Poetin het wil.

Saoedi-Arabië is een ander twijfelgeval. Door gebrek aan transparantie en overdrijvingen over de voorraden zijn exacte inschattingen onmogelijk. De meningen over de toekomst van de Saoedische olieproductie lopen uiteen. De Saoedi's beweren dat zij nog grotere hoeveelheden olie op de markt kunnen brengen, maar geven geen inzicht in de technische achtergronden. De stemmen die positief zijn over de wereldolieproductie, waaronder het IEA, gaan er impliciet van uit dat er groeiende hoeveelheden olie uit deze woestijnstaat zullen blijven stromen. De Amerikaanse oliespecialist Matthew Simmons publiceerde in 2005 het boek *Twilight in the desert*, waarin hij deze visie op de korrel neemt. Hij komt tot de conclusie dat de situatie van Saoedi-Arabië minder rooskleurig is. Ongeveer 90% van de Saoedische olieproductie komt uit vijf velden, die allemaal oud zijn en waar zich een aantal fundamentele problemen voordoen. Matthew Simmons waarschuwt dat het risico groot is dat de productie van deze velden op korte termijn in elkaar zal zakken. Volgens de *Energy Watch Group* is het goed mogelijk dat Saoedi-Arabië sinds kort de neergaande fase heeft bereikt. Saoedi-Arabië bekleedt een sleutelpositie voor de olietoekomst van de wereld. De optimisten wijzen naar Saoedi-Arabië als het land waar de toekomstige productiegroei gerealiseerd zal worden. Als het land daarentegen zijn piekmoment nadert of heeft bereikt, lijkt het zeer onwaarschijnlijk dat de wereldolieproductie opgedreven kan worden.

## De wereld

De wereld is uiteindelijk een grote regio die alle velden omvat waar de mens het zwarte goud uit de aarde pompt. Ook op die schaal ontkomen we niet aan het klokvormige productiepatroon. Eens bereikt de olieproductie een maximum, waarna ze geleidelijk aan begint af te nemen. Veel van de bestaande velden zijn oud, hebben al gepiekt en geven dus minder olie prijs. De gemiddelde afname van alle velden die hun piek hebben bereikt, bedroeg in 2007 maar liefst 6,7% per jaar. Het IEA voorspelt dat de olieproductie van alle velden in exploitatie tussen 2008 en 2020 met maar liefst 50% zal afnemen. Tegen 2030 moeten we liefst twee derde van de huidige productiecapaciteit vervangen. Dit betekent dat we dus zeer grote hoeveelheden nieuwe olie moeten produceren, enkel om de productie op peil te houden. Vanaf nu moeten we elke vier jaar een nieuw Saoedi-Arabië aanboren om het verlies van de in gebruik zijnde oude velden te compenseren. Tegen de achtergrond van de afnemende olievondsten is dit duidelijk ondenkbaar. Wanneer de nieuwe velden die worden toegevoegd, het productieverlies van de velden in exploitatie niet meer kunnen opvangen, is het piekoliemoment gekomen. Dat moment valt moeilijk precies te voorspellen. De onzekerheid wordt versterkt door gebrek aan transparantie en onnauwkeurige gegevens. Er zijn echter sterke aanwijzingen dat het piekoliemoment dichtbij is.

Steeds meer oliespecialisten en onderzoeksinstituten voorspellen een piek in de wereldwijde olieproductie in de zeer nabije toekomst. Kenneth Deffeyes voorspelde in



2005 dat *peak oil* in hetzelfde jaar 2005 zou vallen. Colin Campbell schoof 2008 als datum naar voren. *Energyfiles* voorspelt een piek in 2017. De berekeningen van de Universiteit van Uppsala in Zweden voorzien een piek tussen 2008 en 2018. ASPO, de *Association of Study of Peak Oil and Gas*, voorspelde in 2007 een piek in 2011. De CEO van het Braziliaanse Petrobras, Jose Sergio Gabrielli, gaf in december 2009 een presentatie waarin hij argumenteerde dat piekolie in 2010 zou vallen. Sadad al Hussein, de voormalige topman van *Saudi-Aramco*, het staatsoliebedrijf van Saoedi-Arabië, bestudeert al jarenlang de productiecijfers en heeft door zijn achtergrond inzicht in de productie van Saoedi-Arabië, die niet openbaar is. Vorig jaar was hij aanwezig op de ASPO- conferentie. Tijdens een interview voorspelde al Hussein olietekorten binnen twee tot drie jaar.

De Nederlandse oliespecialist Rembrandt Koppelaar kwam op basis van een uitgebreid en ondertussen gerenommeerd model tot de conclusie dat de piek tussen 2012 en 2018 zal liggen. In het nawoord van zijn boek voorspelt hij dat de olieproductie vanaf 2012 zal dalen.

Chris Skrebowski, auteur van *Petroleum Review*, inventariseerde alle grote olieprojecten die de komende jaren gepland zijn en verzamelde die in de zogenaamde *Megaprojects Database*. Aangezien het verscheidene jaren duurt om een olieontginningsproject te plannen, te vergunnen, te bouwen en op te starten, is de toekomstige productie uit nieuwe projecten inflexibel en daardoor is het mogelijk om de productie in te schatten. De beperking van deze methode is dat de reikwijdte beperkt is tot de nabije toekomst. De conclusie uit de *Megaprojects Database* is dat er na 2011 geen verhoging van de olieproductie mogelijk is. Vanaf 2012 of 2013 zou de productie zelfs beginnen afnemen. *Energy Watch Group* schetst een nog pessimistischer beeld. In het rapport *Crude oil - The supply outlook* maken zij een uitgebreide analyse van alle olieregio's van de wereld. De conclusie van het rapport is dat de wereldwijde olieproductie in 2006 maximaal was en dat ons een snelle en forse afname te wachten staat. Volgens die studie zal de wereld het in 2030 met slechts 39 miljoen vaten per dag moeten stellen.

Er zijn al redelijk wat aanwijzingen dat het nu al schemert in olieland. Vanaf ongeveer midden 2004 stijgt de olieproductie niet langer, maar blijft ze op een plateau steken. In dezelfde periode steeg de prijs van olie spectaculair van minder dan 40 dollar per vat halfweg 2004 tot een absoluut hoogterecord van 147 dollar per vat in juli 2008. In dezelfde periode zijn de investeringen van oliemaatschappijen om meer olie uit de grond te halen, fors toegenomen. Zo stegen de investeringen in olie- en gasontginning op wereldschaal van ruim 200 miljard in 2004 naar bijna 500 miljard in 2008. Ondanks die gigantische investeringen nam de productie niet toe. Dit laat vermoeden dat de marge om de productie te verhogen zeer gering is. Is de laatste oliecrisis begonnen?

## Decline rates

Als na de piek of de plateaufase de maximumproductie niet meer kan gehandhaafd blijven, begint de olieproductie aan een geleidelijke maar onomkeerbare neergang. Oliespecialisten spreken van *decline rates*. Die geven een gemiddeld percentage weer waarmee de olieproductie jaar na jaar afneemt. De decline rates zijn in belangrijke mate bepalend voor de ernst van de komende oliecrisis. Hoge percentages zorgen voor forse effecten die snel uitvergrooten, waardoor een samenleving weinig tijd krijgt om alternatieven te vinden en het systeem te reorganiseren. Als de percentages laag zijn, is er meer tijd om de nodige aanpassingen door te voeren.

Wetenschappelijk onderbouwde informatie over de decline rates is schaars. Bestaande bronnen laten vermoeden dat deze cijfers waarschijnlijk tussen de 2 en 5% per jaar zullen liggen. Dit betekent dus dat er na de piek elk jaar ongeveer 2 tot 5% minder olie beschikbaar is dan het jaar voordien. Bij wijze van voorbeeld: een neergang van 3% over een periode van tien jaar betekent dat de oliebeschikbaarheid in de tijdsspanne van slechts één decennium met maar liefst 26% afneemt!

Omdat olie een essentieel product is, zorgt een kleine speling in het aanbod of de vraag al voor grote prijseffecten. Als de vraag lichtjes daalt, zal de prijs heel sterk terugvallen. Als daarentegen het aanbod een beetje terugvalt, gaat de prijs van olie door het dak. Toen de orkaan Katrina in 2005 een ravage aanrichtte aan de boorplatformen in de golf van Mexico, daalde de olieproductie tijdelijk met ongeveer 1,4 miljoen vaten per dag (op een wereldproductie van ongeveer 85 miljoen vaten per dag is dat nog geen twee procent). De prijs van de olie schoot omhoog, de VS sprak zijn strategische oliereserves aan om rust te brengen op de oliemarkt. Tijdens de oliecrisis in het jaar 1979 nam het olieaanbod met nog geen 5% af. Toch waren de gevolgen zwaar, de wereldeconomie gleed weg in een recessie.

In de Verenigde Staten werd in 2005 een simulatie gemaakt van de effecten van plotselinge olietekorten als gevolg van een potentiële daad van terrorisme. De simulatie werd uitgevoerd onder de naam *Oil Shockwave*. Het fictieve scenario was dat aanslagen voor een verlies van vier miljoen vaten per dag zouden zorgen – dat is minder dan 5% van de totale olieproductie. Als gevolgen kondigde de simulatie een bijna verdrievoudiging van de olieprijs en ernstige economische problemen aan. Hieruit blijkt dat een kleine vermindering van de beschikbaarheid van olie buitensporig grote effecten heeft op de olieprijs, de economie en de samenleving. Bedenk dat het piekolieprobleem ons confronteert met een olietekort dat jaar na jaar verder toeneemt. Een jaarlijkse afname van de olieproductie met 2 tot 5% zou voor een samenleving wel eens een erg steile weg bergafwaarts kunnen betekenen. Zoiets hebben we nog nooit meegemaakt.

## Onconventionele olie, offshore en EROEI

Naast het kwantitatieve probleem met olie, het nakende piekoliemoment, begint zich ook een kwalitatief probleem af te tekenen. De energetische waarde van een energiebron wordt vaak aangeduid met de zogenaamde *energy return on energy investment* (EROEI). De EROEI geeft de verhouding weer tussen de hoeveelheid energie die het kost om een energiebron te winnen en de energie die je eruit haalt als je die energiebron gebruikt. Op die manier krijg je met andere woorden de energetische winst die je maakt door een bepaalde energiebron aan te spreken. Het is logisch dat de EROEI groter dan één moet zijn. Als je één liter olie nodig hebt om één liter olie te winnen, zou deze activiteit economisch en energetisch zinloos zijn.

De mensheid is begonnen met de gemakkelijk winbare olie van goede kwaliteit op te pompen. Naar schatting had de olie die meer dan honderd jaar geleden uit de beste velden vloeide, een EROEI van 200:1 tot 100:1. Het spreekt voor zich dat dit energetisch gezien een sprookje was. Toen de beste hulpbronnen ontgonnen waren, ging men geleidelijk aan over op moeilijker te ontginnen hulpbronnen. De olie van vandaag en morgen komt in toenemende mate uit moeilijk ontginbare en raffineerbare bronnen. Het kost niet alleen financieel veel meer om die olie op de markt brengen, ook energetisch is de kostprijs hoger – de EROEI is dus lager. Oude olienvelden geven de olie traag en



moeilijk prijs. Het voortzetten van de ontginning van deze oude olievelden vereist dan ook meer complexe technologieën.

In de nieuwe olievelden die de voorbije jaren in productie zijn genomen, gaat het vaak om kleine velden of olie die zich in geologische formaties bevindt waar ze niet gemakkelijk uit vrij te maken is. De laatste decennia is de mens ook begonnen met het ontginnen van olie in zee, via zogenaamde offshore projecten. Daarbij schuift de grens steeds verder op van ondiep water naar olievelden die ver van de kust verwijderd liggen en waarbij men kilometers diep moet boren om de olie te bereiken. De recente ontginning in de golf van Mexico en voor de kusten van Angola en Brazilië drijft de technische kunde van de oliebedrijven tot haar uiterste limieten. De EROEI van offshore oliewinning ligt tussen de 15:1 en 8:1.

Door de veroudering van de olievelden, de exploitatie van kleinere en moeilijker te bereiken velden en het overschakelen op olie uit de diepzee, neemt de EROEI af. Volgens een artikel dat in 2009 in *Energies* verscheen, daalde de EROEI van de wereldwijde olie- en gasproductie tussen 1999 en 2006 met maar liefst de helft. Die studie berekende dat de EROEI voor olie in 2006 gezakt was tot 18:1.

Er zijn op de wereld nog wel immense voorraden onconventionele olie beschikbaar. Dat is olie die niet op een normale manier te winnen is. Het gaat om olie uit de teerzanden in Alberta in Canada, de extreem zware olie uit voornamelijk Venezuela en de olieschalie in onder andere de VS. Onconventionele olie staat in voor een klein aandeel van de totale olieproductie. De productie ervan is omwille van de aard van de extractiemethodes onvermijdelijk een traag proces. De teerzanden in Alberta zijn de grootste bron van onconventionele olie met een productie van 1,2 miljoen vaten per dag. Door de beperkingen die gepaard gaan met de ontginning van de teerzanden is het onwaarschijnlijk dat die winning het komende decennium meer dan drie miljoen vaten per dag zal opleveren. Hoge productieniveaus zijn onrealistisch.

Teerzand ontginnen kan door middel van klassieke mijnbouw of door middel van stoomtechnieken. Voor de productie van één vat olie door mijnbouw uit teerzand moet men twee ton teerzand ontginnen en verplaatsen. Voor de ontginning van de teerzanden met stoomtechnieken zijn enorme hoeveelheden water en gas nodig. Het belangrijkste nadeel van het gebruik van onconventionele olie is misschien wel de lage EROEI. Afhankelijk van de locatie en de extractiemethode ligt die tussen 10:1 en 2:1. Eens de conventionele olieproductie structureel begint te dalen, zal al snel duidelijk worden dat onconventionele olie geen volwaardig alternatief biedt.

De geschiedenis van de oliewinning laat een geleidelijke verschuiving zien van gemakkelijk te ontginnen olie van goede kwaliteit uit grote velden over kleine velden en offshore projecten tot diepwaterprojecten en onconventionele olie. Die verschuiving gaat gepaard met een opmerkelijke afname van de EROEI. Energiebronnen hebben geen waarde voor een samenleving als de EROEI lager is dan 3:1. Eenvoudige extrapolaties op basis van de trend laten zien dat dit al het geval zou kunnen zijn in de eerste helft van deze eeuw. Indien dit inderdaad klopt, komen we over enkele decennia al in een situatie terecht waarbij olie geen energiebron meer is. Olie raakt niet op, ze houdt op een energiebron te zijn. De implicaties hiervan zijn nauwelijks voor te stellen.



## OLIE EN GEOPOLITIEK

Het mag duidelijk zijn dat het olietijdperk een problematische eindfase ingaat. De hierboven geschetste uitdagingen die voortkomen uit de ontginning van oude velden en het aanboren van nieuwe moeilijk te exploiteren bronnen, worden vaak omschreven als *below ground*-factoren. Daarnaast zijn er ook nog de zogenaamde *above ground*-factoren, die verwijzen naar politieke factoren die de olieproductie belemmeren.

Vooreerst moeten we opmerken dat heel wat belangrijke oliestaten landen zijn met een bevolkingstoename en/of een sterk groeiende economie. De binnenlandse vraag naar olie stijgt dan ook spectaculair in belangrijke olieproducerende landen als Venezuela, Iran, Saoedi-Arabië, China, Brazilië en Algerije. Een extreem voorbeeld is Indonesië. De combinatie van dalende productie en een spectaculair stijgende binnenlandse consumptie heeft ervoor gezorgd dat Indonesië enkele jaren geleden veranderde van een exporteur naar een importeur van olie. Indonesië heeft bijgevolg de OPEC verlaten. De groei van de binnenlandse markt wordt vaak versterkt doordat brandstoffen in de meeste olieproducerende landen spotgoedkoop zijn, wat de consumptie stimuleert. Petroleumproducten die worden geconsumeerd op de binnenlandse markt, kunnen niet geëxporteerd worden. Dit betekent een extra aderlating voor de wereldmarkt. We moeten er dus rekening mee houden dat de beschikbare hoeveelheid olie na het piekoliemoment niet alleen afneemt doordat er minder olie uit de grond komt, maar ook omdat er meer olie blijft plakken op de binnenlandse markten van de exportlanden. Hierdoor zullen 'natuurlijke' decline rates van bijvoorbeeld 2% al snel betekenen dat er op de wereldmarkt 3% minder olie te verhandelen valt.

De resterende oliereserves zitten geconcentreerd in een beperkt aantal landen. De relatie van het Westen met de meeste van die landen is op zijn minst ambivalent te noemen. Meer dan 60% van de oliereserves bevindt zich in de zogenaamde oliedriehoek in het Midden-Oosten. Hier liggen Saoedi-Arabië, Irak, Iran, de Verenigde Arabische Emiraten, Qatar en Koeweit. Ook Rusland, Venezuela en Libië zijn voorbeelden van landen die grote reserves herbergen, maar waarmee de westerse wereld moeilijke relaties onderhoudt. De meeste van die landen zijn geen democratieën en dat is geen toeval. Soms worden ze 'petro-autoritair' regimes genoemd. Wie een staatsapparaat kan betalen uit olie-inkomsten, is minder afhankelijk van de belastingbetaler. Dictators

laten daar nog een denkstap op volgen: als wij de burger niet belasten, hoeven we hem niet te vertegenwoordigen. Jammer genoeg steunen de VS en Europa een aantal van die regimes om de olie-invoer te verzekeren. Autoritaire regimes bieden de stabiliteit op energievlak waar het Westen naar zoekt. Democratie en mensenrechten wegen blijkbaar niet op tegen strategische oliebelangen.

De voorbije decennia werden gekenmerkt door een golf van nationalisering in de oliewereld. Terwijl in de jaren 1970 nog ongeveer 80% van de olievoorraden in handen was van grote oliebedrijven, is vandaag meer dan 90% van de oliereserves genationaliseerd. Hierdoor hebben oliebedrijven vaak geen toegang tot de resterende olie. Waar ze die toegang wel nog hebben, worden ze geconfronteerd met beperkingen en strenge eisen van de nationale overheid. Dit draagt bij tot een klimaat van onzekerheid en kan olieafhankelijke grootmachten in de verleiding brengen om met militaire middelen de toegang tot grondstoffen af te dwingen.

De nationaliseringsgolf heeft ook financiële consequenties. Aangezien de olie vandaag gecontroleerd wordt door de staatsleiders, vloeien de opbrengsten ook naar die regimes. Met de stijgende olieprijzen neemt de overdracht van welvaart van de consumenten naar de producenten evenredig toe. Door hun olieverslaving zijn de VS en Europa dus een aantal bedenkelijke regimes schatrijk aan het maken.

Olie is niet alleen een bron van inkomsten maar ook van macht. Regimes van landen als Iran, Venezuela, Libië, Rusland enzovoort hoeven in de toekomst niet per se een marktlogica te volgen, maar kunnen olie zien als een middel om hun politieke macht in de wereld te vergroten. Zij kunnen olie als chantage- en drukkingsmiddel inzetten. Denk maar aan de betekenis van het gasconflict tussen Rusland en Oekraïne in de winter van 2008-2009 voor Oost-Europa. Het tegenargument dat deze olieproducenten net zo afhankelijk zijn van hun klanten, stelt niet gerust. In een tijdperk van schaarse olie en ontluikende nieuwe economieën is het voor een olieproducent niet moeilijk om te differentiëren. De olieconsumenten daarentegen hebben veel minder keuze.

Het groeiende machtsbewustzijn van grondstoffenlanden enerzijds en olieafhankelijke grootmachten die wedijveren voor schaars wordende olie anderzijds leidt tot spanningen op wereldvlak. Ooit hoorde ik iemand zeggen: "Steeds meer spelers willen een steeds groter stuk van een alsmaar kleiner wordende koek". Je voelt dat er ruzie zal ontstaan over dit gebakje. Tragische voorbeelden van oorlog en conflict met energie en olie als leidmotief zijn er genoeg: Irak, Koeweit, Nigeria, Georgië, de Falklands. De instabiliteit die dit met zich mee brengt, vormt op haar beurt een bedreiging voor de olieproductie.

De geopolitieke consequenties van een oliemarkt die overgaat van vraaggestuurd naar aanbodgestuurd zijn enorm. De wereld gaat een nieuw tijdperk van *resource nationalism* in. Wat zullen olieproducenten doen in tijde van schaarste? De olie reserveren voor de eigen binnenlandse markt? De olie inzetten als machtsmiddel? En zullen olieafhankelijke grootmachten hierop reageren door hun legers uit te zenden? Turbulentie gegarandeerd!



## ALTERNATIEVEN

De ernst van de gevolgen van het piekolieprobleem voor de wereld wordt voor een groot deel bepaald door de mate waarin alternatieve energiebronnen voorhanden zijn en de snelheid waarmee die op grote schaal operationeel kunnen worden. Er heerst een wijdverspreid misverstand dat olie eenvoudigweg te vervangen is door andere energiebronnen, bijvoorbeeld kernenergie of zonne-energie. Maar dat is niet zo vanzelfsprekend, aangezien het gebruik en de toepassing van die energiebronnen verschillend zijn. Olie is een vloeibare brandstof, kernenergie, wind- en zonne-energie leveren elektriciteit. De toepassingen zijn verschillend en daardoor kan olie niet gewoonweg vervangen worden door een andere energiebron. Met elektriciteitscentrales kun je onze auto's, tractoren en vliegtuigen niet aandrijven. Door het piekoliefenomeen ontstaat een tekort aan vloeibare brandstoffen. Het bijbouwen van kerncentrales en windmolenparken die extra elektriciteit aan het net leveren, vormt op korte termijn geen oplossing. Enkel wanneer de op olie aangedreven toepassingen op langere termijn vervangen worden door alternatieve toepassingen, kunnen de elektrische energiebronnen (deels) de aardolie vervangen. De elektrische wagen neemt hierin een sleutelpositie in, we komen daar later op terug.

### Aardgas

Aardgas kan voor heel wat toepassingen een volwaardig alternatief bieden voor aardolie. Bovendien is het mogelijk om door middel van het Fischer-Tropschproces vloeibare brandstof te maken uit gas. Of de aardgasproductie voldoende kan stijgen om de afnemende oliebeschikbaarheid op te vangen, is een andere kwestie. Sommige stemmen waarschuwen voor het tegendeel: zij menen dat de gasproductie de komende decennia al zou kunnen dalen als gevolg van het piekgasmoment.

De inschattingen van het tijdstip van het piekgasmoment zijn onnauwkeurig en lopen ver uit elkaar. Volgens R.W. Bentley zou piekgas al in 2020 kunnen voorkomen, Jean Laherrere houdt het op 2025. De decline rates van gas zijn veel hoger dan die van olie. De Amerikaanse literatuur verwijst naar de hoge decline rates in gasvelden en gasproducerende regio's als de *gas cliff*. Wanneer piekgas zich eenmaal manifesteert, valt de productie snel terug en is er weinig tijd om de energievoorziening aan te passen.

Gas is net als olie ongelijkmatig verdeeld over de wereld, waardoor er met deze energiebron gelijkaardige geopolitieke problemen verbonden zijn als met olie. 65% van

al het aardgas in de wereld bevindt zich in Iran, Rusland en Qatar. Een andere gelijkenis met olie is het potentieel om in toenemende mate over te schakelen op onconventioneel gas. In welke mate dit technisch, economisch en energetisch mogelijk is, blijft een vraag voor de toekomst.

Aardgas is de minst milieubelastende fossiele brandstof. De uitstoot aan broeikasgassen en stofdeeltjes is kleiner dan bij het gebruik van steenkool of olie. Gas zal waarschijnlijk slechts in beperkte mate en voor een korte periode als alternatief voor olie kunnen dienen. Het ziet ernaar uit dat het ritje tussen piekolie en piekgas teleurstellend kort zal zijn. Bovendien zal het een duur ritje worden, aangezien de gasprijzen onvermijdelijk mee stijgt als de olieprijzen omhoog schieten.

## Steenkool

Steenkool wordt in de wereld vooral gebruikt voor laagwaardige toepassingen zoals het opwekken van elektriciteit en in de staalindustrie. Steenkool is de voorbije jaren de snelst groeiende energiebron. Begint de wereld geleidelijk aan terug te grijpen naar laagwaardige energiebronnen als gevolg van de stagnerende olieproductie?

In geval van olieschaarste is het mogelijk om synthetische vloeibare brandstoffen te maken uit steenkool door middel van het Fischer-Tropschproces. Die techniek is in de tweede wereldoorlog ontwikkeld door de Duitsers die een oplossing zochten voor een nijpend brandstoftekort. Recentelijk is de techniek verder verfijnd door het oliebedrijf Shell. Momenteel is de productie van synthetische brandstof uit steenkool rendabel vanaf ongeveer 50 dollar per vat. Zuid-Afrika maakt al vele jaren gebruik van deze techniek. Maleisië heeft enkele jaren geleden een dergelijke installatie gebouwd en China is volop *coal-to-oil*-installaties aan het bouwen. Om de afnemende beschikbaarheid van olie te vervangen zou men wereldwijd miljoenen vaten synthetische brandstof moeten kunnen produceren. Het is maar zeer de vraag of het mogelijk is deze techniek op die grote schaal in te zetten.

Er werd altijd aangenomen dat de steenkoolvoorraden op de wereld zo gigantisch zijn dat er geen sprake kan zijn van schaarste. Steenkool is ongetwijfeld de fossiele energiebron met de grootste reserves. Maar wanneer we de economisch ontginbare steenkoolreserves met een conservatieve blik bekijken, blijkt de toekomst voor steenkool ook niet eindeloos en zorgeloos te zijn. Volgens de studie *Coal resources and future production* van de *Energy Watch Group* zal pieksteenkol zich omstreeks 2025 à 2030 voordoen.

Zelf indien het mogelijk zou zijn om op grote schaal over te schakelen op steenkool, is die optie dramatisch, aangezien de concentratie aan broeikasgassen in de atmosfeer dan fors zou stijgen. Zoals besproken in het kaderstuk 'Olie, milieu en klimaat' is steenkool vanuit milieuoogpunt de slechtste keuze.

## Kernenergie

Kernenergie levert elektriciteit op en geen vloeibare brandstof en kan bijgevolg op korte termijn weinig bijdragen aan een oplossing voor het piekolieprobleem. Op wereldschaal vormt kernenergie een kleine energiebron. Volgens officiële bronnen staat kernenergie in voor 6% van de wereldenergievoorziening. Francois Cellier toont in zijn reeks artikels *The future of Nuclear Energy: Facts and Fiction* aan dat het aandeel van kernenergie in de wereldwijde energiebevoorrading in werkelijkheid hoogstens 2,5% is.



Kerncentrales werken op uranium. De officiële cijfers over de uraniumvoorraden zijn, alweer, veel te positief. Vandaag kunnen de uraniummijnen slechts voor twee derde aan de vraag voldoen. De rest komt van zogenaamde secundaire bronnen, namelijk de ontmanteling van kernwapens en de opwerking van uranium. De toenemende schaarste vertaalt zich in een hoge uraniumprijs. Die prijs schoot kort na de eeuwwisseling de hoogte in, bereikte tegen 2007 hoogtes die zowat het tienvoud waren van enkele jaren voorheen en is vervolgens weer wat gezakt. In hoeverre de nucleaire toekomst bedreigd wordt door uranumschaarste, hangt onder andere af van de mogelijkheid om kernbrandstoffen op te werken of over te schakelen op het nieuwe element thorium.

De bewering dat kernenergie klimaatneutraal zou zijn, is onjuist. Ook al scoort kernenergie op klimaatvlak veel beter dan centrales op fossiele brandstoffen, toch blijft de broeikasgasuitstoot aanzienlijk wanneer de bouw van de reactor en de bewerking van het uranium mee in rekening worden gebracht. Zo ligt de CO<sup>2</sup>-uitstoot van elektriciteit geproduceerd met kernenergie maar liefst 25 keer hoger dan die van elektriciteit geproduceerd door middel van windenergie. Bovendien is de ontginning van uranium zeer milieubelastend. En ook de veilige berging van het radioactieve afval blijft een onopgelost vraagstuk.

De bestelling en de bouw van een reeks nieuwe centrales wereldwijd wekt de indruk dat kernenergie een heropleving kent. Van de ruim 430 reactoren die wereldwijd in werking zijn, zijn er 130 al dertig tot veertig jaar in gebruik. De meeste hiervan zouden de komende vijf à tien jaar gesloten moeten worden. Volgens gegevens van het Internationaal Atoomagentschap zijn er 48 kernreactoren in aanbouw en zullen er de komende vijf à tien jaar gemiddeld tien reactoren per jaar opgestart worden. Het lijkt er dus op dat er het komende decennium meer centrales zullen dichtgaan dan er opgestart worden.

De bouw van kernreactoren volgens de hedendaagse standaarden is problematisch en buitengewoon duur. De bouw van de nieuwe centrale Olkiluoto in Finland, een moderne centrale van de derde generatie, is daar een triestig voorbeeld van. De bouw heeft enorme vertraging opgelopen en de kostprijs is totaal ontspoord. Volgens Greenpeace zijn er maar liefst 2300 constructiefouten gemaakt en zijn de veiligheidsvoorschriften niet nageleefd.

Ook kernenergie staat niet los van het fossiele tijdperk. Bij de winning en zuivering van het uraniumerts en bij de bouw en ontmanteling van kerncentrales zijn grote hoeveelheden olie nodig. Zelf als de nucleaire sector erin zou slagen een forse groei te forceren, lijkt het potentieel om het piekolieprobleem te verzachten klein.

## Waterstof

Over waterstof kunnen we kort zijn. Waterstof is geen energiebron maar een opslagvorm van energie. Waterstofgas aanmaken kan volgens verschillende procédés die allemaal energie vergen. De aanmaak van waterstofgas is een zeer energie-inefficiënt proces, je haalt er veel minder energie uit dan je erin steekt. In tijden van energieschaarste is waterstof dan ook geen optie. Een andere beperking is dat er platina verwerkt zit in de brandstofcellen die waterstof omzetten in elektriciteit. Platina is duurder dan goud. De conclusie is eenvoudig: er komt nooit een waterstofeconomie. Waterstof zal hoogstens een beperkt aantal hoogwaardige toepassingen kennen op kleine schaal.



## Zon, wind en water

Hernieuwbare energiebronnen leveren ‘groene energie’ en bestaan in vele vormen: windenergie met windturbines en laddermolens; zonne-energie uit zonneboilers, uit fotovoltaïsche cellen en zonthermische centrales; waterkracht uit stuwdammen, uit getijden en golfslag en aardwarmte of geothermie. De meeste van die energiebronnen leveren elektriciteit, geen vloeibare brandstof. Op korte termijn kunnen ze bijgevolg niet veel bijdragen aan een oplossing van het piekolieprobleem.

Zon, wind en water hebben een enorm energetisch potentieel. Zo valt er elk half uur voldoende zonlicht op aarde om de hele wereld een jaar lang van energie te voorzien. Over het ruimtebeslag van windmolens en zonnecellen hoeven we ons alvast geen zorgen te maken. Zelfs in de denkbeeldige situatie dat alle energie zou worden opgewekt door windmolens en zonnepanelen, neemt de infrastructuur hiervoor nog geen 2% van het landoppervlak van de aarde in.

Momenteel is het aandeel van zon, water en wind in de wereldenergievoorziening nog zeer klein. Samen zijn ze goed voor 2,7%. Het leeuwendeel hiervan is hydro-elektrische energie (waterkracht opgewekt met stuwdammen). Zon en wind samen vormen met een aandeel van minder dan 1% een verwaarloosbaar kleine energiebron. Maar wind-, water- en zonne-energie zijn snel aan het groeien. Tussen 2004 en 2008 groeide de capaciteit aan hernieuwbare energie (exclusief waterkracht) met maar liefst 75%. Door technologische innovaties zijn windturbines en zonnepanelen nu veel efficiënter dan tien jaar geleden. Volgens sommige bronnen is elektriciteit opgewekt uit windmolenparken nu financieel concurrentieel met fossiele energiecentrales.

Wind- en zonne-energie hebben ook belangrijke nadelen. De energiedichtheid is laag en de bron is niet constant. De wind waait niet altijd even hard en er zijn van die droevige dagen dat de zon zich niet wil laten zien. Indien we op grote schaal gebruik willen maken van wind- en zonne-energie, moet onze elektriciteitsinfrastructuur aangepast en gemoderniseerd worden. De opslag van (elektrische) energie blijft een probleem en het transport van elektriciteit gaat gepaard met energieverliezen.

De EROEI van moderne windmolens is met een verhouding van 18:1 tot 25:1 tamelijk goed. Voor fotovoltaïsche zonnecellen ligt de EROEI laag: 4:1 tot 10:1.

Ook bij de productie van windmolens, zonnepanelen en waterkrachtcentrales komt aardolie kijken. Dit is op zich niet problematisch, maar het illustreert wel dat we de resterende aardolie in toenemende mate moeten inzetten om onze energie-infrastructuur van morgen op te bouwen. De kracht van de zon, wind en water is ongetwijfeld de energiebron van de toekomst. Ze is echter te klein en levert niet de juiste energievorm om de aanstormende oliecrash op te vangen.

## Biobrandstoffen

De term biobrandstoffen verwijst naar de verschillende soorten brandstof die gemaakt worden uit organisch materiaal (planten, mest, organisch afval, slib). Biobrandstoffen leveren vloeibare brandstoffen die gemengd kunnen worden met klassieke diesel en benzine.

Aangezien ons wagen- en machinepark niet hoeft vervangen te worden, komen biobrandstoffen in aanmerking om op korte termijn een deel van het brandstoftekort op te vangen. Bovendien is de technologie vandaag al beschikbaar om de verschillende

soorten brandstoffen die we nodig hebben aan te maken, zelfs brandstoffen voor de luchtvaart. Het is ook mogelijk om kunststoffen zoals plastics te maken uit organisch materiaal, weliswaar tegen een opmerkelijk hogere kostprijs.

De eerste generatie biobrandstoffen wordt vervaardigd uit landbouwgewassen. Daardoor ontstaat er concurrentie tussen voedsel en energie. In een wereld waarin honderden miljoenen mensen dagelijks honger lijden is het onverantwoord om te kiezen voor brandstof boven voedsel. Bovendien worden de gewassen voor deze biobrandstoffen geteeld met moderne landbouwtechnieken en we hebben eerder in deze paper al toegelicht dat de hedendaagse landbouw een olieslokop is. Het lijkt dan ook weinig zinvol om aardolie door middel van moderne landbouwtechnieken om te zetten in biobrandstoffen met een beperkte energiewinst. De tweede generatie biobrandstoffen wordt gemaakt uit plantenresten, houtresten, organisch afval, enzovoort. Dit vormt geen bedreiging voor de voedselvoorziening. Algen, de derde generatie biobrandstoffen, kunnen gekweekt worden en omgezet naar brandstof. Deze techniek is vrij nieuw en bestaat tot vandaag slechts op kleine schaal.

Biobrandstoffen aanmaken kost energie en dit vertaalt zich in een lage EROEI. De cijfers uit de recente literatuur lopen vrij sterk uiteen. Sommige bronnen spreken van een EROEI tussen 1:1 en 3:1. Ethanol uit suikerriet geteeld in Brazilië scoort beter met een EROEI tussen 8:1 en 10:1. Door de lage EROEI en een energiedichtheid die de helft lager ligt dan bij petroleum, hebben biobrandstoffen niet dezelfde energetische betekenis voor de wereld als klassieke aardolie.

Een grote vraag blijft ook de schaal waarop we biobrandstoffen kunnen inzetten. De laatste jaren is deze industrie fors gegroeid. Volgens het Internationaal Energieagentschap was de biobrandstofproductie in 2008 wereldwijd gestegen tot bijna 1,4 miljoen vaten per dag. Maar het is helemaal niet zeker dat de wereld voldoende biobrandstoffen zal kunnen produceren om het piekolieprobleem te counteren. George W. Huber en Bruce E. Dale publiceerden in 2009 een artikel in *Scientific American* waarin zij beweren dat de VS de helft van zijn brandstofverbruik uit biobrandstoffen zou kunnen halen. Andere studies spreken dit tegen en concluderen dat als de VS alles inzet op de productie van biobrandstoffen en daarbij alle voedselproductie opgeeft, dit hoogstens kan voldoen aan 15% van de binnenlandse vraag naar brandstoffen. Het lijkt onwaarschijnlijk dat we biobrandstoffen op een voldoende grote schaal zullen kunnen aanmaken om het huidige brandstofverbruik van de wereld voort te zetten. Bovendien zullen we organisch materiaal in toenemende mate nodig hebben om onze landbouwgronden vruchtbaar te houden, wanneer de door aardgas vervaardigde kunstmest duur en schaars wordt.

Geen enkele van de alternatieve energiebronnen kan dus op korte termijn aardolie vervangen. Het is wel mogelijk om theoretische oplossingen te bedenken voor de vervanging van aardolie, maar vooral de beperkte tijd die ons rest en de enorme schaal waarop alternatieven nodig zijn, confronteert de wereld met een zeer groot probleem. Het beroemde Hirsch-rapport *Peaking of world oil production: impacts, mitigation & risk management* neemt dit vraagstuk onder de loep en komt tot een verontrustende conclusie. Twintig jaar voor de piek van de wereldwijde olieproductie moet een grootschalig programma van start gaan om onze energievoorziening om te vormen. In dat geval kunnen we een crisis voorkomen. De hierboven opgesomde voorspellingen over het piekoliemoment laten vermoeden dat het hiervoor hoogstwaarschijnlijk te laat is. Indien we wachten met ingrijpende maatregelen tot het moment dat het probleem zich stelt, krijgen we te maken met een decennialange crisis, zo waarschuwt Robert Hirsch in zijn rapport.



## IMPACT

Na het piekoliemoment zullen de olieprijsen spectaculair stijgen. Een aantal Franse economen heeft uitgerekend dat het goed mogelijk is dat de olieprijs dit decennium nog tot bijna 400 dollar per vat stijgt. De hoge prijzen zullen loodzwaar wegen op olieverslaafde samenlevingen en alle facetten van het economisch leven beïnvloeden. We gaan hier in op de te verwachten effecten voor onze transportsector, onze economie, ons financiële systeem en onze landbouwsector.

### Transport

Als grootste olieverbruiker zal de transportsector zwaar getroffen worden door olietekorten en stijgende prijzen. Voor het personenvervoer betekent dit dat we bij elke tankbeurt veel dieper in onze portemonnee zullen moeten tasten. Het ziet ernaar uit dat je over enkele jaren al je tank niet meer zult kunnen volgooien voor 100 euro. Mobiliteit zal een steeds grotere hap nemen uit het gezinsbudget. Als er niet tijdig betaalbare alternatieven op de markt komen, zou dit op langere termijn kunnen betekenen dat het gebruik van een wagen een exclusief voorrecht wordt van het beter gegoede deel van de bevolking. Het openbaar vervoer lijkt de grote winnaar van het verhaal te worden. In het bijzonder elektrisch aangedreven vervoermiddelen als tram en de trein zullen fors aan belang winnen.

Brandstoffen maken een belangrijk deel uit van de kosten van het luchtverkeer. Goedkope brandstoffen zijn een bestaansvoorwaarde voor de luchtvaartindustrie. Als de olieprijs stijgt, zullen de kosten van vliegtrips heel sterk toenemen. De stijging van de olieprijs in de voorbije jaren heeft al geleid tot aanpassingen in de luchtvaartsector. Oude toestellen die te kwispelig zijn met kerosine, staan al aan de grond omdat ze niet meer rendabel zijn. Veel luchtvaartmaatschappijen hebben de vliegsnelheid verlaagd om brandstof te besparen. Als het piekolieprobleem zich voordoet, zullen goedkope vliegtrips definitief tot het verleden behoren. Ooit hoorde ik de Nederlandse oliespecialist Rembrandt Koppelaar in een interview zeggen dat er tegen 2020 enkel nog zakenvluchten zullen zijn.

Piekolie vormt ook een bedreiging voor het wereldwijde vervoer van goederen dat typisch is voor onze geglobaliseerde economie. Een langdurige oliecrisis zal het

globaliseringsproces flink door elkaar schudden. De transportkosten van goederen zullen fors toenemen. Het wordt dan minder evident om boontjes uit Kenia en meubelen uit Thailand te kopen. Ingevoerde producten zullen relatief duurder worden ten opzichte van lokaal geproduceerde goederen. Piekolie betekent niet het einde van de wereldhandel of het einde van de globale economie. Het betekent wel dat het voor een reeks goederen economisch interessanter wordt om ze lokaal of in de regio te produceren. De intercontinentale handel en het transport over lange afstanden zullen waarschijnlijk afnemen. Dat heeft uiteraard belangrijke economische consequenties.

## Economie

Olie is de motor waarop onze economie draait. In meerdere of mindere mate speelt olie een rol bij zowat alle industriële processen. Stijgende olieprijsen zijn nefast voor de economie. Zij dwingen olie-importerende landen om een hoger budget aan energie te spenderen. Hogere olieprijsen leiden tot hogere productiekosten van goederen en diensten, waardoor de vraag afneemt. Dit kan leiden tot verminderde investeringen, economische krimp en stijgende werkloosheid. Volgens de studie *Analysis of the Impact of High Oil Prices on the Global Economy* neemt het wereldwijde Bruto Binnenlands Product in het jaar volgend op een olieprijsstijging van tien dollar met minstens een half procent af. De economische schade als gevolg van stijgende olieprijsen is groter in ontwikkelingslanden dan in ontwikkelde economieën.

Het is alom bekend dat de beide oliecrisisen in de jaren 1970 hebben geleid tot wereldwijde recessie. Sinds het begin van de jaren 1970 heeft de economie van de Verenigde Staten zeven periodes van recessie gekend. Vijf van die recessies volgden onmiddellijk op een forse stijging van de olieprijs. Volgens Robert Hirsch zal het wereldwijde Bruto Binnenlands Product met 0,6 tot 0,8% dalen voor elk procentpunt dat de oliebeschikbaarheid afneemt. Rekenwerk van de Deutsche Bank suggereert een economische krimp van 1% voor elk procent minder olieproductie. De olieproductie zal na het piekoliemoment jaar na jaar afnemen. De hoger genoemde decline rates van 2 tot 5% laten vermoeden dat de economie jaarlijks met 1,2 tot 5% zou krimpen. Dit zou de wereldeconomie in een heel zware en langdurige recessie duwen. De crisis die we nu kennen, zou wel eens een dipje kunnen blijken in vergelijking met wat ons de komende jaren te wachten staat.

Een slabakkende economie, dure energie, hoge werkloosheid en stijgende prijzen zullen onze welvaart ondermijnen. De hoge levensstandaard die we in het Westen zo normaal zijn gaan vinden, komt zwaar onder druk te staan. Zal de eenentwintigste eeuw de eeuw van *back to basics* zijn? Het omvormen van ons economisch bestel naar een niet op fossiele energie gebaseerd systeem vraagt langdurige en astronomisch hoge investeringen. Zullen economieën die geplaagd worden door recessies en enorme staatsschulden, nog in staat zijn tot dergelijke investeringen?

## Financiën

Toen de olieprijs tussen 1999 en begin 2000 verdubbelde, volgde daarop onmiddellijk een crisis van het financiële systeem. De dotcom-crisis die zich in 2000 en 2001 ontvouwde, maakte een einde aan het succes van de internetgerelateerde aandelen. Een gelijkaardig scenario herhaalde zich in 2008. Tussen begin 2007 en de zomer van 2008 steeg de prijs van een vat aardolie spectaculair van minder dan 60 dollar naar bijna 150 dollar. Kort daarna werd de wereld door elkaar geschud door de

zogenaamde kredietcrisis, een ramp in de financiële wereld waarvan de economische gevolgen deden denken aan de jaren 1930. Is het gezamenlijk optreden van olieprijsstijgingen en het falen van het financiële systeem toeval? De oorzaken van de bovengenoemde crisissen liggen in eerste instantie in de financiële wereld zelf, maar toch is het mogelijk dat dure olie een katalyserend effect heeft op het uitbreken van een financiële crisis. Ten eerste zorgen hoge olieprijsen voor onrust op de financiële markten. Ten tweede leiden hogere olieprijsen tot een verminderde economische groei. Ten derde zorgt dure olie ervoor dat de prijs van goederen oploopt. Voor particulieren en bedrijven die krap bij kas zitten, kan dit het kantelmoment zijn waarop ze er niet meer in slagen om hun lening af te lossen. Die factoren kunnen de katalysator zijn voor het uitbreken van een financiële crisis.

Zoals eerder aangehaald zorgt een stijgende olieprijs voor een verhoging van het algemene prijsniveau. Bijna al onze producten zijn immers met olie vervaardigd en vervoerd. Een stijging van het algemene prijsniveau wordt inflatie genoemd. Inflatie deed zich voor als gevolg van de oliecrisissen van 1973, 1979 en 2008. Meestal treedt inflatie op wanneer de economie goed draait. Het mag duidelijk zijn dat dure olie de economie net afremt en dat langdurige economische krimp een reëel risico is. Wanneer een economische crisis (stagnatie) optreedt in combinatie met inflatie, spreken we van stagflatie. Tijdens de oliecrisissen van 1973 en 1979 was er sprake van stagflatie. Die is zeer schadelijk voor de economie en moeilijk te bestrijden met beleidsmaatregelen.

Het is niet ondenkbaar dat de gevolgen van piekolie voor het financiële systeem zo drastisch zijn, dat een fundamentele wijziging van het geldsysteem zoals we dat kennen, noodzakelijk zal zijn. De moderne geldsystemen worden gekenmerkt door een aangroei van geld, waardoor de totale hoeveelheid geld toeneemt tot een onvoorstelbare omvang. De geldcreatie gebeurt bij het lenen, volgens een systeem dat bekend staat als *fractional reserve banking*. Het geld dat banken uitlenen, komt slechts voor een verwaarloosbaar deel uit deposito's van andere klanten, maar is dus vooral nieuw gecreëerd geld. Bijgevolg vertegenwoordigt dat geld geen waarde maar schulden. In tegenstelling tot enkele decennia geleden worden onze munten vandaag niet meer gedekt door goud of andere vaste waarden. Dit expansieve geldsysteem steunt op een constant groeiende economie. Die economische groei is noodzakelijk om de interesten die we op onze collectieve schulden moeten betalen, te financieren. Een interestensysteem brengt noodzakelijkerwijs de verplichting met zich mee om een economische toekomst te realiseren die groter is dan vandaag. Onze economie groeit dus bij de gratie van de beschikbaarheid van overvloedig aanwezige goedkope energie. Als piekolie een einde maakt aan het sprookje van de eindeloos groeiende economieën, kunnen de schulden niet meer worden terugbetaald. De steunpilaar van ons geldsysteem valt hiermee weg. Als het grote publiek zich realiseert dat geld geen waarde heeft maar schuld vertegenwoordigt die in een economie die krimpt door energieschaarste nooit kan worden terugbetaald, breekt een onvoorstelbare vertrouwenscrisis uit. Zal het piekolieprobleem samengaan met de totale instorting van het moderne geldsysteem?

## Landbouw

Aangezien de moderne landbouwproductie zeer olie-intensief is, zal het piekolieprobleem bijzondere aandacht vragen voor de voedselvoorziening van de wereld. De huidige energie-inefficiënte landbouw komt onvermijdelijk in de problemen. Kunstmest wordt gemaakt door middel van aardgas. Als aardgas schaars en duur



wordt, zal de prijs van kunstmest fors toenemen. Op korte termijn zal dit ertoe leiden dat er zuiniger omgesprongen wordt met kunstmest. Op langere termijn zal er onvoldoende kunstmest beschikbaar zijn om de landbouwgrond vruchtbaar te houden, tenzij er nieuwe energie-efficiënte en niet-fossiele manieren worden gevonden om kunstmest aan te maken. Biociden, die olie als grondstof hebben, gaan een gelijkaardige toekomst tegemoet.

De inzet van onze reusachtige landbouwmachines, die lustig petroleum slurpen, wordt duur en uiteindelijk problematisch. Voedsel vervoeren over lange afstanden wordt minder vanzelfsprekend. Voedingswaren uit verre oorden zullen opnieuw luxeproducten worden.

Piekolie leidt onvermijdelijk tot een stijging van de prijs van voedingsproducten. Met name voor ontwikkelingslanden waar mensen een hoog aandeel van hun inkomen uitgeven aan eten, is dit een dramatisch gegeven. Het hele proces heeft zich al voorgedaan in 2008. Toen de olieprijs recordhoogtes bereikte van net geen 150 dollar per vat, stegen de voedselprijzen mee. In meer dan tien landen braken voedselrellen uit. Een stijgende voedselprijs is eigenlijk slechts een eerste signaal. Aangezien het piekolieprobleem de basis van onze huidige voedselproductie ondermijnt, zal het na verloop van tijd niet meer mogelijk zijn om de wereld te voeden met de huidige methodes.

Zoals eerder beschreven hangt de groei van de wereldbevolking samen met de moderne olieafhankelijke landbouw. Zal de landbouw zich snel genoeg kunnen aanpassen aan de nieuwe realiteit om de groeiende wereldbevolking te kunnen blijven voeden? Of zullen voedseltekorten de wereldbevolking decimeren en zal de wereldbevolking samen met de olieproductie afnemen op dezelfde manier zoals ze de voorbije decennia samen zijn toegenomen? Pessimistische stemmen zoals Richard Heinberg waarschuwen dat de wereldbevolking al tegen het jaar 2030 kan teruggevallen zijn tot twee à drie miljard mensen. Waarschijnlijk is dit denkwerk iets te rechtlijnig, maar het geeft wel aan dat een revolutie in de landbouw noodzakelijk is om een catastrofe te vermijden.





## Olie, milieu en klimaat

We staan er niet vaak bij stil, maar het is opmerkelijk dat de meeste milieuproblemen op de een of andere manier verband houden met het gebruik van fossiele energiebronnen. Het bekendste voorbeeld is ongetwijfeld de klimaatverandering, een probleem dat grotendeels voortkomt uit het gebruik van olie, gas en steenkool. Maar ook heel wat andere milieuproblemen zoals de vervuiling met toxische stoffen, eutrofiëring, smog in steden, afvalbergen en olievervuiling door calamiteiten met olietankers of boorplatforms zijn de trieste gevolgen van een wereld die op fossiele energie draait.

Daardoor kan de indruk ontstaan dat wanneer de beschikbaarheid van olie geleidelijk aan afneemt, ook de milieubelasting zal verminderen. Maar het is helaas mogelijk dat het omgekeerde gebeurt, en wel om twee redenen. Ten eerste zal de mensheid in toenemende mate moeilijke olie aanspreken waarvan bekend is dat de ontginning een grotere milieu-impact heeft dan de klassieke oliewinning. En ten tweede zullen het brandstoftekort en de hoge prijzen de verleiding met zich mee brengen om het Fischer-Tropschproces, waarbij synthetische brandstof uit steenkool wordt gemaakt, op grote schaal toe te passen.

Dat de ontginning van onconventionele olie rampzalige gevolgen heeft voor het milieu, blijkt uit de teerzandontginning in Alberta in Canada. Volgens Greenpeace is meer dan 3000 km<sup>2</sup> bos ontgonnen voor dit project. Enorme landoppervlaktes liggen er nu kaal en dood bij. Om stoom te produceren, gebruikt voor de extractie van de olie, zijn grote hoeveelheden water nodig. Naar verluidt wordt per vat gewonnen olie vier keer zoveel water verbruikt. In het landschap blijft mijnbouwafval achter en toxische stoffen vervuilen meren en rivieren. Volgens Greenpeace is het probleem van de watervervuiling zo groot, dat zelfs de drinkwatervoorziening in de regio bedreigd wordt. De productie van één vat olie uit teerzand leidt tot een uitstoot van broeikasgassen die veel hoger ligt dan bij de productie van olie volgens de klassieke methodes. Teerzandontginning is een dusdanig smerige business dat je alleen maar kunt hopen dat ze nooit succesvol wordt.

De gebeurtenissen van de voorbije maanden op het BP-olieplatform in de Golf van Mexico tonen pijnlijk aan dat ook de ontgining van olie uit de diepzee milieurisico's met zich mee brengt. De techniek bestaat om olie te ontginnen in zeer extreme omstandigheden. Maar blijkbaar laat de techniek om de risico's te beheersen die hiermee gepaard gaan, het afweten. Na een explosie op een boorplatform ontstond een lek waardoor er dagelijks miljoenen liters olie in de zee terecht kwamen. Verscheidene pogingen om het lek te dichten, mislukten. De stroom olie die wekenlang in de golf terecht kwam, vervuilde het zee- en kustecosysteem. President Obama sprak van de grootste milieuramp uit de geschiedenis van de VS. Wie zal er opdraaien voor de kosten om de olie op te ruimen en de verliezen in de visserij en het toerisme compenseren? Ook al heeft deze olieramp geen invloed op het piekolie moment of de *decline rates*, een verbod op nieuwe olieboringen in de diepzee als gevolg van deze ramp zou het piekolie moment wel beïnvloeden.

De kans is ook heel groot dat veel landen installaties gaan bouwen om brandstoffen te maken uit steenkool door middel van het Fischer-Tropschproces. Aangezien dit proces rendabel wordt vanaf olieprijs hoger dan 50 dollar per vat, zal de stijgende olieprijs deze optie zeer aantrekkelijk maken. Maar vanuit klimaatstandpunt bekeken is die oplossing catastrofaal. Zoals de naam al laat vermoeden, bestaat steenkool uit koolstof en gaat het gebruik ervan gepaard met grote emissies van broeikasgassen in de atmosfeer. Door over te schakelen op synthetische olie uit steenkool, zal de broeikasgasemissie per liter brandstof meer dan verdubbelen.

Het klimaatvraagstuk en het piekolieprobleem zijn eigenlijk twee kanten van dezelfde medaille, veroorzaakt door onze afhankelijkheid van fossiele brandstoffen. Oplossingen zoeken voor het piekolieprobleem door de winning van onconventionele olie op te drijven of olie te maken uit steenkool, zal de klimaatverandering versnellen. Een duurzame oplossing bestaat erin het klimaatvraagstuk en het piekolieprobleem samen aan te pakken. Dit kan enkel door een geleidelijke uitstap uit het fossiele tijdperk. Maar daarvoor is een grondige hervorming van onze energievoorziening en levenswijze nodig.



## MITIGATIE

Piekolie is een probleem op wereldschaal dat de hele mensheid voor een geweldige uitdaging stelt. Als het probleem tijdig en op een goede, gecoördineerde manier wordt aangepakt, kan de wereld er zonder al te veel kleerscheuren doorkomen. Internationale organisaties en nationale overheden moeten het probleem op de agenda plaatsen. Ook lokale overheden, bedrijven en burgers kunnen hun olieafhankelijkheid beginnen verminderen. Aangezien onze moderne wereld is opgebouwd door olie, dienen we hem grondig op de schop te nemen. We gaan hier kort in op enkele zaken die kunnen bijdragen om het probleem te verlichten.

### Energie-efficiënte technologie

Doordat olie decennialang veelvuldig en tegen een lage prijs beschikbaar was, heeft de samenleving weinig de noodzaak gevoeld om er zuinig mee om te springen. Olieverslindende praktijken zijn dan ook nog aan de orde van de dag. Er is grote winst te maken door eenvoudigweg bewuster om te gaan met de zo waardevolle aardolievoorraden. Door technologie te ontwikkelen en toe te passen die minder olie vergt, kunnen we het olieverbruik verder terugdringen. Voorbeelden hiervan zijn efficiëntere verbrandingsmotoren, kleinere auto's, het aanbrenge van bijkomende zeilen op vrachtschepen en procedures om industriële processen olie-efficiënter te maken. Hoe groot de winst hiervan is, hangt voor een groot deel af van de technologische ontwikkelingen.

### Substitutie

Door toepassingen die nu gebruik maken van olie te vervangen door toepassingen op basis van een andere energiebron, kan een deel van de olievraag worden weggeknipt. Een hoge olieprijs kan hiervoor een sterke stimulans zijn. Dit proces heeft zich ook voorgedaan in de jaren 1970 en het begin van de jaren 1980, toen de prijs van de olie steeg en olie waar mogelijk werd vervangen door een andere energiebron. Europa heeft in die periode olie geschrapt als bron voor elektriciteitsopwekking. Het proces van substitutie is een langdurig en geleidelijk proces. Eerst worden de laagwaardige toepassingen waarvoor een alternatief voorhanden is, vervangen. De hoogwaardige en moeilijk te vervangen toepassingen kunnen later aangepakt worden. Voor het verwarmen van gebouwen, een laagwaardige toepassing, kan huisbrandolie vervangen worden door aardgas. Dit is een tijdelijke oplossing voor er uiteindelijk

wordt overgeschakeld op duurzame energiebronnen. De invoering van hybride en elektrische wagens kan een heel grote invloed hebben op het oliegebruik. Een aantal fundamentele obstakels staat evenwel de introductie van de elektrische wagen in de weg, daarover straks meer. Uit olie vervaardigde plastics kunnen worden vervangen door plastics uit organisch materiaal. In de tweëntwintigste eeuw zal de mens nog altijd olie gebruiken, maar enkel als grondstof voor zeer hoogwaardige toepassingen.

## De elektrische auto

Aangezien meer dan de helft van het wereldoliegebruik naar de transportsector gaat, zou een revolutie in die sector een heel grote impact hebben op het oliegebruik. Hierbij duikt natuurlijk het idee van de elektrische voertuigen op. Zware trekkrachten, tractoren, vrachtwagens en schepen zullen nog lang op olie werken. Maar voor de veel lichtere personenwagens is een elektrisch alternatief denkbaar. Toch lijkt een grootschalige toepassing hiervan in de nabije toekomst onwaarschijnlijk. De elektrische auto is nog niet betaalbaar voor de modale consument, in het bijzonder de batterijen zijn zeer duur. De laadtijden zijn lang en de capaciteit van de batterij neemt af naarmate ze ouder wordt. De beperkte actieradius van ruim 150 km vormt een belangrijke beperking voor de elektrische auto. Bovendien bestaat er nog vrijwel geen infrastructuur om de auto's op te laden. In de batterij zit lithium verwerkt, een schaars element. Volgens de *Meridian International Research group* is er onvoldoende economisch rendabel exploiteerbaar lithium op aarde om op wereldschaal over te schakelen op elektrische wagens. Die bewering is op dit moment moeilijk te verifiëren. Het risico bestaat dat de grootschalige productie van elektrische auto's de prijs van lithium sterk zal opdrijven, waardoor de elektrische wagen duur speelgoed zal blijven.

Er is ook een belangrijk energetisch probleem verbonden met de elektrische wagen. Zelfs als we slechts de helft van ons wagenpark op elektriciteit zouden willen laten rijden, moet er fors meer elektrische energie opgewekt worden. De huidige energiecentrales volstaan niet om naast de klassieke toepassingen ook nog onze auto's aan te drijven. Zullen we erin slagen de capaciteit van de elektriciteitsopwekking uit te breiden in een tijdperk waarin steenkool en gas, de energiebron van de meeste elektriciteitscentrales, duurder worden? In een aantal landen, bijvoorbeeld in het Verenigd Koninkrijk, is al openlijk gesteld dat de elektriciteitsopwekking haar limieten bereikt. In dat geval lijkt het tegenstrijdig om de elektrische auto in te voeren.

## Lokalisatie

Aangezien het transport op wereldschaal sterk in prijs zal stijgen, zal het lokale en regionale vervoer geleidelijk aan weer op de voorgrond komen. De afstand tussen producent en consument verkorten door weer meer lokaal en regionaal te produceren, is een noodzakelijk en belangrijk deel van de oplossing van het piekolieprobleem. Voor een aantal sectoren betekent het eigenlijk een omkering van het globaliseringsproces. De lokale economie zal daar wel bij varen.

Door over te schakelen op meer lokale productie zal niet alleen het oliegebruik naar beneden gaan, maar ook de uitstoot van broeikasgassen verminderen. Het is niet ondenkbaar dat de olieschaarste, of de turbulentie die daaruit voortkomt, ervoor zorgt dat het wereldwijde transportsysteem hapert. Het gevoel van kwetsbaarheid en onzekerheid die dit bij de bevolking teweegbrengt, zou zelfvoorziening hoog op de politieke agenda kunnen brengen.

## Landbouw

We moeten noodgedwongen een manier vinden om voedsel te produceren met minder fossiele energie. Dit betekent eigenlijk een grondige koersverandering voor de industriële landbouw. Maar er zijn wel mogelijkheden om die ommekeer waar te maken. Landbouwvoertuigen blijven noodzakelijk en dienen ook in tijden van olieschaarste een hoge prioriteit te krijgen bij de brandstofverdeling. Het gebruik van de tractor en daarmee het verbruik van olie kan verminderen door de bewerking van de grond te beperken tot het strikt noodzakelijke. Kunstmest kan vervangen worden door zogenaamde groenbemesters. Daarbij worden planten van de vlinderbloemenfamilie ingezaaid. Die halen met de hulp van bacteriën in hun wortelknollen stikstof uit de atmosfeer. Door de planten na de groei in te ploegen, verhoogt de bodemvruchtbaarheid. De invoering van plantenrassen die beter bestand zijn tegen ziekte, kan helpen om het gebruik van petrochemische pesticiden te stoppen. Voedsel kopen dat geteeld is door lokale landbouwers, helpt het aantal voedselkilometers naar beneden te halen. De overheid kan actief steun bieden om de lokale markten te promoten.

De keerzijde van het beperken van een aantal olie-intensieve technieken die typisch zijn voor de moderne landbouw, is dat het niet meer mogelijk is om de hoogste productieniveaus te halen. Dit hoeft niet tot dramatische voedseltekorten te leiden, als mensen hun voedingsgewoonten aanpassen. De omzetting van plantaardig materiaal in dierlijk materiaal is heel inefficiënt. Er zijn vele kilo's plantaardig materiaal nodig om één kilo vlees te produceren. Door minder vlees te eten, kunnen we zelfs met een kleinere graanproductie meer monden voeden. Akkerbouw moet voorrang krijgen op veeveelt.

## Groene energie

Als binnenkort olie en later gas de wereld in de steek beginnen te laten, hebben we een alternatief nodig. Steenkool en kernenergie lijken om de hierboven genoemde redenen onvoldoende oplossingen te bieden. En het is nog maar de vraag of zonne-, wind- en waterenergie een alternatief kunnen vormen voor olie. Zon, wind en water leveren elektriciteit, maar dat is geen vloeibare brandstof en die kent andere toepassingen dan petroleum. Door zon, wind en water opgewekte elektriciteit kan enkel een bijdrage leveren voor een oplossing van het piekolieprobleem als de technologie het toelaat om op olie aangedreven toepassingen te vervangen door technieken die op elektriciteit werken.

Het potentieel aan hernieuwbare energie op onze planeet in de vorm van wind, water en zon is enorm. Het stelselmatig opkrikken van het aandeel van de hernieuwbare energie in de energievoorziening van de wereld lijkt dan ook een element van de oplossing. Volgens het artikel *A path to sustainable energy by 2030* dat in november 2009 verscheen in *Scientific American* is het mogelijk om in twintig tot dertig jaar tijd de wereld voor honderd procent op hernieuwbare energie te laten draaien. Andere stemmen zijn veel kritischer en stellen dat zonne- en windenergie altijd beperkt zullen blijven. Landen als Duitsland, Spanje en Zweden bewijzen dat het mogelijk is om het aandeel hernieuwbare energie snel te laten uitbreiden. In Duitsland wordt vandaag al 16% van de elektriciteit opgewekt uit hernieuwbare bronnen, in Spanje, Zweden en Oostenrijk is dat nog meer.

Voor een aantal toepassingen zullen er vermoedelijk nooit elektrische alternatieven komen. Hier zijn biobrandstoffen het enig mogelijke alternatief. Biobrandstoffen van de

tweede en derde generatie kunnen instaan voor toepassingen waarbij het gebruik van vloeibare brandstoffen echt noodzakelijk is.

Een snelle expansie van zon-, wind- en waterenergie in combinatie met de uitbouw van de productie van biobrandstoffen van de tweede en derde generatie zal het piekolieprobleem ook nog niet volledig oplossen. In de tweede helft van het fossiele tijdperk is de veelvuldige en goedkope energiebeschikbaarheid definitief voorbij. Samenlevingen zullen moeten functioneren met minder energie. De invoering van alternatieve energiebronnen is enkel effectief als ze samengaat met de grootste energiebron van de toekomst: energiebesparing.

## Olie en het verdelingsvraagstuk

Piekolie brengt een toenemend risico van conflicten met zich mee. Er kunnen conflicten ontstaan tussen olieproducerende landen en olie-importerende landen maar ook tussen olie-importerende landen onderling. Als arme landen uit de markt geprijsd worden en de dure olie niet meer kunnen betalen, dreigen ze in chaos af te glijden. Die problemen kunnen voorkomen worden door internationale afspraken over hoe de schaarse olie op een billijke manier kan worden verdeeld over de wereld.

Richard Heinberg en Colin Campbell schreven hierover het *Oil depletion protocol*. Het is een soort internationaal verdrag dat alle landen ter wereld idealiter zouden ondertekenen. De kernpunten van het protocol zijn de volgende. Alle olie-importerende landen moeten hun olieconsumptie verminderen met een hoeveelheid die minstens gelijk staat aan de wereldwijde decline rate. Olieproducenten moeten volledig en correct inzicht verschaffen in hun aardolievoorraden en hun productie. Alle landen stimuleren de uitbouw van een alternatieve energievoorziening en er komen garanties dat de olie-import van arme landen verzekerd blijft in tijden van dure olie. Financiële speculatie op hoge olieprijsen wordt aan banden gelegd. Dergelijke afspraken kunnen de wereld behoeden voor oorlog en chaos.

Schaarste brengt het verdelingsvraagstuk weer op de agenda. In een tijdperk van schaarse grondstoffen impliceert de rijkdom van de één de armoede van de andere. De belofte dat economische groei de armoede zou uitroeien, is nooit waargemaakt. Als dure energie en schaarse grondstoffen economische groei onmogelijk maken, kan armoede uitsluitend worden aangepakt door middel van herverdeling. Terwijl ik in een op aardgas verwarmd huis een paper schrijf over de zorgen die het begin van het einde van het olietijdperk met zich mee brengt, zijn er elders op de wereld ruim twee miljard mensen waarvoor het olietijdperk nog niet eens is begonnen. Zij leven in sloppenwijken of op een stuk vergeten platteland en kennen olie enkel in de vorm van een stuk plastic op het dak van hun hut of een versleten kledingstuk. Zij hebben meer petroleumproducten nodig om aan de meest elementaire levensbehoeften te kunnen voldoen. Wij zullen die mensen ook toegang moeten bieden tot de schaarse hulpbronnen, zodat zij de kans krijgen om een menswaardig bestaan op te bouwen.

## Transitie-initiatieven

Naast een internationaal kader, zoals een *Oil depletion protocol*, zijn veranderingen op lokale schaal nodig. Een wereldwijd en abstract probleem lijkt ver van ons dagelijks leven af te staan. Als enkeling voelen we ons machteloos tegenover een probleem van die omvang. De Brit Rob Hopkins schreef in 2008 *The Transition Handbook* dat een leidraad kan vormen voor gewone burgers die met het probleem aan de slag willen. Het



boek gaat uit van de problemen van klimaatverandering en piekolie, die allebei voortkomen uit het gebruik van fossiele brandstoffen. Bij transitie-initiatieven proberen lokale gemeenschappen – een wijk, een dorp, een straat – hun olieverbouw en de uitstoot van broeikasgassen terug te dringen. Het begrip veerkracht is daarbij belangrijk. Het betekent dat lokale gemeenschappen minder afhankelijk zijn van lange, onduurzame bevoorradingsketens die in de toekomst zouden kunnen falen. Lokale gemeenschappen proberen daarentegen hun zelfstandigheid te vergroten. Transitie-initiatieven zien klimaatverandering en piekolie niet alleen als een probleem, maar ook als een kans om een toekomst uit te bouwen die mooier is dan vandaag. Hiertoe nemen ze allerlei initiatieven op het vlak van alternatieve energie, lokaal geproduceerd voedsel en mobiliteit om zo de koolstofarme wereld van morgen stap voor stap dichterbij te brengen.

Intussen schieten in alle hoeken van de wereld transitie-initiatieven als paddenstoelen uit de grond. Er zijn groepen gestart in Canada, de Verenigde Staten, Australië, Nieuw- Zeeland, Japan en in een hele reeks Europese landen. Het is hoopgevend om te zien dat burgers zich verenigen en aan het werk gaan, ook al laat de politiek het piekolieprobleem grotendeels links liggen. Ook de allergrootste ommekeer, de overgang naar een postfossiele wereld, is slechts mogelijk als die gedragen wordt door de handen en harten van gewone mensen.

*Onze wereld draait op fossiele energiebronnen. Aardolie is een gedroomde energiebron en een fantastische grondstof met ontelbare toepassingen. In de twintigste eeuw zijn we heel kwistig omgesprongen met het zwarte goud. Jaar na jaar verslond de wereld meer en meer aardolie. Nieuwe economieën treden op het voorplan en zorgen ervoor dat de vraag naar olie nog verder zal stijgen. Maar het olieaanbod zal niet kunnen volgen. Piekolie, de maximumproductie waarna de aardoliewinning geleidelijk aan afneemt, dient zich aan en maakt het voortzetten van het huidige ontwikkelingspad onmogelijk. De olieschaarste zal de internationale betrekkingen grondig door elkaar schudden. De stijgende olieprijzen zijn de voorbode van de zware en langdurige oliecrisis die zich de komende jaren zal manifesteren. De Homo Petroliensis belandt voor het einde van de eenentwintigste eeuw in het sterfbed en blaast zijn laatste adem uit. De Homo Sapiens zal zich van de Homo Petroliensis moeten losworstelen om aan dat lot te ontsnappen. Hiervoor gaat onze energievoorziening en samenleving grondig op de schop. Om de bevolking bereid te krijgen om het grote werk aan te vangen, zal het piekolieprobleem de erkenning en aandacht moeten krijgen die het verdient.*



## [ bronnen ]

Dit is een beknopte literatuurlijst met enkel de belangrijkste bronnen. De lezer kan een volledige literatuurlijst opvragen bij [eliasverbanck@hotmail.com](mailto:eliasverbanck@hotmail.com)

Campbell Colin J., Laherrère. *The End of Cheap Oil*. Scientific American. 1998.

Energy Watch Group. *Crude Oil- Supply Outlook*. 2008

Global Witness. *Heads in the Sand. Governments ignore the oil supply crunch and threaten the climate*. 2009.

Heinberg Richard. *Peak Everything. Waking up to the century of decline in earth's resources*. Clairview. 2007

Heinberg Richard. *Searching for A Miracle, Net Energy Limits & The fate of Industrial Society*. The international Forum of Globalization and the Post Carbon Institute. 2009

Hirsch Robert, Bezdek Roger, Wendling Robert. *Peaking of World Oil Production: impacts, mitigation & risk management*. The United States Government. 2005.

Middelkoop Willem & Koppelaar Rembrandt. *De permanente oliecrisis. Waarom benzine, gas en voedsel steeds duurder worden*. Nieuw Amsterdam. 2008

Pfeiffer Dale A. *Eating Fossil Fuels. Oil Food and the Coming Crisis in Agriculture*. New Society Publishers. 2006

UK Energy Research centre. *Global Oil Depletion. An assessment of the evidence for a near-term peak in global oil production*. 2009