

Korte samenvatting “Energiefeiten”

| Inhoud | blz. |
|---|------|
| Enkele definities en fundamentele wetten - - | 2 |
| Het energieverbruik van een huishouden - - | 4 |
| Groene energie - - - - - - | 4 |
| Zonne-energie - - - - - - | 4 |
| Windenergie - - - - - - | 6 |
| Opslag van zonne- en windenergie - - - - | 7 |
| Waterkracht - - - - - - | 7 |
| Geothermische energie - - - - - - | 7 |
| Getijdencentrale - - - - - - | 7 |
| Biobrandstof- - - - - - | 8 |
| Warmte-kracht koppeling - - - - - - | 8 |
| Warmtepomp - - - - - - | 8 |
| Accu - - - - - - | 9 |
| Lopen en fietsen - - - - - - | 9 |
| Elektrische fiets - - - - - - | 10 |
| Elektrische treinen - - - - - - | 11 |
| Vliegtuig - - - - - - | 11 |
| De elektrische auto - - - - - - | 12 |
| Elektrische auto op zonne-energie - - - - | 13 |
| De hybride auto - - - - - - | 13 |
| De brandstofcel auto - - - - - - | 14 |
| De Waterstof Economie - - - - - - | 14 |
| Kernfusie - - - - - - | 15 |
| Kernenergie - - - - - - | 16 |
| Het massa-energie equivalent - - - - - - | 17 |
| Massa en gewicht - - - - - - | 17 |
| Brandstoffen en CO2 - - - - - - | 17 |
| Het broeikaseffect - - - - - - | 17 |
| Lichtbronnen - - - - - - | 17 |
| De STEG centrale - - - - - - | 18 |
| Vergelijking aantal centrales, nodig voor Nederland | 18 |
| De CO2-uitstoot bij verschillende soorten auto's - | 18 |
| Vergelijking vervoermiddelen - - - - - - | 19 |
| World Solar Challenge - - - - - - | 20 |
| Shell eco-marathon - - - - - - | 20 |
| Een paar wetenswaardigheden - - - - - - | 20 |
| Vrije energie - - - - - - | 22 |
| Opslag van energie - - - - - - | 22 |
| Energiebesparing - - - - - - | 23 |
| Het energieneutrale huis - - - - - - | 23 |
| Warmtetransport - - - - - - | 24 |
| Hoe zal het nu verder met de energie gaan? - | 24 |
| Energie en arbeid - - - - - - | 25 |
| Het Klimaatakkoord - - - - - - | 26 |

De toename van de wereldbevolking = 200 000 mensen per dag.

In dit verhaal wordt de energie-opbrengst van allerlei energiebronnen steeds vergeleken met de opbrengst van een middelgrote elektrische centrale van **600 megawatt**.

Enkele definities en fundamentele wetten

Vermogen

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

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

voorbeeld

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

Energie

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

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

voorbeeld

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

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

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

Wet van behoud van energie

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

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

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

Energie en massa worden dus nooit "verbruikt"

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

Bij verbranding gaat geen energie verloren

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

de chemische energie = de mechanische energie + de thermische energie

Bij verbranding gaat geen massa verloren

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

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

Rendement

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

Voorbeeld: een benzinemotor

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

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

Produktiefactor (de beschikbaarheid)

$$\text{produktiefactor} = \text{werkelijke jaaropbrengst} / \text{theoretisch mogelijke jaaropbrengst}$$

Rendement en produktiefactor zijn 2 geheel verschillende begrippen

Voorbeeld: windenergie

- stel, het **rendement** van een windmolen = **50%**
- de **produktiefactor** wordt bepaald door de plaats waar de windmolen staat
- op zee waait het vaker en harder dan op land, de produktiefactor van windenergie op zee is daardoor groter dan op land.
- de produktiefactor op zee = **45%** en op land = **30%** (afgerond)
- de nuttige energie van een windmolen op **zee** = $50\% \times 45\% = 22,5\%$ van de energie die door de wind aan de molen wordt toegevoerd
- de nuttige energie van een windmolen op **land** = $50\% \times 30\% = 15\%$ van de energie die door de wind aan de molen wordt toegevoerd

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.

Mechanisch warmte-equivalent

Het mechanisch warmte-equivalent laat de relatie zien tussen mechanische energie en warmte

$$1 \text{ kilocalorie is equivalent aan } 427 \text{ kilogram-meter}$$

Een voorbeeld:

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

De wetten van Newton

1 de traagheidswet

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

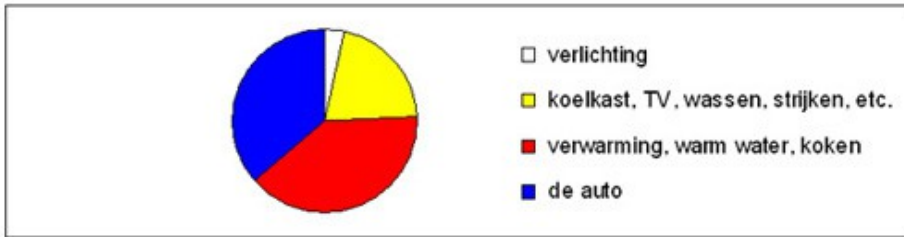
2 een kracht verandert een beweging

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

3 actie = reactie

Deze wetten zijn duidelijk zichtbaar bij het biljarten

Het energieverbruik van een huishouden (2008)



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

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

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

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

Groene energie

1 zonnepaneel van 1,6 vierkante meter levert **0,2** megawatt-uur per jaar

1 windmolen van 3 megawatt (op land) levert **8 000** megawatt-uur per jaar

Het totale elektriciteitsverbruik van Nederland is **115 000 000** megawatt-uur per jaar.

Daarvoor zouden dus nodig zijn:

of $115\,000\,000 / 0,2 = 575\,000\,000$ zonnepanelen van 1,6 vierkante meter
of $115\,000\,000 / 8\,000 = 14\,375$ windmolens van 3 megawatt

Zonne-energie

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.

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

De hoeveelheid zonne-energie die op de aarde wordt ingestraald, is **7000 keer** zoveel als het wereld-energieverbruik.

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 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

Enkele mogelijkheden om zonne-energie te gebruiken zijn:

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

1. Zonnepanelen

Bij een zonnepaneel wordt de ingestraalde zonne-energie rechtstreeks omgezet in elektriciteit

Waldpolenz Solar Park



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

2. Geconcentreerde zonnestraling

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

Voorwaarden voor geconcentreerde zonnestraling

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

Enkele voorbeelden van geconcentreerde zonnestraling

- parabolische spiegels
- zonnetroggen
- heliostaten

De zonnetrogcentrale "Andasol" in Spanje



- een zonnetrog is een trogvormige spiegel, waarbij de dwarsdoorsnede de vorm van een parabool heeft
- de lengte-as is in noord-zuid richting opgesteld en de zonnetrog draait om die as met de stand van de zon mee, dus elke dag van oost naar west
- in de brandlijn bevindt zich een buis, waar olie doorheen stroomt
- de geconcentreerde zonnestraling verhit de olie
- in een warmtewisselaar wordt hiermee water verhit tot hete stoom
- met de hete stoom wordt elektriciteit opgewekt
- de grondoppervlakte van deze centrale is 6 vierkante kilometer
- de jaaropbrengst is 495 000 megawatt-uur
- een elektrische centrale van 600 megawatt levert per jaar bijna **9** keer zoveel energie

3. verwarmen van water (zonneboiler)

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

4. Fotosynthese (biobrandstoffen)

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

Windenergie

Het rendement van een windmolen

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

De grootste windmolen ter wereld is de Enercon E-126

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

Het grootste Nederlandse windmolenpark op zee is Borssele 1&2

- het windmolenpark omvat 94 windmolens van 8 megawatt
- de oppervlakte is 128 vierkante kilometer
- de jaaropbrengst is 3 210 000 megawatt-uur
- een elektrische centrale van 600 megawatt levert per jaar **1,3** keer zoveel energie

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.

Enkele mogelijkheden voor opslag van elektrische energie

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

Waterkracht

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

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

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

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

Geothermische energie

Geothermische energie wordt gewonnen uit de aardwarmte.

- vanaf het aardoppervlak neemt de temperatuur bij toenemende diepte met globaal 30 graden celsius per 1000 meter toe
- op een diepte van 5000 meter is de temperatuur gemiddeld 150 graden

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

Eigenschappen van geothermische energie

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

Getijdencentrale

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

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

Biobrandstof

Bij biobrandstof, bijvoorbeeld hout, is de zonne-energie omgezet in chemische energie. Het rendement van deze omzetting is hooguit **1%**. De gedachte bij het gebruik van biobrandstof is, dat tijdens het groeien ervan, zuurstof wordt aangemaakt en kooldioxide (CO₂) uit de atmosfeer wordt opgenomen. Bij verbranding vindt het omgekeerde proces plaats. Netto vervuult deze zogenaamde "korte cyclus" het milieu dus niet. (CO₂-neutraal).

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

Het aandeel biobrandstof bij de productie van elektriciteit in Nederland is 7%. Men moet dan denken aan jaarlijks ongeveer 80 000 goederenwagons met 50 ton hout. Een trein met een lengte van 800 kilometer. Voor een "CO₂-neutraal" gebruik van deze hoeveelheid hout, moet er jaarlijks een oppervlakte van 63 x 63 kilometer aan bomen worden gekapt en ook weer aangeplant. Dat gaat dus **nooit** lukken.

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

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

Warmte-kracht koppeling

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

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

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

Warmtepomp

- een warmtepomp pompt warmte van een laag temperatuurniveau naar een hoger niveau.
- het lage niveau is bijvoorbeeld de grondwarmte, die op enige diepte het gehele jaar door ongeveer 12 graden is. De warmte wordt soms ook uit de lucht gehaald.
- 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 of uit de lucht wordt gehaald, vermeerderd met de energie die aan de compressor (pomp) wordt toegevoerd.

Accu

De lithium- ion accu

Dit type accu wordt meestal gebruikt in elektrische auto's en elektrische fietsen

- de energie-inhoud is 160 watt-uur per kilogram
- de levensduur is 1000 laadcycli

De levensduur van een accu

- de levensduur van een 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

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

Lopen en fietsen

Voor een persoon van 75 kilogram is de rust-stofwisseling ongeveer 300 kilojoule per uur. Deze hoeveelheid energie wordt continu verbruikt voor hartslag, ademhaling, constant houden van de lichaamstemperatuur, spijsvertering etc.

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

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

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

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

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

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

Lopen

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

Fietsen

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

Op de energie-inhoud van 2 liter volle melk kan men 100 kilometer fietsen

- bij een snelheid van 20 kilometer per uur moet een vermogen van 75 watt worden geleverd
- dat is in 5 uur een hoeveelheid energie van 375 watt-uur
- bij een rendement van 25% komt men dan op de energie-inhoud van 2 liter volle melk
- van 100 kilometer fietsen val je dus niet af, je valt wel af van zwemmen, door het warmteverlies (en vooral door minder te eten)

Elektrische fiets

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

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

Het energieverbruik uit de accu van een elektrische fiets

Het energieverbruik is sterk afhankelijk van de wind, mee of tegen,

Het gemiddelde energieverbruik uit de accu = **5 watt-uur** per kilometer

Met een accu van bijvoorbeeld 400 watt-uur, is de actie radius $400 / 5 = 80$ kilometer.

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 inspinnen, 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 voordelen van een elektrische fiets zijn:

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

Elektrische treinen

De Dubbeldekker



De Dubbeldekker is de modernste en zuinigste trein van de NS

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

De Thalys



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

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

Vliegtuig

De Boeing 747 "Jumbo"



Enkele gegevens:

- een Boeing 747 kan 200 000 liter brandstof meenemen
- de actieradius is dan 13 500 kilometer (= 1/3 van de aardomtrek)
- het verbruik is 15 liter per kilometer
- er kunnen maximaal **500** passagiers worden vervoerd
- ongeveer de helft van het startgewicht van een Jumbo bestaat uit de meegenomen brandstof (bij een lange afstandsvlucht)
- het leeggewicht is 181 ton, het gewicht van 200 000 liter kerosine is 160 ton
- 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 (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

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.

Elektrische auto op zonne-energie

De Lightyear One

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

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. Het is een auto, die afhankelijk van de situatie, door een elektromotor, een benzinemotor of een combinatie van beiden wordt voortbewogen. Het doel hierbij is om een zo hoog mogelijk rendement te behalen.

- het rendement van de Atkinson benzinemotor is hoog, maar sterk afhankelijk van de belasting en het toerental
- bij de elektromotor is het rendement altijd hoog
- de elektromotor werkt mee, als het rendement van de benzinemotor laag is
- de energie voor de elektromotor wordt geleverd door een oplaadbare nikkel-metaalhydride accu
- bij remmen en snelheidsvermindering werkt de elektromotor als dynamo en levert dan 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 plug-in hybride auto

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

De brandstofcel auto

Enkele kenmerken:

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

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

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

Zal de brandstofcel auto ooit op de weg verschijnen?

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

De Waterstof Economie

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

Energie kan worden opgeslagen in waterstof

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

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

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.

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.

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

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

Een Tokamak moet een minimale grootte hebben, om meer energie te leveren dan nodig is voor het op gang houden van het fusieproces. **ITER** (International Thermonuclear Experimental Reactor) zal de eerste (experimentele) kernfusiecentrale zijn, waarbij dat gaat lukken. ITER moet aantonen dat het mogelijk is om langdurig energie op te wekken met kernfusie.

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

Sommige mensen denken bij het energieprobleem:

- **"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?)

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

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

Wel of geen kernenergie?

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

fossiele energiebronnen

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

of kernenergie

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

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.

Kernenergie met Thorium?

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

Kernfusie?

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

Het massa-energie equivalent

Volgens de formule van Einstein kan massa worden omgezet in energie $E = mc^2$

1 kilogram massa is equivalent aan 25 miljard kilowatt-uur

Massa en gewicht

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

Brandstoffen en CO2

De CO₂-uitstoot per geproduceerde kilowatt-uur is bij een benzinemotor net zoveel als bij een kolengestookte centrale. Kolencentrales “mogen niet”, maar de auto “moet”.

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

Het broeikaseffect

Het broeikaseffect wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de kooldioxide (CO₂), die bij de verbranding van fossiele brandstoffen vrij komt. Dit broeikasgas laat de zonne-energie op weg naar de aarde vrijwel ongehinderd door, terwijl de uitstraling van warmte, afkomstig van de aarde wordt tegengehouden. De aarde koelt minder af, naarmate er meer broeikasgas in de atmosfeer aanwezig is. Het is echter de vraag, of het effect van kooldioxide (CO₂) in dit proces wel zo groot is als tot nu toe wordt aangenomen. 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% |

led-lampen (led = light emitting diode)

- de voordelen van de led-lamp zijn de kleine afmetingen, de levensduur en de schokbestendigheid.
- in vergelijking met kleine gloeilampjes, zoals bijvoorbeeld in zaklantaarns en in het achterlicht van een fiets, is het rendement van led's zeer hoog

De STEG centrale

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

Bij een STEG centrale is de verhouding tussen de inlaattemperatuur van de gasturbine en de uitlaattemperatuur van de stoomturbine veel groter dan bij een enkelvoudig proces. Er wordt dus meer energie uit de brandstof nuttig gebruikt.

Vergelijking van het soort centrales, nodig voor Nederland

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

| | aantal centrales |
|-------------------------------------|------------------|
| kolen- of gascentrale 600 megawatt | 28 |
| kerncentrale Borssele | 31 |
| windmolenpark Borssele 1&2 | 36 |
| getijdencentrale Bretagne | 213 |
| zonnetrogscentrale Andasol | 232 |
| zonnecentrale Waldpolenz | 2212 |
| grootste windmolen ter wereld E-126 | 5476 |

Een elektrische centrale met een vermogen van 600 megawatt

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

Het Waldpolenz Solar Park

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

Zonne-energie, een realistisch perspectief?

De CO2-uitstoot bij verschillende soorten auto's

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

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

elektrische auto

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

hybride auto

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

benzine auto

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

brandstofcel auto

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

het aantal energie-omzettingen bij verschillende soorten auto's

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

Vergelijking vervoermiddelen

A = maximaal aantal personen per voertuig

B = energie per persoon, watt-uur per kilometer

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

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

De World Solar Challenge

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

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

De Shell eco-marathon

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

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

Belangrijke factoren bij de recordpogingen zijn:

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

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

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

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. De kabel heeft een lengte van 580 kilometer.

Heteluchtmotor (Stirling motor)

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

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

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

Energieverlies in de voedselkringloop

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

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

Gewoon scheren in vergelijking met elektrisch scheren

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

Vergelijking van koken op gas met elektrisch koken

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

koken op gas:

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

elektrisch koken:

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

Betrouwbaarheid van de levering van elektriciteit

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

Het energieverbruik van de verlichting

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

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

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

Vrije energie



Nikola Tesla

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

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

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



De Warden Clyff Tower

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

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

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

Opslag van Energie

Enkele vormen van energie-opslag

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

Energiebesparing

Isolatie van de woning

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

Warm water

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

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

Auto

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

Verlichting

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

Het energieneutrale huis

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

Warmtetransport

Warmte gaat altijd (vanzelf) van een hoog temperatuurniveau naar een lager temperatuurniveau. Voor transport in de omgekeerde richting is een (energieverbruikende) warmtepomp nodig. Transport van warmte kan op **3** manieren plaats vinden:

1. door geleiding

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

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

2. door stroming

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

3. door straling

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

Hoe zal het nu verder met de energie gaan?

Olie

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

Gas

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

Steenkool

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

Waterkracht

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

Groene energie

Groene energie verkregen uit wind, zon, biomassa etc is voorlopig van weinig betekenis. Men denkt hiermee (in Nederland) maximaal 14% van (alleen) de elektriciteit in 2020 te kunnen opwekken. Windenergie komt in enkele landen uit de "startblokken". Zonne-energie is vooralsnog te verwaarlozen. Men moet hierbij denken aan hooguit enkele procenten van de totale elektriciteitsproductie.

Biobrandstof

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

Kernenergie

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

Kernfusie

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

Waterstof

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

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

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

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

Het worden interessante tijden

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.

Het Klimaatakkoord

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

Nieuwsbericht 23 februari 2018

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

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

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

Veel gehoorde uitspraken:

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

Enkele citaten uit teletekstberichten:

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