

zie ook: www.energiefeiten.nl

Een relativerend verhaal over **ENERGIE**

"Grote getallen zeggen niets, verhoudingen wel"

Inhoud	blz.
Inleiding - - - - -	3
Enkele definities en fundamentele wetten - -	4
Het primaire energieverbruik van een huishouden -	7
Groene energie - - - - -	7
Zonne-energie - - - - -	8
Windenergie - - - - -	10
Opslag van zonne- en windenergie - - -	11
Waterkracht - - - - -	11
Geothermische energie - - - - -	11
Getijdencentrale - - - - -	12
Biomassa - - - - -	12
Smart grid - - - - -	12
Warmte-kracht koppeling - - - - -	13
Warmtepomp - - - - -	13
Batterijen en accu's - - - - -	14
Lopen en fietsen - - - - -	15
Elektrische fiets - - - - -	16
Elektrische treinen - - - - -	17
Vliegtuig - - - - -	18
De elektrische auto - - - - -	19
De hybride auto - - - - -	21
De brandstofcel auto - - - - -	22
De Waterstof Economie - - - - -	23
Kernfusie - - - - -	24
Kernenergie - - - - -	25

Enkele feiten, berekeningen en wetenswaardigheden

Het energieverbruik in Nederland	-	-	-	27
Het massa-energie equivalent	-	-	-	27
Massa en gewicht	-	-	-	27
De Zon	-	-	-	27
Windenergie	-	-	-	28
Vergelijking van zonne- en windenergie	-	-	-	28
Brandstoffen en CO2	-	-	-	29
Het broeikaseffect	-	-	-	29
Het stikstofprobleem	-	-	-	29
Lichtbronnen	-	-	-	30
Vliegtuigen	-	-	-	30
Fietsen	-	-	-	31
Elektrische fietsen	-	-	-	32
De STEG centrale	-	-	-	33
Kerncentrales	-	-	-	33
Vergelijking aantal centrales, nodig voor Nederland	-	-	-	34
Elektrische auto's	-	-	-	34
Elektrische auto met zonnecellen	-	-	-	36
De plug-in hybride auto	-	-	-	36
De CO2-uitstoot bij verschillende soorten auto's	-	-	-	37
Vergelijking vervoermiddelen	-	-	-	38
World Solar Challenge	-	-	-	38
Shell eco-marathon	-	-	-	38
Biobrandstof	-	-	-	38
Een paar wetenswaardigheden	-	-	-	40
Enkele eenheden	-	-	-	41
Verdeling van primaire energie, wereldwijd	--	-	-	42
Vrije energie	-	-	-	43
Opslag van energie	-	-	-	44
Energiebesparing	-	-	-	44
Het energieneutrale huis	-	-	-	45
Warmtetransport	-	-	-	45
Hoe zal het nu verder met de energie gaan?	-	-	-	46
Watervoorbeeld	-	-	-	47
Energie en arbeid	-	-	-	48
Het Energieakkoord	-	-	-	48
Het Klimaatakkoord	-	-	-	49
Duurzame energie – een nuchter verhaal	-	-	-	50

Inleiding

De meest effectieve milieumaatregel

Het energieverbruik en de daarmee gepaard gaande milieuvervuiling is evenredig met het aantal mensen op aarde. De meest effectieve milieumaatregel is dus: **geen verdere toename van de wereldbevolking**. Dat lukt (op termijn) alleen als de reproductiefactor niet groter is dan **1**. Dus niet meer dan **2 kinderen** per echtpaar.

Citaat uit het partijprogramma 2002 van "De Groenen"

Een hevige bedreiging voor het leven op aarde is de tomeloos groeiende bevolkingsomvang. Nog steeds is sprake van een explosieve groei van de wereldbevolking. Zo wordt India binnenkort net als China een land met meer dan een miljard inwoners. (in 2010 had India al 1,2 miljard inwoners). Vervuiling van het milieu is direct gerelateerd aan de bevolkingsaanwas. Meer mensen zorgen voor meer afval, hebben meer voedsel nodig, verbruiken meer grondstoffen, hebben meer ruzie, hebben minder leefruimte, krijgen minder aandacht en hebben meer geld nodig.

De conclusie is helder: **geboortebeperking is noodzaak**. Gebeurt dat niet, dan eindigen wij allen als de bacteriën op een beperkte voedingsbodem. Na ongebreidelde groei volgt ongekende sterfte.

Overzicht van de bevolkingsaanwas (afgerond)

	1960	2000	2050
Nederland	11 miljoen	16 miljoen	17 miljoen
Wereldbevolking	3 miljard	6 miljard	9 miljard

In 2011 werd de 7 miljardste aardebewoner geboren

- als we dit aantal mensen zouden tellen met een snelheid van 1 per seconde, dan heeft men daar **222 jaar** voor nodig
- 7 miljard mensen is een kolonne van 175 mensen breed en een lengte gelijk aan de aardomtrek (bij een onderlinge afstand van 1 meter tussen de rijen)

(hoezo, overbevolking?)

In de afgelopen 6 jaar is de wereldbevolking met een half miljard toegenomen

Daar helpt geen enkele milieumaatregel tegen

Enkele definities en fundamentele wetten

Vermogen

$$\text{vermogen} = \text{energie} / \text{tijd}$$

- vermogen is een maat voor de **snelheid** waarmee energie **kan** worden geleverd of gebruikt
- vermogen is een **eigenschap**
- vermogen laat zien wat er (maximaal) **mogelijk** is
- een veel gebruikte eenheid voor vermogen is **kilowatt**

$$\begin{aligned} 1 \text{ watt} &= 1 \text{ joule} / \text{seconde} \\ 1 \text{ kilowatt} &= 1 \text{ kilojoule} / \text{seconde} \\ 1 \text{ kilowatt} &= 3600 \text{ kilojoule} / \text{uur} \end{aligned}$$

voorbeeld

het **vermogen** van een automotor is 70 **kilowatt** (ook als de auto stil staat)

Energie

$$\text{energie} = \text{vermogen} \times \text{tijd}$$

- energie **wordt** gedurende een bepaalde **tijd** geleverd of gebruikt
- energie **levert altijd iets op**: elektriciteit, beweging, licht, warmte, geluid, radiogolven, etc
- een veel gebruikte eenheid voor energie is **kilowatt-uur**

$$\begin{aligned} 1 \text{ joule} &= 1 \text{ watt} \times \text{seconde} \\ 1 \text{ kilojoule} &= 1 \text{ kilowatt} \times \text{seconde} \\ 3600 \text{ kilojoule} &= 1 \text{ kilowatt} \times \text{uur} \end{aligned}$$

voorbeeld

de **energie** die een automotor van 70 kilowatt in 2 uur levert = 140 **kilowatt-uur** (bij vol vermogen)

In de winkel betaalt men voor het vermogen (bijvoorbeeld het vermogen van een stofzuiger)

Thuis betaalt men voor de energie (de energie die tijdens het stofzuigen wordt gebruikt)

Wet van behoud van energie

- energie kan niet verloren gaan
- energie kan niet uit niets ontstaan
- energie kan worden omgezet van de ene vorm in een andere, maar de som van de energieën verandert daarbij niet

Wet van behoud van massa (massa = de hoeveelheid materie)

- massa kan niet verloren gaan
- massa kan niet uit niets ontstaan
- massa kan worden omgezet van de ene vorm in een andere, maar de som van de massa's verandert daarbij niet

Energie en massa worden dus nooit "verbruikt"

In het normale taalgebruik heeft men het meestal toch over "verbruikt". Als je bijvoorbeeld de tank van een auto leeg rijdt, dan is de benzine verbruikt. Maar ook dan geldt de "wet van behoud van energie" en de "wet van behoud van massa".

Bij verbranding gaat geen energie verloren

De chemische energie in benzine wordt bij verbranding in een benzinemotor omgezet in mechanische energie (= arbeid) en thermische energie (= warmte)

de chemische energie = de mechanische energie + de thermische energie

Bij verbranding gaat geen massa verloren

Benzine is een chemische verbinding van de elementen koolstof en waterstof. Bij de verbranding van benzine met zuurstof, ontstaat kooldioxide en water

de massa van benzine + zuurstof = de massa van kooldioxide + water

Rendement

$$\text{rendement} = \text{nuttige energie} / \text{toegevoerde energie}$$

Voorbeeld: een benzinemotor

- stel, een benzinemotor levert **50 kilowatt-uur nuttige, mechanische energie**
- stel, de hoeveelheid **toegevoerde energie** is **200 kilowatt-uur** (= 22 liter benzine)
- het **rendement** is dan $(50 / 200) \times 100\% = 25\%$
- hierbij wordt 150 kilowatt-uur in de vorm van nutteloze warmte afgevoerd

Rendementen zijn altijd kleiner dan 100% **Perpetuum Mobile bestaat dus niet**

Produktiefactor (de beschikbaarheid)

$$\text{produktiefactor} = \text{werkelijke jaaropbrengst} / \text{theoretische jaaropbrengst}$$

Voorbeeld: windenergie

- stel, een windmolen heeft een vermogen van 3 megawatt
- de **theoretische jaaropbrengst** is dan $3 \text{ megawatt} \times 24 \text{ uur} \times 365 \text{ dagen} = 26\,280 \text{ megawatt-uur}$
- stel, de **werkelijke jaaropbrengst** is **7 884 megawatt-uur**
- de **produktiefactor** is dan $(7\,884 / 26\,280) \times 100\% = 30\%$

Rendement en produktiefactor zijn 2 geheel verschillende begrippen

Voorbeeld: zonne-energie

- Het rendement van een zonnepaneel is 15%
- De produktiefactor van zonne-energie in Nederland is 11,4% Bij de Evenaar 31,8%

Voorbeeld: windenergie

- Het rendement van een windmolen is 50%
- De produktiefactor van windenergie op land is 30% Op zee 45%

Het **rendement** is een eigenschap van het zonnepaneel of de windmolen.

De **produktiefactor** wordt bepaald door de plaats waar het zonnepaneel of de windmolen staat.

Vergelijken van energiebronnen

Bij het vergelijken van energiebronnen moet men niet kijken naar het vermogen, maar naar de **energie-opbrengst**. Dat geldt vooral voor zonne-energie, want daarbij is het **rendement** en de **produktiefactor** erg laag.

Primaire energie

Primaire energie is de energie-inhoud van brandstoffen in hun natuurlijke vorm, voordat enige omzetting heeft plaatsgevonden

Energie-inhoud van enkele brandstoffen

1 kilogram droog hout	=	5,3 kilowatt-uur
1 kilogram steenkool	=	8,1 kilowatt-uur
1 kubieke meter aardgas	=	8,8 kilowatt-uur
1 liter benzine	=	9,1 kilowatt-uur
1 liter dieselolie	=	10,0 kilowatt-uur
1 kilogram waterstof	=	33,6 kilowatt-uur

Mechanische energie in 1 liter benzine

$$1 \text{ liter benzine} = 9,1 \text{ kilowatt-uur} = 3340\,000 \text{ kilogram-meter}$$

Met 1 liter benzine kan men theoretisch een Jumbo van 334 000 kilogram, 10 meter omhoog takelen. Zo'n vliegtuig 10 **kilometer** omhoog brengen, kost dus 1000 liter brandstof.

(de voorwaartse snelheid, luchtweerstand, rendementen etc. buiten beschouwing gelaten)

Mechanisch warmte-equivalent

Het mechanisch warmte-equivalent laat de relatie zien tussen thermische energie (= warmte) en mechanische energie (= arbeid)

1 kilocalorie is equivalent aan 427 kilogram-meter

Een voorbeeld:

- 1 kilocalorie is de hoeveelheid energie die nodig is om de temperatuur van 1 kilogram water (= 1 liter) met 1 graad celsius te verhogen
- als men zijn hand 1 minuut in een liter koud water steekt, dan is daarna de temperatuur van het water ongeveer 1 graad gestegen
- dit komt dus overeen met een hoeveelheid mechanische energie van 427 kilogram-meter
- daarmee kan men een koe 1 meter omhoog takelen

Rendementen bij de omzetting van energie

Omzetting van thermische energie naar mechanische energie

Hierbij is het rendement begrensd volgens de **formule van Carnot**. In de praktijk is het **maximaal haalbare** rendement zo'n 50%.

Voorbeeld:

Het rendement van een stoomturbine in een elektrische centrale is 45%

Omzetting van mechanische energie naar elektriciteit

Dit kan theoretisch plaats vinden met een rendement van 100%

Voorbeeld:

Het rendement van een generator in een elektrische centrale is 95%

Omzetting van elektriciteit naar mechanische energie

Dit kan theoretisch plaats vinden met een rendement van 100%

Voorbeeld:

Het rendement van een elektromotor is 95%

De formule van Carnot

Met de formule van Carnot kan men het **maximaal haalbare rendement** berekenen, bij de omzetting van thermische energie (= warmte) naar mechanische energie (= arbeid). De thermische energie is evenredig met de absolute temperatuur **T** kelvin.

$$\text{rendement} = (T_{\text{hoog}} - T_{\text{laag}}) / T_{\text{hoog}}$$

$T_{\text{hoog}} - T_{\text{laag}}$ = de warmte die wordt omgezet in **nuttige** mechanische energie

T_{hoog} = de hoogste temperatuur in het proces = de **toegevoerde energie**

T_{laag} = de laagste temperatuur in het proces = de resterende energie

Rekenvoorbeeld:

De inlaat temperatuur van een stoomturbine is 527 graden celsius en de uitlaat temperatuur is 207 graden celsius (0 graden celsius = 273 kelvin)

$$T_{\text{hoog}} = 527 + 273 = 800 \text{ kelvin}$$

$$T_{\text{laag}} = 207 + 273 = 480 \text{ kelvin}$$

Het maximaal haalbare rendement is dan $(800 - 480) / 800 = 0,40 = 40\%$

De wetten van Newton

1 de traagheidswet

een voorwerp waarop geen kracht werkt is in rust, of het beweegt met een constante snelheid in een rechte lijn

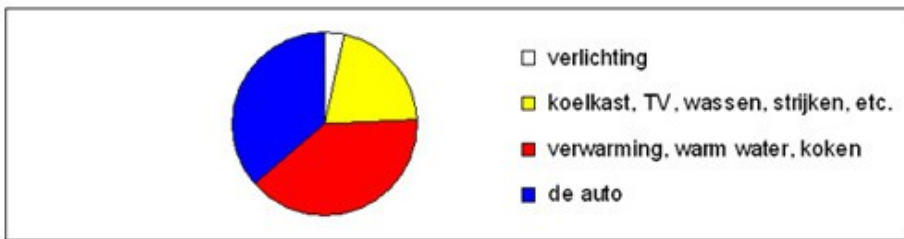
2 een kracht verandert een beweging

een kracht versnelt of vertraagt de beweging van een voorwerp en kan ook de richting ervan veranderen

3 actie = reactie

Deze wetten zijn duidelijk zichtbaar bij het biljarten

Het primaire energieverbruik van een huishouden (2008)



Een **auto** verbruikt per jaar **anderhalf keer zoveel** primaire energie als een gemiddeld Nederlands huishouden voor verlichting, koelkast, TV, wassen, strijken, stofzuigen etc. Het totale jaarlijkse energieverbruik van een huishouden is gelijk aan de energie-inhoud van **4000 liter benzine**

Alleen bezuinigen op de verlichting, (dat is slechts 4% van het totale energieverbruik), heeft uit het oogpunt van energiebesparing weinig zin. Wèl helpt het om de verwarming wat lager te draaien. **Alle** energie, die toegevoerd wordt aan de verlichting wordt uiteindelijk volledig omgezet in warmte. Een woonkamer wordt niet merkbaar warmer als het licht brandt. Kennelijk is het energieverbruik van de verlichting dus verwaarloosbaar ten opzichte van de energie die voor de verwarming nodig is. Veel mensen denken: "alle kleine beetjes helpen". De "kleine beetjes" helpen maar een (heel klein) beetje en geven het misleidende gevoel, dat men heel wat doet voor het milieu en dat men daarom verder zijn gang wel kan gaan. (met de verwarming en met de auto).

Als iedereen een beetje doet, dan zullen we maar een beetje bereiken.

Zodra het comfort in het geding is, is men niet meer "thuis".

Groene energie

Het netto energieverbruik van 1 huishouden (toekomstig scenario)

	kilowatt-uur per jaar
led-verlichting	200
koelkast, TV, wassen, strijken, etc.	3 000
verwarming, warm water en koken	7 000
elektrische auto (40 km per dag)	2 200
totaal	12 400

Hoeveel zonnepanelen zijn er nodig voor 1 huishouden?

1 zonnepaneel van 1,6 vierkante meter levert 200 kilowatt-uur per jaar

Voor 1 huishouden zijn dus nodig: $12\,400 / 200 = 62$ zonnepanelen

Hoeveel groene energie levert 1 windmolen?

1 windmolen van 3 megawatt (op land) levert 7 884 megawatt-uur per jaar

Dat is voldoende voor $7\,884\,000 / 12\,400 = 636$ huishoudens

Wat is er nodig voor alle Nederlandse huishoudens?

(dus zonder industrie, openbaar vervoer etc.)

Heel Nederland omvat 7 500 000 huishoudens, dus:

of $7\,500\,000 \times 62 = 465\,000\,000$ zonnepanelen van 1,6 vierkante meter
of $7\,500\,000 / 636 = 11\,800$ windmolens van 3 megawatt

Zonne-energie

Bijna alle energie op aarde is afkomstig van de zon

- de energie-**instraling** van de zon is in Nederland **1000** kilowatt-uur per vierkante meter per jaar (seizoenen, bewolkte hemel, dag en nacht meegerekend)
- de energie-**opbrengst** van een zonnepaneel van 1,6 vierkante meter is **200** kilowatt-uur per jaar
- voor een maximale jaaropbrengst, moet een zonnepaneel in Nederland gemonteerd zijn onder een hoek van 36 graden met het horizontale vlak en gericht zijn op het zuiden.
- bij de Evenaar is de ingestraalde zonne-energie slechts **3 keer** zoveel als in Nederland (gedurende een jaar en bij dezelfde oppervlakte)
- de hoeveelheid zonne-energie die in een jaar op de gehele aarde wordt ingestraald, is **7000 keer** zoveel als het wereldverbruik van primaire energie

Enkele mogelijkheden om zonne-energie te gebruiken zijn:

1. elektriciteit produceren met **zonnepanelen**
2. elektriciteit produceren met **geconcentreerde zonnestraling**
3. **verwarmen van water** (zonneboiler)
4. **fotosynthese** (biobrandstoffen)

1. Zonnepanelen

Bij een zonnepaneel wordt de ingestraalde zonne-energie rechtstreeks omgezet in elektriciteit. Het rendement hierbij is ongeveer **15%**

Waldpolenz Solar Park



- het Waldpolenz Solar Park is een grote zonnecentrale in de buurt van Leipzig
- de elektriciteit wordt opgewekt met 550 000 zonnepanelen
- de energieproductie is **52 000** megawatt-uur per jaar
- een elektrische centrale van 600 megawatt levert per jaar **80** keer zoveel energie

2. Geconcentreerde zonnestraling

Hierbij wordt de zonnestraling door middel van spiegels op een klein oppervlak geconcentreerd. De warmte die daarbij ontstaat wordt gebruikt voor de opwekking van elektriciteit. Het voordeel van "geconcentreerde zonnestraling" is, dat een deel van de opgevangen warmte tijdelijk kan worden opgeslagen. Daarmee kunnen zonloze periodes worden overbrugd

Voorwaarden voor geconcentreerde zonnestraling

- een zonvolgend systeem
- alleen bruikbaar op plaatsen waar de zon de hele dag schijnt
- bij een bewolkte hemel werkt geconcentreerde zonnestraling niet.
- het kan dus niet in Nederland worden toegepast.

Het concentreren van de zonnestraling kan op verschillende manieren worden gedaan

- met **parabolische spiegels**
- met **zonnetroggen**
- met **heliostaten**

Parabolische spiegels



- een parabolische spiegel draait om 2 loodrecht op elkaar staande assen met de stand van de zon mee
- in het brandpunt ontstaat een temperatuur van 1000 graden celsius
- daar kan bijvoorbeeld een heteluchtmotor worden geplaatst, die een generator aandrijft
- de generator wekt elektriciteit op

Zonnetroggen

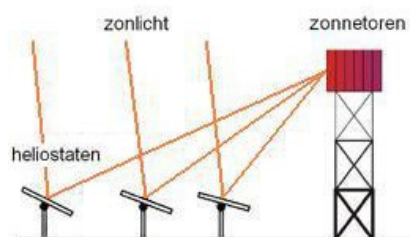


- een zonnetrog is een trogvormige spiegel, waarbij de dwarsdoorsnede de vorm van een parabool heeft
- de lengte-as is in noord-zuid richting opgesteld en de zonnetrog draait om die as met de stand van de zon mee, dus elke dag van oost naar west
- in de brandlijn bevindt zich een buis, waar olie doorheen stroomt
- de geconcentreerde zonnestraling verhit de olie
- in een warmtewisselaar wordt hiermee water verhit tot hete stoom
- met de hete stoom wordt elektriciteit opgewekt

Andasol Solar Power Station

- deze grote zonnecentrale met zonnetroggen, staat in Andalusië, in Spanje
- de energieproductie is **495 000** megawatt-uur per jaar
- een elektrische centrale van 600 megawatt levert per jaar bijna **9** keer zoveel energie

Heliostaten



- een heliostaat is een licht gekromde of vlakke spiegel, die om 2 loodrecht op elkaar staande assen met de stand van de zon meedraait
- het door de heliostaten gereflecteerde zonlicht, wordt gefixeerd op de top van een "zonnetoren", die ongeveer 100 meter hoog is.
- op de toren bevindt zich een groot vat, gevuld met water
- dit vat wordt dus beschenen door een veld met honderden heliostaten en is daardoor het gemeenschappelijke brandpunt van een enorm groot oppervlak aan spiegels
- alle spiegels moeten **continu** en **individueel** worden gericht.
- op de top van de toren worden zeer hoge temperaturen bereikt, tot 1000 graden celsius
- de opgevangen warmte in het vat met water wordt gebruikt voor de opwekking van elektriciteit

PS20 Solar Power Plant

- deze zonnecentrale met heliostaten staat bij Sevilla, in Spanje
- het zonlicht wordt opgevangen door **1255** heliostaten
- de energieproductie is **48 000** megawatt-uur per jaar
- een elektrische centrale van 600 megawatt levert per jaar **90** keer zoveel energie

3. Verwarmen van water (zonneboiler)

Meestal gebeurt dit met panelen op het dak van een huis. Die lijken op zonnepanelen, maar ze zijn gevuld met water. De omzetting van zonne-energie naar warmte gaat met een rendement van ongeveer **65%**, maar de temperatuur is beperkt en daardoor kan er geen elektriciteit mee worden opgewekt. Het warme water kan wel worden gebruikt als voorverwarmd water voor een wasmachine, douche, vloerverwarming of als warmtebron voor een warmtepomp

4. Fotosynthese (biobrandstoffen)

Onder invloed van zonlicht, kunnen biobrandstoffen worden geteeld, zoals koolzaad, suikerriet, maïs en bomen. Daarbij wordt de zonne-energie omgezet in chemische energie. (fotosynthese). Het rendement van deze omzetting is hooguit **1%**

Windenergie

Het rendement van een windmolen

- het rendement van een windmolen is ongeveer **50%**
- het theoretisch maximale rendement is **59%**

De produktiefactor van een windmolen (globaal)

- de produktiefactor van een windmolen neemt toe, naarmate die hoger en groter is
- de produktiefactor wordt bepaald door de plaats waar de molen staat
- de produktiefactor van een windmolen op **land** is **30%**
- de produktiefactor van een windmolen op **zee** is **45%**

De grootste windmolen ter wereld is de Enercon E-126

- de ashoogte is 135 meter
- de wiekdiameter is 126 meter
- het hoogste punt, dat door de wieken wordt bereikt is dus 198 meter
- bij een produktiefactor van 32% (op land) is de energieproductie **21 000** megawatt-uur per jaar
- een elektrische centrale van 600 megawatt levert per jaar **200** keer zoveel energie

Enkele Nederlandse windmolenparken

	aantal molens	vermogen per molen	jaaropbrengst (megawatt-uur)
Egmond aan Zee 10 km uit de kust	36	3 megawatt	378 000
IJmuiden 23 km uit de kust	60	2 megawatt	435 000
Westereems Eemshaven, op land	52	3 megawatt	470 000
Gemini 85 km uit de kust	150	4 megawatt	2 600 000

Een elektrische centrale van 600 megawatt heeft een jaaropbrengst van **4 200 000** megawatt-uur

Opslag van zonne- en windenergie

Grootschalige toepassing van zonne- en windenergie is alleen mogelijk, als er een oplossing wordt gevonden voor de opslag van zeer grote hoeveelheden elektrische energie. Met name bij zonne-energie doet zich het probleem voor, dat de energiebehoefte meestal het grootst is, als de zon al achter de horizon is verdwenen. Tot nu toe wordt zonne- en windenergie meestal teruggeleverd aan het elektriciteitsnet, waardoor er dan (tijdelijk) minder "grijze" energie hoeft te worden opgewekt. Die teruglevering kan slechts in beperkte mate plaatsvinden, anders komt de stabiliteit van het elektriciteitsnet in gevaar.

Enkele mogelijkheden voor opslag van elektrische energie

- **Opslag in een spaarbekken**
Met elektriciteit kan men water oppompen naar een hoger gelegen spaarbekken. Bij een tekort aan elektriciteit kan dat water dan via een waterkrachtcentrale weer elektriciteit terug leveren.
- **Opslag in waterstof**
Met elektriciteit kan water worden ontleed in zuurstof en waterstof. De waterstof kan in een brandstofcel of via een gasturbine weer elektriciteit opwekken
- **Opslag in het lichtnet**
Voorlopig kunnen we het lichtnet gebruiken voor de tijdelijke opslag van "groene" energie. Als je bijvoorbeeld een elektrische auto wil laten rijden op de zonne-energie, die door je eigen zonnepanelen wordt opgewekt, dan wordt het lichtnet bijna altijd gebruikt voor de tijdelijke opslag van de zonne-energie.

Waterkracht

Zelfs in Zwitserland is waterkracht van beperkte betekenis geworden omdat het energieverbruik de laatste jaren sterk is toegenomen.

- in Zwitserland wordt **40%** van de elektrische energie opgewekt door kerncentrales
- alleen in Noorwegen wordt vrijwel alle elektrische energie door waterkracht opgewekt
- wereldwijd wordt **16%** van alle elektrische energie door waterkracht opgewekt (in 2009)

In China wordt de grootste waterkrachtcentrale ter wereld gebouwd, de Drieklovdam

- de energie-opbrengst is **85 000 000** megawatt-uur per jaar
- dat is **3%** van het elektriciteitsverbruik van China
- dat is evenveel als de jaaropbrengst van **20** elektrische centrales van 600 megawatt

Geothermische energie

Geothermische energie wordt gewonnen uit de aardwarmte.

- vanaf het aardoppervlak neemt de temperatuur bij toenemende diepte met globaal 30 graden celsius per 1000 meter toe
- afhankelijk van plaatselijke omstandigheden, kan dit (sterk) variëren
- in vulkanische gebieden zijn de temperaturen aanzienlijk hoger
- op een diepte van 5000 meter is de temperatuur gemiddeld 150 graden

Geothermische energie zal misschien ooit een (bescheiden) rol gaan spelen bij de toekomstige energievoorziening.

Eigenschappen van geothermische energie

- schoon, duurzaam en onuitputtelijk
- niet afhankelijk van weersomstandigheden, seizoenen en tijdstip van de dag
- er is geen CO₂ uitstoot
- de energie is constant voorradig, er is dus geen opslagprobleem

Getijdencentrale

De energie die door een getijdencentrale wordt opgewekt, is indirect afkomstig van de maan. De grootste getijdencentrale ter wereld staat in Frankrijk, in Bretagne.

- het verschil tussen eb en vloed is daar zeer groot, maximaal 13 meter
- de energieproductie is **540 000** megawatt-uur per jaar
- een elektrische centrale van 600 megawatt levert per jaar **8** keer zoveel energie

Biomassa

Biomassa is de verzamelnaam voor organische materialen, die gebruikt kunnen worden voor de opwekking van duurzame energie. Enkele voorbeelden van zulke organische materialen zijn: groente-, fruit- en tuinafval, hout en mest. Ook kunnen speciale "energiegewassen" worden geteeld, zoals koolzaad, suikerriet en maïs. Die kunnen, eventueel na vergisting, fermentatie of vergassing, worden gebruikt als biobrandstof voor voertuigen. Bij biobrandstoffen wordt de zonne-energie omgezet in chemische energie. Het rendement hierbij is hooguit **1%**

De gedachte bij het gebruik van biobrandstoffen is, dat tijdens het groeien ervan (bijvoorbeeld bomen), zuurstof wordt aangemaakt en kooldioxide (CO₂) uit de atmosfeer wordt opgenomen. Bij verbranding vindt het omgekeerde proces plaats. Netto vervuult deze zogenaamde "korte cyclus" het milieu dus niet. (CO₂-neutraal).

Het gebruiken van biomassa heeft als groot voordeel dat er geen opslagprobleem is. De biomassa kan worden bijgemengd bij de brandstof van de, door milieu-activisten zo verguisde, kolengestookte centrales. De extra vrijkomende CO₂ is dan "groen".

De werkelijkheid is wel een beetje anders. Stel, dat alle biomassa die nu door de elektrische centrales in Nederland wordt gebruikt, uit hout zou bestaan. Men moet dan denken aan jaarlijks ongeveer 80 000 goederenwagons met 50 ton hout. Voor een "CO₂-neutraal" gebruik van deze hoeveelheid hout, moet jaarlijks een oppervlakte van 63 x 63 kilometer worden gekapt en aangeplant. Dat gaat dus niet lukken.

- 80 000 goederenwagons met 50 ton hout = 4 miljard kilogram
- dat is een trein met een lengte van **800 kilometer**
- de hoeveelheid elektriciteit die hiermee kan worden opgewekt is 7,4 % van het jaarverbruik in Nederland

Smart grid

Smart grid is een energiemanagement systeem, dat de verdeling regelt tussen de energie die wordt opgewekt door duurzame energiebronnen (zonne- en windenergie) en conventionele elektrische centrales. Het doel hierbij is:

- het zoveel mogelijk afvlakken van pieken en dalen in de energie-opwekking ("peak shaving")
- het compenseren van de variërende energie-opbrengst van duurzame energiebronnen

Een primitieve vorm van energiemanagement bestaat al bij het systeem van "dal uren", dat door leveranciers van elektriciteit vaak wordt toegepast. Daarbij worden elektrische boilers op afstand ingeschakeld als de vraag naar elektriciteit gering is. (meestal 's nachts en in het weekend).

Bij een intelligent energiemanagement systeem kan men denken aan de volgende mogelijkheden:

- thermostaten van apparaten (bijvoorbeeld van boilers en airconditioning) worden op afstand automatisch in- of uitgeschakeld aan de hand van de **momentele** belasting van het energienet
- als de wind sterk varieert, wordt de energielevering van windmolenparken naar evenredigheid aangevuld met energie afkomstig van (snel startende) gasgestookte elektrische centrales

Warmte-kracht koppeling

Bij de productie van elektriciteit in een elektrische centrale is het rendement ongeveer 40%. Van de toegevoerde primaire energie gaat dus ongeveer 60% in de vorm van warmte via het koelwater verloren. Bij veel centrales wordt deze "afvalwarmte" tegenwoordig gebruikt voor stadsverwarming en verwarming van kassen. De warmte moet daarbij vaak over grote afstanden worden vervoerd en gedistribueerd, wat uiteraard nogal wat verliezen oplevert. Desondanks wordt het totaalrendement van de elektrische centrale hierdoor aanzienlijk verhoogd.

Bij warmte-kracht koppeling is de opwekking van warmte en elektriciteit (kracht) direct aan elkaar gekoppeld. Warmte en elektriciteit worden dan bij de gebruiker opgewekt. De warmte-productie is hierbij hoofdzaak, terwijl de elektriciteit nu een bijproduct is. Het totale rendement is zeer hoog, omdat er vrijwel geen warmte verloren gaat en alle elektriciteit nuttig wordt gebruikt. (overtollige elektriciteit wordt teruggeleverd aan het net).

Warmte-kracht koppeling wordt veel toegepast bij ziekenhuizen, zwembaden, fabrieken en de glastuinbouw. Bij de glastuinbouw is de vrijkomende CO₂ zeer welkom, omdat daarmee de groei van de planten wordt bevorderd. (koolzuurassimilatie). Het totaalrendement bij warmte-kracht koppeling is ongeveer **90%**

Warmtepomp

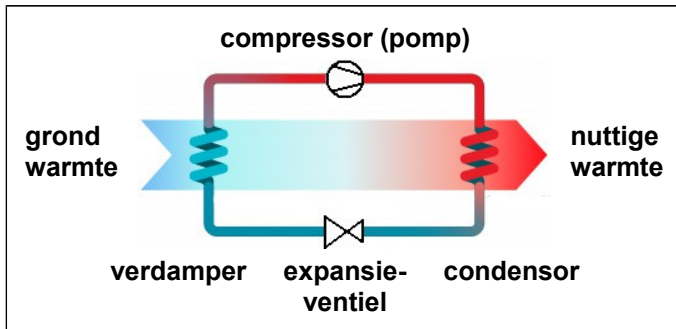
- Een warmtepomp pompt warmte van een laag temperatuurniveau naar een hoger niveau.
- Het lage niveau is bijvoorbeeld de grondwarmte, die op enige diepte het gehele jaar door ongeveer 12 graden is. De warmte wordt ook vaak uit de lucht gehaald.
- De warmtepomp werkt volgens hetzelfde principe als een koelkast, maar het doel is anders.
- Bij een koelkast wordt de binnenuimte gekoeld en men neemt de warmte die daarbij buiten de koelkast ontstaat, op de koop toe.
- Bij een warmtepomp gaat het juist om die warmte. Daarmee kan een ruimte worden verwarmd.
- De nuttige warmte die ontstaat is gelijk aan de warmte die uit de grond of uit de lucht wordt gehaald, vermeerderd met de energie die aan de compressor (pomp) wordt toegevoerd.
- Het rendement lijkt daardoor groter dan 100%.

Men spreekt bij een warmtepomp van de **COP**. (= **co**ëfficiënt **o**f **p**erformance). De COP kan bijvoorbeeld 4 zijn. Dan wordt 3 keer zoveel warmte (gratis) uit de grond of uit de lucht gehaald, als de pomp-energie bedraagt. De totale hoeveelheid geproduceerde warmte is dan 4 keer de pomp-energie, want de energie waar de pomp op draait, wordt ook omgezet in warmte. De COP van een warmtepomp is groter naarmate het temperatuurverschil tussen inlaat en uitlaat kleiner is. Daarom wordt een warmtepomp vaak gebruikt in combinatie met vloerverwarming.

Enkele eigenschappen:

- een warmtepomp is ruwweg **4** keer efficiënter dan elektrische verwarming
- de warmte die de warmtepomp uit de grond of uit de lucht haalt is gratis en volledig CO₂-vrij.
- de elektriciteit waar de warmtepomp op draait, wordt meestal opgewekt met een rendement van ongeveer **40%** en daarbij ontstaat wel CO₂
- een warmtepomp is dus slechts $0,4 \times 4 = 1,6$ keer efficiënter dan rechtstreekse verwarming met aardgas
- sommige warmtepompen kunnen in 2 richtingen werken. Ze kunnen dus verwarmen of koelen
Ook kunnen ze gewoon worden uitgezet, dit in tegenstelling tot warmte-kracht koppeling

De werking van een warmtepomp



- een warmtepomp bestaat uit een gesloten kringloop, waarin een koelmiddel wordt rondgepompt
- voor verdampen is warmte nodig
- in de verdamper verdampt het koelmiddel bij lage druk en daarbij wordt warmte aan de grond onttrokken
- de damp, die deze warmte bevat, wordt door de compressor naar de condensor gepompt
- in de condensor condenseert de damp bij hoge druk en de warmte die hierbij vrij komt wordt aan de omgeving afgegeven als nuttige warmte
- in het expansieventiel expandeert het koelmiddel en hierdoor daalt de druk en de temperatuur
- de cyclus begint nu weer opnieuw

Batterijen en accu's

Alkaline batterij (AA-cel)

- bevat 1,5 ampère-uur bij 1,5 volt, dat is 2,25 watt-uur
- zo'n batterij kost ongeveer € 0,50
- dus 1 kilowatt-uur uit een batterij kost € 222,00

Oplaadbare nikkel-metaalhydride batterij (AA-cel)

- bevat 2,7 ampère-uur bij 1,2 volt, dat is 3,24 watt-uur
- oplaadbare batterijen zijn zeer veel goedkoper en milieuvriendelijker dan gewone batterijen

De vanadium redox accu

- de accu is vooral geschikt voor stationaire toepassingen en kan worden gebruikt om de fluctuerende opbrengst van zonnepanelen en windmolens af te vlakken
- de energie-inhoud is vrijwel onbegrensd en wordt bepaald door de grootte van de voorraadtanks met het elektrolyt
- het laden kan (zeer snel) plaats vinden door het vervangen van de elektrolyten, maar de accu kan ook gewoon worden opgeladen door een elektrische stroom
- het principe van de vanadium redox accu wordt misschien ooit interessant voor de elektrische auto, omdat het laden van de accu zeer snel kan plaatsvinden door het vervangen van de elektrolyten

SCiB van Toshiba

Begin 2008 kwam Toshiba met een verbeterde lithium-ion batterij op de markt, de **SCiB** (**S**uper **C**harge ion **B**attery).

Enkele eigenschappen van een module met 24 cellen:

- de energie-inhoud is 1100 watt-uur
- de energiedichtheid is 78 watt-uur per kilogram en dus slecht in vergelijking met een gewone lithium-ion batterij
- de batterij is zeer veilig (geen ontploffings- of brandgevaar)
- de oplaadtijd is slechts enkele minuten (in 5 minuten is de batterij tot 90% geladen)
- de levensduur is zeer groot, 10 jaar of 15 000 laadcycli
- de batterij is bruikbaar binnen een groot temperatuurgebied (- 30 tot + 55 graden)

De levensduur van een oplaadbare batterij of accu

- de levensduur van een oplaadbare batterij of accu wordt sterk beïnvloed door de diepte van de ontlading
- het einde van de levensduur wordt bereikt, als de capaciteit nog maar 70% van de nieuwwaarde is
- de levensduur is het aantal verbruikte laadcycli
- bij een lithium-ion accu vindt bovendien veroudering plaats door chemische processen, die vanaf het moment van de productie in de accu actief zijn.
- een lithium-ion accu slijt dus ook, als die niet wordt gebruikt

Snel laden van een accu

Bij het snel laden van een accu vanuit het lichtnet krijgt men te maken met enorme laadstromen.

- voor het laden van 9,1 kilowatt-uur (= 1 liter benzine-equivalent) in 1 uur, is bij 230 volt een stroom van $9100 / 230 = 40$ ampère nodig
- als men deze hoeveelheid energie in 3 minuten in een accu wil stoppen, dan moet de stroom vanuit het lichtnet 20 keer zo groot zijn, dus 800 ampère

Het tanken van energie in de vorm van benzine gaat dus wel even wat gemakkelijker en sneller dan het "tanken" van elektrische energie.

Lopen en fietsen

Voor een persoon van 75 kilogram is de rust-stofwisseling ongeveer 300 kilojoule per uur. Deze hoeveelheid energie wordt continu verbruikt voor hartslag, ademhaling, constant houden van de lichaamstemperatuur (aanvullen van het warmteverlies), spijsvertering etc. De energie-inhoud van bijvoorbeeld 1 liter volle melk is 2700 kilojoule en dat is voldoende voor 9 uur rust-stofwisseling.

- 1 kilometer lopen kost ongeveer 300 kilojoule extra
- 1 kilometer fietsen kost ongeveer 60 kilojoule extra

Lopen kost dus **5 keer** zo veel energie als fietsen over dezelfde **afstand**

Nu de berekening voor lopen of fietsen gedurende dezelfde tijd.:

- 1 uur lopen = 4 kilometer = $4 \times 300 = 1200$ kilojoule
- 1 uur fietsen = 20 kilometer = $20 \times 60 = 1200$ kilojoule

Lopen kost dus **evenveel** energie als fietsen gedurende dezelfde **tijd**

De benodigde hoeveelheid energie voor het fietsen is sterk afhankelijk van de fietssnelheid en de wind. In dit voorbeeld is uitgegaan van windstil weer en een rechtop zittende fietser. Bovengenoemde getallen geven aan hoeveel energie in de vorm van voedsel wordt verbruikt.

Een gestroomlijnde ligfiets

De luchtweerstand van een gestroomlijnde ligfiets is ongeveer 3 keer zo klein als van een gewone fiets met een rechtop zittende fietser. Hierdoor is er veel minder energie per kilometer nodig.

Lopen

- de massa van een wandelaar wordt bij elke stap enkele centimeters op en neer bewogen, dat kost veel energie
- de gebruikte energie is evenredig met de massa (het gewicht) van de wandelaar

Fietsen

- een fietser zit gefixeerd op het zadel en zijn zwaartepunt blijft daardoor steeds op dezelfde hoogte (als het ene been naar beneden gaat, gaat het andere omhoog)
- bij een constante snelheid op een vlakke weg, wordt alleen energie gebruikt voor het overwinnen van de luchtweerstand en de rolwrijving. De massa van de fietser + fiets is daarbij niet van belang (1^e wet van Newton).
- accelereren en oprijden van een helling kost wel extra energie. De daarvoor benodigde energie is evenredig met de massa (het gewicht) van de fietser + fiets

De hoeveelheid mechanische energie die nodig is om 100 kilometer te fietsen

- bij een snelheid van 20 kilometer per uur en bij windstil weer, moet een rechtop zittende fietser gedurende 5 uur een vermogen leveren van ongeveer 75 watt
- **100 kilometer** fietsen kost dus een hoeveelheid mechanische energie van $75 \text{ watt} \times 5 \text{ uur} = 375 \text{ watt-uur} = 1350 \text{ kilojoule}$
- de chemische energie in voedsel wordt met een rendement van **25%** omgezet naar mechanische energie in de spieren
- in de vorm van voedsel is dus $4 \times 1350 = 5400$ kilojoule nodig, dat is de energie-inhoud van 2 liter volle melk
- van 100 kilometer fietsen val je dus niet af. Je valt wèl af van zwemmen, door het warmteverlies (en vooral door minder te eten)

Elektrische fiets

- bij een elektrische fiets wordt de fietser ondersteund door een elektromotor
- deze motor krijgt zijn energie uit een oplaadbare accu
- de mate van ondersteuning wordt automatisch geregeld door een trapsensor
- de trapsensor meet de kracht waarmee de fietser op de pedalen trapt
- evenredig met die kracht, wordt de hoeveelheid energie geregeld die aan de motor wordt toegevoerd
- het resultaat hiervan is, dat bij het oprijden van een helling of bij tegenwind de ondersteuning (automatisch) toeneemt

In het ideale geval, zal men bij het oprijden van een helling of bij tegenwind even gemakkelijk blijven fietsen, als op een vlakke weg zonder wind. Maar dat kost dan natuurlijk wel veel energie. Daarom is het bij de meeste elektrische fietsen mogelijk, om de mate van ondersteuning meer of minder progressief in te stellen met behulp van een schakelaar op het stuur. Men kan dan bijvoorbeeld kiezen voor de stand "Normaal" of "Power". De actieradius van de ondersteuning, wordt bepaald door de energie-inhoud van de accu en het energieverbruik van de motor, dus door de gekozen mate van ondersteuning. Het wettelijk toegestane vermogen van de motor is 250 watt. De ondersteuning werkt tot een snelheid van 25 kilometer per uur.

Het energieverbruik uit de accu van een elektrische fiets

Het energieverbruik is sterk afhankelijk van de omstandigheden waaronder de fiets wordt gebruikt. Zoals bijvoorbeeld:

- 50% ondersteuning
- een rechtop zittende fietser
- een snelheid van 20 kilometer per uur
- een tegenwind van 4 meter per seconde
- hard opgepompte banden

Onder deze omstandigheden is het energieverbruik uit de accu **5 watt-uur per kilometer**

Elektrische treinen

De Dubbeldekker



De Dubbeldekker is de modernste en zuinigste trein van de NS

- de trein rijdt op een gelijkspanning van 1500 volt
- de maximum snelheid is 140 kilometer per uur
- de basisuitvoering van de trein is 4 wagons met **372** zitplaatsen
- het energieverbruik is **18 000 watt-uur** per kilometer
- dat is **48 watt-uur** per reiziger per kilometer

De Thalys



De Thalys, die op de **Hoge Snelheid Lijn (HSL)** rijdt, verbruikt natuurlijk veel meer energie dan een gewone trein.

- de trein rijdt op een wisselspanning van 25 000 volt
- de maximum snelheid is 300 kilometer per uur
- de Thalys heeft een vaste samenstelling van 10 wagons met **377** zitplaatsen
- het energieverbruik is **57 000 watt-uur** per kilometer
- dat is **151 watt-uur** per reiziger per kilometer

Vliegtuig

De Boeing 747 "Jumbo"



Enkele globale gegevens en berekeningen:

- een Boeing 747 kan 200 000 liter brandstof meenemen
- de actieradius is dan 13 500 kilometer (= 1/3 van de aardomtrek)
- het verbruik is dus $200\,000 / 13\,500 = 15$ liter per kilometer = **150 000 watt-uur** per kilometer (1 liter kerosine = 10 000 watt-uur)
- een Jumbo kan **500** passagiers vervoeren
- het verbruik is dan **300 watt-uur** per passagier per kilometer
- ongeveer de helft van het startgewicht van een Jumbo bestaat uit de meegenomen brandstof (bij een lange afstandsvlucht)
- het leeggewicht is 181 ton, het gewicht van 200 000 liter kerosine is 160 ton
- 200 000 liter = 200 kubieke meter, dat is een "zwembad" van 2 meter diep, bij een oppervlakte van 10 bij 10 meter
- de kruissnelheid op 10 kilometer hoogte is 900 kilometer per uur

De elektrische auto



Een elektrische auto uit 1916

Al in de jaren 1899 -1915 werden er in Amerika 5000 elektrische auto's gefabriceerd door Baker Electric. De topsnelheid was 23 kilometer per uur, bij een actieradius van 80 kilometer. Een ander bekend merk uit die begintijd was Detroit Electric. Deze firma produceerde elektrische auto's die een topsnelheid bereikten van 32 kilometer per uur, bij een actieradius van 130 kilometer.

Elektrische auto's kunnen tegenwoordig redelijke afstanden afleggen

Dat is te danken aan:

- een beter soort accu (nikkel-metaalhydride of lithium-ion in plaats van loodaccu's)
- het hogere rendement van de elektromotor (90%) in vergelijking met een benzinemotor (25%)
- een lagere snelheid (de luchtweerstand is evenredig met de 2e macht van de snelheid)
- een lage rolweerstand, een laag gewicht en een goede stroomlijn
- teruglevering van energie tijdens remmen, afdalen van een helling en bij snelheidsvermindering

Enkele kenmerken van de elektrische auto

- de elektrische auto is vrijwel geruisloos
- de elektrische auto produceert geen uitlaatgassen (maar de elektrische centrale des te meer)
- de elektromotor kan bij alle toerentallen het maximale koppel leveren, hierdoor is een snelle acceleratie mogelijk
- de elektromotor draait nooit stationair
- er is geen versnellingsbak nodig
- de actieradius is (zeer) beperkt
- de batterij is zwaar, zeer duur en neemt veel ruimte in
- het opladen van de accu duurt lang (minimaal 4 uren)
- het verwarmen van een elektrische auto gaat ten koste van de actieradius

Voor speciale toepassingen zoals koerierdiensten, gemeentelijke diensten en woon-werk verkeer ligt er wel een toekomst voor elektrische auto's in het verschiet. Daarbij neemt de luchtvervuiling in de grote steden af, echter **ten koste van de luchtvervuiling bij de elektrische centrale**.

De EV1 van General Motors



De **EV1** (electric vehicle) van General Motors werd geproduceerd tussen 1996 en 1999. Het was een 2-persoons elektrische auto. Er werden 1117 stuks van gemaakt. Ze mochten alleen geleasd worden en waren dus niet te koop. In 2003 werden alle auto's door General Motors ingenomen en vernietigd, op een paar na die aan musea en scholen werden geschonken. Ze werden eerst onbruikbaar gemaakt. Dit gebeurde waarschijnlijk (mede) onder druk van de olie-industrie. Het eerste ontwerp ontstond ter gelegenheid van de "World Solar Challenge" in Australië in 1987. Het eerste type, de "Impact" haalde ooit een topsnelheid van 295 kilometer per uur.

Iedereen was enthousiast, behalve General Motors. Men was aan de ontwikkeling van de EV1 begonnen, om aan te tonen dat de tijd nog niet rijp was, om een succesvolle elektrische auto te maken. De ontwikkelaars waren echter zó enthousiast, dat het moeilijk was om ze af te remmen. De accu van deze auto kon worden opgeladen via een inductiespoel. Dat was veilig tijdens regenperiodes. Opladen via een plug was ook mogelijk. Voor de gebruiker was de EV1 een groot succes. Voor General Motors was de winstmarge te laag en men was bang dat de verkoop van gewone auto's, waarop veel winst werd gemaakt, zou afnemen. Dat gebeurde toch, omdat Japan veel moderne auto's importeerde. De EV1 was de beste elektrische auto die ooit is gemaakt. Hij was zijn tijd ver vooruit.

Enkele gegevens:

- een aluminium frame en veel plastic onderdelen, waardoor het gewicht laag was
- een zeer lage luchtweerstand
- verwarming door middel van een warmtepomp
- de auto accelereerde in 8 seconden van 0 naar 100 kilometer per uur
- de topsnelheid was 130 kilometer per uur
- de actieradius was 200 kilometer

Over deze auto is in 2006 een film gemaakt: "**Who killed the electric car?**"

De Tesla model S



In 2013 kwam in Europa een volledig elektrische 5-persoons auto op de markt, de Tesla model S
Enkele gegevens:

- de auto accelereert in 5,6 seconden van 0 naar 100 kilometer per uur
- de topsnelheid is 200 kilometer per uur
- de energie-inhoud van de lithium-ion accu is **85** kilowatt-uur
- de actieradius is **480** kilometer (bij een constante snelheid van 88 kilometer per uur)
- het gewicht van de accu is 700 kilogram
- het gewicht van de auto is 2100 kilogram
- met een **supercharger** kan de accu in 40 minuten tot 80% worden opgeladen.

De hybride auto



De Prius

Toyota heeft in 1997 de "Prius" op de markt gebracht. Dit is een "hybride" auto. In 2004 verscheen een verbeterde versie. Van dit type rijden er wereldwijd nu (2013) al meer dan 3 miljoen stuks rond. Het is een auto, die afhankelijk van de situatie, door een elektromotor, een benzinemotor of een combinatie van beiden wordt voortbewogen. Het doel hierbij is om een zo hoog mogelijk rendement te behalen.

- het rendement van de Atkinson benzinemotor is hoog, maar sterk afhankelijk van de belasting en het toerental
- bij de elektromotor is het rendement altijd hoog
- de elektromotor werkt mee, als het rendement van de benzinemotor laag is
- de energie voor de elektromotor wordt geleverd door een oplaadbare nikkel-metaalhydride accu van 1,3 kilowatt-uur
- bij (regeneratief) remmen en snelheidsvermindering werkt de elektromotor als dynamo en levert energie terug aan de accu
- bovendien wordt de accu opgeladen door een generator, die aan de benzinemotor is gekoppeld
- de benzinemotor, generator en elektromotor zijn gekoppeld aan een mechanische energieverdeler
- deze energieverdeler functioneert tevens als een continu variabele automatische versnellingsbak
- de airconditioning wordt elektrisch aangedreven en werkt daardoor dus ook als de benzinemotor niet in bedrijf is

Het meeste effect van het hybride systeem wordt bereikt in remmen-stoppen-optrekken situaties. Dus in de file en in de stad met veel stoplichten. Over lange afstanden en bij continu hoge snelheden werkt het hybride systeem niet. Dan doet alleen de zuinige Atkinson benzinemotor het werk. De Prius heeft een "energiemonitor" op het dashboard. Deze nodigt uit tot een zuinige rijstijl. Het verbruik blijkt dan **1 liter per 21 km** te zijn.

De brandstofcel auto

Enkele kenmerken:

- de energiebron voor een brandstofcel auto is waterstof
- in een brandstofcel "verbrandt" de waterstof, waardoor elektriciteit wordt opgewekt
- bij de verbranding van waterstof ontstaan geen schadelijke gassen, alleen maar water
- de opgewekte elektriciteit wordt via een accu toegevoerd aan een elektromotor, die de auto voortbeweegt
- bij remmen en snelheidsvermindering wordt energie teruggeleverd aan de accu

De vraag blijft alleen, **"waar haalt men de waterstof vandaan"**

Waterstof kan worden verkregen door elektrolyse (ontleding) van water. De elektriciteit die hiervoor nodig is moet worden opgewekt via verbranding van fossiele brandstoffen, (waarbij **wel** schadelijke gassen ontstaan), kernenergie, zonne-energie, windenergie of andere vormen van "groene" energie.

Rendementen

- het rendement van de productie van elektriciteit is **40%**
- het rendement van elektrolyse van water is **70%**
- het rendement van een brandstofcel is **50%**
- het rendement van een elektromotor is **90%**
- het totaalrendement is slechts $40\% \times 70\% \times 50\% \times 90\% = 13\%$

Zal de brandstofcel auto ooit op de weg verschijnen?

Zoals de zaken er nu voor staan, is het niet erg waarschijnlijk dat de brandstofcel auto ooit op de weg zal verschijnen. Het ligt meer voor de hand, dat auto's in de toekomst zullen gaan rijden op synthetische benzine, synthetische dieselolie of elektriciteit.

In 2015 introduceerde Toyota de eerste brandstofcel auto



De Mirai

Enkele (voorlopige) gegevens:

- deze 4-persoons brandstofcel auto heeft een actieradius van **500 kilometer**
- de waterstof kan in 3 minuten worden getankt
- de gezamenlijke inhoud van de 2 tanks is 122 liter
- de druk in de tanks is 700 bar (1 bar is ongeveer 1 atmosfeer)
- per tankbeurt wordt 5 kilogram waterstof getankt

Grootschalige toepassing wordt omstreeks 2020 verwacht. Voorwaarde voor de introductie van de brandstofcel auto, is een infrastructuur, die het mogelijk maakt, dat op veel plaatsen waterstof onder hoge druk, kan worden getankt.

De Waterstof Economie

Het energiescenario van de toekomst, als de fossiele brandstoffen op zijn, zal misschien (gedeeltelijk) gebaseerd zijn op de zogenaamde Waterstof Economie. Hierbij wordt voorondersteld, dat er tegen die tijd, (omstreeks 2050) een oeverloze hoeveelheid "groene" energie beschikbaar zal zijn. Het is dan misschien ook mogelijk om energie op te wekken door kernfusie.

Energie kan worden opgeslagen in waterstof

- zonne-energie (uit de Sahara) en windenergie (afkomstig van windmolenparken in zee) is niet continu beschikbaar (de zon schijnt 's nachts niet en het waait ook niet altijd)
- voor de elektriciteit die door "groene" energie wordt opgewekt is er dus een opslagprobleem
- met elektriciteit kan waterstof worden geproduceerd, door elektrolyse (ontleding) van water
- in tegenstelling tot elektriciteit, kan waterstof (onder zeer hoge druk) wél opgeslagen worden, zowel in ongelimiteerde hoeveelheden als gedurende langere tijd
- de waterstof kan via brandstofcellen (of gasturbines) weer elektriciteit terug leveren, waarbij het enige "verbrandingsproduct" water is
- waterstof is in dit scenario een **energiedrager**

Waterstof is dus niet een onuitputtelijke bron van energie, zoals sommige mensen denken.

De (ideale) Waterstof Economie levert het volgende beeld op:

groene energie > elektrolyse van water > waterstof > brandstofcel > elektriciteit

Er bestaan nogal wat misverstanden omtrent: water, waterkracht, waterstof en kernfusie van waterstof-isotopen. Daarom hierbij het volgende overzichtje:

Water

Water is het verbrandingsproduct van waterstof en zuurstof en bevat dus **geen energie**

Waterkracht

Waterkracht komt vrij, als snelstromend water of water onder hoge druk een turbine aandrijft. Dit gebeurt in een waterkrachtcentrale. Waterkracht is een **energiebron**

Waterstof

Water kan door elektrolyse worden ontleed in waterstof en zuurstof. De energie in de waterstof komt weer vrij bij de "verbranding" in een brandstofcel. De energie voor de ontleding van water moet in eerste instantie worden geleverd door fossiele brandstoffen, kernenergie, kernfusie, windenergie, waterkracht, geothermische energie of zonne-energie. (dus door energiebronnen).

Waterstof is dus **geen energiebron**, maar een **energiedrager**

Kernfusie van waterstof-isotopen

Waterstof-isotopen kunnen via kernfusie samensmelten tot helium en daarbij een enorme hoeveelheid energie leveren. Deze techniek staat nog in de kinderschoenen en het zal nog tot 2050 duren, voordat er (misschien) praktische toepassingen zijn. Kernfusie is een **energiebron**

Kernfusie

Er bestaan 2 soorten kernreacties, die geschikt zijn voor het opwekken van energie.

- splijting van uraniumkernen. Dit wordt kernenergie genoemd
- samensmelting van waterstofkernen. Dit wordt kernfusie genoemd

Bij beide processen treedt massaverlies op. Bij kernsplijting is dit ongeveer 0,10% en bij kernfusie 0,67%. De "verdwenen" massa wordt volgens de formule van Einstein omgezet in energie

Onderstaande is een korte samenvatting van "**Kernfusie, een zon op aarde**"

Auteur: Dr. Ir. M.T. Westra FOM-instituut voor plasmafysica "Rijnhuizen"

De energie die de zon uitstraalt is afkomstig van kernfusie van waterstofatomen. Deze kernfusie komt tot stand bij een extreem hoge druk en een temperatuur van 15 miljoen graden celsius. Bij kernfusie op aarde is de druk, in vergelijking met de zon, verwaarloosbaar en daarom moet de temperatuur hier zeer veel hoger zijn, ongeveer 150 miljoen graden celsius.

Als materie zeer sterk wordt verhit, vormt het een plasma. In een plasma bewegen de atoomkernen en elektronen los van elkaar. Atoomkernen zijn positief geladen en stoten elkaar af. De afstotende kracht wordt bij 150 miljoen graden overwonnen door de snelheid waarmee de atoomkernen zich dan bewegen. Daardoor treedt kernfusie op.

De fusiereactie die op aarde het gemakkelijkst tot stand kan worden gebracht, is de fusie van de waterstof-isotopen deuterium en tritium. Hierbij ontstaan heliumatomen, neutronen en zeer veel energie.

Het grootste probleem bij kernfusie is de extreem hoge temperatuur, die nodig is om het fusieproces in het plasma tot stand te brengen. Geen enkel materiaal is tegen die temperatuur bestand. In een zogenaamde "Tokamak" wordt het hete plasma opgesloten in een sterk magnetisch veld en het komt daardoor niet in contact met de wand. Een Tokamak is een ringvormige reactor waarin het plasma wordt verhit tot de temperatuur waarbij kernfusie optreedt.

Een Tokamak moet een minimale grootte hebben, om meer energie te leveren dan nodig is voor het op gang houden van het fusieproces. **ITER** (International Thermonuclear **E**xperimental **R**eactor) zal de eerste (experimentele) kernfusiecentrale zijn, waarbij dat gaat lukken. ITER moet aantonen dat het mogelijk is om langdurig energie op te wekken met kernfusie. Men verwacht hiermee gedurende 10 minuten 500 megawatt te kunnen opwekken. Dat is tien keer meer dan wordt gebruikt voor het instandhouden van het hete fusieplasma. ITER wordt het grootste internationale wetenschappelijke onderzoeksproject sinds de bouw van het International **S**pace **S**tation. (ISS)

Na ITER zal DEMO gebouwd worden. Dat is een grotere centrale die de technische haalbaarheid, betrouwbaarheid en economische aantrekkelijkheid van fusie-energie moet demonstreren. Tenslotte zal omstreeks **2050** het eerste prototype van een commerciële fusiecentrale, PROTO gereed zijn. Kernfusie is inherent veilig. Er treedt geen kettingreactie op. Zodra er iets mis gaat, stopt de reactie. Bij kernfusie komt weinig radioactief afval vrij. Dit afval heeft een korte halveringstijd.

Kernenergie

In 2013 was het elektriciteitsverbruik in Nederland 115 miljard kilowatt-uur

Hiervoor zou nodig zijn: (afgerond)

of 300 ton verrijkt Uranium
of 36 000 000 ton steenkool

Als we denken aan een trein met goederenwagens van 50 ton en elk een lengte van 10 meter, dan levert dit het volgende beeld op:

- voor het aanvoeren van verrijkt Uranium 6 goederenwagens = 60 meter
- voor het aanvoeren van de steenkool 720 000 goederenwagens = 7200 kilometer

Van 1973 t/m 2013 was de toename van de wereldbevolking 84%

Van 1973 t/m 2013 was de toename van het wereld energieverbruik 222%

Samenvatting

- de wereldbevolking en het energieverbruik nemen sterk toe
- aardgas en aardolie raken nog deze eeuw op
- duurzame energie zal een beperkte rol blijven spelen
- kernfusie gaat nog 60 tot 80 jaar duren of komt misschien nooit

Conclusie

- kolencentrales en kernenergie zijn dus onontkoombaar

Sommige mensen denken:

- **"ze" vinden er wel wat op**
(je zet gewoon de Sahara vol met zonnepanelen)
- **het zal mijn tijd wel duren**
(dat is nog maar de vraag en hoe moet het dan met het nageslacht?)
- **op termijn wordt alle energie duurzaam opgewekt**
(dus alle energie die nodig is voor de voedselproductie, verwarming, industrie, vliegtuigen, treinen en 1 miljard auto's?)

Men kan wel van alles uitrekenen, maar dat wil nog niet zeggen dat het in de praktijk kan worden gerealiseerd, of dat het economisch haalbaar is

In 2009 was het aandeel kernenergie bij de opwekking van elektriciteit:

Frankrijk	77%	Duitsland	23%	Engeland	14%
België	54%	Zwitserland	41%	Zweden	43%

Wel of geen kernenergie?

Iedere oplossing heeft voor- en nadelen. De vraag is maar wat je liever hebt:

fossiele energiebronnen

- onomkeerbare klimaatverandering (broeikaseffect)
- daardoor stijging van de zeespiegel en overstromingen
- steeds verdere toename van de luchtvervuiling (CO₂)
- uitputting van alle fossiele brandstoffen
- oorlogen om de aanvoer van olie of aardgas veilig te stellen
- aardbevingen en bodemdaling door olie- en gaswinning

of kernenergie

- geen CO₂-uitstoot
- een beperkt (radioactief) afvalprobleem dat in principe oplosbaar is
- ongelukken met kerncentrales

Men staat voor dit dilemma, omdat er voor het jaar 2050 nog zo nodig 2 miljard mensen bij moeten komen. Dat zijn gemiddeld **1 miljoen per week** er bij, terwijl er al bijna **8 miljard** aardbewoners zijn.

Het is merkwaardig, dat men zich wel druk maakt over kernenergie en niet over kernwapens

Teletekst 3 juli 2017

Rusland en de VS bouwen hun voorraad kernwapens af. Toch investeert de VS tot 2026 zeker 400 miljard in de modernisering. Er zijn negen landen met kernwapens. Die hebben samen **14 935** kernkoppen.

Waarom geen kernenergie?

Veel mensen zijn tegen kernenergie, omdat ze "bang" zijn dat hun nageslacht (over duizenden jaren) zal worden opgescheept met het probleem van radioactief afval. Desondanks verbruiken diezelfde mensen in record tempo alle fossiele brandstoffen die er nu nog zijn, zonder zichzelf ook maar enige beperking op te leggen. De **eerstvolgende** generatie moet het dan maar verder bekijken. Diezelfde mensen denken straks natuurlijk "genuanceerd" over kernenergie, als duidelijk wordt dat hun eigen energievoorziening in gevaar zal komen.

Citaat van Patrick Moore, voormalig directeur van Greenpeace

"We hebben de fout gemaakt, om kernenergie op één hoop te gooien met kernwapens, net alsof alle nucleaire zaken slecht zijn. Ik denk dat dat een even grote fout is, als wanneer je nucleaire geneeskunde op één hoop zou gooien met kernwapens".

Thorium?

Op internet vond ik het volgende bericht van **ECN = Energieonderzoek Centrum Nederland**:

"Nieuwe kernbrandstof vermindert radioactief afval"

"Thorium is een interessante brandstof, omdat de Thoriumvoorraad op aarde voldoende is voor enkele **duizenden** jaren. Een Thoriumcentrale veroorzaakt 10 tot 100 keer **minder** radio-actief afval dan een gewone kerncentrale en dit afval heeft een relatief korte halveringstijd (300 jaar)

Kernfusie?

De schone kernfusie laat wel erg lang op zich wachten. De meest optimistische schatting is, dat in **2050** de eerste commercieel werkende kernfusie centrale operationeel zal zijn.

Enkele feiten, berekeningen en wetenswaardigheden

Het energieverbruik in Nederland

- in 2013 was voor de opwekking van elektriciteit **288 miljard kilowatt-uur** primaire energie nodig
- het totale primaire energieverbruik, nodig voor verwarming, de industrie, auto's en de opwekking van elektriciteit was **900 miljard kilowatt-uur**
- dat is ruim **3** keer zoveel als nodig is voor de opwekking van alleen de elektriciteit

Het massa-energie equivalent

1 kilogram massa is equivalent aan 25 miljard kilowatt-uur

Massa en gewicht

- **Massa** is de hoeveelheid materie.
- **Gewicht** is de kracht waarmee massa door de zwaartekracht van de aarde wordt aangetrokken.
- Op de aarde is de zwaartekracht niet overal even groot en het gewicht dus ook niet.
- **Massa is wel overal hetzelfde.**
- De eenheid van massa is de kilogram

De Zon

Bijna alle energie op aarde is afkomstig van de zon

- bijna alle energiebronnen op aarde (aardolie, aardgas, steenkool, biomassa, wind- en waterkracht) vinden hun oorsprong in zonne-energie.
- uitzonderingen zijn: geothermische energie, kernenergie en energie afkomstig van de maan (getijdencentrales).
- de meest directe energiebron is de licht- en warmtestraling van de zon. Deze energiebron is schoon en onuitputtelijk en daar zullen we het in de verre toekomst voor een groot deel van moeten hebben.
- de energie die de zon uitstraalt wordt opgewekt door kernfusie.
- elke seconde wordt in de zon **4,27 miljard kilogram massa** omgezet in energie.

De hoeveelheid energie die de zon in **1 seconde** uitstraalt is bijna **1 miljard** keer zoveel als het totale elektriciteitsverbruik van Nederland in **1 jaar**.

De hoeveelheid zonne-energie die jaarlijks op de aarde wordt ingestraald is **7000 keer** zoveel als het wereldverbruik van primaire energie.

Door sommige mensen wordt de conclusie getrokken, dat er **dus** geen energieprobleem is. Men moet daarbij wel het volgende bedenken:

- het aardoppervlak bestaat voor 71% uit water, de instraling op de resterende 29% is dus **2000** keer het wereldverbruik van primaire energie
- een groot deel van de zonne-energie wordt tegengehouden door de bewolking
- voor de opwekking van elektriciteit door zonne-energie, zijn gigantische oppervlakten nodig
- er bestaat nog geen efficiënt, grootschalig systeem voor de opslag van zonne-energie
- het rendement van de omzetting van zonne-energie naar elektriciteit is laag

Om 1 centrale van 600 megawatt te vervangen door zonnepanelen is in Nederland een veld van 9 bij 9 kilometer nodig

Zonne-energie bij de Evenaar

Bij de Evenaar is de daglengte het gehele jaar 12 uur. In de lente en de herfst staat de zon loodrecht boven de Evenaar. De hoeveelheid zonne-energie, die in een etmaal bij een volkomen wolkenloze hemel op een horizontaal geplaatst zonnepaneel valt, is dan gelijk aan 7,6 uur volle zon.

De produktiefactor komt daarmee op **31,8%**. In Nederland is dit **11,4%**. Bij de Evenaar is de produktiefactor dus maar **3 keer** zo groot als in Nederland.

Windenergie

Iedereen is er voorstander van, totdat er een windmolen in de buurt komt te staan. Men ervaart of verwacht de volgende bezwaren:

- lawaai
- het zonlicht kan bij een bepaalde stand van de zon hinderlijk worden onderbroken door de ronddraaiende wieken (een paar uur per jaar)
- horizonvervuiling (eindeloze woonwijken aan de horizon zijn geen probleem)
- vogels vliegen zich tegen de wieken te pletter
- bij grote windmolenparken in zee gaat het boven land minder regenen en waaien terwijl ook de golfslag vermindert

Vergelijking van zonne- en windenergie

enkele eigenschappen van zonne-energie

- in de winter levert zonne-energie weinig op en 's nachts niets, terwijl de energiebehoefte dan juist het grootst is
- zonne-energie is niet realiseerbaar op zee
- bij zonne-energie op land is de hierdoor gebruikte oppervlakte niet beschikbaar voor andere doeleinden
- vast opgestelde zonnepanelen vragen weinig onderhoud

enkele eigenschappen van windenergie

- in de winter levert windenergie relatief veel op, terwijl de energiebehoefte dan ook groot is
- windenergie is ook realiseerbaar op zee
- bij een windmolenpark op land kan de oppervlakte worden gebruikt voor landbouw of er kunnen koeien grazen
- windmolens vragen veel onderhoud

Brandstoffen en CO2

Per huishouden veroorzaakt een auto net zoveel CO₂, als de elektriciteit die afkomstig is van een kolengestookte centrale.

Het is merkwaardig dat milieuactivisten protesteren tegen kolengestookte centrales, terwijl ze zelf, net als iedereen rustig in een auto rondrijden (milieu-dominees)

Het broeikaseffect

Veel mensen denken dat het broeikaseffect wordt veroorzaakt door de energie die vrij komt bij de verbranding van de fossiele brandstoffen. Dat is niet het geval, want die hoeveelheid energie is te verwaarlozen ten opzichte van de hoeveelheid energie die door de zon op de aarde wordt ingestraald. De zon straalt per jaar **7000 keer** meer energie in, dan door menselijke activiteiten op aarde wordt opgewekt.

Het broeikaseffect wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de kooldioxide (CO₂), die bij de verbranding van fossiele brandstoffen vrij komt en ook door de waterdamp in de atmosfeer. Deze broeikasgassen laten de zonne-energie op weg naar de aarde vrijwel ongehinderd door, terwijl ze de uitstraling van warmte, afkomstig van de aarde tegengehouden.

De aarde koelt minder af, naarmate er meer broeikasgassen in de atmosfeer aanwezig zijn. Het is echter de vraag, of het effect van kooldioxide (CO₂) in dit proces wel zo groot is als tot nu toe wordt aangenomen. Dat is nog lang geen uitgemaakte zaak. Misschien hoort het "broeikaseffect" in dezelfde categorie thuis als "de zure regen" en "het gat in de ozonlaag". De toekomst zal het leren. Wel is duidelijk dat, hoe dan ook, het klimaat de laatste jaren sterk aan het veranderen is.

Denk hierbij aan het wegsmelten van het ijs op de noordpool en het verdwijnen van de "eeuwige" sneeuw in de Alpen. Ook de winters zijn de laatste jaren (in Europa) opvallend warm. Bovendien heeft men vaker te maken met extreem weer, zoals hittegolven, lange perioden van droogte of juist zware regenval, orkanen en daarmee gepaard gaande overstromingen.

Het stikstofprobleem

In 2019 is het zogenaamde "stikstofprobleem" plotseling actueel geworden. De naam zorgt voor veel verwarring. Stikstof is een chemisch **element** zonder nadelen. De lucht die we inademen bestaat voor 80% uit stikstof en daar is helemaal niets mis mee.

Bij het "stikstofprobleem" gaat het om chemische **verbindingen** van stikstof met zuurstof of waterstof. Verbindingen met zuurstof (stikstofoxiden) ontstaan bij verbranding van fossiele brandstoffen. Verbindingen met waterstof (ammoniak) ontstaan bij de veeteelt (mest)

Lichtbronnen

Vergelijking diverse lichtbronnen

	lichtrendement
gloeilamp	5%
spaarlamp	29%
TL-buis	41%
led-lamp	44%

Spaarlampen

Tussen 2009 en 2012 is de gloeilamp gefaseerd uit de handel genomen. Hierdoor is het CO₂-probleem een (heel klein) beetje kleiner geworden, want het energieverbruik van de verlichting is slechts 4% van het totale energieverbruik van een huishouden.

De spaarlamp bevat, evenals de TL-buis, schadelijke stoffen (o.a. kwik) en moet daarom als klein chemisch afval worden behandeld. Spaarlampen veroorzaken, evenals TL-buizen en led-lampen, storing in radio-apparatuur. Gloeilampen doen dat niet.

led-lampen (led = light emitting diode)

- de voordelen van de led-lamp zijn de kleine afmetingen, de levensduur en de schokbestendigheid. Bovendien is na inschakelen van de led-lamp het licht onmiddellijk op volle sterkte. (net zo snel als bij een gloeilamp)
- in vergelijking met kleine gloeilampjes, zoals bijvoorbeeld in zaklantaarns en in het achterlicht van een fiets, is het rendement van led's zeer hoog

Bij Ikea is een led-lamp van 16 watt te koop. De lichtstroom is 1600 lumen, dat is 100 lumen per watt. De kleurtemperatuur is 2700 kelvin. Het lichtrendement is dus 44% en daarmee hoger dan van een TL-buis. Het licht wordt gelijkmatig in alle richtingen uitgestraald. Het begint dus eindelijk wat te worden met de led-verlichting. (2018). Het grootste deel van de toegevoerde energie verdwijnt in het koellichaam van de led. De fitting van de lamp wordt daardoor zo heet, dat men die niet langdurig kan vastpakken.

Vliegtuigen

Een vliegtuig met een straalmotor

Sommige mensen denken dat een straalmotor (of een raketmotor) zich "afzet" tegen de lucht. Dat is niet het geval en een raketmotor (die zijn eigen zuurstof meeneemt) werkt zelfs beter in het luchtledige.

De propeller van een vliegtuig "zet zich af" tegen de massa van de omringende lucht.

Een straalmotor "zet zich af" tegen de massa van de gassen die hij zelf uitstoot.

- de werking van een straalmotor (en de raketmotor) berust op het principe van **actie = reactie** (3^e wet van Newton)
- in een straalmotor verbrandt kerosine met zuurstof uit de lucht
- de stuwkracht ontstaat doordat de **massa** van de verbrandingsproducten met hoge snelheid wordt uitgestoten door de straalmotor

Fietsen

Vermogen bij het fietsen op een vlakke weg, rechtop zittend en bij windstil weer

- een goed getrainde fietser, kan continu een vermogen van 130 watt leveren. Daarmee wordt bij windstil weer, op een toerfiets, een snelheid van 25 kilometer per uur gehaald
- een wielrenner kan continu 300 watt leveren. Op een racefiets is dat goed voor een snelheid van 40 kilometer per uur
- Lance Armstrong haalde ooit 450 watt. Daarmee was hij in staat om de "Alpe d'Huez" in 38 minuten te "beklimmen". Het hoogteverschil is 1061 meter en de afgelegde afstand 13,8 kilometer. De gemiddelde snelheid was dus 21,8 kilometer per uur

Wind bij fietsen is altijd nadelig, als men op de plaats van vertrek terug wil keren

rekenvoorbeeld:

- stel, de afstand is 30 kilometer heen en 30 kilometer terug
- **geen wind**, fietssnelheid 20 kilometer per uur, de fietser is **3** uur onderweg
- **een wind van 10 kilometer per uur, mee of tegen**
Bij dezelfde snelheid t o v de wind, ondervindt de fietser steeds dezelfde luchtweerstand.
Heen (wind mee) 30 kilometer per uur en terug (wind tegen) 10 kilometer per uur.
Nu is de fietser $1 + 3 = 4$ uur onderweg.
De hoeveelheid geleverde energie is nu $4 / 3 = 1,33$ keer zo veel als bij windstil weer

Ook bij zijwind moet een fietser meer energie leveren dan bij windstil weer

Fietsen met een constante snelheid op een vlakke weg

Als men de rolwrijving en de luchtweerstand buiten beschouwing laat, dan kost fietsen met een constante snelheid op een vlakke weg geen energie. De massa van de fietser + fiets is daarbij niet van belang. (1e wet van Newton)

Fietsen met een constante snelheid is in de praktijk echter niet mogelijk, omdat de kracht die op de pedalen wordt uitgeoefend, niet constant is. Per omwenteling van de trapas, wordt de fiets 2 keer een beetje versneld door de fietser en daar tussendoor 2 keer een beetje vertraagd door de rolwrijving en de luchtweerstand. Het uiteindelijke effect hiervan is, dat bij een "constante snelheid" er toch enige energie nodig is, die evenredig is met de massa (gewicht) van de fietser + fiets.

Elektrische fietsen

- bij een snelheid van 20 kilometer per uur en een tegenwind van 4 meter per seconde, moet een rechtop zittende fietser een hoeveelheid energie leveren van 9 watt-uur per kilometer
- voor 50% ondersteuning door een elektrische fiets, is dan **4,5** watt-uur mechanische energie per kilometer nodig
- het rendement van de elektromotor met bijbehorende energieregeling is ongeveer **90%**
- bij 50% ondersteuning moet de accu van een elektrische fiets dus **5 watt-uur per kilometer** leveren

Dat is wel een minimum waarde, want men gebruikt de ondersteuning vooral bij (sterke) tegenwind. De (gemiddelde) actieradius van een elektrische fiets bij 50% ondersteuning is hiermee gemakkelijk te berekenen.

$$\text{actieradius (kilometers)} = \frac{\text{energie-inhoud van de accu (watt-uur)}}{5 \text{ (watt-uur per kilometer)}}$$

Er bestaan 3 uitvoeringsvormen van elektrische fietsen:

- aandrijving door middel van een motor in het **voorwiel**
- aandrijving door middel van een motor die gekoppeld is aan de **trapas**
- aandrijving door middel van een motor in het **achterwiel**

Trapsensor of rotatiesensor?

De laatste tijd verschijnen er steeds meer elektrische fietsen op de markt, die voorzien zijn van een rotatiesensor in plaats van een trapsensor. Het voordeel van de rotatiesensor is de lagere prijs en de eenvoudige constructie. Het nadeel is de kleinere actieradius en de onveiligheid.

Bij de toepassing van een rotatiesensor, wordt de ondersteuning (meestal abrupt) ingeschakeld zodra de trappers worden rondgedraaid. Ook als men daarbij weinig of geen kracht uitoefent, is de motor ingeschakeld en die levert dan vrijwel alle energie die voor de voortbeweging nodig is. Als men sneller wil gaan fietsen, dan moet men onevenredig veel harder op de pedalen gaan trappen, omdat de berijder de extra energie dan geheel zelf moet opbrengen. In de praktijk blijft men daarom meestal fietsen met de snelheid waarbij de ondersteuning maximaal is. Een prima oplossing voor mensen die zich niet willen inspannen, maar dat gaat dus wel ten koste van de actieradius. Als men ophoudt met trappen, blijft de ondersteuning meestal nog even doorgaan. Daarom zijn deze fietsen vaak voorzien van een schakelaartje bij de remhandel. Als men remt, wordt het circuit naar de motor onmiddellijk verbroken. Elektrische fietsen met een rotatiesensor zijn potentieel gevaarlijk in het verkeer, vooral voor oudere berijders. Maar alles went.

Bij een elektrische fiets met een trapsensor zijn genoemde problemen geheel afwezig.

Trapt een elektrische fiets zonder ondersteuning zwaarder dan een gewone fiets?

Het is een wijd verbreid misverstand, dat een elektrische fiets (veel) zwaarder trapt dan een gewone fiets, als de ondersteuning is uitgeschakeld. Bij het grotere gewicht van een elektrische fiets, is alleen de rolweerstand wat groter dan bij een gewone fiets. De luchtweerstand is uiteraard gelijk. Bij een constante snelheid op een vlakke weg, is het gewicht van de fiets + fietser (vrijwel) niet van invloed. (1e wet van Newton).

De rolweerstand is te verwaarlozen ten opzichte van de luchtweerstand, vooral bij enige tegenwind. Tijdens accelereren en bij het oprijden van een helling speelt het grotere gewicht natuurlijk wel een belangrijke rol. Maar bij een lange fietstocht (in Nederland) zullen hellingen niet zo vaak voorkomen.

De actieradius van een elektrische fiets wordt voor een groot deel bepaald door de luchtweerstand

Onlangs kwam ik in gesprek met een echtpaar met een elektrische fiets. De man met een flink postuur zei, dat hij een veel kleinere actieradius op zijn fiets realiseerde dan zijn tengere echtgenote. Hij dacht dat dit veroorzaakt werd door het verschil in gewicht. Dat is niet het geval, want bij een constante snelheid op een vlakke weg, speelt het gewicht van de berijder vrijwel geen rol.

Het verschil in de actieradius wordt veroorzaakt door het verschil in luchtweerstand. De luchtweerstand is evenredig met het frontaal oppervlak van fietser + fiets.

Als het frontaal oppervlak 25% groter wordt, dan neemt de actieradius met 20% af.

De voordelen van een elektrische fiets zijn:

1. het energieverbruik van een elektrische fiets is 10 keer minder dan van een bromfiets
2. de ondersteuning voor 80 kilometer kost minder dan 10 eurocent (= 0,5 kilowatt-uur)
3. een uur elektrisch fietsen verbruikt net zoveel energie als een uur TV kijken.
4. een elektrische fiets vraagt vrijwel geen onderhoud
5. voor een elektrische fiets geldt geen helmplicht (maar het dragen van een helm is wel veiliger)
6. voor een elektrische fiets geldt geen verzekeringsplicht
7. een elektrische fiets is veel sportiever en gezonder dan een bromfiets, omdat men altijd meetrapt
8. een elektrische fiets stinkt niet, maakt geen lawaai en lekt geen olie
9. **men kan met een elektrische fiets ook gewoon fietsen**
10. met een elektrische fiets, fiets je vaker, verder en vlugger

De STEG centrale

- in een **stoom- en gascentrale**, de STEG centrale, wordt de elektriciteit opgewekt met behulp van 2 turbines
- de eerste turbine is een gasturbine, de tweede turbine is een stoomturbine
- de stoom voor de stoomturbine wordt geproduceerd door de warmte van de uitlaatgassen van de gasturbine
- vaak zitten de gas- en stoomturbine op dezelfde as en ze drijven dan samen een generator aan
- het rendement van een STEG centrale is 58%

Bij een STEG centrale is de verhouding tussen de inlaattemperatuur van de gasturbine en de uitlaattemperatuur van de stoomturbine veel groter dan bij een enkelvoudig proces. Het totaalrendement is daardoor dus ook groter. (Carnot).

Kerncentrale

De kerncentrale in Borssele

De kerncentrale in Borssele heeft een vermogen van **449** megawatt. In het jaar 2000 was de energie-opbrengst **3 700 00** megawatt-uur. De produktiefactor van deze centrale was toen 94%. Een kerncentrale is slecht regelbaar en draait daarom vrijwel altijd op maximaal vermogen.

Vergelijking aantal centrales, nodig voor Nederland

Het elektriciteitsverbruik van Nederland = **115 000 000** megawatt-uur per jaar (2013)

	megawatt-uur per jaar	aantal centrales
kolen- of gascentrale 600 megawatt	4 200 000	28
kerncentrale Borssele	3 700 000	31
windmolenpark Gemini	2 600 000	44
getijdencentrale Bretagne	540 000	213
zonnetrogscentrale Andalusië	495 000	232
windmolenpark IJmuiden	435 000	264
zonnecentrale Waldpolenz	52 000	2212
heliostaten Sevilla	48 000	2396
grootste windmolen ter wereld	21 000	5476

Een elektrische centrale met een vermogen van 600 megawatt

- bij een produktiefactor van 80% is de jaaropbrengst: $600 \text{ megawatt} \times 0,80 \times 24 \text{ uur} \times 365 \text{ dagen} = 4\,200\,000 \text{ megawatt-uur} = 4,2 \text{ miljard kilowatt-uur}$

Het Waldpolenz Solar Park

- voor de volledige elektriciteitsvoorziening van Nederland zouden er **2212** van deze centrales nodig zijn
- dat zijn **1,2 miljard** panelen, een veld van ruim 50 bij 50 kilometer

Zonne-energie, een realistisch perspectief?

Elektrische auto's

- in 2018 waren er in Nederland 8 miljoen auto's
- per auto was de afgelegde afstand gemiddeld 15 000 kilometer per jaar
- de totaal afgelegde afstand was dus **120** miljard kilometer
- dat is 800 keer de afstand aarde - zon
- een elektrische auto verbruikt bruto **200** watt-uur per kilometer
- in 1 jaar verbruiken 8 miljoen elektrische auto's dus **24 miljard kilowatt-uur**
- daarvoor zijn **6** centrales van 600 megawatt extra nodig
- ook de infrastructuur van het elektriciteitsnet (hoogspanningsleidingen en centrales) moet aanzienlijk worden vergroot, als iedereen elektrisch gaat rijden

Een paar elektrische auto's die onlangs op de markt zijn verschenen

	accu (kilowatt-uur)	actieradius (kilometers)
Lightyear One	60	575
Opel Ampera-E	58	345
Renault Zoe R110	52	320
Tesla 3	46	315
Hyundai IONIQ	38	260
BMW i3	38	235
MG ZS EV	45	230
Nissan Leaf	36	220
Volkswagen e-Golf	32	190

bron: ev-database.nl

De actieradius van een elektrische auto

Vaak worden onrealistische waarden vermeld, zoals bij de **Ampera-E**. Volgens de NEDC-norm zou deze auto een actieradius hebben van 500 kilometer. De werkelijke actieradius blijkt 345 kilometer te zijn. De **Lightyear One** is voorzien van zonnepanelen. Die maken een extra grote actieradius mogelijk.

De problemen bij de elektrische auto zijn:

- de kleine actieradius
- de lange laadtijd van de accu
- het grote volume van de accu
- het grote gewicht van de accu
- de hoge prijs van de accu

Zolang deze problemen niet zijn opgelost, kan er geen sprake zijn van een grootschalig gebruik van de elektrische auto. Het is veelzeggend, dat Toyota zich heeft teruggetrokken uit de markt voor elektrische auto's.

Hoeveel zonnepanelen zijn er nodig voor een elektrische auto die 40 kilometer per dag rijdt?

Sommige mensen fantaseren er wel eens over, om in de toekomst hun elektrische auto te laten rijden op de energie die afkomstig is van hun eigen zonnepanelen.

- een elektrische auto verbruikt netto 150 watt-uur per kilometer
- 40 kilometer per dag = 14 600 kilometer per jaar
- daarvoor heeft men **2 200** kilowatt-uur per jaar nodig
- een zonnepaneel van 1,6 vierkante meter levert in Nederland **200** kilowatt-uur per jaar
- er zijn dus minstens **11** van die zonnepanelen nodig
- in de praktijk gaat dit niet zonder meer lukken, want in de winter is er veel te weinig zonne-energie beschikbaar en bovendien moet de auto dan worden verwarmd
- als de auto onderweg is, kan de zonne-energie uit de zonnepanelen op het dak van een huis, niet worden opgeslagen in de accu van de auto
- het lichtnet fungeert dan als dag- en seizoenopslag van de zonne-energie
- zonder een aansluiting op het lichtnet is het vrijwel onmogelijk om met een elektrische auto het hele jaar (indirect) op zonne-energie te rijden

Elektrische auto met zonnecellen

De Lightyear One

Dit is een 4-persoons elektrische auto, die 400 tot 800 kilometer kan rijden op 1 batterijlading. De benodigde energie daarvoor wordt (grotendeels) opgewekt door zonnecellen op het dak van de auto. De naam "Lightyear" is ontleend aan het feit, dat alle auto's ter wereld gezamenlijk, elk jaar een totale afstand afleggen die ongeveer gelijk is aan 1 lichtjaar. (= 9460 miljard kilometers) Die kilometers worden nu nog steeds met fossiele brandstof afgelegd. Er rijden ongeveer 1 miljard auto's op de aarde rond, die gemiddeld 9460 kilometers per jaar afleggen.

In Nederland zou de Lightyear One volgens de ontwerpers 10 000 kilometer per jaar op zonne-energie kunnen rijden: Dat is dus gemiddeld 30 kilometer per dag
Rekenvoorbeeld:

- stel, het rendement van de zonnecellen is 24%
- daarmee is de opbrengst in Nederland 200 kilowatt-uur per vierkante meter per jaar
- stel, het verbruik van de auto is 100 watt-uur per kilometer
- voor 10 000 kilometer is dan 1000 kilowatt-uur nodig
- de benodigde oppervlakte van de zonnecellen is dus 5 vierkante meter
- voorwaarde is, dat de auto altijd in de open lucht wordt geparkeerd en dat er nooit schaduw op de zonnecellen valt
- in de winter gaat het niet lukken om voldoende zonne-energie op te vangen

Blijft natuurlijk de vraag, of het niet beter is, om een groot aantal zonnepanelen op het dak van je huis te leggen en de energie die hiermee wordt opgewekt, op de een of andere manier in de accu van een gewone elektrische auto te stoppen.

Het antwoord van Lightyear is:

Je moet beiden doen. Dus zowel zonnecellen op het dak van je auto, als ook zonnecellen op het dak van je huis, waarmee het eventuele tekort kan worden aangevuld.

De plug-in hybride auto

Toyota bracht in 2012 de **plug-in** Prius op de markt. Deze plug-in hybride auto heeft een relatief grote accu, die vanuit het lichtnet kan worden opgeladen. De accu heeft voldoende energie-inhoud, om daarmee 20 kilometer elektrisch te rijden. Voldoende voor (een enkele reis) woon-werk verkeer of om boodschappen te doen.

Enkele gegevens: (ontleend aan het blad "My Toyota", voorjaar 2011)

- de actieradius bij volledig elektrisch rijden is 20 kilometer
- de energie-inhoud van de accu is 5,2 kilowatt-uur
- de laadtijd vanuit een gewoon stopcontact is 90 minuten
- het benzineverbruik is gemiddeld 2,6 liter per 100 kilometer
- de CO₂-uitstoot is 59 gram per kilometer

De auto zou een benzineverbruik hebben van 2,6 liter per 100 kilometer. Dat geldt alleen, als men afwisselend 20 kilometer elektrisch rijdt en 40 kilometer op benzine. Dan heeft deze auto een CO₂-uitstoot van 59 gram per kilometer. Als de CO₂-uitstoot bij de opwekking van elektriciteit ook in rekening wordt gebracht, dan blijkt de plug-in hybride (indirect) evenveel CO₂ te produceren als een gewone hybride auto. Dit alles neemt niet weg, dat het best wel leuk (en goedkoop) is, om thuis een deel van de benodigde energie vanuit het stopcontact in de auto te stoppen. Afhankelijk van het gebruik hoeft men dan minder vaak, of misschien helemaal niet meer naar de benzinepomp. Maar in de winter gaat dat niet lukken. Dan moet de benzinemotor vrijwel continu draaien, om daarmee de auto te verwarmen. Met dit soort berekeningen kan men alle kanten op. Maar het feit blijft, dat een plug-in hybride auto **niet** zuiniger is dan een gewone hybride auto en (indirect) een vergelijkbare CO₂-uitstoot veroorzaakt.

De CO2-uitstoot bij verschillende soorten auto's

(bij dezelfde hoeveelheid voortbewegingsenergie van 150watt-uur per kilometer en alles "well-to-wheel")

	elektrische auto	hybride auto	benzine auto	brandstofcel auto
CO2-uitstoot (per km)	123 gram door de centrale	150 gram door de auto	204 gram door de auto	295 gram door de centrale
verbruik in liters benzine-equivalent	1 liter per 18,7 km	1 liter per 20,6 km	1 liter per 15,2 km	1 liter per 7,7 km

elektrische auto

- de elektromotor hoeft nooit op te warmen
- er is geen versnellingsbak en er zijn dus geen transmissieverliezen
- tijdens remmen en snelheidsvermindering wordt energie teruggeleverd aan de accu
- de auto veroorzaakt geen CO2-uitstoot, maar de elektrische centrale des te meer

hybride auto

- de koude benzinemotor moet eerst op temperatuur worden gebracht, dat kost veel energie
- de continu variabele versnelling werkt met een zeer hoog rendement
- tijdens remmen en snelheidsvermindering wordt energie teruggeleverd aan de accu
- de benzinemotor draait steeds onder omstandigheden waarbij het rendement maximaal is
- de benzinemotor draait nooit stationair

benzine auto

- de koude motor moet eerst op temperatuur worden gebracht, dat kost veel energie
- er zijn relatief grote energieverliezen in de versnellingsbak
- er is geen teruglevering van energie mogelijk
- bij een benzinemotor is het rendement sterk afhankelijk van het toerental en het koppel
- de motor draait vaak stationair

brandstofcel auto

- dit is een elektrische auto waarbij de energie wordt geleverd door een brandstofcel
- door de 4-voudige energie-omzetting is het totaalrendement slecht
- de indirecte CO2-uitstoot is ruim 2 keer zo veel als bij een elektrische auto

het aantal energie-omzettingen bij verschillende soorten auto's

- **benzine auto 1x**
primaire energie in benzine > mechanische energie
- **elektrische auto 2x**
primaire energie in aardgas > elektriciteit > mechanische energie
- **brandstofcel auto 4x**
primaire energie in aardgas > elektriciteit > waterstof > elektriciteit > mechanische energie

Vergelijking vervoermiddelen

A = maximaal aantal personen per vervoermiddel

B = primaire energie per persoon per kilometer (watt-uur)

vervoermiddel	A	B
vliegtuig Boeing 747 Jumbo	500	300
brandstofcel auto	4	288
elektrische trein Thalys	377	151
benzine auto	4	150
elektrische auto	4	121
hybride auto Prius	4	108
elektrische trein Dubbeldekker	372	48
elektrische fiets	1	17

Als er 1 persoon in een benzine auto zit (en dat is meestal het geval), dan verbruikt die persoon **2 keer zoveel** primaire energie per kilometer als 1 persoon in een vol bezette Jumbo

De World Solar Challenge

In 2017 heeft het Nuon Solar Team (voor de 7e keer) de World Solar Challenge gewonnen. Dit is een tweejaarlijkse wedstrijd voor voertuigen die uitsluitend door zonne-energie worden aangedreven. Het Nuon Solar Team wordt gevormd door een aantal studenten van de Technische Universiteit Delft, die ooit onder begeleiding van ex-astronaut Wubbo Ockels, de "**zonnewagen**" hebben ontworpen en verbeterd.

De afgelegde afstand is 3021 kilometer, dwars door Australië van noord naar zuid. De gemiddelde snelheid is ruim 100 kilometer per uur.

Enkele technische gegevens van het voertuig:

- de lengte is 5 meter, de breedte is 1,8 meter en de hoogte is 80 centimeter
- de totale oppervlakte van de zonnecellen is 8,4 vierkante meter
- het gewicht is 189 kilogram (exclusief coureur)
- de energie-inhoud van de accu is 5 kilowatt-uur

De Shell eco-marathon

De Shell eco-marathon is een jaarlijkse zuinigheidswedstrijd, die gesponsord wordt door Shell. Het doel is, om met een voertuig zo veel mogelijk kilometers af te leggen op 1 liter normale benzine. Er zijn 2 klassen: "prototype" en "urban-concept".

1. Bij de **prototype** klasse is elke vorm van het voertuig toegestaan.
Meestal lijkt het dan op een gemotoriseerde ligfiets.
2. Bij de **urban-concept** klasse moet het voertuig enigszins lijken op een auto.
De bestuurder moet rechtop zitten en het voertuig moet vier wielen hebben.

Belangrijke factoren bij de recordpogingen zijn:

- een lage luchtweerstand, dus een klein frontaal oppervlak en een goede stroomlijn
- een laag gewicht
- een lage snelheid (de luchtweerstand is evenredig met de 2e macht van de snelheid)
- het rendement van de (kleine) motor moet zo hoog mogelijk zijn

De volgende records werden in 2014 met 1 liter benzine gehaald:

- in de klasse "prototype" **3315** kilometer
- in de klasse "urban-concept" **469** kilometer

Biobrandstof

Bij biobrandstoffen wordt de zonne-energie omgezet in chemische energie

Het rendement hierbij is hooguit **1%**

Vergelijking van de hoeveelheid elektriciteit die kan worden geproduceerd met hout of zonnepanelen

- met hout kan **3,2** kilowatt-uur elektriciteit worden opgewekt, per vierkante meter per jaar
- een zonnepaneel levert in Nederland **150** kilowatt-uur elektriciteit, per vierkante meter per jaar
- zonnepanelen zijn dus bijna **50 keer** efficiënter dan hout

Een paar wetenswaardigheden

De NorNed-kabel

Om het uitwisselen van grote hoeveelheden elektrische energie mogelijk te maken, is tussen Noorwegen en Nederland een onderzeese hoogspanningskabel aangelegd, de NorNed-kabel. Het transporteren van de elektriciteit gaat in de vorm van gelijkstroom. Bij wisselstroom zouden de capacatieve verliezen in deze kabel, die een lengte heeft van 580 kilometer, veel te groot zijn.

Enkele gegevens:

- de kabel werd in 2008 in gebruik genomen
- de lengte is 580 kilometer
- het is een 2 aderige kabel met een maximaal vermogen van 700 megawatt, bij een gelijkspanning van 900 kilovolt
- aan het begin en het einde van de kabel staan converters die enerzijds de wisselstroom omzetten in gelijkstroom en anderzijds de gelijkstroom weer omzetten in wisselstroom
- overdag wordt de met waterkracht opgewekte energie vanuit Noorwegen naar Nederland getransporteerd
- in de nacht kan goedkope Nederlandse nachtstroom teruggeleverd worden aan Noorwegen

Heteluchtmotor (Stirling motor)

- een heteluchtmotor wordt van buitenaf verwarmd en bevat geen kleppen
- de betrouwbaarheid is daardoor zeer groot, terwijl de motor ook erg geruisloos is
- vrijwel alle energiebronnen zijn geschikt om de motor te verwarmen, dus ook zonne-energie of aardgas

Rijdt een fiets met een verende voorvork zwaarder dan een gewone fiets?

Een verende voorvork wordt tijdens het rijden over een hobbelige weg een beetje warm. Deze warmte (= thermische energie) moet **extra** door de fietser worden opgebracht. Een fiets met een verende voorvork rijdt dus zwaarder dan een gewone fiets.

Energieverlies in de voedselkringloop

- als een mens graan eet, wordt 10% hiervan gebruikt voor de groei van zijn lichaam
- als een varken graan eet, wordt 10% hiervan omgezet in varkensvlees
- als een mens varkensvlees eet, wordt 10% hiervan gebruikt voor de groei van zijn lichaam, dat is dus slechts 1% van het graan dat door het varken was opgegeten

Uit het oogpunt van energie, is het eten van vlees dus zeer inefficiënt.

Gewoon scheren in vergelijking met elektrisch scheren

- gewoon scheren: 200 cc water 50 graden verwarmen = 10 kilocalorie = **11,6 watt-uur**
- elektrisch scheren: 2,8 watt-uur voor 7 keer scheren, dat is per keer dus **0,4 watt-uur**
- gewoon scheren kost dus **29 keer** zoveel energie als elektrisch scheren

Vergelijking van koken op gas met elektrisch koken

Op het eerste gezicht lijkt koken op gas veel efficiënter dan koken op elektriciteit, maar bij nadere beschouwing moet men dit toch enigszins nuanceren.

koken op gas:

- veel warmteverlies, omdat veel warmte om de pan heen stroomt
- verbrandingsprodukten (koolmonoxide en kooldioxide) ontstaan in de keuken
- gevaar voor gaslekages waardoor explosies kunnen optreden
- daarom zijn er veel gebouwen (torenflats) waar koken op gas verboden is
- energietoevoer (zeer) slecht regelbaar

elektrisch koken:

- geen verbrandingsprodukten in de keuken
- het rendement van de warmte-overdracht tussen kookplaat en pan, benadert de 100%
- de energietoevoer is uitstekend regelbaar
- de energietoevoer kan worden geautomatiseerd, zoals bijvoorbeeld het instellen op een bepaalde temperatuur en stoppen met verwarmen als het water kookt
- ook kan een tijdschakelaar worden toegepast (handig in bejaardenhuizen)

Betrouwbaarheid van de levering van elektriciteit

Iedereen verwacht, dat de levering van elektriciteit voor minstens 99,99% van de tijd is gegarandeerd. Gelukkig is dit in de praktijk aanzienlijk beter. Bij een betrouwbaarheid van slechts 99,99% zou men gemiddeld 53 minuten per jaar in het donker zitten.

Het energieverbruik van de verlichting

Het energieverbruik van led-verlichting is ongeveer **1,6%** van het totale elektriciteitsverbruik van een huishouden. Als men ernst wil maken met energiebesparing, is het beter om de verwarming wat lager te draaien en de auto af te schaffen, in plaats van zo nu en dan het licht in de keuken uit te doen. Kleine beetjes helpen namelijk maar een (heel klein) beetje.

Als iedereen een beetje doet, dan zullen we maar een beetje bereiken

Ook het idee om de verlichting van autowegen te verminderen, (om energie te sparen), terwijl men daarbij het autoverkeer ongemoeid laat, zet weinig zoden aan de dijk.

Enkele eenheden

Wattpiek

Wattpiek is het elektrisch **vermogen** van een zonnepaneel, bij een loodrechte instraling van **1000** watt per vierkante meter en een paneeltemperatuur van 25 graden celsius. Voorbeeld:

- een zonnepaneel heeft een oppervlakte van **1,6** vierkante meter
- stel, het rendement is **15%**
- het elektrisch **vermogen** is dan $1000 \times 1,6 \times 15\% = 240$ wattpiek
- bij een produktiefactor van 11,4% is de **energie**-opbrengst $11,4\% \times 0,240 \text{ kilowatt} \times 8760 \text{ uur} = 240$ kilowatt-uur per jaar

In de praktijk is de energie-opbrengst ongeveer 85% van wat theoretisch mogelijk is. Dat is dus $0,85 \times 240 = 200$ kilowatt-uur per jaar

Die 85% is het gevolg van de volgende omstandigheden:

- Het rendement van een zonnepaneel is afhankelijk van de ingestraalde energie en de paneeltemperatuur (hoe warmer hoe slechter)
- Een zonnepaneel is onderhevig aan veroudering en vervuiling
- Er treden verliezen op in de inverter. De inverter is een schakeling die de lage gelijkspanning van het zonnepaneel omzet in een wisselspanning van 230 volt. Hierdoor wordt het mogelijk om de zonne-energie terug te leveren aan het lichtnet
- Een vast opgesteld zonnepaneel (op een dak) staat bijna nooit onder de ideale hoek van 36 graden en is ook niet altijd gericht op het zuiden

1 huishouden = 10 kilowatt-uur per dag = 3650 kilowatt-uur per jaar

1 huishouden is de hoeveelheid **elektrische** energie die een gemiddeld huishouden in Nederland in 1 jaar verbruikt.

Voorbeeld:

Het windmolenpark bij **IJmuiden** levert 435 000 megawatt-uur per jaar.

Dat is dus voldoende voor $435\,000\,000 / 3650 = 119\,200$ huishoudens.

Verdeling van primaire energie, wereldwijd (2014)

aardolie	31,3%
steenkool	28,6%
aardgas	21,2%
biobrandstof en afval	10,3%
kernenergie	4,8%
waterkracht	2,4%
geothermisch, wind en zon	1,4%
totaal wereld	100,0%

Men kan wel "tegen steenkool" zijn, maar dat verandert niets aan het feit, dat bijna 29% van het wereldverbruik van primaire energie afkomstig is van steenkool

Vrije energie



Nikola Tesla

Er is geen enkele wetenschappelijke onderbouwing voor het bestaan van "vrije energie". Toch kan men hierover vage twijfels hebben, omdat **Tesla** dit in 1889 zou hebben uitgevonden. Tesla (1856-1943) was een van de grootste uitvinders aller tijden. Hij bedacht onder meer de infrastructuur van de elektriciteitsnetten zoals wij die tegenwoordig overal gebruiken. Dus energietransport door middel van wisselstroom via hoogspanningsleidingen en transformatoren. Ook was hij de uitvinder van de wisselstroom inductiemotor, de fluorescentie buis (TL-buis), de radio en de afstandsbediening.

In 1943, kort nadat hij was overleden, werd door het Amerikaanse Hooggerechtshof officieel vastgesteld dat Tesla de uitvinder van de radio was en dus niet Marconi.

Zijn grootste uitvinding zou zijn, de wereldwijde energievoorziening door "vrije energie", afgetapt uit de "ether". ("vrije energie" is de letterlijke vertaling van "free energy" = gratis energie). Experimenten hiermee vonden echter nooit plaats, omdat zijn geldschieters het lieten afweten. Die zagen helemaal niets in gratis energie.



De Warden Clyff Tower

Met 5 van deze torens wilde Tesla een wereldwijde, draadloze energievoorziening mogelijk maken

Tesla was in staat om energie draadloos over grote afstanden te transporteren. Vermeld wordt dat hij lampen op een afstand van enkele honderden meters draadloos liet branden. Ook zou hij een elektrische auto hebben omgebouwd, die daarna een week lang kon rondrijden zonder dat de accu werd opgeladen. Ook dit zou mogelijk gemaakt zijn, door het draadloos overbrengen van energie.

Op zichzelf is het draadloos overbrengen van energie niets bijzonders. Vrijwel alle energie die we op aarde gebruiken is draadloos overgebracht van de zon naar de aarde. Het is eigenlijk veel vreemder, dat men zeer grote hoeveelheden elektrische energie kan transporteren via een paar koperdraden. Bijvoorbeeld van een elektrische centrale naar een grote stad.

Opslag van Energie

Enkele vormen van energie-opslag

1. **Elektrische energie** in supercondensatoren
2. **Chemische energie** in batterijen, accu's en waterstof
3. **Thermische energie** in stoffen met een grote warmtecapaciteit
4. **Kinetische energie** in vliegwielen
5. **Potentiële energie** door het verplaatsen van massa tegen de zwaartekracht in, of het samenpersen van gassen

Energiebesparing

Isolatie van de woning

Voor de verwarming van een slecht geïsoleerd huis is gemiddeld 2150 kubieke meter aardgas per jaar nodig. Voor een goed geïsoleerd huis is dit nog maar 700 kubieke meter. Isoleren helpt dus echt heel veel. Het ideale huis is natuurlijk energieneutraal.

Verwarming van de woning

Het principe van "warmte-kracht koppeling" kan ook bij de verwarming van een woning worden toegepast. Een betere oplossing is het gebruik van een warmtepomp.

Warm water

Veel besparing kan worden bereikt, door de warmwaterboiler vlak bij de kraan te monteren, zowel in de keuken als bij de douche. In veel huizen bevindt zich een combiketel op zolder.

Dat is wel de **slechtst denkbare** plaats. Als men warm water nodig heeft, moet eerst de lange leiding naar de keuken of badkamer worden opgewarmd voordat het water op de verbruiksplaats de gewenste temperatuur heeft. Na dichtdraaien van de kraan koelt het water in de leiding weer af, wat puur energieverlies betekent. Bovendien kost dit ook nog eens extra veel water

Auto

Een aanzienlijke besparing in brandstof kan men bereiken met hybride auto's. Men moet dan denken aan (maximaal) 25%. De enige echte besparing is natuurlijk het afschaffen van de auto. Helaas is het openbaar (streek)vervoer van een dermate slechte kwaliteit, dat men deze stap moeilijk zal zetten. Alleen een extreme verhoging van de benzineprijs, zal op termijn enig effect sorteren, maar de meeste mensen zijn niet uit hun auto te slaan

Verlichting

Hoewel verlichting relatief weinig energie verbruikt, kan men daar toch wel wat op bezuinigen door het consequent gebruik van spaarlampen en led-lampen.

Het energieneutrale huis

- over een heel jaar gezien, moet de hoeveelheid opgewekte energie gelijk zijn aan de hoeveelheid verbruikte energie
- de elektriciteit wordt meestal opgewekt met zonnepanelen
- water wordt verwarmd door zonnecollectoren
- zolang er niets beters is bedacht, functioneert het lichtnet als buffer voor de (tijdelijk) overtollige elektrische energie
- in de zomer wordt het overschot aan elektriciteit teruggeleverd aan het net en in de winter wordt het tekort aan energie weer opgenomen uit het net
- de belangrijkste voorwaarde voor een energieneutraal huis is een goede isolatie van het dak, muren, ramen, deuren en vloeren
- grote ramen op het zuiden, voor maximale instraling van zonnewarmte in de winter
- boven de ramen een luifel waardoor in de zomer, als de zon hoger staat, weinig zonnewarmte naar binnen straalt
- 3-laags glas (maar dat houdt de zonnestraling niet tegen)
- door de goede warmte-isolatie van 3-laags glas is er in de zomer weinig of geen koeling nodig, terwijl in de winter de warmteverliezen beperkt zijn
- energiezuinige apparaten en verlichting
- bij ventilatie en het gebruik van warm water, terugwinning van warmte door warmtewisselaars
- vloerverwarming met een warmtepomp of met water afkomstig van zonneboilers. (bij lage temperaturen zijn de warmteverliezen klein)
- de relatieve warmteverliezen nemen af, naarmate een huis groter is.
- de warmteverliezen zijn het kleinst bij een bolvorm (in de praktijk een kubus). Uitstulpingen in de vorm van aangebouwde garages, serres en dakkapellen, veroorzaken extra warmteverliezen.
- men moet met meetapparatuur kunnen controleren of de energie-opwekking in balans is met het verbruik
- alles valt en staat met de motivatie om energie te besparen

Warmtetransport

Warmte gaat altijd (vanzelf) van een hoog temperatuurniveau naar een lager temperatuurniveau.

Voor transport in de omgekeerde richting is een (energieverbruikende) warmtepomp nodig.

Transport van warmte kan op **3** manieren plaats vinden:

1. door geleiding

In stilstaande materie, bijvoorbeeld een muur, wordt warmte getransporteerd door geleiding. Bij een gewone spouwmuur is de ruimte tussen de 2 muren gevuld met lucht. Die lucht kan dan vrijelijk circuleren tussen de 2 muren en dan wordt er warmte overgedragen door stroming. Als de tussenruimte gevuld wordt met bijvoorbeeld glaswol, dan is de warmte-isolatie heel goed, omdat glaswol veel stilstaande lucht bevat. **Stilstaande lucht is een zeer slechte warmtegeleider.**

Ook bij 2 of 3 laags glas bevindt zich stilstaande lucht tussen de glasplaten. De afstand tussen de glasplaten is daarbij zo klein, (ongeveer 0,5 centimeter), dat er vrijwel geen stroming van de lucht kan plaats vinden. Daardoor is dit soort glas een slechte warmtegeleider. Denk ook aan kleding. Een paar lagen over elkaar, met daartussen stilstaande lucht, isoleert de warmte veel beter, dan 1 dikke laag.

2. door stroming

Warmte kan getransporteerd worden door een stromend medium, zoals water, lucht of olie. Bij de centrale verwarming wordt warmte getransporteerd door het water dat vanuit de ketel naar de radiatoren stroomt. Door een openstaand raam stroomt warme lucht naar binnen of naar buiten. Als het buiten warmer is dan binnen, dan moet men de ramen dus **dicht** laten, tenminste als men het binnen koel wil houden.

3. door straling

Zonnestraling gaat vrijwel ongehinderd door glas en lucht. Hiertegen helpt 2 of 3 laags glas dus niet. Alleen glas, voorzien van een speciale coating kan de zonnestraling tegenhouden. Als men in de zomer de warmte **buiten** wil houden, moet er aan de **buitenzijde** van het raam een zonwering worden aangebracht. Als men in de winter de warmte **binnen** wil houden, moet er aan de **binnenzijde** van het raam warmte-isolatie worden aangebracht, bijvoorbeeld in de vorm van gordijnen

Hoe zal het nu verder met de energie gaan?

Olie

De gemakkelijk winbare olie begint op te raken. Men gaat daarom in Canada en Venezuela de moeilijk winbare olie uit teerzand halen. Ook gaat men naar olie boren bij de Noordpool en op 5 kilometer diepte in de Golf van Mexico. In Amerika, West Europa en Rusland zijn grote voorraden schaliegas en olie gevonden. Het winnen hiervan gaat gepaard met een grote vervuiling van het milieu, maar daar zit natuurlijk niemand mee. "Als het autootje maar rijdt".

Gas

Er is voorlopig nog voldoende gas, waarschijnlijk nog voor de komende 60 jaar. De top van de aardgasproductie wordt over 20 jaar bereikt. Daarna zal de prijs sterk gaan stijgen. West Europa is daarbij vooral afhankelijk van Noorwegen, Rusland, Noord Afrika en het Midden Oosten.

Steenkool

Er is wereldwijd zeer veel steenkool. Voldoende voor minstens 200 jaar. Steenkool is overal goed voor. Er kan stadsgas, waterstof, synthetische benzine en dieselolie mee worden geproduceerd. De techniek voor de productie van synthetische benzine uit steenkool is al sinds 1923 bekend en werd in de 2e wereldoorlog door Duitsland op grote schaal toegepast. (Fischer-Tropsch synthese)

Waterkracht

Hoewel de meest rendabele projecten al zijn gerealiseerd, liggen er nog grote mogelijkheden in Afrika en Zuid-Amerika. Waterkrachtcentrales veroorzaken veel schade aan het milieu.

Groene energie

Groene energie verkregen uit wind, zon, biomassa etc is voorlopig van weinig betekenis. Men denkt hiermee (in Nederland) maximaal 14% van (alleen) de elektriciteit in 2020 te kunnen opwekken. Windenergie komt in enkele landen uit de "startblokken". Zonne-energie is vooralsnog te verwaarlozen. Men moet hierbij denken aan hooguit enkele procenten van de totale elektriciteitsproductie. In 2009 was de wereldproductie van zonne-energie slechts **0,1 procent** van de totale hoeveelheid opgewekte elektrische energie.

Biobrandstof

Grootschalige productie van biodiesel etc gaat ten koste van de voedselproductie en het kost bovendien veel gewone brandstof. Dat is dus geen reële optie. De omzetting van zonne-energie naar biobrandstof gaat gepaard met een extreem laag rendement, in de orde van **1%**.

Kernenergie

Kernenergie met Uranium is bij het huidige verbruik, nog zo'n 75 jaar mogelijk. Als het Uranium op raakt, kan men waarschijnlijk met **Thorium** verder. Thorium kan volledig worden "verbrand" in eenvoudige reactoren. Dit in tegenstelling tot Uranium, waarvan slechts 0,7% kan worden gebruikt. (de isotoop U235) De hoeveelheid Thorium op aarde is voldoende voor enkele duizenden jaren

Kernfusie

Omstreeks **2050** mogen we de eerste praktische resultaten verwachten van kernfusie. Dan kan de mensheid beschikken over een oneindige hoeveelheid "schone" energie. De totale ontwikkelingstijd heeft dan ongeveer 100 jaar in beslag genomen. Men kan zich afvragen of het ooit wel zal lukken om zeer grote hoeveelheden energie op te wekken door middel van gecontroleerde kernfusie.

Waterstof

Waterstof kan worden geproduceerd met behulp van kernenergie via een thermo-chemisch proces of door elektrolyse van water. De benodigde elektriciteit voor de elektrolyse van water zal door kernfusie geleverd moeten worden, of door "groene" energie. Maar daarvoor is nog een lange weg te gaan. Waterstof is een "onhandelbare" brandstof, waarvoor nog geen infrastructuur bestaat. Waterstof is geen energiebron, maar een energiedrager. Het produceren van waterstof door elektrolyse van water kost **1,5 keer** meer energie dan het oplevert. **Waterstof is dus geen oplossing voor het energieprobleem**

Er dreigt een wanverhouding te ontstaan tussen de produktie en consumptie van energie. Er zouden vrijwel geen problemen zijn, als er een paar miljard mensen minder op deze aarde zouden rondlopen. (rondrijden). De werkelijkheid is, dat er voor het jaar 2050 nog een paar miljard mensen bij zullen komen. Dat zijn gemiddeld **1 miljoen per week erbij**.

De enige oplossing lijkt: (sterk) **bezuinigen** op energie en (veel) **minder** mensen. Bezuinigen op het energieverbruik, terwijl tegelijkertijd het aantal aardbewoners toeneemt, levert per saldo niets op. Dat is "dweilen met de kraan open"

Veel mensen denken: "Crisis zijn van alle tijden en men heeft altijd een oplossing gevonden, dus dat zal nu ook wel weer gebeuren".

- de mensheid wordt, voor het eerst in de wereldgeschiedenis, bedreigd door een extreme overbevolking
- **in de afgelopen 6 jaar is de wereldbevolking met een half miljard toegenomen.**
- alle energievoorraden raken vroeg of laat op
- de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer neemt voortdurend toe
- deze situatie heeft zich nog nooit eerder voorgedaan

Het worden interessante tijden

Watervoorbeeld

Om het verschil tussen **vermogen** en **energie** duidelijk te maken, gebruikt men vaak het watervoorbeeld.

vermogen

- stel, de waterleiding is in staat om (maximaal) 10 liter water per minuut via een kraan in een emmer te laten lopen
- het "**vermogen**" van de waterleiding is dan **10 liter water per minuut**
- dit vermogen is dus ook aanwezig als de kraan dicht is

energie

- zodra men de kraan helemaal open draait, stroomt er elke minuut 10 liter water in de emmer
- na bijvoorbeeld 5 minuten is er 50 liter water uit de kraan gekomen
- de geleverde "**energie**" is dan **50 liter water**

Hoe langer de kraan open staat, hoe meer "energie" er uit stroomt. Draait men de kraan weer dicht, dan houdt de "energielevering" op, maar **het vermogen om energie te leveren blijft aanwezig**.

Energie en arbeid

- **energie** kan worden omgezet in arbeid voorbeeld: elektriciteit kan een motor laten draaien
- **arbeid** kan worden omgezet in energie voorbeeld: een dynamo kan elektriciteit opwekken

Stel, we maken een tocht met een auto en we komen weer terug op het punt van vertrek. De auto heeft dan een aantal liters benzine verbruikt. De benzine bevat **energie**.

Het rendement van een benzinemotor is ongeveer 25%. Dat betekent dat 25% van de energie in de benzine wordt omgezet in nuttige mechanische **arbeid**. Hierdoor wordt de auto gedurende de tocht voortbewogen. Via de koeling van de motor en de hete uitlaatgassen verdwijnt 75% van de energie in de vorm van nutteloze warmte. Na afloop van de rit is de nuttige mechanische arbeid ook volledig omgezet in warmte. Die warmte ontstaat bij het overwinnen van de luchtweerstand, door wrijving in de banden, in de versnellingsbak, in de lagers etc. Na afloop van de rit is alle energie in de vorm van warmte "vervlogen" in de ruimte. De mechanische arbeid was daarbij een tussenvorm.

Anekdote

Tijdens een verjaarsvisite kwam ik in gesprek met een mevrouw van middelbare Leeftijd. Het gesprek kwam al gauw op treinen en auto's. "**Wàt, bent u met de trein?**" vroeg ze met een uitdrukking van ongeloof en afgrijzen op haar gezicht. Toen ik zei, dat op termijn de benzine op zal raken, werd mevrouw plotseling heel agressief. Haar reactie was: "Als **je** maar niet denkt, dat ik dan zal ophouden met autorijden". (dus ook niet als de benzine op is !?)

De gruwelijkste verhalen over het openbaar vervoer worden meestal verteld door mensen, die er nooit gebruik van maken.

Het Energieakkoord

bron: NRC-Handelsblad en Trouw 13 juli 2013

Veertig partijen en meer dan **zeven maanden** onderhandelen hebben het onderstaande (**voorlopige**) Energieakkoord opgeleverd.

- het energieverbruik in Nederland moet 1,5% per jaar omlaag
- 16% duurzame energie in 2023, in plaats van in 2020
- er wordt 400 miljoen euro vrijgemaakt voor woningisolatie
- er worden 5 kolencentrales gesloten, 3 in 2015 in Borssele, Geertruidenberg en Nijmegen en 2 op de Maasvlakte in 2017
- in 2023 moet windenergie de helft van alle huishoudens van stroom voorzien, 4400 megawatt aan turbines in zee en 6000 megawatt op land

Hiervoor zijn **2600 windturbines van 4 megawatt** nodig. Dan moeten er gedurende 10 jaar elke week 5 stuks worden geplaatst. Ik geloof er helemaal **niets** van.

Alle kolencentrales sluiten?

Het lijkt niet erg verstandig, om onder druk van de milieubeweging alle kolencentrales te sluiten. Hierdoor wordt de energievoorziening wel heel erg afhankelijk van Rusland, dat op elk moment de gaskraan kan dicht draaien. Kernenergie mag ook al niet, evenals schaliegas, biomassa, ondergrondse opslag van CO2 en gas uit Groningen. Dan blijven alleen een paar windmolens over, die 70% van de tijd stilstaan. (de produktiefactor van windenergie op land is 30%).

Het Klimaatakkoord

Het klimaatakkoord in Parijs, waarbij men elkaar ontroerd om de hals viel, omdat er nu eindelijk iets op papier was gezet, dateert van **12 december 2015**

Nieuwsbericht 23 februari 2018

De ministerraad heeft de kabinetsinzet voor het Klimaatakkoord vastgesteld. Daarmee wordt het startschot gegeven voor de besprekingen met het bedrijfsleven, maatschappelijke partijen en mede-overheden over het Klimaatakkoord. Het doel is om in de zomer van dit jaar tot afspraken op **hoofdpijnen** te komen over de wijze waarop Nederland de CO₂-uitstoot met 49% terugdringt in 2030. Deze afspraken zullen vervolgens in de 2e helft van het jaar worden uitgewerkt in concrete programma's.

De uitvoering van het Klimaatakkoord begint in **2019**

(Ik vraag me af: wat was er dan eigenlijk **wel** afgesproken bij het klimaatakkoord, als men het nu nog over de **hoofdpijnen** moet hebben? De voorbereidingen hebben dus ruim **3 jaar** geduurd)

Veel gehoorde uitspraken:

- Ik wil best wel wat doen voor het milieu, maar ik ga niet in de kou zitten
- Ik wil best wel wat doen voor het milieu, maar ik kan de auto niet missen
- Ik wil best wel wat doen voor het milieu, maar ik wil wel mijn dagelijkse stukje vlees

Enkele citaten uit teletekstberichten:

- Slechts 2% van de Nederlanders vindt de omschakeling van fossiele brandstoffen naar hernieuwbare energie een urgent probleem
- De VVD vindt dat Nederland "goed bezig is en niet moet doorslaan"
- De Britse regering wil wattenstaafjes en plastic rietjes verbieden

Duurzame energie - een nuchter verhaal

We zijn verslaafd aan fossiele brandstoffen, en dat gaat zo niet langer. De meest ontwikkelde landen halen 80% van hun energie uit fossiele brandstoffen, Groot-Brittannië zelfs 90%.

Er zijn drie redenen waarom we daar niet onbeperkt mee door kunnen gaan.

1. de goed toegankelijke fossiele brandstoffen zullen op een gegeven moment opraken, waarna we onze energie ergens anders vandaan zullen moeten halen.
2. de verbranding van fossiele brandstoffen heeft meetbare en naar alle waarschijnlijkheid riskante gevolgen voor het milieu. Het vermijden van gevaarlijke klimaatveranderingen is zeker een reden om ons gebruik van fossiele brandstoffen onmiddellijk te beperken.
3. naast klimaatverandering is ook de afnemende beschikbaarheid van fossiele brandstoffen in de toekomst een goede reden om het gebruik daarvan in Groot-Brittannië drastisch te verminderen. Als dat niet gebeurt, zal het grootschalige gebruik van de olie- en aardgasreserves in de Noordzee er snel toe leiden dat het aan fossiele brandstoffen verslaafde Groot-Brittannië afhankelijk wordt van onbetrouwbare buitenlanders. (Ik hoop dat mijn ironie overkomt.)

Hoe raken we van onze verslaving aan fossiele brandstoffen af?

Er is een stortvloed aan informatie over hoe we het anders kunnen doen, maar het grote publiek ziet door de bomen het bos niet meer en kan het verschil tussen effectieve maatregelen en symbolische handelingen niet goed bepalen. Mensen hebben groot gelijk als ze achterdochtig zijn wanneer bedrijven hen vertellen dat ze 'een steentje bijdragen' als ze 'groene' producten kopen.

Ook het Britse binnenlandse energiebeleid is een bron van onrust. Zijn 'decentralisatie' en 'warmte-kracht koppeling' bijvoorbeeld wel groen genoeg? De overheid wil ons dat graag laten geloven. Maar voldoet Groot-Brittannië met dergelijke technologie wel echt aan haar verplichtingen met betrekking tot klimaatverandering? Zijn windmolenparken niet meer dan 'een leeg gebaar waarmee onze leiders laten zien dat ze het beste met het milieu voorhebben'? Is kernenergie echt essentieel?

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

Deel I - Cijfers in plaats van bijvoeglijke naamwoorden

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

Als er cijfers worden genoemd, wordt de betekenis daarvan vaak verhuld door de grootte. Cijfers worden gekozen om te imponeren, om er tijdens discussies mee te scoren, en niet om mensen daadwerkelijk te informeren.

Mijn streven is om hier eerlijke, waarheidsgetrouwe cijfers te presenteren, en wel op zo'n manier dat ze inzichtelijk, vergelijkbaar en gemakkelijk te onthouden zijn. Cijfers worden inzichtelijk als ze worden omgerekend naar alledaagse, persoonlijke eenheden. Voor energie wordt gekeken naar de hoeveelheid per persoon in kilowattuur (kWh), dezelfde eenheid die wordt gebruikt op de energierekening. Vermogen wordt uitgedrukt in kilowattuur per dag (kWh/d) per persoon. Zo verbruikt een gemiddelde auto, als daar per dag 50 km mee wordt gereden, 40 kWh per dag. Als we 10% van het land met windmolens vol zouden zetten, levert dat gemiddeld 20 kWh per dag per persoon op.

Persoonlijke eenheden maken het een stuk eenvoudiger om het Verenigd Koninkrijk te vergelijken met andere landen of regio's. Als we bijvoorbeeld kijken naar afvalverbranding, zien we dat in het Verenigd Koninkrijk afvalverbranding per jaar 7 miljard kWh oplevert en in Denemarken 10 miljard kWh).

Kunnen we naar aanleiding daarvan stellen dat Denemarken 'meer' afval verbrandt dan het Verenigd Koninkrijk? Hoewel de totale hoeveelheid in elk land geproduceerde energie een interessant gegeven is, willen we meestal weten hoeveel afval er per persoon wordt verbrand. (Voor alle duidelijkheid: voor Denemarken is dat 5 kWh/d per persoon; in het Verenigd Koninkrijk 0,3 kWh/d per persoon. De Denen verbranden dus per persoon bijna 17 keer zoveel afval als de Britten). Door vanaf het eerste begin alles per persoon te kwantificeren, krijgen we een beter 'transponeerbaar' boek, dat hopelijk een nuttige bijdrage levert aan de internationale discussie over duurzame energie. Als we uitgaan van duidelijke cijfers, kunnen we vragen beantwoorden zoals:

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

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

Als we naar de cijfers in het rode diagram kijken, sneuvelen er meteen verschillende fabeltjes. Zo wordt bijvoorbeeld het aan laten staan van de mobiele telefoon oplader vaak genoemd als voorbeeld van een ecologische wandaad, terwijl mensen die hun oplader uitzetten worden geprezen omdat ze 'een steentje bijdragen'. In werkelijkheid verbruikt een gemiddelde telefoon oplader slechts 0,01 kWh per dag.

De hoeveelheid energie die wordt bespaard als we de oplader uit laten, bedraagt evenveel als de hoeveelheid energie die een rijdende auto in een seconde verbruikt.

Ik wil niet beweren dat opladers niet uitgezet moeten worden, maar 'alle beetjes helpen' is een misleidend cliché. Obsessief je telefoon oplader aan en uitzetten is net zoiets als de Titanic proberen te redden door te hopen met een theelepeltje. Schakel hem vooral uit, maar maak je geen illusies over de impact van dat gebaar.

- Alle energie die je bespaart door je oplader een dag uit te laten staan, wordt tijdens het autorijden in één seconde verbruikt.
- De energie die je bespaart als je de oplader een jaar uit laat staan, komt overeen met de hoeveelheid energie in een warm bad.

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

Als iedereen een beetje doet, dan zullen we maar een beetje bereiken.

Een ander veelzeggend cijfer is de hoeveelheid energie die iemand verbruikt tijdens een lange vlucht.

Als je één keer per jaar heen en terug naar Kaapstad vliegt, wordt daarbij ongeveer net zoveel energie verbruikt als wanneer je een jaar lang elke dag 50 km met de auto rijdt.

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

De eerste helft wordt afgesloten met **twee duidelijke conclusies**.

1. Elke faciliteit voor hernieuwbare energie moet van nationale omvang zijn om een bijdrage te leveren die significant is in vergelijking met ons huidige verbruik. Als we bijvoorbeeld in een kwart van het huidige energieverbruik willen voorzien door energiegewassen, dan moet 75% van Groot-Brittannië worden bedekt met biomassa-plantages. Om 4% van ons huidige energieverbruik te kunnen dekken met golfenergie, moet er 500 km aan de Atlantische kust volledig worden volgebouwd met installaties voor golfenergie. Iemand die denkt dat hernieuwbare energie mogelijk is zonder grootschalige, ingrijpende infrastructurele veranderingen, houdt zichzelf voor de gek.
2. Economische beperkingen en bezwaar vanuit de bevolking buiten beschouwing gelaten, zou het mogelijk zijn om de gemiddelde hoeveelheid energie die in Europa wordt verbruikt (125 kWh/d per persoon) op te wekken met voorzieningen voor hernieuwbare energie van nationale omvang. De grootste bijdrage kan worden geleverd door zonnepanelen, als 5% tot 10% van het land ermee wordt bedekt. Dat zou 50 kWh/d per persoon genereren. Windmolenparken voor de kust, die, - wanneer ze een stuk zee twee keer zo groot als Wales zouden vullen - leveren gemiddeld nog eens 50 kWh/d per persoon.

Het met panelen volbouwen van het platteland en het met windmolens opvullen van het Britse zeegebied (samen goed voor een totale capaciteit die vijf keer zo groot is als alle windturbines in de hele wereld van nu bij elkaar) is zuiver wetenschappelijk misschien haalbaar, maar zou het publiek zulke extreme maatregelen wel accepteren?

Als het antwoord daarop 'nee' luidt, ontkomen we niet aan de conclusie dat de *huidige consumptie nooit door Britse hernieuwbare energie gedekt zal worden*. Er zal of een radicale vermindering van het gebruik moeten komen, of significante nieuwe energiebronnen - en het liefst beide.

Deel II - Energieplannen die zoden aan de dijk zetten

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

De eerste drie strategieën zijn gericht op de **vraag naar energie**:

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

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

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

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

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

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

Plan E, is het Economische plan, waarbij de nadruk ligt op de meest economische CO₂-loze opties, namelijk windmolenparken op het vasteland, kernenergie en een klein aantal getijdencentrales. Uit deze plannen blijkt duidelijk met welke bouwstenen we een toekomst met minder CO₂ zullen moeten opbouwen.

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

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

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

Slecht:

Voertuigen op waterstof zijn een ramp. De meeste prototypes van voertuigen die op waterstof lopen verbruiken meer energie dan de voertuigen die ze moeten vervangen. De BMW Hydrogen 7 verbruikt 254 kWh per 100 km (ter vergelijking: een gemiddelde Britse auto die op fossiele brandstoffen loopt verbruikt 80 kWh per 100 km).

Goed:

Prototypes van elektrische voertuigen gebruiken daarentegen tien keer zo weinig energie: 20 kWh per 100 km of zelfs 6 kWh per 100 km.

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

Slecht:

Gedecentraliseerde warmtekrachtkoppeling is ook geen vruchtbare optie. Het is waar, dat de koppeling van warmte en vermogen (wat neerkomt op afzonderlijke generatoren voor elk gebouw, die lokaal elektriciteit en warmte opwekken om het gebouw op temperatuur te houden) een iets efficiëntere manier kan zijn om fossiele brandstoffen te gebruiken dan de gebruikelijke (in gecentraliseerde elektriciteitscentrales en lokale condensatieketels). Dit is echter maar 7% efficiënter. En daar gebruiken ze ook nog eens fossiele brandstoffen bij. Was het niet de bedoeling om die juist te vermijden? Er is gelukkig een veel betere manier om lokaal warmte op te wekken: *warmtepompen*.

Goed:

Een warmtepomp is een omgekeerde koelkast. Deze door elektriciteit aangedreven machines pompen warmte het gebouw in, die afkomstig is uit de buitenlucht of de grond. De beste warmtepompen, die onlangs in Japan zijn ontwikkeld, hebben een prestatiecoëfficiënt van 4,9 wat betekent dat voor 1 kWh aan elektriciteit de warmtepomp 4,9 kWh aan warmte levert in de vorm van warme lucht of warm water. Op zo'n manier energie gebruiken om warmte op te wekken is een stuk efficiënter dan hoogwaardige chemische stoffen verbranden, wat een prestatiecoëfficiënt oplevert van slechts 0,9

Slecht:

Windturbines voor op het dak zijn pure verspilling. Ze betalen zichzelf nooit terug.

Goed:

Een zonneboiler op het dak is daarentegen een uitstekende keus. Ze werken echt. Zelfs in Groot-Brittannië, waar het maar zo'n 30% van de tijd zonnig is, levert een bescheiden paneel van 3 m² al genoeg energie voor de helft van het warme water dat een gemiddeld gezin verbruikt.

Slecht:

De telefoon oplader aan en uit zetten is een nutteloze handeling, vergelijkbaar met de Titanic proberen te redden door te hozen met een theelepeltje. Dat het uitzetten van opladers voortdurend ter sprake komt als voorbeeld van 'iets wat je zelf kunt doen' is slecht, omdat daarmee de aandacht wordt afgeleid van effectievere maatregelen.

Goed:

De thermostaat lager zetten is voor de gewone burger de meest effectieve manier om energie te besparen. Voor elke graad dat hij lager wordt gezet, dalen de stookkosten met 10%, en in de meeste Britse gebouwen zorgt verwarming voor het meeste energieverbruik.

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

Deel III – Technische hoofdstukken

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

Deel IV – Nuttige informatie

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