

MENS:
een indringende
en educatieve
visie op het
leefmilieu

Dossiers en rubrieken
didactisch gewikt
en gewogen door
eminente specialisten

65

Okt-Nov-Dec 07

MENS

Driemaandelijks populair-wetenschappelijk tijdschrift

Energie in het zonnetje

Lichtbakens voor toekomstige energieproductie

Milieu-
Educatie,
Natuur &
Samenleving

 Universiteit
Antwerpen

Nationale Loterij
creëert kansen 



Inhoud

Energie uit de kern van een atoom!	4
Splitsen maar!	4
En wat was nu het probleem?	7
En als we nu niet splitsen maar fusioneren?	8
Biobrandstoffen	10
Zonnecellen	14
De kracht van wind	17
Van knalgas tot basis voor economie: waterstof	19
Energie uit het binnenste van de aarde	20
Ook water stroomt	22
Nog niet meteen alternatief?	22
Het licht mag aan	23

Voorwoord

De leraar is het curriculum

Toen ik kort geleden aan een collega uit de biologie opbiechtte dat de literatuurhistoricus die ik ben zich bij zijn onderzoek niet zo veel kon voorstellen, nodigde hij me prompt uit voor een bezoek aan zijn onderzoeksgroep. Niet alleen bleken de chocoladekoekjes onweerstaanbaar en de koffie verrassend lekker, maar hij liet me zijn laboratorium zien, het proefterrein met de plantengroei-kassen en satellietbeelden die hem toelieten de effecten van de houtkap in het Amazonewoud te bestuderen. Hij legde me uit hoe zijn groep betrokken was in een internationaal project dat op diverse sites in Europa de gevolgen van de opwarming van de aarde voor de vegetatie in kaart probeerde te brengen en hoe, dicht bij huis, de invasie van exotische planten in onze ecosystemen werd onderzocht. Terwijl hij steeds enthousiaster aan het vertellen ging, werd ik opnieuw de scholier van veertig jaar geleden, hangend aan de lippen van die onvergetelijke leraar Nederlands, die de klas warm wist te maken voor Paul Van Ostaijen en Hugo Claus. "Wat een prachtig vak heeft hij toch," dacht ik bij mezelf. "Welke keuze zou ik destijds hebben gemaakt, als zo'n fantastische leraar biologie toen mijn weg had gekruist?"

Onderwijskundigen en vakdidactici ontwerpen methodes om het onderwijsproces te optimaliseren, leraren formuleren voor elke les hun doelstellingen en studenten kwoteren hun docenten op een schaal van één tot vijf. Maar alle didactische technieken en alle evaluaties blijven maar gerommel in de marge als een leraar niet deze twee eigenschappen bezit: een doorgedreven vakkennis, die hem doet onderwijzen vanuit een surplus, en het verlangen om zijn leerlingen te winnen voor zijn vak. Daarom is de modieuze idee zo betwistbaar dat leerlingen op eigen kracht en uiteraard liefst via de computer hun kennis moeten vergaren, en dat leraren coaches aan de zijlijn zijn. Zoals het ook een onzalige gedachte is, dat de beste vorsers zich in de universiteit vooral op het onderzoek moeten toeleggen, en dat onderwijs in de eerste jaren beter overgelaten wordt aan wie met zijn publicaties minder "scoort".

In een schitterend boek over het onderwijs tijdens de elfde en twaalfde eeuw heeft de Amerikaanse mediëvist C. Stephen Jaeger de toenmalige opvatting over de ideale leraar in één duizelingwekkende zin samengevat: "The teacher is the curriculum." Zo'n kernspreuk is natuurlijk nooit helemaal waar. Maar voor onze tijd, waarin de docent tot een uitvoerder herleid dreigt te worden van didactische principes die door anderen zijn uitgedacht, bevat hij een diepe wijsheid. De passie die we in onze schooltijd voor Engelse literatuur, fysica of toneelspele hebben opgevat, is bijna altijd verbonden met de dankbare herinnering aan die leraar die ons met zijn kennis en zijn enthousiasme wist te raken. Daaraan dacht ik, toen ik op dat proefterrein mijn collega vol vuur hoorde uitleggen waarom daar drie studenten zorgvuldig de wortels van kruiden aan het wassen waren, waarvan ik uiteraard de naam niet wist.



Frank Willaert
Instituut voor de Studie van de Letterkunde in de Nederlanden
Universiteit Anwerpen

Bio-
MENS

MENS is een uitgave van Bio-Mens vzw. In het licht van het huidige maatschappijmodel ziet zij objectieve wetenschappelijke voorlichting als één van de basisdoelstellingen.

www.tijdschriftmens.eu

Coördinatie:
Prof. Dr. Roland Caubergs
roland.caubergs@ua.ac.be

Hoofd- en eindredactie:
Dr. Geert Potters
mens@ua.ac.be

Kernredactie:
Lic. Karel Bruggemans
Prof. Dr. Roland Caubergs
Dr. Guido François
Lic. Liesbeth Hens
Dr. Lieve Maesele
Lic. Els Grieten
Lic. Chris Thoen
Dr. Sonja De Nollin

Info, abonnementen, promotie en externe relaties:
Corry De Buysscher
Te Boelaarlei 23, 2140 Antwerpen
Tel.: 03 312 56 56 - Fax: 03 309 95 59
corry.mens@telenet.be

Abonnement:
18 € op nr. 777-5921345-56

Educatief abonnement: 10 €
of losse nummers: 3,15 €
(mits vermelding installationsnummer)

Topic and fund raising:
Dr. Sonja De Nollin
Tel.: 0495 23 99 45 - Fax 03 609 52 37
e-mail: sonja.denollin@ua.ac.be

Illustraties:
Pat O'Connell
ITER
Ginger Faes
Hilde Van Craen
IEA

Verantwoordelijke uitgever:
Prof. Dr. Roland Valcke
Reimenhof 30, 3530 Houthalen
roland.valcke@uhasselt.be

© Alle rechten voorbehouden MENS 2007



Energie in het zonnetje

Lichtbakens voor toekomstige energieproductie

Dit dossier werd samengesteld door
Dr. Geert Potters, Universiteit Antwerpen
met medewerking van
Prof. Oscar van der Borght, Universiteit Antwerpen
Frank van den Heuvel, Delta n.v., Middelburg, Nederland
Xavier van Kesteren, SolVin n.v.
Veronique Vets, Vlaams Energie-agentschap
Luc Dries, Directoraat-Generaal Leefmilieu

In de vorige twee nummers van MENS besteedden we uitgebreid aandacht aan energieconsumptie heden ten dage. We hadden het over het energieverbruik van de mensheid in de loop van de geschiedenis, en hoe de mens op verschillende manieren in zijn energiebehoeften heeft trachten te voorzien. Eerst via eigen spierkracht, daarna door het inschakelen van dieren, en sinds zo'n honderdvijftig jaar geleden ook door het verbruiken van fossiele brandstoffen zoals aardolie, aardgas en steenkool. Dat was geen onverdeeld voordelige keuze. Fossiele brandstoffen liggen aan de basis van de ontwikkeling van de industrie en de hedendaagse welvaart, maar zijn ook verbonden met grote milieuvraagstukken zoals luchtvervuiling en de opwarming van de aarde. Bovendien komen we met de voorraden zoals we die nu kennen en kunnen aanboren, niet toe tot het einde van deze eeuw. Hoewel, we moeten hierbij onmiddellijk opmerken dat er nog regelmatig nieuwe brandstofbronnen worden ontdekt, en dat daarom deze voorspelling nog gedeeltelijk op losse schroeven staat.

Verder spelen de bestaande energiebronnen een belangrijke rol in de wereldeconomie en de wereldpolitiek. Zeker wanneer we naar de voorraden fossiele brandstoffen kijken met een Westerse bril. Wij hebben namelijk weinig eigen voorraden, en de voorraden die er zijn, liggen in regio's waar de politieke toestand soms zeer onstabiel is. Denk maar aan het Midden-Oosten. Ook andere landen met grote voorraden (zoals Rusland) zouden niet aarzelen om deze te gebruiken bij politieke onderhandelingen. Wat daar ook de redenen van mogen zijn. Het is dan ook niet te

verwonderen dat in het Westen een sterke neiging bestaat om zelf in het eigen energie-onderhoud te kunnen voorzien vooral dan dankzij alternatieve en innovatieve technologieën... Energie is dus een wereldvraagstuk, met wetenschappelijke en maatschappelijke implicaties.

We kunnen natuurlijk zuiniger omspringen met onze energievoorraden. Onze wetenschappers en ingenieurs zijn druk bezig met het ontwikkelen van nieuwe types van motoren en verwarmingstoestellen, en het doorrekenen van zogenaamd energie- passieve huizen. Zelf kan je ook je steentje bijdragen. Daarover kon je al meer lezen in MENS 64. Daarnaast moet er echter werk gemaakt worden van alternatieven. Duurzaam produceren is goed voor de toekomst van onze wereldbol en haar klimaat. Energie zal voor iedereen betaalbaar blijven. We kunnen onafhankelijk(er) worden van buitenlandse bronnen. Door alternatieven kunnen we ook veel efficiënter gebruik maken van de zonne-energie. Kortom, iedereen kan wel een reden vinden om alternatieve energiebronnen een reële kans te geven.

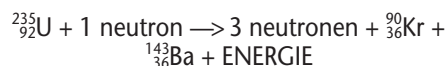
In dit nummer van MENS zetten we de alternatieven op een rijtje. We laten ons licht schijnen over kernenergie, zowel in zijn huidige vorm (het splijten van uraniumkernen) als in de gedroomde veilige en schone vorm, de kernfusie. Daarna steken we datzelfde licht op over de zogenaamde 'alternatieve energiebronnen', zoals het gebruik van biologisch materiaal, windkracht, zonnelicht en waterstofgas.

Energie uit de kern van een atoom!

Voor de liefhebbers van originele skylines: probeer die van Doel eens, met de typische vorm van de koeltorens van de energiecentrale (en voor wie dichter komt, de molen op de Scheldedijk). Aan de andere kant van het land staan er andere, in Tihange. Van ver zie je de witte pluim die onophoudelijk uit de torens komt. Voor wie eraan twijfelt – dat is waterdamp, net zoals bij alle andere (ook niet-nucleaire) centrales. Zonder overdrijven zijn deze centrales belangrijke motoren van onze economie. 55% van onze elektriciteit wordt immers opgewekt in een kerncentrale, en daarbij is ons land een van de koplopers in Europa (zie figuur). Voor België is kernenergie op dit moment reeds een belangrijk alternatief voor fossiele brandstoffen. En je kunt veel zeggen over het gebruik van kernenergie, maar per geproduceerde megawattuur stoot een kerncentrale veel minder CO₂ uit dan een steenkoolcentrale. Mooi meegenomen, met een Kyoto-akkoord als een zwaard van Damocles boven ons hoofd. Toch woedt in vele landen van Europa een discussie over het afschaffen van kerncentrales als energiebron. Ook in België. Laten we een poging doen om die discussie te begrijpen.

Splitsen maar!

Het hart van een kerncentrale is de brandstof. Die bestaat uit uraan, met uraan-235 (²³⁵U) en uraan-238 als de twee voornaamste isotopen op aarde. Uraan was het eerste element dat splijtbaar bleek te zijn. Daarmee bedoelen we dat bepaalde isotopen van uraan een onstabiele kern hebben. Wanneer een neutron op een kern van uraan-235 botst, is de energie van de effectieve botsing voldoende om de kern uiteen te laten vallen.



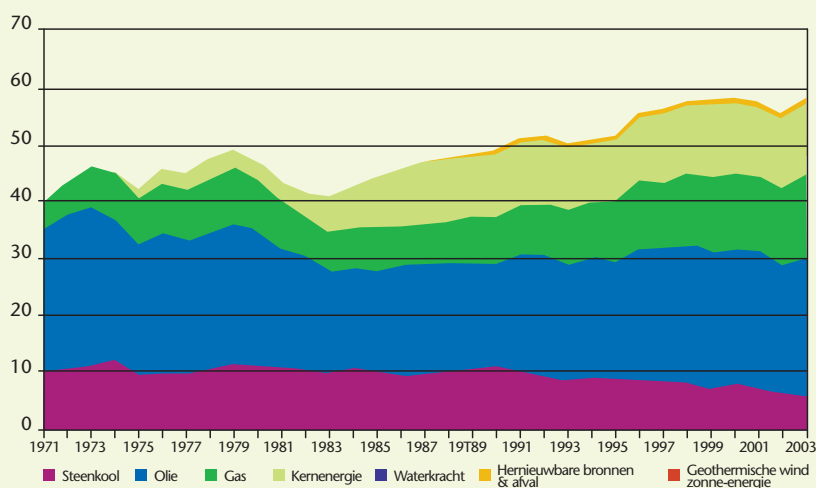
1 splitsing genereert ongeveer $3,10^{-11}$ joule. Dat lijkt op het eerste gezicht weinig, maar 1 kilomol uraan-235 oftewel 235 kg kan... 18 PJ opleveren. 235 kg TNT genereert 5 miljoen maal minder energie. Bovendien kunnen de 3 neutronen die vrijkomen bij de splijting van de U-235-kern zelf andere U-kernen doen splijten. Zo ontstaat een kettingreactie.

Bovenstaande reactie is trouwens niet de enig mogelijke. Door een bombardement met minder energierijke (en dus 'tragere') neutronen verandert de isotoop uraan-

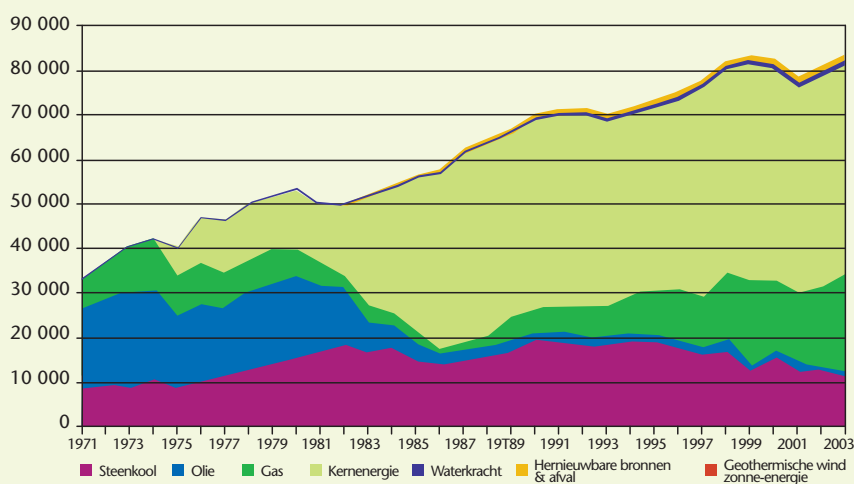
Energie en elektriciteit in België

De Belgische samenleving maakt gebruik van verschillende energiebronnen. In het algemeen (bovenste grafiek) is aardolie onze belangrijkste bron van energie (als brandstof voor auto's, en om onszelf te verwarmen). Bekijken we dan enkel de productie van elektriciteit (onderste grafiek), dan veranderen de klemtonen. Nu zien we dat België vooral stroom produceert met kernenergie (ongeveer 55%), en in mindere mate met aardgas (26%) en steenkool (14%). Hernieuwbare energiebronnen spelen in geen van beide gevallen enige rol van betekenis... Een gelijkaardig plaatje kan getekend worden voor andere Europese landen. Alleen de mate waarin deze landen steunen op kernenergie varieert.

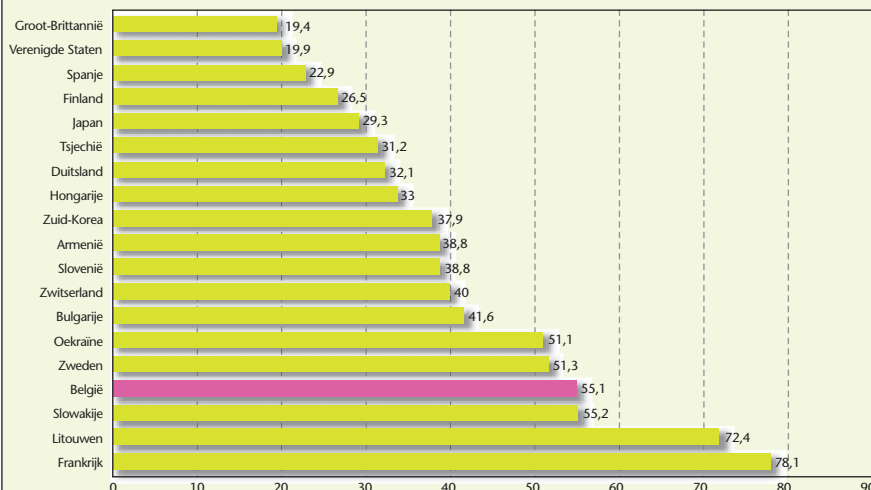
Algemene bronnen van energie en brandstof in België

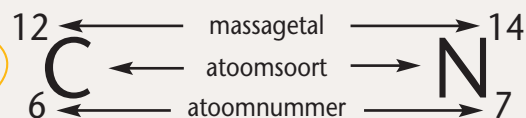
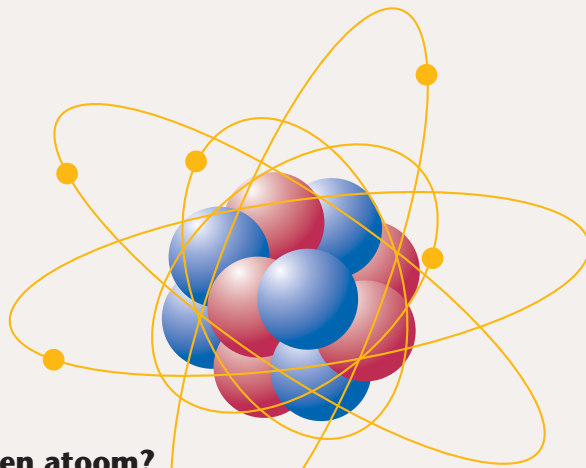


Energiebronnen voor elektriciteitsproductie in België



Percentage van de elektriciteitsproductie die steunt op kernenergie





Hoe groot is een atoom?

Eerst het ruwe antwoord. Een atoom is ongeveer 10^{-10} m groot. Dat is een tiende van een miljoenste van een millimeter. Dan het gedetailleerde antwoord. Als we naar een atoom zouden kijken, dan zouden we namelijk vooral lege ruimte zien, met helemaal in het centrum een brokje materie. Dat is de kern van het atoom. Die kern zelf heeft een diameter van ongeveer 10^{-14} m. Dat is net alsof er een knikker zou liggen in het midden van een verder absoluut leeg voetbalveld (op een paar nog kleinere elektronen na).

De kern bestaat overigens zelf nog uit kleinere deeltjes: protonen en neutronen. De neutronen hebben geen lading, de protonen zijn positief geladen. In de ruimte rond de kern bewegen zich de negatief geladen elektronen, evenveel als er protonen in de kern zitten, zo blijft de lading van het hele atoom neutraal. Het aantal protonen bepaalt de atoomsoort (en al wat daaruit volgt). Waterstofatomen hebben één proton, koolstof heeft er zes, en uraan (het zwaarste natuurlijk voorkomende element op aarde) heeft er maar liefst tweeënegentig.

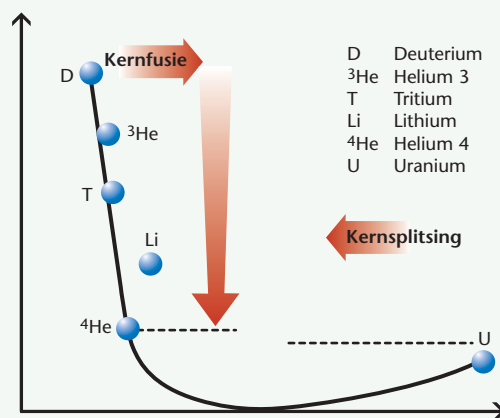
De massa van het atoom wordt vooral bepaald door de (relatief) zware protonen en neutronen (elk $1,6726231 \times 10^{-27}$ kg). Elektronen hebben namelijk een massa die 1800 keer kleiner is. Het massagetal van een atoom is dus simpelweg de som van het aantal protonen en neutronen in de kern. Het aantal neutronen kan van atoom tot atoom verschillen, ook binnen één atoomsoort, en daarmee ook dat massagetal. Zo zijn er koolstofatomen die naast hun zes protonen nog eens zes neutronen bevatten, maar andere hebben er zeven of acht. We spreken dan ook over koolstof-twaalf, koolstof-dertien en koolstof-veertien. Willen we dit korter schrijven, dan gebruiken we het symbool voor koolstof, C, en zetten we links bovenaan het massagetal. Willen we expliciet het atoomnummer vermelden (omdat we reacties beschrijven waarbij elementen in mekaar overgaan), dan zetten we dat links onderaan van het symbool. Zie ook figuur. Dergelijke atomen met eenzelfde aantal protonen, maar met verschillende aantallen neutronen in hun kern noemen we overigens isotopen.

Over sterke kernkrachten

Sterke kernkrachten zijn de krachten die de protonen en de neutronen bij elkaar houden. Als geheel, met alle kerndeeltjes samen, bevindt de kern zich op een lager energieniveau dan de kerndeeltjes apart. Het verschil is de bindingsenergie. Wanneer twee lichte kernen gefusioneerd worden tot een zwaardere, dan kan het zijn dat de nieuwe kern op een lager energieniveau terecht komt dan de lichtere kernen. De energie die daarbij vrijkomt is wat we hopen te bekomen in het kernfusieproces. De energie van deeltjes wordt in de kernfysica overigens uitgedrukt in elektronvolt (eV): $1 \text{ eV} = 1,60217653 \times 10^{-19}$ joule; $1 \text{ J} = 6,2415096 \times 10^{18} \text{ eV}$. Een elektronvolt komt overigens ook overeen met de energie die een elektron levert bij het overbruggen van een spanningsverschil van 1 Volt.

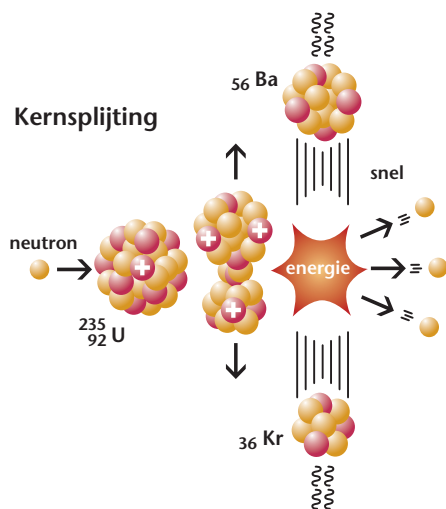
Hoe hoger de atoommassa van een bepaalde isotoop, hoe lager de bindingsenergie die vrijkomt bij de vorming ervan. Vanaf een atoommassa die overeenkomt met ijzer-56, nemen twee fusionerende kernen weer extra energie op. Dat is dan de energie die we kunnen vrijstellen via kernsplijting (Engels: *fission*).

Diezelfde sterke kernkrachten zorgen er trouwens voor dat de massa van de kern van een atoom kleiner is dan de som van de massa van de afzonderlijke protonen en neutronen. Dit wordt het massadefect genoemd. Bovendien is dit massaverlies evenredig met de bindingsenergie... volgens de bekende formule van Einstein: $E = mc^2$ (E is de energie, m is de massa en c is de lichtsnelheid). Het kan hierdoor gezien worden alsof een deel van de massa bij het samenvoegen omgezet wordt in bindingsenergie, die dan vrijkomt. Bij het uit elkaar halen



van de kern moet dus minstens dezelfde hoeveelheid energie worden toegevoegd.

Dankzij deze relatie tussen massa en energie kunnen we massa's op atoomschaal ook anders uitdrukken. Een elektronvolt kan dus ook staan voor een zeer kleine hoeveelheid massa: $1 \text{ eV} \sim 1,7826619 \times 10^{-36} \text{ kg}$; $1 \text{ kg} \sim 5,6095888 \times 10^{35} \text{ eV}$. De massa van deeltjes wordt uitgedrukt in amu (atomic mass unit), die gelijk is aan 1/12 van de massa van het koolstof-12 atoom, maar kan dus ook worden uitgedrukt in eV. $1 \text{ amu} \sim 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg} \sim 931,5 \times 10^6 \text{ eV}$. De massa van het proton is dan overigens $1,0073 \text{ amu} \sim 938,3 \times 10^6 \text{ eV}$ en die van het neutron $1,0087 \text{ amu} \sim 939,6 \times 10^6 \text{ eV}$. Het elektron is hierbij vergeleken erg licht: $5,4859 \times 10^{-4} \text{ amu} \sim 511 \times 10^3 \text{ eV}$.



$^{235}_{92}\text{U}$ in het zeer kort levende uraan-236, dat onmiddellijk uiteenvalt in twee kleinere atoomkernen, waarbij energie vrijkomt en bovendien nog meer neutronen. Ook deze neutronen kunnen een kettingreactie in gang zetten, en zo de splijting veroorzaken van andere uraankernen.

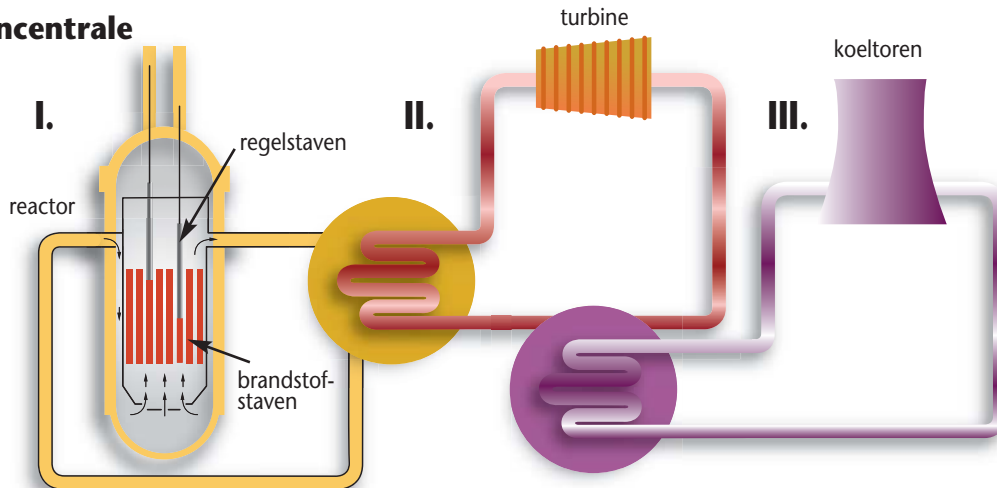
Deze eigenschappen maken uraan-235 cruciaal als splijtstof in kernreactoren: deze splijting is gemakkelijk op te wekken, produceert veel energie én houdt zichzelf in stand, en er is op aarde een substantiële hoeveelheid uraan-235 te vinden.



Doel

Werking van een kerncentrale

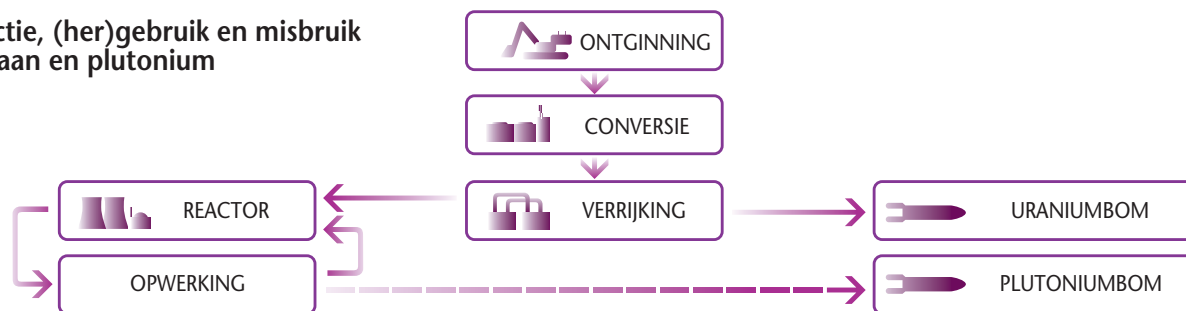
- I. Primaire kring
- II. Secundaire kring
- III. Tertiaire kring



Op de figuur hierboven zie je het werkingsschema van een kerncentrale. In het reactorvat zitten de verschillende brandstofstaven. Tussen de splijtstofelementen bevinden zich regulerende staven bestaande uit cadmium. Bij dit splijtingsproces kan de ontstane kettingreactie danig ontsporen. Om dit te voorkomen absorberen de regelstaven de overschotten aan splijttingsneutronen en wordt de kettingreactie onder controle gehouden. In Tsjernobyl is er wat fout gegaan met die regelstaven; daardoor is de reactor letterlijk ontploft, en de koepel van de reactor (tezamen met een deel van de inhoud) werd in de lucht geblazen. Met alle gevolgen van dien. Onder normale omstandigheden wordt met de energie die vrijkomt, water omgezet in stoom. Dat gebeurt na overdracht van de warmte van het primaire circuit naar het secundaire circuit. Met die stoom kan je een turbine laten draaien, en daardoor wek je elektriciteit op.

De overmaat van stoom in het secundaire circuit wordt met behulp van koud water uit het tertiair circuit, gekoppeld aan de koeltorens terug gecondenseerd. Dit water blijft uiteraard in het secundaire circuit, want ook hier is er enkel sprake van indirect contact. Zo ontsnapt er geen water dat in contact is gekomen met de radioactieve staven naar de buitenwereld. Het water in het primaire circuit komt in contact met de uraanelementen, en is dus wel degelijk radioactief. Het water van het secundaire circuit met condenswater voor en stoom na de warmte-uitwisselaar komt echter enkel indirect in aanraking met dat radioactieve water en is dus niet-radioactief, en dat in de tertiaire kring ook niet. De stoom die je via de koeltorens ziet ontsnappen, komt dan ook altijd van dat tertiaire circuit van koelwater.

Productie, (her)gebruik en misbruik van uraan en plutonium



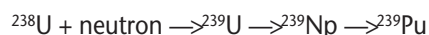
En wat was nu het probleem?

Op het eerste gezicht heeft het gebruik van kernenergie een aantal duidelijke voordelen. Zo komt er geen CO₂ of een andere luchtvervuiler vrij (wat een extra bonus is bij het beperken van onze CO₂-uitstoot). Sommige bijproducten van de reactie zijn van groot belang in de geneeskunde. Er is ook geen tekort aan splijtbaar uraan (zeker niet op korte termijn). En op langere termijn wordt de mogelijkheid onderzocht om uraan uit zeewater te winnen, wat ons volgens bepaalde bronnen nog duizenden jaren energie kan opleveren. Geopolitiek gezien is het een groot voordeel dat de grondstof uranium voor een belangrijk deel uit landen als Canada en Australië komt, stabielere landen dan Rusland of het Midden-Oosten, waar olie en gas vandaan komen.

Maar vooral - een kernreactor genereert weinig afval: slechts een paar kubieke meter afval per gigawattjaar. Nochtans is net dat afval de achilleshiel van de kernreactor. Dat weinige afval is namelijk radioactief, en zowel het uraan zelf als de producten die bij het splijten van uraan-kernen gevormd worden, zijn giftige zware metalen. Het geproduceerde reactorafval zal na 600 jaar niet radioactiever zijn dan sommige natuurlijke ertsen. Toch geven de vervalreeksen van uraan en de beide splijtingsproducten een lage

radioactieve straling vrij, maar bij een langdurige blootstelling kunnen ernstige gezondheidsrisico's de kop opsteken. En over langdurig gesproken - het afval moet nog duizenden jaren lang worden bijgehouden. Eerst laat men de verbruikte brandstofstaven gedurende enkele jaren in opslagbekkens afkoelen. Dan verhuist het afval voor een tijd naar een opslagruimte bovengronds, om dan definitief in een ondergrondse galerij te worden gestockeerd.

Een van de belangrijke componenten van dit afval is overigens plutonium, dat ontstaat uit uraan via volgende nevenreactie:



Plutonium is een hoogradioactief element dat eigenlijk niet meer voorkomt op aarde. Dit plutonium zorgt er echter voor dat het afval hergebruikt kan worden, door het op te werken tot zogenaamde MOX brandstof. MOX staat voor Mixed Oxide, en is een mengsel van verarmd uraanoxide en plutoniumoxide. De vervanging van een standaard uraan-brandstofelement door een MOX element verbruikt 9 kg plutonium in plaats van 5 kg te produceren. Op het eerste gezicht lijkt dit een goede zaak: we laten het plutonium weer vervallen (zodat we dus het afval van de centrale hergebruiken), halen daar dan nog energie uit, en we kunnen weer wat zuiniger omgaan met onze voorraden uraan. Langs de andere kant vereist de aanmaak van MOX het behandelen (en vaak trans-

porteren) van belangrijke hoeveelheden plutonium, en dat is een bijzonder giftig element én een sterke bron van radioactiviteit. Het vrijkomen van plutonium zou mogelijk nog grotere schade toebrengen aan het milieu dan in het geval van louter uraan.

Niet alleen het afval van de reactie zelf moet trouwens met de nodige omzichtigheid worden behandeld. Ook de restanten van de kerncentrale, wanneer de productie definitief gestopt is, dienen met de nodige voorzichtigheid te worden ontmanteld en opgeslagen. Nu, volgens een aantal deskundigen kan het afval perfect worden opgeslagen in zeer diepe, geologisch stabiele lagen: zoutlagen (zoals wordt onderzocht in Duitsland), graniet (zoals in Scandinavië) en klei (Zwitserland, Frankrijk, en België). Alleen wil niemand het afval in zijn achtertuin, en protesteren de inwoners van een gemeente waar de overheid opslagvoorzieningen wil bouwen, hier zeer heftig tegen.

Ook een werkende kerncentrale kan een bron zijn van risico's. Een ongeluk kan ervoor zorgen dat er radioactief materiaal in het milieu terecht komt. Denk maar aan wat er gebeurd is in Tsjernobyl. Voorstanders wijzen er dan weer op dat de nodige veiligheidsmaatregelen genomen worden bij het ontwerpen van de moderne centrales. Inderdaad, wereldwijd zijn enkele honderden kerncentrales operationeel en tot op heden hadden we

Ik stap eruit

In het licht van alle nadelen van kernenergie besliste de Belgische regering in 2003 om de bevoorrading van elektriciteit met behulp van kerncentrales te staken. Centrales van 40 jaar oud zouden onherroepelijk worden gesloten, en niet meer vervangen worden door nieuwe modellen. En ja, in 2015 sluiten volgens dit besluit de eerste centrales, in 2025 droogt de nucleaire stroom definitief op. Dat wil zeggen, als er geen problemen opduiken. Er staat in de desbetreffende wet immers dat de uitstap uit kernenergie kan worden opgeschort mocht het land met tekorten in de elektriciteitsbevoorrading te kampen krijgen. En dat is een bepaling die politici wel eens ruim zouden kunnen interpreteren.



'slechts' een beperkt aantal ongelukken. De 10 000 doden ieder jaar in kolenmijnen steken daar schril bij af. Overigens, Tsjernobyl was een achterhaalde centrale uit de jaren '50 in een samenleving waar veiligheid bijzaak was.

Ook los van het eigenlijke productieproces is de laatste jaren pijnlijk duidelijk geworden dat er nog een groot gevaar verbonden is aan kerncentrales: de producten kunnen dienen als grondstof voor kernwapens, en terroristische organisaties zouden maar wat blij zijn met een lading uraan of plutonium, om daarmee een zogenaamde 'vuile bom' te maken (een bom die bij ontploffing een hele buurt, stad, regio... radioactief besmet).

Samengevat – kernsplijting levert ons geen uitstoot van koolstofdioxide op, en de Westerse centrales zijn zeer veilig. Alleen, de brandstof, uraan, is beperkt in hoeveelheid op aarde. En het geproduceerde afval blijft lang radioactief en het is niet duidelijk hoe we hiermee moeten omgaan. Echt volledig voordelig is kernsplijting niet voor de mensheid. Wil dat zeggen dat kernenergie helemaal geen toekomst heeft?

Niet helemaal. De nieuwe generatie kerncentrales zal werken volgens een volledig opnieuw uitgewerkt productiesysteem. De nieuwe kerncentrales worden geacht met een hoog rendement elektriciteit en warmte te produceren, het plutonium en andere afvalproducten te recyclen en natuurlijk uraan volledig te benutten. Verder zouden deze reactoren ook moeten kunnen instaan voor andere processen: de productie van waterstof (zie verderop), of het ontzilten van zeewater. Klein probleem...deze reactoren zouden slechts op een commerciële manier in bedrijf gesteld worden in de loop van de periode 2025-2040.

En bovendien, er is niet alleen kernsplijting. Maar daar gaat het volgende hoofdstukje over...

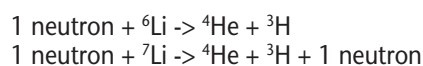
En als we nu niet splitsen maar fusioneren?

Naast kernsplijting onderzoeken ingenieurs en wetenschappers nog een ander proces waarbij de energie uit atoomkernen wordt gebruikt voor onze energiebevoorrading: kernfusie. Dit is het samensmelten van meerdere lichte atoomkernen tot een nieuwe kern. Dat is gemakkelijker gezegd dan gedaan: atoomkernen zijn positief geladen, en het laten versmelten van twee positieve deeltjes om een fusiereactie van start te laten gaan, vergt bijzonder veel energie. In de zon, waar alle energie via fusie van atoomkernen wordt opgewekt, gebeurt dit bij een enorme druk en bij 15 miljoen graden. Op aarde kunnen we die hoge druk niet bereiken, waardoor de temperatuur nog 10 maal hoger zal moeten zijn: 100 tot 200 miljoen graden. En toch zou die investering garant moeten staan voor een enorme energieopbrengst.

Dat hebben we om te beginnen te danken aan de sterke kernkrachten (zie kader p. 5) De fusiereactie die op aarde voorlopig het gemakkelijkst te realiseren is, verbruikt twee isotopen van waterstof: deuterium (^2H) en tritium (^3H). De reactie die daarbij doorgaat in een kernfusiereactor is de volgende:



Hierbij worden er een heliumkern en een neutron geproduceerd. Deuterium komt in grote hoeveelheden in water voor. Uit een liter zeewater kan volgens sommige bronnen evenveel energie gehaald worden als uit een 300-tal liter benzine en de ploeg achter het recente internationale consortium ITER (zie verderop) claimt dat uit het meer van Genève genoeg deuterium gehaald kan worden om de mensheid voor duizenden jaren te voorzien van energie. Volgens onderstaande kernreactie kan tritium worden bereid uit twee isotopen van lithium, dat als bijproduct uit de ontzilting van zeewater wordt gewonnen, en dit gebeurt tijdens de reactie:



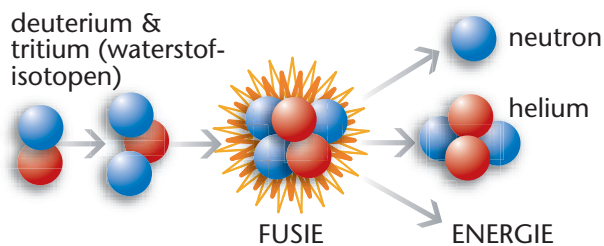
Nemen we bij wijze van aanschouwelijk voorbeeld het lithium uit de batterij van één laptop, en het deuterium van 45 liter water, dan kunnen we 200 000 kWh aan elektriciteit produceren. Evenveel als met 40 ton steenkool. Hebben we hiermee een haast onuitputtelijke bron van energie gevonden? Het lijkt van wel. Het grootste probleem hebben we echter

al aangehaald: de reactie kan pas doorgaan als we een temperatuur van tenminste 100 miljoen graden bereiken. Bij een dergelijke temperatuur bestaat de materie overigens niet meer in een van de bekende aggregatietoestanden (vast, vloeibaar, gasvorming), maar neemt ze een vierde vorm aan: plasma. Hierbij zijn sommige atomen, bijvoorbeeld als gevolg van temperatuursverhoging, een of meer elektronen kwijtgeraakt. De losgekomen elektronen bewegen zich vrij door de ruimte en de achtergebleven kern (met de eventueel overgebleven elektronen) is een positief ion geworden. Om dit mengsel van elektrisch geladen deeltjes in bedwang te houden, wordt er gebruik gemaakt van sterke magnetische velden met een speciale vorm: de torus. Zo'n reactor noemen we een tokamak. Dit is een acroniem gebaseerd op de Russische woorden *toroidalnaja* (torusvormig), *kamera* (ruimte), *magnitnaja* (magnetisch) en *katoesjkan* (spool); de eerste onderzoekers die zich met dit soort reactoren bezig hielden waren immers Russen (waaronder Nobelprijswinnaar voor de Vrede Andrei Sacharov). Het vasthouden van het plasma met een magneetveld heeft twee grote voordelen: het plasma wordt niet afgekoeld door de veel koudere wand, en de wand zelf komt niet in contact met het hete plasma en blijft dus intact. Tijdens de reactie moet natuurlijk wel voldoende energie worden geïnvesteerd om het magneetveld intact te houden. Die energie moet worden afgetrokken van de opbrengst van de reactor.

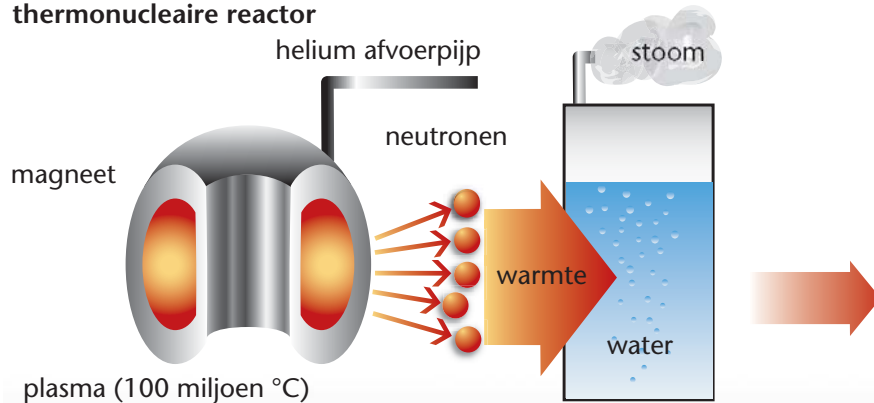
Die hoge temperatuur is verder vooral een kwestie van de reactie op gang krijgen. Eenmaal het fusieproces bezig is, komen er uit de reactie neutronen en heliumkernen vrij. Doordat de heliumkernen geladen zijn, kunnen ze niet uit het magneetveld ontsnappen. Deze deeltjes botsen tegen de deuterium- en tritiumkernen in het plasmamengsel en zorgen er zo vooral voor dat de warmte in de reactor behouden blijft. Als het plasma zichzelf op die manier in stand houdt, is de reactor 'aangestoken'.

Omdat neutronen ongeladen zijn, worden ze ook niet tegengehouden door het magneetveld van de tokamak. Ze ontsnappen en botsen tegen de wanden van de reactor, die bestaan uit lithium. Zo wordt er onmiddellijk meer tritium gevormd, die als brandstof bij het reactiemengsel kan worden gevoegd; bovendien wordt er bij die botsing warmte gevormd. Die kan dan worden afgegeven aan een koelmantel gevuld met water. Hierbij ontstaat stoom, die dan een turbine kan aandrijven. Zo krijgen we elektriciteit.

Kernfusie



thermonucleaire reactor

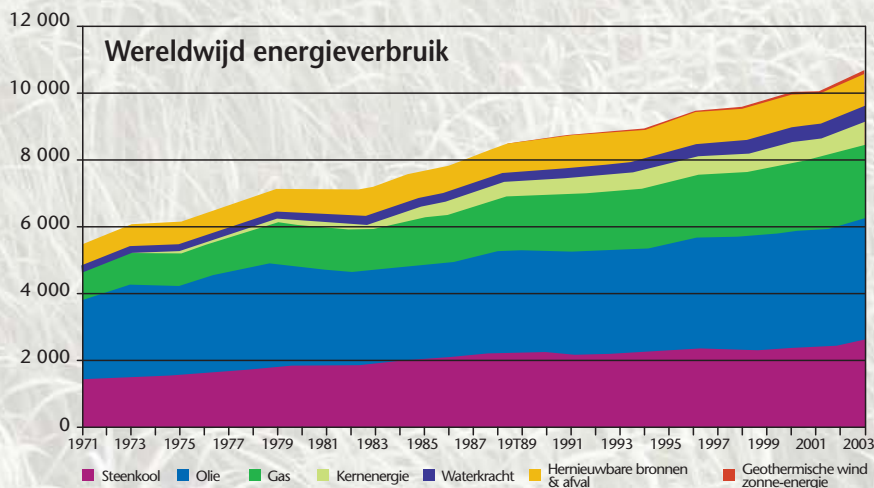


De belangrijkste voordelen van kernfusie zijn dat er weinig radioactief afval ontstaat, en dat er steeds maar een kleine hoeveelheid nucleair reagens in de reactor aanwezig is. Bovendien zijn de grondstoffen, zoals eerder aangehaald, schier onuitputtelijk. Een nadeel is wel dat zelfs de kleinste installatie waarin een rendabele exploitatie mogelijk zou zijn vrij groot is, maar daar kunnen we ons wellicht wel overheen zetten. Niets dan goed nieuws. Dus tegen wanneer valt die massa goedkope stroom te verwachten?

Wel, wereldwijd zijn er al verschillende tokamaks beschikbaar – voor onderzoek, nog niet om echt energie te produceren. Zo staat in het Japanse Naka Fusion Research Establishment in Nakamachi de Tokamak-60, die in 1996 een temperatuur van 520 miljoen kelvin heeft kunnen bereiken. Dat is de hoogste temperatuur die ooit door mensen is gegenereerd. In Groot-Brittannië staat de Joint European Torus, een tokamak die beheerd wordt door een Europees onderzoeksteam. Tot hertoe hebben deze installaties alvast kernfusie op gang gekregen (tot zover het goede nieuws), maar ze hebben nog maar net voldoende energie geproduceerd om de reactor zelf in gang te houden. Echt economisch is de productie van elektriciteit met behulp van fusiereactoren dus nog niet. Er zijn ondertussen afspraken gemaakt tussen Zuid-Korea, Rusland, China, de VS, Japan, India en de EU om een grote tokamak te bouwen in Cadarache, in Frankrijk. Dit consortium, ITER, zou rond 2015 de mogelijkheid van economisch rendabele kernfusie moeten demonstreren, door 10 keer meer energie te produceren dan wat de centrale zelf verbruikt. En wanneer zal die fusiestroom dan uit onze stopcontacten komen gerold? Wel... ten vroegste over dertig, veertig jaar...

Samengevat? Er is hoop. En hoop doet leven. Hopelijk lang genoeg.





Biobrandstoffen

Bekijken we even bijgevoegde figuur over de energiebronnen die wereldwijd worden aangeboord, dan merken we dat ongeveer tien procent van alle energie op de wereld afkomstig is van 'hernieuwbare bronnen en afval'. Tja. Dat wil vooral zeggen dat er nog veel bomen gekapt worden. Bomen, die niet worden teruggeplant – denk maar aan het verbruik van regenwouden. Echt duurzaam is dat ook niet. Bovendien houden bomen met hun wortels de vruchtbare bodem bijeen. Als de bomen gekapt worden, spoelt er ook een pak vruchtbare grond weg bij een regenbui, en verarmt op die manier de bodem. Het is dus niet om dat energie komt van hernieuwbare bronnen, dat ze daarom ook meteen van hernieuwde bronnen komt. Voor alle duidelijkheid – daarover hebben we het in het kader van dit nummer NIET, wel over vormen van energie die effectief ook hernieuwd worden, bv. bomen die heraan geplant worden (en pas geoogst worden als er evenveel hout is gevormd als wat eerst was verbrand). Immers, als we meer biomassa willen gebruiken om echt hernieuwbare energie te produceren, dan zullen we dit op een duurzame wijze moeten doen.

Nochtans zijn er verschillende mogelijkheden om van biologisch materiaal

(biomassa) een duurzame energiebron te maken. Uiteindelijk hebben planten vooral zonlicht, CO₂, water en wat mest nodig om te groeien, en zeker die eerste twee hebben we wereldwijd in overvloed beschikbaar. Planten zijn in de natuur overigens altijd energieleveranciers, als voedsel voor mens of dier; waarom zouden we ze ook niet kunnen gebruiken als brandstof?

Die brandstof kan verschillende vormen aannemen. Vaak zal het geproduceerde materiaal verbrand worden in een thermische centrale, zodat er elektriciteit mee wordt opgewekt. Andere biologische grondstoffen lenen zich tot de vorming van biodiesel of bio-ethanol, waar motoren op kunnen draaien.

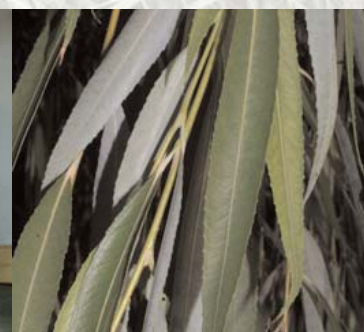
De belangrijkste bronnen van biomassa zijn oud hout, houtresten en afvalhout van de bosbouw langs de ene kant, en vers geteelde energiegewassen of 'energieteelten' langs de andere kant. Bij deze energieteelten bestaat er nog een belangrijk onderscheid tussen enerzijds de traditionele akkerbouwgewassen (zie verderop) en anderzijds houtachtige gewassen zoals populier, wilg en eucalyptus. Deze laatste zijn erop geselecteerd om snel veel hout en houtachtig materiaal te vormen, dat dan kan verbrand worden om stroom op te wekken. Men spreekt in dat geval van korte-omloophout.

Biomassa: duurzame biologische energie?

Als we het over biomassa hebben, dan bedoelen we:

- alle organische materialen van plantaardige of dierlijke oorsprong
- die niet bestemd zijn om te worden gegeten, maar voor industriële toepassingen
- of voor energieopwekking (warmte, elektriciteit, motorbrandstof).

Bovendien gaat het over materialen die op een duurzame wijze worden geproduceerd. Dat wil zeggen dat ervoor gezorgd wordt dat de bron van de biomassa in stand wordt gehouden en niet uitput. In dit nummer hebben we het uiteraard over de laatste toepassing: de opwekking van energie. Wil je meer weten over andere toepassingen van biomassa, kijk dan in MENS 46, *Biomassa, de groene grondstof*.



Alle beetjes helpen. De Lijn rijdt bewust op een mix van gewone diesel en biodiesel. Brandhout is tot op de dag van vandaag de meest ideale brandstof voor de verwarming met biomassa op

het platteland. In de stad wordt eerder gekozen voor houtpellets of voor biogas. Toch kan ook brandhout in een stad renderen: in een aantal grootsteden zoals Helsinki lopen projecten waarbij

stadsbewoners brandhout geleverd krijgen, in kleine, gemakkelijk stockeerbare hoeveelheden. Het verbruik wordt digitaal opgevolgd, en de meest geschikte leverdatum automatisch bepaald.



Een vreemde eend in de bijt?

Ook enkele minder bekende gewassen maken opgang als mogelijke bronnen voor bio-energie. Een ervan is het Aziatische gewas olifantsgras (*Miscanthus*). Het behoort net als suikerriet en maïs tot de familie van de grassen. Fysiologisch is *Miscanthus* een zogenaamd C4-gewas. De fotosynthese van dergelijke planten verloopt via een dicarbonsuur met vier koolstofatomen, vaak appelzuur. Dergelijke planten kunnen per hoeveelheid ontvangen licht veel koolstof fixeren. Dit meerjarige gewas bereikt een hoogte van maximaal 3,5 m in één enkel groeiseizoen, en kan tot 25 ton per hectare opleveren. Het kan ieder jaar worden geoogst. Vergeleken met de traditionele landbouwgewassen heeft olifantsgras een veel lagere nood aan extra stikstofbemesting en hoeft de landbouwer nauwelijks bestrijdingsmiddelen tegen onkruid en insecten in te zetten. Een ander gewas met toekomst is bamboe, of liever, zijn de bamboes, want er bestaan meer dan 1000 verschillende soorten. Bamboeplanten kennen we in het westen vooral als aanplant in tuinen, maar er zijn wel meer nuttige toepassingen voor te bedenken. Bamboe heeft een houtige (en redelijk droge) stengel, groeit snel en is winterhard, zodat een bamboekweker het jaar rond biomassa kan leveren. De plant vormt scheuten vanuit een onderaardse wortelstok. Bij het oogsten blijft deze zitten, zodat hij het jaar nadien nieuwe scheuten kan voortbrengen.

Links *Miscanthus*, rechts bamboe

Groene stroom uit planten

Om bruikbaar te zijn voor de productie van elektriciteit moet de biomassa wel aan een aantal voorwaarden voldoen. Natuurlijk willen we een plant die snel groeit; zodat we veel biomassa kunnen produceren. Maar ze moeten ook gemakkelijk geoogst kunnen worden. Liefst telen we ook soorten die we niet elk jaar opnieuw moeten planten, maar die vanuit hun wortelstok opnieuw kunnen opschieten.

Omdat we het hele jaar elektriciteit willen, hebben we natuurlijk ook liefst planten die doorgroeien in de winter, of planten die gemakkelijk kunnen worden geoogst en dan opgeslagen. We willen verder zoveel mogelijk warmte halen uit het verbranden van de planten. Daarvoor is het materiaal liefst al zo droog mogelijk. Alle energie die tijdens de verbranding nog dient om het water in het plantenmateriaal te verdampen, kunnen we immers niet gebruiken om stroom te maken. Bladeren zijn bijvoorbeeld een

pak minder geschikt dan takken. En tot slot willen we graag een soort biomassa die we gemakkelijk en efficiënt van het veld naar de elektriciteitscentrale kunnen voeren. Houtschilfers en –pellets nemen bijvoorbeeld minder volume in dan grillig gevormde takken, en genieten dus vaak de voorkeur. Een betrekkelijk nieuwe techniek die meteen een aantal voordelen tegelijk beoogt, is torrefactie, zeg maar het roosteren van het hout, bij temperaturen van 250 tot 300 °C. Het roosteren van biomassa verlaagt het vochtgehalte en verhoogt de calorische

waarde van het hout. Bovendien wordt het hout tamelijk broos, zodat het gemakkelijk in pellets en poeder kan worden omgezet. Poeder en pellets zijn immers het gemakkelijkst te vervoeren. De ideale bron van biomassa is dus een plant die aan al deze voorwaarden het best voldoet. De planten worden hier dan ook op geselecteerd.

En wat dan met de rook van het verbranden? Waar steenkool haast uitsluitend uit koolstof bestaat, bevat vers plantenmateriaal ook nog een pak stikstof en zwavel. Bij verbranding vormen er zich dan ook gassen zoals NO, NO₂ en SO₂, die kunnen leiden tot de vorming van zure regen. Om dit te voorkomen, werken wetenschappers en ingenieurs hard aan systemen die de uitstoot van die gassen verhinderen. Zie ook MENS 60 voor meer informatie over luchtverontreiniging.



De belangrijkste bronnen van korte-omloophout zijn wilg en populier. Er worden van deze planten 10.000 tot 20.000 stekken per ha geplant, die dan na drie tot vijf jaar worden geoogst

Populaire akkerbouwgewassen voor energieproductie zijn zonnebloem, suikerriet, suikerbiet, koolzaad, waterhyacint, hybride graanrassen, zoete gierst en vezelhennep. Energieteelten die meer en meer opgang maken zijn wilg, populier, bamboe en olifantsgras.

En hoe zit het dan met de koolstof?

En wat is nu het resultaat van al dit gestook? Produceren we dan geen koolstofdioxide door hout te verbranden? Toch wel. Per kilo brandstof, van welke oorsprong dan ook, stoten we om en bij 1,8 kilo CO_2 uit. Of dat nu over aardolie of wilgentwijgen gaat. Alleen - in het geval van aardolie verbranden we koolstofhoudende stoffen die miljoenen jaren geleden zijn gevormd. Elke milligram koolstof die we op dat moment als koolstofdioxide de lucht injagen, heeft daar al die tijd niet meer thuisgehoord. Maar als we koolstofverbindingen verbruiken die jong en nieuw zijn (omdat het stuk plant dat je verbrandt hoogstens een jaar oud is), én als de koolstofdioxide die daarbij ontstaat door de volgende generatie planten opnieuw wordt gefixeerd, dan is dat netto een nuloperatie.

Nu is dat toch wel heel optimistisch. Zolang we immers niet in een maatschappij wonen die alle aardolieproducten heeft afgezworen, is er immers benzine of diesel nodig om de oogstmachines of de vrachtwagens voor het transport aan de gang te houden. Om maar de meest evidente netto producenten van koolstofdioxide in de hele procesketen te noemen. Er moet ook mee rekening worden gehouden dat de teelt van planten voor het verkrijgen van brandstof, andere planten (bv. voor de voeding) verdrijft, terwijl die toch ook CO_2 zouden opnemen.

Een energieproductieproces op basis van biomassa, waarbij er netto geen CO_2 vrijkomt, is dan ook een droomkasteel, voorlopig. Al vermindert de netto-uitstoot van CO_2 wel, en alle beetjes helpen?

En wat met mijn gasfornuis?

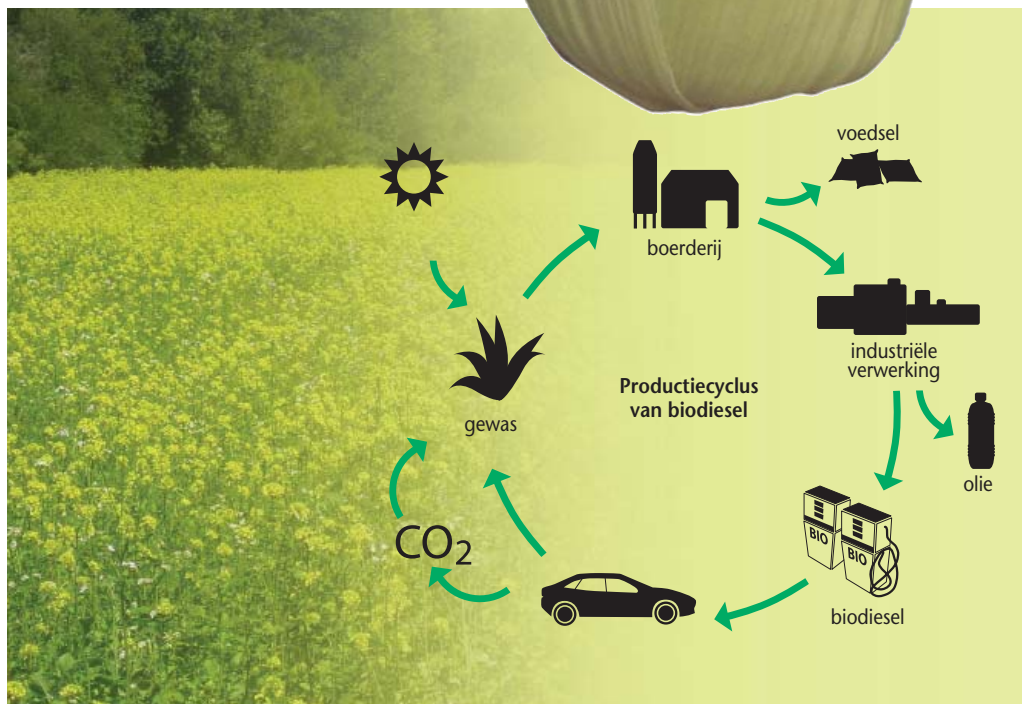
Biomassa kan niet alleen rechtstreeks door verbranding energie opleveren. Via processen als vergassing, en vergisting kan het biologische materiaal omgezet worden tot biogas. "Droge" biomassa, zoals hout, kan bijvoorbeeld worden verhit onder anaërobe condities (dat wil zeggen, zonder dat er zuurstof aan het hout kan). Er vormt zich dan een gasvormige brandstof, die door verbranding kan worden omgezet in elektriciteit en warmte. Daarnaast krijg je via dit proces de aanmaak van olieachtige substanties. Deze olie is wellicht het meest waardevol als bron van bepaalde fijne chemicaliën, en de restanten kunnen weerom worden verbrand.

"Natte" biomassa, zoals allerhande vormen van organisch afval, slib afkomstig uit de afvalwaterzuivering of dierlijke mest kunnen door bacteriën in een zuurstofloze omgeving (anaëroob) en lage temperaturen worden omgezet in biogas (een mengsel van CO_2 en CH_4 of methaan). Na zuivering heeft het biogas bijna dezelfde kwaliteit als aardgas.

En mijn benzinetank?

Ook diesel- en benzinevervangers kunnen we aanmaken uit biologische bronnen. We spreken dan van biobrandstoffen. De bekendste bron is koolzaadolie, maar ook andere plantaardige oliën, en zelfs gebruikte frituurolie zijn prima als basismateriaal voor de synthese van zogenaamde biodiesel. Een olie bestaat chemisch gezien uit een molecuul glycerol, waaraan lange vetzuren gekoppeld zijn, via een esterbinding. Wanneer we de esterbinding breken, en een methylgroep in de plaats brengen van het glycerol (zoals te zien op de figuur) dan verkrijgen we een molecuul die we in onze dieselmotoren kunnen gebruiken.

Biodiesel lijkt dus wel de methode bij uitstek om onze auto's rijdende te houden, mocht aardolie in de toekomst om de een of de andere reden schaars worden. Maar een paar cijfers in verband met biodiesel maken meteen duidelijk waar het probleem ligt. De Europese Unie heeft vooropgesteld dat in 2010 5,75% van alle diesel die in Europa verbruikt wordt, biodiesel moet zijn. Rekening houdend met de huidige productiecapaciteit van een gemiddelde hectare landbouwgrond in de EU, voor koolzaad uiteraard, moeten we op ons continent ongeveer 9,5 miljoen hectare volplanten met koolzaad... oftewel 9,77% van alle landbouwgronden in de EU. Dat is haalbaar. Het Europees Milieuagentschap heeft berekend dat er





tegen 2020 voor voldoende biomassa kan gezorgd worden, om aan 20% van onze Europese noden te voldoen - zonder afbreuk te doen aan de goede landbouwpraktijken, duurzame productie van biomassa en zonder noemenswaardige vermindering van de plaatselijke voedselproductie. Verder gaat men ervan uit dat 15% van de biomassa geïmporteerd wordt van buiten Europa. Er zijn nog regio's met een groot potentieel aan biomassa dat op een duurzame wijze kan geproduceerd worden.

Het kan echter nog sterker... in 2006 groeide er koolzaad op 9600 ha landbouwgrond in België. Dat was welgeteld 3,6% van het areaal dat we nodig hebben om voldoende biodiesel te produceren om de 5,75% in 2010 te halen. Dat areaal op zich is al 32% van de totale oppervlakte van België die geschikt is voor landbouw. Je vraagt je dus terecht af waar we al die planten gaan zetten. En waar we de planten gaan zetten die ons voedsel moeten produceren.

Bovendien rekenen wetenschappers van de gerenommeerde Amerikaanse universiteiten *Cornell University* en *University of California-Berkeley* voor, dat je om biodiesel te maken méér energie moet investeren in je productieproces dan je er

uiteindelijk uithaalt - via het oogsten, het verwerken van de plantenmassa, het omzetten van de olie tot diesel, ...

Zijn er dan geen andere vervangmiddelen? Jazeker. Via fermentatie ontstaat uit biomassa van granen of suikerriet bio-ethanol. Brazilië produceert bijvoorbeeld reeds jaren bio-ethanol als brandstof voor zijn wagenpark. De ethanol wordt simpelweg onder de benzine gemengd. Landbouwonderzoekers proberen ondertussen ook andere planten zoals suikerriet, ananas of maniok te vergisten tot alcohol. Eén van de noodzakelijke voorwaarden is daarbij, dat ze variëteiten selecteren en kweken met een hoger suiker- of zetmeelgehalte.

Alleen... voor ethanol gelden dezelfde problemen als voor biodiesel: de energiekost is hoger dan wat de brandstof uiteindelijk oplevert. Bovendien gebruiken we op dat moment voedsel om onze auto's te laten draaien. En het echte voedsel wordt een pak duurder. Om een voorbeeld aan te halen - omdat de vraag naar maïs voor de productie van bio-ethanol zo groot werd, steeg de prijs voor voedsel op basis van maïs ook spectaculair. De prijs van tortilla's, zonder twiifel een basisvoedsel in Mexico, steeg zodanig snel dat er begin 2007 rellen uitbraken in het land. Dit haast perverse dilemma -

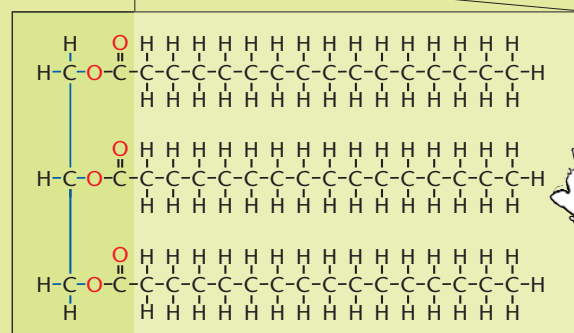
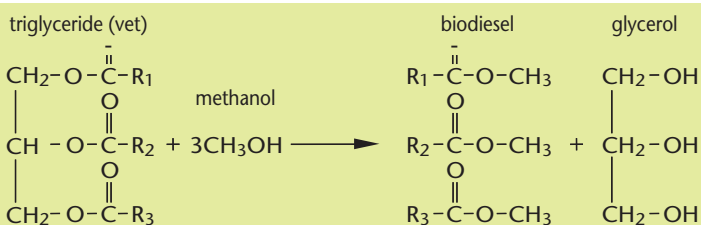
eten of transport - komt wel meer aan de orde bij de productie van bio-energie.

De productie van de eerste biobrandstoffen had ten slotte ook ironisch genoeg een aantal negatieve gevolgen voor het milieu. We hebben al eerder vermeld dat biomassa behoorlijk veel stikstof en zwavel bevat, twee elementen die een bijdrage leveren aan de vorming van smog en zure regen. Daarnaast dwingt de markt de boeren om op grote schaal maïs, granen en suikerriet te kweken voor de productie van bio-ethanol. De aanleg van grote velden met monoculturen die hieruit voortvloeit, is een regelrechte bedreiging voor de biodiversiteit op aarde. Niet alleen verdwijnen kleinere teelten, maar meer en meer leggen stukken waardevolle natuur het loodje omdat het land wordt ingenomen door biobrandstofteelten.

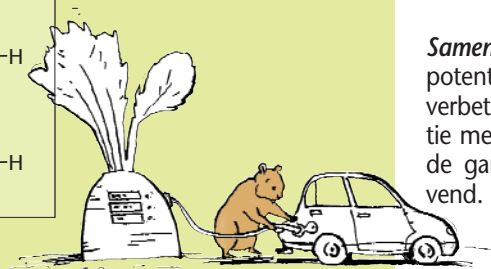
En nu?

Zijn biobrandstoffen dan absoluut geen gezonde optie? Toch wel. Zo werd er hard gezocht naar de biobrandstoffen van de tweede generatie. Deze leveren netto wel energie op, en belasten het milieu minder dan andere brandstoffen. Bij deze nieuwe brandstoffen rekenen we dimethylfuraan (verkregen via fermentatie van cellulose en zetmeel), biomethanol (uit hout) en houtdiesel (op basis van olie, geëxtraheerd uit houtchips). Ook biogas heeft behoorlijk wat potentieel. Meer en meer leeft ook het idee dat ook gronden, die niet meteen tot het landbouwareaal worden gerekend, kunnen dienen om biomassa te kweken. Sterk vervuilde gronden bijvoorbeeld, of - waarom niet - de groene stroken langs autowegen en autosnelwegen. Vlaanderen zal daarbij trouwens bio-energie moeten invoeren - overigens, net zoals we nu olie en gas invoeren. Onder die voorwaarden is bio-energie ook voor Vlaanderen een haalbare kaart.

Samengevat - biomassa heeft heel wat potentieel. Het onderzoek naar nieuwe en verbeterde processen voor energieproductie met behulp van biomassa is volop aan de gang, en de resultaten zijn veelbelovend.



Synthese van biodiesel uit vetten



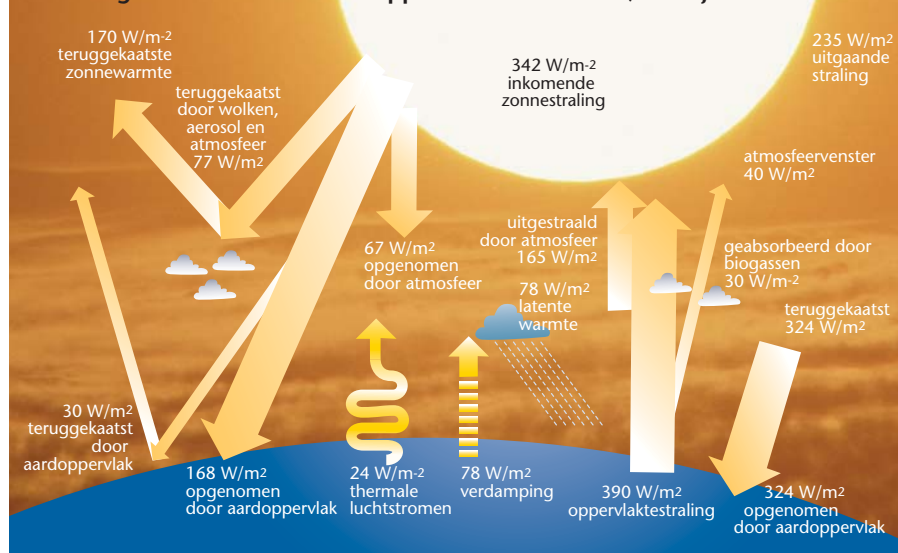
Zonnecellen

Bijna alle energie op aarde komt van de zon. Niet alles: zie het kader, en verderop. De zon is eigenlijk op zich al een kernfusiereactor met een diameter van 1,3 miljoen kilometer en een massa van $1,989 \times 10^{30}$ kg, die per seconde 600 miljoen ton waterstof omzet in 596 miljoen ton helium. Het verschil in massa wordt uitgestraald... als energie. Veel energie: volgens Einsteins beroemde vergelijking $E = mc^2$ wordt in dergelijke reacties massa omgezet in energie, en komt 1 kilogram massa overeen met 9×10^{16} joule. Daarvan komt slechts een fractie terecht op het aardoppervlak: we ontvangen op onze blauwe bol (met overigens een diameter van 12756 km) gemiddeld 342 joule per m^2 en per seconde. Staat de zon loodrecht boven je, dan ontvang je zelfs $1366 \text{ J/m}^2 \text{ s}$. De amateur-fysici onder de lezers hebben ondertussen al lang berekend hoeveel energie de zon uitstoot en welke fractie daarvan door de aarde wordt opgevangen. Overigens ter herinnering: $1 \text{ J/m}^2 \text{ s} = 1 \text{ W/m}^2$ want $1 \text{ J/s} = 1 \text{ W}$ (att).

Nu zou je je kunnen afvragen waarom onze planeet dan niet allang veranderd is in een heteluchtoven, als er dan toch zoveel energie per seconde op de aarde invalt. De reden daarvoor kan je zien op de figuur: een groot deel van de invallende zonne-energie wordt teruggekaatst door de wolken, een deel zorgt voor het verdampen van water en de vorming van allerlei vormen van neerslag, nog een deel wordt dan weer geabsorbeerd door het aardoppervlak... dat dan zelf weer energie gaat afgeven. Alles bij elkaar genomen, wint of verliest de aarde netto nauwelijks energie.

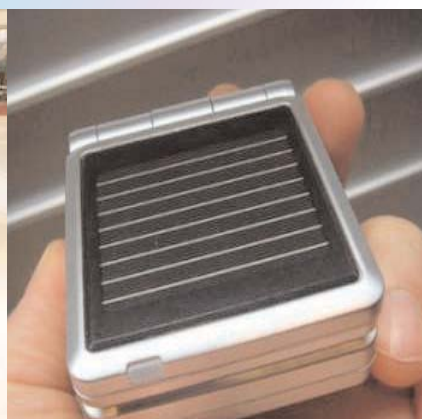
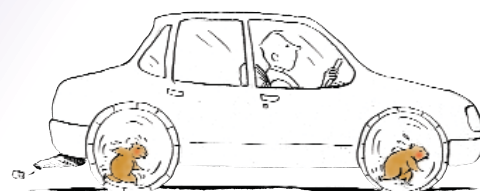
En wat dan met de organismen op aarde? Consumeren zij dan geen groot deel van de energie die invalt op onze planeet? Wel, niets is minder waar. Alle planten samen fixeren dankzij de energie van de zon weliswaar jaarlijks 2×10^{11}

De energiebalans aan het aardoppervlak. Tel maar na, we zijn in evenwicht.



ton koolstof, en hiervoor gebruiken ze 3×10^{21} J. Dit is ongeveer een duizendste van wat er aan zonne-energie op de planeet valt. De mens verbruikt jaarlijks een tiende (3×10^{20} J) van wat er via fotosynthese in onze biosfeer wordt vastgelegd. Waar de laatste jaren veel om te doen is, is de rol van verschillende gassen in de atmosfeer, vooral dan koolstofdioxide. Ongeveer één derde van de straling (107 W/m^2) die de zon in de richting van de aarde stuurt, wordt in de ruimte teruggekaatst. Een deel (67 W/m^2) wordt geabsorbeerd door de atmosfeer (wolken, stofdeeltjes in de hogere luchtlagen). De resterende helft van de stralen (168 W/m^2) komt ook effectief op het aardoppervlak (de oceanen inclusief) terecht. Een deel van die energie zorgt voor allerlei weersverschijnselen: wind (24 W/m^2) en neerslag (78 W/m^2). Dit is de energie die ervoor zorgt dat de waterkringloop op aarde in gang blijft. Het aardoppervlak kaatst ook een deel van deze straling terug, en zendt zelf ook een hoeveelheid straling terug uit. Dat is niet verwonderlijk: de natuurkunde leert ons dat alle voorwerpen met een bepaalde temperatuur een hoeveelheid energie uitstralen (in totaal 390 W/m^2). Zo'n 235 W/m^2 gaat effectief als langgolvlige infraroodstraling opnieuw de ruimte in. De atmosfeer kaatst echter weer een gedeelte terug, en geeft zelf ook geabsorbeerde

warmte af. En dan gebeurt er nóg iets. Waterdamp, koolstofdioxide, methaan en distikstofoxide absorberen de infrarode stralen waardoor de aardatmosfeer opwarmt. Deze gassen kennen we daarom ook onder de naam 'broeikasgassen'. Ze omhullen de aarde als één grote deken die weliswaar de zonnestralen doorlaat, maar tegelijk de warmtestralen binnenhoudt. Gelukkig zijn er broeikasgassen, zonder zou het op aarde gemiddeld 20°C onder nul zijn. Alles samen genomen bereikt er 324 W/m^2 aan energie de oppervlakte van de aarde vanuit de atmosfeer. Nu, in principe is dit hele systeem in evenwicht: aarde, ruimte en atmosfeer ontvangen evenveel energie als ze afgeven. En geven evenveel af als ze ontvangen. Maar zou het nu zoveel kwaad kunnen om nog een honderdste van een percent af te houden van de massa energie die onze aarde overspoelt?



Warme lucht en warm water

Om een klein graantje van die invallende zonnestraling mee te pikken, is het voldoende om slim te bouwen, zodat we maximaal kunnen genieten van het zonlicht dat in onze huizen binnenvalt. Passieve zonne-energie, heet dat dan. Essentieel zijn een paar strategisch geplaatste vensters en een goede isolatie in muren, vloeren en dak. Met een paar grote ramen op de zuidkant van je woning (of géén ramen op de zonloze noordzijde) kan je al heel wat warmte en licht binnenhalen in je huis. De isolatie zorgt ervoor dat de warmte binnen blijft. Maar verder heb je geen speciale apparatuur nodig. Wordt het dan te warm in de zomer, dan kan je voor de vensters op het zuiden een aantal loofbomen plaatsen. In de zomer zorgt het bladerdek ervoor dat

Schema van een zonneboiler.

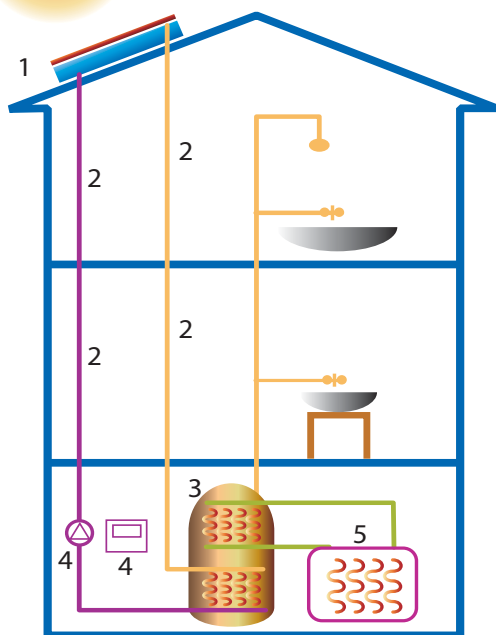
1: zonnecollector

2: waterstroom, warm (paars) van de collector naar de boiler en koud (geel) terug naar de collector

3: boiler

4: waterpomp

5: klassieke ketel



een deel van het zonlicht wordt afgeschermd, maar in de winter kan je maximaal genieten van alle zonne-uren, hoe weinig dat er misschien ook zijn. We raden overigens appelbomen aan. Dat smaakt daarbovenop nog eens... Kan je geen bomen planten, dan zijn er ook speciale luifels te plaatsen, waar de lage winterzon onderdoor schijnt, en waardoor de zomerzon, die veel hoger aan de hemel staat, wordt afgeschermd.

Al iets meer moeite kost het installeren van een zonneboiler. Al zijn de voordelen er dan ook naar: met een dergelijke installatie kan je namelijk ongeveer de helft van je stookkosten voor het opwarmen van water besparen. Dankzij de zonnewarmte. Op je dak komt een zonnecollector: een bak met een zwart gekleurd buizenstelsel, afgedekt met een vlakke glasplaat. De vloeistof die door het buizenstelsel stroomt (bijvoorbeeld water, mét anti-vriesmiddel) wordt verwarmd door het zonlicht. De temperatuur van die vloeistof kan bij fel zonlicht oplopen tot 90°C. De hete vloeistof stroomt dan naar de eigenlijke boiler, en warmt daar je koude leidingwater op. In de zomer moet dit systeem volstaan om je al het warme water te bezorgen dat je nodig hebt. In de winter zal je nog moeten bijverwarmen op de klassieke manier

Vang de zon in een doosje

Maar we willen meer. Liefst zo direct mogelijk energie aftappen uit het zonlicht. Tenslotte kunnen planten dat in hun fotosynthese. Waarom zouden wij dan niet een vergelijkbaar instrument kunnen ontwerpen? Wel, het bestaat, met alle onvolkomenheden die er nog aan zijn: de zonnecel.

Een zonnecel is in essentie een stukje elektrische apparatuur die zonlicht omzet in bruikbare elektrische energie. Dit proces heet fotovoltaïsche conversie. We onderscheiden twee types: de fotovoltaïsche cel, die enkel met vaste stoffen werkt, en de foto-elektrochemische cel, die vloeistoffen en vaste stoffen samen

gebruikt. Het zijn vooral de fotovoltaïsche cellen die we terugvinden in zonnepanelen.

De werking van een zonnecel is berust op geavanceerde kennis van de fysica en de scheikunde. Geen spek voor ieders bek, dus. Laten we stap voor stap de benodigde kennis even bij elkaar brengen...

Eerste stukje kennis. Een zonnecel bestaat uit een **halfgeleider**. Vroeger kende men voor elektriciteit geleiders (voornamelijk metalen, zoals koperdraad) en niet-geleiders (zoals zand en de meeste organische stoffen). Geleiders laten elektrische stroom passeren, want ze hebben de mogelijkheid om elektronen rond te sturen over en doorheen zichzelf. En wat is elektrische stroom anders dan bewegende elektronen? Niet geleiders hebben zo geen vrije elektronen, en geleiden dus geen stroom. Of toch? Halverwege de 20e eeuw ontdekte men echter dat sommige niet-geleiders, zoals zuiver silicium, toch elektriciteit konden geleiden indien er bij deze zuivere stoffen bepaalde 'verontreinigingen' zoals fosfor en boor werden gevoegd. Deze verontreinigingen zorgen dan voor het ontstaan van vrije ladingsdragers. Deze kunnen positief of negatief zijn. Zijn deze vrije ladingsdragers, voor bv. silicium, positief dan spreekt men van p-silicium, zijn ze negatief dan van n-silicium.

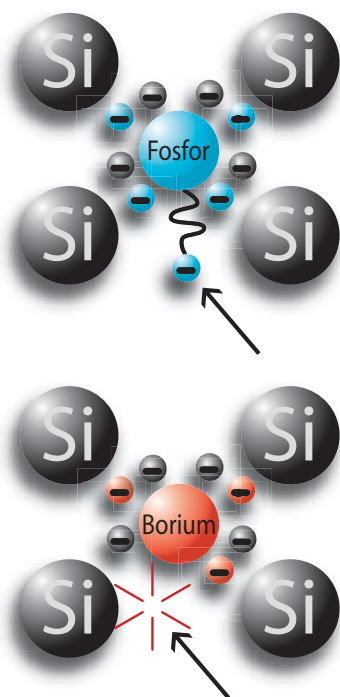
Nu, hoe moet je je zo'n **vrije ladingsdrager** voorstellen? Hier komen we terecht bij de elektronen. De atomen van een halfgeleider bevatten zoals alle andere atomen elektronen. De elektronen die het meest aan de buitenkant van het atoom zitten, vervullen daarbij speciale functies: dit zijn de zogenaamd valentie-elektronen, die onder andere een rol spelen bij het vormen en breken van chemische bindingen, maar ook bij het doorgeven (geleiden) van elektrische stroom. Het zijn namelijk deze valentie-elektronen die als stroom gaan bewegen. Om bij het voorbeeld van silicium te blij-

Licht is een vorm van energie, wat we uitdrukken door te zeggen dat een lichtdeeltje (foton) een energie $E = h\nu$ bevat. In deze vergelijking staat h voor de constante van Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s), en de ν (de Griekse letter nu) voor de frequentie van het foton. Deze laatste parameter is gekoppeld aan de golflengte λ en dus de kleur van het licht via de uitdrukking $c = \lambda\nu$. c staat hier dan uiteraard voor de lichtsnelheid, 299 792 458 m/s (ZIE ook MENS nr. 44, 'Zien').

Alle energie? Nee!

Instroom van energie op Aarde	J/jaar	%
Zonne-energie	$3.93 \cdot 10^{24}$	99.96
Geothermische energie	$6.72 \cdot 10^{20}$	0.017
Getijdenenergie	$5.20 \cdot 10^{19}$	0.001
TOTAAL	$3.93 \cdot 10^{24}$	100.00

Het grootste deel van de energie hier op aarde komt van de zon, dat kan je lezen in de tabel. Een klein deeltje van de energie die op aarde aanwezig is, komt echter uit het binnenste van de aarde (geothermische energie genoemd), en een nog kleinere fractie danken we aan de aantrekkingskracht tussen aarde en maan.



Elektronenstructuur van een n- en p-halfgeleideratoom

ven – dit element heeft 4 valentie- elektronen. Voegen we nu fosfor toe aan het silicium, dan introduceren we een atoom met 5 valentie-elektronen. Vermits Si graag 8 elektronen om zich heen wil hebben is er dus één teveel, en zo krijg je n-silicium met een teveel aan geleidingselektronen. Voegen we daarentegen boor toe, dan ontbreekt er een elektron, want boor heeft er slechts 3. Zo ontstaat er een gat. En een gat is door het ontbreken van een negatief geladen elektron feitelijk positief geladen. Zo krijg je p-silicium, met een overschot aan positieve gaten. Als de valentie-elektronen van een dergelijk siliciumplaatje beginnen te bewegen, dan zullen ze springen van gat naar gat.

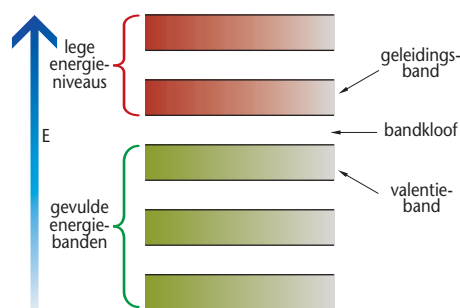
Tweede stukje kennis – wat gebeurt er als er licht invalt op een halfgeleider? Ook hiervoor moeten we weer iets meer vertellen over de structuur van atomen. Elektronen zitten in atomen immers op een redelijk gesorteerde manier. Er zijn verschillende lagen beschikbaar, waar telkens een bepaald aantal elektronen kan in plaatsnemen. Hoe verder van de kern verwijderd, hoe meer energie de elektronen bevatten. Door de jaren heen hebben deze lagen, naargelang de kennis over atoomstructuur vorderde, andere namen gekregen. Het model voor het waterstofatoom van Niels Bohr sprak over schillen, de quantummechanica gebruikt de term orbitalen. In de context van geleiders en halfgeleiders wordt wel eens gesproken over verschillende energiebanden. De plaats van de valentie-elektronen is de valentieband, de hoogste band met elektronen van een atoom met een minimale energievoor-

raad. Zie figuur. Als een elektron uit de valentieband nu extra energie opdoet, bijvoorbeeld omdat er licht invalt op het atoom, dan kan zo'n elektron naar een hogere laag springen: de geleidingsband. Niet elke vorm van licht kan zo'n sprong in gang zetten, overigens. De energie-inhoud van één lichtdeeltje moet minstens even groot zijn als het verschil in energie-inhoud tussen de valentie- en de geleidingsband. Dit verschil drukken we uit met de term bandafstand (in het Engels *band gap*). Hoe kleiner de bandafstand, hoe minder energie er nodig is om elektronen van de halfgeleider aan het springen te krijgen.

Bovendien - in tegenstelling tot de meeste geleiders neemt de elektrische geleidbaarheid van een halfgeleider toe bij temperatuurverhoging. De warmte geeft de elektronen voldoende energie om te bewegen waardoor er elektrische geleiding ontstaat. De warmte van de zon helpt dit springen van elektronen dus vooruit

Terug naar onze zonnecel. Hier zitten we met zowel n-type als p-type halfgeleiders. Als er zonlicht invalt op deze halfgeleiders, beginnen hun vrije ladingsdragers te bewegen. Nu interessant wordt het pas aan het scheidingsvlak van de p- en de n-halfgeleider.

Volg even mee op de figuur hieronder. Rechts zie je de elektronenbanden van een p-halfgeleider, links die van een n-halfgeleider. Als een elektron van de valentieband (de groene lijn) naar de geleidingsband (de rode lijn) springt, ontstaat er een gat in de valentie band (h^+) en komt het elektron (e^-) in de geleidingsband te zitten.

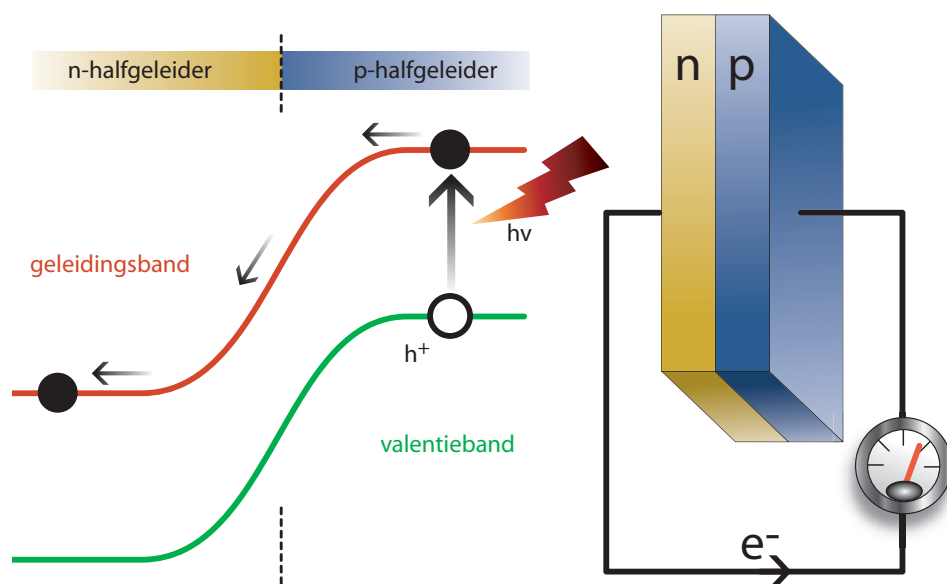


Elektronenstructuur van een halfgeleideratoom

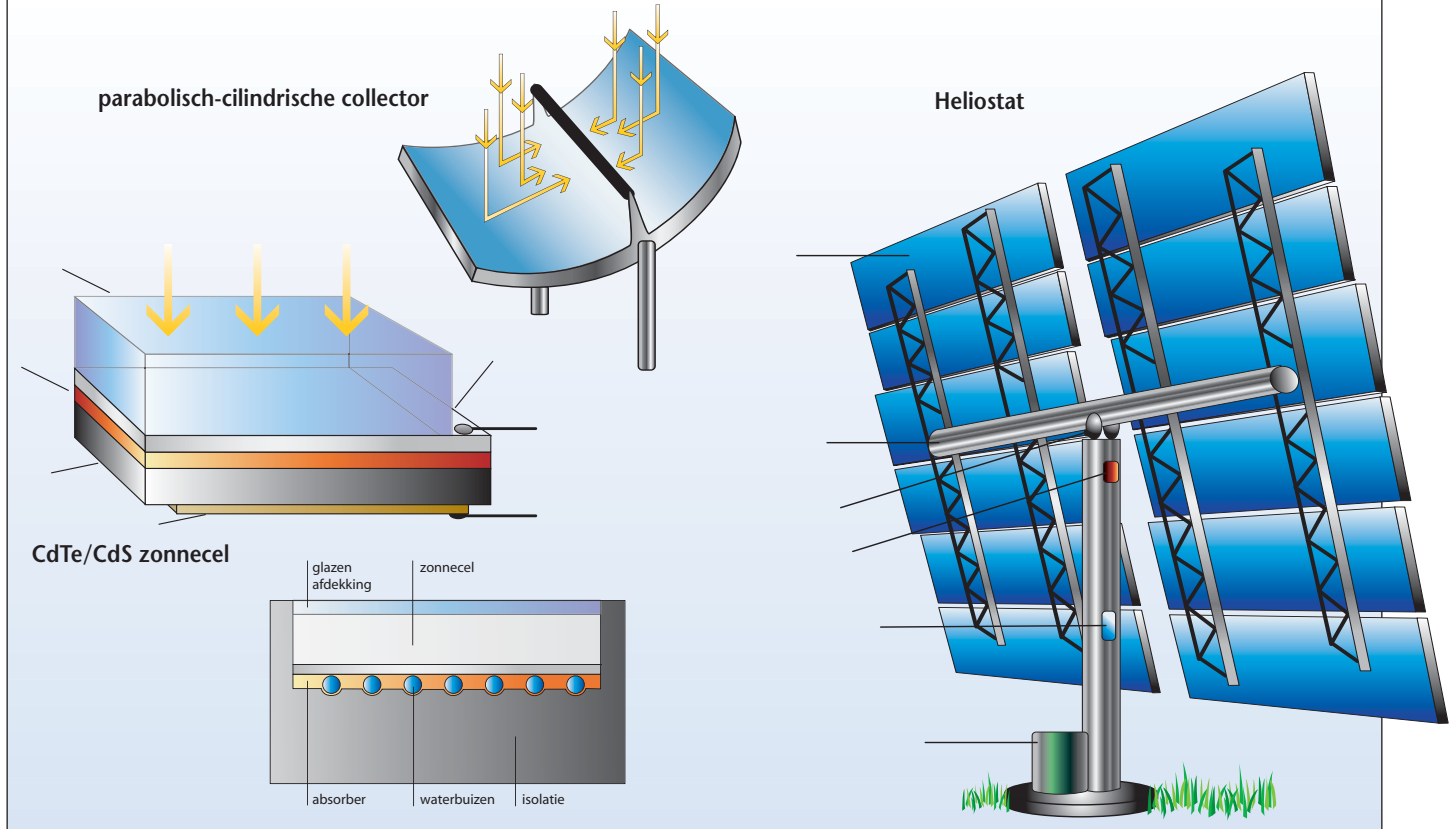
Normaal gesproken valt zo'n elektron snel terug naar de valentieband, en komt er enkel warmte vrij. Maar in de buurt van het scheidingsvlak is het mogelijk dat zo'n elektron verder gaat bewegen, en dus van z'n eigen geleidingsband in het p-type doorstroomt naar de geleidingsband van de nabijgelegen atomen in het n-type, en daar pas terugvalt naar de valentieband. In het p-type deel liggen de energieniveaus van de geleidings- en valentiebanden hoger dan in het n-type. Een elektron dat terechtgekomen is in de valentieband van een atoom van de n-type halfgeleider, geraakt dus niet meer terug naar z'n oorspronkelijke positie. Het gevolg is dat elektronen in een zonnecel van het p-gedeelte naar het n-gedeelte zullen wegstroomen, dat er in het p-gedeelte meer gaten komen. Verbinden we nu beide zijden met een stroomdraad, dan maken we de stroomkring rond. Licht is omgezet in elektriciteit.

Waar blijven de zonnecellen?

Alle ingewikkelde chemie en fysica ten spijt, lijkt dit een veelbelovende technologie. In het Belgische klimaat kunnen



Werking van een zonnecel. Meer uitleg vind je in de tekst.



zonnepanelen bijvoorbeeld jaarlijks gemiddeld 100 kWh per m² produceren aan "groene" stroom. Dat is nu al voldoende om te voorzien in 30% van het Belgische jaarverbruik, mits alle gunstig georiënteerde daken en gevels van zonnepanelen worden voorzien.

Toch zien we nog niet heel veel van die panelen opduiken. Hoe komt dat? Wel, het grootste nadeel van zonnepanelen is dat ze nog bijzonder duur zijn om aan te maken. Die kostprijs is vooral te wijten aan de kost om silicium te bereiden in kristallijne vorm. Dit wil zeggen dat de atomen netjes naast elkaar gerangschikt liggen in een regelmatig geometrisch patroon. Er wordt ondertussen wel naarstig gewerkt aan goedkopere alternatieven, bv. uit amorf silicium. De moeilijkheid hier is, dat dit silicium in zeer dunne lagen moet worden afgezet op een drager. En dat is nog niet voor morgen.

Ook op andere vlakken tracht men de efficiëntie van zonnecellen te verbeteren, bijvoorbeeld door verschillende zonnecellen te stapelen of door het licht op bepaalde wijze in te vangen: heliostats reflecteren het opgevangen zonlicht naar de zonnecel toe; via parabolische collectoren wordt het zonlicht geconcentreerd in het brandpunt van de collector, waar zich een waterkanaal bevindt, dat zo opgewarmd wordt. Ook worden er alternatieve materialen getest (zoals de zogenaamde cadmiumtelluride / cadmiumsulfide zonnecellen).

De nieuwste ontwikkelingen zijn combinaties van fotonvoltaïsche cellen en warmtecollectoren. Hierbij zitten de zonnecellen aan drie zijden ingekapseld in

een isolerend materiaal. Onder de laag met zonnecellen lopen buizen met water dat wordt opgewarmd door de zonnewarmte. Tegelijk koelen ze de zonnecellen af, wat hun efficiëntie ten goede komt. Een voorbeeld is te zien in de figuur.

Samengevat - zonnecellen dragen heel wat mogelijkheden in zich, zelfs in een ogenschijnlijk weinig zonnig land als het onze. De grote uitdagingen voor de toekomst zijn het verlagen van de kostprijs en het verder verhogen van de efficiëntie van de cellen.



De kracht van wind

Nog een energiebron die zo oud is als de straat – wind. Wind is bewegende lucht. Vroeger werd die gebruikt om mechanische arbeid te leveren, zoals het malen van graan. Nederland kan ervan meespreken, al zijn er ook elders in Europa mooie windmolens bewaard gebleven. Tegenwoordig wordt wind vooral gebruikt om een windturbine aan te drijven. Die zet de mechanische arbeid van de wind dan om in elektriciteit

En dat is niet niks. Een standaardwindmolen van 50 m hoog, met 2 of 3 rotorbladen met een lengte van 40 m elk en een masthoogte van 50 m, kan onder optimale condities (windkracht 6) 500 tot 750 kW leveren. Grotere molens leveren al tot 3 MW, en de nieuwste modellen produceren al 5 tot 6 MW. De belangrijkste ontwikkelingen betreffen dan telkens het vergroten van de rotoroppervlakken.



(1) Thorntonbank, (2) Blythbank en (3) de Vlaakte van de Raan

En er wordt al wat wind gebruikt in Europa: op dit moment is er voor 50 GW aan windmolens geïnstalleerd in de EU. Dit komt overeen met 3% van wat er in de EU aan energie verbruikt wordt, en op die manier stoot Europa 80 miljoen ton CO₂ minder uit.. De regionale verschillen zijn anderzijds enorm: Denemarken betreft 20% van zijn energie uit wind-energie, Spanje 8% en Duitsland 7%. België plant de aanbouw van windmolenparken op een aantal zandbanken in de Noordzee (zoals de Thorntonbank, de Bank zonder Naam en de Blijbank). Op dit moment is het project op de Thorntonbank het verst ontwikkeld.

Dat er zoveel wind wordt gevangen, is niet verwonderlijk. Wellicht is windenergie de goedkoopste en technisch best onderbouwde alternatieve energiebron van dit moment. Er zijn ook geen onzichtbare gevaren verbonden aan de technologie: ze stoten geen CO₂, SO₂ of NO₂ uit, er kan niets naar het grondwater lekken, er kunnen geen ondergrondse leidingen ontploffen. Ze produceren ook geen massa's afval zoals een kerncentrale of een steenkoolcentrale.

Toch is ook voor windenergie niet alles peis en vree. Een aantal jaren geleden legde een project rond een windmolenpark op de Vlake van Raan, een zandbank ter hoogte van Knokke-Heist, het loodje door klachten van de bewoners van Knokke en van natuurverenigingen. De inwoners haalden aan dat het zicht op zee vanuit Knokke zou worden ont-sierd. Volgens de natuurverenigingen was de locatie een belangrijke rustplaats voor de trekvogels op weg naar het zuiden.

CO₂-productie van een Mercedes-Benz A klasse bij verbruik van verschillende brandstoffen.



Verder is er de onzekerheid van wind als energiebron. Het waait niet altijd even hard, de variatie is vaak enorm en het opslaan van elektriciteit in tijden van overschot voor de momenten waarop het aanbod de vraag overtreft, is technisch een moeilijke zaak. Er wordt dan gewerkt met turbojetgeneratoren, die op fossiele brandstof werken, en die plotse dalingen in de toevoer van stoom uit de windturbines kunnen compenseren.

Tot slot is zelfs windenergie op dit moment nog duur in vergelijking met klassieke elektriciteitsbronnen. De operationele kost van elektriciteit uit windenergie ligt voorlopig nog anderhalve tot drie maal zo hoog als die van stroom uit klassieke bronnen. De consument merkt daar echter nog niets van, omdat de overheid het oprichten en uitbaten van windmolenparken zwaar subsidieert. Dat is een keuze die de overheid maakt, waarvoor wij als gemeenschap dus betalen. Er zijn een

aantal elementen die die keuze ondersteunen: uiteindelijk is België via de Kyoto-akkoorden verplicht om zijn uitstoot van CO₂ naar beneden te brengen, op straffe van een hoge boete. Door preventief te werken hoopt de overheid onder die boete uit te komen. Verder kan je met een boutade zeggen dat het grootste verschil tussen de productie van stroom met fossiele brandstoffen en die met alternatieve bronnen het feit is dat de installaties voor het eerste er al staan, en voor het tweede nog niet. Het bijpassen van opstartgelden voor een ontlukende industriële tak, kan dan wel niet echt stroken met de principes van een vrijemarkteconomie, maar geeft innovatieve technologie en industrie tenminste een kans om te overleven.

Samengevat – hoge molens vangen veel wind, en veel wind betekent veel stroom. De technische uitwerking is volop aan de gang, en de overheid ziet best wel brood in windenergie.



Van knalgas tot basis voor economie: waterstof

We hebben het al uitgebreid besproken tijdens het hoofdstukje over kernfusie, maar als er nu één element echt ten overvloede aanwezig is op deze planeet, dan is het wel waterstof - het eenvoudigste van alle atomen, in zijn meest voorkomende vorm slechts één proton waarrond één elektron draait. Nochtans komt het vrije element niet voor in die vorm. Wel als proton (H^+) tijdens zuurbasereacties, en ook als H_2 , waterstofgas.

Dit gas kan ook verbrand worden. Het reageert dan met O_2 tot H_2O , jawel, gewoon water. Bij deze verbranding komt bovendien energie vrij. Een typische chemieproef uit het middelbaar onderwijs verklaart de productie en het aantonen van knalgas, al dan niet via elektrolyse van water. Knalgas, dat is waterstofgas (gemengd met lucht). Dat waterstofgas zeer explosief reageert met zuurstof (en dat daarbij een pak energie kan vrijkomen), is bij deze ook alweer bewezen. Dus – kunnen we die energie niet op de een of de andere manier gebruiken?

Het antwoord is uiteraard ja, en dat is niet verwonderlijk. Eén kilogram waterstof bevat enorm veel energie (evenveel als 3,5 liter petroleum). Bovendien is waterstof een ideale manier om fluctuaties in de elektriciteitsproductie op te vangen. In een economie waar we meer en meer bronnen van energie willen gebruiken die niet echt een stabiele productie van elektriciteit kunnen garanderen (denk aan wind of zonneschijn) is het bijzonder belangrijk om in tijden van overvloed te sparen voor tijden van schaarste. Ook al



De Lijn rijdt niet alleen op diesel, er toert in Vlaanderen zelfs een heuse waterstofbus rond.

liggen die tijden slechts één uur van elkaar verwijderd. De opgeslagen waterstof kan dan achteraf gebruikt worden om opnieuw elektriciteit mee te maken, of rechtstreeks als energiebron voor tal van processen, zoals koken, verwarmen of brandstof voor wagens.

Hoe brouw je waterstofgas (en kan ik dat thuis ook)?

De belangrijkste bron van waterstofgas is voorlopig nog steeds het chemisch afbreken en omvormen van fossiele brandstoffen. Dat betekent inderdaad dat waterstof voorlopig niet echt bijdraagt tot een vermindering van ons verbruik van aardolie en aardgas. Waar we wel vooruitgang boeken, is de uitstoot van CO_2 . Waterstofproductieprocessen produceren minder CO_2 uit een bepaalde hoeveelheid fossiele brandstoffen, dan wanneer we die olie rechtstreeks zouden verbrand hebben. Vergelijk op de figuur even verschillende processen. Er bestaan zelfs productieprocessen waarbij de koolwaterstoffen meteen worden gescheiden

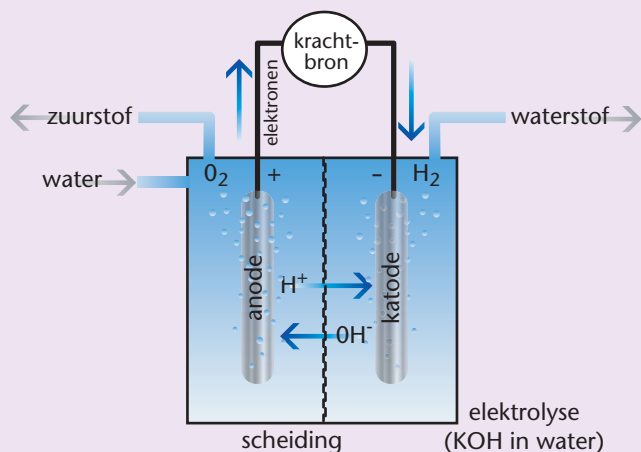
in zuiver koolstof en waterstofgas. De CO_2 -emissies zijn hierbij minimaal.

Toch willen we op termijn ook van deze CO_2 -uitstoot af, en willen we een economie die minder afhankelijk is van fossiele brandstoffen. Die procedés zijn ondertussen gevonden, al werken ze nog niet allemaal even optimaal.

Om te beginnen hoeven we geen aardgas te gebruiken om waterstofgas te produceren. Biogas, methaan dat ontstaat bij de vergassing en de anaërobe afbraak van biomassa (zie ook onder dat kopje) doet het even goed. En dan hoeven we geen fossiel methaan te verbruiken. We kunnen zelfs de methaanproductie overslaan, en meteen bacteriën aan het werk zetten om afval om te zetten in waterstofgas.

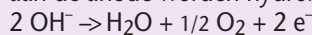
Ook de fotosynthese leent zich misschien tot het produceren van waterstofgas als bijproduct. Verschillende wetenschappers zouden maar wat graag fotosynthetische organismen (wieren, bacteriën en wie weet zelfs meercellige planten) aan de waterstofproductie zetten. Uiteindelijk halen deze organismen hun energie

Elektrolyse van water van naderbij bekeken

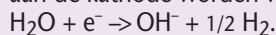


De proef is bekend: we leggen een gelijkstroom aan in een vat met water en een elektrolyt (zoals KOH, om de geleiding van de stroom optimaal te laten verlopen), en we zorgen ervoor dat elke elektrode in een apart (maar wel onderling verbonden) compartiment ondergedompeld wordt. Vrij snel zie je bubbels opkomen, aan elk van beide elektroden. Als je het ene gas opvangt in een proefbuisje en er een gloeiende spaander bijhoudt, ontploft het (dat wijst op de aanwezigheid van waterstofgas); het andere gas doet de houtspaander fel opgloeien (en dat is dan zuurstof).

Het verloop van de elektrolyse kunnen we als volgt verklaren. In de oplossing zijn vooral watermoleculen, K^+ ionen en OH^- ionen aanwezig. De K^+ ionen blijven ongewijzigd maar aan de anode worden hydroxide-ionen geoxideerd:

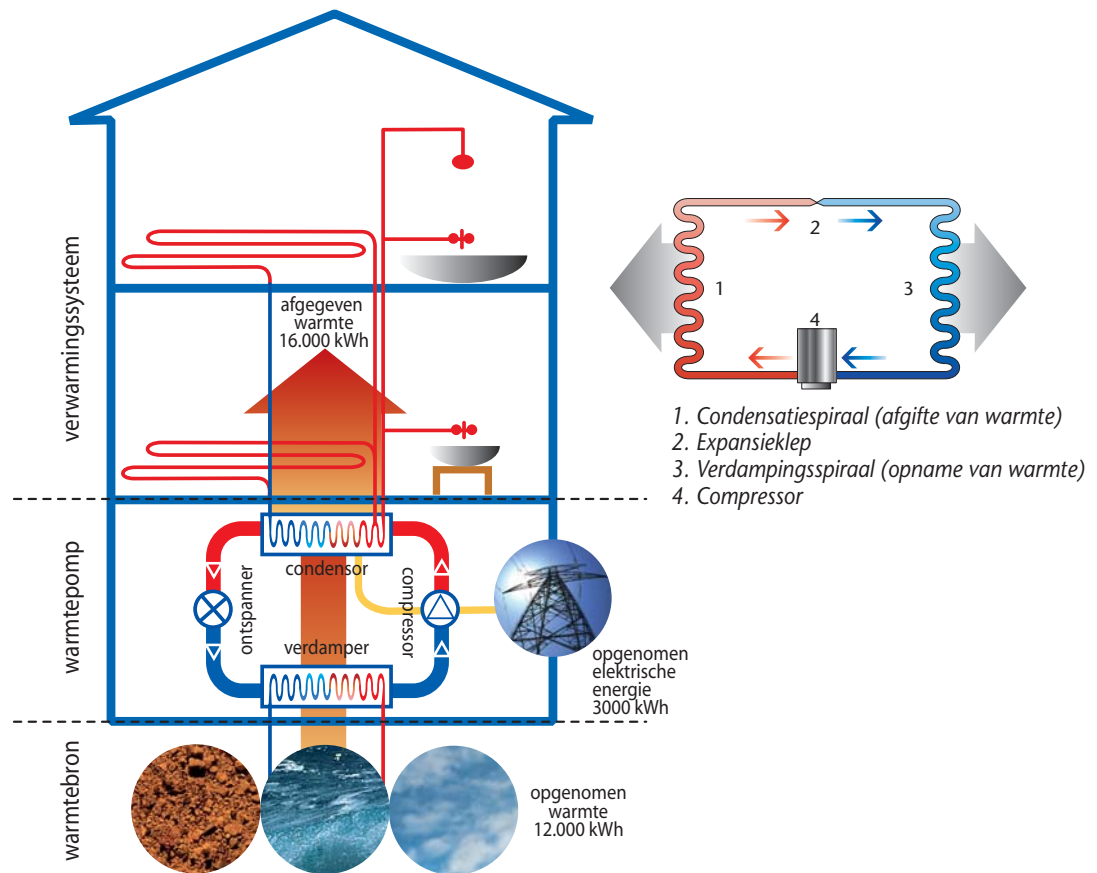


aan de kathode worden watermoleculen gereduceerd:

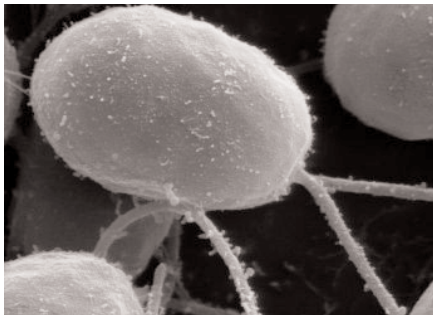


De resultante van beide reacties is de elektrolytische splitsing van water: $2 H_2O \rightarrow O_2 + 2 H_2$.

De waterpomp



rechtstreeks uit zonlicht. Dergelijke organismen zouden ons dan op een goedkope manier van een haast onuitputtelijke voorraad waterstofgas kunnen voorzien. Spijtig genoeg is het enzym, dat in cellen waterstofgas zou kunnen aanmaken, extreem gevoelig voor zuurstof, en dat is nu net een van de belangrijkste producten van de fotosynthese. Zonder diepgaande genetische modificatie van dit enzym is biologische waterstofgasproductie met licht als energiebron wellicht uitgesloten.



Chlamydomonas

Elektrolyse van water (zie kader p.19) is een beproefde manier om waterstofgas te maken. Het grote voordeel is, dat je enkel water nodig hebt als startmateriaal, en dat je naast waterstofgas enkel zuurstofgas vormt. En daar kan niemand last van hebben. Het nadeel is, dat elektriciteit tot nader order nog voornamelijk met fossiele brandstoffen geproduceerd wordt. En hoe meer tussenstappen en tussentijdse omzettingen, hoe meer energie er verloren gaat. Het rendement van een motor die draait op waterstofgas – geproduceerd met elektriciteit of warmte, of door

de verbranding van steenkool of aardolie – is dus veel lager dan dat van de motor die rechtstreeks werkt met fossiele brandstoffen. Nu is ook hier al over nagedacht. We zouden waterstofgas rechtstreeks kunnen koppelen aan de elektriciteitsvoorziening vanuit windturbines en zonnecellen. Op die manier sparen we fossiele brandstoffen uit, én we zorgen voor een brandstof voor onze wagens.

Waar blijft de waterstofeconomie?

Waterstofgas heeft alvast een paar duidelijke voordelen. Het is zeer energierijk, en de technologie bestaat reeds om het gas te gebruiken als brandstof voor onze wagen. Een voertuig dat op waterstof rijdt, stoot weinig tot geen schadelijke stoffen uit, en draagt dus bij tot een schonere omgeving. Waterstof blijft anderzijds voorlopig nog een belofte. De grote hindernis is dat er evenwel nog geen echt ecologisch verantwoorde manier is om dit gas in grote hoeveelheden aan te maken. Op de tekenafel liggen ook nog noodzakelijke nieuwe manieren voor de noodzakelijke opslag van deze kleine molecule in een veilige container. Maar eens die problemen van de baan zijn, ligt de toekomst te wenken voor een economie die niet langer op fossiele brandstoffen, maar op waterstof gebaseerd zal zijn. Er is dus nog werk aan de winkel.

Energie uit het binnenste van de aarde

De energie waar we het tot nog toe over

gehad hebben, steunde op input vanwege de zon. Maar zoals je uit de tabel op pagina 15 kan afleiden, kunnen we ook nog wat energie uit het binnenste van de aarde halen. Dat is de zogenaamde geothermische energie. Deze energie is virtueel onuitputtelijk: de aardkern blijft nog voor miljarden jaren heet, en gedurende al die tijd kunnen we warmte aftappen. En die warmte is in grote overvloed aanwezig: ongeveer 42 Terawatt! Ik zou zeggen, start maar met graven. Of is het weer zo simpel niet?

Pomp eens een kilowattuur op

Geothermische energiebronnen leveren ons in essentie warmte en, via die warmte, elektriciteit op. Dat er warmte vrijkomt, is evident. Zelfs ten tijde van de Romeinen werd er gebruik gemaakt van warmwaterbronnen. De moderne technologie voorziet echter in zogenaamde warmtepompen, zeg maar een soort van omgekeerde koelkast. Volgens de tweede hoofdwet van de thermodynamica (zie www.tijdschriftmens.eu voor een korte tekst over thermodynamica als wetenschap) kan warmte niet spontaan van een koud voorwerp naar een warm voorwerp vloeien. Logisch: een zwembad kan niet vanzelf bevriezen in de zomer, maar de ijsblokjes in je cocktail of cola smelten wel. Als we echter een bepaalde hoeveelheid energie opofferen aan het proces, en dus extra energie in het proces steken, dan kunnen we wel bij een buitentemperatuur van 30°C water laten bevriezen tot ijsblokjes (ja, voor die cocktail). En ja, het toestel dat daarvoor zorgt, heet een diepvriezer. Maar laten we dat principe nu eens op



een grotere schaal toepassen. Warmtepompen gaan dan warmte onttrekken aan koudere lagen (zoals de aardbodem, grondwater of de buitenlucht) en doorsturen naar warmere plaatsen (zoals een woonkamer, een boiler voor je badwater, enzovoort). Dit doen ze net zoals een zonneboiler met een speciale stof, die tussen de koudere en de warmere laag wordt rondgepompt. Deze vloeistof moet een laag kookpunt hebben, en dus ook bij lage temperaturen terug condenseren. Laten we eens beginnen vlak voor de compressor (4 op het schema p.20). De vloeistof in kwestie is daar in gasvormige toestand. De compressor zal dit gas samenpersen tot een gasmassa met een hoge temperatuur. Die warmte wordt afgegeven aan de hete zijde van de pomp, in de condensor (1). De gassen koelen sterk af en worden weer vloeibaar. Nu passeert de vloeistof langs een ontspanner of expansieklep (2). Bij passage door deze klep verlaagt de druk spectaculair (naar het niveau voor de compressor), zodat de vloeistof zeer koud wordt. Zeker kouder dan het medium waaraan de warmte moet worden onttrokken. Door het opnemen van warmte verdampt de vloeistof (3). De terug opgewarmde gasmassa komt uiteindelijk aan bij de compressor, en de cirkel is rond. De opgepompte warmte wordt dan in de woning verdeeld via de centrale verwarming, via vloerverwarming of

via luchtkanalen, of als warm water. Dit hele proces kost natuurlijk nog wat energie ook (voor het aandrijven van de compressor), die aan het klassieke elektriciteitsnet moet onttrokken worden. Dit is echter hooguit een vierde, de resterende energie komt gewoon gratis uit de grond.

En het grote voordeel? De temperatuur van de bodem (of mutatis mutandis van grondwater of van de buitenlucht) is nagenoeg constant, en is vooral in evenwicht met een groot volume bodemmaterie. Dat garandeert een redelijk gelijkmatige toevoer van warmte.

Stroom uit stoom van diep vanbinnen

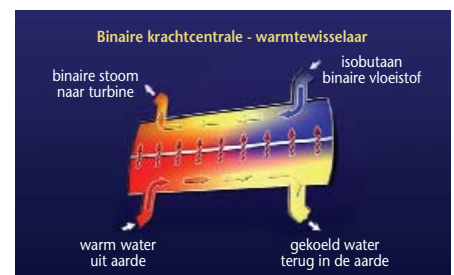
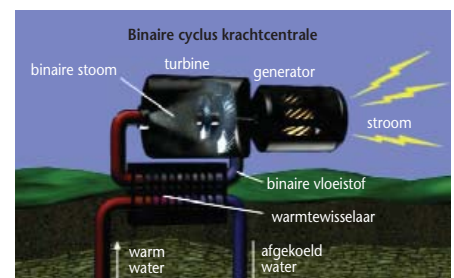
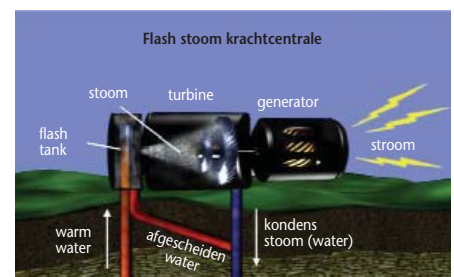
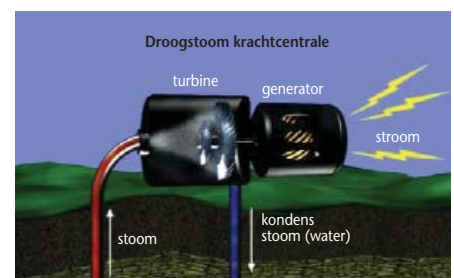
Elektriciteit is iets minder evident. Om te beginnen heb je stoom nodig. Die tap je via diep geboorde gaten uit een zogenaamd geothermisch reservoir: een zeer diepe waterlaag met water dat van nature uit al zeer heet is, of – liever nog – met stoom. Dat water wordt dan naar boven gepompt en gebruikt in een stoomturbine aan de oppervlakte. Daar wordt de warmte dan omgezet in elektriciteit. Het afgekoelde water gaat terug de diepte in, om daar weer te worden opgewarmd.

Beschikken we over een stoomlaag, dan wordt het meest elementaire model

gebruikt: de droge stoomturbine. Deze gebruikt rechtstreeks hete stoom (meestal meer dan 235°C warm). Dit is het klassieke model, maar niet echt wijd verbreid. Zoveel plaatsen waar er stoomlagen kunnen worden aangeboord, zijn er nu eenmaal niet.

Is er geen stoom, maar wel heet water beschikbaar, dan wordt de flash stoomturbine gebruikt. Hierbij wordt het hete water omhooggepompt. Wanneer het hete water aankomt in de turbine, daalt de druk spectaculair, zodat een deel van het water zich toch omvormt tot stoom. Die stoom zal dan de turbine aansturen. Zowel de resten van het opgepompte water als de gecondenseerde stoom keren terug naar de hete waterlaag voor toekomstig gebruik.

Is echter het water niet heet genoeg voor een dergelijke opstelling, dan behoort het gebruik van een binaire power plant nog tot de mogelijkheden. Hierbij wordt



Verschillende types van stoomturbines die aardwarmte omzetten in stroom. Zie tekst.

een tweede vloeistof opgewarmd met het opgepompte water, via twee verstrangelde, maar gescheiden circuits. Die tweede vloeistof (meestal isobutaan of isopentaan) heeft een lager kookpunt, en zal dus wel verdampen en zo de gasturbine aandrijven. Dit type van installatie is, uiteraard, het meest verbreide type.

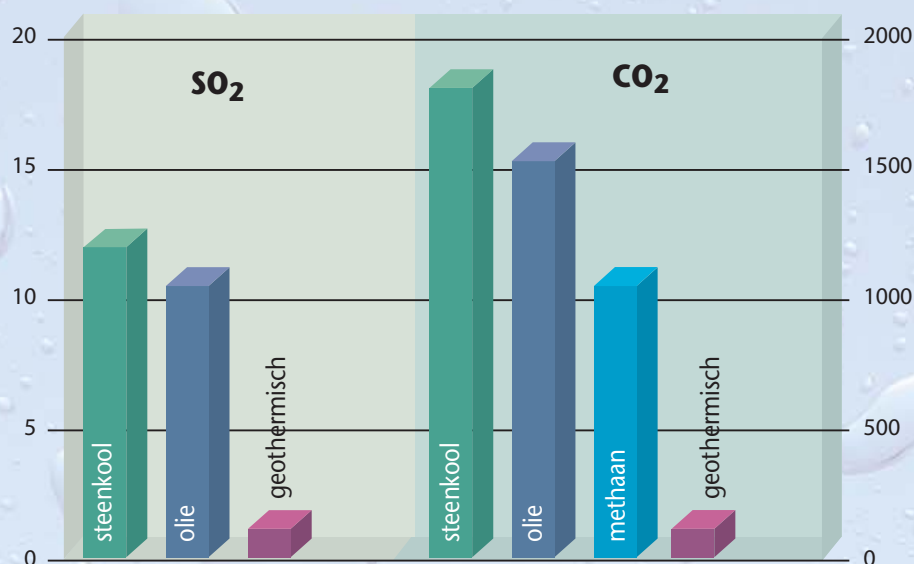
Voordelen en nadelen van Moeder Aarde als straalkachel

Het installeren van warmtepompen is zeker nuttig, ook voor particulieren, al is een grote initiële investering wel noodzakelijk. Wat betreft de productie van elektriciteit is geothermische energie altijd beschikbaar, en hangt de stroomproductie dus niet af van de vraag of het waait of niet, dan wel of er voldoende zonneschijn door het wolkendek komt pieren. Verder is de uitstoot van CO₂ of SO₂ minimaal (zie rechts), en komt er geen gevaarlijk afval vrij zoals bij een kerncentrale. De kostprijs lijkt ook wel mee te vallen, al moet ook hier nog op subsidies gerekend worden, wat een echte vergelijking met de prijs van fossiele brandstof dan weer vertroebelt. En de grootste kost ligt natuurlijk bij de bouw van een installatie. Zeker het boren van kilometers diepe gaten is geen sinecure. Het grootste nadeel is echter dat niet overall zomaar de juiste lagen kunnen worden aangeboord. En wat gebeurt er met onze ondergrond als alle huizen in een grote stad hun warmte uit diepere aardlagen gaan puren? Geothermische elektriciteitsproductie is dus kort gezegd een zeer zinnige techniek... als het kan!

Ook water stroomt

En tot slot zijn er ook nog hydraulische turbines. Die maken geen gebruik van gas, maar van waterstroming. Net zoals de windmolen is de watermolen al eeuwenlang een veelgebruikte manier om mechanische arbeid op een eenvoudige manier te verrichten. Tot op vandaag, overigens, al ligt ook hier de klemtoon op elektriciteitsproductie.

Dergelijke turbines zijn het kloppend (of liever, draaiend) hart van elke waterkrachtcentrale. Zulke centrales (zie figuur) bevinden zich op stromen en rivieren met een hoog debiet en verval. Soms worden rivieren zelfs voorzien van een stuwdam om de centrale te voorzien van een gelijkmatige stroming. Een variant van een waterkrachtcentrale is een pompcentrale of spaarbekkencentrale. Op zich leveren die centrales geen of slechts weinig stroom. Maar ze vervullen wel een belangrijke rol in een elektrici-



Productie van SO₂ en CO₂ bij gebruik van verschillende energiebronnen

teitsnet. Tijdens de daluren, wanneer er eigenlijk meer elektriciteit wordt geproduceerd dan er nodig is, gebruikt zo'n centrale het overschot om water naar een hoger gelegen bekken te pompen. Is de vraag dan weer groter overdag, dan gaan de kleppen open en draaien de turbines om met het stromende water weer elektriciteit aan te maken.

Ook de getijden kunnen een bron zijn van energie. Getijden ontstaan door de invloed van de zwaartekracht die zon en maan uitoefenen op de watermassa's op onze planeet. In volle oceaan zijn de verschillen in de waterstand minimaal, maar aan de kusten kunnen die verschillen zeer hoog oplopen. De energie die deze watermassa's in beweging zet, kan dan ook mits de juiste installatie worden afgetaapt. Bij zo'n installatie wordt het water bij vloed achter een dam opgevangen, om bij eb terug te stromen via waterturbines. Minder evident is het gebruiken van golfslagenergie. Theoretisch is het mogelijk om energie te winnen uit het klotsen van de baren, maar in de praktijk is de winst minimaal (of zelfs onbestaande). De kosten voor het bouwen en onderhouden van de centrale overstijgen dan de opbrengsten. Een installatie van de Noord-Ierse professor Wells zet de golfbeweging via een centrale kamer om in een luchtstroom die de kamer in en uit vloeit. De enige ingang voor die lucht is via een turbine, die zo aangedreven wordt.

In het algemeen is water een ecologisch verantwoord middel om elektriciteit mee aan te maken. Het reliëf van de regio is hierbij echter van groot belang. Noorwegen haalt 99% van zijn elektriciteit uit

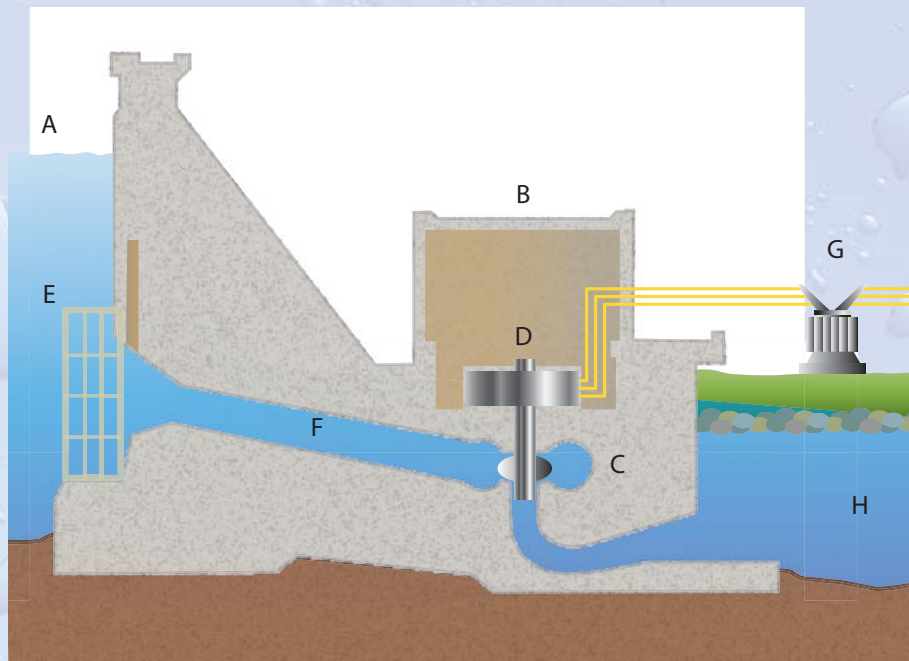
waterkrachtcentrales, in Vlaanderen is water van geen betekenis. Het grootste probleem ligt echter bij de aanleg van dammen en stuwmuren. Deze kunnen een enorme impact hebben op de ecologie van de streek, als waardevolle natuurgebieden onder water komen te staan. Om maar te zwijgen van het verplicht verhuizen van hele dorpen...

Nog niet meteen alternatief?

We zullen niet van vandaag op morgen massaal windmolens of fusiereactoren ter beschikking hebben. Wil dat zeggen dat we de zaken ondertussen maar op hun beloop moeten laten? Geenszins. Er zijn nog andere methoden om geleidelijk aan tot een duurzamere energieproductie te komen. Door efficiënter om te springen met wat er nu al geproduceerd wordt, en door elke stap, hoe klein ook, enthousiast te ondersteunen. Twee voorbeelden...

Van warmte naar stroom - de vernieuwde thermische centrale

Hoe een thermische centrale werkt, hebben we al uitgelegd in MENS 63. Maar ook op dit vlak zijn er de jongste jaren de nodige verbeteringen doorgevoerd, om meer energie te produceren met eenzelfde hoeveelheid te verbranden materiaal. Elektriciteitscentrales hebben een elektrisch rendement van ongeveer 40%. Dat wil zeggen dat slechts 40% van de energie die in de centrale wordt gestopt, eruit komt als elektrische energie, de rest komt vrij als warmte. Tot voor kort ging deze warmte verloren, maar uiteindelijk is warmte een vorm van energie, die ook



Waterkrachtcentrale - A - reservoir, B - krachtcentrale, C - turbine, D - generator, E - inlaat, F - leiding, G - hoogspanningskabels, H - rivier

voor andere toepassingen gebruikt kan worden. En op deze manier kunnen we een pak brandstof besparen. Het nieuwe toverwoord is dan ook 'warmtekrachtkoppeling', oftewel de gecombineerde opwekking van warmte en elektriciteit. De warmte kan bijvoorbeeld dienen om gebouwen te verwarmen. Enkele gebouwen van de Universiteit Gent maken hier bijvoorbeeld gebruik van. Gemiddeld besparen warmtekrachtcentrales ongeveer 12% energie ten opzichte van de gescheiden productie van dezelfde hoeveelheid elektriciteit zonder herinvestering van de opgewekte warmte.

In de zomer is er natuurlijk veel minder nood aan verwarming van gebouwen. Op zo'n moment zal de warmte nog steeds via koeltorens worden weggevoerd. Er wordt ook wel aan gedacht om de warmte die dan geproduceerd wordt, op te slaan in waterlagen in de bodem, zodat ze in de winter nog beschikbaar is.

Certificaten voor energie

Hoe krijg je bedrijven zo ver om op een duurzame manier elektriciteit te produceren? Je kan als overheid natuurlijk boetes opleggen aan elektriciteitsproducenten die een bepaald quotum niet halen. En die quota zijn er: iedere elektriciteitsleverancier is verplicht om, sinds 1 januari 2002, een minimumdeel van de verkochte stroom uit hernieuwbare energiebronnen te halen. Dit minimumaandeel loopt op van 2% in 2004 tot 6% in 2010. De leverancier kan hiervoor zelf op een duurzame manier elektriciteit gaan produceren, of kan deze gaan aankopen bij een andere producent. Maar hoe bewijs je dat? Er hangt geen labeltje aan de elektronen die uit ons

stopcontact komen. Wel, wie stroom produceert uit duurzame bronnen, of via warmtekrachtkoppeling, krijgt van de overheid een certificaat per megawattuur stroom. Elektriciteitsleveranciers kunnen deze certificaten kopen van de producenten. De producent koppelen hun centrale aan op het netwerk, de leverancier heeft een bewijs dat hij geïnvesteerd heeft in de productie van groene stroom. Meer nog, als een elektriciteitsleverancier niet voldoende van deze certificaten kan voorleggen, dan betaalt hij een boete. De waarde van het certificaat wordt bepaald door de markt. Deze certificatenmarkt ontstaat doordat aan de elektriciteitsleveranciers de verplichting werd opgelegd om jaarlijks voor een stijgend percentage van hun leveringen warmtekrachtcertificaten voor te leggen. Ze moeten dus wel aankopen, om geen torenhoge boetes te betalen. De prijs van een certificaat zal dus in de buurt liggen van de boete per megawattuur. Als extra aansporing om groene stroom te produceren, wordt er zelfs een minimumprijs voor een certificaat voorzien door de overheid. Deze wordt betaald door de elektriciteitsleveranciers aan de producent... en uiteraard doorgerekend aan de klant.

Het licht mag aan

En hiermee valt het doek over de energietrilogie van MENS. Op een vijftigste pagina's hebben we u meegenomen op een geleid bezoek aan een van de grote vraagstukken van deze tijd: waar halen wij onze energie vandaan, vandaag én morgen? En hoe doen we dat op een duurzame manier – met aandacht voor de behoeften van de generaties na ons? Heden ten dage is het antwoord simpel: zowel onze elektriciteit als de brandstof

voor onze wagens halen we uit overschotten van dieren en planten van miljoenen jaren geleden, kortweg de fossiele brandstoffen. Dit is niet houdbaar, om verschillende redenen. Sommigen voorspellen een uitputting van de bronnen van deze brandstoffen. Anderen bepleiten dat het Westen zich onafhankelijker moet opstellen tegenover het politieke kruisvat dat het Midden-Oosten is... maar waar wel de belangrijkste wereldreserves aan fossiele brandstoffen te vinden zijn. Nog anderen wijzen op de diepgaande impact van het gebruik van deze brandstoffen op het klimaat.

In de toekomst zal het antwoord echter minder eenvoudig klinken. Nu gebruiken we één of twee bronnen van energie, met elk hun eigen voor- en nadelen; in de toekomst worden dat er wellicht vijf, zes... ook weer elk met hun eigen karakteristieken. Iedere vorm van energieopwekking kent immers eigen nadelen (anders hadden we al lang voor de 100% voordelige vorm gekozen): kosten, technische mogelijkheid, schaarste, CO₂-uitstoot, afval, geen continue stroom, opstoken van voedsel, enzovoort.

Bovendien is een energieprobleem een milieuprobleem (CO₂-uitstoot, afval, schaarste, erosie, etc.), dat we zullen oplossen door het energieprobleem op te lossen. Via techniek, innovatie en economie. We zullen dus een pleiade van alternatieve brandstoffen moeten gebruiken, sommige louter voor de productie van elektriciteit (zoals energiegewassen, zonnecellen en windturbines), andere als brandstof voor onze wagens (zoals waterstof), en ook het verwarmen van onze huizen zal met creatieve technologieën zoals zonneboilers en warmtepompen moeten gebeuren. Nochtans zijn dit essentiële componenten van onze welvaart – denk je eens een wereld in waar elektriciteit slechts mondjesmaat beschikbaar is, waar de wagen zo duur is geworden dat hij slechts voor het aller-noodzakelijkste gebruikt kan worden, waar vliegtuigen aan de grond blijven bij gebrek aan brandstof. Voorzien in de energiebehoeften van morgen – een levensbelangrijke uitdaging!



Kinderuniversiteit
Antwerpen 2008

zondag 09/03/2008

11.00 > 17.00 uur - Stadscampus

Hoek Vekestraat/ Grote Kauwenberg
2000 Antwerpen



DOSSIER op komst

ADHD

DOSSIERS nrs 1- 64

nog verkrijgbaar zolang
de voorraad strekt,
zie www.tijdschriftmens.eu



- | | |
|--|---|
| 26: "Gentechnologie op ons bord" * | 47: "Het voedsel van de goden: chocolade" |
| 27: "Chemie: basis van leven" | 48: "Nanotechnologie" |
| 28: "Vlees, een probleem?" | 49: "Zuiver water, een mensenrecht?" |
| 29: "Beter voorkomen dan genezen" | 50: "Dierenwelzijn als werkwoord" |
| 30: "Biocides, een vloek of een zegen" * | 51: "De waarheid over varkensvlees" |
| 31: "Het transgene tijdperk" | 52: "Het ontstaan van de mens" - deel 1 |
| 32: "Jacht op ziektegeenen" | 53: "Het ontstaan van de mens" - deel 2 |
| 33: "Eet en beweeg je fit" | 54: "Biologische oorlogsvoering in en om ons lichaam" |
| 34: "Genetisch volmaakt?" | 55: "Muizenissen en knaagzangen" |
| 35: "Pseudo-hormonen: vruchtbaarheid" | 56: "Schoon verpakt, lekker gegeten" |
| 36: "Duurzame Ontwikkeling" | 57: "Brein" |
| 37: "Allergie in opmars!" | 58: "Illusies te koop" |
| 38: "Vrouwen in de wetenschap" | 59: "Je sigaret of je leven" |
| 39: "Gelabeld vlees, veilig vlees!?" | 60: "Luchtvervuiling" |
| 40: "Een tweede leven voor kunststoffen" | 61: "Griep, een doder op de loer?" |
| 41: "Stressssss" | 62: "Vaccinatie, reddingslijn of dwaallicht?" |
| 42: "Voedselveiligheid, een complex verhaal" | 63: "Boordevol energie" |
| 43: "Het klimaat in de knoei" | 64: "Een graadje warmer. Quo vadis, Aarde?" |
| 44: "Voorbij de grenzen van het ZIEN" | |
| 45: "Biodiversiteit, de mens als onruststoker" | |
| 46: "Biomassa, de groene energie" | * uitgeput |

Nationale Loterij
creëert kansen 6

KOOKKUNST & WETENSCHAP

- Is het gevaarlijk om restjes spinazie opnieuw op te warmen?
- Waarom blancheer je groenten voor de diepvries?
- Is het normaal dat een biefstuk vanbuiten helrood en vanbinnen donkerpaars is?
- Kost het openen en sluiten van de koelkast telkens een bom geld?
- Is water in flessen wel zuiver?
- Hoe blus je de brand van een te pikante maaltijd?



Het antwoord op die en nog veel andere vragen vind je in dit boek. Op een ludieke maar wetenschappelijk onderbouwde manier gaat de auteur in op de fysische en chemische aspecten van wat er zich afspeelt als we gerechten bereiden.

Kook-kunst & wetenschap nu in de boekhandel.

De uitgever is bereikbaar op: bestellingen@uitgeverijdeboek.be.

Energie sparen: de winst is voor u en voor het milieu



Op de website van het VEA vindt u alles over:

- rationeel gebruik van energie
- energiepremies
- milieuvriendelijke energieproductie

surf naar www.energiesparen.be

