

7 Het energie-internet

*Binnen [brandde] 't vlug ontvonkte vuur;
Blij verstond ge te besluiten
Zulk een gruwelijk avontuur.
Faust, Deel II, Vijfde Bedrijf¹*

Mijn laatste hoop is gevestigd op het volgende: heb ik het probleem tot nu toe niet vanuit een verkeerd perspectief benaderd? Ik heb tot nu toe tegen elektriciteit en verwarmingsbrandstoffen aangekeken zoals vrijwel iedereen dat heeft gedaan sinds in 1926 met het aanleggen van het landelijke stroomnet is begonnen: als verbruiksartikel, geleverd uit grote voorraden over lange afstand. Maar het vraagstuk van energieopwekking kan ook worden benaderd vanuit een heel nieuw concept, dat over het algemeen wordt aangeduid als ‘micro-opwekking’ of ‘het energie-internet’.² In haar meest pure vorm leidt dit tot de ontmanteling van het landelijke distributienet.

In plaats van op enkele plaatsen een heleboel stroom op te wekken, produceert het energie-internet overal kleine beetjes. En in plaats van elektriciteit via langeafstandsleidingen aan te slepen, worden honderden thuiscentrales aan elkaar gekoppeld om daarmee een decentraal distributienet te creëren. Via een nieuw soort energiemaatschappij kopen mensen hun stroom en warmte lokaal in, óf van een mini-centrale die hun woonwijk van energie voorziet, óf gewoon van elkaar. Hoewel zo'n plaatselijk net min of meer in de lokale behoefte zal kunnen voorzien, is koppeling aan andere lokale netten uit oogpunt van voorzieningszekerheid slimmer.³

De Britse afdeling van Greenpeace, die het idee van een energie-internet vol overtuiging uitdraagt, omschrijft het als volgt:

Gebouwen fungeren niet langer als passieve energieverbruiker, maar als kleine centrales, als schakels in een lokaal energienet ... In de visie van Greenpeace ... zijn kolengestookte centrales ontmanteld en het woud van hoogspanningsmasten opgeruimd, daarmee hele landschappen herstellend ... vrijwel alle energie die het net ingaat, wordt nuttig gebruikt – en niet slechts een fractie, zoals bij conventionele, centraal opgestelde fossiele-brandstofcentrales.⁴

Het idee is inspirerend. Maar kan het een kritische beschouwing doorstaan? De eerste vraag is of de betreffende technieken werken, of, om preciezer te zijn, of ze wel rendabel genoeg werken.

Greenpeace stelt twee vormen van duurzame energie voor ons energie-internet voor: zonnepanelen en miniwindturbines. Ik wil ze graag geloven. Maar hoe meer ik erover lees, hoe minder ik ervan overtuigd raak.

Het opwekken van elektriciteit door middel van zonnepanelen, dat wil zeggen panelen met fotovoltaïsche cellen, veroorzaakt geen landschapsverstoring noch enige andere overlast. De vereiste infrastructuur ligt er al: op het zuiden gerichte daken van huizen, fabrieken en kantoorgebouwen. Helemaal klimaatneutraal is deze technologie niet (in Europa duurt het twee tot vier jaar voordat zonnepanelen even veel energie hebben opgebracht als nodig was om ze te fabriceren⁵), maar er ontstaat heel wat minder CO₂-uitstoot per kilowatt geleverde stroom dan bij de grote fossiele stookinstallaties waarvan we nu afhankelijk zijn. Toch hebben mensen die in landen als Groot-Brittannië de stroomvoorziening voor een groot deel op zonne-energie willen baseren twee grote problemen: er is te weinig zon, en hij schijnt op het verkeerde moment.

In dit land is er niemand die zoveel voor zonne-energie heeft gedaan als Jeremy Leggett, directeur van Solar Century, een bedrijf dat zonnepanelen installeert. Ik ken hem al jaren en heb groot respect voor de man, niet in het minst omdat hij praktisch aan de slag is gegaan, terwijl ik vanuit mijn luie stoel andere mensen vertel hoe het allemaal moet. Toch word ik bij

enkele van zijn beweringen opnieuw gesterkt in mijn mening dat je voorzichtig moet omgaan met de uitspraken van mensen die iets te verkopen hebben. Zo stelt hij in *Half Gone* – een in andere opzichten bewonderenswaardig boek – het volgende:

Door het installeren van dakpannen met zonnecellen op alle daarvoor geschikte daken, kunnen we zelfs in het Britse klimaat meer stroom opwekken dan momenteel in het hele land wordt gebruikt.⁶

Dit is een forse uitspraak. Omdat forse uitspraken een grote bewijslast met zich meebrengen, zou je verwachten dat Leggett voor deze bewering een degelijke bron zou citeren: een artikel in een wetenschappelijk tijdschrift, bijvoorbeeld, of een overheidsrapport. Maar hij geeft de volgende literatuurverwijzing:

‘Zonne-energie: stralend eenvoudig’: folder van BP, verkrijgbaar bij alle Britse tankstations van dit bedrijf.⁷

In het al eerder aangehaalde rapport van de Energy Technology Support Unit (ETSU), dat voor de Britse regering onderzocht hoeveel duurzame energie er in en rond Groot-Brittannië beschikbaar is, wordt berekend dat als alle daken in het land met zonnepanelen zouden worden uitgerust, en je op miraculeuze wijze in alle vier de windrichtingen even veel zonnestroom zou kunnen opwekken, je daarmee een ‘technisch realiseerbaar potentieel’ van maximaal 226 terawatt-uur (TWh) per jaar hebt.⁸ Het landelijke stroomverbruik bedraagt ongeveer 400 TWh per jaar. Als mijn optimistische schattingen over energie-efficiëntie kloppen, moet het mogelijk zijn dit verbruik vóór het jaar 2030 tot 300 TWh terug te brengen. Maar omdat zonnepanelen vooral efficiënt werken wanneer ze op het zuiden zijn gericht, zullen ze alleen door mensen met teveel geld ook in de andere windrichtingen worden geplaatst. We kunnen dus het door ETSU aangehaalde ‘potentieel’ beter door vier delen, waarmee we op 66,5 TWh uitkomen. Dan is er nog de kostenkwestie. Elders in het ETSU-rapport wordt de ana-

lyse beperkt tot de hoeveelheid stroom die voor maximaal 7 pence (10 eurocent) per kWh kan worden opgewekt (ruwweg de stroomprijs die op dat moment door particulieren werd betaald). Uitgaande daarvan blijkt dat alle Britse daken bij elkaar een technisch potentieel van maar 0,5 TWh bieden, ofwel een achthonderdste van ons huidige verbruik.⁹

In de volgende tabel wordt de kern van het probleem aardig samengevat.

<i>Locatie</i>	<i>Breedtegraad</i>	<i>Gemiddelde zonneinstraling (kWh/m²)</i>
Stockholm	59,35 N	2,52
Londen	51,52 N	2,55
Freiburg (Duitsland)	48,00 N	3,04
Oviedo (Noord-Spanje)	43,35 N	3,18
Genève	46,25 N	3,31
Nice	43,65 N	4,03
Porto	41,13 N	4,26
Heraklion (Kreta)	35,33 N	4,44
Sde Boker (Israël)	30,90 N	5,70

Bron: Tyndall Centre for Climate Change Research.¹⁰

Zonnepanelen zullen zichzelf in Jeruzalem of San Diego waarschijnlijk redelijk snel terugverdienen,^{*} maar in Londen zijn ze een stuk minder rendabel.

Toch is ETSU op dit punt wel erg pessimistisch. Er zijn goede redenen (waarop ik zo meteen terugkom) om te veronderstellen dat de prijs veel sneller zal dalen dan in het rapport wordt voorspeld. Er zou een moment kunnen komen waarop het economisch loont, alle op het zuiden gerichte daken met zonnepanelen uit te rusten en in dat geval – als we de schattingen van ETSU mogen geloven – zouden we hiermee inderdaad 66,5 TWh kunnen opwekken, 22 procent van onze stroombehoefte.

^{*} Volgens Robert Gross ‘zullen op breedtegraden met meer zon ... de kosten in 2020 en 2025 respectievelijk 5,7 eurocent/kWh en 2,9 eurocent/kWh bedragen’.¹¹

Maar dan lopen we onmiddellijk tegen het volgende probleem op: de opgewekte stroom komt lang niet altijd wanneer daaraan behoefte is.

In hoofdstuk 6 haalde ik al aan dat de piekvraag naar elektriciteit in de warme landen midden op de dag valt, 's zomers, wanneer de airco's volop draaien. In koude landen valt deze piek in de wintermaanden, 's avonds. En als er één ding zeker is – misschien wel het enige op dit terrein – dan is het dat de zon in koude landen op winteravonden niet schijnt.

Stel dat het mogelijk zou zijn – dankzij een technologische reuzensprong – op al onze zuidgerichte daken zonnepanelen te installeren met een potentiële opbrengst van 300 TWh per jaar, dan zou slechts een deel van deze energie daadwerkelijk benut kunnen worden. Terwijl er in de zomer midden op de dag een grote productiepiek zou zijn, zou het systeem in de winter, wanneer we de energie het hardst nodig hebben, nauwelijks iets opleveren. In een klein land als Groot-Brittannië gaat de zon bovendien overal min of meer gelijktijdig onder. Gegeven het reservevermogen en de opslagcapaciteit die daarom nodig is, is een energievoorziening op basis van zonne-energie op onze breedtegraad simpelweg uitgesloten, al was heel het land met zonnecellen bedekt.

Hiermee wil ik niet zeggen dat zonnestroom hier geen enkele bijdrage aan de energievoorziening kan leveren. 's Zomers overdag is er ook een grote vraag naar stroom en in veel hiervan zou zonne-energie kunnen voorzien. Als we de tijden waarop we de meeste stroom gebruiken aanpassen, zouden we 's zomers wellicht alle benodigde elektriciteit op deze manier kunnen opwekken. We zouden bijvoorbeeld onze toekomstige (af)wasmachines zo kunnen instellen dat ze pas midden op de dag gaan draaien (na ze eerst volgestopt te hebben vóórdat we naar ons werk gaan).¹² We zouden ook accu's kunnen gebruiken om de stroom een paar uur op te slaan, waardoor de maximale opbrengst, midden op de dag, toch nog beschikbaar is wanneer we 's avonds thuiskomen. Maar een goedkope manier om deze elektriciteit tot later in het jaar op te slaan, is er gewoonweg niet.

Doordat vraag en aanbod uit de pas lopen – de beruchte *mismatch* – wordt nog een andere bewering van zonnenthousiastelingen onderuit gehaald, namelijk dat een met zonnepanelen uitgeruste woning meer stroom aan het net kan terugleveren dan er wordt afgenomen. In theorie hebben ze misschien gelijk. De stroom wordt echter verkocht op momenten dat er vrij weinig vraag is – en de prijs dus laag – en ingekocht als de vraag juist groot is, tegen een hoge prijs. Op daken geïnstalleerde zonnepanelen zouden een wezenlijke bijdrage kunnen leveren – misschien wel 10 of 15 procent – aan het oplossen van het energieprobleem. Maar de bewering dat zonne-energie dé oplossing is, is ronduit misleidend en helpt ons weinig vooruit.

Hieronder staan enkele schattingen van de prijs van stroom uit fotovoltaïsche (pv) zonnepanelen:

<i>Informatiebron</i> (tijd en locatie)	<i>Prijs per kilowatt-uur</i>
Performance and Innovation Unit, 10 Downing Street (heden, Groot-Brittannië)	‘ongeveer 1 euro’
Robert Gross, Imperial College (heden, wereldwijd) ¹³	0,21 - 0,60 euro
Performance and Innovation Unit, 10 Downing Street (in 2020, Groot-Brittannië)	0,14 - 0,23 euro

Stroomopwekking met behulp van zonnepanelen is natuurlijk slechts één van de manieren om onze broeikasgasuitstoot te beperken. In de volgende tabel staan schattingen van hoe de kosten van deze optie zich verhouden tot de kosten van alternatieve strategieën. Deze cijfers zijn berekend volgens de door het Internationaal Energie Agentschap ontwikkelde standaardprocedure voor bepaling van toekomstige kosten, die wereldwijd wordt gebruikt.* Dit zijn geen harde cijfers

* Volgens het IEA is MARKAL ‘over een periode van bijna twee decennia ontwikkeld in het kader van het Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP), een multinationaal samenwerkingverband van het IEA.¹⁴

– met dit onderwerp is dat nooit het geval. Het min-teken in het geval van wind op land komt door de verwachting dat deze in 2020 per ton uitgespaarde CO₂ geld kan opleveren; in beide schattingen is deze vorm van stroomopwekking de goedkoopste.

<i>Opwekkingstechnologie</i>	<i>Kosten in 2020 – lage schatting (euro per ton uit- gespaarde CO₂)</i>	<i>Kosten in 2020 – hoge schatting (euro per ton uit- gespaarde CO₂)</i>
wind op land	- 57	186
kernenergie	150	257
golflagenenergie	172	615
energiegewassen	193	265
CO ₂ -afvang en -opslag bij bestaande kolencentrale	229	286
wind op zee	229	686
nieuwe gascentrale met CO ₂ -afvang en -opslag	257	286
getijdenenergie	358	987
nieuwe kolencentrale met CO ₂ -afvang en -opslag	658	801
zonnepanelen (pv-cellen)	3146	4576

Bron: Britse Ministerie van Handel en Industrie.¹⁵

Jeremy Leggett stelt terecht dat de prijs van kleinschalig opgewekte zonnestroom vergeleken moet worden met het tarief dat kleinverbruikers betalen, en niet met de grootverbruiksprijs. De panelen liggen immers op het eigen dak en de stroom wordt zonder tussenkomst van een elektriciteitsmaatschappij aan de gebruiker geleverd. Maar zelfs dan, als we de schattingen in de eerste tabel mogen geloven, is dit soort zonnestroom aanzienlijk duurder dan stroom van een conventionele centrale en ook duurder dan stroom van een windenergiepark. (In november 2005 bedroeg het gemiddelde Britse kleinverbruikertarief 9,7 pence (13,9 eurocent); in november 2006 was dat

8,7 pence (12,4 eurocent).¹⁶) Zelfs als de prijs van zonnestroom daalt in de mate waarin het bureau van de minister-president dat voorspelt, is het heel goed mogelijk dat conventionele stroom in 2020 nog steeds goedkoper is dan zonnestroom, niet in het minst omdat ook deze volgens energiedeskundigen in prijs gaat zakken. Maar de prijs van zonnestroom zal ook daarna waarschijnlijk blijven dalen, en Downing Street meent dat ze 'rond 2025 concurrerend kan worden met het Britse kleinverbruiktarief'.¹⁷

Jeremy Leggett stelt ook dat het soms goedkoper kan zijn een gebouw met zonnecellen te bekleden dan met de duurdere vormen van gevelbekleding.¹⁸ Dat kan best waar zijn. Maar uit zulke 'zonnepark' trek je alleen behoorlijk stroom wanneer de gevel op het zuiden staat en niet in de schaduw van andere gebouwen. Omdat veel van de grote gebouwen met dure gevelbekleding in de financiële buurten van de grote steden liggen, waar meestal ook veel andere hoogbouw staat, zijn de mogelijkheden beperkt.

Hier zijn twee gegevens die je niet vaak op dezelfde bladzijde ziet: zonnecellen betalen zichzelf (in Groot-Brittannië) na 25 tot 35 jaar terug;¹⁹ en zonnecellen hebben een levensduur van 25 tot 30 jaar.^{20,21} Zoals de zaken er nu voorstaan, verdient je je geld dus niet terug. Hierin komt echter snel verbetering. Volgens sommige onderzoekers zullen de kosten van zonnecelfabricage – door toepassing van onder andere siliciumbolletjes, 'kleurstofzonnecellen' en nanotechnologie – straks net zo snel zakken als bij computerchips het geval is geweest.^{22,23}

Voor miniwindkracht ziet het er slechter uit. Hier speelt namelijk het volgende probleem. Om via de wind een redelijke hoeveelheid stroom op te wekken moet het hard en redelijk gelijkmatig waaien. Als de wind zwak is, of in vlagen of stoten komt, heb je niet veel aan een windturbine. In de bebouwde kom is er over het algemeen betrekkelijk weinig wind, en als het al waait, dan is het vooral met horten en stoten. Paul Gipe, schrijver van een van de meeste gezaghebbende boeken over windenergie, zegt over deze kwestie het volgende:

Om zo weinig mogelijk hinder van turbulentie te hebben, en zoveel mogelijk profijt van de wind, dient een windturbine op een zo groot mogelijke afstand van bomen, gebouwen en andere obstakels te worden opgesteld als maar enigszins mogelijk is. Turbulentie wordt veroorzaakt door luchtverplaatsingen rondom bomen en gebouwen die in de windrichting staan. Een windturbine kan er zwaar onder lijden, waardoor de levensduur sterk wordt verkort. Bovendien zorgen bomen en gebouwen ervoor dat een turbine veel minder wind vangt.²⁴

In het tijdschrift *Building for a Future* wordt aanbevolen een windturbine alleen dan te plaatsen als deze minimaal 11 meter uitsteekt boven alle obstakels binnen de 100 meter.²⁵ Als je huis minstens even hoog is als alle andere in de buurt, inclusief eventuele bomen, red je het dus met een paal van 11 meter. Zoniet, dan zul je een vliegtuigverschrikker moeten bouwen. Hoe hoger je bouwt, hoe kleiner de kans op gemeentelijke goedkeuring, en hoe groter de kans – door de zijwaartse krachten die erop worden uitgeoefend – op aanzienlijke schade aan je woning. Doe je dat niet, dan ‘kan een zeer turbulente omgeving, waarin de turbine heftig zwiept, ervoor zorgen dat je tot 80 of 90 procent van je energiepotentieel verspeelt’.²⁶ Ook al vind je een locatie met een gelijkmatige windaanvoer, in de bebouwde kom waait het toch niet hard genoeg: ‘Er zijn maar weinig plaatsen waar de gemiddelde effectieve windsnelheid boven de 4 meter per seconde uitkomt’.²⁷

Bij een gemiddelde windsnelheid van 4 meter per seconde kan een grote miniturbine in ongeveer 5 procent van de gemiddelde huishoudelijke elektriciteitsbehoefte voorzien (aan een apparaat met een diameter groter dan 1,75 meter kun je je huis maar beter niet toevertrouwen).²⁸ Vooralsnog ziet het ernaar uit dat de grootste bijdrage van kleine molens aan het energievraagstuk zal zijn dat ze iedereen tot razernij drijven. Mensen die belazerd zijn door de claims van bepaalde producenten (dat een molen op het dak de helft of nog meer op hun jaarrekening uitspaart) zullen zeer geïrriteerd raken; degenen die ontdekken dat ze dankzij hun mooie turbine nu ernstige

schade aan hun woning hebben opgelopen, zullen woedend zijn; en de aardige buren, die het geluid van een zwabberende, onregelmatig draaiende windmolen gedurende lange tijd welwillend aanhoren, zullen zich op een goede dag ontpoppen tot bijlzwaaierende woestelingen. Er is nagenoeg geen effectievere manier denkbaar om het ontluikende enthousiasme voor duurzame energie voorgoed de kop in te drukken.

De enige plaats waarin miniwindturbines een nuttige, kosteneffectieve en voor de buren aanvaardbare bijdrage kunnen leveren is ver buiten de bebouwde kom, of 'ingebouwd' in een torenflat en daarmee goed verankerd. In het laatste geval zal het apparaat waarschijnlijk boven de omgeving uitsteken. Door minstens twee mensen is patent aangevraagd voor een aërodynamische toren waarmee de wind door zo'n turbine wordt gejaagd. Eén daarvan, Bill Dunster, beweert dat hij met zijn ontwerp de effectieve windsnelheid met een factor twee tot drie kan verhogen.^{29,30}

Maar door Greenpeace wordt ook een derde stroombron aanbevolen, en deze is waarschijnlijk betrouwbaarder. Het heet 'microwarmtekrachtkoppeling'.

Een conventionele stroomcentrale heeft een gemiddeld rendement van rond de 40 procent: de rest van de opgewekte energie gaat als afvalwarmte verloren. Met behulp van overheidsstatistieken heeft energie-activist Chris Dunham berekend dat we in Groot-Brittannië ongeveer evenveel warmte in onze woningen verbruiken als er door de conventionele ('thermische') centrales wordt weggegooid.* Het principe van

* 'Niet-thermische processen en stroomimport buiten beschouwing gelaten, vermeldt het Ministerie van Handel en Industrie totalen van 978 TWh voor brandstofgebruik en 386 TWh voor elektriciteitsopwekking, waarmee het rendement op 39,5 procent uitkomt en de hoeveelheid afvalwarmte op 592 TWh... Als we van een totaal haalbaar rendement van 85 procent uitgaan (45 procent warmterendement, 40 procent elektrisch rendement en 15 procent verspilling), krijgen we in totaal 443 TWh... Voor het energieverbruik ten behoeve van verwar-

warmtekrachtkoppeling is dat je deze warmte juist nuttig gebruikt. Sommige industrieën, die naast stroom/elektriciteit ook behoefte hebben aan proceswarmte, maken al gebruik van dit soort warmtekrachtkoppelings-, of wkk-centrales. Wkk-adepten denken met het principe twee problemen tegelijk te kunnen oplossen.

Het idee is nu om ditzelfde principe in de particuliere woning toe te passen. Op zijn eenvoudigst komt micro-wkk erop neer dat je in plaats van een ketel die slechts voor warmwater en ruimteverwarming zorgt, voortaan een micro-centrale hebt die zowel warmte als elektriciteit levert. In Nieuw Zeeland is hij al op de markt en vanaf 2007 is ook in Groot-Brittannië de 'WhisperGen' te koop. Dit is een generator die gebruik maakt van een externe verbrandingsmotor* die op gas loopt. Hij is ongeveer 25 procent duurder in aankoop dan een normale cv-ketel, maar het bedrijf dat ze importeert, stelt dat deze meerkosten in vier jaar worden terugverdiend, doordat je ongeveer 220 euro per jaar op je energierekening bespaart.^{32,33} Omdat warmte en stroom beide worden benut, ligt het rendement van een dergelijke motor tussen de 70 en 90 procent,³⁴ waarbij ongeveer twee keer zoveel warmte als stroom wordt geproduceerd. Hij veroorzaakt evenveel geluid als een koelkast.³⁵ Juist vanwege deze geruisloze werking wordt hetzelfde type motor ook voor de warmte- en stroomvoorziening van onderzeeërs gebruikt. Omdat cv-ketels een levensduur van rond de twintig jaar hebben,³⁶ moet het mogelijk zijn – met de juiste financiële prikkels – alle huishoudelijke verwarmings-systemen vóór het jaar 2030 door dit soort microcentrales te vervangen.

Het plan dat door Greenpeace en anderen wordt gepropageerd is nog slimmer. Wanneer je 's winters zowel warmte

ming geeft [het Ministerie] 2,39 EJ op, hetgeen overeenkomt met 664 TWh. Maar dit slaat op energieverbruik, niet op warmtebehoefte, die wegens omzettingsverliezen lager zal zijn. Als we van een ketelrendement van 80 procent uitgaan, gaat het dus om 531 TWh warmte'.³¹

* Het gaat om de legendarische Stirling-motor.

als stroom nodig hebt, gebruik je een microwarmtekrachtcentrale, of 'thuiscentrale', om ze gelijktijdig op te wekken. Wanneer je 's zomers stroom maar geen warmte wilt, gebruik je het zonnepaneel op je dak. In beide gevallen gebruik je accu's om stroom tussentijds op te slaan. Volgens het Tyndall Centre for Climate Change Research kun je met vier industriële loodaccu's genoeg energie opslaan om zowel 's zomers als 's winters alle stroomtekorten te overbruggen.³⁷ Ook al komt het aardgas nog van buitenaf, een aansluiting op het elektriciteitsnet heb je dan niet meer nodig.

Het is een fantastisch plan, maar heeft het ook kans van slagen? Vanuit technisch en economisch perspectief is het antwoord 'ja'. Het gaat om beproefde technologieën, de kosten van zo'n thuiscentrale vallen, in tegenstelling tot de zonnepanelen, mee, en met behulp van de accu's kan de *mismatch* tussen vraag en aanbod voor zowel warmte als stroom worden opgeheven. De Stirling-motor van de 'WhisperGen' levert ongeveer zes keer meer warmte dan elektriciteit.³⁸ Friends of the Earth (de Britse zusterorganisatie van Milieudefensie; vert.) heeft berekend dat als er in Groot-Brittannië 10 miljoen woningen met micro-wkk zouden worden uitgerust, de stroomopbrengst ongeveer 30 terawatt-uur per jaar zou bedragen, oftewel 7,5 procent van de totale landelijke behoefte.³⁹ Er zijn 24,5 miljoen Britse huishoudens,⁴⁰ die tesamen voor ongeveer 29 procent van het landelijke stroomverbruik verantwoordelijk zijn,⁴¹ dus als iedereen een thuiscentrale neerzet, zouden we voor zo'n 74 procent in onze eigen elektriciteitsbehoefte kunnen voorzien. Er zijn ook apparaten op de markt die verhoudingsgewijs meer stroom dan warmte opwekken; in principe zouden we dus met behulp van thuiscentrales alle stroom kunnen opwekken die we nodig hebben.

Helaas is de bijdrage van dit soort systemen aan de beperking van klimaatverandering minder overtuigend. Het bedrijf dat de 'WhisperGen' levert, beweert dat het apparaat ongeveer een vijfde deel uitspaart van de CO₂-uitstoot die anders door het gebruik van centraal geleverde stroom en gas zou zijn ontstaan.⁴² In een rapport van de (door de Britse overheid ge-

financierde) Energy Saving Trust wordt berekend dat als onze woningen door middel van micro-opwekking, met een mix van micro-wkk, zonnestroom en miniwindenergie, van 220 terawatt-uur energie worden voorzien – ongeveer 42 procent van ons huishoudelijk energieverbruik* – onze huishoudelijke CO₂-emissies met iets meer dan 6 procent zouden dalen.⁴⁴ Op basis hiervan kunnen we stellen dat als we alle energie die we thuis nodig hebben uit deze vormen van micro-opwekking zouden halen, we onze huishoudelijke CO₂-uitstoot met slechts 14 procent zouden beperken – en dan is het rapport in zijn oordeel over miniwindenergie nog tamelijk optimistisch.

Je kunt ook op wat grotere schaal van warmtekrachtkoppeling gebruik maken; we spreken dan over stadsverwarming. In dat geval levert een kleine elektriciteitscentrale aan een flatgebouw, een woonwijk, een stadsuitbreiding of zelfs een hele stad niet alleen stroom maar ook, via een uitgebreid buizenstelsel, warmte. Zoals zoveel andere goede dingen in het leven, wordt het vooral in Scandinavië toegepast. In Helsinki wordt 98 procent van de huishoudelijke verwarmingsbehoefte door een of andere vorm van stadsverwarming geleverd.⁴⁵ Het voordeel hiervan – vooral als de warmte behalve in woningen ook in kantoorgebouwen en fabrieken wordt gebruikt – is dat de stroomproductie minder vaak bijgestuurd hoeft te worden, omdat de vraag veel gelijkmatiger is.⁴⁶ Er kan bovendien effectiever gebruik worden gemaakt van andere warmtebronnen, zoals de in hoofdstuk 6 beschreven bodemwarmtepompen. In Duitsland wordt deze vorm van warmteopwekking ook vaker toegepast, onder andere in het parlamentsgebouw. Hierbij wordt de overtollige warmte die 's zomers wordt geproduceerd in de vorm van warm water de bodem ingepompt, waar het op 300 meter diepte in poreus gesteente wordt op-

* Volgens een rapport van AEA Technology bedraagt het totale jaarlijkse huishoudelijke warmteverbruik in Groot-Brittannië 452 TWh,⁴³ terwijl er, volgens de Environmental Change Unit, 73 TWh stroom aan huishoudelijke apparatuur en verlichting opgaat. De totale energiebehoefte is aldus 525 TWh.

geslagen; 's winters wordt het dan omhoog gepompt om het gebouwencomplex te verwarmen.⁴⁷

Helaas is het veel lastiger en ook veel duurder om in een bestaande woonwijk of stad een stadsverwarmingsnet aan te leggen dan in een nieuwbouwwijk: voor het buizenstelsel zouden heel wat straten, trottoirs en vloeren moeten worden opgebroken.⁴⁸ Maar ik zie geen reden waarom stadsverwarming niet bij elk nieuwbouwproject standaard zou kunnen worden aangelegd – of het moet zijn dat alle nieuwe woningen straks zo fatsoenlijk zijn gebouwd dat ze helemaal geen verwarming nodig hebben.

Als we decentrale opwekking effectiever willen inzetten om onze CO₂-uitstoot te beperken, moeten we van aardgas overstappen op een ander soort brandstof – of, liever, op een andere 'energiedrager'. De mogelijkheden van biomassa, biogas, zonnewarmte, grondwarmte en aardwarmte heb ik hierboven, met een toenemend gevoel van misnoedigheid, al besproken. Hoewel ze soms handvaten bieden om het energie-internet klimaatvriendelijker te maken – zo kunnen houtsnippers goed in een stadsverwarmingscentrale worden verbrand – is de potentiële bijdrage van deze kant, zoals aangetoond, beperkt.

Er lijkt nog maar één mogelijkheid: het meest voorkomende chemische element op aarde. Waterstof gedraagt zich ongeveer als een fossiele brandstof: het is 'vlug ontvonkt' en je kunt er verschillende vormen van energie mee opwekken. Maar als verbrandingsproduct ontstaat er niets dan water. Begrijpelijkerwijs is waterstof voor de milieubeweging een soort konijn uit de hoed of de *Pulvis Solaris* van de alchemist geworden: de katalysator die alles verandert.

Er zijn diverse manieren om waterstof te produceren. Helaas zijn de kosten omgekeerd evenredig aan de milieubelasting, zoals wel vaker het geval is bij kosten. In de volgende tabel staan de betreffende cijfers, zoals berekend door de Amerikaanse National Academy of Engineering. Deze prijzen zijn inclusief transport en distributie.

Je kunt waterstof uit steenkool winnen; dan worden de kolen doorgaans fijngestampt en wordt er stoom en zuurstof

doorheen geperst. Je kunt ook aardgas gebruiken; het gas wordt dan verhit en in contact met stoom tot waterstof ‘omgevormd’.⁴⁹ Of je kunt het via elektrolyse aanmaken – zoals iedereen weet die niet heeft gespijbeld onder de scheikundelessen – eenvoudigweg door water onder stroom te zetten. Dit laatste nu is de Steen der Wijzen, want de stroom die hiervoor nodig is, kun je duurzaam opwekken. Uit de twee elementen lucht en water wordt aldus een brandstof bereid die een hoge energie-inhoud heeft en zich goed leent voor transport en opslag. Als we het goedkoop kunnen vervaardigen, vervoeren en verstoken, zouden we hiermee onze fossiele brandstof vretende energievoorziening volledig overboord kunnen gooien zonder veel aan onze huidige manier van leven te hoeven veranderen.

<i>Waterstofproductiemethode</i>	<i>Huidige kosten (euro/kg)</i>	<i>Toekomstige kosten (euro/kg)</i>
uit steenkool	1,33	0,99
uit steenkool, met CO ₂ -afvang en -opslag	1,39	1,02
uit aardgas	1,39	1,13
uit aardgas, met CO ₂ -afvang en -opslag	1,52	1,20
via elektrolyse	4,61	2,75

Bron: Amerikaanse National Academy of Engineering.⁵⁰

Het zal voor iedereen duidelijk zijn dat elektrolyse duur is en dat waarschijnlijk altijd zal blijven. Elektriciteit is zelf al een zwaar bewerkt product; het opnieuw inzetten daarvan om een andere energiedrager te produceren is wel heel verkwistend. Volgens de aangehaalde academie heeft het omzetten van elektriciteit in waterstof een energierendement van slechts 30 procent.⁵¹ Dit zou dus betekenen dat 70 procent van de netto stroomopbrengst van onze windturbines of conventionele centrales domweg wordt verspild. Het produceren van waterstof door de omvorming van aardgas daarentegen heeft een rendement van ongeveer 72 procent.⁵²

Wanneer duurzame stroom slechts 3 eurocent per kilowattuur zou kosten, dan zou door elektrolyse verkregen waterstof die via een leiding aan huis werd geleverd nog altijd twee keer zo duur zijn als aardgas.⁵³ Waterstof die uit aardgas wordt gewonnen zal voor de eindafnemer waarschijnlijk slechts anderhalf keer duurder zijn dan de aardgas zelf, ook als er CO₂-afvang en -opslag aan te pas komt.*

Omdat er, om redenen die ik straks zal noemen, minder waterstof dan aardgas nodig is om een bepaalde hoeveelheid warmte en stroom op te wekken, blijft onze brandstofrekening daarmee ongeveer gelijk. Maar omdat het apparaat waarin de waterstof wordt gestookt waarschijnlijk duurder zal zijn (in elk geval gedurende de eerste jaren, zoals ik straks zal aangeven) zullen onze totale verwarmings- en elektriciteitskosten toch stijgen.

Op het eerste gezicht lijkt dus grootschalige omzetting van aardgas in waterstof met CO₂-afvang en -opslag de beste manier om waterstof te produceren. Waar nu elektriciteitscentrales staan, kunnen morgen waterstoffabrieken verrijzen. Van de CO₂ die hier ontstaat, kan minstens tachtig procent ondergronds worden opgeslagen.

Bij het in hoofdstuk 5 beschreven systeem voor afvang en opslag wordt de CO₂ uit de verbrandingsgassen van een elektriciteitscentrale gehaald. Bij waterstof zou de CO₂-verwijde-

* Het Centre for Energy Policy and Technology van het Imperial College voorspelt dat door elektrolyse verkregen waterstof die via een netkoppeling aan huis wordt geleverd 7,0 eurocent zal kosten.⁵⁴ Hiervan is 3,6 cent voor rekening van de waterstofproductie en de rest voor comprimeren, opslag en distributie. Volgens de cijfers van de Amerikaanse National Academy of Engineering zal de prijs van waterstof uit aardgas met CO₂-afvang en -opslag 'in de toekomst' 44 procent bedragen van elektrolytisch verkregen waterstof, waardoor we de productiekosten op 1,6 cent mogen stellen (als we deze cijfers mogen geloven). Daarmee zakt de totale kostprijs van aan huis geleverde waterstof zakt tot 5,0 cent. In november 2005 stond de kleinverbruikersprijs van aardgas op 3,3 cent/kWh en in november 2004 op 2,9 cent/kWh.⁵⁵

ring plaatsvinden bij de productie van de waterstof, dus vóór de verbranding. Verder is er geen wezenlijk verschil: in beide gevallen wordt de CO_2 via buizen weggepompt en diep in de bodem opgeslagen.

Aanvankelijk kan de waterstof met aardgas worden vermengd en kan het bestaande distributienet in gebruik blijven. Zolang de concentratie onder de 10 of 15 procent blijft, blijkt het op de prestaties van onze cv-ketels geen invloed te hebben.⁵⁶ Maar naarmate we er meer van produceren en onze woningen gaan uitrusten met apparaten die daar speciaal voor zijn ontworpen, zal de waterstof apart moeten worden aangeleverd. Om het gas vloeibaar te maken is ongeveer 35 procent van de eigen energie-inhoud nodig (omdat dit bij een temperatuur van 259 graden onder nul gebeurt).⁵⁷ Voor het leidingentransport ervan is een compleet nieuw distributienet nodig: onder invloed van zuivere waterstof zullen de bestaande gasleidingen snel bros worden.⁵⁸ We kunnen natuurlijk ook het huidige net gebruiken om aardgas te transporteren naar kleine, verspreid opgestelde omvormingscentrales die lokaal waterstof produceren, daar waar het nodig is. Maar dan kunnen we de CO_2 niet ondergronds opslaan.

Er lijken dus drie mogelijkheden te zijn: óf je legt naast het huidige gasnet een nieuw landelijk leidingennet aan voor waterstof; óf je vervangt, elke keer als een deel van het gasnet aan het eind van zijn levensduur is, de aardgas- door waterstofleidingen; óf je transporteert de waterstof per tankauto, per spoor of per schip. Alle deze opties lijken haalbaar, maar transport via pijpleidingen zal waarschijnlijk energie-efficiënter zijn en makkelijker voor de eindafnemer. De Amerikaanse National Academy of Engineering schrijft dat, hoewel het transporteren van waterstofgas op grote schaal 'uitzonderlijk moeilijk' is, er

in de Verenigde Staten jaarlijks ongeveer 9 miljoen ton waterstof wordt geproduceerd en vervolgens onder lage of middelhoge druk per pijpleiding of tankauto getransporteerd voor gebruik door de chemische en brandstofindustrie... Dankzij

jarenlange wereldwijde ervaring zijn deze transportwijzen thans veilig en efficiënt te noemen.⁵⁹

De energie die nodig is om het gas onder de benodigde druk van 350 bar te brengen (tweeënhalf maal hoger dan voor de huidige hogedrukleidingen in Groot-Brittannië vereist is⁶⁰) komt overeen met 4 tot 8 procent van de energie-inhoud van de waterstof zelf.⁶¹ Het is dus veel efficiënter om het (onder hoge druk) als gas te vervoeren dan in vloeibare vorm. Maar het aanleggen van een distributienet is duur. Vergeleken bij het bestaande net moeten de leidingen anderhalf keer groter in diameter zijn en van superieur materiaal vervaardigd.⁶² Volgens de eerder aangehaalde berekeningen, waarin deze meerkosten al zijn meegenomen, ziet het er naar uit dat aan huis geleverde waterstof ongeveer 50 procent duurder zal zijn dan aardgas.

Maar er is misschien een andere oplossing. Energiedeskundige Dave Andrews attendeerde me op het feit dat je met behulp van een mini-elektrolyse-apparaat thuis waterstof kunt produceren. In deze situatie kan de afvalwarmte – goed voor 70 procent van de energieverliezen bij waterstofwinning uit water – direct worden aangewend voor ruimteverwarming, waarmee de investeringskosten deels kunnen worden terugverdiend. Als het redelijk waait en je windmolen een overschot aan stroom levert, kun je waterstof produceren die bij verbranding (nu of later) warmte levert. Gaat de wind liggen, gebruik je de opgebouwde waterstofvoorraad voor verwarming én stroom. Wel moet iedere woning dan over zijn eigen waterstofopslagtank (en molen) beschikken.

In beide situaties kan de waterstof worden gestookt in een ketel die veel op een normale, gasgestookte cv-ketel lijkt, maar met één groot verschil: er komt geen grammetje CO₂ uit. Maar waterstof biedt daarnaast nog andere mogelijkheden. Met een zogenaamde brandstofcel kan gelijktijdig zowel warmte als elektriciteit worden opgewekt. Dit is een soort accu die als chemische energiebron in plaats van een vaste stof of vloeistof een gas gebruikt. In vergelijking met de Stirling-motor in bijvoorbeeld de Whisper-Gen wordt hiermee relatief meer

stroom ten opzichte van warmte opgewekt, en opnieuw is het restproduct alleen water. Het maakt geen lawaai en springt met één druk op de knop vrijwel meteen aan. Er bestaan nu al brandstofcellen die stroom opwekken met een rendement van rond de 60 procent.⁶³ Toch is dit waarschijnlijk te veel van het goede voor de thuissituatie: voor een goede verhouding tussen warmte en kracht (stroom) is een minder efficiënte brandstofcel geschikter.

Brandstofcellen zijn op dit moment duurder dan andere vormen van micro-opwekking: zelfs de meest optimistische schatting geeft aan dat als deze nu grootschalig in productie zouden worden genomen, ze vier keer duurder zouden zijn dan een dieselmotor met dezelfde energieopbrengst.⁶⁴ De meeste schattingen liggen nog hoger. Maar een grootschalig installatieprogramma waarin de overheid het voortouw neemt, zou de prijs snel kunnen doen zakken. Volgens het Tyndall Centre for Climate Change Research kunnen warmtekrachtkoppelingssystemen op basis van brandstofcellen 'vóór 2009 economisch rendabel worden'.⁶⁵ Voor toepassing in een woning zullen ze kleiner moeten worden: nu hebben ze enkele malen de omvang van een gasgestookte microcentrale of een gewone cv-ketel.⁶⁶ Ze moeten ook langer meekunnen dan nu het geval is. Alles overziend, is vervanging van onze gasgestookte cv-ketels door wkk-ketels op waterstof, die zowel warmte als stroom leveren, misschien een meer realistische optie dan brandstofcellen.

Maar of je nu een hyperefficiënte ketel of een brandstofcel gebruikt, zonder basisbrandstof kom je er niet. Zolang er geen waterstofopslag- en -transportsysteem is, kan dit soort micro-opwekking niet van de grond komen, tenzij je thuis-elektrolyse toepast. Omdat een waterstofopslag- en -transportsysteem niets oplevert zolang er vanuit thuiscentrales geen vraag naar het gas is, hebben we een klassiek kip-of-ei-probleem: geen van de beide elementen kan zonder de ander functioneren. Het aanleggen van een waterstofdistributienet moet dus wederom door de overheid worden ondersteund, zowel strategisch als financieel.

Dat een waterstofeconomie vrij van milieuproblemen zou zijn is helaas een wensdroom. Bij lekkage van waterstofgas in de troposfeer – de laag dicht bij het aardoppervlak – wordt op indirecte wijze een broeikasgas gevormd.* In de hoger gelegen stratosfeer leidt het waarschijnlijk tot afbraak van de ozonlaag.⁶⁸ Welk systeem we ook gebruiken, alle onderdelen zullen uiterst gasdicht moeten zijn. Als de waterstof uit steenkool wordt gewonnen, zoals door de Amerikaanse regering voorgesteld,⁶⁹ zal het de dagbouwwinning van steenkool een enorme impuls geven. Ook als het uit aardgas wordt gewonnen, zitten we toch nog vast aan fossiele brandstoffen, die al te vaak vergezeld gaan van lelijke infrastructuur, twijfelachtige deals met minder frisse regeringen, ecologische vernietiging en de gedwongen verhuizing van lokale gemeenschappen.⁷⁰

Maar met dit gas is het waarschijnlijk wel mogelijk relatief goedkoop zowel warmte als elektriciteit te produceren en tevens onze broeikasgasemissies drastisch te verminderen. Rekening houdend met de verliezen die optreden bij zowel CO₂-afvang en -opslag als waterstoftransport, zouden we alles bij elkaar ongeveer 80 procent van onze huishoudelijke CO₂-emissies hiermee kunnen vermijden. In combinatie met de in hoofdstuk 4 besproken energie-efficiëntiemaatregelen, kunnen deze nieuwe brandstoffen en energiebronnen ons zelfs voorbij mijn doelstelling brengen van 90 procent vermindering van de huishoudelijke uitstoot. Om dit te realiseren is het noodzakelijk dat de overheid met een zeer omvangrijk en ambitieus programma komt om het huidige aardgasnet door een waterstofnet te vervangen. Elke cv-ketel die tussen 2010 en 2030 wordt afgeschreven, moet dan vervangen worden door een waterstofketel of dito brandstofcel. Toegegeven, het is een enorme uitdaging, maar misschien is het nog net haalbaar. Het kan best zijn dat het ontwikkelen en installeren van elektrolyse-

* Waterstof reageert met hydroxyl-moleculen onder vorming van water(damp). Het is juist dankzij de aanwezigheid van hydroxyl in de atmosfeer dat een deel van onze methaanlozingen vooralsnog wordt afgebroken.⁶⁷

apparaten, waarmee je thuis uit klimaatvriendelijke stroom waterstof kunt produceren, sneller en makkelijker gaat dan het aanleggen van een volledig nieuw leidingennet. Maar de daarbij behorende energiekosten zullen waarschijnlijk hoog blijven, ook al kunnen ze misschien worden gedrukt door deze apparaten pas aan te zetten als het aanbod aan windstroom voldoende hoog is.

Stel dat we het landelijke elektriciteitsnet hebben afgeschaft en alles op thuiscentrales draait, zullen we het dan redden zonder om de haverklap in het donker te zitten? In het besef dat mijn antwoord niet helemaal geruststelt, zeg ik: 'waarschijnlijk'.

In het energie-internet staat ieder huishouden in een bepaalde wijk met de burens in verbinding, waardoor een mini-uitvoering van het landelijke net ontstaat: een 'energie-eiland'. Om de voorzieningszekerheid te vergroten, kan elk eiland vervolgens aan de buureilanden worden gekoppeld. Met behulp van slimme meters kan op automatische wijze stroom worden verhandeld tussen de huishoudens onderling. Als er ergens een thuiscentrale of windmolen wegvalt, kan het tekort door andere schakels in het systeem worden opgevangen.⁷¹ Aanvullende standby-generatoren zullen bij deze opzet minder nodig zijn, omdat alle apparaten samen dan 'standby' staan voor alle andere.

Greenpeace beweert dat dit systeem meer voorzieningszekerheid biedt dan het bestaande elektriciteitsnet:

de stroomvoorziening zou hiermee veel minder kwetsbaar zijn voor grootschalige uitval als gevolg van sabotage of extreme weersomstandigheden.⁷²

Naar de mening van het Britse Hogerhuis zou het even veel zekerheid bieden:

Als het gaat om het opvangen van coherente schommelingen in de vraag, is dit model niet principieel beter of slechter dan het nationale elektriciteitsnet ... Het zou niet geheel vrij zijn van

technische problemen (waaronder de noodzaak van synchronisatie tussen de eilanden), maar deze zijn niet onoverkomelijk.⁷³

Het Tyndall Centre begint vol vertrouwen:

Er zijn volgens ons geen fundamentele technologische redenen waarom micronetten niet een aanzienlijke bijdrage zouden kunnen leveren aan de Britse elektriciteitsvoorziening.

maar plaatst daarbij later kanttekeningen:

het stabiliseren van de frequentie vormt in een micronet een sleutelprobleem ... omdat het systeem zo klein is, is nauwkeurige besturing ervan veel moeilijker dan bij een conventionele centrale ... In een micronet wordt de kwaliteit van de geleverde stroom het grootste probleem. In een klein systeem met veel opwekkingseenheden zullen spanningsfluctuaties en -onderbrekingen, boventonen, DC-niveaus, etc. allemaal sneller problematischer worden.⁷⁴

Maar deze problemen zijn met behulp van accu's op te lossen, zo denkt het centrum, want deze zullen 'snel genoeg [kunnen reageren] om voldoende frequentiebeheersing te garanderen'.

Volgens Greenpeace zou een dergelijk systeem minder duur zijn dan de eerste berekeningen uitwijzen, omdat we dan minder geld kwijt zouden zijn aan onderhoud en vervanging van het landelijke stroomnet en vooral aan de tijdens het stroomtransport optredende verliezen (ongeveer 7,5 procent van het totaal⁷⁵). De milieuorganisatie wijst er ook op dat slechts 52 procent van de kapitaalkosten van de elektriciteitsvoorziening verband houdt met het opwekken zelf: de rest gaat op aan transport en distributie.⁷⁶ Volgens een schatting van het Internationaal Energie Agentschap zullen tussen nu en 2030 de stroomleveranciers in de Europese Unie 1,35 miljard dollar moeten investeren om het hele systeem draaiende te houden, waarvan 648 miljard aan transport- en distributieleidingen.⁷⁷

Als een deel van dit geld in het aanleggen van een waterstofleidingennet zou worden geïnvesteerd, gaat een omschakeling naar een energie-internet er economisch ineens een stuk rooskleuriger uitzien.

Maar hoe aanlokkelijk ik de ontmanteling van het landelijke distributienet ook vind, ik denk toch dat dit een vergissing zou zijn: opnieuw pas ik voor de drogreden van de misplaatste esthetiek. Er is nog altijd een grote vraag naar stroom, zonder meegeleverde warmte – bij de industrie, in kantoorgebouwen en bij de mensen die ervoor zorgen dat onze straten worden verlicht en onze treinen lopen – en om deze reden moeten we het net volgens mij niet ontmantelen, maar juist uitbreiden. Door gebruik te maken van de nieuwe generatie kabels zouden we elektriciteit uit de beste stromingsbronnen kunnen betrekken, ver buiten de kust. Als we vanuit een veel omvangrijker gebied aan land en op zee onze stroom betrekken, kan een energievoorziening op basis van duurzame bronnen in één klap aanzienlijk meer voorzieningszekerheid bieden. De koppeling van ons net aan dat van andere landen, en het brede scala aan energiebronnen dat daarmee beschikbaar komt, zou tot een daling leiden van de ‘systeemkosten’ die met het afstemmen van vraag en aanbod samenhangen. Ik vind hoogspanningsleidingen oerlelijk, maar ik ben bang dat we er nog meer nodig hebben.

Ik denk de oplossing dus gevonden te hebben. De grootste vraag naar warmte komt vanuit onze woningen. Met een micro-opwekkingssysteem bestaande uit zonnepanelen en hetzij ketels, hetzij brandstofcellen op waterstof, kunnen we ons op huishoudelijk niveau van zowel warmte als elektriciteit voorzien. De waterstof zou thuis via elektrolyse kunnen worden aangemaakt, met gebruik van stroom van het net, of anders via een pijpleiding worden aangevoerd. Misschien belangrijker, qua maatschappelijke acceptatie: het systeem kost het gemiddelde huishouden niet meer tijd of moeite dan onze huidige energievoorziening: helemaal niets dus. Met één druk op de knop gaat alles aan of uit, en het functioneert net zo

onopgemerkt als het verwarmingssysteem en de stroomvoorziening die we nu gebruiken.

In hoofdstuk 6 heb ik al aangegeven dat ongeveer de helft van de stroom die centraal wordt opgewekt, kan worden geleverd door een paar flinke centrales die methaan stoken – hetzij als aardgas, hetzij uit ondergrondse kolenvergassing verkregen – waarbij de CO_2 wordt afgevangen en ondergronds opgeslagen. Als ik goed zit met mijn ‘meta-inschatting’, kan de andere helft van onze stroom van offshore wind- en golfslagenergie komen.

Een dergelijke omschakeling zou van politici veel durf, en van ingenieurs veel visie en kunde vragen. Tegelijkertijd is ze geen bemande marsexpeditie. Voor zover ik kan overzien, is alles wat ik hier voorstel nu al technisch haalbaar en economisch uitvoerbaar. De vraag is of het binnen de gegeven tijd uitvoerbaar is. Wanneer dat lukt, dan heb ik mijzelf een vreselijk lot bespaard. Dan hoef ik geen aromatherapeut te worden.