

Boekrecensie:

David J.C. MacKay “*Sustainable Energy – without the hot air*” (Duurzame Energie Zonder Gebakken Lucht)

UIT Cambridge UK, 2008, ISBN 978-0-9544529-3-3

De volledige tekst mag vrij gedownload worden van www.withouthotair.com

De schrijver, hoogleraar natuurkunde aan de universiteit van Cambridge, geeft op slechts 250 bladzijden een volledig overzicht van het huidige energieverbruik, de zinnige methoden om het energieverbruik te verminderen en de effectieve methoden om duurzame energie op te wekken. De termen “volledig”, “zinnig” en “effectief” worden gerechtvaardigd door consequent alle voorstellen door te rekenen op hun effectiviteit. Het gaat om aantallen en hoeveelheden, die zijn belangrijk, in tegenstelling tot de vage bijvoegelijke naamwoorden die in de energiediscussie zo vaak worden gebruikt. Veel onzin valt dan af, en dat scheelt kostbare tijd van de lezer. Uitspraken in de trant van: “deze windmolen wekt de energie op voor 300 huishoudens” zijn misleidend en onjuist, want aangezien Nederland ongeveer 6 miljoen huishoudens telt, zouden 20.000 van deze molens voldoende zijn, en niets is minder waar. Het boek gaat over harde fysische feiten: de intensiteit van energiestromen, overbrengingsverliezen, beschikbaar terrein, enz. Economie en kostenfactoren spelen in het boek een ondergeschikte rol.

MacKay werkt consequent met de kilowattuur (kWh) als eenheid van energie, waar nodig gespecificeerd als kWh(e) als het over elektriciteit gaat, of kWh(th) als het om warmte gaat. De cijfers voor energieverbruik en de energieopwekking, of de import van energie worden consequent gegeven in de eenheid kWh/d/p, dat is het aantal kilowattuur dat per dag wordt gebruikt door of opgewekt voor 1 gemiddeld persoon. Een vermogen van 1 kWh/d/p is ongeveer gelijk aan 40 Watt, gemiddeld over het etmaal, en meestal ook over het jaar.

Het huidige energieverbruik door de burgers van het Verenigd Koninkrijk blijkt als volgt te zijn:

Tabel 1: Huidig totaal energieverbruik per persoon, en per land.

| | Verbruik per dag per persoon (kWh/d/p) | Totaal verbruik UK (GW) | Totaal verbruik Nederland (GW) | Totaal verbruik Europese Unie (GW) |
|--|--|-------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Autorijden 50 km/dag | 40 | 96 | 26 | 800 |
| Vliegen 1 keer/jaar retour Los Angeles | 33 | 79 | 21 | 660 |

| | | | | |
|--|-------------------------|--------|--------|---------|
| Verwarmen/koelen | 37 | 89 | 24 | 740 |
| Verlichting | 4 | 10 | 3 | 80 |
| Electronica | 5 | 12 | 3 | 100 |
| Voedsel, landbouw, kunstmest | 15 | 36 | 10 | 300 |
| Energieinhoud aangekochte spullen (auto's, meubels, huizen, ...) | 48+ | 120 | 31 | 960 |
| Transport van spullen | 12 | 30 | 8 | 240 |
| Defensie | 4 | 10 | 3 | 80 |
| Totaal | 198 kWh/d/p = 8 kW/p | 480 GW | 130 GW | 4000 GW |

In de derde kolom berekenen we het verbruik in de UK door de tweede kolom te vermenigvuldigen met de 60 miljoen inwoners van Groot Brittannië en met de factor 40/1.000.000.000. Groot Brittannië is net als Nederland qua welvaart en levensstijl een gemiddeld Europees land. We kunnen dus een redelijke schatting maken van het energieverbruik in Nederland door de tweede kolom te vermenigvuldigen met $(16*40)/1.000.000.000$ en in Europa door te vermenigvuldigen met $(500*40)/1.000.000.000$.

Natuurlijk zullen er muggezifters opspringen en gaan roepen dat getallen niet kloppen, dat x 10% te groot is en y 20% te klein. MacKay weet dit, maar is van mening dat het voordeel van simpele concepten en van simpele berekeningen die iedereen kan volgen opwegen tegen een voorlopig nog onnodige precisie. Zoals mijn eigen natuurkundeleraar op de HBS al zei: "Natuurkunde is de wetenschap van het verstandig verwaarlozen (van onbelangrijke bijzaken)". En prof. MacKay is duidelijk een goede natuurkundige. Alle data die hij gebruikt onderbouwt hij met goede literatuurverwijzingen, zijn berekeningen zijn helder, en worden in de technische bijlagen goed uitgelegd.

Het doel is de verwezenlijking van een wereldeconomie waarin de fossiele brandstoffen vrijwel geheel zijn uitgebannen, en dat reikt veel verder dan de beperkte doelstellingen voor 2020 zoals het Nederlandse kabinetsprogramma "Schoon en Zuinig", doelstellingen die Nederland toch al niet gaat halen. Een duurzame wereldeconomie, ruim voor 2050 te verwezenlijken, wat hard nodig is, vergt ingrijpende maatregelen op persoonlijk gebied, de inrichting van het landschap, de verwarming van onze huizen en

kantoren, de manier waarop wij ons verplaatsen. De politiek zal met ingrijpende wetgeving moeten komen opdat in de juiste sectoren en de juiste technologieën wordt geïnvesteerd.

Het spreekwoord: “alle beetjes helpen” gaat niet op. Als iedereen een beetje doet, zal het uiteindelijke resultaat ook slechts een beetje zijn. Iedereen moet juist veel doen, dan pas zet het zoden aan de dijk. Met een heerlijke Engelse humor rekent MacKay af met symboolpolitiek zoals de campagne om batterijladers voor mobiele telefoons na gebruik altijd uit het stopcontact te halen. Ja, dat helpt, met 0,2% van 5 kWh/d/p (Tabel 1, zesde rij), en als iedereen in het land meedoet, scheelt het 1/20000 ste deel van het nationale energieverbruik. Pas na nog tienduizend andere acties van deze soort, zoals de actie in Nederland om elektrische deurbellen te vervangen, komen we in de buurt van een duurzame economie. Natuurlijk moeten we de gloeilampen vervangen door spaarlampen of LED-lampen. Maar Tabel 1 leert dat we er maximaal 2% van het totale energieverbruik mee gaan besparen, en dat er dus zeer veel meer moet gebeuren.

De nadruk moet liggen op besparingen en efficiencyverbeteringen van de grote posten:

Een gemiddelde auto met 1 passagier verbruikt momenteel 80 kWh/100 km, maar een gemiddelde elektrische auto slechts 15 kWh/100 km. Overschakeling naar elektrische auto's en meer gebruik maken van fietsen en het openbaar vervoer zal de post “autorijden” enorm doen krimpen. Er is op de wereld net voldoende winbaar lithium aanwezig voor de batterijen.

Efficiëntere vliegtuigen dan de huidige straalverkeersvliegtuigen zijn fysisch onmogelijk, ook vliegtuigen die op waterstof vliegen zullen niet zuiniger zijn. Passagiersschepen verbruiken een factor 3 meer energie per passagierskilometer dan vliegtuigen. In een duurzame wereldeconomie zal er dus minder intercontinentaal gereisd gaan worden. Misschien bieden Zeppelins uitkomst, maar die zijn erg traag. In de visie van MacKay voor het jaar 2050 wordt het transportbudget verminderd van 40 + 33 naar 20 kWh/d/p. Deze energie zal bestaan uit 18 kWh/d/p elektriciteit en 2 kWh/d/p biobrandstoffen.

Het energie budget voor verwarming en koeling gaat omlaag van 40 naar 30 kWh/d/p. Dit wordt bereikt door zuiniger stoken, verbeterde isolatie van bestaande gebouwen en vooral door vanaf 2010 de isolatienormen zo op te voeren dat alle nieuwbouw geen noemenswaardige energie voor verwarming meer nodig heeft. De hiervoor benodigde wetgeving vergt politiek leiderschap van een geheel andere orde dan het maken van een wetje dat gloeilampen gaat verbieden. Die 30 kWh/d/p zal bestaan uit: 12 kWh/d/p voor elektrische warmtepompen, 5 kWh/d/p uit verbranding van hout en 1 kWh/d/p uit zonneboilers. De ontbrekende 12 kWh/d/p is warmte uit de lucht of uit de grond die door de warmtepompen is opgevoerd tot het gewenste temperatuurniveau. MacKay ziet geen heil, en dus ook geen toekomst in warmte-kracht koppeling, noch op macroniveau bij

thermische krachtcentrales, noch op microniveau thuis.

Mensen zullen thuis veel elektriciteit verbruiken, MacKay noemt een bedrag van 18 kWh/d/p en zegt dat dit evenveel is als het huidige particuliere verbruik. Een van de oorzaken van dit hoge verbruik is de vervanging van aardgas voor kookdoeleinden door elektriciteit. Het hoge particuliere elektriciteitsverbruik wordt ook veroorzaakt door de toename van apparatuur per huishouden die de toenemende efficiëntie per apparaat teniet doet.

Om de zaak overzichtelijk te houden laat MacKay bewust energieverbruikende sectoren zoals industrie, landbouw, importen, enz. weg. Hierdoor wordt het eenvoudiger om opties voor energiebesparing met elkaar te vergelijken. In dit verbruiksscenario voor 2050, krijgen de consumenten de 68 kWh/d/p energie vooral geleverd in de vorm van elektriciteit: 48 kWh(e)/d/p en verder in de vorm van opgepompte warmte uit de lucht of uit de grond: 12 kWh(th)/d/p, hout: 5 kWh(th)/d/p, biobrandstoffen: 2 kWh(th)/d/p en tenslotte in de vorm van warmte uit zonneboilers: 1 kWh(th)/d/p. Tabel 2 geeft het benodigde vermogen voor 60 miljoen inwoners van het UK.

Tabel 2: Benodigd vermogen in 2050 in Groot Brittannië

| | Gemiddeld vermogen (GW) |
|-----------------|-------------------------|
| elektriciteit | 120 |
| hout | 12 |
| biobrandstoffen | 5 |
| zonneboilers | 2,5 |
| Totaal | 140 |

De grote opgave is om al deze energie op een duurzame wijze te leveren met een uitstoot aan broeikasgassen die nihil is. De meest gewenste energiebronnen zijn hernieuwbare energiebronnen uit eigen land. MacKay beperkt zich nu tot het Verenigd Koninkrijk. Tabel 3 geeft de beschikbare energiebronnen met het beschikbare vermogen per oppervlakte-eenheid, gemiddeld over dag en nacht en over alle seizoenen.

Tabel 3: hernieuwbare energiebronnen in en om Groot Brittannië

| | Gemiddeld vermogen per m ² landoppervlak (W/m ² = MW/km ²) zie ook Table 25.1 | Opbrengst in Plan M (blz.214)\ (GW) |
|---|--|--|
| Wind op land | 2 | 10 |
| Wind op zee | 3** | 9 |
| Foto-voltaïsch zonnepaneel op een dak | 22* | |
| Veld met zonnepanelen | 5 - 10 | 5 |
| Verbranding van afval | n.v.t. | 3 |
| Getijdebassin | 3** | 3,75 |
| Getijdestroom | 6** | 5,5 |
| Waterkracht | 0.2 (11**) | 0,5 |
| Golfenergie | 40 kW/m = 40 MW/km | 0,8 |
| Totaal Elektriciteit | | 38 GW(e) |
| Hout (productiebos) | 0,4 | 12 |
| Biobrandstoffen | 0,2 | 5 |
| Zonneboiler | 55* | 2,5 |
| Totaal warmte | | 20 GW(th) |

* niet op een horizontaal oppervlak, maar op een zuidwaards gericht oppervlak.

** per m² horizontaal wateroppervlak

Het grote probleem van duurzame energiebronnen is het feit dat de energiestromen zo weinig intensiteit hebben. Er is een enorm oppervlak aan land en zee nodig om de benodigde hoeveelheid elektriciteit en biomassa te produceren. In het plan dat MacKay ter discussie stelt (Plan M, blz.214) gaat hij uit van een nog net maatschappelijk haalbaar ruimtebeslag in Groot Brittannië voor duurzame energiebronnen, zie figuur 1 (blz.215). De 12 GW(th) aan hout wordt geleverd door productiebossen en energieplantages met een oppervlak van 30.000 km², anderhalf keer het oppervlak van Wales. De 5 GW(th)

aan biobrandstoffen worden geteeld op een even groot oppervlak aan akkers. In totaal wordt 25% van het oppervlak van het gehele land benut voor de winning van 17 GW aan energie, hetgeen slechts 12% is van het totale energieverbruik in 2050. Zonneboilers beslaan 60 km² aan dakruimte (1 m² per persoon) en leveren 2,5 GW(th).

De windparken op het land beslaan 5200 km² en leveren 10 GW, de windparken op zee nemen 2900 km² in beslag en leveren 9 GW. In het Zuiden staan velden vol zonnepanelen op een oppervlak van 1000 km² die 5 GW leveren. Getijddebassins zijn gepland in de mond van de Severn en in The Wash (kunt u zich voorstellen dat een dergelijk bassin in de Nederlandse Waddenzee politiek haalbaar zou zijn?). Verder worden getijdestromen geëxploiteerd op een groot aantal gunstige locaties, de opbrengst aan getijde-energie is 9 GW. Golfenergiecentrales over een lengte van 130 km leveren 0,8 GW. Honderd afvalverbranders van 30 MW leveren 3 GW. Op 15 locaties in Schotland en Wales worden gepompte wateropslagbassins aangelegd met een totale opslagcapaciteit van 150 tot 400 GWh. De grootste opslagcapaciteit wordt echter verwacht van de miljoenen batterijen in de elektrische auto's. De totale opbrengst aan binnenlands opgewekte duurzame elektriciteit is 38 GW(e), zie tabel 3.

Zoals figuur 1 al aangeeft is het moeilijk voorstelbaar dat de Engelse bevolking een nog grotere concentratie aan duurzame energieopwekking in het land zal accepteren. De stelling van bekende voorvechter voor duurzame energie Hermann Scheer, die zegt dat lokaal opgewekte duurzame energie voldoende is, wordt dus ook door David MacKay bestreden. Er zal een oplossing moeten worden gevonden om het tekort van $120 - 38 = 82$ GW(e) op te vangen. MacKay behandelt drie opties: duurzaam fossiele brandstoffen, kernenergie en import van duurzame energie uit het buitenland.

Fossiele brandstoffen zijn eindig en dus per definitie niet duurzaam. MacKay komt echter met een pragmatische benadering, nl. dat als het langer dan 1000 jaar duurt voordat de voorraad uitgeput is, je het verbruik duurzaam mag noemen. Met deze definitie is er voor een wereldbevolking van 6 miljard mensen 6 kWh(th)/d/p uit kolen beschikbaar, wat neerkomt op 2,2 kWh(e)/d/p.

Wegens de klimaatcrisis is verbranding van kolen alleen toelaatbaar in combinatie met CCS (=Carbon Capture&Storage, afvang en ondergrondse opslag van de geproduceerde CO₂), dat 25% van de energie kost, waardoor er uiteindelijk 1,6 kWh(e)/d/p aan “duurzame” elektriciteit uit kolen over blijft. In Plan M is 3 kWh(e)/d/p aan kolencentrales met CCS (8 GW) opgenomen, niet volledig duurzaam dus.

Volgens het 1000-jaar criterium is conventionele kernenergie niet duurzaam. Centrales die het uranium slechts één keer gebruiken produceren slechts 0,55 kWh(e)/d/p per wereldburger. Het wordt beter als kweekreactoren worden toegepast, want dan is in principe 33 kWh(e)/d/p beschikbaar. MacKay is op grond van Japans onderzoek vrij optimistisch over de mogelijkheid om uranium te onttrekken aan zeewater. Volgens het 1000-jaar criterium is er 7 kWh(e)/d/p beschikbaar met conventionele centrales die draaien op zeewateruranium, en 420 kWh(e)/d/p met kweekreactoren op zeewateruranium.

MacKay is vrij optimistisch over het probleem van het radio-actieve afval, na 1000 jaar is de straling van het hoog-radio-actieve afval gezakt tot het niveau van uraniumerts. Hij vergeet wel om te melden dat het dan voornamelijk om alpha-stralers gaat die extreem giftig zijn. Hoe dan ook, kernenergie is alleen duurzaam te noemen als twee nieuwe en riskante technologieën worden toegepast: kweekreactoren en uraniumwinning uit zeewater. Desondanks heeft MacKay in zijn discussieplan M een stevige bijdrage voor kernenergie opgevoerd: 16 kWh(e)/d/p, oftewel 38 GW, evenveel als alle duurzame elektriciteit uit het binnenland.

De toestroom van duurzame energie is erg verdund, zie tabel 3. Een volledige voorziening van een dichtbevolkt land zoals Engeland, Nederland en Duitsland vergt ruwweg het gehele oppervlak, en dat is uiteraard onmogelijk. Gelukkig zijn er een groot aantal landen met een veel geringere bevolkingdichtheid en een groot oppervlak die de beschikking hebben over de mogelijkheid om een duurzame energiebron toe te passen met een relatief grote intensiteit, 15 W/m² (zie tabel 3 voor een vergelijking met andere bronnen). Met onnavolgbare Engelse beleefdheid schrijft MacKay dan: “Not that we have any entitlement to someone else's renewables, of course, but perhaps they might be interested in selling them to us.” Het gaat hier om Concentrating Solar Power (CSP), de technologie van de zonnespiegelcentrales, toegepast in woestijnlanden zoals Algerije en Libië. Mijn eigen berekeningen geven een grotere opbrengst, nl. 30 W/m², maar die berekeningen zijn gebaseerd op lineaire Fresnelspiegels, die zuiniger zijn in het terreinverbruik dan de totnogtoe meer gebruikelijke parabolische trogspiegels en

zonnetorens. MacKay noemt het DESERTEC-plan, maar voor de melding van het DESERTEC Industrial Initiative van 12 grote concerns dat het plan heeft gelanceerd om voor 400 miljard euro 100 GW aan zonnespiegelcentrales te bouwen in Noord-Afrika kwam zijn boek te vroeg. De specifieke voordelen van CSP boven PV worden genoemd, nl. de mogelijkheid om zonnewarmte van hoge temperatuur te benutten voor elektriciteitsproductie na zonsondergang waardoor de elektriciteit naar behoefte kan worden geleverd, en de mogelijkheid om elektriciteitsproductie te combineren met zeewaterontzilting.

De elektriciteit wordt getransporteerd via kabels en leidingen die met hoogspannings gelijkstroom (HVDC = High-Voltage Direct Current) werken. De transportverliezen zijn dan acceptabel, nl. 15% over een afstand van 3500 km.

In Plan M stelt MacKay voor om in Noord-Afrika op 2700 km² woestijngrond CSP-centrales te bouwen en HVDC leidingen naar Engeland te leggen, die 38 GW aan elektriciteit gaan leveren.

Het vermogen uit de binnenlandse duurzame energiebronnen is samen met het vermogen uit CCS, kernenergie en CSP voldoende om de benodigde elektriciteit te leveren voor een vrijwel volledig duurzame economie van Groot Brittannië. MacKay geeft een schatting voor de investeringskosten op basis van de huidige kosten, zonder rekening te houden met de waarschijnlijk kostendalingen door de leercurve. De totale kosten bedragen £870 miljard (€1280 miljard). Per persoon is dit £14500 (€21300). MacKay is geen econoom of bedrijfskundige, en ik denk dat de nauwkeurigheid van deze kostenschattingen minder is dan van zijn berekeningen van energieën en vermogens, want die zijn zonder meer correct.

Het boek "*Sustainable Energy – without the hot air*" is zonder meer relevant voor Nederland. In de duurzame economie van de toekomst zal het energieverbruik in eenheden van kilowattuur per dag per persoon waarschijnlijk hetzelfde zijn. Het aanbod aan energiebronnen zal echter wel verschillen met Groot Brittannië omdat Nederland dichter bevolkt is en geen mogelijkheden heeft voor gepompte energieopslag (tenzij het energie-eiland in de Noordzee doorgaat). Het aanbod aan wind op land, getijdenenergie, golfenergie en aan biomassa zal in Nederland aanzienlijk lager zijn dan in de UK. Nederland zal dit moeten compenseren door een verhoogd aanbod aan schoon fossiel (CCS), kernenergie en ingevoerde zonnestroom uit Noord-Afrika. Het zal de lezer duidelijk zijn dat ik van mening ben dat CCS en kernenergie overbodig zijn omdat de vraag volledig kan worden gedekt door CSP.

De schrijver van het boek "*Sustainable Energy – without the hot air*", Prof. David MacKay, heeft een vaste aanstelling aan een gerenomeerde universiteit en dat is te merken. Alles wordt benaderd vanuit een positief-critische instelling met een integere instelling die ik in de meeste publicaties van Nederlandse bodem node mis. Dit goed geschreven en uitstekend gedocumenteerde betoog is wat mij betreft verplichte kost

voor parlementariërs en beleidsambtenaren.

Evert du Marchie van Voorthuysen, september 2009.