
Duurzame energie – een nuchter verhaal

Een samenvatting van 'Sustainable Energy – without the hot air'

David J.C. MacKay

In dit opmerkelijke boek worden duidelijk en objectief de verschillende opties gepresenteerd die we hebben om ons gebruik van fossiele brandstoffen te beperken.

Sir David King FRS

Wetenschappelijk hoofdadviseur van de Britse overheid (2000-2008)

Dit boek is verplichte kost voor iedereen die wat te zeggen heeft over energiebeleid – bij de overheid, in het bedrijfsleven of in een actiegroep.

Tony Juniper

Voormalig directeur van Friends of the Earth

Eindelijk een boek waarin de feiten over duurzame energie zodanig op een rijtje zijn gezet dat het eindresultaat heel leesbaar en onderhoudend is.

Robert Sansom

Directeur strategie en duurzame ontwikkeling bij EDF Energy

Samenvatting

We zijn verslaafd aan fossiele brandstoffen, en dat gaat zo niet langer. De meest ontwikkelde landen halen 80% van hun energie uit fossiele brandstoffen, Groot-Brittannië zelfs 90%. Er zijn drie redenen waarom we daar niet onbeperkt mee door kunnen gaan. In de eerste plaats zullen de goed toegankelijke fossiele brandstoffen op een gegeven moment opraken, waarna we onze energie ergens anders vandaan zullen moeten halen. Ten tweede heeft de verbranding van fossiele brandstoffen meetbare en naar alle waarschijnlijkheid riskante gevolgen voor het milieu. Het vermijden van gevaarlijke klimaatveranderingen is zeker een reden om ons gebruik van fossiele brandstoffen onmiddellijk te beperken. Ten derde is naast klimaatverandering ook de afnemende beschikbaarheid van fossiele brandstoffen in de toekomst een goede reden om het gebruik daarvan in Groot-Brittannië drastisch te verminderen. Als dat niet gebeurt, zal het grootschalige gebruik van de olie- en aardgasreserves in de Noordzee er snel toe leiden dat het aan fossiele brandstoffen verslaafde Groot-Brittannië afhankelijk wordt van onbetrouwbare buitenlanders. (Ik hoop dat mijn ironie overkomt.)

Hoe raken we van onze verslaving aan fossiele brandstoffen af?

Er is een stortvloed aan informatie over hoe we het anders kunnen doen, maar het grote publiek ziet door de bomen het bos niet meer en kan het verschil tussen effectieve maatregelen en symbolische handelingen niet goed bepalen. Mensen hebben groot gelijk als ze achterdochtig zijn wanneer bedrijven hen vertellen dat ze 'een steentje bijdragen' als ze 'groene' producten kopen. Ook het Britse binnenlandse energiebeleid is een bron van onrust. Zijn 'decentralisatie' en 'warmtekrachtkoppeling' bijvoorbeeld wel groen genoeg? De overheid wil ons dat graag laten geloven. Maar voldoet Groot-Brittannië met dergelijke technologie wel echt aan haar verplichtingen met betrekking tot klimaatverandering? Zijn windmolenparken niet meer dan 'een leeg gebaar waarmee onze leiders laten zien dat ze het beste met het milieu voorhebben'? Is kernenergie echt essentieel?

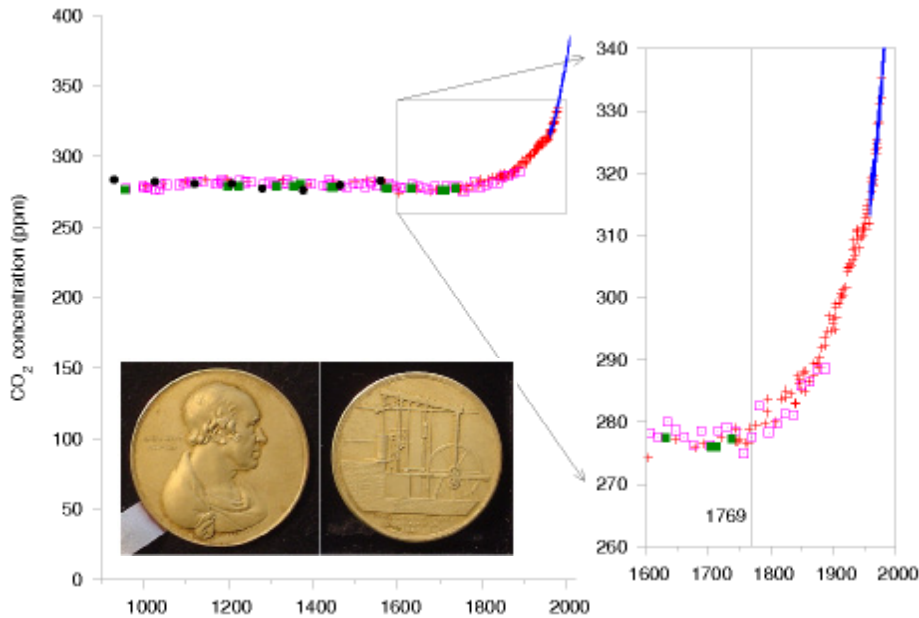
Er is behoefte aan een doeltreffend plan. Gelukkig zijn zulke plannen zeker op te stellen. Het is de uitvoering ervan die zo lastig is.

Sustainable Energy –
without the hot air

David JC MacKay



Foto: Terry Cavner.



Figuur 1. Concentraties kooldioxide (CO_2) (in delen per miljoen) in de loop van de afgelopen 1100 jaar, gemeten in lucht opgesloten in poolijs (tot 1977) en direct in Hawaï (vanaf 1958).

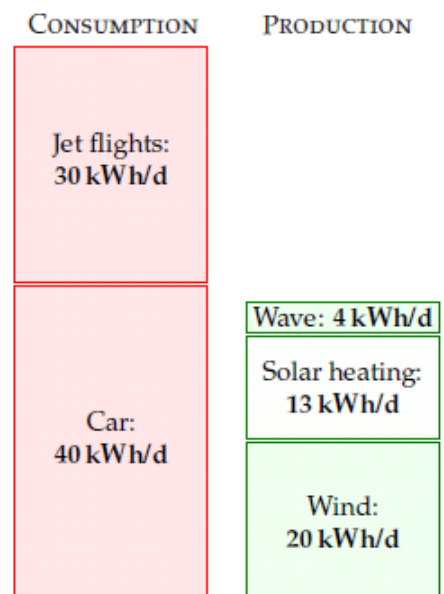
Ik denk dat er tussen 1800 en 2000 iets nieuws is gebeurd. Ik heb het jaar 1769 gemarkeerd, het jaar waarin James Watt patent aanvroeg voor zijn stoommachine. (Zeventig jaar daarvoor, in 1698, was de eerste praktisch bruikbare stoommachine al uitgevonden, maar die van Watt was veel efficiënter.)

Deel I – Cijfers in plaats van bijvoeglijke naamwoorden

De eerste helft van dit boek gaat over de vraag of een land als het Verenigd Koninkrijk, dat bekend staat om zijn wind, golven en getijden, zichzelf wel van voldoende hernieuwbare energie kan voorzien. We horen vaak dat Groot-Brittannië 'enorme' mogelijkheden op dat gebied biedt. Maar de aanduiding 'enorm' voor een energiebron zegt te weinig. We moeten weten hoe deze mogelijkheden zich verhouden tot ons eveneens 'enorme' gebruik. Om die vergelijking te maken, hebben we behoefte aan cijfers in plaats van bijvoeglijke naamwoorden.

Als er cijfers worden genoemd, wordt de betekenis daarvan vaak verhuld door de grootte. Cijfers worden gekozen om te imponeren, om er tijdens discussies mee te scoren, en niet om mensen daadwerkelijk te informeren. Mijn streven is om hier eerlijke, waarheidsgetrouwe cijfers te presenteren, en wel op zo'n manier dat ze inzichtelijk, vergelijkbaar en makkelijk te onthouden worden. Cijfers worden inzichtelijk als ze worden omgerekend naar alledaagse, persoonlijke eenheden. Voor energie wordt gekeken naar de hoeveelheid per persoon in kilowattuur (kWh), dezelfde eenheid die wordt gebruikt op de energierekening; vermogen wordt uitgedrukt in kilowattuur per dag (kWh/d) per persoon. In figuur 2 wordt een aantal hoeveelheden in deze eenheden met elkaar vergeleken. Zo is bijvoorbeeld met rood aangegeven dat een gemiddelde auto, als daar per dag 50 km mee wordt gereden, 40 kWh per dag verbruikt. Aan de rechterkant zijn met groen een aantal vormen van hernieuwbare energie weergegeven. Als we 10% van het land met windmolens zouden bedekken, levert dat gemiddeld 20 kWh per dag per persoon op.

Persoonlijke eenheden maken het een stuk eenvoudiger om het Verenigd Koninkrijk te vergelijken met andere landen of regio's. Als we bijvoorbeeld kijken naar afvalverbranding, zien we dat in het Verenigd Koninkrijk afvalverbranding per jaar 7 TWh oplevert en in Denemarken 10 TWh (1 TWh (terawattuur) is gelijk aan één miljard kWh). Kunnen we naar aanleiding daarvan stellen dat Denemarken 'meer' afval verbrandt dan het Verenigd Koninkrijk? Hoewel de totale hoeveelheid in elk land geproduceerde energie een interessant gegeven is, willen we meestal weten hoeveel afval er per persoon wordt verbrand.



Figuur 2. Vergelijking van verschillende energieverbruikende activiteiten met de haalbare productie van hernieuwbare energie in het Verenigd Koninkrijk afkomstig uit drie bronnen. Links zien we dat 50 km per dag autorijden 40 kWh per dag verbruikt, en dat één lange vlucht met het vliegtuig per jaar gemiddeld over het hele jaar 30 kWh per dag kost. Rechts zien we dat het volbouwen met windmolenparken van de meest winderige 10% van Groot-Brittannië 20 kWh per dag per persoon oplevert; het volbouwen met zonnepanelen voor waterverwarming van elk op het zuiden gericht dak 13 kWh per dag per persoon; en machines die over een breedte van 500 km aan kustlijn de golven van de Atlantische Oceaan omzetten in energie 4 kWh per dag per persoon.

(Voor alle duidelijkheid: voor Denemarken is dat 5 kWh/d per persoon; in het Verenigd Koninkrijk 0,3 kWh/d per persoon. De Denen verbranden dus ongeveer 13 keer zoveel afval als de Britten.) Door vanaf het eerste begin alles per persoon te kwantificeren, krijgen we een beter ‘transposeerbaar’ boek, dat hopelijk een nuttige bijdrage levert aan internationale discussie over duurzame energie.

Als we uitgaan van duidelijke cijfers, kunnen we vragen beantwoorden zoals:

1. Kan een land als Groot-Brittannië in de eigen behoefte voorzien met eigen hernieuwbare energiebronnen?
2. Kunnen we door over te stappen op ‘geavanceerde technologieën’ een einde maken aan de CO₂-vervuiling zonder onze levensstijl te veranderen?

In deel I van *Sustainable Energy – without the hot air* zijn in een rood stapeldiagram de energiekosten van een breed spectrum aan energie verbruikende activiteiten onder elkaar gezet. Een groen stapeldiagram geeft alle potentiële hernieuwbare energiebronnen in Groot-Brittannië weer.

Als we naar de cijfers in het rode diagram aan de linkerkant kijken, sneuvelen er meteen verschillende fabeltjes. Zo wordt bijvoorbeeld het aan laten staan van mobiele telefoonopladers vaak genoemd als voorbeeld van een ecologische wandaad, terwijl mensen die hun oplader uitzetten worden geprezen omdat ze ‘een steentje bijdragen’. In werkelijkheid verbruikt een gemiddelde telefoonoplader slechts 0,01 kWh per dag. De hoeveelheid energie die wordt bespaard als we de oplader uit laten bedraagt 0,01 kWh, evenveel als de hoeveelheid energie die een rijdende auto in één seconde verbruikt. Ik zal niet beweren dat opladers niet uitgezet moeten worden, maar ‘alle beetjes helpen’ is een misleidend cliché. Obsessief je telefoonoplader aan en uit zetten is net zoiets als de Titanic proberen te redden door te hozen met een theelepeltje. Schakel hem vooral uit, maar maak je geen illusies over de impact van dat gebaar.

Alle energie die je bespaart door je oplader een dag uit te laten staan, wordt tijdens het autorijden in één seconde verbruikt.

De energie die je bespaart als je de oplader een jaar uit laat staan, komt overeen met de hoeveelheid energie in een warm bad.

Een oplader zorgt maar voor een fractie van iemands totale energieverbruik.

Als iedereen een beetje bijdraagt, verandert er maar een beetje.

Een ander veelzeggend cijfer is hoeveelheid energie die iemand verbruikt tijdens een lange vlucht. Als je één keer per jaar heen en terug naar Kaapstad vliegt, wordt daarbij ongeveer net zoveel energie verbruikt als wanneer je een jaar lang elke dag 50 km met de auto rijdt.

Een groot deel van het energieverbruik in Groot-Brittannië heeft vaste vorm. Geïmporteerde industrieproducten worden meestal niet meegeteld in het energieverbruik van Groot-Brittannië, omdat die energie is verbruikt door bedrijven in een ander land. Desalniettemin bedraagt het energieverbruik voor de fabricage van geïmporteerde industrieproducten (zoals voertuigen, machines, witgoed, elektrische apparatuur, elektronica, ijzer, staal en droge bulkproducten) minstens 40 kWh per dag per persoon.

GOEDERENSTROOM IN GROOT-BRITANNIË
(kg per dag, per persoon)

Import

Fossiele brandstoffen	16
steenkool	4
olie	4
aardgas	8

Alle import	12,5
geïmp. levensmiddelen	1,6
industrieproducten	3,5

Water	160
-------	-----

Export

CO ₂ en andere broeikasgassen	30
Stedelijk afval	1.6
gerecycled	0,27
verbrand	0.13
gestort	1,0
gevaarlijk afval	0,2
keukenafval	0,3

Tabel 3. Bronnen: DEFRA, Eurostat, Brits bureau voor de statistiek, Brits ministerie van verkeer.

De eerste helft wordt afgesloten met twee duidelijke conclusies. Ten eerste moet elke faciliteit voor hernieuwbare energie van nationale omvang zijn om een bijdrage te kunnen leveren die significant is in vergelijking met ons huidige verbruik. Als we bijvoorbeeld in een kwart van het huidige energieverbruik willen voorzien door energiegewassen, moet 75% van Groot-Brittannië worden bedekt met biomassaplantages. Om 4% van ons huidige energieverbruik te kunnen dekken met golfenergie, moet er 500 km aan Atlantische kust helemaal worden volgebouwd met installaties voor golfenergie. Iemand die denkt dat hernieuwbare energie mogelijk is zonder grootschalige, ingrijpende infrastructurele veranderingen, houdt zichzelf voor de gek.

Ten tweede: *economische beperkingen en bezwaar vanuit de bevolking buiten beschouwing gelaten, zou het mogelijk zijn om de gemiddelde hoeveelheid energie die in Europa wordt verbruikt (125 kWh/d per persoon) op te wekken met voorzieningen voor hernieuwbare energie van nationale omvang. De grootste bijdrage zou worden geleverd door zonnepanelen, die – als 5% tot 10% van het land ermee wordt bedekt – 50 kWh/d per persoon zouden genereren, en windmolenparken voor de kust, die – wanneer ze een stuk zee twee keer zo groot als Wales zouden vullen – gemiddeld nog eens 50 kWh/d per persoon zouden opleveren.*

Het met panelen volbouwen van het platteland en het met windmolens opvullen van het Britse zeegebied (samen goed voor een totale capaciteit die vijf keer zo groot is als alle windturbines in de hele wereld van nu bij elkaar) is zuiver wetenschappelijk misschien haalbaar, maar zou het publiek zulke extreme maatregelen wel accepteren? Als het antwoord daarop 'nee' luidt, ontkomen we niet aan de conclusie dat de *huidige consumptie nooit door Britse hernieuwbare energie gedekt zal worden*. Er zal of een radicale vermindering van het gebruik moeten komen, of significante nieuwe energiebronnen – en het liefst beide.

Deel II – Energieplannen die zoden aan de dijk zetten

In het tweede deel van *Sustainable Energy – without the hot air* worden zes strategieën onderzocht waarmee het verschil tussen verbruik en hernieuwbare productie zoals die in het eerste deel wordt beschreven zou kunnen worden opgeheven, gevolgd door een aantal schetsen voor energieplannen voor Groot-Brittannië die daadwerkelijk zoden aan de dijk zetten.

De eerste drie strategieën voor het verkleinen van het verschil zijn gericht op de *vraag naar energie*:

- bevolkingsbeperking,
- verandering van levensstijl,
- het gebruik van efficiëntere *technologie*.

De overige strategieën zijn gericht op de *productie van energie*:

- Met 'duurzame fossiele brandstoffen' en 'schone steenkool' wordt een nieuwe manier van steenkool verbranden aangeduid, waarbij de CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen. Hoe kunnen we op 'duurzame' wijze energie uit steenkool halen?
- Ook kernenergie is een controversiële mogelijkheid. Is het meer dan een stoplap?
- Een derde manier om energie zonder CO₂ op te wekken is het gebruik van hernieuwbare energie uit *andere landen* – met name landen waar de zon veel schijnt, veel open ruimtes zijn en weinig mensen wonen. Wat zijn welbeschouwd de mogelijkheden die de Sahara ons biedt?

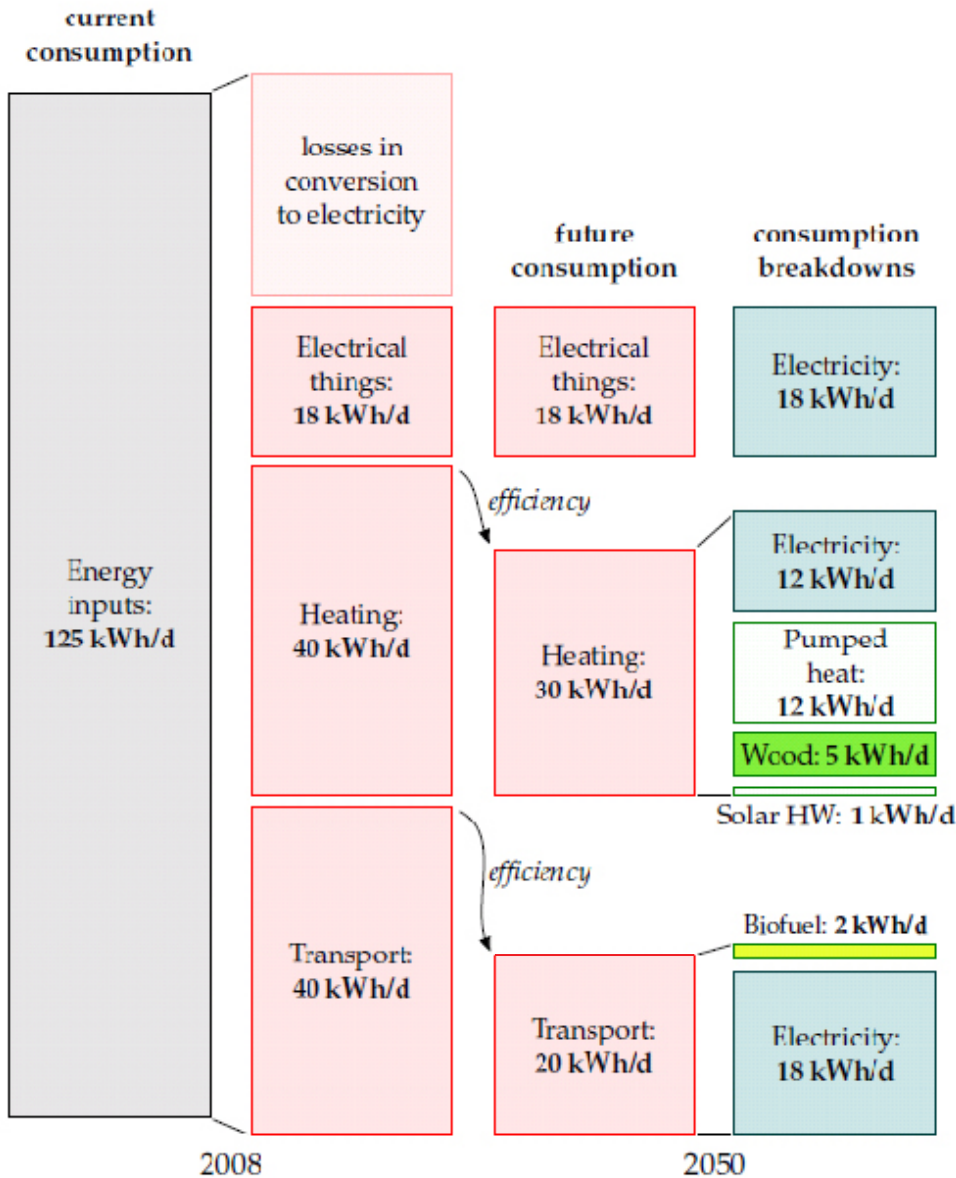
ENERGIE PER VIERKANTE METER LAND- OF WATEROPPERVLAK

Windmolens	2 W/m ²
Offshore-windmolens	3 W/m ²
Getijdenpoelen	3 W/m ²
Getijdenstroom	6 W/m ²
Zonnepanelen	5-20 W/m ²
Gewassen	0,5 W/m ²
Regenwater (hooglanden)	0,24 W/m ²
Hydro-elektrische centrales	11 W/m ²
Geothermisch	0,017 W/m ²
Zonneschoorsteen	0,1 W/m ²
Thermisch (oceaan)	5 W/m ²
Concentratie van zonne-energie (woestijn)	15 W/m²

Tabel 4. Faciliteiten voor hernieuwbare energie moeten van nationale omvang zijn omdat hernieuwbare energievormen zo diffuus zijn. In deze tabel wordt de hoeveelheid energie per vierkante meter land of zee vermeld voor verschillende vormen van hernieuwbare energie.



Figuur 5. Schotel met Stirlingmotor. Deze prachtige zonnespiegels leveren een vermogen van 14 W/m². Foto: Stirling Energy Systems (www.stirlingenergy.com)

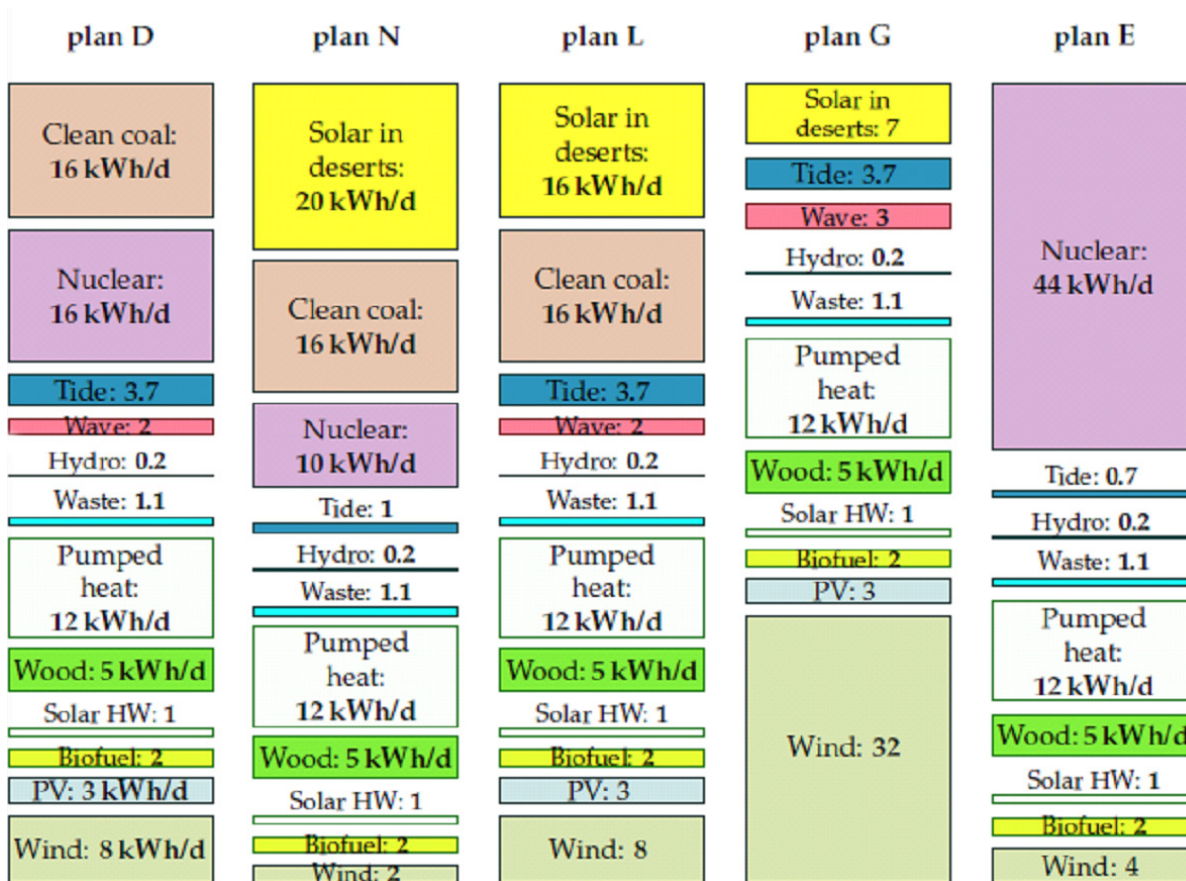


Figuur 6. Huidig verbruik per persoon in 'vereenvoudigd Groot-Brittannië' in 2008 (twee kolommen links) naast een opzet voor toekomstig verbruik, uitgesplitst naar brandstof (twee kolommen rechts). Voor deze opzet moet de productie van elektriciteit worden opgeschroefd van 18 naar 48 kWh/d per persoon.

Om het verhaal helder te houden, wordt in dit deel van het boek een vereenvoudigde versie van Groot-Brittannië gepresenteerd, waarin slechts drie vormen van verbruik voorkomen: vervoer, verwarming en elektriciteit.

Er komen vijf energieplannen voor Groot-Brittannië aan bod, alle gericht op het verkleinen van de vraag naar energie door vervoer en verwarming (met behulp van warmtepompen) elektrisch te maken. Elektrische voertuigen hebben een bijkomend voordeel: voor het opladen van de accu's is een grote elektriciteitsvoorziening nodig die gemakkelijk aan en uit kan worden gezet, zodat met slimme opladers de levering kan worden afgestemd op de vraag binnen een elektriciteitsnet waarin hernieuwbare brandstoffen of kernenergie veel worden gebruikt.

De overstap op elektrisch vervoer en elektrische verwarming vraagt uiteraard wel om een aanzienlijke toename van de hoeveelheid gegenereerde elektriciteit. Binnen de vijf plannen wordt door middel van vijf verschillende combinaties van CO₂-loze opties in deze behoefte voorzien. De combinaties komen overeen met verschillende politieke stromingen. Zo maakt plan G, het Groene plan, geen gebruik van 'schone steenkool' of kernenergie, terwijl plan N, het NIMBY-plan ('Not In My Back Yard'), extra veel gebruik maakt van de hernieuwbare energie van *andere* landen.



Plan E, is het Economische plan, waarbij de nadruk ligt op de meest economische CO₂-loze opties, namelijk windmolenparken op het vasteland, kernenergie en een klein aantal getijdenpoelen.

Uit deze plannen blijkt duidelijk met welke bouwstenen we een toekomst met minder CO₂ zullen moeten opbouwen.

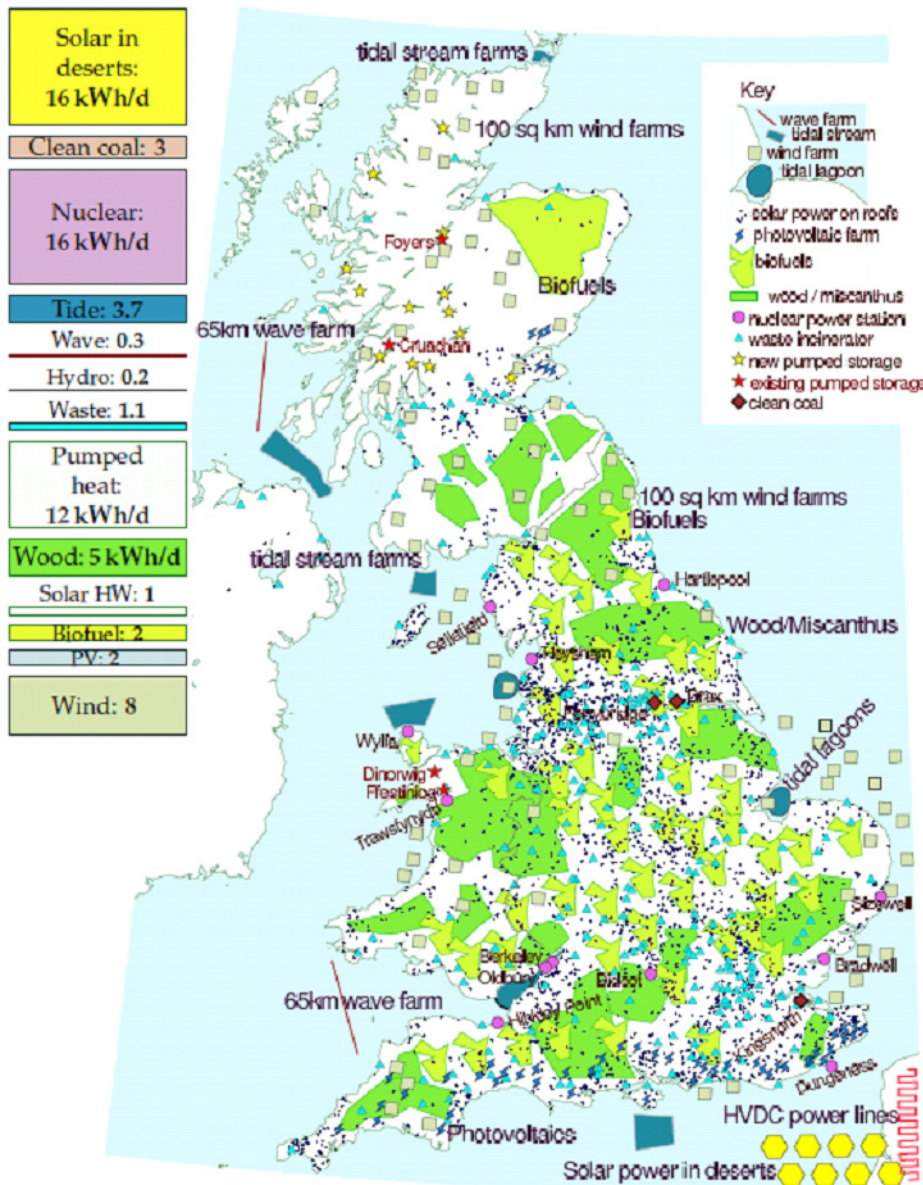
Als bij een plan niet veel kernenergie of 'schone steenkool' wordt gebruikt, zal dat moeten worden gecompenseerd door hernieuwbare energie te kopen van andere landen. De meest veelbelovende vorm van hernieuwbare energie voor grootschalige ontwikkeling is de concentratie van zonne-energie in de woestijn. Daarbij worden verschillende combinaties van bewegende spiegels, gesmolten zand, stoom en thermische motoren gebruikt om elektriciteit op te wekken.

Figuur 7. Vijf energieplannen voor Groot-Brittannië. Al deze plannen gaan ervan uit dat de vraag aanzienlijk is verkleind als gevolg van efficiëntere verwarming en vervoer.



Figuur 8. Andasol is een elektriciteitscentrale op basis van zonne-energie van '100 MW' die momenteel in Spanje wordt gebouwd. De overtollige thermische energie die in de loop van de dag wordt opgebouwd, wordt maximaal zeven uur opgeslagen in tanks met vloeibaar zout, zodat een ononderbroken en gelijkmatige levering van elektriciteit aan het lichtnet mogelijk is. Het vermogen per oppervlakte-eenheid zal 10 W/m² bedragen.
Foto: IEA SolarPACES.

Om de schaal van een effectief energieplan te illustreren, bevat figuur 9 een kaart van Groot-Brittannië waarop een zesde plan is uitgewerkt. Dit zesde plan is voorzien van elke mogelijke energiebron met lage CO₂-uitstoot. Omdat het ongeveer in het midden van de andere plannen valt, noem ik het plan M.



Figuur 9. Plan M: een plan dat zoden aan de dijk zet voor Schotland, Engeland en Wales. De grijsgroene vierkantjes zijn windmolenparken, elk 100 km² groot en op schaal getekend. De rode lijnen in de zee zijn installaties voor golfenergie, op schaal getekend. De lichtblauwe bliksemschichtjes zijn installaties met zonnepanelen, elk 20 km² groot en op schaal getekend. De veelhoekige blauwe vlakken in zee: getijdeninstallaties. De ronde blauwe vlakken in zee (Blackpool en de Wash): getijdenlagunes. Lichtgroene stukken land: bos en kortoomloophout (op schaal). Geelgroene vlakken: biobrandstoffen (op schaal). Kleine blauwe driehoekjes: afvalverbrandingsinstallaties (niet op schaal). Grote bruine ruiten: energiecentrales met schone steenkool, gelijktijdige verbranding van biomassa en CO₂-afvangst en opslag (niet op schaal). Paarse stippen: kerncentrales (niet op schaal), gemiddelde productie van 3,3 GW op 12 locaties. Gele zeshoeken bij het Kanaal: zonnecollectoren in afgelegen woestijnen (op schaal: 335 km² per stuk). Het roze 'kringeltje' in Frankrijk staat voor nieuwe HVDC-lijnen van 2000 km lang, waarmee 40 GW uit afgelegen woestijnen naar het Verenigd Koninkrijk wordt getransporteerd. Gele sterretjes in Schotland: nieuwe opslagfaciliteiten met warmtepomp. Rode sterretjes: bestaande opslagfaciliteiten met warmtepomp. Blauwe stippen: zonnepanelen voor heet water op alle daken.

Het is uiteraard geen wedstrijd: in plaats daarvan draait het om eerlijke feiten over de mogelijkheden die we hebben. Maar toch wel ik even de aandacht vragen voor een paar heilige koeien die een kwantitatieve beoordeling niet met goed gevolg doorstaan, en een paar die dat wel doen.

Slecht: Voertuigen op waterstof zijn een ramp. De meeste prototypes van voertuigen die op waterstof lopen verbruiken meer energie dan de voertuigen die ze moeten vervangen. De BMW Hydrogen 7 verbruikt **254 kWh per 100 km** (ter vergelijking: een gemiddelde Britse auto die op fossiele brandstoffen loopt verbruikt **80 kWh per 100 km**). **Goed:** Prototypes van elektrische voertuigen gebruiken daarentegen tien keer zo weinig energie: **20 kWh per 100 km** of zelfs **6 kWh per 100 km**.

Elektrische voertuigen zijn veel beter dan hybride auto's. De hybride auto's van dit moment presteren in de meeste gevallen hoogstens 30% beter dan auto's op fossiele brandstoffen en moeten worden beschouwd als niet meer dan een eerste stap op weg naar elektrische voertuigen.



Figuur 10. **Slecht:** BMW Hydrogen 7.
Energieverbruik: 254 kWh per 100 km.
Foto: BMW.



Figuur 11. **Goed:** Tesla Roadster (elektrische auto).
Energieverbruik: 15 kWh per 100 km.
www.teslamotors.com.



Figuur 12. **Goed:** Aptera.
Energieverbruik: 6 kWh per 100 km.
www.aptera.com

Slecht: Gedecentraliseerde warmtekrachtkoppeling is ook geen vruchtbare optie. Het is waar dat de koppeling van warmte en vermogen (wat neerkomt op afzonderlijke generatoren voor elk gebouw, die lokaal elektriciteit en warmte opwekken om het gebouw op temperatuur te houden) een iets efficiëntere manier kan zijn om fossiele brandstoffen te gebruiken dan de gebruikelijke (in gecentraliseerde elektriciteitscentrales en lokale condensatieketels). Dit is echter maar 7% efficiënter. En daar gebruiken ze ook nog eens fossiele brandstoffen bij! Was het niet de bedoeling om die juist te vermijden? Er is gelukkig een veel betere manier om lokaal warmte op te wekken: **warmtepompen**. **Goed:** Een warmtepomp is een omgekeerde koelkast. Deze door elektriciteit aangedreven machines pompen warmte het gebouw in die afkomstig is uit de buitenlucht of de grond. De beste warmtepompen, die onlangs in Japan zijn ontwikkeld, hebben een prestatiecoëfficiënt van 4,9, wat betekent dat voor 1 kWh aan elektriciteit de warmtepomp 4,9 kWh aan warmte levert in de vorm van warme lucht of warm water. Op zo'n manier energie gebruiken om warmte op te wekken is een stuk efficiënter dan hoogwaardige chemische stoffen verbranden, wat een prestatiecoëfficiënt oplevert van slechts 0,9.

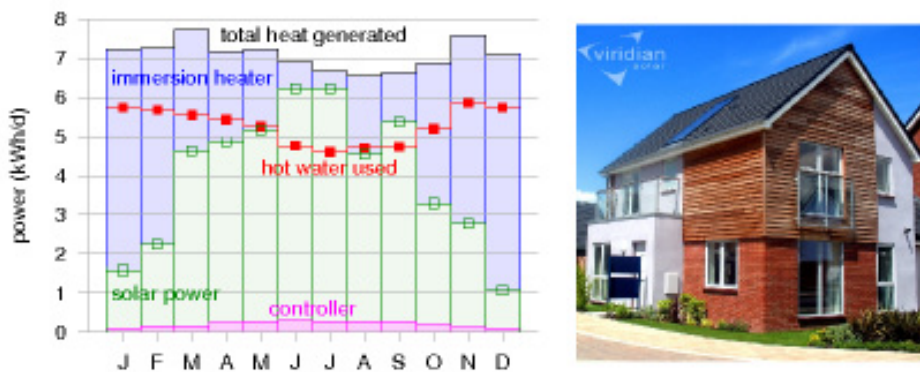


Figuur 13. **Goed:** Binnen- en buitengedeelte van een warmtepomp die warmte uit de lucht haalt met een prestatiecoëfficiënt van 4. Om de grootte aan te geven is tegelijk met het binnendeel een balpen gefotografeerd. Eén van deze units van Fujitsu kan 3,6 kW aan verwarming leveren bij een elektriciteitsverbruik van slechts 0,845 kW. Hij kan ook omgekeerd werken en levert dan 2,6 kW aan verkoeling voor 0,655 kW aan elektriciteit.



Figuur 14. **Slecht:** Een Ampair-microturbine van '600 W'. Deze microturbine in Leamington Spa genereert gemiddeld 0,037 kWh per dag (1,5 W).

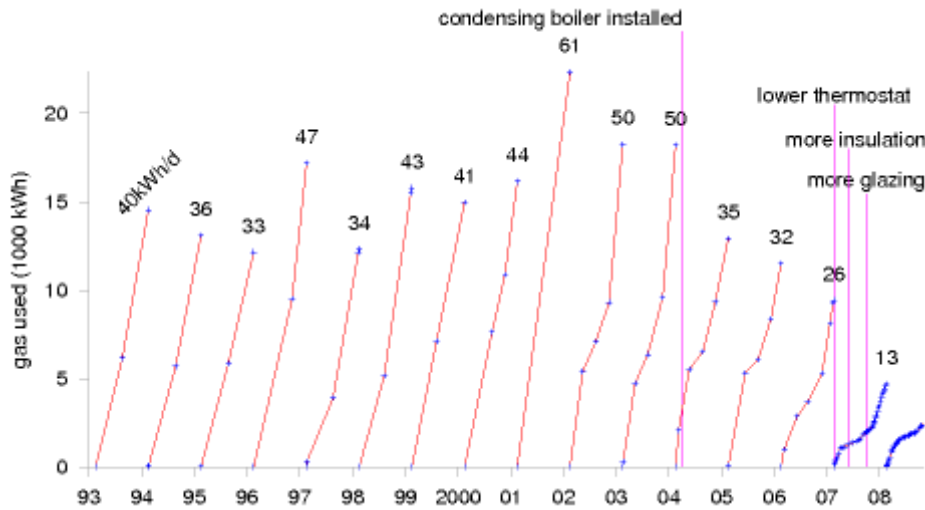
Slecht: Windturbines voor op het dak zijn pure verspilling. Ze betalen zichzelf nooit terug. **Goed:** Een zonneboiler op het dak is daarentegen een uitstekende keus. Ze werken echt: zelfs in Groot-Brittannië, waar het maar zo'n 30% van de tijd zonnig is, levert een bescheiden paneel van 3 m² al genoeg energie voor de helft van het warme water dat een gemiddeld gezin verbruikt.



Figuur 15. **Goed:** De zonne-energie die wordt gegenereerd door een zonnepaneel voor waterverwarming van 3 m² (groen) en de aanvullende warmte (blauw) die nodig is voor warm water in het testhuis van Viridian Solar. (De foto is van een ander huis met hetzelfde model zonnepaneel op het dak.) De zonne-energie die met een paneel van 3 m² werd opgewekt bedroeg gemiddeld 3,8 kWh/d. Voor het experiment werd het warmwaterverbruik van een gemiddeld Europees gezin nagebootst: 100 liter warm water (60°C) per dag. Het verschil van 1,5 à 2 kWh/dag tussen de totaal gegenereerde warmte (zwarte lijn bovenaan) en het verbruikte warme water (rode lijn) is het gevolg van warmteverlies. De magenta lijn geeft de elektrische energie weer die nodig is voor de werking van het zonnepaneel zelf. Het gemiddelde vermogen per oppervlakte-eenheid van dit soort zonnepanelen bedraagt 53 W/m².

Slecht: De telefoonoplader aan en uit zetten is een nutteloze handeling, vergelijkbaar met de Titanic proberen te redden door te hozen met een theelepeltje. Dat het uitzetten van opladers voortdurend ter sprake komt als voorbeeld van 'iets wat je zelf kunt doen' is slecht, omdat daarmee de aandacht wordt afgeleid van effectievere maatregelen. **Goed:** De thermostaat lager zetten is voor de gewone burger de meest effectieve manier om energie te besparen: voor elke graad dat hij lager wordt gezet, dalen de stookkosten met 10%, en in de meeste Britse gebouwen zorgt verwarming voor het meeste energieverbruik. In figuur 16 staan gegevens over mijn huis.

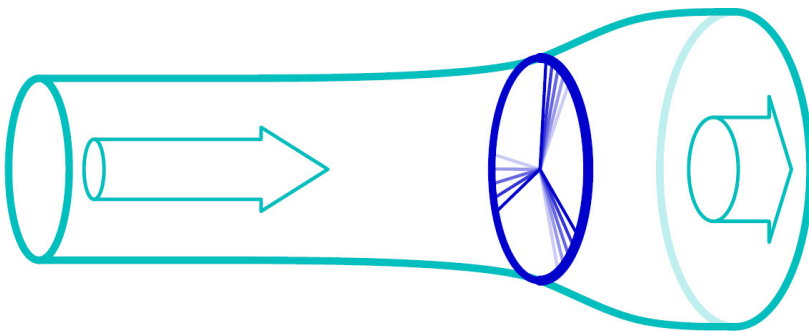
Dit boek is niet bedoeld als definitief naslagwerk vol extreem nauwkeurige cijfers. In plaats daarvan is het bedoeld als illustratie van de manier waarop benaderde cijfers voor een constructieve discussie kunnen worden gebruikt. Dit boek is geen pleidooi voor een bepaald energieplan of een bepaalde technologie. Er wordt een overzicht gegeven van de beschikbare bouwstenen en de omvang daarvan, zodat de lezer zelf een plan kan opstellen dat zoden aan de dijk zet.



Figuur 16. Mijn huishoudelijk aardgasgebruik op jaarbasis van 1993 t/m 2007. Op elke regel is het cumulatieve verbruik gedurende één jaar in kWh weergegeven. Het cijfer aan het uiteinde van elk jaar is het gemiddelde verbruik voor dat jaar in kWh per dag. De meterstanden zijn aangegeven met blauwe stippen. Het is duidelijk dat ik minder aardgas verbruik naarmate ik vaker de meter lees.

Deel III – Technische hoofdstukken

Het derde deel van dit boek gaat dieper in op de natuurkundige achtergrond van energieverbruik en -productie. In acht aanhangsels wordt op basis van elementaire uitgangspunten toegelicht waar de cijfers in de eerste twee delen vandaan komen. Zo wordt bijvoorbeeld uitgelegd waarom auto's aanzienlijk energiezuiniger kunnen worden gemaakt en vliegtuigen niet, en hoe het vermogen van windmolenparken, getijdeninstallaties en installaties voor golfenergie op een kladje kunnen worden berekend. Hoewel het overgrote deel van het boek toegankelijk is voor iedereen die een beetje kan rekenen, zijn de aanhangsels gericht op lezers die niet schrikken van formules zoals $\frac{1}{2}mv^2$.



Figuur 17. Strooming van de lucht langs een windmolen. De luchtstroom wordt door de windmolen vertraagd en verbreed.

Deel IV – Nuttige informatie

De laatste zestien pagina's van het boek bevatten nog meer referentiegegevens en conversiefactoren waarmee de ideeën in het boek snel kunnen worden aangepast aan de situatie in andere landen en eenheden kunnen worden omgerekend in die van andere organisaties.

2 december 2008

Aanvullende informatie

Dit boek is gratis beschikbaar op www.withouthotair.com. Het is op 2 december 2008 door UIT Cambridge in het Verenigd Koninkrijk uitgegeven en op 1 april 2009 in Noord-Amerika. David MacKay is hoogleraar natuurwetenschappen aan de faculteit natuurkunde van de universiteit van Cambridge.