
Tijd voor duurzame energie

Intreerede lector dr. Ing. Piet J. Sonneveld

10 oktober 2012

Colofon

Hogeschool van Arnhem en Nijmegen

Faculteit Techniek

Postbus 2217, 6802 CE Arnhem

T (+31) 026 - 36 58136

F (+31) 026 - 36 45066

I www.han.nl

© Alles uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotografie, microfilm, geluidsband of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van de auteur en uitgever, mits er zorgvuldig verwezen wordt naar de auteur en de uitgever.

Inhoud

- 1 Inleiding**
- 2 Beschikbaarheid energiebronnen**
- 3 Innovaties in duurzame energie**
 - 3.1 Inleiding
 - 3.2 Zonne-energie, naar een meervoudige energieopbrengst
 - 3.3 Energieconversie, gebruik en hergebruik van warmte
 - 3.4 Energieneutraal bouwen, besparen van energie
 - 3.5 Duurzame elektriciteitscentrale: efficiënter benutten van elektriciteitsnetten
 - 3.6 Windenergie, oogsten van wind op grotere hoogten
- 4 Lectoraat Duurzame Energie**
- 5 Afsluiting en dankwoord**
- 6 Referenties**

Leden van het College van Bestuur en directie Techniek,
Medewerkers en studenten van de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen,
Zeer gewaardeerde toehoorders,
Dames en heren,

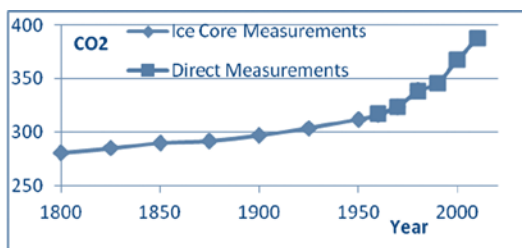
1

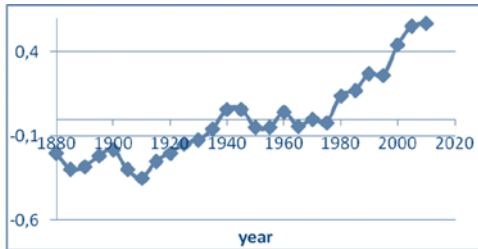
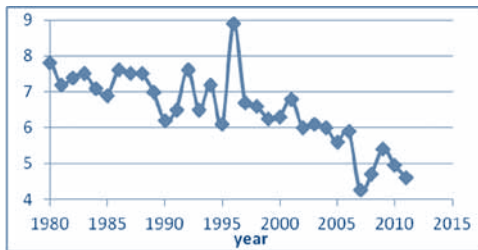
Inleiding

Indicatoren

Er is veel maatschappelijke aandacht voor duurzame energie. Vooral omdat duurzame energie een belangrijke bijdrage kan leveren aan de oplossing van de klimaatproblematiek. Er zijn diverse indicatoren die aangeven dat klimaatverandering optreedt. De drie belangrijkste indicatoren voor klimaatverandering zijn de CO₂-concentratie in de atmosfeer, de gemiddelde temperatuur op aarde en het ijsoppervlak op aarde. Deze drie indicatoren staan respectievelijk in figuur 1 A, B en C als functie van de tijd weergegeven. Opvallend is dat in de bovenste twee grafieken dezelfde trend zichtbaar is. De derde grafiek laat zien dat het ijsoppervlak op aarde omgekeerd evenredig is met de vorige twee.

Figuur 1 A. De gemiddelde CO₂ concentratie op aarde



Figuur 1 B. De gemiddelde temperatuursverandering op aarde**Figuur 1 C. Het ijsoppervlak in miljoen km² op aarde. (bron: <http://climate.nasa.gov>)**

De conclusie lijkt gerechtvaardigd dat de klimaatverandering in volle gang is. Maar hoe weten we dat zeker? Naomi Orekes (2007) stelt dat alle klimaatwetenschappers overtuigd zijn van de klimaatverandering, veroorzaakt door menselijke activiteiten. Hierdoor is de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer de laatste tweehonderd jaar voortdurend toegenomen. Er is alleen twijfel over de gevolgen van de klimaatverandering. In de film ‘An Inconvenient Truth’ wordt een aantal negatieve effecten van klimaatverandering genoemd, zoals het smelten van gletsjers en andere ijsmassa’s, verdroging, woestijnvorming en voedseltekorten, orkanen, extreme neerslag en overstromingen. In de film wordt beargumenteerd dat de enorme uitstoot van broeikasgassen door menselijk handelen leidt tot onaangename gevolgen in de toekomst. Deze toename is voornamelijk het gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen, landbouw en veeteelt en veranderingen in landgebruik, zoals het kappen van bossen. De hogere concentraties broeikasgassen houden warmte langer vast in de atmosfeer, waardoor de atmosfeer opwarmt. De biosfeer en de oceanen zijn niet in staat om deze toename op natuurlijke wijze (via de koolstofkringloop)

volledig te absorberen. Deze conclusie wordt ook getrokken door een rapport van het gezaghebbende 'Intergovernmental Panel on Climate Change' (IPCC, 2007) van de Verenigde Naties. Aan dit rapport hebben meer dan tweeduizend klimaatwetenschappers van vooraanstaande onderzoeksinstituten meegewerkt.

Menselijke invloed

De belangrijkste bronnen van de extra uitstoot van de broeikasgassen zijn (Olivier and Berdowski, 2001):

1. Elektriciteitscentrales (21,3%)
2. Industriële processen (16,8%)
3. Transportbrandstoffen (14%)
4. Winning, bewerking en distributie van fossiele brandstoffen (11,3%)
5. Landbouwproductie (12,5%)
6. Woningen, kantoren etc. (10,3%)
7. Landgebruik en verbranden van biomassa (10%)

Redenen om onderzoek te doen naar duurzame energie

Vijf van de genoemde bronnen (samen goed voor 75% van de broeikasgasuitstoot) zijn sterk gelieerd aan energievoorziening. Dat alleen al is een belangrijke reden om de komende tijd (en met de komende generatie) te werken aan het ontwikkelen en verbeteren van duurzame energiesystemen. Daarnaast zijn er nog anderen redenen om te kiezen voor duurzame energie:

- De fossiele energiebronnen zijn op afzienbare termijn uitgeput.
- Door de overgang op duurzame energie blijven fossiele energiebronnen deels behouden voor hoogwaardiger toepassing dan brandstof, zoals grondstof voor kunststoffen.
- Duurzame energie is schoner en milieuvriendelijker.
- Met duurzame energie vermindert de afhankelijkheid van politiek instabiele landen waar de fossiele brandstoffen gewonnen worden.

Deze informatie geeft aan dat we serieus en met prioriteit moeten werken om op wereldschaal duurzame oplossingen te vinden voor de energievoorziening. Dit geldt zowel voor de opwekking van duurzame energie als voor de energie-opslag en het energietransport.

HAN onderzoekt duurzame energie in lectoraat

Duurzaamheid heeft een belangrijke plaats in de activiteiten van de HAN op het gebied van onderwijs en onderzoek. Het is goed als onze studenten vertrouwd raken met de principes van duurzame energie en er in de praktijk mee kunnen werken. Bovendien is Arnhem en omgeving een regio met veel energiegerelateerde bedrijven die vragen om ondersteuning bij hun kennisontwikkeling, en vragen om voldoende ‘energetisch geschoold’ personeel. Mede daarom heeft de HAN ‘Duurzame (Elektrische) Energie’ tot speerpunt gemaakt in het instellingsplan 2012-2016.

Het lectoraat Duurzame Energie heeft de kennis en de kunde om een belangrijke bijdrage te leveren aan de uitgesproken ambities, en zal dat doen door middel van:

- onderzoek naar nieuwe technieken;
- het opleiden van de professionals van de toekomst en
- een bijdrage aan het curriculum van de opleidingen.

Kortom, het is tijd voor duurzame energie!

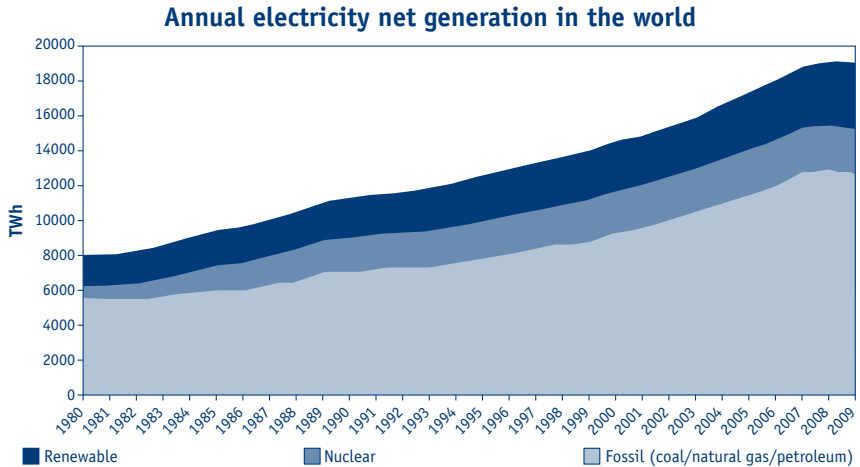
2

Beschikbaarheid energiebronnen

Wanneer we kijken naar alle mogelijke energiebronnen op aarde, is van zonne-energie veruit het meest beschikbaar. De inhoud van de gele kubus in figuur 2 stelt de hoeveelheid zonne-energie voor die ons jaarlijks bereikt. De andere duurzame energiebronnen zijn links in de kubus geplaatst. De kubussen met niet duurzame bronnen staan rechts in de kubus. Van de niet duurzame fossiele energiebronnen zijn de *totale* beschikbare hoeveelheden aangegeven, terwijl van de duurzame energiebronnen de *jaarlijkse potentiële* hoeveelheid is aangegeven. De oranje kubus op de voorgrond is de jaarlijkse globale energievraag. Dit plaatje laat de enorme kansen zien voor duurzame energie. We kunnen concluderen dat er in potentie ruim voldoende wind- en zonne-energie aanwezig is voor de energievoorziening op langere termijn.

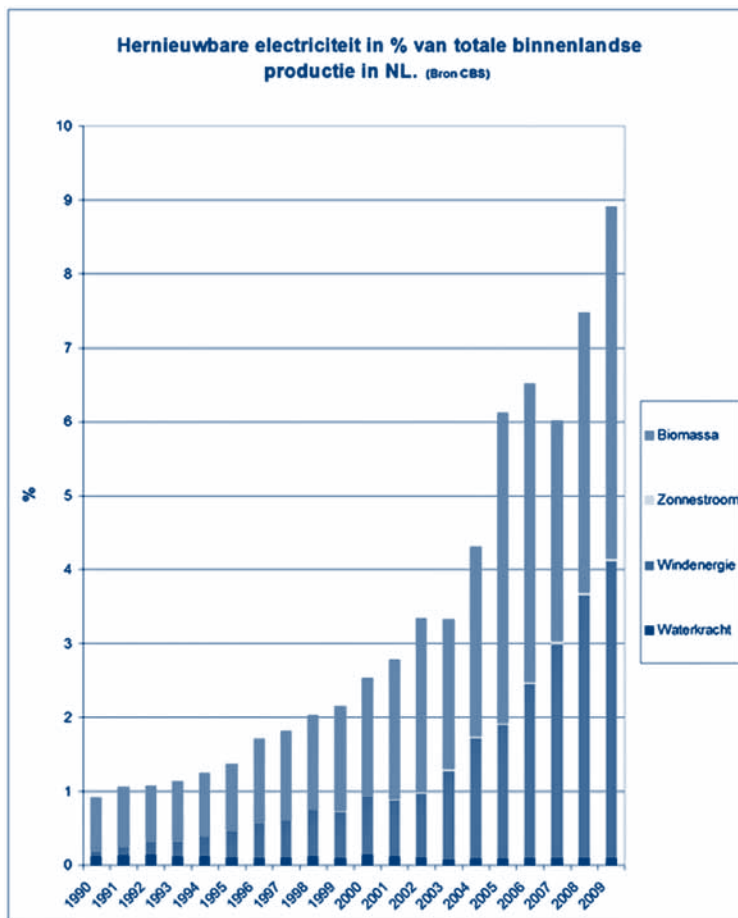
Daar komt bij dat we genoodzaakt zijn om duurzame energiebronnen te gaan benutten. Uitgaande van onze jaarlijkse energiebehoefte zijn we namelijk op relatief korte termijn door al onze voorraden van niet-duurzame energiebronnen heen.

De wereldwijde vraag naar elektriciteit is de afgelopen jaren sterk gestegen, zoals in figuur 2 staat weergegeven. Tussen het jaar 1980 en het jaar 2000 is de energievraag ongeveer verdubbeld. De verwachting is een verdere toename van de vraag naar elektriciteit in de komende twintig jaar. Met name in BRIC-landen als India en China zal de welvaart, en daarmee het energieverbruik, verder toenemen.

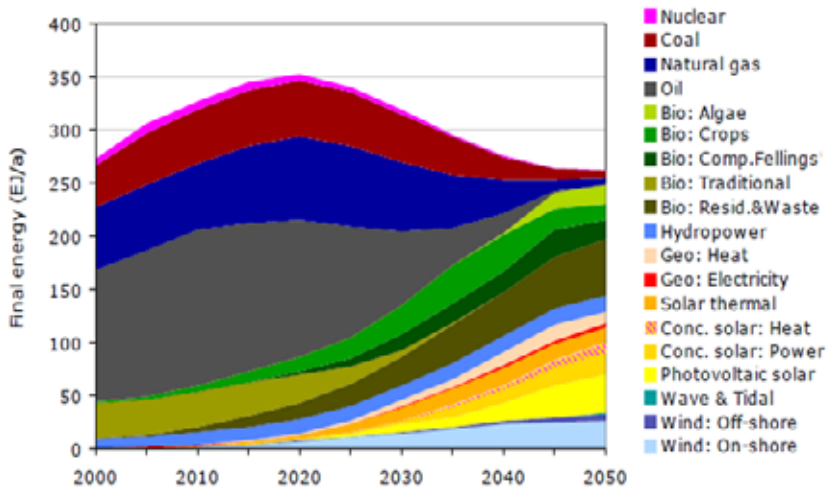
Figuur 2. De globale jaarlijkse energievraag (bron: Wikipedia commons)

Ook het aandeel duurzaam geproduceerde elektriciteit neemt wereldwijd sterk toe. In Nederland was dit aandeel circa 9% in 2009 op een totaal van circa 110 miljard kWh (110 TWh) (www.compendiumvoordeleefomgeving.nl), na een sterke toename in de afgelopen twintig jaar (zie figuur 4). Ondanks de toename loopt Nederland nog achter op veel Europese landen. Duitsland en Spanje hebben het hoogste aandeel duurzaam opgewekte elektriciteit van respectievelijk 25% en 20%. Het is interessant om voor Nederland een schatting te maken van de kosten voor de transitie naar duurzame energie. Met een geïnstalleerd niet duurzaam vermogen van de elektriciteitscentrales van circa 100 miljard kWh is een berekening te maken voor de overgang naar een mix van 50% wind- en 50% zonne-energie. Volledig geïnstalleerde zonnepanelen kosten nu circa 1,50 €/Wp en leveren jaarlijks circa 0,9 kWh. Windenergie kost circa 1,40 €/Wp en levert jaarlijks circa 1,0 kWh. Totale kosten zijn dan: 153 miljard euro. Als we dit in dertig jaar doen is het circa 5 miljard euro per jaar. Een flinke investering, dus. Maar na ongeveer tien jaar zijn de initiële investeringen terugverdiend en gaan we netto verdienen gedurende de rest van de technische levensduur (ten minste twintig jaar). Dit rendement op langere termijn is de reden dat grote institutionele beleggers steeds meer investeren in duurzame energie. Gezien de huidige kredietcrisis is een snelle transitie alleen mogelijk als duurzame energie nog flink goedkoper wordt. Wanneer we in staat zijn duurzame energie goedkoper te maken, heeft Nederland een bijzonder interessante business.

Figuur 3. Het aandeel duurzaam geproduceerde elektriciteit in Nederland
(bron: Wikipedia commons)



Figuur 4. De bijdragen van verschillende energiebronnen in de tijd voor de overgang naar volledige duurzame energie in 2050 (bron: Singer S., et al. 2011, The Energy Report: 100% renewable energy by 2050, WFF, Ecofys, OMA)



In het rapport: ‘The Energy Report: 100% renewable energy by 2050’ wordt een transitie naar volledige duurzame energie voor 2050 geschetst. De verwachting is dat het totale energiegebruik af zal nemen door energiebesparende maatregelen, zoals de bouw van energieneutrale huizen. In figuur 4 is een flinke toename van wind- en zonne-energie aangegeven voor de komende periode. De signalen hiervan zijn al zichtbaar: in 2011 was zonne-energie de nummer één elektriciteitsbron in Europa, in termen van nieuw geïnstalleerd vermogen. Met 21,9 GW (het vermogen van circa tien grote elektriciteitscentrales) aan het net gekoppeld, versloeg zonne-energie gas en wind, die beide iets lager waren dan de 10 GW (EPIA report, 2011). De derde belangrijkste duurzame energiebron is bio-energie.

Het genoemde rapport stelt dat er nu elk jaar 1 biljoen euro nodig is om de transitie in 2050 rond te krijgen. Hoewel dit niet de meest geschikte tijd is om extra investeringen te doen, zijn de meeste investering in duurzame energie binnen tien jaar terugverdiend en gaan de installaties meer dan twintig jaar mee. Wanneer deze investeringen plaatsvinden wordt rond 2050 een besparing van 4 biljoen euro per jaar verwacht, voornamelijk op brandstofkosten.

Dit is nog zonder de besparingen die ontstaan door het vertragen van de klimaatveranderingen. Deze kosten worden geschat op 20% van het BNP (Singer et al. 2011). Daarnaast resulteert de investering in nieuwe banen, een beter milieu en minder gezondheidsschade.

Voor het behalen van deze doelstellingen (Singer et al. 2011) zal moeten worden geïnvesteerd in de ontwikkeling van:

- duurzame opwekkingssystemen op een enorme schaal;
- gemoderniseerde elektriciteitsnetten (smart grids);
- veranderen van vervoersystemen;
- verbetering van de energie-efficiëntie van de bestaande gebouwen.

De energiedoelstellingen van de Europese Commissie onderschrijven de noodzaak van meer duurzame energie. Europese Commissie heeft daartoe in november 2007 in het Strategic Energy Technology (SET) plan de ambitie geformuleerd dat in 2020 20% van de energie uit duurzame bronnen moet komen, waarvan 12% uit zonne-energie. Voor 2050 is de doelstelling 30%, met een totale uitstootreductie van 60%.

Het onderzoek naar nieuwe mogelijkheden voor wind- en zonne-energie en energieneutraal bouwen zijn belangrijke onderzoeksitems voor het lectoraat Duurzame Energie. Extra innovatie is nodig om duurzame energie goedkoper te maken. De expertise past ook goed bij de engineeringopleidingen van de HAN. Verder kunnen we concluderen dat het duurzame energieonderzoek van belang is voor de maatschappij en goed past bij het Nederlandse topsectorenbeleid. Verder onderzoek naar wind- en zonne-energiesystemen past ook goed in de ambities van Arnhem. Arnhem staat bekend als de stad van de elektrische energie.

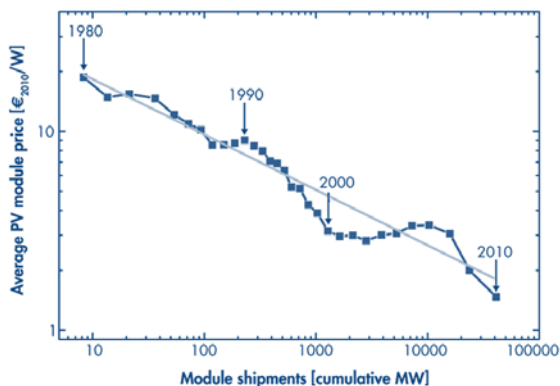
3

Innovaties in duurzame energie

3.1 Inleiding

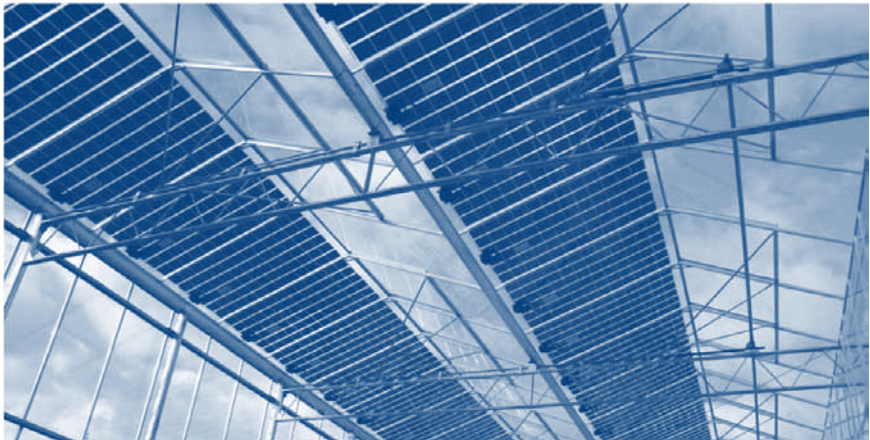
De kansen van onderzoek naar duurzame energie in Nederland en Europa worden geïllustreerd aan de hand van de prijsontwikkeling van zonnecelmodules, zoals weergegeven in figuur 5. In de zonnecelwereld daalt de prijs van een cel met gemiddeld 18% als de omzet zich verdubbelt. In 2007 zagen we nog een afwijking naar boven, omdat de economie goed liep en er schaarste aan silicium ontstond. Op dit moment is de prijs van de cellen flink onder de lijn gedaald door de kredietcrisis en de omvang van de productie- en subsidiemogelijkheden in China. Deze lage prijs is gunstig voor consumenten en bedrijven die willen overschakelen naar duurzame energie. Maar voor de Europese bedrijven die zonnecellen en modules produceren, is het een ramp. Veel van deze bedrijven in Nederland en Europa zijn of gaan failliet. Onze bedrijven kunnen met deze geheel uitontwikkelde producten niet tegen Aziatische producenten concurreren. Voor de Nederlandse en Europese markt liggen er dan ook vooral kansen bij een betere benutting en slimmere toepassingen van bestaande zonnecelmodules. Dit leidt tot nieuwe producten met extra meerwaarde.

Figuur 5. Prijs van PV-modules gedurende de afgelopen dertig jaar
(bron: European Photovoltaic Industry Association EPIA (2011))



We zullen in het lectoraat Duurzame Energie van de HAN dan ook geen nieuwe zonnecellen gaan ontwikkelen. In plaats daarvan richten we ons op het ontwikkelen van bestaande zonnecellen tot nieuwe producten en toepassingen rondom energieneutraal bouwen. Zoals we eerder zagen, is de verhouding kosten-baten van groot belang voor het slagen van de energietransitie. Hoofdstuk 5 geeft een aantal voorbeelden van innovatie waarbij de kosten afnemen en de opbrengsten toenemen. Verder zijn innovaties op het gebied van slimme energienetten nodig, waarbij verschillende bronnen en de energiegebruikers meer samenwerken en enige energieopslag mogelijk is. Het thema energieneutraal bouwen (met als programmamanager Frits Schultheiss) is van belang om de energievraag van woningen en gebouwen te beperken, waardoor de energietransitie goedkoper en dus meer haalbaar wordt.

Figuur 6. Zonnepanelen geïntegreerd in een kasdek (website: <http://twinsolarusa.com>)



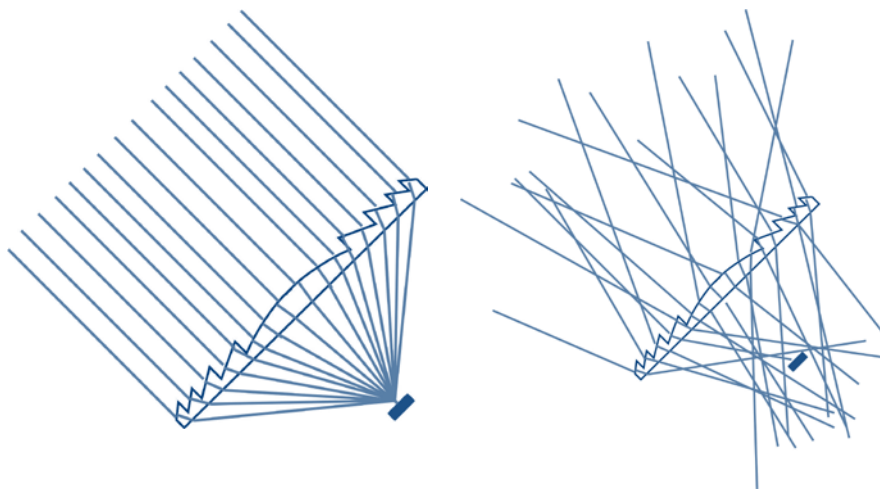
3.2 Zonne-energie: naar een meervoudige energieopbrengst

In hoofdstuk 3 hebben we gezien dat de zonnepanelen een zeer lange ontwikkel- en optimalisatietijd hebben doorgemaakt. Door deze langdurige ontwikkeling en door de enorm opgeschaalde productievolumes in vooral China is het niet aannemelijk dat Westerse landen hier goed kunnen concurreren. De kansen hier liggen vooral in de implementatie van de panelen.

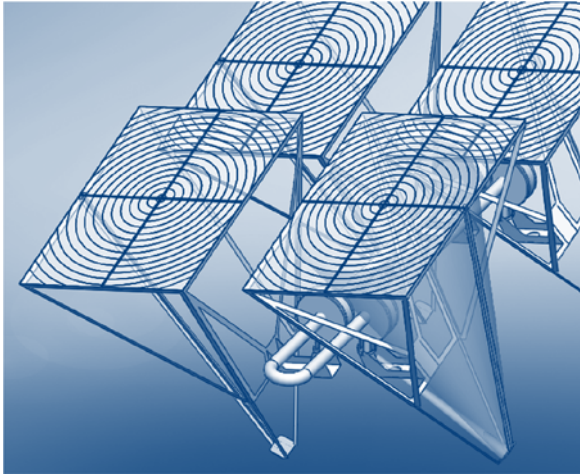
Eén van de vernieuwende toepassingen is de zogenoemde zonneconcentratie. Deze techniek biedt extra mogelijkheden voor gebouwen en kassen. Omdat Nederland een goede naam heeft als het gaat om de productie van kassen, richt het lectoraat van de HAN zich niet op de verbetering van zonnecellen en zonnepanelen, maar op zonneconcentratie voor gebouwen en kassen.

Er zijn enkele kassen gebouwd met zonnepanelen in het dak geïntegreerd (zie figuur 6). 's Zomers gaat dit goed, hoewel brede schaduwstrepen groei en opbrengstverschillen kunnen geven. In de winter is de hoeveelheid zonlicht erg beperkt en zorgen de zonnepanelen voor verdere vermindering van de lichttoetreding. Het gevolg: groei problemen van de gewassen.

Figuur 7. Links: Concentratie van directe zonnestraling; rechts: geen opvang van diffuse zonnestraling



Deze nadelen worden weggenomen door de toepassing van Fresnellenzen, zoals weergegeven in figuur 7. Een Fresnellens werkt als een gewone lens maar is veel dunner. Als de zon schijnt, ontvangt de lens zowel directe als indirecte zonnestraling. Met de lens kan alle directe zonnestraling geconcentreerd en opgevangen worden. Deze opgevangen straling kan weer omgezet worden in elektrische en thermische energie. De collector kan met water gekoeld worden, waardoor warm water ontstaat. De indirecte zonnestraling, het diffuse licht, concentreert zich niet en is daarom beschikbaar als een redelijk constante lichtbron in het gebouw of in de kas. De lichtniveaus zijn hier lager, omdat alle directe zonnestraling opgevangen wordt.

Figuur 8. Concentratie van zonne-energie met Fresnellenzen

Een traditioneel zonnepaneel levert elektrische energie met een rendement tot circa 20% voor de beste panelen. Met zonneconcentratie is meervoudige opbrengst mogelijk: naast elektrische energie is thermische energie gemakkelijk te winnen, omdat die sterk geconcentreerd is. Het totale rendement van deze installatie kan dan meer dan 50% zijn. Een voorbeeld van een zonneconcentratiesysteem is weergegeven in figuur 8. Omdat de directe straling verwijderd is, vermindert ook de warmtelast van het gebouw. Hierdoor kan energie worden bespaard, omdat de airco minder hoeft te koelen. Door deze meervoudige opbrengst ontstaan kortere terugverdientijden. Aan dit project werken vijf studenten mee. Twee studenten Elektrotechniek voor de motoren en de elektronica, twee studenten Embedded Systems Engineering voor de besturing, en een afstudeerder voor de Master opleiding Control Systems Engineering voor de optimale regeling. De bedrijven Bosman kassenbouw, Sika energie, Hakvoort en van Zaal hebben aangegeven dat ze deze techniek willen gaan toepassen.

3.3 Energieconversie: gebruik en hergebruik van warmte

Er is een aantal nagenoeg gratis warmtebronnen beschikbaar. Denk bijvoorbeeld aan afvalwarmte van processen, uitlaatwarmte van motoren en geconcentreerd zonlicht. Deze energie kan op verschillende manieren worden omgezet in elektrische energie. Hiervoor is een aantal conversietechnieken bekend zoals: Rankine Cycle (stoomturbine), Organic Rankine Cycle (ORC), Stirling en Thermo Elektrische Generatoren (TEG).

Een aantal van deze technieken wordt geëvalueerd en nieuwe technieken zijn nog in ontwikkeling. In het lectoraat vindt onderzoek plaats naar de verbetering van het rendement en de energiedichtheid van deze technieken. Daarbij werken we onder andere samen met de Hochschule Rhein-Waal.

Met name de Thermo-Akoestische Stirlingmotor is een veelbelovende techniek voor de conversie van warmte naar elektrische energie. Het principe is voor het eerst ontdekt in 1860 door Pieter Rijke, hoogleraar in Leiden. Hij onderzocht waarom kolenkachels soms geluid produceren. Een buis met op ongeveer een kwart van de hoogte een warmtebron, werkt als een resonator die geluidsgolven versterkt. Met behulp van een luidspreker kan het geluid vervolgens worden omgezet in een wisselspanning. De Thermo-Akoestische Stirlingmotor werkt volgens hetzelfde principe, door in een akoestische resonator geluidsgolven te genereren. Het systeem is vooral de laatste dertig jaar verbeterd door goede warmtewisselaars, een regenerator, en door gebruik te maken van lopende golven. In dat laatste geval is de druk-en snelheidspiek met elkaar in fase waardoor het vermogen toeneemt. Het bedrijf Aster Thermo-akoestische Systemen heeft in deze ontwikkeling een belangrijke rol gespeeld.

Een voorbeeldproject waarin het hergebruik van restenergie centraal staat, is het project SEFE. SEFE staat voor Sustainable Energy From Exhaust gasses. Doel van het project is om meer (elektrische) energie via energieomzetting uit rookgassen te halen. Voor (vracht)auto's of schepen verdwijnt circa 30% van de energie via de uitlaat. Met behulp van een Thermo-Akoestische Stirlingmotor kan een deel van deze energie omgezet worden in elektrische energie. Het eerste doel is om voldoende energie om te zetten, zodat de dynamo overbodig wordt.

Om dat voor elkaar te krijgen, wordt er momenteel onderzoek verricht naar de mogelijkheden van de thermo-elektrische generatoren en de Thermo-Akoestische Stirlingmotor in onderzoek.

3.4 Duurzame elektriciteitscentrales: efficiënter benutten van elektriciteitsnetten

Bestaande energienetten zijn ontworpen voor elektriciteitlevering vanuit een centrale. Met een goed energieopslagsysteem, betere monitoring en betere besturing kan het elektriciteitsnet verbeterd worden.

We spreken hierbij van een *smart grid*. Een *smart grid* is flexibel wat betreft het type energiedrager, bestand tegen sterk fluctuerende belasting en kan in twee richtingen werken. Gebruikers kunnen niet alleen energie ontvangen, ze kunnen het ook leveren. Dit leidt tot een grotere betrouwbaarheid van het net en tot een betere benutting. Ook wordt hierdoor de tariefstructuur van het net beter betaalbaar. Het efficiënter benutten van elektriciteitsnetten is een belangrijke stap in de richting van duurzame energie.

Tijdens de HAN Dag van de Duurzaamheid in 2011 is de 30kW fotovoltaïsche module op het gebouw van HAN Engineering in bedrijf gesteld. Deze module is geïnstalleerd voor het SOPRA- project. SOPRA staat voor Sustainable Off-grid Powerstation for Rural Applications. In dit project worden een 30kW fotovoltaïsche module, een accu, een 60kW windturbine simulator en een biodieselininstallatie aan elkaar gekoppeld. Het resultaat is een duurzame elektriciteitcentrale die in gebieden zonder elektriciteitsnet op een betrouwbare en betaalbare manier energie levert. Deze SOPRA-units zullen met name verkocht worden aan ontwikkelingslanden waar elektriciteit een belangrijke voorwaarde is voor (duurzame) ontwikkeling. Het SOPRA-project wordt gesubsidieerd door EFRO en kent de volgende partners: Alliander, Alfen, Bredenoord, HAN, Kema, Pfixx Solar, TU-Delft en WES. Vooruitlopend op het lectoraat Duurzame energie is in 2010 het project bij de HAN gestart door Tinus Hammink en Frans de Jong. In het project, waaraan ook de nodige bachelor- en masterstudenten en docenten hebben meegewerkt, wordt getest aan hoeveel huishoudens energie geleverd kan worden, wat de bijdrage van elke energiebron is en welke bronnen nu nog een bottleneck vormen. Na afloop van het project zal dit systeem vermarkt worden als duurzame elektriciteitscentrale.

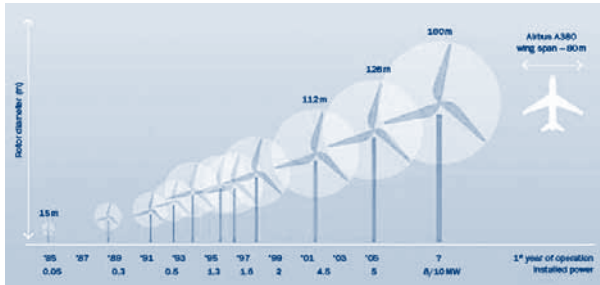
3.5 Energieneutraal bouwen: besparen van energie

In het Lenteakkoord van 2008 is bepaald dat in 2020 de CO₂-uitstoot in de Europese Unie 20% lager moet zijn dan in 1990. Bovendien zal vanaf 2020 alleen nog volledig energieneutrale nieuwbouw plaatsvinden. Het lectoraat voert in dit verband onderzoek uit naar de mogelijkheden tot het realiseren van een energieneutrale gebouwde omgeving. Dat doen we door energiebesparende concepten te ontwikkelen en toe te passen in de bouw (zowel nieuwbouw als renovatie). Daarbij besteden we aandacht aan duurzaam gebruik van bouwmaterialen in de volledige levenscyclus. We kijken niet alleen naar de herkomst en productie van de grondstoffen, maar ook naar de manier waarop ze worden verwerkt.

Het onderzoek rondom energieneutraal bouwen richt zich op het passief en actief gebruik van zonne-energie in bouwconcepten. Meer groen en glas in gebouwen betekent zuivere lucht, meer zuurstof en meer licht. Dit levert over het algemeen betere leer- en werkprestaties op. Verder geeft dit mogelijkheden voor het opwekken van zonne-energie door middel van geconcentreerde PV-cellen, zoals besproken in paragraaf 3.2.

Ook werken we aan de integratie van technieken voor duurzame energie in de bebouwde omgeving. Het gaat daarbij om warmte-koudeopslag in de bodem, installatietechniek, smart grids, en de bouwkundige of architectonische inpassing van duurzame technieken. Aansluitend op het thema ‘duurzame elektrische energie’ kan deze onderzoekslijn energieleverende gebouwen en omgevingen (nieuwbouw/renovatie) onderzoeken, waarbij gas geen item meer is.

Behalve voor techniek is er ook aandacht voor het gedrag en de houding van alle betrokkenen in combinatie met een duurzame bedrijfsvoering. Het onderzoek binnen dit thema is dan ook sterk multidisciplinair van aard. Dit onderzoek wordt geleid door Frits Schultheiss.

Figuur 9. Rotordiameter en masthoogtes als functie van het turbinevermogen

3.6 Windenergie: oogsten van wind op grotere hoogten

Vanaf 1985 tot nu is het maximaal vermogen van windturbines toegenomen van 15 kW tot circa 10 MW. Dit ging samen met een toename van de rotordiameter van 20 meter tot 160 meter. Verder hebben de windmolens tegenwoordig veel hogere masten (eerst 30 meter, nu meer dan 100 meter hoog), zoals weergegeven in figuur 10. De rotordiameter kon alleen toenemen door het gebruik van nieuwe materialen voor de rotor. Tegenwoordig wordt meestal met glasvezel versterkte polyester toegepast.

De technologie is volwassen geworden: de huidige windturbines zijn zeer ontwikkelde machines. Volgens de European Wind Energy Association (EWEA) is er 40% kostenreductie nodig om de windenergieparken in de toekomst concurrerend te laten zijn. Daartoe zijn verdere ontwikkelingen noodzakelijk.

Op dit moment wordt een verdere toename van het vermogen voornamelijk beperkt door eigenschappen van het materiaal. Verdere vermogenstoename leidt tot hoge mechanische spanningen in de rotorbladen, lagers, tandwielen en mast. In het eerder genoemde Strategisch Plan voor Energie Technologie van de Europese Commissie is het streven om in 2020 20% van het totale energievermogen op een duurzame manier op te wekken. Zoveel energie opwekken met alleen windenergie vereist een investering van 6 miljard euro. Om de doelstellingen uit het SET-plan te bereiken, zijn de traditionele windtechnologieën niet voldoende.

Het ‘Upwind’ rapport (Fichaux et al. 2011) verwacht een meer dan lineair materiaalgebruik bij verdere vermogenstoenames van de traditionele windturbines. Zoals weergegeven in tabel 1 neemt het specifiek gewicht – en daarmee de benodigde investering – bij verdere groei van het vermogen sterk toe. Boven het vermogen van 3 MW zijn de prijzen per kW gestegen. Technologische vernieuwing en nieuwe concepten zijn nodig om een doorbraak mogelijk te maken. Om de ambitieuze doelstellingen voor windenergie te behalen, is daarom een nieuwe generatie machines nodig. Momenteel zijn er twee ontwikkelingsrichtingen te zien. De eerste gaat verder met grotere rotordiameters en hogere masten. De tweede richting gaat uit van vliegers, kite- of kleine vliegtuigen. Vooral universiteiten, kennisinstellingen en nieuwe bedrijven houden zich hiermee bezig.

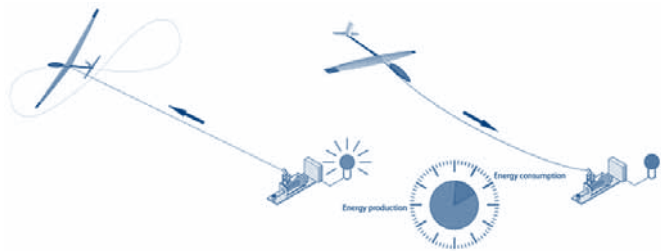
Tabel 1. Overzicht van de totaal gebruikte massa in windturbines van 5, 10 and 20 MW, met data van Fichaux et al. 2011

Onderdeel	5 MW		10 MW		20 MW	
	Massa [Ton]	Specifiek gewicht [T/MW]	Massa [Ton]	Specifiek gewicht [T/MW]	Massa [Ton]	Specifiek gewicht [T/MW]
Rotor kop	320	64	760	76	880	44
Rotor	122	24	305	30	770	38
Toren	347	69	983	98	2780	139
	789	157	2048	204	4430	221

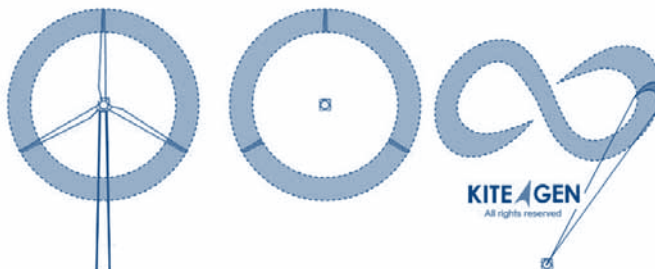
De opbrengst van windenergie kan verder toenemen door opwekking op grotere hoogten. Seifert (2002) heeft aangetoond dat de grenslaag met het grootste gradiënt tot circa 100 meter doorloopt. Omdat dit juist boven de grenslaag is, is de windsnelheid hoger en stabiel. Hierdoor nemen de energieopbrengsten verder toe. Voor het winnen van energie op grotere hoogten wordt gewerkt aan twee oplossingsrichtingen.

De eerste richting – het toepassen van grotere rotordiameters en hogere masten – wordt ingezet door de bestaande windturbine-industrie. Nieuw hierbij is dat nu concepten ontwikkeld worden met sterk afgekoelde generatoren, met supergeleidend materiaal als wikkelingen. Hierdoor kan de massa van de rotorkop met ongeveer een factor drie dalen, bijvoorbeeld van 240 ton naar 80 ton. Dat maakt het mogelijk om masten hoger te maken dan de nu toegepaste maximale hoogte van ongeveer 100 meter. Er zijn plannen om tot hoogtes van 160 meter te gaan.

Figuur 10. Power generation phase and the pulling phase (website Ampyxpower)



Figuur 11. Illustratie van het effect van een hoge tipsnelheidsratio (TSR = snelheid van de bladtip gedeeld door de windsnelheid). Voor een moderne windturbine kan het effect worden vergeleken met het genereren van extra zijwind door een vlieger die in een achtvormig patroon vliegt (website Kitegen).



De tweede richting is gebaseerd op de inzet van vliegers en kleine vliegtuigen om energie te winnen. Vliegers en kleine vliegtuigen komen hoger dan de mast van een windturbine.

Dit is ook de richting waar het windenergieonderzoek van het lectoraat Duurzame Energie van de HAN zich momenteel op richt. De vlieger kan energie leveren door trekkracht van de kabel. Door een generator aan de haspel te bevestigen, is het mogelijk om elektrische energie op te wekken (figuur 10).

Voor dit type van energiewinning zijn in principe twee methoden te gebruiken. De eerste is de laddermolen of de energieopwekkende vlieger. Bij een laddermolen wordt een aantal vliegers of kites boven elkaar samengevoegd tot een 'ladder'. In Nederland is professor Wubbo Ockels hiermee bekend geworden. Bij dit type energiebron is de generator op de grond geplaatst. De generator levert energie als

de vlieger aan de kabel trekt en de haspel aan het draaien brengt. De vlieger heeft een laag gewicht en kan dus met grote snelheid bewegen. Extra beweging in de vorm van achtvormige trajecten levert extra energie (figuur 11). Onlangs was er een demonstratie op de Maasvlakte met een vlieger op 1 kilometer hoogte. Een nadeel is dat na een bepaalde periode, als de kabel uitgerold is, de kabel met vlieger terug getrokken moet worden, hetgeen weer energie kost. De levering van de energie is daarmee discontinu. Bovendien slijt de kabel door het voortdurend op- en afrollen.

Bij de tweede methode bevindt de turbine zich niet op de grond, maar in de lucht, aan boord van een vlieger of een vliegtuig. Dit zijn bijvoorbeeld de systemen van Magenn, Makamipower, Skywindpower en Altaeros Airborne Wind Turbine. Voorbeelden hiervan zijn weergegeven in figuur 12. De bovenste twee zijn vliegtuigconstructies die actief liftkracht genereren. Omdat deze systemen een generator in de lucht houden is extra liftkracht nodig. De onderste twee zijn met helium gevuld, waardoor deze zelf in de lucht blijft hangen. Het vermogen wordt via een kabel naar beneden getransporteerd. Bij de Altaeros Airborne Wind Turbine is een ringvormige diffuser om de turbine geplaatst die de windsnelheid bij de turbine verhoogt. Deze diffuser veroorzaakt een hogere windsnelheid, omdat er extra aanzuiging ontstaat.

Figuur 12. Windenergiesystemen van: Makamipower (A), Skywind-power (B), Magenn (C) en de Altaeros Airborne Wind Turbine (D)



Dit soort systemen levert substantieel meer energie op dan reguliere windturbines.

Daar zijn drie redenen voor:

- Energie wordt gewonnen op een grotere hoogte (200 tot 1000 meter), waar de windsnelheid ongeveer een factor twee hoger is.
- Door beweging in de lucht van de turbine verdubbelt de windsnelheid ten opzicht van de turbine.
- Toepassing van een zogenaamde diffuser leidt tot een windsnelheid in de turbine die nog eens een factor twee hoger is.

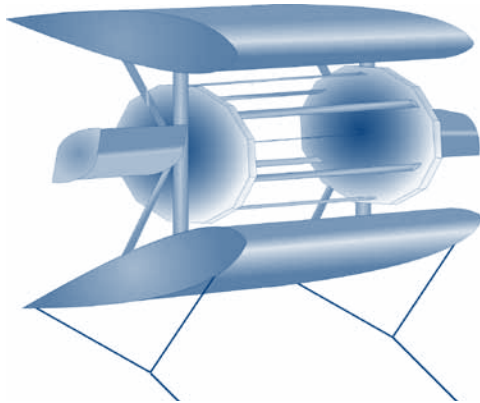
Bij het oogsten van wind met behulp van vliegers staan de volgende onderzoeksvragen centraal:

- Hoe oogst je de energie op grotere hoogte?
- Wat gebeurt er bij plotselinge windstilte?
- Hoe maak je het systeem zo licht mogelijk?
- Waar moet een betrouwbare en veilige besturing aan voldoen?
- Hoe zijn conflicten met de luchtvaart te voorkomen?

Om een zo licht mogelijke turbine te maken, heb ik het REWICON-principe ontwikkeld. REWICON staat voor Roterende Elektrostatische Windenergie-Convertor. In dit onderzoeksproject werkt de HAN samen met ACT, Compositive Works B.V., Kema, Teijn, Tencate, Alliander, Gemeente Nijmegen en Stanmax Electronics. Doel is om met behulp van dit principe windenergie te oogsten, zie figuur 13 en 14. De Darrieus turbine leent zich goed voor het inpassen van een systeem dat is gebaseerd op elektrostatische energiewinning. Door overdracht van statische energie van rotorbladen naar zogenaamde inductoren is het mogelijk dat de bewegende turbine bladen direct elektriciteit leveren. Zonder versnellingsbak en generator. Dat levert uiteraard een aanzienlijke gewichtsbesparing op. Mede omdat de rotorbladen uit opblaasbare elementen bestaan, kan de turbine zeer licht en goedkoop uitgevoerd worden. Bij plotseling windstilte kan de generator als motor werken, zodat de vlieger in de lucht kan blijven. Dit is van belang in bebouwde omgevingen.

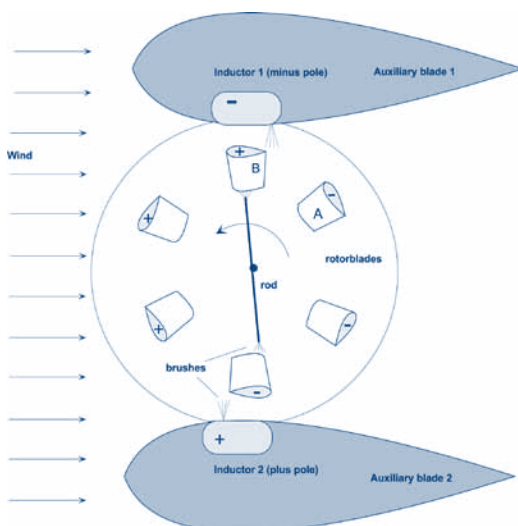
De kracht van het windturbineontwerp van Darrieus is de eenvoudige opbouw, waardoor weinig onderhoud nodig is. Verder heeft de Darrieus turbine een goede vermogenscoëfficiënt. Dat betekent dat er hoge rendementen kunnen worden behaald.

Figuur 13. REWICON turbine met hulpbladen en zelfstart unit



Figuur 14 is een schematische weergave van een elektrostatische generator voor het winnen van energie. De statische energie op de rotorbladen wordt overgebracht naar twee inductoren op de vleugels van de vlieger. Daardoor wordt energie gewonnen. Voor dit project zal de turbine uitgevoerd met zo'n tien rotorbladen voor een optimale integratie met de elektrostatische generator. Het opstarten van de turbine wordt verder verbeterd door speciale profielen die zorgen voor een extra lift van de vlieger.

Figuur 14. Elektrostatische generator met de rotorbladen van een Darrieus type windturbine



De vleugels boven en onder de turbine hebben drie functies. In de eerste plaats genereren zij liftkrachten om het systeem omhoog te brengen. Verder zorgen zij ervoor dat er extra windsnelheid ontstaat bij de turbine door het venturi-effect (Beveren, 2006). Ten slotte herbergen zij de inductieplaten van de elektrostatische generator.

In het onderzoeksproject REWICON van de HAN wordt gewerkt aan onderstaande onderzoeksthema's:

- Verhoging van het vermogen door het variëren in hoogte en het creëren van zijwind. Samen met het gebruiken van een zogenaamde diffuser kan dit resulteren in tot vijfhonderd keer meer vermogen en energieopbrengst per oppervlakte-eenheid windturbineoppervlak.
- Omzetting van windenergie in elektrische energie bij de rotorbladen.
- Het gebruik van nieuwe diëlektrische materialen en de verdere ontwikkeling van de technologie van windturbines. Hierdoor zijn geen zeldzame metalen nodig voor de magneten van de generator.
- Het gebruik van sterke, opblaasbare materialen voor gewichtsbesparing.

Samengevat biedt het systeem een hoge opbrengst bij een eenvoudig te onderhouden systeem. De kosten bij elektrostatische energiewinning kunnen laag blijven. Er is immers geen toren, geen generator en geen versnellingsbak nodig. Dit alles leidt tot een flexibel decentraal inzetbaar systeem waarmee niet alleen aan zee, maar ook verder landinwaarts (in het bijzonder in Gelderland) op een rendabele manier windenergie kan worden opgewekt.

REWICON biedt met de partners van de HAN daarmee een innovatieve, baanbrekende technologie, die Europa kan helpen haar doelen wat betreft duurzame energie en windenergie te bereiken.

Ik schat dat deze ontwikkeling nog wel tien jaar nodig heeft voordat de lucht vol vliegers hangt. Verder verwacht ik dat deze technologie het eerste op zee wordt toegepast, omdat daar de besparingen het grootste zullen zijn.

4

Lectoraat Duurzame Energie

De HAN en in het bijzonder de Faculteit Techniek heeft duurzame energie als speerpunt. De speerpunten sluiten aan bij economische en maatschappelijke topsectoren en bij de vraagstellingen en behoeftes in het beroepenveld. Rondom een speerpunt beschikt de HAN over excellent onderwijs op bachelor- en masterniveau en worden zoveel mogelijk extra studenten aangetrokken. Er is in onze regio een grote vraag naar professionals op het terrein van energietechnik. We willen ons ervoor inzetten dat deze professionals er komen. Op 1 oktober 2011 is het Lectoraat Duurzame Energie opgericht. Het lectoraat is een plaats voor multidisciplinair onderzoek aan duurzame energie systemen. Bij dit multidisciplinair onderzoek zijn verschillende opleidingen betrokken, zoals de bacheloropleidingen Elektrotechniek, Werktuigbouwkunde, Embedded Systems Engineering, Industrieel Product Ontwerpen, Technische Bedrijfskunde, Autotechniek (duurzame mobiliteit), Bouwkunde en Civiele Techniek (energieneutrale wijken) en de Masteropleiding Control Systems Engineering. Verder wordt samengewerkt met andere faculteiten van de HAN. Binnen dit lectoraat is de focus sterk gericht op techniek. Voor de daadwerkelijke transitie zijn uiteraard ook andere expertises noodzakelijk. Denk bijvoorbeeld aan economie, business en marketing.

De gezamenlijk belangen van het bedrijfsleven en de Faculteit Techniek vertalen zich in de ambities van het lectoraat en het recent gestarte expertisecentrum duurzame elektrische energie. In het expertisecentrum werken we aan:

- het versterken van de relatie met het bedrijfsleven;
- het verrichten van toegepast onderzoek rond praktijkvraagstukken;
- het vergroten van het aantal afgestudeerden in de energietechnik en
- competentieontwikkeling bij studenten (ook van andere disciplines) op het gebied
- van de transitie naar een duurzame energievoorziening.

De onderzoekthema's zijn gerelateerd aan de grootste duurzame energiebronnen en de mogelijkheden in de markt om de kosten-batenverhouding van duurzame energiebronnen te verbeteren. De gekozen thema's zijn energieopwekking (zon, wind, energieconversie), energieopslag, energienetten en energieneutraal bouwen als vorm van energiebesparing.

Figuur 15. Kenniskring duurzame energie



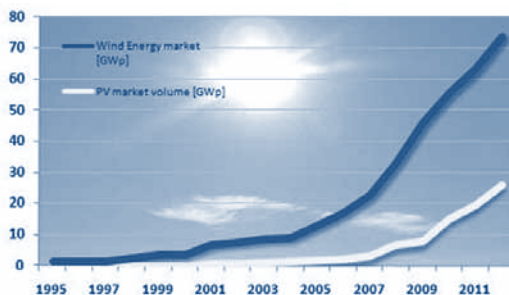
In figuur 15 ziet u een aantal leden van de kenniskring van het Lectoraat Duurzame Energie. In totaal bestaat de kenniskring naast de lector nu uit vier onderzoek/projectleiders, vijf docent-onderzoekers en vijftien studenten.

5

Afsluiting en dankwoord

Jaarlijks komen er heel veel nieuwe zonne- en windenergiesystemen bij (zie figuur 16). We kunnen wel stellen dat deze industrieën volwassen zijn geworden en dat een transitie naar duurzame energie in volle gang is. Onderzoek leidt tot nieuwe toepassingen en nieuwe technieken op het gebied van zonne- en windenergiesystemen, en zal de transitie verder versnellen. Kortom, het is tijd voor duurzame energie!

Figuur 16. Marktomvang van wind – en zonne-energie systemen
(bron: EPIA 2011 en EWIA2011)



Hierbij wil ik allereerst het College van Bestuur en de Directie danken voor de oprichting van het lectoraat Duurzame Energie. Hierdoor ontstaan nieuwe mogelijkheden voor onderzoek aan duurzame energiesystemen, wordt er nieuw onderwijs ontwikkeld en worden studenten voorbereid op de transitie naar duurzame energie. Verder wil ik alle leden van de kenniskring bedanken voor het voortbrengen van het onderzoek naar duurzame energie hier op de HAN.

6

Referenties

- Beek A. van, Haar, H. ter, 2009**, Bouwen met groen en glas, Aeneas Uitgeverij van vakinformatie B.V.
- Beveren, 2006**, Design of an urban wind turbine with diffuser, Master Thesis, Delft University of Technology, Faculty of Aerospace Engineering.
- Boersema J., 2011**, Hoogleraar milieukunde VU-Amsterdam, Interview Duurzaam leven bij A. Knevel, 12 november
- Brekels J., 2011**, 'An engineering methodology for kite design'. PhD thesis, Delft university of Technology
- Brekels J., W. Okkels, 2007**, Design of a large inflatable kiteplane, AAIA-paper, 6999, 1-10
- Bright en Makin, 1969**, Contemp. Phys., vol. 10, no.4, 331-353
- Cao W., 2010**, Wind Turbines, Ch.27, High-Temperature Superconducting Wind Turbine Generators, 27. September, ISBN: 978-953-307-221-0
- Chaundron J. 2012**, De Twijfellobby van de Amerikaanse wetenschap ontmaskerd, Trouw, 31 mei
- Claessens, 2006**, PhD thesis, Delft University of technology
- EPIA 2011**, A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology, 2nd edition
- EPIA report May 2012**, A Global Marked outlook for photovoltaics till 2016
- Fichaux N., J. Beurskens, P. Hjulter Hensen, J. Nilka, 2011**, Upwind, Design limits and solutions for very large wind turbines, FP report, March
- Film 'An Inconvenient Truth'
- Film 'Meat the Truth'
- Fries F.de, Lesschen J.P., Akker J. van den, Petrescu A.M.R., Huissteden J. van, Wyngaert I. van den, 2009**, Bodem gerelateerde emissie van broeikasgassen in Drente, Altera rapport 1859 ISSN 1566-7197
- IPCC, 2007**, Climate Change 2007: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

- Kortmann L.J., Peijnenborgh E., Harrewijn J., van Hulst L., 2007,**
Klimaatverandering: oorzaken, gevolgen en oplossingen, CE-Delft
- Lansdorp B., P. Williams, 2006,** The Ladder mill - Innovative Wind Energy from High Altitudes in Holland and Australia, Wind power 06, Adelaide, Australia, 1-14
- Matton T., Wamka R., 2004,** Dans der Turbines, MattonOffice, © Rotterdam / Wendorf, maart 2004
- Studie naar windturbines en landschappen © Rotterdam / Wendorf, maart 2004,
http://www.mattonoffice.org/projects_greenenergy_dansderturbinesbook.html
- Ogg Frits, 2012,** Privé communicatie
- Olivier and Berdowski, 2001,** Global Warming Art, based on data from: Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR3.2.)
- Oreskes N, 2007,** The Scientific consensus on climate change: How do we know we're not wrong? MIT Press
- Oreskes N., Conway E., 2010,** Merchants of doubt, <http://www.merchantsofdoubt.org>
- Seifert M., 2002,** Windenergieanlagen mit großen Nabenhöhen, Schleswig
- Singer S., Denruyter, J.P., Jeffries B., 2011,** The Energy Report: 100% renewable energy by 2050, WFF, Ecofys, OMA
- Slootweg H., 2012,** Smart Grids fundament voor de toekomst, Energie, nr.1 febr. 10-12
- Wilems I., Teske S., 2011,** Solar Photovoltaic empower the world, EPIA-Greenpace report, 2-2-2011

Geraadpleegde websites:

- Altaeros Energies** <http://www.altaerosenergies.com>
- Ampyxpower-powerplane** www.ampyxpower.com/powerplane
- NASA:** <http://climate.nasa.gov>
- Postech Photonic Glasses Lab** <http://pglab.nolda.co.kr>
- Magenn** www.magenn.com/index.php
- Makanipower** www.makanipower.com
- Queiroz, A. C. M. de, 2011,** www.coe.ufrj.br/~acmq/electrostatic.html
- Skiwindpower** www.skywindpower.com

