

## 6 Wat heeft duurzame energie ons te bieden?

*En als om strijd bruisen de stormen,  
Van land naar zee, van zee naar land,  
En, om zich henen woedend, vormen  
Zij enen teisterenden band.  
Faust, Proloog in den Hemel<sup>1</sup>*

Er zijn bij duurzame energie veel zaken die me tegenstaan, of liever gezegd: bij de bedrijven die deze energievormen promoten. Ik heb een hekel aan de vaak misleidende claims van de vele pleitbezorgers. Ik heb een hekel aan het symbolische gebaar – de oliemaatschappij die pronkt met een windturbine achter zijn tankstation (dat voor een stroomaansluiting te afgelegen ligt), dat klanten doet geloven dat het concern zich heeft ‘vergroend’. Ik heb een hekel aan de manier waarop het volstouwen van het landschap met windturbines wordt voorgesteld als wondermiddel voor ons buitensporig verbruik van fossiele brandstoffen – daarmee gemakshalve vergetend dat een nieuwe technologie zonder bijpassend beleid de oude niet vervangt maar slechts aanvult. Ik heb er een hekel aan dat mensen uit de milieubeweging de soms destructieve gevolgen van duurzame energiesystemen zo vaak over het hoofd zien, zoals in het geval van getijdencentrales, waarbij hele riviermondingen ecologisch naar de knoppen worden geholpen.

Maar zelfs in mijn knorrigste buien, zie ik ook wel de voordelen. Aan de wind, de golven en de zonneschijn komt niet gauw een eind, zolang wij hier nog rondlopen tenminste. Noch meneer Poetin noch enig andere energiemonopolist kan deze energievoorziening uitzetten. Er is geen windpark dat het

risico loopt getroffen te worden door een *melt down* of terroristische aanslag (hedendaagse Don Quichotten daargelaten). De ontmanteling ervan is goedkoop en veilig. Voor de fabricage van de installaties die tegenwoordig op de markt zijn, wordt maar een fractie van de energie gebruikt die er later mee wordt opgewekt.<sup>2,3</sup> Zo gauw deze is gecompenseerd, is de geleverde energie honderd procent klimaatneutraal. Hoewel duurzame energievoorzieningen een landschap kunnen domineren, valt dit nadeel volledig in het niet vergeleken bij de ontwrichting van de biosfeer. Maar zelfs als we de schadelijke of contraproductieve gevolgen even buiten beschouwing laten, zijn er genoeg redenen om te twijfelen aan de uitspraak dat we uit duurzame bronnen een groot deel van onze elektriciteit kunnen halen, laat staan dat we er helemaal op kunnen overschakelen. Zoals u hopelijk aan het ontdekken bent, is op energiegebied niets wat het lijkt.

De eerste vraag die de pleitbezorgers van een vervanging van onze elektriciteitscentrales door duurzame energievoorzieningen moeten beantwoorden, is deze: is er genoeg van voorhanden? Groot-Brittannië, aan alle kanten omgeven door ruwe zeeën en onstuimige winden, is in Europa misschien wel het gulst bedeed. Maar zelfs hier valt te betwijfelen of er voldoende stromingsenergie – wind, water en zon – voorhanden is om in de landelijke vraag te voorzien.

We gebruiken in totaal ongeveer 400 terawatt-uur aan elektriciteit per jaar.<sup>4</sup> Een terawatt-uur (TWh) is één miljard kilowatt-uur (kWh), oftewel een hoeveelheid energie van een biljard joule per seconde die een uur lang wordt geproduceerd. Deze cijfers maken het op dit moment misschien niet inzichtelijker, maar het gaat in dit hoofdstuk om vergelijkingen tussen cijfers, waarvoor deze eenheden onontbeerlijk zijn. In 1999 heeft de Britse regering aan het adviesbureau Energy Technology Support Unit opdracht gegeven te beoordelen hoeveel duurzame energie er op en rondom onze eilanden beschikbaar is. In de tabel op de volgende bladzijde staan de cijfers die voor het ‘technisch realiseerbaar potentieel’ worden gegeven. Hiermee wordt de energie bedoeld die tegen redelijke kosten

kan worden opgewekt wanneer met bepaalde beperkingen rekening wordt gehouden: zoals het niet bouwen in nationale landschapsparken of op plaatsen waar de zeebodem te zacht is, of waar radarinstallaties of trekvogels hinder van windturbines kunnen ondervinden. Onder 'redelijke kosten' verstaan de onderzoekers ongeveer 10 eurocent per kWh of minder. Met deze begrenzing van de kosten kunnen de installaties alleen daar gebouwd worden waar de betreffende energiebron geconcentreerd aanwezig is – op plaatsen waar het hard waait, of aan kusten met een sterke getijdenwerking – en alleen op die locaties waar ze groepsgewijs kunnen worden opgesteld. Als je windmolens te ver uit elkaar bouwt, kost het je handenvol geld om ze vervolgens op het net aan te sluiten.

<i>Energiebron</i>	<i>Technisch realiseerbaar potentieel (terawatt-uur)</i>
wind op land	8
wind op zee	100
golfslag	53
getijdenstroming <sup>i</sup>	2
zon (zonnecellen)	0,5 <sup>ii</sup>
waterkracht	7 <sup>iii</sup>
<b>totaal</b>	<b>170,5</b>

*i.* Bij getijdenstroming wordt gebruik gemaakt van vrij stromend water, dit in tegenstelling tot getijdencentrales, waarbij een dam de riviermonding volledig afsluit.

*ii.* Het rapport van de Energy Technology Support Unit is op dit punt erg verwarrend. Eerst wordt er beweerd dat 'het technisch realiseerbaar potentieel in 2025 maximaal 266 TWh/j zal zijn. Dit maximum technisch realiseerbaar potentieel omvat zonnecellen in alle windrichtingen'. Dit voorstel om zonnecellen aan te brengen op alle muren en daken, ongeacht de richting ervan ten opzichte van de zon, is nogal opzienbarend (om het maar voorzichtig uit te drukken). Er wordt vervolgens beweerd dat er in 2025 27 TWh aan 'technisch potentieel' voorhanden zal zijn en 0,17 aan 'marktpotentieel'. Dan volgt er een grafiek waarin 'potentieel' tegen 'kosten' wordt afgezet, waaruit blijkt hoeveel stroom voor 7 pence (10 eurocent) per kWh of minder kan worden opgewekt. Hieruit rolt, bij een discontovoet van

8 procent, een getal van 0,5 TWh. Dit lijkt wat zonne-energie betreft de definitieve uitkomst te zijn. De Royal Commission on Environmental Pollution, op haar beurt, vindt dit blijkbaar een te pessimistische schatting, want in een van haar rapporten staat het volgende te lezen: ‘Volgens berekeningen van ETSU komt er vóór 2010 geen energie uit zonnecellen ter beschikking die minder dan 7 pence per kWh kost, en in het jaar 2025 slechts zeer weinig (gemiddelde opbrengst: 0,2 GW).’ Maar nergens in het ETSU-rapport kan ik het laatste getal vinden (0,2 GW, dat feitelijk een *vermogen* aangeeft).

iii. Aan waterkracht is er in Groot-Brittannië al 4 TWh aan vermogen opgesteld. Het enige andere onproblematisch potentieel van betekenis (3 TWh) ligt volgens ETSU in Schotland.

Bron: Energy Technology Support Unit.<sup>5</sup>

Het valt u misschien op dat bepaalde technologieën zoals getijdencentrales<sup>i</sup> niet in de tabel zijn opgenomen. Het adviesbureau heeft in dit geval geconcludeerd dat het technisch realiseerbare potentieel nihil is – en dat verheugt me zeer. Wat de tabel lijkt aan te geven, is dat we met behulp van duurzame energiebronnen, in dit meteorologisch meest geteisterde land van Europa, nauwelijks de helft van onze stroombehoefte zouden kunnen opwekken.

Het is inmiddels duidelijk geworden dat deze schattingen veel te pessimistisch zijn. De Energy Technology Support Unit (ETSU) is ervan uitgegaan dat het landelijke distributienet blijft zoals het is, terwijl het in werkelijkheid op allerlei manieren kan worden uitgebreid. De kosten van sommige duurzame energietechnieken zakken bovendien veel sneller dan toentertijd door ETSU werd ingeschat. Bovendien is het potentieel aan golflagenenergie slechts op vijf plaatsen onderzocht, terwijl het over een veel groter gebied zou kunnen worden benut.

In 2005 publiceerde de Britse regering het rapport *Offshore Renewables – The Potential Resource*, waarin het ‘theoretisch windenergiepotentieel op zee in voorgestelde strategische regio’s’ wordt geschat. Dit potentieel wordt op meer dan 3.213 TWh geschat, dat wil zeggen meer dan acht keer de totale Britse stroombehoefte.<sup>6</sup> Des te verrassender is dat de ‘voorgestelde strategische regio’s’ allemaal voor de kust van

*Engeland* liggen. Naar de wateren rondom Schotland, Noord-Ierland en Wales is niet eens gekeken, hoewel het daar meestal harder waait (maar turbineplaatsing daar is natuurlijk wel veel moeilijker, omdat de zee er meestal dieper en ruwer is dan bij Engeland).

Het rapport zegt niet hoeveel van dit 'theoretisch potentieel' voor 'technisch potentieel' doorgaat. Maar vijf tot tien procent lijkt mij een redelijke schatting. Als we ons jaarlijks elektriciteitsverbruik met 25 procent zouden terugbrengen – van 400 naar 300 TWh – zouden we in theorie ergens tussen de 50 en 100 procent van onze behoefte met niets anders dan offshore-windenergie kunnen opwekken.

Dat deze recentere regeringsschattingen zoveel hoger liggen komt onder andere omdat er nu al grotere offshore-windturbines worden gebruikt dan door ETSU was voorzien. ETSU rekende met turbines met een vermogen van 1,5 megawatt, de regering met turbines met het dubbele daarvan. Een aantal daarvan is nu al in aanbouw. Er zijn mensen die beweren dat er in het jaar 2030 turbines met een vermogen van 10 megawatt beschikbaar zullen zijn.<sup>7</sup> Ook ETSU's inschatting van het potentieel aan windenergie op het land is te laag: terwijl zij uitging van turbines met een vermogen van slechts 600 kilowatt,<sup>8</sup> worden er inmiddels al 2 megawatt-molens gerealiseerd. Voor turbines op het vaste land lijkt daarmee echter wel de grens te zijn bereikt, omdat er geen vrachtwagens bestaan die nog grotere wieken kunnen transporteren.

ETSU ging er daarnaast vanuit dat er geen turbines kunnen worden geplaatst in water dat dieper is dan 40 meter. De regering gaat daarentegen uit van een maximumdiepte van 50 meter. De regeringsnota stelt bovendien dat ze veel verder buitengaats kunnen worden gebouwd. Een heel groot windpark dat op 100 in plaats van 20 kilometer van de kust wordt gebouwd, zal de extra kosten van aansluiting op het distributienet met slechts zo'n 5 procent van de totale projectsom verhogen. Volgens het rapport: 'lijkt het waarschijnlijk dat de industrie locaties zal verkennen die ver buiten de territoriale wateren liggen, wellicht zelfs tot 100 kilometer buitengaats.'<sup>9</sup>

Hoewel deze niet expliciet in hun nota worden aangehaald, heeft de regering blijkbaar hetzelfde ontdekt als waar ik op ben gestuit – hoogspanningsleidingen voor gelijkstroom. Ik begin er stilaan in te geloven dat we met deze kabels de wereld kunnen veranderen.

Toen Thomas Edison de eerste distributieleidingen voor elektriciteit ontwikkelde, liep daar gelijkstroom doorheen, maar onder lage spanning. Hierdoor kon stroomlevering slechts over korte afstanden plaatsvinden: tot ongeveer twee kilometer. Wisselstroom daarentegen kan onder hoogspanning worden opgewekt en getransporteerd en werd vrijwel overal snel ingevoerd als standaardmethode om stroom naar vrijwel iedere plaats te brengen. De bovengrondse elektriciteitsleidingen waarvan we nu allemaal afhankelijk zijn, en waaraan we ons allemaal zo storen, transporteren vrijwel allemaal wisselstroom onder hoogspanning. Maar door de ontwikkeling van hoogspanningsschakelaars en ultralichte kabels, waardoor gelijkstroom over langere afstanden kan worden gestuurd, verandert ineens de hele situatie.

In eerste instantie is een hoogspanningsverbinding voor gelijkstroom duurder in het gebruik dan een conventionele wisselstroomverbinding; bij het aankoppelen op het distributienet treedt aanvankelijk een groter stroomverlies op.<sup>10</sup> Maar naarmate de transmissieafstand groter wordt, presteert gelijkstroom steeds beter. Hoogspanningsmasten voor gelijkstroom zijn meer bescheiden van formaat, waardoor de fysieke infrastructuur minder ruimte in beslag neemt (en ook minder storend werkt). Uit gegevens van de Wereldbank blijkt dat bij afstanden van meer dan 650 kilometer, wisselstroom de duurdere optie wordt.<sup>11</sup> Naarmate wisselstroom, vanwege stijgende milieukosten en ruimtebeslag, duurder wordt, neemt de rentabiliteit van de gelijkstroomssystemen snel toe. De Wereldbank stelt dat een nieuw type kabel met polyetheen mantel over een afstand van slechts 60 kilometer al rendabel zou kunnen zijn.<sup>12</sup> Het belangrijkste is echter dat, hoewel er bij het aankoppelen van een gelijkstroomstelsel in het begin meer stroomverlies optreedt, dit daarna met de afstand niet verder toeneemt. Bij

wisselstroomsyste­men daarentegen neemt het stroomverlies toe met de afstand. De lengte van een gelijkstroomleiding is in principe onbegrensd. In de Democratische Republiek Congo ligt er al één van 1.700 kilometer.<sup>13</sup>

Gevolg van dit alles is dat je nu stroom kunt betrekken uit een veel groter gebied dan voorheen. Hoogspanningsleidingen voor gelijkstroom kunnen gewoon op de zeebodem liggen, waardoor alle delen van de zeebodem op minder dan 50 meter diepte voor windturbines beschikbaar komen. En vrijwel heel het continentaal plat komt binnen bereik voor drijvende golfenergiecentrales, omdat die aan ankers op diepere locaties kunnen liggen. Omdat de windsnelheid bij elke 100 kilometer buitengaats met ongeveer 1 meter per seconde toeneemt,<sup>14</sup> zouden de kosten van duurzame elektriciteit misschien zelfs kunnen *dalen* naarmate je verder de zee opgaat.

Hoewel offshore-windenergie vooralsnog duurder is dan windenergie op het vaste land, kunnen de schaalvoordelen die ontstaan bij het bouwen van zeer grote windparken – die door de langeafstandsleidingen mogelijk worden – wel eens betekenen dat deze prijs snel zakt, volgens sommige onderzoekers zelfs met 40 procent in de komende tien jaar.<sup>15</sup> Als je maar ver genoeg buitengaats gaat, zal de enige klaagzang over vermeende lelijkheid van de kabeljauwvissers komen. Zo ver verwijderd van de bewoonde wereld kun je turbines opstellen die sneller draaien (en daardoor zowel lawaaieriger als efficiënter zijn) zonder dat iemand zich daaraan stoort.<sup>16</sup>

Maar langere leidingen bieden niet alleen voor wind- en golfslagstroom voordelen. Op dit moment is de beschikbaarheid van zonne-energie op onze planeet omgekeerd evenredig aan de bevolkingsdichtheid: in de woestijnen is het aanbod het grootst en meest constant. Al jaren roepen eenzame milieuprofeten dat je met de zonne-energie van de Sahara heel Europa van stroom zou kunnen voorzien, dat de Gobiwoestijn dezelfde dienst aan China kan bewijzen en dat de Chihuahua-, Sonora-, Acatama- en Grote Victoria-woestijnen hun respectievelijke continenten eveneens een onuitputtelijke hoeveelheid energie kunnen leveren. Deze ‘roependen in de

woestijn' zijn altijd voor gek versleten; maar door de opkomst van goedkope gelijkstroomkabels zouden ze wel eens gelijk kunnen krijgen.

Op plaatsen met veel zon kun je op verschillende manieren goedkope stroom opwekken. De eerste veronderstelt het grootschalig produceren van zonnecellen van het type dat sommige mensen in kleine panelen op hun dak hebben zitten. Op kleine schaal en op onze breedtegraad zijn deze zogenaamde 'fotovoltaïsche' zonnecellen ongeveer de duurste vorm van stroomopwekking die je kunt bedenken en dat zullen ze waarschijnlijk ook blijven. Maar als je middenin de woestijn enorme oppervlakten met zonnecellen bedekt, kun je schaalvoordelen behalen die elders ondenkbaar zijn. Maar wellicht nog veelbelovender is 'thermisch-elektrische zonne-energie'.

Met behulp van grote schotel- of trogvormige spiegels kun je met geconcentreerde zonnewarmte water of een andere vloeistof in een buis verhitten tot ongeveer 400° Celsius. De stoom drijft een turbine aan die stroom opwekt.<sup>17</sup> In zuidelijk Californië wordt dit soort zonnecentrales al sinds het begin van de jaren '80 gebruikt. De geleverde stroom kost tussen de 12 en 15 dollarcent per kilowatt-uur (ongeveer 8,5-10,5 eurocent).<sup>18</sup> Tijdens de piekuren kost de stroom in zuidelijk Californië de gebruiker tussen de 10 en 18 dollarcent.<sup>19</sup> (Door het wijdverbreide gebruik van airco's is de vraag hier het grootst wanneer de zon het hardste schijnt, waardoor de maximale opbrengst aan zonnestroom samenvalt met de piekvraag.) Soortgelijke centrales zijn ook in bedrijf in onder andere Spanje, Italië, Marokko, India en Mexico.

Je kunt er ook voor kiezen het zonlicht met talloze afzonderlijke spiegels op een centraal opgestelde 'receptor' te richten: een keramisch plaatje aan de top van een toren van honderd meter hoogte of meer. Met het licht van al deze spiegels, die de dagelijkse beweging van de zon volgen, bereikt het plaatje een temperatuur van rond de 1000°C. Met de hiermee opgewekte stoom wordt een turbine aangedreven.<sup>20</sup> In Spanje loopt al een proefproject. Met dit soort temperaturen kan

een deel van de warmte in vloeibaar zout worden opgeslagen, waardoor stroomlevering ook op zonloze dagen mogelijk is.<sup>21</sup> Een andere mogelijkheid, eveneens op proefschaal in Spanje uitgetest, is het gebruik van een holle toren waarin de opstijgende zonnewarmte een turbine aandrijft. Plannen om een één kilometer hoge ‘zonne-schoorsteen’ te bouwen in de *outback* ten noorden van Melbourne zijn weliswaar door de Australische regering met veel enthousiasme ontvangen,<sup>22</sup> maar ik vermoed dat deze belangstelling vooral wordt ingegeven door de wens met ’s werelds hoogste toren te pronken en niet door de commerciële haalbaarheid van het project, die vooralsnog niet aantoonbaar is.

Het Internationaal Energie Agentschap heeft berekend dat als je het oppervlak van 50 procent van de grootste woestijnen in de wereld met fotonvoltaïsche zonnecellen bedekt, je daarmee achttien keer meer energie – oftewel 216 keer meer elektriciteit\* – zou produceren dan de wereld nu gebruikt.<sup>25</sup> Om aan de huidige vraag te voldoen zou je daarom slechts 0,23 procent van het woestijnoppervlak met zonnecellen hoeven te bedekken (ervan uitgaand dat deze stroom alleen wordt gebruikt wanneer de zon schijnt). In 2003 heeft het agentschap berekend dat deze stroom 6,5-7,5 eurocent zou kosten en dat de prijs vóór het jaar 2010 met 25 tot 50 procent zal zakken.<sup>26</sup>

Wat de langeafstandleidingen bij uitstek aantrekkelijk maakt, is dat je daarmee gelijktijdig stroom uit zeer verschillende streken kunt betrekken, waarmee de aanvoer van duurzame energie ineens veel betrouwbaarder wordt. Als het op de Noordzee kalm is, kan het ver uit de Ierse kust flink waaien. En wanneer de zon in het oosten van de Sahara ondergaat, schijnt hij in het westen nog volop. Met deze langeafstandskabels kun je dus niet alleen allerlei afgelegen plekken ontsluiten ten behoeve van de energieproductie; ze bieden wellicht

---

\* Uit de cijfers van het IEA valt af te leiden dat het totale mondiale energieverbruik 200.000 TWh bedraagt,<sup>23</sup> waarvan 16.742 TWh elektriciteit.<sup>24</sup>

ook uitkomst voor het grootste probleem met stromingsenergie: haar onregelmatigheid.

Zoals eerder aangestipt, zijn er aanmerkelijke kostenbesparingen te behalen door schaalvergroting. Maar in een ander opzicht is een stroomvoorziening op basis van duurzame energie heel eigenaardig: hoe meer je van dit soort energie ter beschikking hebt, hoe duurder een van de componenten wordt.

Het probleem met dit soort energiebronnen is dat wind en deining onregelmatig zijn. Anders dan conventionele elektriciteitscentrales, kunnen deze bronnen niet naar believen in- of uitgeschakeld worden. Als je het hele energienet met dit soort fluctuerende bronnen zou voeden, zonder daarbij een gigantisch opslagsysteem aan te leggen, zou bij het wegvallen van wind of zeeslag de hele stroomvoorziening in elkaar zakken. Bijgevolg moeten duurzame energiebronnen altijd worden ondersteund door andere vormen van opwekking.

Elk elektriciteitssysteem heeft een bepaald reservevermogen. Wanneer er ergens een stoomturbine of transformator uitvalt, of wanneer de vraag onverwachts stijgt, moet een beroep kunnen worden gedaan op eenheden die tot dat moment stil liggen of op lage toeren draaien en à la minute kunnen worden ingeschakeld. Om er zeker van te zijn dat aan de piekvraag kan worden voldaan, heeft Groot-Brittannië bijvoorbeeld in totaal een opwekkingsvermogen van 75,5 GW terwijl er strikt genomen slechts 67,7 GW nodig zou zijn.<sup>27</sup> (Dit reservevermogen is overigens nooit in zijn geheel beschikbaar, omdat er wegens onderhoud of reparatie altijd een aantal eenheden zal zijn afgekoppeld.)

Al valt er een heleboel duurzame stroom te winnen, dat betekent nog niet dat we zomaar een overeenkomstig vermogen aan kolen- en gascentrales kunnen sluiten. Gegeven de wisselende kracht van wind, golfslag en andere stromingsbronnen, zullen we geld moeten blijven steken in het openhouden van deze centrales en zelfs, in de toekomst – als de oude centrales sterven – in het bouwen van nieuwe, die vooral tot doel hebben om stil te zitten wachten tot de elementen het laten af-

weten. Het paradoxale van duurzame energie is dus dat iedere toegevoegde gigawatt duurzame capaciteit minder conventionele centrales kan vervangen, omdat de potentiële gevolgen voor het net van het wegvallen van wind of deining almaar groter worden.

Wanneer we bijvoorbeeld windparken zouden bouwen met een totaal vermogen van 8 GW, zouden we daarmee 3 GW aan fossielgestookte centrales kunnen vervangen.<sup>28</sup> Maar wanneer we besluiten dat we 25 GW aan windkracht willen, genoeg om in ongeveer 20 procent van de Britse behoefte te voorzien, komen we niet verder dan sluiting van 5 GW conventioneel vermogen.<sup>29</sup> Voorbij dat punt zal verdere sluiting van dit soort centrales min of meer uitgesloten zijn, hoeveel windmolens we er ook bijbouwen.<sup>30</sup> Graham Sinden van het Environmental Change Institute in Oxford heeft berekend dat we met een beter uitgekende 'energiemix' – van wind-, golfslag- en getijden-energie – nog iets verder kunnen komen. Volgens hem kunnen we dan met 26 GW aan duurzame bronnen ongeveer 6 GW aan conventioneel vermogen vervangen.<sup>31</sup> Dit houdt in dat we dan 96 GW aan opwekkingsvermogen hebben opgesteld om dezelfde stroomvoorziening te garanderen als we nu met 76 GW doen.\* Daartegenover staat echter een belangrijk voordeel. Hoewel de kapitaalkosten van de gehele elektriciteitsvoorziening ermee stijgen, hoeft er minder te worden uitgegeven aan brandstoffen; de gas- en kolencentrales die we achter de hand houden, hoeven veel minder te worden aangesproken dan nu het geval is. Zolang windenergie zichzelf terugverdient, maakt het niet uit dat het totaal opgesteld vermogen zoveel groter is.

Een in opdracht van de Britse regering uitgevoerde studie laat zien dat als we in 2020 twintig procent van onze stroom uit duurzame bronnen halen, dat jaarlijks tussen 140 en 400 miljoen pond extra 'systeemkosten' met zich brengt, bovenop de eigenlijke opwekkingskosten van 9 miljard pond. Als we geen twintig maar dertig procent van onze stroom uit deze

---

\*  $26 - 6 = 20$ ;  $20 + 76 = 96$ .

bronnen halen, bedragen de extra systeemkosten 330-920 miljoen pond.<sup>32</sup> Dit zijn de kosten die verband houden met het onderhoud aan de oude centrales en het inzetten ervan op het moment dat er krapte ontstaat. En toch, als we 20 procent van onze stroom uit duurzame bronnen halen, ziet het er naar uit, getuige een rapport van het Britse Energy Research Centre,<sup>33</sup> dat de extra systeemkosten die door deze toename in het aantal windturbines ontstaan, ver zullen achterblijven bij de daarmee behaalde schaalvoordelen.

En boven de 20 of 30 procent? Die vraag lijkt bijna niemand zich te stellen. Ik ben er nog steeds niet achtergekomen hoe dat komt. De Royal Commission on Environmental Pollution beklagt zich dat 'er tot nu tot blijkbaar geen onderzoek is geweest' naar hoeveel duurzame stroom het net kan hebben, 'noch door de beheerders van het landelijke net, noch door enige andere instantie'.<sup>34</sup>

Dat onderzoekers niet verder kijken dan 20 of 30 procent komt vermoedelijk doordat niemand ze dat vraagt. Het wetenschappelijk onderzoek naar het aanpakken van het klimaatprobleem wordt in de rijke landen al jarenlang door regeringsbeleid doorkruist. Eerst worden er doelstellingen gesteld ten aanzien van duurzame energie (in het geval van Groot-Brittannië een aandeel van 20 procent in 2020), waarna onderzoekers de opdracht krijgen uit te zoeken hoe dit het beste kan worden gerealiseerd. Maar dit soort onderzoek wordt vooral door de centrale overheid betaald; of de doelstellingen de juiste zijn, en of deze überhaupt in verhouding staan tot wat technisch en economisch mogelijk is, zijn vragen die niet aan de onderzoekers worden gesteld. Wanneer het aankomt op een duurzame bijdrage van meer dan 20 of 30 procent tasten we dus in het duister.

Een flinke uitbreiding van het aandeel duurzame energie betekent dus niet dat we het grootste gedeelte van de bestaande CO<sub>2</sub>-producerende centrales kunnen sluiten. Toch zal er in deze centrales minder fossiele brandstof hoeven te worden gestookt dan nu het geval is, want de eenheden die op standby worden gehouden, zullen over het algemeen alleen worden

aangesproken wanneer een piek in de vraag toevallig samenvalt met het wegvallen van de wind.

Het snelst en goedkoopst op te starten zijn conventionele kolen- of gasgestookte centrales.<sup>35</sup> In beide gevallen gaat het om een inefficiënte wijze van stroomopwekking, waardoor de CO<sub>2</sub>-uitstoot die met windenergie samenhangt iets hoger uitvalt dan anders het geval zou zijn geweest. Er zal bovendien meer vermogen in 'deellast' moeten worden gehouden, dat wil zeggen langzaam doortikkend, maar klaar om snel op volle toeren, ofwel 'vollast', te gaan draaien. Centrales draaiend op deellast zijn 10-20 procent minder efficiënt dan op vollast.<sup>36</sup>

De Royal Commission on Environmental Pollution komt op dit punt tot de volgende conclusie:

Hoewel een aanzienlijk vermogen op standby zal moeten worden gehouden, zullen deze installaties slechts sporadisch hoeven te worden ingezet, waardoor de totale jaarlijkse Britse CO<sub>2</sub>-uitstoot niet noemenswaardig zal toenemen.<sup>37</sup>

Maar omdat de commissie niet verder kijkt dan 20 procent duurzame energie, weten we niet of dit ook opgaat wanneer we bijvoorbeeld 50 procent van onze stroom op deze manier opwekken. Een artikel in het vakblad *Energy Policy* gaat hier iets dieper op in:

Als we 10 procent nemen als conservatieve schatting van het lagere rendement [van centrales in deellast] ... gaat er van de uitgespaarde emissies ten gevolge van het windvermogen iets meer dan 1 procent af. Hiertegenover staat dat er door inschakeling van deze windenergie 20 procent minder fossiele brandstoffen gebruikt hoeven worden.<sup>38</sup>

Samenvattend kun je dus stellen dat bijna 99 procent van de door wind opgewekte stroom klimaatneutraal zou zijn, dat wil zeggen geen CO<sub>2</sub>-uitstoot zou veroorzaken. Maar we tasten nog steeds in het duister wanneer het aankomt op een bijdrage van meer dan 20 procent.

Maar is deze tussenbalans wel betrouwbaar? In het vakblad *Civil Engineering* stelt energie-adviseur Hugh Sharman dat we met de huidige weersvoorspellingen de windsnelheid voor de volgende dag tot slechts 1,5 meter per seconde nauwkeurig kunnen voorspellen.<sup>39</sup> Voor de opbrengst van een windturbine maakt het heel veel uit of de wind met 7,5 of met 9 meter per seconde waait: volgens het artikel kan hiermee 21 procent van het nominale vermogen verloren gaan. Door de onvoorspelbaarheid van de wind, zo redeneert Sharman, moet een groot aantal conventionele centrales op deeltijd blijven draaien, omdat anders het net onbeheersbaar wordt. Bijgevolg zou het voor Groot-Brittannië geen zin hebben méér dan 10 gigawatt aan windvermogen op te stellen.<sup>40</sup>

Ik heb deze beweringen vrij grondig onderzocht en ben tot de conclusie gekomen dat ze onmogelijk kunnen kloppen. De opbrengst van één enkele turbine – die inderdaad nogal onregelmatig kan zijn – zegt weinig over de opbrengst van alle turbines die op het net zijn aangesloten, want daarbij is er veel minder fluctuatie. Bovendien heeft Sharman juist het gevoeligste deel van de windopbrengstcurve genomen: bij hogere of lagere windsnelheden heeft een verschil van 1,5 meter per seconde veel minder effect op de stroomopbrengst. Belangrijker nog, eendaagse voorspellingen van windsnelheid zijn weinig relevant voor het ‘balanceren’ van het net, want dit gebeurt op een veel kortere tijdsschaal. In de Britse situatie worden voor dit doel eenuursvoorspellingen gebruikt en deze zijn over het algemeen behoorlijk nauwkeurig.

Zoals ook bij alle andere vormen van elektriciteitsopwekking, lijken de kosten van stroom uit windparken vooral afhankelijk te zijn van wie ze heeft berekend. We hebben, met andere woorden, te maken met een vraag die zowel politiek als economisch is. In de volgende tabel staat een aantal kostenramingen. In alle gevallen betreft het de totale kosten van windenergie, dat wil zeggen turbine-aankoop en -opstelling, aansluiting op het net en het standby houden van reservevermogen. Aan het einde van 2004 bedroeg de gemiddelde bulkprijs van stroom uit conventionele centrales 2,1 pence

(3,0 eurocent) en aan het einde van 2005 3,6 pence (5,1 eurocent).<sup>41</sup>

<i>Informatiebron – tijdshorizon</i>	<i>Windenergie op land per kilowatt-uur in eurocenten</i>	<i>Windenergie op zee</i>
Performance and Innovation Unit, 10 Downing Street – 2020 <sup>42</sup>	2,1 - 3,6	2,9 - 4,3
Internationaal Energie Agentschap – heden <sup>43</sup>	4,3 - 10,0	10,0 - 17,1
Performance and Innovation Unit, 10 Downing Street – heden <sup>44</sup>	3,6 - 4,3	7,2 - 8,6
Sustainable Development Commis- sion – heden <sup>45</sup>	4,6	7,9
Royal Academy of Engineering – ‘in de toekomst’ <sup>i 46</sup>	6,9	9,0
Royal Academy of Engineering – heden <sup>47</sup>	7,7	10,3

*i.* Er staat niet bij wanneer.

Het bureau van de premier op Downing Street 10 voorspelt dat elektriciteit uit aardgas in 2020 tussen 2,9 en 3,3 eurocent per kilowatt-uur zal kosten en elektriciteit uit kolen 4,3-5,0 eurocent.<sup>48</sup> Deze schattingen zijn misschien aan de lage kant, want sinds publicatie van het betreffende rapport in 2002 is de grootverbruikersprijs flink gestegen. Hoe het ook zij, als we deze cijfers mogen geloven, zal in het jaar 2020 windenergie op land de goedkoopste vorm van stroomopwekking zijn, terwijl stroom van offshore-windparken min of meer concurrerend zal zijn met conventionele stroom. Alle wetenschappers die ik heb gesproken menen dat de cijfers van de Royal Academy of Engineering niet door andere studies worden bevestigd en door de meeste deskundigen als veel te hoog worden beoordeeld.

Hoewel de stroomaanvoer van een windturbine op zee regelmatig is dan van een landturbine, zijn in het eerste geval de bouwkosten hoger. Het is nu eenmaal duurder om een wind-

molen op de zeebodem te plaatsen dan op het land. De bijbehorende elektronica moet bovendien tegen het zoute water worden beschermd en de zee kabels zijn in aanleg duurder dan hoogspanningsleidingen op het vaste land. Maar deze bijkomende kosten zullen sneller dalen dan in het geval van windmolens op het land.<sup>49</sup>

Golfslag- en getijdenkracht zullen waarschijnlijk duurder blijven dan windenergie, zoals de volgende tabel de laat zien.

<i>Informatiebron – tijdshorizon</i>	<i>Golfslagenergie per kilowatt-uur in eurocenten</i>	<i>Getijdenenergie</i>
Performance and Innovation Unit, 10 Downing Street – 2020 <sup>50</sup>	4,3 - 8,6	
Jake Chapman en Robert Gross – vóór 2012 <sup>51</sup>	5,7 - 7,2	5,7 - 7,2
Jake Chapman en Robert Gross – ‘op korte termijn’ <sup>52</sup>	6,4 - 8,6	6,4 - 8,6
Performance and Innovation Unit, 10 Downing Street – ‘de eerste commerciële installaties’ <sup>53</sup>	5,7 - 11,4	5,7 - 11,4
Royal Academy of Engineering – ‘in de toekomst’ <sup>i 54</sup>	8,2	8,2
Royal Academy of Engineering – heden <sup>55</sup>	9,4	9,4

*i.* Bij deze technologieën heeft de Royal Academy de kosten van reservevermogen niet meegerekend, omdat ze van golfslag- en getijdenenergie geen hoge verwachtingen heeft.

In één opzicht is het best mogelijk dat de extra kosten die voor duurzame energie steeds worden aangehaald wat overdreven zijn. Net als andere ontwikkelde landen heeft Groot-Brittannië een enorme reserve aan standby-vermogen dat altijd goed is onderhouden en dat ook zal blijven in de toekomst, maar dat zelden in de officiële cijfers wordt vermeld. Het gaat om alle dieselgeneratoren die bij ziekenhuizen, legerbases, politiebureaus, luchthavens, kantoren en fabrieken staan om in geval van een netstoring als noodaggregaat te dienen.<sup>56</sup> Alles bij elkaar omvat deze ‘verborgen reserve’ ergens tussen de 12<sup>57</sup>

en 20 GW.<sup>58</sup> We hebben in dit land dus 16-26 procent meer opwekkingsvermogen dan uit de regeringscijfers blijkt.\* Als we ervan uitgaan dat het hoogste van deze cijfers klopt, en dat deze hele reserve kan worden aangesproken als de duurzame bronnen wegvallen, hebben we nu al genoeg standby-vermogen voor het scenario met 20 procent wind-, golfslag- en getijdenvermogen dat door Graham Sinden is voorgesteld.<sup>59</sup>

Een klein deel van dit verborgen vermogen wordt nu al aangesproken door de netbeheerder National Grid Transco. Het heeft een afspraak met een aantal van de verantwoordelijke instanties, dat ze binnen 20 minuten stroom aan het net moeten leveren wanneer ze daartoe worden ingeseind.<sup>60</sup> Nu is dit niet zo moeilijk, want een dieselgenerator kan vanuit een koude start al binnen 20 seconden op volle toeren draaien. Het waterleidingsbedrijf Wessex Water meldt dat zijn deelname aan deze overeenkomst 'voornamelijk is ingegeven door de ervaring dat als je in noodgeval op je standby-generatoren wilt kunnen vertrouwen, je deze minstens één keer per maand op vollast moet laten proefdraaien'.<sup>61</sup> Zo ver ik het kan overzien is er geen principiële reden waarom de rest van het reservevermogen niet ook op deze wijze zou kunnen worden benut. Omdat het toch al staat opgesteld, en om andere redenen ook opgesteld moet blijven, zou gebruik daarvan leiden tot een forse besparing op de kapitaalkosten van het benodigde standby-vermogen. Het nadeel van dergelijke generatoren is dat ze in vergelijking met grote centrales minder efficiënt omgaan met brandstof, al wordt dit deels gecompenseerd door het feit dat ze sneller op toeren zijn. Maar omdat ze waarschijnlijk toch alleen voor korte perioden zullen worden ingezet, zal het brandstofverbruik marginaal zijn.

Een andere manier om de kosten te drukken is de stromingsenergie betrouwbaarder maken. Dit klinkt misschien belachelijk: het waait immers, of het waait niet. Maar dit geldt door-

---

\* 87,5 of 95,5 GW in plaats van 75,5.

gaans alleen *per locatie*. Hoe meer windmolens over de verschillende regio's worden verdeeld, hoe meer kans er bestaat dat in elk geval een aantal ervan goed draait. Adviesbureau Oxera heeft in een onderzoek dat minder dan de helft van de Britse regio's omvatte die voor windenergie potentieel geschikt zijn\* vastgesteld, dat er gemiddeld per jaar slechts 23 uur zijn waarin de vraag naar stroom piekt op hetzelfde moment dat de (denkbeeldige) windturbines minder dan 10 procent van hun maximum vermogen leveren.<sup>62</sup> Graham Sinden, die de weersstatistieken van heel Groot-Brittannië heeft onderzocht, concludeert dat 'er tussen 1970 en 2003 geen enkel uur is geweest waarin het niet ergens waaide in dit land, laat staan een dag of een week.'<sup>63</sup>

Als twee windparken duizend kilometer uit elkaar liggen, is er een correlatie van slechts tien procent tussen de respectievelijke opbrengsten ervan; er is met andere woorden 90 procent kans dat de windsnelheid op de twee plaatsen verschilt.<sup>64</sup>

Een van de voordelen van de hoogspanningsleidingen voor gelijkstroom waarover ik het eerder had, is dat je daardoor minder reservevermogen nodig hebt om de fluctuaties in het duurzame aanbod op te vangen, omdat je met deze kabels op veel meer plaatsen wind- en golfslagenergie kunt exploiteren. En, zoals ik ook al eerder meldde, heeft Sinden in zijn werk aangetoond dat je meer op duurzame energie kunt rekenen naarmate je deze uit meer verschillende bronnen betreft. Eb en vloed hebben niets met de windsnelheid te maken, en de zee blijft ook deinen lang nadat de wind is gaan liggen.<sup>\*\*65</sup>

Naarmate de hoeveelheid duurzaam opgewekte stroom toeneemt en de voorzieningszekerheid ook, lopen we echter tegen een luxeprobleem op: we hebben te veel! Als het hard waait op een moment dat er weinig vraag naar stroom is, zul-

---

\* Er werd gekeken naar offshore-wind in de Wash, de monding van de Theems en het noordwesten van Engeland, en naar windenergie op land in Schotland.

\*\* Sinden berekent dat er tussen het geleverde vermogen van wind- en golfslageneheden een correlatie van slechts 42 procent bestaat.<sup>65</sup>

len er turbines stilgelegd moeten worden om te voorkomen dat de frequentie van de wisselstroom in het net te veel toeneemt (ervan uitgaand dat we nog altijd een wisselstroomnet hebben). Zo op het oog is dit een jammerlijke verspilling van energie. Maar misschien kunnen we twee vliegen in één klap slaan.

Op dit moment is de enige redelijk efficiënte manier om elektriciteit voor enige tijd op te slaan het proces dat ik in hoofdstuk 5 noemde, waarbij water van een laaggelegen naar een hooggelegen reservoir wordt gepompt, klaar om aangesproken te worden wanneer de vraag plotseling toeneemt. Bij dit soort ‘pompaccumulatie’ treedt er zo’n 20-25 procent energieverlies op,<sup>66</sup> een goed resultaat in vergelijking tot de verliezen van 50 procent of meer bij de mogelijke alternatieven.\*

Omgerkend naar de prijzen van vandaag heeft het aanleggen van het reservoirsysteem bij Dinorwig in Noord-Wales 1,6 miljard pond (2,3 miljard euro) gekost.<sup>67</sup> Maar door de lange levensduur zijn de jaarlijkse kosten in feite laag. Als je vandaag nieuwe pompaccumulatiecentrales zou bouwen om de ‘overtollige’ stroom van duurzame energie-installaties op te vangen, zouden ze minimale bedrijfskosten met zich meebrengen, omdat deze elektriciteit – die anders verloren was gegaan – in wezen gratis is. Hiermee zou je ook veel van de problemen kunnen opvangen die voortvloeien uit de onregelmatigheid van het aanbod van wind- en golfslagenergie: als het te weinig waait, open je gewoon de sluizen, zoals dat al jaren lang gebeurt – alleen zou het opslaan van energie in dit geval gepaard gaan met CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Is het inderdaad haalbaar om meer pompaccumulatiecentrales aan te leggen? Het Hogerhuis stelt dat ‘de mogelijkheden om in Groot-Brittannië het vermogen aan gepompte

---

\* Zoals ondergrondse opslag van samengeperste lucht en waterstofproductie op basis van waterelektrolyse. Andere mogelijke opslagmethoden zoals *flow batteries*, vliegwielen en technieken die gebruik maken van supergeleiding en magnetisme zijn meestal alleen bruikbaar voor veel kortere periodes.

waterkracht uit te breiden, door dezelfde factoren wordt beperkt als bij conventionele waterkracht.<sup>68</sup> Maar dit kan volgens mij nooit kloppen. Conventionele waterkracht wordt beperkt door de aan- of afwezigheid van snelstromende rivieren met een behoorlijk verval. Maar voor pompaccumulatie heb je geen rivieren nodig – gewoon een kuil in een berghelling en nog één onderaan. Als je beide met een dam afsluit, heb je meteen al een waterkrachtsysteem. Makkelijker wordt het nog wanneer één van de kuilen al water bevat: een natuurlijk fenomeen dat we doorgaans een ‘meer’ noemen.

De Royal Commission on Environmental Pollution komt met een meer steekhoudend bezwaar: ‘door de aanslag ... op natuur en landschap lijkt het onwaarschijnlijk dat er geschikte locaties kunnen worden gevonden’.<sup>69</sup> Dit is een probleem dat serieuze aandacht verdient. Door de aanwezigheid van damwanden en bovengrondse leidingen zal het uitzicht er zeker niet fraaier op worden. Maar gezien de nu al ernstige verarming van het landschap door overbegrazing op veel plaatsen in de Britse bergstreken, ben ik er zeker niet van overtuigd dat de gevolgen voor de natuur overal bezwaarlijk hoeven zijn.

Iedereen die een kaart van de Britse eilanden bestudeert, begrijpt meteen waarom het aanleggen van dit soort accumulatiecentrales zo’n aantrekkelijke optie is. Het grootste potentieel aan windenergie vind je voor de noordwestkust van Schotland, een gebied dat gekenmerkt wordt door hoge bergen, waarvan een deel dichtbij de plaatsen waar zeekabels aan land zouden komen. Als gevolg hiervan zijn er nauwelijks extra distributieleidingen nodig. Maar aangezien dit idee tot nu toe geen onderwerp van maatschappelijke discussie is geweest, en er geen analyse is uitgevoerd om te beoordelen welke bergen hiervoor wel of niet geschikt zijn noch welke consequenties de aanleg van dergelijke centrales hier zal hebben, wil ik dit niet als concrete oplossing voorstellen. Toch is het de moeite waard om er verder over te discussiëren.

De verbetering van de voorzieningszekerheid kan ook langs een andere weg worden benaderd – door verandering aan te

brengen in de manier waarop mensen stroom gebruiken. Als het op de een of andere manier mogelijk zou zijn de vraag naar stroom te kunnen verminderen zodra het windaanbod daalt, zouden we minder reservevermogen nodig hebben. Er zou ook minder kans zijn op het crashen van het net. Maar hoe krijg je dat nu voor elkaar?

Verschillende mensen hebben voorgesteld huishoudelijke apparaten die niet altijd aan hoeven te staan – koelkasten en dergelijke – zó te ontwerpen dat ze zichzelf uitzetten zodra de landelijke stroomvraag stijgt.<sup>70,71,72</sup> Wanneer op een winteravond overal in het land de lampen aangaan, bijvoorbeeld, kunnen koelkasten en wasmachines maar beter uitgeschakeld zijn. Het zou niet moeilijk zijn dit soort apparaten automatisch te laten reageren op veranderingen in de frequentie van de wisselstroom. Wanneer de frequentie te zeer daalt (omdat er te weinig stroom aan het net wordt geleverd), schakelen ze zichzelf gewoon uit. Wanneer de frequentie weer toeneemt, springen ze vanzelf weer aan. Hiermee bereik je een zekere afvlakking van de uitschieters in de vraag waarvoor stroomleveranciers zoveel reservevermogen standby moeten houden. Het zou ook mogelijkheden bieden voor het deels opvangen van het wisselende aanbod aan stromingsenergie. Wanneer er veel vraag is maar weinig windaanbod, zetten bepaalde apparaten zichzelf gewoon uit. Wanneer er weinig vraag is maar veel wind, kunnen batterijopladers, elektrolyse-apparaten en installaties voor warmte-opslag hiervan profiteren. Hiermee kom je tegemoet aan één van de bezwaren die mensen tegen windenergie hebben: dat je stroom weggooit als het hard waait.

Maar hoewel er vaker over het ‘beheersen van de vraagkant’ is geschreven, is er voor één vraag verrassend weinig aandacht geweest. Wanneer de netbeheerder een stijging van de vraag ziet aankomen, verhoogt hij wijselijk de netspanning.<sup>73</sup> Maar dat zal hij eveneens doen wanneer hij ziet dat de aanvoer van duurzame stroom gaat wegvallen. Bijgevolg zullen onze slimme koelkasten en wasmachines zichzelf aanzetten precies op het moment dat ze uit moeten. Maar ook dit is geen onoverkomelijk probleem: de onafhankelijke denker

Oliver Tickell lijkt al een oplossing te hebben gevonden. Hij stelt voor om het elektriciteitsnet ook als communicatiesysteem te gebruiken. Hij noemt zijn idee het *Real-Time Pricing Initiative* en omschrijft het als volgt.

Er zou een *open standard protocol* ontwikkeld en gepubliceerd [moeten] worden waarmee er informatie over de actuele elektriciteitsprijs door het openbare stroomnet geseind kan worden. Een groot deel van het elektromagnetisch spectrum is hiervoor beschikbaar zonder dat de hoofdfunctie van stroomlevering op enigerlei wijze zou worden verstoord, ongeveer op dezelfde wijze als een telefoonlijn zowel spraak als breedbandinternet verzorgt.<sup>74</sup>

Wanneer de momentane elektriciteitsprijs stijgt, krijgen ‘slimme’ stekkers aan koelkasten en wasmachines meteen elektronisch bericht dat het apparaat moet worden uitgeschakeld. Zodra de prijs weer terugvalt (of, in het geval van een koelkast, voordat de temperatuur teveel stijgt) springt het apparaat weer aan. In zijn betoog stelt Tickell:

Al deze technologieën zijn reeds beschikbaar en marktrijp. Het enige dat nog ontbreekt is een goede industriële vormgeving en hoge productievolumes.<sup>75</sup>

Als je de variatie in de huishoudelijk stroomvraag meer afvlakt, kun je op deze manier de betrouwbaarheid van duurzame energie dus aanzienlijk vergroten.

Ik ga me nu aan vier schattingen wagen, waarvoor in de literatuur genoeg *terra firma* lijkt te bestaan. In de eerste plaats denk ik dat Groot-Brittannië over genoeg duurzame energiebronnen beschikt om gemiddeld 50 procent van zijn elektriciteitsbehoefte te dekken. Ten tweede geloof ik dat het openbare net, en daarmee de voorzieningszekerheid, ongeschonden blijft wanneer we 50 procent van onze stroom uit duurzame bronnen halen. In de derde plaats ben ik ervan overtuigd dat

de uitstoot van broeikasgassen die deze bronnen met zich meebrengen slechts een fractie bedraagt van wat er daarmee aan uitstoot wordt bespaard. En tenslotte kan ik niet geloven dat de stroomprijs per kilowatt-uur dan meer dan het dubbele zou bedragen van wat de Britse regering recent heeft berekend bij een aandeel van 20 procent stroom uit windenergie.

Mijn 'meta-inschatting' is dus dat 50 procent duurzaam opgewekte stroom een haalbare kaart is. Afhankelijk van de kosten van concurrerende energievormen is het best mogelijk dat de elektriciteitsprijs enigszins zal stijgen, maar niet tot groteske hoogten. Als we een versneld ontwikkelingsprogramma zouden uitvoeren, zoals in hoofdstuk 5 voorgesteld, zouden we volgens mij de resterende 50 procent kunnen halen uit conventionele centrales die met CO<sub>2</sub>-afvang en -opslag zijn uitgerust. Als deze schattingen kloppen, kan onze hele stroomvoorziening dus op twee klimaatvriendelijke peilers worden gebouwd: gasgestookte centrales waarvan de uitlaatgassen van CO<sub>2</sub> worden ontdaan en duurzame energiecentrales die op het land of tot honderden kilometers van de kust worden opgesteld en via langeafstandskabels aan het landelijke net worden gekoppeld. Een elektriciteitsvoorziening die volledig op deze twee peilers rust (met conventioneel vermogen in reserve) zou slechts 15 procent van de CO<sub>2</sub> produceren die op dit moment door onze stroomleveranciers naar de lucht wordt geloosd. In combinatie met de in hoofdstuk 4 besproken efficiëntiemaatregelen, kom ik hiermee aan een totale reductie van bijna 90 procent.

Maar hoe ambitieus en geslaagd dit voorstel ook moge lijken, een groot deel van het probleem blijft helaas nog onaan-geroerd.

De reden daarvoor is de volgende: 73 procent van ons huishoudelijk energieverbruik gaat op aan *verwarming* (ruimteverwarming en warmwatervoorziening), terwijl slechts een betrekkelijk klein deel hiervan op elektriciteit werkt: van de 24,5 miljoen woningen in Groot-Brittannië hebben 17 miljoen een gasgestookte verwarmingsketel.<sup>76</sup> Tenzij er een methode is

om naast het elektriciteitsprobleem ook het verwarmingsprobleem op te lossen, zal ik moeten toegeven dat onze woningen – en onze kantoren, fabrieken, scholen en ziekenhuizen – onvoldoende kunnen worden aangepast om mijn doestelling te halen. Omdat we niet zonder verwarming kunnen, zal ik het project dan als mislukt moeten beschouwen. Ik moet dus een manier vinden om onze gebouwen te verwarmen zonder dat er aardgas of steenkool aan te pas komen. Omdat we vóór het jaar 2030 met betere woningisolatie naar alle waarschijnlijkheid onze CO<sub>2</sub>-uitstoot met hooguit 40 procent kunnen terugbrengen,<sup>77</sup> zal ik minstens 50 procent van mijn oplossing moeten zoeken in een verandering van de manier waarop we warmte produceren. Kan dat?

Op dit moment is verwarming verantwoordelijk voor ongeveer 24 procent van het totale Britse energieverbruik.<sup>78</sup> Om alle benodigde warmte te produceren, wordt in totaal 2,4 exajoule energie aangewend.<sup>79</sup> Een exajoule is een prachtige eenheid, die staat voor een miljoen miljoen miljoen (oftewel één triljoen) joules. Rond 70 procent van deze exajoules wordt gebruikt in onze woningen.<sup>80</sup>

Op het eerste gezicht lijkt de oplossing niet zo moeilijk: we zetten de miljoen jaar oude traditie van onze menselijke en proto-menselijke voorouders voort en gaan weer hout stoken. Bomen nemen bij het groeien kooldioxide op en zolang ze niet sneller worden geoogst dan ze groeien, wordt er niet meer CO<sub>2</sub> geproduceerd dan wat het bos opneemt. In Scandinavië, waar je bij wijze van spreken door de bomen het bos niet meer ziet, is dit een reële oplossing. In Zweden halen ze al 17 procent van hun energie uit hout en in Finland 20 procent.<sup>81</sup> Maar in spaarzamer beboste landen ligt deze strategie een stuk moeilijker.

In haar grondige rapport *Biomass as a Renewable Energy Source* berekent de Royal Commission on Environmental Pollution dat de verbrandingswaarde van hout rond de 10 gigajoule (GJ) per ton bedraagt en dat de meest efficiënte manier om dit hout te produceren – het telen van wilgen, met het oogsten van de takken in een cyclus van drie jaar – per hectare ongeveer 10 ton hout (droog gewicht) per jaar op-

levert.\*<sup>82</sup> Laten we ervan uitgaan dat voor het telen, oogsten en vervoeren van dit hout 10 procent van de energie-inhoud nodig is en dat het hout met een rendement van 75 procent in bruikbare warmte kan worden omgezet. Dit betekent dat er per hectare land 67,5 GJ klimaatneutrale energie kan worden geproduceerd. Een gigajoule is één miljardste exajoule. Om mijn doelstelling te halen – om hiermee in 50 procent van onze warmtebehoefte te voorzien, oftewel 1,2 exajoule klimaatneutrale energie – hebben we dus 17,8 miljoen hectare land nodig. Groot-Brittannië heeft in totaal 17 miljoen hectaren landbouwgrond, dus het zou nét kunnen. Het probleem is dat we dan niets anders meer kunnen verbouwen.

Hiermee begint het probleem pas. De laatste jaren lijden grote delen van Groot-Brittannië en met name de landbouwgebieden in de zomermaanden aan uitdroging, deels als gevolg van overmatige wateronttrekking, deels door klimaatverandering. In een ander rapport merkt de Royal Commission op: ‘Omdat energiegewassen zo snel groeien, is de waterbehoefte groter dan bij landbouwgewassen.’<sup>84</sup> Als wij hier – en in vergelijkbare landen – een groot landbouwareaal aan het telen van brandstof in plaats van voedsel overlaten, zal dat tot een stijging van de mondiale voedselprijzen leiden, waardoor het ondervoede deel van de mensheid nog verder de hongersdood wordt ingejaagd. In zijn boek *When the Rivers Run Dry* beschrijft Fred Pearce hoe het dalen van het grondwaterpeil vrijwel overal ter wereld tot massale hongersnood kan leiden.<sup>85</sup> Dit proces wordt door energiegewassen als wilgen op twee manieren versneld: ze zorgen voor een nog snellere daling van de grondwaterspiegel, en in een tijd van groeiende voedselschaarste nemen ze land in beslag dat anders voor de teelt van eetbare gewassen had kunnen dienen. Het gevaar bestaat dat als we eenmaal de economische infrastructuur hebben aan-

---

\* Er is een enorm verschil tussen deze cijfers en de gegevens van de FAO, de Voedsel en Landbouw Organisatie van de VN, die voor de verbrandingswaarde van wilgentakken 18,4 GJ/ton opgeeft.<sup>83</sup> Ik zal voorlopig de waarde van de Royal Commission aanhouden.

gelegd die grote investeringen in energiegewassen met zich meebrengt, we ons wel twee keer zullen bedenken voordat we naar voedselproductie terugschakelen wanneer dat moreel noodzakelijk wordt.

Het kweken van bomen voor verwarmingsdoeleinden is in morele zin minder dubieus dan het telen van gewassen om auto's van brandstof te voorzien (een onderwerp dat ik hoofdstuk 8 onder de loep neem), en wel om de volgende drie redenen. In de eerste plaats kunnen houtige gewassen op armere grond worden geteeld dan de olie- en suikerhoudende plantensoorten die momenteel worden gebruikt voor brandstofproductie. Ten tweede is het telen van hout als brandstof een veel kosteneffectievere route naar  $\text{CO}_2$ -uitstootvermindering. Volgens een onderzoek van de Sheffield Hallam University bereik je met een investering van één pond in biodiesel een uitstootreductie van 3 tot 6 kilo koolstof, terwijl je met dezelfde investering in snelgroeïende bomen voor de elektriciteitsproductie 20 kilo bespaart.<sup>86</sup> Met het telen van hout voor huishoudelijke verwarmingsdoeleinden, een proces met een hoger rendement dan de productie van biobrandstof, kun je waarschijnlijk een nog grotere  $\text{CO}_2$ -reductie bereiken. Ten derde levert houtproductie per hectare minder geld op dan het telen van oliehoudende gewassen, waardoor houttelende boeren eerder weer terug zullen gaan naar voedselproductie als er mondiale voedseltekorten dreigen.

Dit gezegd hebbende, lijkt me de potentiële bijdrage aan groeiende watertekorten en stijgende voedselprijzen van deze energiegewassen reden genoeg deze teelt tot maximaal 20 procent van ons landbouwareaal te beperken. Hiermee zouden we 0,23 exajoule aan klimaatneutrale energie voor verwarmingsdoeleinden kunnen winnen, oftewel 19 procent van de 1,2 exajoule die ik zoek.

We kunnen deze cijfers natuurlijk omhoog krikken door hout te importeren uit meer beboste landen. Maar biomassa neemt veel plaats in beslag (een kubieke meter droge houtsnippers weegt 150 kilo, een kubieke meter kolen 800 kilo<sup>87</sup>) waardoor vervoer een dure aangelegenheid wordt. Omdat de

‘energiedichtheid’ van hout laag is, worden de CO<sub>2</sub>-emissies die het vervoer met zich meebrengt al snel groter dan de uitstoot die door het gebruik ervan wordt uitgespaard.

Als het hout bij wijze van spreken direct op de boerderij wordt verbrand, zal de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot slechts 5 tot 10 procent bedragen van wat er anders door het verbranden van fossiele brandstoffen was vrijgekomen.<sup>88</sup> Maar voor elke 10 kilometer dat het hout wordt vervoerd, zo berekent het Hogerhuis, wordt 0,2 procent van de energie-inhoud verspeeld.<sup>89</sup> Vervoer over 1000 kilometer leidt aldus tot een netto energieverlies van 20 procent. De situatie is feitelijk nog slechter dan uit deze cijfers blijkt, want je vervuult hiermee transportbrandstoffen – die binnenkort waarschijnlijk schaars zullen worden – voor verwarmingsbrandstoffen, die in principe ruimschoots voorhanden zullen blijven. Helaas is doordat in het noorden van Rusland en enkele andere gebieden het grootschalig kappen van oerbossen nauwelijks aan banden word gelegd, de prijs van het Russische hout veel lager dan in West-Europa, waardoor het economisch (maar niet ecologisch) rendabel is het hout met schepen of vrachtwagens hiernaartoe te halen. Het ontbreekt ons momenteel aan mogelijkheden om aan deze invoer een einde te maken. Volgens de Britse Minister voor Wetenschap en Technologie ‘wordt onder de daarvoor geldende internationale regels geen enkele handelsbeperking op brandstoffen geduld’.<sup>90</sup>

De oogst van houtgewassen kunnen we verder nog aanvullen met het zaagsel, afval- en snoeihout dat de bosbouw en het park- en plantsoenonderhoud oplevert. Met aftrek van een klein deel dat voor andere doeleinden wordt gebruikt, hebben we er hiermee ongeveer 1,3 ton drooggewicht per jaar bij,<sup>91</sup> oftewel nog eens 0,7 procent van wat ik nodig heb.\*

Door onze boeren wordt jaarlijks bijna 4 miljoen ton overtollig stro geproduceerd.<sup>92</sup> Als 20 procent van het landbouw-

---

\* 6,75 GJ (één ton) x 1,3 miljoen = 8,775 petajoule, oftewel 0,0088 exajoule.

areaal voor de houtteelt wordt ingezet, zal dit iets minder worden. De FAO, die in het geval van hout andere energiecijfers hanteert dan de Royal Commission, vermeldt dat de energie-inhoud van tarwestro ongeveer 93 procent van die van wilgentakken bedraagt.<sup>93</sup> Om consequent te rekenen, zal ik hetzelfde percentage op het cijfer van de Commissie loslaten, waardoor de energie-inhoud van stro op 0,93 gigajoule per ton uitkomt. Aldus hebben we een verdere 0,019 exajoule klimaatneutrale warmte erbij afkomstig van 3 miljoen ton stro, oftewel 1,6 procent van het totaal.

De Energy Technology Support Unit stelt voor 1,3 miljoen ton kippenmest te verbranden, goed voor 13,5 gigajoule per ton, en daarnaast nog ongeveer 1,8 miljoen ton drijfmest, waarvan geen energie-inhoud wordt opgegeven.<sup>94</sup> Met dit laatste voorstel ben ik niet gelukkig, omdat hiermee voedingsstof aan de akkers wordt onttrokken, met twee belangrijke gevolgen. Ten eerste zul je meer (stikstof-)kunstmest nodig hebben, en voor de productie daarvan het je weer (veel) fossiele energie nodig. Ten tweede zou daardoor een wereldwijd tekort aan fosfaatmeststoffen kunnen ontstaan.<sup>95</sup>

Van de 1,2 exajoule dat ik zoek, heb ik tot dusver 21,3 procent gevonden. Dan ga ik er wel vanuit dat deze groene brandstoffen op een technisch eenvoudige manier en kosteneffectief kunnen worden ingezet. Beide veronderstellingen zijn onzeker. Als de FAO-cijfers betrouwbaarder zijn dan die van de Royal Commission, kunnen we de stand van de teller met een factor 1,8 verhogen, zodat we op 38 procent uitkomen. Dat ik niet weet welke van deze cijfers ik moet geloven, zal u inmiddels niet meer verbazen.

Naast hout is de zon natuurlijk ook een voor de hand liggende bron voor verwarmingsdoeleinden. Het principe van directe zonne-energie is eenvoudig: je plaatst een zwartgeverfde plaat, met daarop een serie buizen, op het dak. De plaat absorbeert de zonnewarmte, en verwarmt daarmee het water dat door de buizen stroomt. Zelfs inclusief de fabricage daarvan is de CO<sub>2</sub>-uitstoot van zo'n systeem te verwaarlozen.

Volgens het adviesbureau AEA Technology is ongeveer de helft van de Britse woningvoorraad 'fysiek geschikt voor een warmwatersysteem op basis van zonne-energie'.<sup>96</sup> Als dergelijke zonneboilers inderdaad in de helft van de woningen zouden worden geïnstalleerd, zou volgens een in opdracht van de Britse regering uitgevoerde studie van het Imperial College, de totale warmteopbrengst 0,056 exajoule bedragen, oftewel nog eens 4,7 procent van wat we nodig hebben. Als we voor andere gebouwen dezelfde opbrengst aanhouden, stijgt deze bijdrage tot 6,7 procent. Maar tegelijkertijd is zonverwarmd water in de Britse situatie volgens AEA Technology 'veel duurder dan warmte op basis van fossiele bronnen', omdat het in het begin relatief veel kost om een zonneboiler te installeren, en omdat de zon hier niet zo krachtig schijnt.

Zo kom ik langzaam aan het einde van de mogelijkheden. Helaas hebben we hier geen vulkanen, waardoor we nauwelijks over grondwater op grotere diepte beschikken dat door aardwarmte is voorverwarmd. Als je alle watervoerende lagen met een temperatuur van boven de 40 graden zou benutten – de temperatuur waarbij het loont om het op te pompen – heb je volgens de British Geological Survey een voorraad van ongeveer 55 gigajoule aan winbare energie. Gesteld dat het niet op de verkeerde plaats zit, zou je er twintig jaar lang jaarlijks 2,75 gigajoule uit kunnen halen.<sup>97</sup> Dat zet dus weinig zoden aan de dijk.

Meer soelaas bieden de 'bodemwarmtepompen', waarbij warmte aan de bodem wordt onttrokken. Vanaf anderhalve meter diepte heeft de bodem een constante temperatuur van rond de 12 graden. Als je nu een diep gat onder je huis boort en daarin een dubbele leiding legt (voor heen en terug), of op deze diepte in je tuin een horizontaal buizenstelsel aanlegt, kun je de bodemwarmte benutten en het tot ongeveer 50 graden concentreren. Dit is prima voor vloerverwarming, maar net iets te koud voor radiatoren. De pomp waarmee het water door het systeem wordt gestuurd heeft weliswaar stroom nodig, maar een dergelijke installatie produceert 2,5 tot 4 keer meer energie dan ze verbruikt.<sup>98</sup> Als deze stroom

met behulp van duurzame bronnen wordt opgewekt, zal deze bodemwarmte min of meer klimaatneutraal zijn.

In Groot-Brittannië zijn we onwaarschijnlijk lui geweest met het oppikken van dit idee. In Zweden zijn er 230.000 bodemwarmtepompen in gebruik en in de Verenigde Staten 600.000.<sup>99</sup> Hier zijn het er in totaal zegge en schrijve 300.<sup>100</sup> Een van de problemen is dat onze woningvoorraad zo traag wordt vervangen. Een boorgat slaan, of sleuven graven, en vervolgens buizen onder de vloer aanleggen is een heel stuk makkelijker tijdens het bouwen van een huis dan later. Een tweede probleem is ruimtegebrek. AEA Technology gaat ervan uit dat bodemwarmtesystemen slechts bij twee soorten woningen kunnen worden aangelegd: nieuwbouwwoningen en huizen op het platteland die nog geen gasaansluiting hebben: in Groot-Brittannië zo'n 4,4 miljoen stuks. Als er in al deze woningen warmtepompen worden geïnstalleerd, geeft dat een jaarlijkse warmteopbrengst van 79,3 terawatt-uur, hetgeen overeenkomt met 0,022 exajoule – alweer 1,8 procent van mijn streefgetal.\*

In kantoor- en bedrijfsgebouwen kunnen we op deze wijze nog eens 1,4 TWh per jaar halen, waarmee we weer 0,033 procent dichterbij komen. Dat schiet nog niet op...

Dan blijft er alleen nog biogas over: het methaan dat vrijkomt uit vuilstortplaatsen, rioolwaterzuiveringsinstallaties en mestputten. Opnieuw word ik mismoedig van de minimale bijdrage die hieruit te halen valt. In de Britse situatie stelt AEA Technology dat de beperkingen die milieurisico, acceptatie onder de bevolking en het feit dat zuiveringsinstallaties meestal op afgelegen locaties liggen (iets waarvoor we in andere opzichten dankbaar zijn) 'het vrijwel onmogelijk maken' om methaan uit deze bronnen te gebruiken voor ruimteverwarming in gebouwen. 'De uiteindelijke warmtemarkt is vrijwel zeker nihil.'<sup>101</sup> Voor methaan uit stortplaatsen geldt min of

---

\* 1 kWh = 3,6 megajoule; 79,3 TWh = 22.028 terajoule, oftewel 0,022 exajoule.

meer hetzelfde: omdat deze meestal ver buiten de bebouwde kom liggen, wordt het rondpompen van de opgewekte warmte een dure grap. Biogas kan over het algemeen beter voor stroom- dan voor warmteopwekking worden gebruikt.

En dat is, voor zover ik kan overzien, alles – tenzij we de stroomproductie flink willen opvoeren en mensen opnieuw ‘warm’ willen maken voor de goede oude tijd van de straal-kachel: traag, inefficiënt en duur. Zelfs wanneer ik de meest optimistische cijfers hanteer en bepaalde ongunstige kostenfactoren door de vingers zie, ben ik niet verder gekomen dan 46,5 procent van de 1,2 exajoule warmte die ik uiteindelijk moet hebben.

Maar voordat ik het opgeef en aromatherapeut word – naar het zich laat aanzien het trieste lot van teleurgestelde activisten – heeft u nog één worp met de dobbelstenen van mij tegoed.