

zie ook: [www.energiefeiten.nl](http://www.energiefeiten.nl)

## Een relativerend verhaal over **ENERGIE**

### "Grote getallen zeggen niets, verhoudingen wel"

<b>Inhoud</b>	<b>blz.</b>
Inleiding - - - - -	3
Enkele definities en fundamentele wetten - -	4
Het primaire energieverbruik van een huishouden -	8
Groene energie - - - - -	8
Zonne-energie - - - - -	9
Windenergie - - - - -	11
Opslag van zonne- en windenergie - - -	12
Waterkracht - - - - -	13
Geothermische energie - - - - -	13
Getijdencentrale - - - - -	14
Vergelijking met een centrale van 600 megawatt -	14
Biomassa - - - - -	14
Energie-opslag in de accu's van elektrische auto's -	15
Smart grid - - - - -	15
Warmte-kracht koppeling - - - - -	16
Warmtepomp - - - - -	16
Batterijen en accu's - - - - -	17
Lopen en fietsen - - - - -	19
Elektrische fiets - - - - -	20
Elektrische treinen - - - - -	21
Vaartuigen - - - - -	22
Vliegtuig - - - - -	22
De elektrische auto - - - - -	23
De hybride auto - - - - -	26
De brandstofcel auto - - - - -	27
De Waterstof Economie - - - - -	28
Kernfusie - - - - -	29
Kernenergie - - - - -	30

## Enkele feiten, berekeningen en wetenswaardigheden

Het energieverbruik in Nederland	-	-	-	-	32
Het massa-energie equivalent	-	-	-	-	32
Massa en gewicht	-	-	-	-	32
De Zon	-	-	-	-	32
Windenergie	-	-	-	-	33
Vergelijking van zonne- en windenergie	-	-	-	-	33
Brandstoffen en CO2	-	-	-	-	34
Het broeikaseffect	-	-	-	-	34
Lichtbronnen	-	-	-	-	35
Vliegtuigen	-	-	-	-	35
Fietsen	-	-	-	-	36
Elektrische fietsen	-	-	-	-	37
De STEG centrale	-	-	-	-	38
Kerncentrales	-	-	-	-	39
Vergelijking van enkele soorten centrales	-	-	-	-	39
Elektrische auto's	-	-	-	-	40
Elektrische auto's met zonnecellen	-	-	-	-	41
De plug-in hybride auto	-	-	-	-	42
De CO2-uitstoot bij verschillende soorten auto's	-	-	-	-	42
Vergelijking vervoermiddelen	-	-	-	-	43
World Solar Challenge	-	-	-	-	44
Shell eco-marathon	-	-	-	-	44
Biobrandstof	-	-	-	-	44
Nog een paar wetenswaardigheden	-	-	-	-	45
Enkele eenheden	-	-	-	-	47
Tabellen en grafieken	-	-	-	-	47
Alternatieve energiebronnen	-	-	-	-	48
Vrije energie	-	-	-	-	49
Opslag van energie	-	-	-	-	49
Energiebesparing	-	-	-	-	50
Het energieneutrale huis	-	-	-	-	51
De ineenstorting van de olie-economie	-	-	-	-	51
Hoe zal het nu verder met de energie gaan?	-	-	-	-	52
Watervoorbeeld	-	-	-	-	54
Energie en arbeid	-	-	-	-	54
Duurzame energie – een nuchter verhaal	-	-	-	-	55
Het Energieakkoord	-	-	-	-	60
Het Klimaatakkoord	-	-	-	-	60
Minder gas uit Groningen	-	-	-	-	60

# 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

## Dagelijkse toename van de wereldbevolking

De gemiddelde **toename** van de wereldbevolking in de periode 2010 – 2050 bedraagt **153 000 mensen per dag**. Dat zijn **1 miljoen per week** erbij.

## 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
- bij een onderlinge afstand van 1 meter tussen 2 mensen, is dit een rij van 7 miljard meter
- dat is 175 keer de aardomtrek
- een vliegtuig met een snelheid van 900 kilometer per uur doet er **324 etmalen** over om deze afstand af te leggen
- 7 miljard mensen is een kolonne van 18 mensen breed en een lengte gelijk aan de afstand van de aarde tot de maan (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

# Een relativerend verhaal over **ENERGIE**

## Enkele definities en fundamentele wetten

### Vermogen

Vermogen is een maat voor de **snellheid** waarmee energie **kan** worden geleverd of gebruikt.

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

Eenheden:

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ joule} / 1 \text{ seconde} \quad (= 1 \text{ joule per seconde})$$

Voorbeeld:

een elektrische centrale heeft een vermogen van 600 megawatt, ook als de centrale niet in bedrijf is

**Vermogen is een eigenschap**

**Vermogen** laat zien wat er **mogelijk** is.

### Energie

Energie **wordt** gedurende een bepaalde **tijd** geleverd of gebruikt

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

Eenheden:

$$1 \text{ joule} = 1 \text{ watt} \times 1 \text{ seconde} \quad (= 1 \text{ watt-seconde})$$

Voorbeeld:

een elektrische centrale met een vermogen van 600 megawatt, levert in 5 uur:  $600 \text{ megawatt} \times 5 \text{ uur} = 3000 \text{ megawatt-uur}$  elektrische energie (bij vol vermogen)

**Energie levert altijd iets op: elektriciteit, beweging, licht, warmte, geluid, radiogolven, een chemische reactie etc.**

**In de winkel betaalt men voor het vermogen**

(bijvoorbeeld het vermogen van een stofzuiger)

**Thuis betaalt men voor de energie**

(de energie die door de stofzuiger wordt gebruikt)

**In het dagelijkse leven geldt:**

- de basiseenheid voor **vermogen** is **watt**
- de basiseenheid voor **energie** is **watt-uur**

**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 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".

### Wet van behoud van energie

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

### Wet van behoud van massa

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

**rendement = nuttige energie / toegevoerde energie**

Voorbeeld: een benzinemotor

- stel, een benzinemotor levert 50 kilowatt-uur **nuttige, mechanische energie**
- stel, de hoeveelheid **toegevoerde energie** is 200 kilowatt-uur (dat is 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)

**produktiefactor = werkelijke jaaropbrengst / 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.

## Eenheden en omrekenfactoren voor vermogen

1 watt	=	1 joule per seconde
1 kilowatt	=	1 kilojoule per seconde

## Eenheden en omrekenfactoren voor energie

1 watt-seconde	=	1 joule
1 kilowatt-uur	=	3600 kilojoule

## 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

## Thermische energie in 1 liter benzine

1 liter benzine = **7800 kilocalorie**

Hiermee kan men 7800 liter water, 1 grad celsius verwarmen.

## Mechanische energie in 1 liter benzine

1 liter benzine = **3 340 000 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 mechanische energie (= arbeid) en thermische energie (= warmte)

**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 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 een 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**

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

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

Het maximaal haalbare rendement is zo'n 50%

## 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

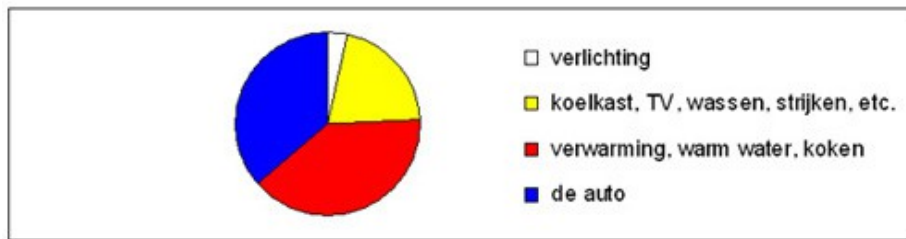
### 2 een kracht verandert een beweging

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

### 3 actie = reactie

# 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.**

Alleen bezuinigen op de verlichting, (dat is slechts 4% van het totale energieverbruik), heeft uit het oogpunt van energiebesparing weinig zin. Wel helpt het om de verwarming wat lager te draaien.

**Alle** energie, die toegevoerd wordt aan verlichting en apparaten wordt uiteindelijk volledig omgezet in warmte. Een woonkamer wordt niet merkbaar warmer als de TV aan staat of als het licht brandt. Kennelijk is het energieverbruik van de verlichting en de TV 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, 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

- ter hoogte van het aardoppervlak, bij een geheel onbewolkte hemel en bij loodrechte instraling is het vermogen van de zonnestraling 1 kilowatt per vierkante meter
- de **theoretische** energie-instraling per vierkante meter per jaar is dus  $1 \text{ kilowatt} \times 24 \text{ uur} \times 365 \text{ dagen} = \mathbf{8760}$  kilowatt-uur
- de **werkelijke** energie-instraling per vierkante meter per jaar in Nederland op een horizontaal vlak = **1000** kilowatt-uur (seizoenen, bewolkte hemel, dag en nacht meegerekend)
- het **rendement** van een zonnepaneel is ongeveer **15%**.
- de **energie-opbrengst** = werkelijke instraling x rendement =  $1000 \times 15\% = \mathbf{150}$  kilowatt-uur per vierkante meter per jaar
- een standaard zonnepaneel van 1,6 vierkante meter levert dus (theoretisch) **240** kilowatt-uur per jaar
- om het zonlicht in Nederland optimaal te benutten, moet een vast opgesteld zonnepaneel onder een hoek van 36 graden met het horizontale vlak worden gemonteerd en gericht zijn op het zuiden.
- bij de Evenaar is de hoeveelheid ingestraalde zonne-energie op een horizontaal vlak maar **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:

- fotosynthese (biobrandstof)
- rechtstreeks produceren van elektrische energie (zonnepaneel)
- elektriciteit produceren met geconcentreerde zonnestraling (concentrated solar power)
- verwarmen van water (zonneboiler)

## Waldpolenz Solar Park



Het **Waldpolenz Solar Park** is een grote centrale met zonnepanelen, in de buurt van Leipzig.

- het vermogen van de centrale is **52** megawatt
- de jaarproductie is **52 000** megawatt-uur
- een elektrische centrale van 600 megawatt levert per jaar **80** keer zoveel energie

### Geconcentreerde zonnestraling

Hierbij wordt de zonnestraling door middel van spiegels op een klein oppervlak geconcentreerd. Dit kan op verschillende manieren worden gedaan:

- met **parabolische spiegels**
- met **zonnetrogen**
- met **heliostaten**

### Parabolische spiegels



- een parabolische spiegel draait om 2 loodrecht op elkaar staande assen met de stand van de zon mee
- het zonlicht wordt met een factor 500 geconcentreerd
- in het brandpunt ontstaat dan een temperatuur van 1000 graden celsius
- daar kan bijvoorbeeld een heteluchtmotor worden geplaatst, die een generator aandrijft
- de generator wekt elektriciteit op

### Zonnetrogen

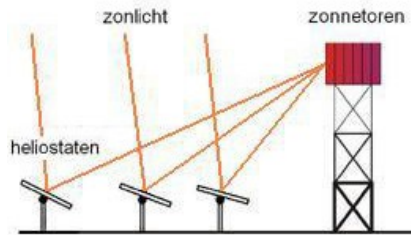


- een zonnetrog is een trogvormige spiegel, waarbij de dwarsdoorsnede de vorm van een parabool heeft
- de lengte-as is in noord-zuid richting opgesteld en de zonnetrog draait om die as met de stand van de zon mee, dus elke dag van oost naar west
- de concentratie van het zonlicht in de "brandlijn" is een factor 80, waarbij een temperatuur van 400 graden celsius wordt bereikt
- in de brandlijn bevindt zich een buis waarin olie wordt verhit
- in een warmtewisselaar wordt hiermee water verhit tot hete stoom
- met de hete stoom wordt elektriciteit opgewekt

In Andalusië staat een grote zonnecentrale met zonnetrogen, het **Andasol Solar Power Station**

- het vermogen van deze centrale is **150** megawatt
- de jaarproductie is **495 000** megawatt-uur
- 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

Bij **Sevilla** in Spanje staat een centrale met heliostaten

- het vermogen van deze centrale is **20** megawatt
- het zonlicht wordt opgevangen door **1255** heliostaten
- de jaarproductie is **48 000** megawatt-uur
- een elektrische centrale van 600 megawatt levert per jaar bijna **90** keer zoveel energie

## Windenergie

### Het rendement van een windmolen

- het rendement van een windmolen is ongeveer **50%**
- de energie-opbrengst is dus ongeveer 50% van de energie die de draaicirkel van de wieken passeert
- 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
- het maximale vermogen is **7,5** megawatt
- dat is gelijk aan het vermogen van (slechts) **100 auto's** met een motor van 75 kilowatt
- bij een produktiefactor van 32% (op land) is de jaaropbrengst **21 000** kilowatt-uur
- een elektrische centrale van 600 megawatt levert per jaar **200** keer zoveel energie

## Enkele Nederlandse windmolenparken

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

### Het Gemini windmolenpark

- 150 windmolens met een vermogen van 4 megawatt
- het totale vermogen is dus **600** megawatt
- de jaaropbrengst is **2 600 000** megawatt-uur
- een elektrische centrale van 600 megawatt levert per jaar **1,6** keer zoveel energie als het Gemini windmolenpark

### TenneT wil een energie-eiland in de Noordzee bouwen

Het plan hiervoor werd vorige zomer voor het eerst gelanceerd. Inmiddels blijkt het project, dat rond 2050 klaar kan zijn, al vorm te hebben gekregen. Deze zogeheten "North Sea Wind Power Hub" zal, aldus TenneT, een aanzienlijke bijdrage leveren aan het halen van de klimaatdoelstellingen van Parijs. Het eiland krijgt als eerste functie de opvang van elektriciteit door tientallen, nog aan te leggen, windparken op de Doggersbank. Die parken zullen een totaal vermogen hebben van 70 000 tot 100 000 megawatt. Verbindingen vanaf het eiland naar de betrokken landen moeten niet alleen de opgewekte elektriciteit vervoeren, maar ook de elektriciteitsmarkten in die landen aan elkaar koppelen.

(bron: NRC Handelsblad 8 maart 2017)

## 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 teruggelieferd 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

- 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.
- De **productie van 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 van elektriciteit in de **accu's van elektrische auto's**. Als er bijvoorbeeld 1 miljoen elektrische auto's in Nederland zouden rondrijden, dan is de opslagcapaciteit gelijk aan de dagproductie van 2 elektrische centrales.
- 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, ook daar, de laatste jaren sterk is toegenomen.

- in Zwitserland wordt tegenwoordig **40%** van de elektrische energie opgewekt door kerncentrales
- alleen in Noorwegen wordt vrijwel alle elektrische energie met behulp van waterkracht opgewekt
- wereldwijd wordt ruim **16%** van alle elektrische energie door waterkracht opgewekt.

In China wordt de grootste waterkrachtcentrale ter wereld gebouwd, de **Drieklovendam**,

- het vermogen van deze centrale is **18 000** megawatt
- de energie-opbrengst is **85** miljard kilowatt-uur per jaar
- dat is 3% van het elektriciteitsverbruik van China
- de Drieklovendam levert per jaar evenveel energie als **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 een (bescheiden) rol gaan spelen bij de toekomstige energievoorziening. Dank zij de verbeterde boortechnieken die ontwikkeld zijn voor het winnen van aardolie op grote diepte, is het nu mogelijk geworden om geothermische energie op commerciële schaal te exploiteren.

**Eigenschappen van geothermische energie**

- schoon, duurzaam en onuitputtelijk
- niet afhankelijk van weersomstandigheden, seizoenen en tijdstip van de dag
- er is geen CO<sub>2</sub> uitstoot
- de energie is constant voorradig, er is dus geen opslagprobleem

**Geothermische energie in enkele landen**

**A** = vergelijking met een centrale van 600 megawatt

	<b>A</b>
China	3,00
Zweden	2,38
USA	2,07
IJsland	1,57
Nieuw Zeeland	0,47
Japan	0,34

## Getijdencentrale

De energie die door een getijdencentrale wordt opgewekt, is indirect afkomstig van de maan. De grootste (en enige commercieel werkende) getijdencentrale ter wereld, staat (sinds 1966) in Frankrijk in de monding van de Rance in Bretagne.

- het verschil tussen eb en vloed is daar zeer groot, maximaal 13 meter
- het vermogen van de centrale is **240** megawatt
- de hoeveelheid energie die jaarlijks wordt geproduceerd is **540 000** megawatt-uur
- een elektrische centrale van 600 megawatt levert per jaar bijna **8** keer zoveel energie

## Vergelijking met een centrale van 600 megawatt

**A** = het aantal dat nodig is, om evenveel energie op te wekken als een 1 centrale van 600 megawatt

	<b>A</b>
waterkrachtcentrale <b>Hoover Dam</b>	1
windmolenpark in zee <b>Gemini</b>	2
zonnetoren <b>Australië</b>	6
getijdencentrale <b>Rance</b>	8
zonnetroggen <b>Andasol</b>	9
windmolenpark in zee <b>IJmuiden</b>	10
<b>Waldpolenz Solar Park</b>	80
heliostaten <b>Sevilla</b>	90
zonnepark <b>Delfzijl</b>	140
de <b>grootste windmolen</b> ter wereld	200

Voor het elektriciteitsverbruik in Nederland, moeten de getallen in kolom **A** nog met een factor **28** worden vermenigvuldigd

## 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: hout, groente-, fruit- en tuinafval en mest. Ook kunnen speciale "energiegewassen" worden geteeld, zoals koolzaad, maïs en suikerriet. 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 (CO<sub>2</sub>) uit de atmosfeer wordt opgenomen. Bij verbranding vindt het omgekeerde proces plaats. Netto vervuult deze zogenaamde "korte cyclus" het milieu dus niet. (CO<sub>2</sub>-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 milieuactivisten zo verguisde, kolengestookte centrales. De extra vrijkomende CO<sub>2</sub> is dan "groen".



De werkelijkheid is wel een beetje anders. Stel, dat alle biomassa voor de elektrische centrales in Nederland uit hout zou bestaan. Men moet dan denken aan jaarlijks ongeveer 80 000 goederenwagens met 50 ton hout. Zo'n hoeveelheid kan alleen worden verkregen door massale houtkap en niet door wat snoeihout.

- 80 000 goederenwagens 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 van elektriciteit in Nederland

#### **Berekening van de oppervlakte die hiervoor nodig is.**

- de productie van hout is ongeveer 20 ton per hectare per jaar. (1 hectare = 10 000 vierkante meter)
- voor 4 miljard kilogram is een oppervlakte nodig van 45 x 45 kilometer

Voor een "CO2-neutraal" gebruik van hout, moet de aanplant van nieuwe bomen in hetzelfde tempo plaats vinden als het kappen.

## **Energie-opslag in de accu's van elektrische auto's**

Windenergie zal misschien ooit een belangrijke rol gaan spelen bij de opwekking van elektriciteit voor het openbare net. Windenergie is van nature onderhevig aan grote en vaak snelle fluctuaties. Omdat het niet altijd (hard) waait, is de productiefactor in het gunstigste geval (op zee) 45%. Dat betekent dus, dat er in 55% van de tijd geen of heel weinig windenergie wordt opgewekt.

Bij grootschalige productie van windenergie ontstaat er behoefte aan opslag van elektriciteit, om de fluctuaties in het aanbod op te vangen. Energie-opslag kan plaats vinden door productie van waterstof, via elektrolyse van water. Dat is een omslachtige methode met een slecht (totaal)rendement. Een meer realistische oplossing van het opslagprobleem van elektrische energie, lijkt het gebruik van accu's. Tegen de tijd dat elektrische auto's op grote schaal worden gebruikt, is het potentieel aan opslagcapaciteit voor elektrische energie zeer groot.

Gaan we uit van bijvoorbeeld 1 miljoen elektrische auto's (in Nederland rijden ruim 8 miljoen auto's rond) en een accucapaciteit van 30 kilowatt-uur per auto, dan komt men op een totale opslagcapaciteit van **30 miljoen** kilowatt-uur. Dat is gelijk aan de dagproductie van **2** elektrische centrales van 600 megawatt.

## **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 produktie 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 verbruiker opgewekt. De warmteproduktie 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 CO<sub>2</sub> 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 warmtepomp werkt volgens hetzelfde principe als een koelkast, maar het doel is anders. Bij een koelkast wordt de binnenruimte 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.

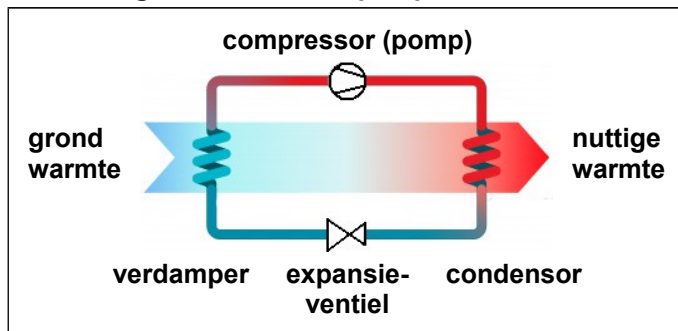
De nuttige warmte die ontstaat is gelijk aan de warmte die uit de grond wordt gehaald, vermeerderd met de energie die aan de compressor (pomp) wordt toegevoerd. Het rendement lijkt daardoor groter dan 100%.

Men spreekt bij een warmtepomp van de COP. (= coëfficiënt of performance)

De COP kan bijvoorbeeld 4 zijn. Dan wordt 3 keer zoveel warmte, (gratis) aan de grondwarmte onttrokken als de pomp-energie bedraagt. De totale hoeveelheid geproduceerde warmte is dan 4 keer de pomp-energie. 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.



## De werking van een warmtepomp



- een warmtepomp bestaat uit een gesloten kringloop, waarin een koelmiddel wordt rondgepompt
- voor verdampen is warmte nodig
- in de verdamer 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
- door het comprimeren ontstaat extra warmte
- 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
- hierdoor daalt de druk en de temperatuur
- de cyclus begint nu weer opnieuw

## Warmte-kracht koppeling vergeleken met een warmtepomp

- warmte-kracht koppeling gaat ten koste van het rendement van de elektriciteitsopwekking. Voor een bruikbare hoeveelheid warmte, mag het koelwater niet te koud zijn, dus gaat het rendement van de elektriciteitsopwekking omlaag. (Carnot)
- warmte-kracht koppeling is niet "groen", want het werkt alleen bij elektriciteitsopwekking door middel van fossiele brandstoffen
- een warmtepomp is ruwweg 4 keer efficiënter dan gewone elektrische verwarming
- 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

## 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**

### Opladbare nikkel-metaalhydride batterij (AA-cel)

- bevat 2,7 ampère-uur bij 1,2 volt, dat is 3,24 watt-uur
- in het gebruik zijn oplaadbare batterijen 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 redox accu is misschien interessant voor de toepassing in een elektrische auto, omdat het laden zeer snel kan plaatsvinden door het vervangen van het elektrolyt

## SCiB van Toshiba

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

Enkele eigenschappen van een module met 24 cellen:

- de energie-inhoud is 1100 watt-uur
- het gewicht is 14 kilogram
- 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 zink-lucht batterij

De zink-lucht batterij ("electric fuel") is niet oplaadbaar, in de gebruikelijke betekenis van het woord. Als de batterij leeg is, moeten de (zink)anodes worden vervangen. Bij toepassing in een elektrische auto, zou dit een voordeel kunnen zijn, omdat men dan niet uren hoeft te wachten tot de batterij weer is opgeladen. In plaats daarvan moet de batterij worden uitgewisseld met een geregenereerd exemplaar. De zink-lucht batterij voor toepassing in elektrische auto's is overigens nog in het experimentele stadium. De energiedichtheid is 12 keer zo groot als van een loodaccu, maar toch nog 27 keer zo klein als van benzine.

## Bericht in "De Ingenieur" van 13 november 2009:

"Onderzoekers van het Technion-Israël Institute of Technology hebben een batterij bedacht die stroom levert door oxidatie van silicium. Een accu van dit type heeft een bijna zestigmaal grotere energiedichtheid dan een hoogwaardige lithium-batterij. Theoretisch is de energiedichtheid 8,5 kilowatt-uur per kilogram of 21,1 kilowatt-uur per liter. Een industriële introductie kan binnen 3 jaar plaatsvinden. Grote oplaadbare silicium accu's voor gebruik in auto's zouden over 10 jaar beschikbaar zijn".

## 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

## De levensduur van lithium-ion accu's

diepte van de ontlading	levensduur (aantal laadcycli)
100%	500
50%	1500
25%	2500
10%	4700

### 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 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.

Batterijen en accu's zijn (nog) niet erg geschikt voor het opslaan van (zeer) grote hoeveelheden elektrische energie, zoals bijvoorbeeld vereist is bij een elektrische auto. Ook als door nieuwe ontwikkelingen batterijen en accu's kleiner en lichter worden, blijft nog steeds het probleem van de zeer grote laadstromen of de langdurige laadtijden.

## Lopen en fietsen

Voor een persoon van 75 kilogram is de rust-stofwisseling ongeveer 300 kilojoule per uur, dat is 2 kilowatt-uur per etmaal. 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. Boven- genoemde 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<sup>e</sup> 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 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 375 watt-uur, dat is 1350 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 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 maximale vermogen van de motor is 250 watt.

Elektrische fietsen zijn zo ontworpen, dat de elektromotor alleen werkt, als men meetrapt. In de letterlijke betekenis van het woord een rijwiel met hulpmotor.

### Het energieverbruik 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 basisuitvoering van de trein is 4 wagons met 372 zitplaatsen
- het vermogen is **1608** kilowatt
- het energieverbruik is **18 kilowatt-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 gelijkspanning van 1500 volt, zoals in Nederland wordt toegepast, is dan niet meer toereikend. Op het HSL-traject rijden de treinen op 25 000 volt wisselspanning.

- de Thalys heeft een vaste samenstelling van 8 wagons + 2 motorwagons met 377 zitplaatsen
- het vermogen is **8850** kilowatt
- het energieverbruik is **57 kilowatt-uur** per kilometer, dat is **151 watt-uur** per reiziger per kilometer

# Vaartuigen

## De snelle veerboot tussen Hoek van Holland en Harwich

- deze boot, van het type Catamaran, is met 75 kilometer per uur de snelste veerboot ter wereld
- de boot wordt aangedreven door 4 gasturbines met een totaal vermogen van **69 000** kilowatt
- de vervoercapaciteit is 1500 passagiers en 350 auto's
- de verbruikte energie is **920 kilowatt-uur** per kilometer
- een auto weegt gemiddeld net zoveel als 12 passagiers
- totaal komt men daarmee op het gewicht van  $350 \times 12 + 1500 = 5700$  passagiers
- dat is per "passagier" een verbruik van 1 liter per 17 km

Inmiddels is deze veerboot uit de vaart genomen, omdat er te weinig belangstelling voor was.

## Is een groot passagiers schip zuiniger dan een Jumbo?

De Queen Elisabeth verbruikt 4 keer zoveel energie per passagier per kilometer als een Jumbo. De cruiseschepen Maasdam en Rijndam, die langzamer varen, 2 keer zoveel.

# Vliegtuig

## De Boeing 747 "Jumbo"



Enkele globale gegevens en berekeningen:

- een Boeing 747 kan 200 000 liter brandstof meenemen
- de actieradius is 13 500 kilometer (= 1/3 van de aardomtrek)
- het verbruik is dus  $200\,000 / 13\,500 = 15$  liter per kilometer
- een Jumbo kan 450 passagiers vervoeren
- het verbruik is dan **333 watt-uur** per passagier per kilometer
- ongeveer de helft van het startgewicht van een Jumbo bestaat (bij een lange afstandsvlucht) uit de meegenomen brandstof
- het leeggewicht is 181 ton, het brandstofgewicht 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.**

## Rekenvoorbeeld van de ideale accu voor een elektrische auto

- de actieradius van de auto moet minstens 500 kilometer zijn
- de elektromotor verbruikt bruto 200 watt-uur per kilometer
- de accu moet dan een effectieve energie-inhoud hebben van  $500 \times 200$  watt-uur = **100 000** watt-uur
- de accu mag niet meer ruimte innemen dan een gewone benzinetank, dus een volume van 50 liter
- de accu mag niet veel zwaarder zijn dan een volle benzinetank, dus ongeveer **50** kilogram
- de energiedichtheid is dan  $100\ 000$  watt-uur / 50 kilogram = **2 000** wattuur per kilogram
- de levensduur moet minstens 10 jaar zijn
- de accu mag niet te duur zijn



## Samenvatting

- het idee is, dat de accu een zó **grote energie-inhoud** heeft, dat men daarmee de hele dag onbepert kan rondrijden
- de accu wordt 's nachts opgeladen met een vermogen, dat bepaald wordt door de energie die overdag is verbruikt
- dus **geen onrealistische snelladers**, waarbij men steeds na 200 kilometer rijden, ruim een half uur moet wachten tot de accu weer (tot 80%) is opgeladen

**energie = vermogen x tijd**

men kan dus kiezen voor:

of veel vermogen en weinig tijd = snelladers

of weinig vermogen en veel tijd = 's nachts opladen

## 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 voor lease doeleinden worden gebruikt 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. Langzaam 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 (1400 kilogram)
- een zeer lage luchtweerstand
- verwarming door middel van een warmtepomp
- keyless entry en ignition
- 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 Opel Ampera-E

Begin 2017 kwam Opel met een volledig elektrische auto op de markt, de Ampera-E

Enkele (voorlopige) gegevens:

- de accu weegt **430** kilogram
- volgens de fabrikant is de actieradius 500 kilometer
- dat is gemeten bij een gemiddelde snelheid van 34 kilometer per uur en een gemiddeld vermogen van 4 kilowatt

De actieradius is gemeten op basis van de gestandaardiseerde meetmethode, de **New European Driving Cycle**. (**NEDC**)

Een praktijktest laat een meer realistische actieradius van 380 kilometer zien.

## 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 (voertuig)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, of “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 (grootschalig) 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. Met name **GTL** (gas to liquid) biedt enorme mogelijkheden, nu er wereldwijd gigantische hoeveelheden schaliegas worden gevonden.

## 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 (de zeer explosieve en dus gevaarlijke) waterstof onder hoge druk, kan worden getankt.

## De Waterstof Economie

Het energiescenario van de toekomst, als de fossiele brandstoffen op zijn, zal (heel) 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. Ook is het dan misschien mogelijk om energie op te wekken door kernfusie.

- 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 deze "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 weer elektriciteit leveren, waarbij het enige "verbrandingsprodukt" water is
- waterstof is in dit scenario een **energie drager**

**Waterstof is dus niet een onuitputtelijke bron van energie, zoals sommigen denken. Integendeel. Het produceren van waterstof door elektrolyse van water kost 1,5 keer meer energie dan het oplevert.**

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 verbrandingsprodukt 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 **energie drager**

### **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 minstens 50 jaar 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 (in de zon) 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. Fusie van een deuterium-tritium mengsel met een massa van 250 kilogram levert evenveel energie op, als de verbranding van 2,7 miljoen ton steenkool.

Dat is voldoende om een elektrische centrale van 1000 megawatt een jaar lang (op vol vermogen) draaiende te houden.

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 Experimental Reactor) zal de eerste (experimentele) kernfusiecentrale zijn, waarbij dat gaat lukken. De buitenafmetingen zijn: 24 meter hoog en 34 meter in doorsnede.

ITER is een project, waarvoor Reagan en Gorbatsjov ooit het initiatief hebben genomen, toen de koude oorlog ten einde liep. 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 Space Station. (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 lijken 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 (CO<sub>2</sub>)
- 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

- een beperkt (radioactief) afvalprobleem dat in principe oplosbaar is

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 **7 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. Dat zijn er 460 minder dan een jaar geleden.

### **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 radio-actief 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 als-of 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. De radiotoxiteit van Thorium is een factor 10 tot 100 keer lager in alle stadia van de cyclus dan Uranium".

### **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 een maat voor de hoeveelheid materie. **Gewicht** is de kracht waarmee materie door de zwaartekracht van de aarde wordt aangetrokken. Op aarde is de zwaartekracht niet overal even groot en het gewicht dus ook niet. De 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.

In 2013 was het elektriciteitsverbruik in Nederland **115** miljard kilowatt-uur. Dat is equivalent aan **4,6** kilogram massa. De hoeveelheid energie die de zon in **1 seconde** uitstraalt is dus bijna **1 miljard** keer zoveel als het totale elektriciteitsverbruik van Nederland in **1 jaar**.

De totale 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 oppervlakte van **80** vierkante 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 daar in een etmaal bij een volkomen wolkenloze hemel op een horizontaal geplaatst zonnepaneel valt, is gelijk aan 7,6 uur volle zon. In de zomer en de winter, staat de zon loodrecht boven een keerkring en dan is de instraling op de Evenaar iets minder.

De produktiefactor gedurende 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.

### Zonnestraling in Nederland in 1999

In dit verhaal wordt gerekend met een energie-instraling van **1000 kilowatt-uur** per vierkante meter per jaar.

## Windenergie

Iedereen is er voorstander van, totdat er een windmolen in de buurt komt te staan.

**NIMBY** ofwel **Not In My Back Yard** 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 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

## De CO2-uitstoot bij de verbranding van enkele brandstoffen

De CO2-uitstoot per kilowatt-uur, is bij de verbranding van benzine of dieselolie bijna net zoveel als bij de verbranding van steenkool.

Kolencentrales "mogen niet", maar de auto "moet".

## CO2 uitstoot, veroorzaakt door het personenauto verkeer in Nederland

- in 2008 waren er 7 miljoen auto's in Nederland
- die 7 miljoen auto's verbruikten 10 miljard liter benzine
- daarbij werd **24 miljard kilogram CO2** geproduceerd

## CO2 uitstoot, veroorzaakt door het huishoudelijk elektriciteitsverbruik in Nederland

- bij uitsluitend kolengestookte centrales ontstaat hierdoor **20 miljard kilogram CO2**
- bij uitsluitend gasgestookte centrales ontstaat hierdoor **12 miljard kilogram CO2**

De elektriciteit in Nederland wordt zowel door kolengestookte als gasgestookte centrales opgewekt. Het personenauto verkeer veroorzaakt dus meer CO2, dan het elektriciteitsverbruik van alle huishoudens. Dus ook als men uitsluitend kolengestookte centrales zou toepassen.

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

# Het broeikas-effect

Veel mensen denken dat het broeikas-effect 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 verwaarloosbaar klein 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 broeikas-effect 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 de uitstraling van warmte, afkomstig van de aarde grotendeels wordt 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 "broeikas-effect" 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.

# 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 CO<sub>2</sub> probleem een (heel klein) beetje kleiner geworden, want het energieverbruik van de verlichting is slechts 4% van het totale energie verbruik 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-apparaatuur. 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

### Led-lampen

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 daarvoor 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 omringende lucht. Een straalmotor "zet zich af" tegen de gassen die hij zelf uitstoot.

- de werking van een straalmotor (en de raketmotor) berust op het principe van **actie = reactie** (3<sup>e</sup> wet van Newton)
- in een straalmotor verbrandt kerosine met zuurstof uit de lucht
- de stuwkracht ontstaat doordat de verbrandingsprodukten met hoge snelheid worden uitgestoten door de straalmotor

# Fietsen

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

**A** = het vermogen, nodig voor het overwinnen van de mechanische weerstand

**B** = het vermogen, nodig voor het overwinnen van de luchtweerstand

**C** = het totaal benodigde vermogen

**D** = de energie per kilometer

snelheid	A	B	C	D
10 km/uur	8 watt	7 watt	15 watt	1,5 watt-uur
20 km/uur	18 watt	56 watt	74 watt	3,7 watt-uur
30 km/uur	32 watt	189 watt	221 watt	7,4 watt-uur
40 km/uur	52 watt	448 watt	500 watt	12,5 watt-uur

- 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 bereikt
- 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 bedraagt daarbij 1061 meter en de afgelegde afstand is 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**  
fietsnelheid 20 km/uur, de fietser is **3** uur onderweg
- **een wind van 10 km/uur, mee of tegen**  
Bij dezelfde snelheid  $t$  o  $v$  de wind, ondervindt de fietser steeds dezelfde luchtweerstand. Heen (wind mee) 30 km/uur en terug (wind tegen) 10 km/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 (gewicht) 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 (windkracht 3), moet een rechtop zittende fietser een vermogen leveren van ruim 180 watt
- dat komt overeen met een hoeveelheid energie 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 50% groter wordt, dan neemt de actieradius met 25% 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 (bruto) net zoveel elektrische energie als een uur TV kijken. Elektrisch fietsen is dus "energieneutraal", want als men niet fietst gaat men toch maar voor de TV of achter de computer zitten
4. een elektrische fiets vraagt vrijwel geen onderhoud
5. voor een elektrische fiets geldt geen helmplicht
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 twee 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).

De gasturbine heeft een rendement van 40%. Uit de uitlaatgassen, die dus nog 60% van de energie bevatten, wordt via de stoomturbine nog eens 30% gewonnen. Dat levert 18% extra op. Totaal komt dit dus uit op 58%.

# Kerncentrale

## De kerncentrale in Borssele

De kerncentrale in Borssele heeft een vermogen van 449 megawatt. In het jaar 2000 was de energie-opbrengst 3,7 miljard kilowatt-uur. De productiefactor van deze centrale was toen 94%. Een kerncentrale is slecht regelbaar en draait daarom vrijwel altijd op maximaal vermogen. De Nederlandse regering heeft besloten, dat de kerncentrale tot 2033 in bedrijf mag blijven.

## Vergelijking van enkele soorten centrales

A = aantal centrales, nodig voor het elektriciteitsverbruik in Nederland

	A
kolen- of gascentrale 600 megawatt	28
kerncentrale Borssele	31
windmolenpark Gemini	44
getijdencentrale Rance	213
zonnetrogcentrale Andasol	232
windmolenpark IJmuiden	264
zonnepanelen Waldpolenz	2212
heliostaten Sevilla	2396
windmolenpark Vianen	3833

### Een elektrische centrale met een vermogen van 600 megawatt

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

Let wel, het gaat hier alleen over de opwekking van **elektrische energie**. Het **totale primaire energieverbruik** van Nederland is **3** keer zo groot.

Het probleem, dat zon-voltaïsche centrales bij een **bewolkte** hemel weinig, en gedurende de nacht geen energie leveren, laten we hierbij "gemakshalve" maar even buiten beschouwing. Bovendien is de energie-opbrengst in de wintermaanden **6 keer** zo weinig als in de zomer.

## Elektrische auto's

- in 2014 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 (transformatoren, hoogspanningsleidingen en kabels) moet aanzienlijk worden vergroot, als iedereen elektrisch gaat rijden

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

	<b>accu</b> (kilowatt-uur)	<b>actieradius</b> (kilometers)
<b>BMW i3</b>	27	170
<b>Hyundai IONIQ</b>	28	195
<b>Volkswagen e-Golf</b>	32	200
<b>Nissan Leaf</b>	38	240
<b>Renault Zoe R90</b>	39	255
<b>Tesla 3</b>	52	325
<b>Opel Ampera-E</b>	60	375

### 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 375 kilometer te zijn.

### 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 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
- de oplossing hiervoor is:
  1. teruglevering van de zonne-energie aan het lichtnet
  2. opladen van de auto-accu vanuit het lichtnet
- 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 (in Nederland) te rijden op (indirecte) zonne-energie

## Elektrische auto's met zonnecellen

### De Lightyear

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.

Dat zijn 9460 miljard kilometers. Die kilometers worden nu nog steeds met fossiele brandstof afgelegd. Er rijden ongeveer 1 miljard auto's op de wereld rond, die gemiddeld 9460 kilometer per jaar afleggen.

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

- de opbrengst van zonnecellen met een hoog rendement is in Nederland 250 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 4 vierkante meter
- voorwaarde is, dat de auto altijd in de open lucht wordt geparkeerd en dat er nooit schaduw op de zonnecellen valt

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) woonwerk 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-uitstoot van 59 gram per kilometer. Als de CO<sub>2</sub>-uitstoot bij de opwekking van elektriciteit ook in rekening wordt gebracht, dan blijkt de plug-in hybride (indirect) evenveel CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-uitstoot veroorzaakt.

## De CO<sub>2</sub>-uitstoot bij verschillende soorten auto's

(bij **dezelfde** hoeveelheid voortbewegingsenergie en alles "well-to-wheel")

	<b>elektrische auto</b>	<b>hybride auto</b>	<b>benzine auto</b>	<b>brandstofcel auto</b>
<b>voortbewegings-energie</b> (per km)	150 watt-uur	150 watt-uur	150 watt-uur	150 watt-uur
<b>CO<sub>2</sub>-uitstoot</b> (per km)	123 gram door de centrale	150 gram door de auto	204 gram door de auto	295 gram door de centrale
<b>verbruik in liters benzine-equivalent</b>	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 CO<sub>2</sub>-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 zo veel mogelijk 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 CO<sub>2</sub>-uitstoot is bijna 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 voertuig

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

vervoermiddel	A	B
<b>vliegtuig</b> Boeing 747 Jumbo	<b>450</b>	<b>333</b>
<b>brandstofcel auto</b>	<b>4</b>	<b>288</b>
<b>elektrische trein</b> Thalys	<b>377</b>	<b>151</b>
<b>benzine auto</b>	<b>4</b>	<b>150</b>
<b>elektrische auto</b>	<b>4</b>	<b>121</b>
<b>hybride auto</b> Prius	<b>4</b>	<b>108</b>
<b>elektrische trein</b> Dubbeldekker	<b>372</b>	<b>48</b>
<b>elektrische fiets</b>	<b>1</b>	<b>17</b>

## 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, resp. 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:

- 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".

Bij de **prototype** klasse is elke vorm van het voertuig toegestaan.

Meestal lijkt het dan op een gemotoriseerde ligfiets.

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 (er wordt wel eens een Honda 4-takt bromfietsmotor gebruikt)

### 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

### koolzaadolie

het rendement van de omzetting van zonne-energie naar chemische energie is **0,20%**

### bio-ethanol

het rendement van de omzetting van zonne-energie naar chemische energie is **0,60%**

### hout

het rendement van de omzetting van zonne-energie naar chemische energie is **1,06%**

### Vergelijking van bovenstaande biobrandstoffen bij een instraling van 1000 kilowatt-uur per vierkante meter per jaar

A = de chemische energie per vierkante meter per jaar (kilowatt-uur)

B = de opbrengst van elektriciteit bij een rendement van 40% (kilowatt-uur)

	A	B
koolzaadolie	2,0	0,8
bio-ethanol	6,0	2,4
hout	10,6	4,2

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

- met hout kan **4,2** kilowatt-uur elektriciteit worden geproduceerd, per vierkante meter per jaar
- een zonnepaneel levert in Nederland **150** kilowatt-uur elektriciteit, per vierkante meter per jaar
- zonnepanelen zijn dus (minstens) **36 keer** efficiënter dan hout

## Nog 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
- gedurende 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. Er zijn natuurlijk ook mensen die hier heel anders over denken.

### 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, inclusief de laadcyclus van de batterij 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
- verbrandingsproducten (koolmonoxide en kooldioxide) ontstaan in de keuken
- gevaar voor gaslekkages waardoor explosies kunnen optreden
- daarom zijn er veel gebouwen (torenflats) waar koken op gas verboden is
- energietoevoer (zeer) slecht regelbaar

#### elektrisch koken:

- geen verbrandingsproducten 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 **4%** 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
- het rendement is 15% (huidige stand van de techniek)
- het elektrisch vermogen is dan  $1,6 \times 1000 \times 15\% = 240$  wattpiek

### De energie-opbrengst van 1 wattpiek is ongeveer 850 watt-uur per jaar

- 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
- een vast opgesteld zonnepaneel (op een dak) staat bijna nooit onder een hoek van 36 graden en is ook niet altijd gericht op het zuiden

Het elektrisch vermogen van een standaard zonnepaneel = 240 wattpiek.  
De jaaropbrengst is dus  $240 \times 850$  watt-uur = **200** kilowatt-uur.

### 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.

## Tabellen en grafieken

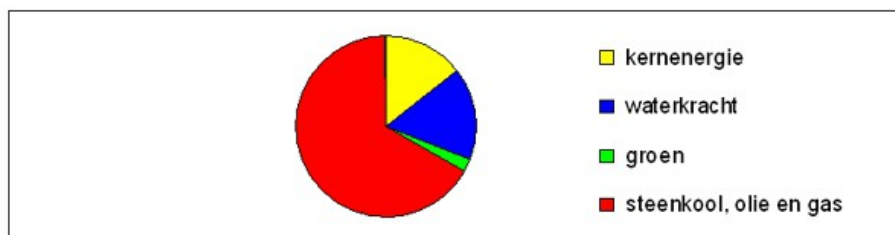
### Het wereldverbruik van primaire energie

#### Verdeling naar energiebron in 2014

aardolie	31,3%
steenkool	<b>28,6%</b>
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

### Energiebronnen voor de opwekking van elektriciteit, wereldwijd in 2009



groen = windenergie, zonne-energie, geothermisch en biomassa

# Alternatieve energiebronnen

**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**

Een goed voorbeeld hiervan is de "zonnetoren". Die moet 1 kilometer hoog worden. Het hoogste gebouw ter wereld (in Dubai) is 828 meter hoog. Het rendement van de zonnetoren is slechts 1,5%.

## Zonnetoren



Zonnestraling verwarmt de lucht die zich onder een lage cirkelvormige, doorschijnende collector bevindt. Deze collector is aan de rand open. Het doorschijnende dak van deze collector vormt samen met de grond een opslagruimte voor de opgewarmde lucht. In het midden van het ronde dak staat een toren. De verwarmde lucht stijgt op in deze toren. Daardoor wordt nieuwe koude lucht aangevoerd aan de rand van de opslagruimte. Ook 's nachts is er een continue stroom warme lucht naar de toren, omdat de gehele grondoppervlakte bestaat uit met water gevulde buizen. Overdag warmen deze buizen op en 's nachts geven ze hun warmte weer af. In de luchtstroom naar de toren staan een aantal windturbines opgesteld. De hieraan gekoppelde generatoren wekken elektriciteit op. In Australië gaat men misschien ooit zo'n toren bouwen.

## Enkele gegevens

- de temperatuur van de lucht onder de collector stijgt overdag 30 graden celsius
- de snelheid van de luchtstroom aan de voet van de toren is 60 kilometer per uur
- het vermogen is **200** megawatt
- de jaarproductie is **680 000** megawatt-uur
- een elektrische centrale van 600 megawatt levert per jaar ruim **6** keer zoveel energie
- de toren is 1 kilometer hoog en de diameter is 130 meter
- de diameter van de ronde collector is 5 kilometer
- aan de voet van de toren staan 32 turbines van 6,5 megawatt



# Vrije energie



**Nikola Tesla**

In dit verhaal mag de vermelding van "vrije energie" niet ontbreken. 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 vliegtuigen
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 goed voorbeeld hiervan is de HRe-ketel (**hoog rendement elektrisch**). 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
- een dak met zonnepanelen moet gericht zijn op het zuiden
- 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
- door de goede warmte-isolatie van 3-laags glas is er in de zomer geen koeling nodig, terwijl in de winter de warmteverliezen beperkt zijn
- energiezuinige apparaten en verlichting
- warmte terugwinning bij ventilatie en bij het gebruik van warm water
- vloerverwarming met een warmtepomp of met water afkomstig van zonneboilers
- lage temperaturen, dan zijn de warmteverliezen klein en het rendement dus hoog
- de relatieve warmteverliezen nemen af, naarmate een huis (of appartementencomplex) 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

## De ineenstorting van de olie-economie



De beschaving, zoals wij die nu kennen, zal spoedig eindigen, omdat de olie opraakt. Dat is een wetenschappelijk onderbouwde conclusie. De olie zal niet plotseling op zijn, want de productie verloopt volgens een klokvormige curve. Aan de opgaande kant van de curve is er in toenemende mate goedkope olie beschikbaar. Aan de neergaande kant is er steeds minder olie, die steeds duurder wordt. De top van de productie valt samen met het punt, waarbij de helft van de olie verbruikt is. Na de top, neemt de productie af en nemen de kosten toe omdat de olie steeds moeilijker winbaar wordt. Bovendien heeft de schaarste een zeer sterk prijsopdrijvend effect. Nog dit jaar (2007) zal het wereldolieverbruik de 86 miljoen vaten per dag overschrijden. Dat zijn **1000 vaten per seconde** (1 vat = 159 liter)

## **Inmiddels (2014) is de situatie op de olie- en gasmarkt totaal veranderd De prijs van de ruwe olie daalt**

- in Amerika worden grote voorraden schaliegas en olie ontdekt
- In 2005 importeerde Amerika 60% van de behoefte aan olie. Dat is nu gedaald tot 30% en omstreeks 2020 zal Amerika zelfs olie gaan exporteren
- ook in Rusland, Europa en Azië blijkt zeer veel schaliegas en olie in de grond te zitten
- door de wereldwijde recessie vermindert de behoefte aan olie

### **Schaliegas en olie**

Schaliegas en olie wordt gewonnen uit leisteenformaties. Het winnen ervan gaat gepaard met grote vervuiling van het milieu. Men gaat als volgt te werk:

Er wordt in leisteen, horizontaal geboord. Daarna wordt een mengsel van water, zand en chemicaliën onder extreme druk in de horizontale put gepompt. Dit mengsel veroorzaakt mechanische spanningen in het gesteente, waardoor kleine scheurtjes ontstaan, de zogenaamde "fracs". Via deze scheurtjes komt het gas of de olie, die zich in het gesteente bevindt, te voorschijn.

Volgens **IEA** (International Energy Agency) zijn de wereldwijde voorraden schaliegas voldoende voor **60** jaar wereldverbruik. De voorraden van schalie olie zijn bijna even groot als de bewezen voorraden van conventionele olie. Er blijkt geen energiecrisis meer te zijn, maar wel een **klimaatcrisis**.

## **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 vooral nog 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 produktie van biodiesel etc gaat ten koste van de voedsel-produktie 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 is, bij het huidige verbruik, nog zo'n 75 jaar mogelijk. Daarna is het Uranium op. 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: "Crises 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.

# Duurzame energie - een nuchter verhaal

[Sustainably Energy - without the hot air](#) (gratis te downloaden)

auteur: David MacKay

## Samenvatting van het boek

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-krachtkoppeling' 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 CO<sub>2</sub>-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 telefoonoplader 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 industrieproducten 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 industrieproducten (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 met de 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-loze opties, namelijk windmolenparken op het vasteland, kernenergie en een klein aantal getijden-centrales.

Uit deze plannen blijkt duidelijk met welke bouwstenen we een toekomst met minder CO<sub>2</sub> zullen moten 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 CO<sub>2</sub>-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 m<sup>2</sup> al genoeg energie voor de helft van het warme water dat een gemiddeld gezin verbruikt.

**Slecht:**

**De telefoonoplader 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.

# 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 werd op **12 december 2015** in Parijs gesloten

## 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 medeoverheden over het Klimaatakkoord. Het doel is om in de zomer van dit jaar tot afspraken op hoofdlijnen 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** (dat schiet lekker op, de voorbereidingen hebben nu dus al ruim **3 jaar** geduurd)

# Minder gas uit Groningen

Men wil "van het gas af". Met name in nieuwbouwwijken worden de huizen niet meer aangesloten op het gasnet, maar alleen op elektriciteit. En waar komt die elektriciteit dan vandaan? Uit **gargestookte** centrales?

Want kolencentrales en kerncentrales mogen immers niet. Of gelooft men nu echt dat dit met een paar windmolens kan? Waarschijnlijk blijven de kolencentrales die dicht moesten gaan, gewoon in bedrijf.

- de gasproductie moet worden verminderd met 9 miljard kubieke meter per jaar
- dat is 80 miljard kilowatt-uur
- een centrale van 600 megawatt levert 4,2 miljard kilowatt-uur per jaar
- er zijn dus 20 elektrische centrales extra nodig om de vermindering van de gasproductie te compenseren

Men gaat meer gas importeren uit het buitenland en uit gasvelden onder de Noordzee. Dat gas is van een andere samenstelling dan het gas uit Groningen. (het geeft een hogere calorische waarde). Voor binnenlands gebruik moet het daarom gemengd worden met stikstof. Het produceren van stikstof kost veel energie en dat veroorzaakt dus extra CO<sub>2</sub>-uitstoot

**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
- Staatssecretaris Dijksma: "we hebben onze kinderen een grote dienst bewezen"
- Obama: "zonder maatregelen zijn onze kinderen tot een planeet veroordeeld die niet meer te repareren valt"
- De VVD vindt dat Nederland "goed bezig is en niet moet doorslaan"
- De Britse regering wil wattenstaafjes en plastic rietjes verbieden