

DUURZAME ENERGIEBRONNEN



DUURZAME ENERGIEBRONNEN

Zonne-energie

Onze zon is eigenlijk één grote kerncentrale. Een klein deel van de energie die de zon via kernfusie produceert, komt in de vorm van licht en warmte op aarde terecht. Zonlicht is de belangrijkste bron van energie voor het leven op aarde. En we maken allemaal – bewust of onbewust – gebruik van zonne-energie. Of we nu onze gordijnen openen om de woonkamer te verwarmen met zonlicht, of het wasgoed buiten te drogen hangen: het is allemaal (passief) gebruik van zonne-energie. Tegenwoordig hebben we verschillende technieken tot onze beschikking om ook actief gebruik te maken van zonlicht.

Er zijn twee manieren om zonlicht om te zetten in energie: zon-thermisch of fotovoltaïsche omzetting. In het eerste geval wordt zonlicht via zonnecollectoren – bijvoorbeeld zonneboilers – omgezet in warmte. Bij fotovoltaïsche omzetting wordt zonlicht door zonnecellen omgezet in elektriciteit. Maar zonne-energie heeft nog meer toepassingsmogelijkheden. Hoe tegenstrijdig het ook mag klinken: zonlicht kan ook gebruikt worden voor koeling van gebouwen. Dergelijke systemen bestaan al, maar worden nog niet breed toegepast.

Een voordeel van zonne-energie is dat het zowel op kleine schaal als op grote schaal toegepast kan worden. In Nederland zien we dat zonne-energie met name kleinschalig toegepast wordt bij woningen. Een praktisch probleem bij het gebruik van zonlicht is namelijk dat in West Europa de energieopbrengst per m² van zonlicht niet erg groot is. Er is daardoor een redelijk grote oppervlakte nodig om voldoende energie op te wekken voor bijvoorbeeld een huishouden. Grootschalige toepassingen zien we daarom meer in zonnrijke gebieden als Spanje, Australië en de Verenigde Staten. Met name woestijnen zijn hier zeer geschikt voor: het zonlicht heeft er een zeer hoge energieopbrengst per m², en er is volop ruimte voor grote velden met zonnepanelen. Voor landen als Afrika zou zonne-energie daardoor in de toekomst wel eens een belangrijk exportproduct kunnen worden.

De belangrijkste reden waarom zonne-energie momenteel nog niet op grote schaal wordt toegepast is de hoge prijs van zonnepanelen. Hierdoor heeft zonne-energie een relatief lange terugverdientijd. Door de groeiende markt is er echter sprake van schaalvoordelen en innovaties, waardoor de prijzen van zonnepanelen jaarlijks dalen en het rendement stijgt. Omdat de elektriciteitsprijs gelijktijdig met vele procenten per jaar stijgt, wordt zonne-energie naar verhouding steeds gunstiger. De verwachting is dat

zonne-energie over tien jaar kan concurreren met de consumentenprijzen voor elektriciteit.

Mede door de dalende prijzen worden zonnecollectoren en zonnecellen wereldwijd steeds meer toegepast. De verwachting is dat zonne-energie in de toekomst een belangrijke plaats in zal nemen in onze energievoorziening. Sommige scenario's gaan er zelfs vanuit dat zonne-energie aan het einde van deze eeuw in tweederde van onze energiebehoefte zal voorzien. Niet verwonderlijk, als men bedenkt dat de hoeveelheid zonne-energie die de aarde bereikt 9.000 maal groter is dan de wereldwijde vraag naar energie.

Windenergie

Wind wordt al eeuwenlang door de mensheid gebruikt als bron van energie. Aangenomen wordt dat windmolens ongeveer 2.000 jaar geleden in China zijn uitgevonden. Aanvankelijk werden windmolens gebruikt voor het opwekken van mechanische energie. In 1888 werd in de Verenigde Staten de eerste windmolen gebouwd voor het opwekken van elektriciteit.

Ook voor Nederland is windenergie altijd een belangrijke bron van energie geweest. Niet voor niets wordt Nederland veelal geassocieerd met windmolens (naast kaas, klompen en tulpen...). Windmolens horen in het Nederlandse landschap thuis. Ruim een eeuw geleden telde Nederland ongeveer 9.000 molens, met een totaal (mechanisch) vermogen van 300 MW. Deze molens werden bijvoorbeeld gebruikt voor het droogmalen van polders, het malen van meel en het zagen van hout.

Windenergie heeft als voordeel dat het vrijwel overal toegepast kan worden, zowel grootschalig als kleinschalig. Wel is een aantal factoren van invloed op het rendement. In de eerste plaats is dat de afmeting van de windmolen (ashoogte en rotordiameter). De ashoogte is van belang omdat de windsnelheden hoger worden naarmate men hoger komt. Een andere bepalende factor is windsterkte. Deze neemt af naarmate men verder landinwaarts komt. Nederland – en zeker West- en Noord-Nederland – is daardoor zeer geschikt voor windenergie. En ook ons continentaal plat is zeer geschikt voor het bouwen van offshore windmolenparken; niet alleen door de hoge windsterkte, maar ook door de relatief geringe waterdiepte.

Tegenwoordig worden windmolens steeds belangrijker voor het opwekken van elektriciteit. Een van de redenen van deze opmars van windenergie is dat de kosten per kWh relatief laag zijn in verhouding tot andere alternatieve energiebronnen. Windenergie is in prijstechnisch opzicht op dit moment de

enige duurzame energiebron die kan concurreren met elektriciteit uit kolen centrales en kerncentrales.

Een nadeel van windenergie is dat bij een lage windsterkte veel fysieke ruimte nodig is voor het opwekken van de benodigde hoeveelheid elektriciteit. Hiervoor zijn in principe twee oplossingen mogelijk. In de eerste plaats is dat het bouwen van offshore windmolenparken. In landen als Denemarken, Zweden, Ierland en Engeland zijn al diverse offshore windmolenparken operationeel. De wind is boven zee veel sterker dan boven land, waardoor offshore windmolens een aanzienlijk hoger rendement halen dan windmolens op land (40% versus 25%).

In de tweede plaats kunnen grotere windmolens gebouwd worden. Door een grotere ashoogte en een grotere rotordiameter neemt het rendement van een windmolen fors toe. Wanneer bijvoorbeeld vier windmolens van 53 meter ashoogte vervangen worden door één windmolen met een ashoogte van 75 meter, dan is niet alleen de benodigde fysieke ruimte aanzienlijk minder, maar ook de visuele impact. Deze opschaling heeft de afgelopen decennia al een enorme ontwikkeling doorgemaakt. Spraken we in 1985 nog over windmolens met een rotordiameter van 15 meter, er zijn nu al installaties met een rotordiameter van ruim 120 meter. Hoewel de verwachting is dat de snelle opschaling nu bijna ten einde is, is op termijn wellicht nog doorgroei mogelijk naar een rotordiameter van circa 160 meter. Ter illustratie: dat is gelijk aan de spanwijdte van een Airbus A380!

Mede door de opschaling is het geïnstalleerd windvermogen de afgelopen jaren wereldwijd explosief gestegen met gemiddeld 30% per jaar. 85% van dit wereldwijd opgestelde vermogen staat in vijf landen: Duitsland, Denemarken, de Verenigde Staten, India en Spanje.

Het opgestelde vermogen in Nederland is momenteel 1.500 MW. De doelstelling van het Kabinet is om hier tot 2011 nog 2.000 MW op land aan toe te voegen. Daarnaast is er een potentieel voor offshore windenergie dat nog vele malen groter is dan het potentieel op land. Windenergie zou daarmee in de toekomst tot mogelijk de helft kunnen voorzien in ons totale elektriciteitsverbruik. Nederland kan daarmee net als vroeger weer een windmolenland worden – alleen deze keer hebben de windmolens een modernere vormgeving en een hoger rendement.

Geothermie (aardwarmte)

Een in Nederland nog erg onbekende, maar in het buitenland al op grotere schaal toegepaste, vorm van energie is geothermie. Geothermie maakt

gebruik van de natuurlijke aardwarmte op grote diepte. In de kern van onze aarde heerst een temperatuur tussen de 4.500 °C en 6.500 °C. Hoe dichterbij deze kern komt, hoe hoger de temperatuur. De temperatuurstijging bedraagt circa 2,9 °C per 100 meter.

Op 2,5 kilometer onder het aardoppervlak heerst een temperatuur van circa 83°C. Men kan daardoor direct heet water oppompen wat zonder het verder te hoeven verwarmen gebruikt kan worden voor het verwarmen van gebouwen via een warmtenet. Dit is zeer efficiënt, omdat er geen bewerkingsschappen nodig zijn. De enige energie die aan het proces toegevoegd moet worden, betreffen de pompen die het warme water naar boven pompen en rondpompen door het warmtenet.

Het nadeel van geothermie is de hoge kosten. In tegenstelling tot landen als IJsland, waar dankzij vulkanische bronnen geothermische energie inmiddels rendabel is, zit de warmte in West-Europa op een grote diepte. Met name de diepe boringen maken de investering zeer kostbaar. Het is daardoor alleen rendabel voor bijvoorbeeld grote nieuwbouwwijken, industrie met een grote warmtevraag of grootschalige glastuinbouw. De hoge investering is de voornaamste reden dat geothermie in Nederland nog maar zeer beperkt toegepast wordt. In landen zoals Frankrijk en Duitsland wordt geothermie echter al op veel grotere schaal toegepast.

Toch heeft geothermie ten opzichte van andere duurzame energiebronnen een belangrijk voordeel: het is permanent in voldoende mate aanwezig. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld zonne-energie, windenergie en waterkracht, waarbij de beschikbaarheid afhankelijk is van externe factoren, zoals weersomstandigheden, dag en nacht, seizoenen, etc.

De potentie van geothermie is enorm: 99% van onze aarde is warmer dan 1.000°C, en 99% van de rest is nog steeds warmer dan 100°C. De totale warmtestroom vanuit de aardkern naar het aardoppervlak bedraagt 2,5 keer het huidige mondiale energieverbruik.

Biomassa

Energieopwekking uit biomassa is zo veelzijdig, dat het nauwelijks in één of twee pagina's te beschrijven is. De grondstoffen kunnen sterk uiteen lopen: landbouwproducten als maïs en koolzaad, afvalhout, GFT-afval, dierlijk slachtafval, mest, etc. Ook de vormen van energie die uit biomassa geproduceerd kunnen worden lopen uiteen: we kunnen het omzetten in elektriciteit, maar ook in warmte of in transportbrandstoffen (olie, gas).

Het uiteindelijke product is niet alleen afhankelijk van de gebruikte grondstof, maar ook van de wijze waarop de grondstof wordt omgezet in energie. We onderscheiden thermische processen (verbranding, vergassing en pyrolyse) en biologische processen (fermentatie en vergisting). Ieder proces levert een andere energiedrager op.

Thermisch	■ Verbranding	→ warmte
	■ Vergassing	→ gas
	■ Pyrolyse	→ olie, gas en houtskool
Biologisch	■ Fermentatie	→ bio-ethanol
	■ Vergisting	→ biogas

Als we bedenken dat voor biomassa vaak reststoffen als sloophout, GFT-afval en mest gebruikt worden, dan lijkt biomassa een grote toekomst te hebben. Er kleven echter ook enkele risico's en nadelen aan. Biomassa kan slechts voor een klein deel voorzien in onze mondiale energiebehoefte. Dit komt door de beperkte beschikbaarheid van grondstoffen als gevolg van de beperkte hoeveelheid landbouwgrond. En daaruit volgen direct de twee grootste risico's van biomassa. In de eerste plaats kan biomassa concurreren met voedselvoorziening als er een tekort aan landbouwgrond ontstaat. In de tweede plaats bestaat het risico dat het areaal landbouwgrond uitgebreid wordt ten koste van natuur, bijvoorbeeld door kap van tropische bossen. In dat geval doet biomassa het milieu meer kwaad dan goed.

Door deze beperkingen zal biomassa een beperkte rol blijven spelen in onze toekomstige energievoorziening. De beste kansen lijken er te zijn voor mestvergisting in combinatie met vergisting van zogeheten 'secundaire grondstoffen': afvalstoffen zoals bermmaaisel, snoeihout, niet-eetbare delen van landbouwgewassen, etc.

Energie uit water

Er zijn veel manieren om elektriciteit op te wekken met water:

- hydro-power (maakt gebruik van hoogteverschillen)
- getijdenenergie (maakt gebruik van getijden en/of golven)
- Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) (maakt gebruik van temperatuurverschillen tussen diepe en ondiepe wateren)
- blue energy (maakt gebruik van verschillen in zoutconcentraties in zoet en zout water)

In een vlak land als Nederland zijn de mogelijkheden om gebruik te maken van waterkracht vrijwel nihil. Door het gebrek aan hoogteverschillen is het hier namelijk niet mogelijk om stuwmeren aan te leggen. Daardoor kan

hooguit enige energie opgewekt worden uit stromend water in rivieren, en dit potentieel is te gering om dit economisch rendabel te maken.

In ons land lijkt blue energy de meest veelbelovende vorm van energie-opwekking uit water. Met een groot grensvlak tussen zoet en zout water (rivierdelta's en de Afsluitdijk) heeft deze vorm van energie in Nederland een grote potentie. In het verleden vormden de hoge kosten van de benodigde membranen nog een knelpunt, maar door nieuwe technieken zijn deze kosten fors gedaald. In 2008 start op de Afsluitdijk waarschijnlijk een pilot-project met een vermogen van 200 MW. Onderzoeksinstituut KEMA verwacht dat met blue energy het tienvoudige aan elektriciteit opgewekt kan worden dan de huidige elektriciteitsproducties van alle windmolens in Nederland. Dit betekent dat blue energy in de toekomst een substantiële factor in onze energievoorziening zou kunnen worden.

Warmte/koude-opslag en warmtepompen

In Nederland is de vraag naar warmte en koude seizoensgebonden; in de zomer willen we onze woningen koelen, en in de winter willen we ze verwarmen. Door 's zomers overtollige warmte op te slaan in de bodem en deze 's winters te gebruiken voor verwarming, kunnen we warmte optimaal benutten. En hetzelfde geldt voor koude: 's winters kunnen we koude opslaan in de bodem, en deze 's zomers gebruiken voor koeling.

Warmte/koude-opslag werkt door middel van bodemwarmtewisselaars: buizen waar warm of koud water door stroomt. Bij warmteopslag verwarmen de warmtewisselaars 's zomers het grondwater in de omgeving van de wisselaars. Dit opgewarmde grondwater kan 's winters weer gebruikt worden voor verwarming.

We onderscheiden twee soorten warmteuitwisselingssystemen: open en gesloten systemen. Bij een open systeem wordt grondwater onttrokken aan een watervoerende zandlaag, en op een andere plek weer in die zandlaag teruggebracht. Dit systeem werkt het beste als het zandpakket omsloten wordt door een ondoordringbare bodemlaag, bijvoorbeeld klei. Deze situaties zijn veelvuldig aanwezig: circa 90% van de Nederlandse bodem is geschikt voor open warmteopslag. Bij een gesloten systeem wordt water door gesloten buizen door de bodem geleid. Via warmteuitwisseling wordt het grondwater er omheen verwarmd. Voordeel van dit systeem is dat er geen vergunning voor grondwateronttrekking nodig is, wat bij een open systeem wel het geval is. Bij zeer grote grondwateronttrekkingen is zelfs een milieueffectrapportage nodig.

De belangrijkste randvoorwaarde voor het rendabel kunnen toepassen van warmte/koude-opslag is de samenstelling van de bodem. Een goed doorlatende bodem is gunstig. De grondwaterstroming mag echter niet te hoog zijn, omdat daarmee een deel van het ingebrachte verwarmde of gekoelde water afgevoerd wordt voordat het gebruikt kan worden. Dit beperkt het rendement van het systeem aanzienlijk.

De temperatuur van het grondwater is 's winters niet zodanig dat het rechtstreeks gebruikt kan worden voor verwarming. Het water wordt daarom meestal eerst met behulp van een warmtepomp op gebruikstemperatuur gebracht. Het voordeel van een warmtepomp ten opzichte van een traditionele verwarmingsketel is het hoge rendement. Warmtepompen hebben een rendement van 300% tot 500%. In vaktermen spreekt men dan van een COP (Coëfficiënt of Performance) van 3 tot 5. Dit betekent dat voor iedere toegevoegde kWh elektriciteit er drie tot vijf kWh aan warmte geleverd wordt. Warmtepompen op elektriciteit zijn het meest gangbaar, maar er zijn ook warmtepompen die werken op aardgas.

Waterstof

Eigenlijk hoort waterstof niet in dit hoofdstuk thuis. Waterstof is namelijk geen energiebron, maar een energiedrager. Volgens velen is het zelfs de ideale energiedrager, omdat er bij omzetting naar elektriciteit slechts water vrijkomt, en geen CO₂. Waterstof lijkt daardoor op het eerste gezicht zeer duurzaam. Echter, voor de productie van waterstof is ook energie nodig. Waterstof is daardoor alleen duurzaam als het op duurzame wijze wordt opgewekt, bijvoorbeeld met zonne- of windenergie. Momenteel wordt waterstof hoofdzakelijk geproduceerd met aardgas, en bij dit proces komt – net als bij verbranding van aardgas – CO₂ vrij. Waterstof is geschikt als brandstof voor voertuigen. Dat het redelijk lang geduurd heeft voordat het daadwerkelijk toegepast werd, heeft te maken met de risico's. Waterstof is namelijk zeer brandbaar – denk aan het beroemde ongeluk met de Hindenburg. De techniek is inmiddels zover ontwikkeld dat er sinds een aantal jaren auto's met waterstofmotoren op de markt zijn. Hierbij wordt gebruik gemaakt van brandstofcellen. De productieprijs van brandstofcellen halveren jaarlijks, en de verwachting is dat brandstofcellen rond 2010 qua prijs en vermogen kunnen concurreren met hedendaagse verbrandingsmotoren. Een andere uitdaging is nu nog de distributie van waterstof, zoals de introductie van voldoende tankstations en uitwisselbare tanks. Op dit moment is er in Nederland namelijk slechts één tankstation waar men waterstof kan tanken. Met de beperkte actieradius van brandstofcellen maakt dit een waterstofauto nog erg onpraktisch. Dit geeft meteen een andere vereiste aan voor grootschalige toepassing: compacte opslagsyste-

men met voldoende actieradius. Als die ontwikkelingen zich doorzetten zal waterstof in de toekomst een belangrijke rol gaan spelen in onze duurzame energievoorziening, met name op het gebied van verkeer en vervoer.

Tussenoplossingen: kernenergie en CO₂-opslag

Hoewel de productie van duurzame energie in een snel tempo toeneemt, zal er waarschijnlijk niet voldoende duurzame energie beschikbaar zijn op het moment dat de fossiele brandstoffen op zijn. Ook gaat de ontwikkeling van duurzame energie niet snel genoeg om de wereldwijde temperatuurstijging tot een veilig niveau te beperken. Daarom wordt de laatste jaren steeds meer gesproken over tussenoplossingen in de vorm van kernenergie en CO₂-opslag.

Hoewel kernenergie een van de meest omstreden vormen van energie is, laait de discussie over kernenergie de laatste jaren weer op. Sommige deskundigen zijn van mening dat duurzame energie nooit volledig in onze energiebehoefte kan voorzien, en dat we dus niet zonder kernenergie kunnen. Anderen denken dat we op termijn wel zonder kunnen, maar dat kernenergie onmisbaar is voor de overbruggingsperiode en om aan de ambitieuze klimaatdoelstellingen te voldoen. Mede doordat er in Nederland weer stemmen op voor een tweede kerncentrale. De publieke opinie is echter nog steeds tegen kernenergie. De kans dat in de komende jaren in Nederland een tweede kerncentrale gebouwd zal worden is daardoor klein.

Wereldwijd zal het aantal kerncentrales de komende jaren echter wel fors toenemen. Ook in Europa wint kernenergie weer aan populariteit, mede in het kader van de klimaatdiscussie. Immers, een kerncentrale veroorzaakt geen CO₂-uitstoot, en de grondstoffen zijn bijna onbeperkt voorradig. Kernenergie zou daarmee bijna duurzaam genoemd kunnen worden, als er niet het probleem van radioactief afval en de veiligheidsrisico's zouden zijn. Kerncentrales worden weliswaar steeds veiliger, maar voor het radioactief afval is nog steeds geen oplossing gevonden. Zolang die oplossing niet gevonden is, blijft het grootschalig toepassen van kernenergie onwenselijk en is kernenergie een tijdelijk noodzakelijk kwaad en niet de toekomst van onze energievoorziening.

Een maatregel die geen tussenoplossing biedt voor de beperkte voorraden fossiele brandstoffen, maar wel voor het klimaatprobleem, is CO₂-opslag. Dit houdt in dat een elektriciteitscentrale de geproduceerde CO₂ grotendeels opvangt en opslaat in de bodem, bijvoorbeeld in lege gasvelden of zoutkoepels. Hierdoor kan de bijdrage van fossiele brandstoffen aan het



Stichting Post Hoger Onderwijs Energiekunde

Post HBO-opleiding Duurzame Energie

Duurzame energie staat in de aandacht en is wereldwijd in ontwikkeling. Het beleid is erop gericht het benutten van duurzame energiebronnen de komende decennia uit te breiden.

Op initiatief en onder begeleiding van het lectoraat Duurzame Energievoorziening van de Saxion Hogescholen is de avondopleiding Duurzame Energie tot stand gekomen. Deze behandelt de principes die aan de winning van duurzame energie ten grondslag liggen. De opleiding start met het kader energietransitie en beleid voor duurzame energievoorziening. Vervolgens worden bloksgewijs de onderwerpen zon, wind, water, biomassa, warmtepompen en energieopslag behandeld, waarbij de drie T's, namelijk techniek, toepassingen en toekomstperspectief centraal staan. Rekenvoorbeelden en praktijkvoorbeelden zullen uitgebreid aan de orde komen in de opleiding.

Daarnaast wordt in de opleiding een volledige dag besteed aan rekenen en casuïstiek, inclusief rentabiliteitsberekeningen. Als belangrijkste leidraad geldt het boek 'Toegepaste Energietechniek', duurzame energie, uitgegeven door SDU. Het docententeam bestaat uit specialisten uit de markt op hun vakgebied, elk beschikkend over een grote dosis praktijkervaring.

Duur: - 6 donderdagavonden
- 1 dag rekenen
- 1 avond tentamen
Locatie: - Hilversum
Start: - 2 x per jaar
- voor de startdata verwijzen wij u naar www.phoe.nl

De opleiding Duurzame Energie kan ook als in-company worden georganiseerd.

Voor meer informatie en aanvraag brochure:



**Stichting Post Hoger Onderwijs
Energiekunde**
Postbus 77
1200 AB Hilversum
Telefoon (035) 683 88 33
Fax (035) 683 36 88
E-mail phoe@FBbv.nl
Internet www.phoe.nl

broeikaseffect sterk beperkt worden. Andere gebruikte termen hiervoor zijn Schoon Fossiel of CCS (Carbon Capture and Storage). De techniek staat op dit moment nog redelijk in de kinderschoenen. Ook is er nog onvoldoende duidelijkheid over het weer kunnen ontsnappen van het CO₂ uit de bodem, waardoor het alsnog in de atmosfeer terecht zou kunnen komen.

Dergelijke 'Schoon Fossiel'-energie is vaak goedkoper dan duurzame energie. Dit brengt het risico met zich mee dat elektriciteitsproducenten uit economisch oogpunt hun inspanningen liever richten op CO₂-opslag dan op de ontwikkeling van echte duurzame bronnen. Er worden tientallen miljoenen euro's geïnvesteerd in onderzoek naar en realisatie van CO₂-opslag. We kunnen ons afvragen of deze miljoenen niet meer milieurendement op zouden leveren als ze geïnvesteerd zouden worden in de ontwikkeling van duurzame energie. Als we toch fossiele brandstoffen moeten gebruiken is CO₂-opslag beter dan helemaal geen maatregelen treffen, maar het mag geen excuus worden om de inspanningen voor duurzame energie te verminderen.