Utrecht Centrum voor Energie-onderzoek

Utrecht Centre for Energy research

Varia Energetica

Erik Lysen

Laatste UCE uitgave ter gelegenheid van het afscheid van de Universiteit Utrecht op 14 september 2011

Utrecht Centrum voor Energie-onderzoek
Utrecht Centre for Energy research

Varia Energetica

Erik Lysen

Laatste UCE uitgave ter gelegenheid van

het afscheid van de Universiteit Utrecht

op 14 september 2011

‘Thus the author... hopes and believes that the day is not far off when the Energy Problem will take the back seat where it belongs and that the arena of the heart and head will be occupied, or re-occupied, by our real problems – the problems of life and of human relations, of creation and behaviour and religion’.

Keynes: ‘Essays in Persuasion’, 1931
(waarin ‘Economy’ vervangen is door ‘Energy’, E.L.)

COLOFON

ISBN
978 90 6266 282 1

Uitgave
Universiteit Utrecht, 2011

Grafische verzorging
Margot Stoete - C&M - Faculteit Geowetenschappen - Universiteit Utrecht

Druk
Bergdrukkerij, Amersfoort

Inhoud

1. Inleiding 7

2. Structuur 13

3. Energievraag 14
   3.1 Huishoudens 14
   3.2 Nederland 14
   3.3 Verbruik van ICT 15
   3.4 Wereld 16

4. Energieaanbod 17
   4.1 Wereld 17
   4.2 Nederland 18
   4.3 Hernieuwbare bronnen in Nederland 19

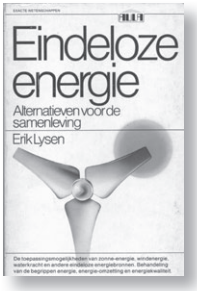
5. Hernieuwbare bronnen in de toekomst 22
   5.1 Nationaal Actieplan tot 2020 22
   5.2 McKay 23
   5.3 Eigen schattingen voor 2050 25

6. Co_2 emissie 27
   6.1 Huishoudens 27
   6.2 Nederland 28
   6.3 Wereld 28

Referenties 29

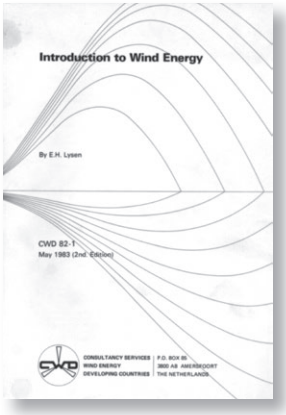
Bijlage A: Energie eenheden 31
Bijlage B: Conversie energie eenheden 32
Bijlage C: Zon als bron 33
Bijlage D: Lijst met websites 34

1. Inleiding



Tot mijn eigen verbazing word ik nog regelmatig getypeerd als schrijver van het Aula boekje 'Eindeloze Energie' [1]. Ik schreef het op uitnodiging van mijn oude energiementor, Kees Daey Ouwens, helaas te vroeg overleden in 2007. Het boekje was vooral bekend bij architecten, omdat het destijds in Delft bij de bouwkunde opleiding werd gebruikt. Zelfs nu wordt het boekje nog wel eens uit de kast gehaald, zo werd me verteld, vooral omdat er zulke handige getallen in de bijlagen staan.

Dat is in feite de belangrijkste reden om in dit afscheidsboekje een aantal tabellen en vuistregels op te nemen die ik in de loop der jaren in notitieboekjes en op losse vellen heb verzameld en zelf regelmatig gebruik om vragen te beantwoorden zoals: hoeveel CO_2 stoot een auto per jaar uit? Of: hoeveel kan zon-PV bijdragen in Nederland? Deze gegevens hebben bepaald niet de pretentie volledig te zijn, maar zijn een bonte verzameling van vaak geheel onnutte zaken, gekleurd door mijn eigen ervaring. Vandaar de titel: Varia Energetica, verwijzend naar de Trias Energetica, een term die ik in 1996 bedacht voor een Eurosun presentatie [2], en daarna een geheel eigen leven is gaan leiden, ook tot mijn verbazing.



Ook 'Introduction to Wind Energy' heeft zo'n onverwachte rol gespeeld. Ik schreef het in twee zomermaanden in 1981 op de hete campus van het Asian Institute of Technology in Bangkok, iedere week een hoofdstuk om de colleges van de week erop te kunnen geven [3]. Het was de bundeling van de windenergie kennis opgebouwd door vooral de Windenergiegroep aan de TH Eindhoven, geleid door mijn andere energiementor, Paul Smulders, die ook te vroeg is gegaan in 2009. Het boek is vooral in India veel gebruikt, en vertaald in het Frans, Portugees en zelfs Chinees, zo bleek me in 1987 bij het geven van een windenergie cursus in Beijing. Het was een van

de vele publicaties van SWD, Steering Committee Wind Energy Developing Countries. SWD, later CWD, werd in 1975 opgericht door TH Eindhoven, RU Groningen en TNO, is vooral gefinancierd door DGIS, en heeft een sleutelrol gespeeld bij het opleiden van een hele generatie windenergie experts in Nederland en het buitenland.

In de reflectieve periode ter voorbereiding van mijn afscheid realiseerde ik me weer eens hoezeer een paar mensen een sleutelrol hebben gespeeld bij de keuzes die ik gemaakt heb om in het energieveld te werken. Mijn afstudeerwerk in 1971 aan de TH Eindhoven, bij Jan Blom, was weliswaar op een energie-omzetter gericht (MHD), maar toch vooral interessant omdat ik een sterke robijnlaser in handen kreeg om mee te experimenteren. Het was Jannie Möller die me in 1973 introduceerde bij de werkgroep (kern)energie van Milieudefensie, waar Wim Turkenburg, Kees Daey Ouwens en Eric-Jan Tuininga me betrokken bij het maatschappelijke debat over energie. Zij waren ook lijdend voorwerp in het geruchtmakende NRC artikel '*Druk op vorsers na verzet kernenergie*' [4], waarna mijn eerste ingezonden brief werd geplaatst. Sinds Fukushima houdt Turkenburg zich tegenwoordig weer intensief met het onderwerp bezig. Zelf besloot ik, vooral na een matig voorbereide en dus desastreuze lezing over de risico's van de snelle kweekreactor in Kalkar, liever ergens vóór te zijn dan tegen, en richtte me op zonne- en windenergie. Roel van Duijn haalde me naar de energieadviesgroep van de gemeente Amsterdam en ik ben nog altijd blij dat ik hem overtuigd heb dat hij geen kleine windmolens op de Amsterdamse daken moest zetten, maar zonnecollectoren.

Bij Wim van Wilpe, een bijzondere autodidact, maakte ik in 1974 kennis met het concept van de lange termijn opslag, iets wat in mijn ogen de komende decaden een steeds belangrijker rol in de energievoorziening zal gaan spelen, zowel voor warmte als voor elektriciteit. Zijn ontwerp voor een autarkisch huis met een grote centrale waterzuil, THAASEB, is later in Duitsland gerealiseerd.
Pierre Leijendeckers, directeur Buro Van Heugten, ook uit de groep rond Van Wilpe, startte in 1975 onderzoek naar zonnecollectoren. In de weekenden deden we, samen met Bert Brouwer, op zijn garage testen met verbeterde collectoren, die leidden tot de eerste commerciële zonnecollector van Nederland (van Nijs en Vale).

THAASEB-gebouw van ontwerper Van Wilpe →

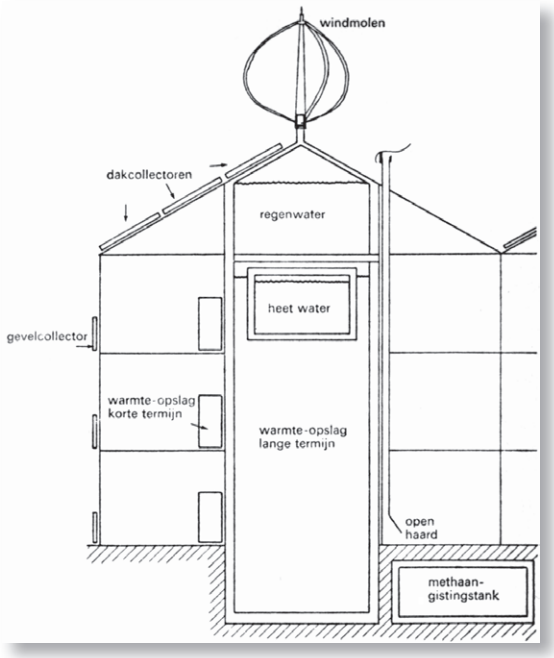
Mijn windenergie werk is te danken aan André Wegener Sleeswijk, uit de adviesgroep van Van Duijn, die me in 1975 uitnodigde om naar de RU Groningen te komen en de SWD windenergiegroep voor vertikale-as windmolens te leiden. Zijn brede interesse en kennis hebben me o.a. op het spoor van de dichter T.S. Eliot gezet, want hij kon zo prachtig citeren uit 'The Love Song of J. Alfred Prufrock'[5]:

'Let us go then, you and I,
When the evening is spread out against the sky
Like a patient etherized upon a table;

Of uit 'The Waste Land':

Madame Sosostris, famous clairvoyante,
Had a bad cold, nevertheless
Is known to be the wisest woman in Europe,
With a wicked pack of cards. ….

Mijn jongste zoon heeft er zijn voorletters aan te danken…



De liefde voor Azië is ontstaan in 1977, toen ik zes maanden lang het UN-ESCAP Roving Seminar on Rural Energy Development heb geleid (Thailand, Filippijnen, Iran en Indonesië), samen met mijn Indiase collega's P.K. Sen en H.S. Hanuman. De laatste heeft me veel over biogas digesters geleerd (ik kende het Nederlandse woord niet eens), maar ook over de Ramayana. Hanuman is daarin de leider van de witte apen, die een brug over het water vormden voor Rama om van India naar Lanka te kunnen gaan en zijn Sita te bevrijden.

In die tijd heb ik ook de boeken van Krishnamurti ontdekt [6]. Zijn Socratische aanpak en zijn nadruk op de eigen verantwoordelijkheid om altijd kritisch te blijven naar machthebbers en guru's, hebben mij sindsdien begeleid. Ook al gaan de ontwikkelingen in Azië voorlopig richting snelle en desastreuze economische groei, hoop ik toch dat vooral India zijn rol ooit hervindt als spiritueel leider van het continent.

In de jaren daarna zijn het ook steeds weer mensen geweest die cruciaal waren voor de overstap naar bijvoorbeeld het advieswerk bij DHV, het opzetten van mijn eigen bedrijf, de overgang naar NOVEM en tenslotte naar de Universiteit Utrecht.
Steeds is het mijn drijfveer en vaste overtuiging geweest dat de energie-voorziening vroeger of later moet overgaan naar hernieuwbare energiebronnen. Bij NOVEM kon ik het fraaie historische onderzoek naar duurzame energie initiëren dat Geert Verbong heeft uitgevoerd bij de groep van Harry Lintsen, onder de veelzeggende titel: '*Een Kwestie van Lange Adem*' [7].
De noodzaak om een lange adem te hebben geldt nog steeds voor de hernieuw-bare bronnen. Hoewel, ik ben er van overtuigd dat, als wij het inspirerende voorbeeld van de Duitse Einspeisegesetz begin jaren 90 hadden gevolgd, we ook in Nederland een bloeiende wind- en zonne-industrie hadden kunnen opbouwen en een veel groter aandeel hernieuwbare energie hadden dan de magere 4% van nu.

Maar gezien de recente studies in 2010 en 2011 [8], [9], [10], die aantonen dat een vrijwel 100% hernieuwbare energievoorziening echt realiseerbaar is tegen het midden van deze eeuw, zou het mij niet verbazen dat 2011 achteraf een scharnierpunt is geweest. Vandaar ook de titel van mijn afscheidsbijeenkomst -40 + 40 = 100% waarbij niet alleen teruggekeken wordt naar 40 jaar

energiewerk, maar ook 40 jaar vooruit wordt gekeken, op weg naar die 100% hernieuwbare energievoorziening. We zullen ongetwijfeld nog veel verrassingen tegenkomen. Dat geldt zowel voor innovaties, bijvoorbeeld bij opslagsystemen, misschien de ontdekking van onbekende energiebronnen, maar mogelijk ook voor grootschalige ontwrichting, zoals Paul Gilding in zijn recente boek beschrijft [11]. Hopelijk slagen we erin om de economische groei te beteugelen, zonder dat we er slechter van worden, zoals Tim Jackson aangeeft in zijn rapport *'Prosperity without growth'* [12].

Het is een voorrecht geweest om aan de Universiteit Utrecht leiding te hebben gegeven aan het UCE, het Utrecht Centrum voor Energieonderzoek, opgezet samen met Wim Turkenburg. We hebben een aantal mooie samenwerkingsverbanden kunnen smeden, met CATO natuurlijk als grootste project [13], en richtinggevende studies kunnen uitvoeren, zoals de WAB biomassa studie met Andre Faaij c.s. [14].

Mijn speciale dank gaat uit naar Sander van Egmond en Mirjam van Deutekom, later versterkt door Geertje Speelman, want zonder jullie drieën had het UCE niet zo succesvol kunnen draaien, en was het zeker niet zo leuk geweest op de UU te werken.

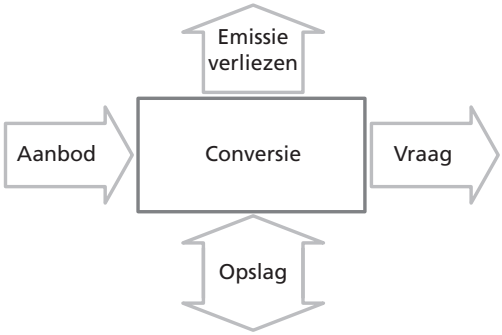
Het was ook een voorrecht en genoegen om samen met Klaas van Egmond en Bert de Vries het Utrecht Centrum voor Aarde en Duurzaamheid (UCAD) op te zetten, en ik zal onze intensieve discussies missen over alles wat zich aan de randen van de wetenschap bevindt. Het was een eer om met Herman Wijffels en Klaas mee te kunnen denken over duurzaamheid in brede zin, en in het bijzonder over de (on)duurzaamheid van ons financiële systeem.

UCE en UCAD zijn in juni 2011 samengesmolten tot het Utrecht Sustainability Institute (USI) en ik wens Jacqueline Cramer dan ook alle succes om dit tot een gezaghebbend instituut uit te bouwen, met energie als vitale schakel naar een werkelijk duurzame toekomst.

2. Structuur

Ingenieurs denken graag in stroomschema's, en 'zien' ook in machines of apparaten energiestromen in- en uitgaan. Op dezelfde manier als waarop (zo stel ik mij dat voor) mijn grote held Isambard Kingdom Brunel (1806-1859) dat deed voor de krachtenbalans op zijn bruggen, zoals de wonderschone Clifton Suspension Bridge in Bristol [15].

I. K. Brunel
Engineer



Aangezien alles staat of valt met de energievraag begin ik daar ook mee. Daarna het energieaanbod, met speciale nadruk op hernieuwbare bronnen, nu en in de toekomst. Tot slot nog enkele cijfers over CO_2 emissie. Conversie en opslag vallen hier buiten de boot, hoe belangrijk ook, er was simpelweg geen tijd meer voor. Zoveel mogelijk wordt alles omgerekend in joules, of veelvouden daarvan. De omrekeningen staan in de bijlagen, maar er is ook een nuttige 'app' daarvoor op de mobiele telefoon: Measures.

3. Energievraag

3.1 Huishoudens

Huishoudens verbruiken directe energie in hun huis en in de vervoermiddelen die de gezinsleden gebruiken. Daarnaast gebruiken ze indirect ook energie, die elders gebruikt is voor het maken van alle producten en diensten die ze kopen, vooral voor voedsel. Zoals Vringer en Blok hebben onderzocht [16] wordt er ongeveer evenveel indirecte energie verbruikt als directe energie.

Gemiddeld gezin	Verbruik		Energie	
Aardgas	*m³ gas/jr*	*MJ/m³*	*GJ*	
Verwarming	1100	31,65	34,8	
Warm water	450	31,65	14,2	
Koken	70	31,65	2,2	
Subtotaal aardgas	1620		**51,3**	
Elektriciteit	*kWh/jaar*	*MJ/kWh*	*GJ*	
Elektriciteit	3500	8,82	30,9	41% effic bij gebruiker
Subtotaal elektriciteit			**30,9**	
Vervoer	*km/jaar*	*MJ/liter*	*GJ*	
Auto	17400	32,2	37,5	0,067 l/km (1 op 15)
vliegtuig (2*2500 km/pp)	11500	37,6	16,2	15 l/km, 400 pl, vol
	km/jaar	kWh/km/pp	GJ	
trein (2*1000 km/pp)	4600	0,056	2,3	41% effic, 372 pl, vol
Subtotaal vervoer			**56,0**	
Totaal			**138,2**	**GJ/gezin**
Personen/gezin	2,3		60,1	GJ/pers.

Bronnen: MilieuCentraal, Compendium voor de Leefomgeving (PBL), Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie, en eigen schattingen voor vlieg- en treinafstanden.

3.2 Nederland

De energievraag van een land wordt meestal met *finale energievraag* aangeduid: het primaire energieaanbod minus omzettingsverliezen (vooral bij elektriciteitsopwekking), minus het gebruik van energiedragers als grondstof (bijv. olie voor de chemische industrie), en minus bunkers voor schepen en vliegtuigen. Het finale verbruik wordt gedomineerd door verwarmen en koelen:

Finaal verbruik (PJ/jr)	2005
Verwarmen en koelen	1.191
Elektriciteit	433
Transport	475
Andere toepassingen	162
Totaal	**2.261**

Bron: Nationaal Actieplan energie uit hernieuwbare bronnen (EZ, 2010)

Het elektriciteitsverbruik in Nederland bedroeg 109.736 TWh in 2009, en 109.351 TWh in 2010 (Bron: Energie-Nederland).

3.3 Verbruik van ICT

Voor een lezing bij het congres An Innovative Truth (juni 2011) heb ik de verbruikscijfers van ICT in Nederland geschat, op basis van Duitse cijfers [19]. Het blijken vooral de huishoudens te zijn die het leeuwendeel verbruiken, hoewel het verbruik van de servers en datacenters snel zal groeien.

Scahtting ICT in Nederland (GWh/jr)	2007	2010	2015	2020
Apparaten in huishoudens	6840	7313	8156	8468
Apparaten in bedrijfsleven	1413	1460	1417	1437
Servers en datacentra	1890	1981	2138	2553
Netwerk toegang en kern netwerk	1333	1301	1343	1356
Totaal	11477	12055	13055	13813
Elektriciteitsverbruik Nederland (TWh/jr)	118	123,6	131,5	135,9
Aandeel ICT	9,7%	9,8%	9,9%	10,2%

Voor Nederlandse huishoudens bedraagt het ICT verbruik al meer dan een kwart van het huishoudelijk verbruik (eigen schattingen):

Schatting ICT verbruik in huishoudens				
	watt	uren/dag	uren/jaar	kWh/jt
Router en WiFi	10	24	8760	88
PC	100	8	2920	292
TV	150	6	2190	329
Settop box	7	24	8760	61
VCR	10	24	8760	88
Opladers	5	24	8760	44
Totaal				**901**

3.4 Wereld

De Total Final Consumption, zoals het in de terminologie van de IEA heet, was in 2008: 8428 Mtoe, ofwel 352,9 EJ [20]

Final consumption 2008	Mtoe	EJ
Oil	3502	146,6
Gas	1313	55,0
Coal/peat	823	34,5
Combustible renewables	1070	44,8
Electricity	1446	60,5
Other	274	11,5
Totaal	**8428**	**352,9**

Bron: Key World Energy Statistics, IEA, 2011

Het elektriciteitsverbruik staat verderop in dezelfde publicatie, en is interessant omdat de bevolkingscijfers (in miljoenen) erbij vermeld staan:

Electricity consumption 2008	TWh	Population	kWh/cap
OECD	10097	1190	8485
Middle East	672	199	3377
fomer Sovjet-Union	1326	285	4653
Non-OECD-Europe	180	53	3396
China	3293	1333	2470
Asia	1570	2183	719
Latin-America	904	462	1957
Africa	562	984	571
Total	**18604**	**6689**	**2781**

Bron: Key World Energy Statistics, IEA, 2011

Overigens is er een verschil tussen beide tabellen want het totaal van 18604 TWh staat gelijk aan * 3,6/1000 = 67 EJ.

Qua elektriciteitsverbruik per hoofd van de bevolking springt IJsland eruit, met 49818 kWh/cap, Noorwegen met 24868 kWh/cap. De VS: 13647 kWh/cap en Nederland: 7229 kWh/cap.

4. Energieaanbod

4.1 Wereld

Primaire energie in 2008	Mtoe	EJ
Olie	4.041	169,2
Aardgas	2.608	109,2
Steenkool	3.416	143,0
Biomassa en afval	1.225	51,3
Waterkracht	276	11,6
Wind, geothermie, zon, etc	90	3,8
Kernenergie	712	29,8
Totaal	**12.369**	**517,9**

Bron: IEA Key World Energy Statistics, 2010

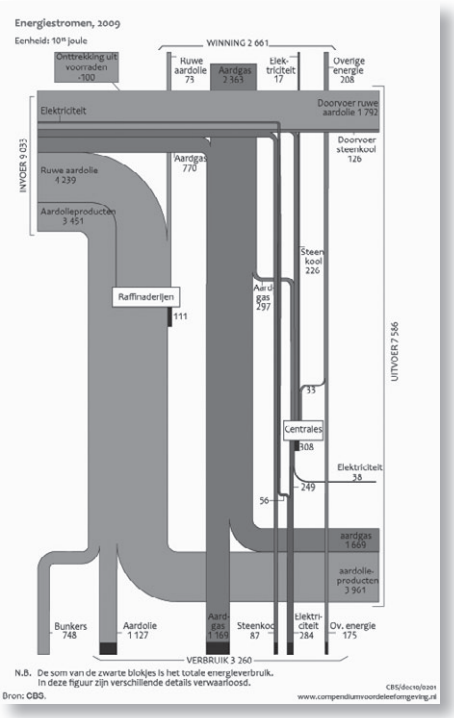
Bedenk dat de IEA voor kernenergie en geothermie de equivalente warmtestroom opneemt:

IEA rekenmethode	TWh	Mtoe	PJ
Waterkracht	1	0,086	3,6
Kernenergie	1	0,2606	10,9
Geothermie	1	0,86	36,0

Kernenergie produceert wel veel warmte, maar de totale elektriciteitsproductie is ongeveer gelijk aan die van waterkracht, zelfs iets minder:

Bronnen elektriciteit in 2008	TWh	%
Steenkool	8.263	41
Aardgas	4.301	21
Olie	1.111	6
Waterkracht	3.208	16
Wind, geo-, bio-, zon, etc	565	3
Kernenergie	2.733	14
Totaal	**20.181**	**100**

4.2 Nederland



Uit het stroomschema blijkt duidelijk dat Nederland een doorvoerland van energie is, met name van aardolie en aardolieproducten. Het binnenlands primaire energieverbruik in 2009 bedroeg 3260 PJ.

Energiedragers 2009	PJ	%
Steenkool	313	10
Aardolie	1238	38
Aardgas	1466	45
Elektriciteit	35	1
Stoom uit kernenergie	41	1
Overige energie	167	5
Totaal	**3260**	**100**

Bron: CBS (NB: getallen wijken af van figuur)

Bovenop dit totaal kwamen nog 748 PJ voor de bunkers: 601 PJ voor de scheepvaart en 147 PJ voor de luchtvaart. Samen dus 4008 PJ.

Verbruik per sector 2009	PJ	%
Energiebedrijven	470	14
Industrie	1323	41
Huishoudens	425	13
Verkeer en vervoer	489	15
Overige energie-afnemers	553	17
Totaal	**3260**	**100**

4.3 Hernieuwbare bronnen in Nederland

Bijdrage hernieuwbare energiebronnen in 2008 (TJ)			
Biomassa		**70.122**	62,2%
Meestoken in centrales	19.692		
Afvalverbranding	13.051		
Houtkachels huishoudens	5.464		
Houtkachels bedrijven	2.508		
Overige biomassaverbranding	9.125		
Biogas	8.234		
Biobrandstoffen wegverkeer	12.048		
Wind		**35.094**	31,1%
Wind op land	30.184		
Wind op zee	4.910		
Zon		**6.632**	5,9%
Zonnestroom	330		
Zonnewarmte	859		
Warmtepompen	4.622		
Warmte/koude opslag	821		
Water		**840**	0,7%
Waterkracht	840		
Totaal	**112.688**	**112.688**	**100%**
Verbruik in Nederland	**3.330.000**	**TJ**	
Aandeel hernieuwbaar	3,4%		

De bijdrage van de hernieuwbare bronnen is hierbij berekend volgens de substitutiemethode, d.w.z. 1 kWh windenergie vervangt niet 3,6 MJ fossiele brandstof, maar 3,6 gedeeld door het gemiddelde rendement van elektriciteitsopwekking. De methodiek is uitgebreid beschreven in het Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie [21]. En het betreffende rendement bedroeg

in 2008 43,7% (door netverliezen daalt het tot 40,8 % bij de gebruiker). Dus 1 kWh wind (of zon) vervangt 8,24 MJ (8,82 MJ bij gebruiker) aan fossiele energie.

Aangezien de hernieuwbare bronnen relatief veel elektriciteit produceren is de procentuele bijdrage in de elektriciteitsproductie hoger:

Bron elektriciteit 2008	Productie (GWh)
Centrale productie	64.793
Decentrale productie joint ventures	13.882
Decentrale productie distributiebedrijven	2.367
Biomassa	4.543
Wind	4.244
Zon	40
Water	103
Decentrale productie overig	13.403
Invoersaldo	15.851
Totaal	**119.225**
Hernieuwbare bronnen 2008	**8.929**
Aandeel in elektriciteitsproductie	**7,49%**

In het jaar 2009 is de bijdrage van hernieuwbare elektriciteit verder gestegen:

Productie van hernieuwbare elektriciteit in Nederland 2009	GWh	%
Windenergie	4.578	45,7
Meestoken biomassa in centrales	2.422	24,2
Afvalverbrandingsinstallaties	1.147	11,5
Overige biomassaverbranding	896	9,0
Biogas	822	8,2
Waterkracht	98	1,0
Zonne-energie	46	0,5
Totaal	**10.009**	**100**
Totaal elektriciteitsverbruik in 2099	112,561	
Aandeel hernieuwbare elektriciteit	**8,9%**	

Delen van de energieproductie door de opgestelde vermogens aan wind, zon of waterkracht, levert het equivalent aantal bedrijfsuren van de bronnen. Uit de

volgende tabel blijkt duidelijk dat windturbines op zee de meeste uren maken, gevolgd door de waterkracht centrales.

Opgestelde capaciteit wind, water en zon (2009)				
	MW	aantal	GWh	Uren (eq.)
Wind op land	1993	1873	3843	1.928
Wind op zee	228	96	735	3.224
Waterkracht	37	3	98	2.649
Zon-PV	68	???	46	676

Conclusie: DE ENE MEGAWATT IS DE ANDERE NIET

Bedenk hierbij dat dit gemiddelden zijn van het jaar 2009. De opbrengsten van de nieuwste zon-PV systemen liggen boven de 800 kWh/kW (dus 800 equivalente vollast uren), de windturbines op land veelal boven de 2200 kWh/kW. Er is een tendens bij windturbines om grotere wieken te kiezen bij dezelfde generatorvermogens, zodat het aantal vollast uren toeneemt (zie [3] voor de uitleg).

5. Hernieuwbare bronnen in de toekomst

5.1 Nationaal Actieplan tot 2020

In het 'Nationaal Actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen' (EZ, 2010), door Nederland in 2010 ingediend in Brussel, is het pad uitgestippeld om tot een hernieuwbare bijdrage van 14% te komen in 2020. Volgens de richtlijnen is dit een percentage van het finale verbruik. Het *finale* verbruik wordt in het rapport geraamd op:

Finaal verbruik (PJ/jr)	2005	2010	2015	2020
Verwarmen en koelen	1.191	1.030	1.031	1.046
Elektriciteit	433	445	469	489
Transport	475	490	478	445
Andere toepassingen	162	170	186	200
Totaal	**2.261**	**2.136**	**2.164**	**2.181**

Aangezien er relatief veel elektriciteit hernieuwbaar wordt opgewekt is het hernieuwbare percentage in de elektriciteitsvoorziening veel hoger: 37%.

Bron in %	2005	2010	2015	2020
Waterkracht	0,1	0,1	0,2	0,5
PV	0,0	0,1	0,2	0,4
Wind op land	1,7	3,0	7,3	9,8
Wind op zee	0,0	0,6	3,2	14,0
Biomassa vast	4,0	4,1	8,6	8,8
Biomassa gas	0,2	0,7	1,7	3,4
Totaal H.E. (%)	**6,0**	**8,6**	**21,0**	**37,0**
Totaal Elektriciteit (GWh)	**120.336**	**123.592**	**130.372**	**135.850**
wind totaal (%)	*1,7*	*3,6*	*10,5*	*23,9*

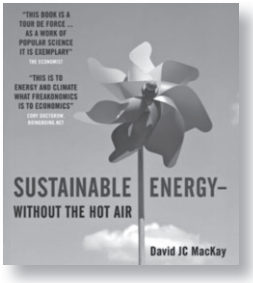
Opvallend is de grote bijdrage van wind hierin: bijna 24% van alle elektriciteit zou in 2020 uit wind moeten komen. Dit kan natuurlijk alleen als benodigde windturbines ook gebouwd worden. In het rapport staat daarvoor maar liefst 6000 MW op land en 5178 MW op zee gepland. Het is natuurlijk zeer twijfelachtig of dit daadwerkelijk gerealiseerd gaat worden, zeker met het huidige

beleid in Den Haag. De verwachting is daarom dat er sterker op biomassa zal worden ingezet om toch de verplichte 14% te halen.

5.2 McKay

In zijn populaire boek 'Sustainable Energy – without the hot air' heeft David McKay een zeer leesbare en informatieve analyse gemaakt van de (on) mogelijkheden van hernieuwbare energiebronnen [17]. Het is gericht op het Verenigd Koninkrijk, daarom moet de eenheid die hij gebruikt (kWh per persoon per dag, een vermogen dus) voor de omrekening naar Nederlandse energiecijfers gecorrigeerd worden voor het bevolkingsaantal

Omrekeningsfactoren à la 'McKay'			
	Inwoners NL	16,575	miljoen
1	TWh/jaar NL	0,1653	kWh/p/dag
1	PJ/jaar NL	0,0459	kWh/p/dag
1	kWh/p/dag	690,6	MW in NL
1	kWh/p/dag	6,05	TWh/jr in NL
1	kWh/p/dag	21,78	PJ/jr in NL
1	kWh/p/dag	41,67	W/p
1	kWh/p/dag	1,314	GJ/jaar/p



Zijn opbouw van de consumptiesectoren wijkt af van ons finaal verbruik, omdat hij bijvoorbeeld vliegreizen wel meeneemt (1 trip/jaar van 2*10.000 km, met een 747 die 80% vol zit: 30 kWh/p/d) en ook de energiekosten om 'stuff' te maken en transporteren, ook als dat in andere landen gebeurt.

Consumption UK (McKay)	kWh/p/day
Car	40
Jet flights	30
Heating/cooling	37
Light	4
Gadgets	5
Food, farming fertilizer	15
Stuff	48
Transporting stuff	12
'Defence'	4
Total	**195**

Zijn totaal is daarom veel hoger dan het primaire energie-verbruik in UK: 125 kWh/p/day. Het Nederlandse primaire energieverbruik in 2009 was 3260 PJ * 0,0459 = 150 kWh/p/dag. TU Delft en KIVI – NIRIA [18] rekenen ook de 748 PJ van de bunkers mee, en met 4008 PJ in 2009 wordt het equivalente verbruik dan 185 kWh/p/dag. Dat is ook de basis van de recente artikelenserie van Van Baal in het Technisch Weekblad 'Kunnen we overschakelen op duurzame energie?'

Problematisch vind ik daarin de keuze om die 185 kWh/p/d uit 2009 als uitgangspunt van de analyse voor de duurzame energie mogelijkheden van Nederland in de verre toekomst, zeg 2050, te nemen, want dat doet McKay ook niet met zijn getal. McKay maakt een zorgvuldige analyse van het verbruik en de efficiency verbeteringen (blz 204), en komt dan uit op 70 kWh/p/d. Daar zit weinig industrie in, dus het lijkt hem beter om voor Europa de waarde van Hong Kong te hanteren: 80 kWh/p/d. Voor Nederland komt dat overeen met 1734 PJ.

Dat laatste getal komt aardig overeen met één van de scenario's die Bert de Vries en ik eind 2010 jaar hebben geanalyseerd bij het UCAD voor de mogelijke bijdrage van hernieuwbare energie in 2050 [23]. Herman Wijffels heeft het resultaat op 7 december 2010 gepresenteerd in Den Haag, bij het aanbieden van ruim 40.000 handtekeningen aan de Tweede Kamer, in het kader van het initiatief Nederland Krijgt Nieuwe Energie, van de duurzaamheidgroepen van de politieke partijen.
De lijn die we in het UCAD rapport volgden was om (a) uit te gaan van de finale energievraag en niet van de primaire energievraag en (b) de zgn BEEN scenario's voor 2030 en 2050 te hanteren. Welnu, de BEEN scenario's komen voor 2050 uit op een vraag van 1688 PJ resp. 2446 PJ, dus 78 resp. 113 kWh/p/d. We argumenteren dat in 2050 tenminste tweederde hiervan uit hernieuwbare bronnen kan worden opgewekt.
Ook de getallen uit het Nationaal Actieplan komen op dezelfde grootteorde uit. De geschatte 2181 PJ/jr voor 2020, komt overeen met 100,6 kWh/p/d.

Mijn voorstel is daarom om een realistischer toekomstige referentiewaarde te hanteren: **100 kWh/p/d**, het gemiddelde van beide BEEN scenario's, gelijk aan het Nederlandse doel voor 2020 en met meer ruimte voor industrie dan het Europese gemiddelde dat McKay hanteert.

5.3 Eigen schattingen voor 2050

Voor het UCAD rapport over de mogelijke bijdrage van hernieuwbare energie in 2050 [23] heb ik volgende schattingen gemaakt voor de praktische bijdrage van hernieuwbare energiebronnen in 2050.

Praktisch potentieel H.E. in 2050 (elektriciteit)				
Bron	**Vermogen**	**Uren**	**Productie**	
	MW	MWh/MW	TWh/jr	PJe/jr
Wind onshore	5.000	2.200	11,0	39,6
Wind offshore	25.000	3.100	77,5	279,0
Zon PV	15.000	900	13,5	48,6
Waterkracht	100	4.500	0,5	1,6
Blauwe energie	250	4.500	1,1	4,1
Biomassa	3.000	6.000	18,0	64,8
Subtotaal Nederland			**121,6**	**437,7**
Import CSP	3.000	3.000	9,0	32,4
Import wind/zon PV			10,0	36,0
Import waterkracht			10,0	36,0
Subtotaal import			**29,0**	**101,4**
Totaal elektriciteit			**150,6**	**542,1**

Praktisch potentieel H.E. in 2050 (warmte)				
Bron				**PJe/jr**
Zonneboilers				50
Warmte/koude opslag				150
Biomassa NL (afval)				140
Import biomassa				100
Geothermie				25
Totaal warmte (lage en hoge temperaturen)				**465**

Praktisch potentieel H.E. in 2050 (brandstoffen)					
Bron	**MW**	**MWh/MW**	**TWh/jr**	**PJe/jr**	**PJth/jr**
Biomassa					400,0
Wind voor waterstof	25.000	3.100	77,5	279,0	167,4
Zon PV voor waterstof	25.000	900	22,5	81,0	48,6
Totaal brandstoffen					**616**

De vermogens aan zon en wind komen hier aan de grenzen van wat er in het net kan worden opgenomen, inclusief toekomstige interconnectoren naar het buitenland. Daarom is een aanzienlijk deel van de capaciteit ingezet voor de productie van (bijvoorbeeld) waterstof, met een rendement van 60%.

Tezamen is dit een potentieel van 1623 PJ/jaar, 74,5 kWh/p/d in McKay eenheden. Uitgaande van de eerder geschatte toekomstige vraag van 100 kWh/p/d zou de hernieuwbare bijdrage dus tenminste 75% moeten kunnen zijn.

Het theoretische potentieel van de bijdrage van de hernieuwbare bronnen ligt overigens hoger. Voor elektriciteit bijvoorbeeld:

Theoretisch potentieel in 2050 (elektriciteit)				
Bron	**Vermogen**	**Uren**	**Productie**	
	MW	MWh/MW	TWh/jr	PJe/jr
Wind onshore	6.000	2.200	13,2	47,5
Wind offshore	55.000	3.100	170,5	613,8
Zon PV	100.000	900	90,0	324,0
Import CSP	6.000	3.000	18,0	64,8
Waterkracht	100	4.500	0,5	1,6
Blauwe energie	1.500	4.500	6,8	24,3
Biomassa	3.000	6.000	18,0	64,8
Geothermie	1.000	6.000	6,0	21,6
Totaal			**323**	**1.162**

6. Co_2 emissie

6.1 Huishoudens

Met cijfers van de energietabel in 3.1 kan de CO_2 emissie van een gemiddeld huishouden berekend worden:

Gemiddeld gezin	Verbruik	Energie		Emissie
Aardgas	*m^3 gas/jr*	*GJ*	*kg CO_2/GJ*	*kg CO_2*
Verwarming	1100	34,8	56,7	1974
Warm water	450	14,2	56,7	808
Koken	70	2,2	56,7	126
Subtotaal aardgas	1620	**51,3**		**2907**
Elektriciteit	*kWh/jaar*	*GJ*	*kg CO_2/kWh*	
Elektriciteit	3500	30,9	0,608	2128
Subtotaal elektriciteit		**30,9**		**2128**
Vervoer	*km/jaar*	*GJ*	*kg CO_2/GJ*	
Auto	17400	37,5	72	2703
vliegtuig (2*2500 km/pp)	11500	16,2	71,5	1159
	km/jaar	*GJ*	*kg CO_2/kWh*	
trein (2*1000 km/pp)	4600	2,3	0,608	158
Subtotaal vervoer		**56,0**		**4020**
Totaal		**138,2**		**9055**
Personen/gezin	2,3	60,1		3937

Bron CO_2 cijfers: Protocol Momitoring Hernieuwbare Energie [23]

NB: bij de emissie van vliegtuigen wordt, om het schadelijke effect van emissie op grote hoogte in rekening te brengen, de hierboven berekende feitelijke CO_2 emissie meestal met een factor 2 en soms 3 vermenigvuldigd (zie www.atmosfair.de). Daarmee wordt vervoer de belangrijkste emissiebron van huishoudens.

Voor de auto is met een verbruik van 1:15 een gemiddelde emissie van 155 gram CO_2/km te berekenen.

6.2 Nederland

De totale Nederlandse CO_2 emissie was 182 Mton in 2010 (Compendium voor de Leefomgeving, PBL). Delen door de 7.386.144 huishoudens (CBS) die Nederland eind 2010 telde, geeft 24,6 ton/huishouden. En per inwoner (delen door 16,575 miljoen, CBS): 11 ton/inwoner.

6.3 Wereld

De IEA berekent de wereldemissie van CO_2 door de verbranding van fossiele brandstoffen op 29381 miljoen ton CO_2. Bij het optellen van hun regionale data in [20] kom ik tot 28348 miljoen ton, maar dat terzijde.

CO_2 emission 2008	Mt CO_2	Population	t CO_2/cap
OECD	12630	1190	10,61
Middle East	1492	199	7,50
fomer Sovjet-Union	2426	285	8,51
Non-OECD-Europe	269	53	5,08
China	6550	1333	4,91
Asia	3023	2183	1,38
Latin-America	1068	462	2,31
Africa	890	984	0,90
Total	**28348**	**6689**	**4,24**

In het Compendium voor de Leefomgeving geeft PBL aan dat de CO_2 emissie van de wereld bijna 33 miljard ton bedroeg in 2010, door het gebruik van fossiele brandstoffen en cementproductie. Opvallend is de grote emissie van China.

CO_2 emissie 2010	Mt CO_2
Industrielanden (Annex I)	14.198
China	8.950
Overige ontwikkelingslanden	8.803
Internationaal transport	1.031
Totaal	**32.982**

Referenties

[1] Lysen, E.H., *Eindeloze Energie*, Aula 600, Het Spectrum, 1977

[2] Lysen E.H., *The Trias Energica: Solar Energy Strategies for Developing Countries*, Eurosun Conference, Freiburg, 16-19 Sept 1996.

[3] Lysen, E.H., *Introduction to Wind Energy*, Steering Committee Windenergy Developing Countries, Amersfoort, August 1982

[4] '*Druk op vorsers na verzet kernenergie*', NRC Handelsblad, 13 maart 1974

[5] Eliot, T.S., Collected Poems, 1909-1962. Faber and Faber Ltd, London, 1974

[6] Krishnamurti, J. 'Think on these Things', Harper & Row, New York, 1970.

[7] Verbong, G, Van Selm, A., Knoppers, R., Raven, R. '*Een Kwestie van Lange Adem,* De geschiedenis van duurzame energie in Nederland', Aeneas, Boxtel, 2001.

[8] '*Roadmap 2050,* Practical guide to a prosperous low-carbon Europe', European Climate Foundation, April 2010

[9] '*100% renewable electricity*: a roadmap to 2050 for Europe and North Africa', Price Waterhouse Coopers, March 2010.*e*

[10] *The Energy Report*, a fully sustainable and renewable global energy system is possible by 2050, World Wildlife Foundation & Ecofys, February 2011

[11] Gilding, P. *'The Great Disruption'*: How the climate crisis will transform the global economy', Bloomsbury, London, 2011

[12] Jackson. T. '*Prosperity without growth?*: The transition to a sustainable economy', Sustainable Development Commission, London, March 2009.

[13] '*Catching carbon to clear the skies*: Experiences and highlights of the Dutch R&D program on CCS', CATO programme (www.co2-cato-.nl), Utrecht, April 2009.

[14] Dornburg, V. Faaij, A. et al, (Lysen, E. ed.), '*Biomass Assessment*: Assessment of global biomass potentials and their links to food, water, biodiversity, energy demand and economy', Netherlands research programme on scientific assessment and policy analysis for climate change (WAB), Bilthoven, January 2008

[15] Pugsley, A. (ed.) '*The Works of Isambard Kingdom Brunel:* An Engineering Appreciation', Cambridge University Press, 1976.

[16] Vringer, K., Blok, K. '*Long term trends in direct and indirect household energy intensities*: a factor in dematerialization?'. Energy Policy, 28 (2000) 713-727

[17] McKay, D.J.C., '*Sustainable Energy – without the hot air*', UIT Cambridge, 2009
[18] Hellinga, C., *De Energievoorziening van Nederland*: Vandaag (en morgen?), TU Delft en KIVI-NIRIA, Arnhem, 6 oktober 2010
[19] Fraunhofer IZM, Estimated Energy Requirements as the Information Society Develops Further, 2009
[20] Key World Energy Statistics 2010, International Energy Agency, Paris, 2011.
[21] Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie, Update 2010, Agentschap NL, mei 2010
[22] Nationaal Actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen, Min. EZ, 2010
[23] De Vries, B., Lysen, E., Wijffels, H., Van Egmond N.D. '*Duurzame energievoorziening in 2050, met de kennis van nu*', Hernieuwbare energie in drie bedrijven. UCAD, Utrecht, 7 december 2010

Bijlage A: Energie eenheden

In het MKSA stelsel (meter, kilogram, seconde, Ampère) is de **joule** (J) de energie eenheid. Equivalente uitdrukkingen voor de joule zijn:

$1 J = 1 kg.m^2/s^2 = 1 N.m = 1 W.s$

Een joule is een betrekkelijke kleine hoeveelheid energie, daarom worden meestal grotere eenheden gebruikt zoals de kilojoule (kJ) of de megajoule (MJ). In de energievoorziening van een land gaat het om petajoules, en de wereldenergievorziening wordt meestal in exajoules uitegdrukt.
In voedseltabellen vervangt de kilojoule de vroeger gebruikte kilocalorie, onjuist vaak Calorie genoemd (1 kcal = 4.19 kJ).

Veelvouden en fracties worden in het metrieke stelsel met de volgende voorvoegsels aangeduid:
(NB: 10^3 = 10 tot de macht 3 = 10 * 10 * 10 = 1000)

Veelvouden		
E	exa	10^{18}
P	peta	10^{15}
T	tera	10^{12}
G	giga	10^{9}
M	mega	10^{6}
k	kilo	10^{3}
h	hecto	10^{2}
da	deca	10

Fracties		
d	deci	10^{-1}
c	centi	10^{-2}
m	milli	10^{-3}
µ	micro	10^{-6}
n	nano	10^{-9}
p	pico	10^{-12}
f	femto	10^{-15}
a	atto	10^{-18}

Bijlage B: Conversie energie eenheden

In de literatuur treft men soms nog exotische eenheden aan, en voor energie rekent de IEA bijvoorbeeld nog steeds in Toe (Tonnen Oil Equivalent). De conversiefactoren staan hieronder.

Energie	MJ	kWh	kcal	Btu	Toe
1 MJ =	1	0,2780	238,8	947,9	2,388E-05
1 kWh =	3.6	1	859,8	3412,1	8,598E-02
1 kcal =	4,187E-03	1,163E-03	1	3968,3	1,000E-07
1 Btu =	1,055E-03	2,931E-04	2,520E-04	1	2,520E-08
1 Toe =	41868	11,63	1,000E+07	3,968E+07	1

Vermogen = Energie per Seconde (watt = joule/sec)

Vermogen	watt	cal/sec	pk	kWh/dag
1 watt =	1	0,2388	1,360E-03	0,0240
1 cal/sec =	4,1868	1	5,692E-03	0,1005
1 pk =	735,50	175,67	1	17,652
1 kWh/d =	41,667	9,952	0,0567	1

Ook de kWh/dag van McKay is toegevoegd.

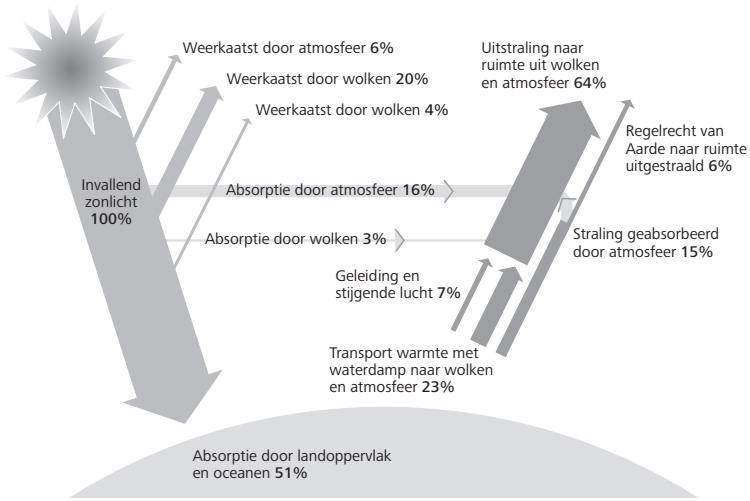
Regelmatig zoek ik naar de omrekening van watturen naar joules, vandaar onderstaande tabel:

1 kWh =	3,6	MJ
1 MWh =	3,6	GJ
1 GWh =	3,6	TJ
1 TWh =	3,6	PJ

Bijlage C: Zon als bron

Zonne-energie, windenergie, waterkracht, biomassa-energie zijn allen afkomstig van zonnestraling.
Aardwarmte en getijden energie zijn niet gebaseerd op zonne-energie. Aardwarmte is afkomstig van radio-actief verval op 20-40 km diepte en getijden-energie wordt opgewekt door de aantrekking tussen aarde en maan.

Het vermogen van de zon bedraagt: $3{,}8 \star 10^{26}$ W. Dit enorme vermogen wordt opgewekt door de voortdurende fusie van waterstofatomen tot helium. Dit is het pure voorbeeld van Einstein's beroemde formule $E=mc^2$, want alleen door massa te verliezen kan de zon dit vermogen uitstralen. Het massaverlies bedraagt: $4{,}2 \star 10^9$ kg/sec, ofwel ruim vier miljoen ton per seconde.



Op het aardoppervlak blijft er een 'fractie' van $8 \star 10^{16}$ W over van alle zonnestraling. Uitgespreid over het totale aardoppervlak van $5 \star 10^{14}$ m^2 resulteert een gemiddelde stralingsdichtheid van 160 W/m^2.

Per uur arriveert er 293 EJ op het aardoppervlak, dus in twee uur meer dan het volledige jaarlijkse wereldenergieverbruik.

Bijlage D: Lijst met websites

www.cbs.nl

www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

www.energie.nl (en http://monitweb.energie.nl/)

www.milieucentraal.nl

www.windenergie-nieuws.nl

www.dekoepel.org

www.e-lokaal.com (en: www.e-decentraal.com)

www.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/

www.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens/

www.tennet.org/english/operational_management/export_data.aspx

www.energie-nederland.nl

www.iea.org

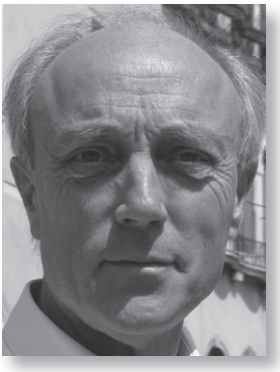
www.ieanederland.nl

www.iea-pvps.org

www.bp.com/statisticalreview

www.ree.es/ingles/operacion/curvas_demanda.asp
(online windvermogen in Spanje)

Aantekeningen

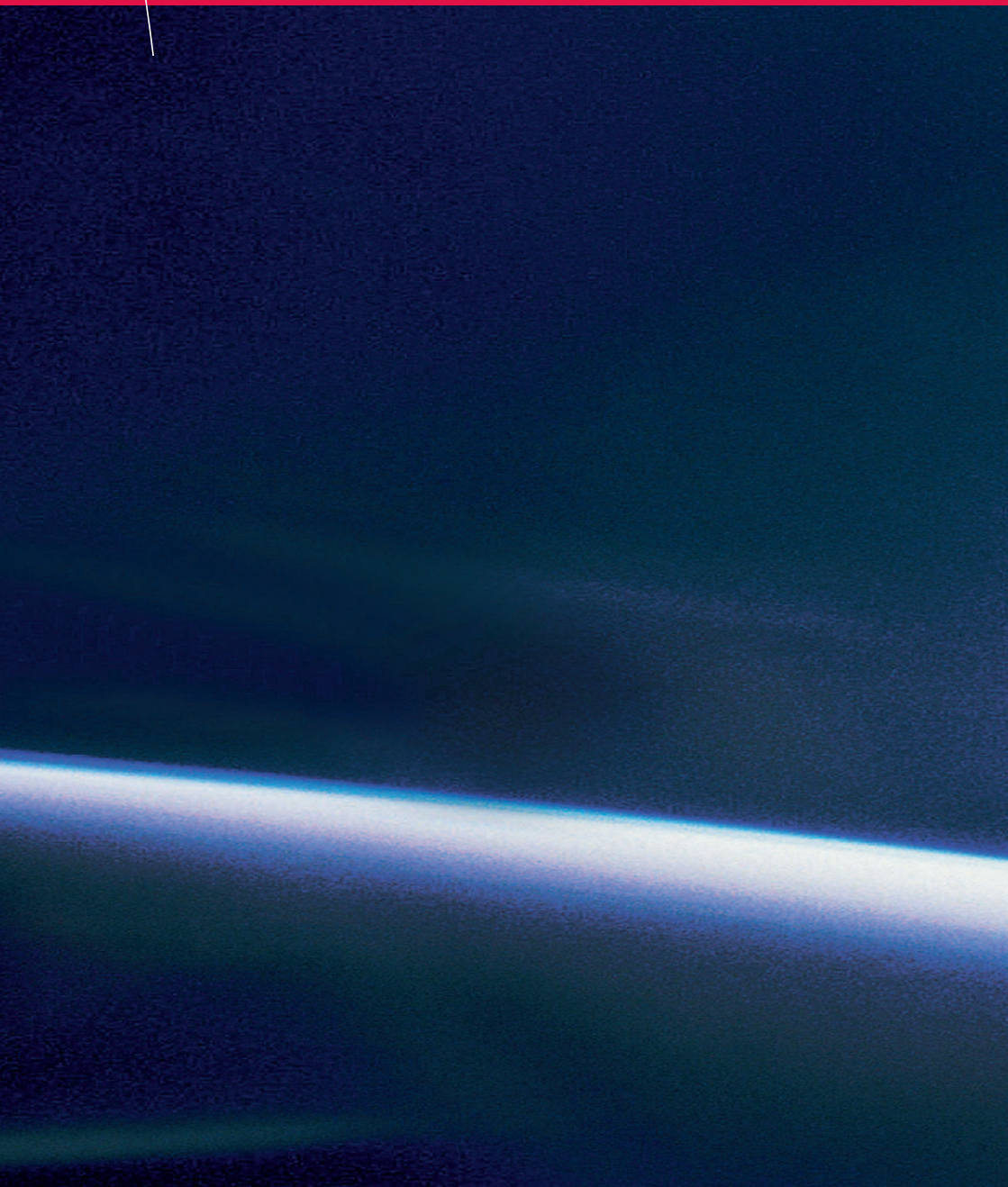


Vanaf 15 september 2011:

Lysen Raadgevend Ingenieursbureau
Lysen Consulting Engineer

E-mail: erik.lysen@ gmail.com
Mobiel: +31 6 53 35 91 31

'Energy is eternal delight'

William Blake, '*The Marriage of Heaven and Hell'*, 1793

Universiteit Utrecht