



DE VERLEIDING VAN DE FLEXIBELE ZONNECEL

**LECTORALE REDE
KAREL SPEE**

De zonnecel op de voorzijde is afkomstig van de Duitse firma Belectric (www.belectric.com). Het is een organische zonnecel waarvan het zilvercontact is gedrukt in de vorm van bladnerven. In het blad zijn 10 cellen in serie geplaatst om het ledlampje van spanning te voorzien.

DE VERLEIDING VAN DE FLEXIBELE ZONNECEL.

DRS. KAREL SPEE

16 oktober 2015

In dit boekje leest u een uitgewerkte versie van de lectorale rede van lector Karel Spee. Daarna volgen de cv's van de kenniskringleden en korte informatie over een aantal lopende onderzoeken en projecten.

Voorwoord

Onze huidige energievoorziening is niet duurzaam. Schadelijke emissies dragen bij aan klimaatverandering. De herkomst van fossiele brandstoffen maakt de economie afhankelijk van politiek en economisch instabiele landen. Bovendien staat de betaalbaarheid voor huishoudens en bedrijven onder druk. Om tot een duurzame maatschappij te komen zullen we de komende decennia een aantal belangrijke veranderingen in gang moeten zetten, zoals een overgang van klassieke energiebronnen (kolen, olie en gas) naar herwinbare energie uit wind, water, zon en biomassa. We gaan een omslag meemaken van het bouwen van energieverlindende naar energieneutrale of zelfs energieproducerende gebouwen. Zo'n transitie stuit op weerstand vanuit gevestigde belangen en vraagt om een combinatie van zorgvuldig handelen en disruptieve verandering. Het is als dansen op het slappe koord waarbij nieuwe techniek de 'lange stok' is die ons daarbij in evenwicht houdt. Transitie is succesvol wanneer verandering zowel van binnen als van buiten wordt ondersteund. Dit vraagt samenwerking van overheid, ondernemers, burgers, onderwijs en onderzoek.

De lectoraten en onderzoeksgroepen binnen het Expertisecentrum Duurzame Innovatie voeren multidisciplinair praktijkgericht onderzoek uit in een brede waaier van technologische vraagstukken, steeds vanuit een maatschappelijk relevante opgave. Verduurzaming van de wereld is daarbij altijd het hogere doel.

Het lectoraat Solar Productietechnologie en Equipmentontwikkeling is één van de vier lectoraten die samenwerken in het Expertisecentrum Duurzame Innovatie. Haar missie is een bijdrage te leveren aan de transitie naar een duurzame energievoorziening, door het verrichten van praktijkgericht onderzoek aan dunne-film zonnecellen, -folies, -modules en -producten.

Karel Spee is hiervoor onze lector. Zijn opdracht is om vanuit praktijkgericht onderzoek een bijdrage te leveren aan curriculumontwikkeling en kennisverspreiding in de regio. Kennis die de noodzakelijke energietransitie mogelijk maakt en waarmee wij u willen en kunnen verleiden tot het leveren van een bijdrage.

Het zijn immers niet alleen de grote spelers die er toe doen. Ieder van ons, individueel, draagt bij aan de omslag. Uw inspanningen zijn geen druppels op een gloeiende plaat, maar dragen werkelijk bij aan het creëren van een duurzamere wereld. Wij nodigen u uit om samen met ons de komende jaren de uitdaging aan te gaan!

Rene Tönissen, voorzitter stuurgroep EDI
Maya van den Heuvel, manager EDI

Inhoudsopgave

| | |
|--|----|
| CV KAREL SPEE | 8 |
| LOOPBAAN | 8 |
| DUURZAAMHEID IS EEN MUST | 9 |
| ENERGIE 100% HERNIEUWBAAR | 12 |
| ZONNE-ENERGIE VANDAAG EN MORGEN | 18 |
| BIJDRAGE LECTORAAT | 24 |
| SLOTWOORD | 31 |
| LITERATUUR | 33 |
| BIJLAGE: KENNISKRINGLEDEN VAN HET LECTORAAT | 36 |

CV Karel Spee

Karel Spee is sinds begin 2014 lector Solar Productietechnologie en Equipmentontwikkeling bij Avans Hogeschool. Dit lectoraat maakt deel uit van het Expertisecentrum Duurzame Innovatie. Spee is gedetacheerd vanuit Solliance/TNO; in het eerste jaar was hij tevens gedetacheerd vanuit het bedrijf Smit Ovens.



Met zijn lectoraat wil Spee een bijdrage leveren aan de ontwikkeling van (met name) producten waarin flexibele dunne-film zonnecellen worden toegepast. Daartoe vindt toegepast multidisciplinair onderzoek plaats, in een brede opzet. Van de ontwikkeling van productietechnieken voor het maken van zonnecellen, tot en met de verwerking van zonnefolies tot freeform modules in een product. Ook de apparatuur die nodig is voor het produceren van deze producten is een onderzoeksobject. Verder is er binnen het lectoraat aandacht voor designstudies naar nieuwe potentiële producten en het maken van prototypes en demo's. Marktstudies, ten slotte, vormen eveneens een belangrijk onderdeel van het onderzoek.

LOOPBAAN

Spee is chemicus. Zijn doctoraal diploma haalde hij aan de Radboud Universiteit Nijmegen, met afstudeerwerk gericht op het nieuwe materiaal GaAs. Dit materiaal wordt gebruikt in led's en hoogrendement zonnecellen. Na zijn afstuderen in 1985 trad hij in dienst bij TNO, waar hij tijdens zijn eerste jaren werkte aan zonnecellen voor de rechtstreekse productie van waterstof en hogere koolwaterstoffen. Bij TNO heeft zijn carrière zich verder ontwikkeld, met name op het gebied van coating-technologie, materiaalkunde en machinebouw. Hierbij was hij zowel senior projectleider als programmamanager. Spee was een aantal jaren gedetacheerd bij ASML en jarenlang actief als marktanalist en business developer bij het Holst Centre. Dunne-film zonneceltechnologie was voor hem de afgelopen 15 jaar een belangrijk onderzoeksthema. Momenteel is hij naast zijn lectoraat actief als consultant in het onderzoekconsortium Solliance.

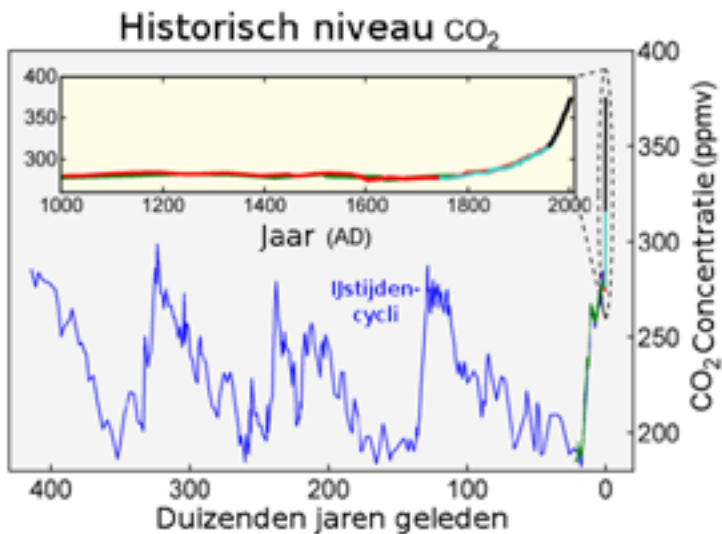
DUURZAAMHEID IS EEN MUST

Duurzaamheid staat hoog in het vaandel bij Avans. Het zou topprioriteit moeten zijn bij iedereen, bij burgers, maar zeker ook bij bedrijven en vooral de overheden. Hoewel er een verbetering optreedt, is er nog veel te weinig interesse in dit onderwerp. Burgers zijn bang dat ze 'gemak moeten inleveren'. Bedrijven denken dat de investering te hoog is of menen dat er onvoldoende *return on investment* zal zijn. En overheden laten zich leiden door ... Ja, door wát eigenlijk? De lobby van de grote machtige bedrijven, de angst dat men niet herkozen wordt, het ontbreken van een langetermijnvisie? De eerste vraag die we ons kunnen stellen is: Moeten we wel duurzaam zijn? Daar zijn grote debatten over, en er wordt veel wetenschappelijk onderzoek naar verricht. Maar het is wetenschappelijk moeilijk om met bijna 100% zekerheid aan te tonen, dat door menselijk toedoen het milieu grondig wordt aangetast. Daar komt bij dat grote bedrijven de openbare discussie sterk beïnvloeden op een negatieve manier. Lees de boeken van Jeremy Rifkin [1] of Jeremy Leggett [2] er maar eens op na. Deze bieden een verbijsterend inzicht in de enorme inspanningen die de grootmachten op energiegebied zich getroosten, bij hun pogingen om koste wat het kost de eigen (financiële) belangen te beschermen. Recent nog publiceerde NRC Handelsblad een artikel over een studie naar de geschiedenis van Exxon en de lobby van Exxon tegen klimaatbeleid [3].

Sommige cruciale grondstoffen beginnen schaarser te worden. Edele metalen bijvoorbeeld, die we in onze moderne hightech elektronica hard nodig hebben. Zoals het element indium, wat toepassing vindt in vrijwel alle displays van tv's, computerschermen en mobiele telefoons. Hoewel er veel controverse bestaat over hoe lang de reserves nog meegaan [4,5], is het een realiteit dat voorraden eindig zijn, en dat we nieuwe voorraden slechts moeilijk en met meer milieuschade kunnen winnen. Een complicerende factor hierbij is dat reserves een politiek strategisch karakter hebben, en sommige landen een overwicht geven [6]. Hergebruik wordt noodzaak. Uiteindelijk zal de wereld voor veel van de basismaterialen volledig circulair moeten worden. Ook in de energiesector zijn de voorraden eindig: olie, kolen en gas raken op en zullen een keer vervangen moeten worden door duurzaam opgewekte energiebronnen. Hoe lang we dit kunnen rekken is koffiedik kijken. Het hangt in grote mate af van wat de wereld nog toelaatbaar vindt als het gaat om het winnen van de reserves. Momenteel is er een enorme toename in gasreserves, door de exploitatie van schaliegas. Maar vinden we dit wel acceptabel? In de Verenigde Staten zijn al vele voorbeelden van zeer ernstige schade aan het milieu met zware vervuiling van het grondwater [7-9]. En wat zijn de langetermijneffecten door het breken (*cracking*) van het gesteente, wat nodig is voor het vrijmaken van het gas? Niemand weet het. We kennen allemaal de problemen in Groningen, de

aardbevingen ontstaan in gebieden waar gas is gewonnen [10]. Oliewinning wordt ook steeds moeilijker. Shell heeft recentelijk, ondanks grote maatschappelijke en politieke bezwaren [11-13], toch toestemming gekregen voor proefboringen in het Noordpoolgebied [14]. Met de olielozingen door het ongeluk met een booreiland van BP in de Golf van Mexico [15] nog vers in het geheugen, kan men zich afvragen of boringen in het Noordpoolgebied wenselijk zijn. Zeker als je bedenkt dat er alternatieven zijn. Het proefboren in de Noordpool is weer een treffend voorbeeld van hoe politieke machthebbers, Obama in dit geval, tegemoetkomen aan de grote olie-industrie [16]. Ondanks alle mooie woorden 'dat veranderingen nodig zijn'. Overigens nog tijdens het schrijven van deze rede kondigt Shell aan dat het stopt met de proefboringen. Niet omdat men luistert naar de milieubewegingen maar omdat de opbrengsten niet opwegen tegen de kosten.

Al die verbranding van fossiele brandstoffen heeft geleid tot een enorme toename van de concentratie CO₂ in de dampkring die waarschijnlijk weer de oorzaak is van opwarming van de aarde.



VARIATIE IN CO₂ CONCENTRATIE IN DE DAMPKRING IN DE AFGELOPEN 400.000 JAAR. IN DE INSERT IS DE LAATSTE 1000 JAAR UITVERGROOT [17].

Feit is dat de hoeveelheid CO₂ in de dampkring op een historisch hoog niveau is. In de afgelopen 200 jaar is die hoeveelheid 1,5 keer zo hoog geworden als in de duizend jaar daarvoor en meer dan 30% hoger dan de hoogste waarden in de laatste 400.000 jaar [17]. Tegelijkertijd is de aarde de laatste 100 jaar circa één graad warmer geworden [18]. Is dit gecorreleerd? Velen met mij denken van wel, al is het wetenschappelijk bewijs hiervoor zeer moeilijk te leveren, en leidt dit onderwerp nog steeds tot grote controverse [19-22]. In maart van dit jaar zijn we de grens van gemiddeld 400 ppm in de atmosfeer gepasseerd. Met een groei van ongeveer 2-3 ppm/jaar betekent dit dat we zonder maatregelen binnen 15-25 jaar op een niveau van 450 ppm zitten. De schatting is dat de aarde dan circa 2°C zal zijn opgewarmd t.o.v. 200 jaar geleden. De doelstelling van de UN is om dit niveau niet te overschrijden [23].

Tegenstanders claimen dat de opwarming van de aarde natuurlijke oorzaken heeft, zoals dat ook in het verre verleden wel het geval was. Terugdringen van CO₂ is volgens hen 'zonde van het geld'. We moeten ons m.i. daarbij een aantal vragen stellen. De belangrijkste is wel: Durven we het risico te nemen en het op zijn beloop te laten? Gelukkig raken steeds meer mensen en organisaties zich ervan bewust dat het anders moet; ook steeds meer politici lijken hiervan overtuigd. Helaas betekent dit niet dat de veranderingen die nodig zijn snel genoeg gaan. We hebben al vele wereldconferenties gezien, telkens leken daarbij de economische belangen de overhand te hebben. Een belangrijk voorbeeld is onze regering, die de eigen afspraken over het terugdringen van CO₂ aan haar laars lapt. Ze moet nu zelfs door een burgerinitiatief via een rechtszaak aan door Nederland ondertekende verdragen worden gehouden [24]. Overigens is de regering tegen die uitspraak in beroep gegaan. Een tweede vraag is, of het überhaupt mogelijk is de CO₂ uitstoot volledig of grotendeels terug te dringen. Mijn stellige overtuiging is: ja, dat kan. In het volgende hoofdstuk zal ik dit toelichten. Dan komen we op misschien wel de belangrijkste vraag: Gaat ons dat onvoorstelbaar veel geld kosten, ten nadele van de economie, zoals de tegenstanders massaal beweren? Of is een transitie naar een wereld waarin we cyclisch met materialen omgaan en waar we energie uit 100% hernieuwbare bronnen halen, wel degelijk mogelijk. De econoom Jeremy Rifkin [1] beschrijft in zijn boeken diverse studies die hij en zijn team hebben verricht, naar mogelijke routes, benodigde investeringen en economische effecten van een transitie, waarbij steden en provincies worden omgevormd naar een nieuwe economie, met een zeer sterke reductie in CO₂ uitstoot, en de creatie van grote hoeveelheden nieuwe banen. Voor een stad als San Antonio (die Rifkin c.s. als voorbeeld nemen) zou dit een investering vergen van 800 miljoen dollar in 20 jaar. Misschien lijkt dit op het eerste gezicht veel, maar in realiteit is dat slechts 5% van de jaarlijkse

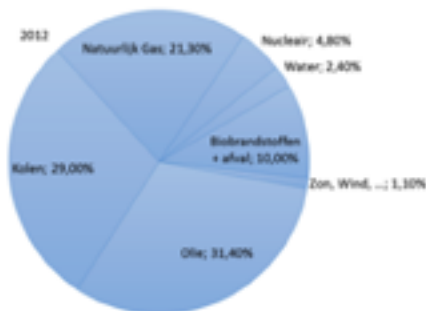
investeringsbegroting van de stad. Een goede tendens hierbij is dat steeds meer bedrijven zich realiseren dat een duurzame bedrijfsvoering geen 'geitenwollensokken' onderneming hoeft te zijn en niet automatisch leidt tot een lagere winst. Sterker nog, een groeiend aantal bedrijven bewijst dat een gezonde en tegelijk duurzame bedrijfsvoering heel goed samengaat. Een mooi voorbeeld hiervan is de ASN Bank waar duurzaamheid het leidende principe is van alle activiteiten, terwijl er toch sprake is van een gezonde financiële bedrijfsvoering [25]. Een ander mooi voorbeeld is Park2020 in Hoofddorp, een bedrijventerrein dat volledig volgens de Cradle to Cradle visie is opgebouwd, dat wil zeggen met volledige recycling en hergebruik van alle materialen. Dit concept werkt zo goed dat de gebouwen aan het einde van hun levensduur zelfs nog winst opleveren door hergebruik, in plaats van dat ze geld kosten bij sloop. Een uitdaging bij dit soort projecten is nog wel om de bedrijfsgebouwen tegelijkertijd ook volledig energieneutraal te exploiteren.

ENERGIE 100% HERNIEUWBAAR

De vraag dringt zich op of de wereld aan haar enorme energiebehoefte kan voldoen door inzet van meer duurzame, hernieuwbare bronnen, zonder dat we onze luxe leefgewoontes moeten versoberen, en ruimte biedend aan de minder ontwikkelde landen om op een vergelijkbaar niveau te komen. Tevens moeten we ons de vraag stellen of, als het al kan, dit op een relatief korte termijn mogelijk is. Of zijn hier wellicht honderden jaren voor nodig? In zijn boek 'The Third Industrial Revolution' [1], betoogt de Amerikaanse econoom en publicist Jeremy Rifkin dat dit zeker haalbaar moet zijn binnen enkele decennia en zonder dat we economisch omvallen. Of, zoals hij het zelf omschrijft: *"The Third Industrial Revolution' offers the hope that we can arrive at a sustainable post-carbon era by mid-century and avert catastrophic climate change. We have the science, the technology, and the game plan to make it happen. Now it is a question of whether we will recognize the economic possibilities that lie ahead and muster the will to get there in time"*. Hij betoogt ook dat de tegenwerking van industriële grootmachten en de onwil bij politici zodanig groot is dat het een enorme uitdaging zal zijn om dit voor elkaar te krijgen. Rifkin beschrijft 5 pijlers (*pillars*) die naar zijn mening tegelijkertijd nodig zijn om de transitie te verwezenlijken. Pijler 1: een transitie naar volledige hernieuwbare energiebronnen. Pijler 2: een wereldwijde transitie van olie, kolen en gasbronnen gecontroleerd door grote energiemachten naar micro-energiecentrales, op het laagste niveau bij de burger. Pijler 3: opslagtechnologie van energie. Pijler 4: smart energie grids. En Pijler 5: een transitie naar elektrische voertuigen gevoed door brandstofcellen of batterijen, en interactief met het energie grid. Avans houdt zich met de meeste van deze thema's bezig, via mijn collega-lectoren. Zelf hoop ik een bijdrage aan pijler 1 en 2 te kunnen leveren; de omslag naar vol-

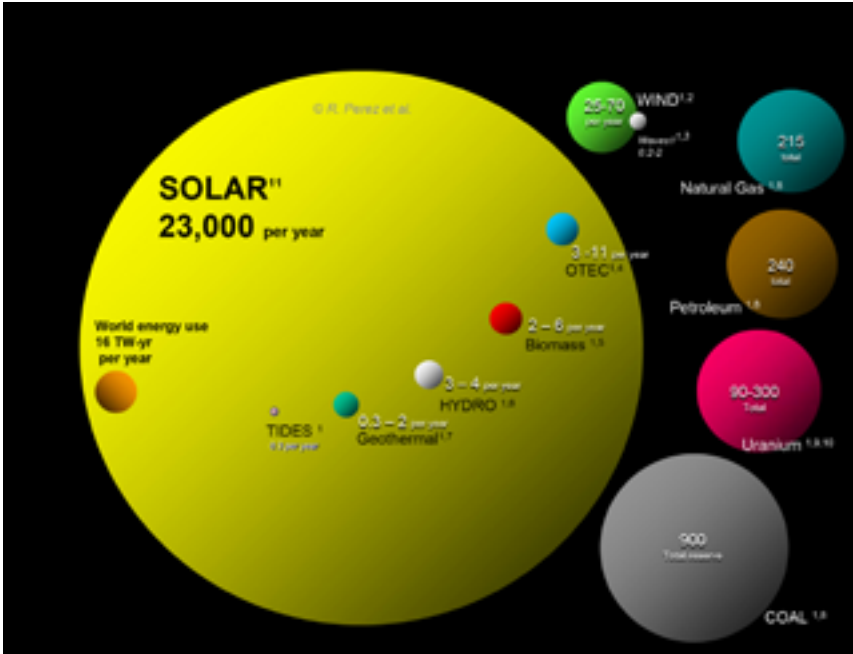
ledig duurzame energie. Binnen de lectoraten signaleer ik nog een paar hiaten. Ten eerste als het gaat om opslagtechnologie, met name batterijen, hoewel collega-lector Danny Geldtmeijer dit al wel gedeeltelijk behandelt in zijn onderzoek. Daarnaast mag er meer aandacht zijn voor de techniek van solarfuels, zonnecellen die hun energie rechtstreeks omzetten in brandstoffen.

Volledig duurzame energie: droom of illusie? De wereldenergieconsumptie was circa 156 Peta Wattuur in 2012 [26], circa. 560 ExaJoule, 560.000.000.000.000.000 Joule. Ter vergelijking: een mens heeft ongeveer 10.000 Joule per dag aan energie nodig, een miljoen keer een miljard minder, per jaar. Nog geen 10% hiervan komt momenteel uit hernieuwbare bronnen.



Per jaar ontvangt de aarde 23.000 TW-yr, bijna 83.000 ExaJoule aan zonlicht. Circa 0,7% hiervan is momenteel genoeg om de totale energiebehoefte van de hele wereld te dekken. Als we van de Nederlandse situatie uitgaan, en we nemen panelen van 160 Watt/m² (polykristallijn Si), dan komt de gemiddelde jaaropbrengst in Nederland op 140 watt/m², omgerekend 0,5 Peta Joule/km². Hierbij is uitgegaan van de genormeerde jaaropbrengst (voor 2011) van 784 kWh/kWp, zoals bepaald door de Stichting Monitoring Zonnestroom [28].

Om aan de volledige wereldbehoefte te voorzien zou 1 miljoen km² volstaan. Hierbij zijn wel de verliezen buiten beschouwing gelaten die optreden bij het omzetten van elektriciteit in andere bruikbare energiebronnen, zoals waterstof en koolwaterstoffen die als brandstof en grondstof dienen voor materiaalproductie. Daarnaast moet men in beschouwing nemen dat de energieproductie van zonnecellen in noordelijke landen als Nederland lang niet zo hoog is als in zuidelijke landen. 1 miljoen km² is circa 3 keer de omvang van Duitsland, ongeveer 12% van de Sahara. Stel dat we alle panelen in de Sahara konden leggen, dan zou 4-5% van die oppervlakte al genoeg zijn, vanwege de hogere zonnestraling daar.



GESCHATTE POTENTIE AAN JAARLIJKSE RENEWABLE ENERGIEBRONNEN EN RESERVES AAN NON-RENEWABLE ENERGIE BRONNEN IN 2009 [27].

Plaatsing van alle panelen in dit soort gebieden stuit op een aantal bezwaren. Ten eerste doemt het probleem op hoe de energie te transporteren naar de rest van de wereld, maar dit zou je technologisch nog kunnen oplossen. Het belangrijkste probleem is wederom van politieke aard. Een beperkt aantal landen zou zo machtig worden dat dit de wereldpolitiek danig scheef zou trekken. Eigenlijk niet anders dan wat we nu al zien bij landen die beschikken over grote voorraden kostbare grondstoffen. Een betere oplossing, zoals Rifkin ook beschrijft in zijn boek [1], is het om energie lokaal te gaan produceren, zodanig lokaal zelfs dat iedere burger energieproducent wordt.

Zouden we in Nederland energieneutraal kunnen worden door opwekking van zonne-energie? Helaas niet. We gebruiken ca. 3300 Peta Joule aan energie per jaar, waarvan 429 Peta Joule in de vorm van elektriciteit. Om die hoeveelheid met zonnecellen op te wekken, zouden we 16% van ons grondoppervlak vol moeten zetten, ofwel circa 6500 km². Volgens een studie van Holland Solar [29] is in

Nederland circa 650 km² dakoppervlak in woningen en utiliteitsbouw, waarvan naar schatting ca. 60% benutbaar is, ofwel 400 km². Volgens berekeningen uitgevoerd in het kader van deze studie, komt daar nog zo'n 200 km² aan geluidsschermen en 200 km² aan parkeerruimtes bij. In totaal 800 km², ruim 10% van de totale energiebehoefte in Nederland. Voldoende voor de huidige behoefte aan elektriciteit, maar duidelijk niet genoeg om volledig te switchen naar hernieuwbare bronnen. In zijn boek "Sustainable Energy – without the hot air" [30] analyseert David MacKay of een land als bijvoorbeeld Groot-Brittannië volledig onafhankelijk zou kunnen worden van traditionele energiebronnen. Volgens zijn analyse is dit bijna mogelijk door gebruik te maken van een mix van wind, zonlicht, water en biomassa-bronnen. Hij komt ongeveer 10% tekort, tenminste als alle hernieuwbare energiebronnen realiseerbaar zijn. 33% zou volgens zijn berekeningen uit zonnepanelen kunnen komen, waarvan 3% uit panelen op daken en 30% uit zogenoemde zonneboerderijen. Maar in tegenstelling tot Nederland is er in Groot-Brittannië slechts circa 5% van het landoppervlak nodig om dit voor elkaar te krijgen. Overigens gaat MacKay uit van een pessimistische opbrengst van zonnepanelen in zonneboerderijen van maar 100 Wp/m². In Nederland zullen we creatiever moeten zijn, willen we meer dan 10% van onze behoefte aan energie uit zonnecellen halen. Zoals boven al aangegeven, hebben we behoorlijke oppervlakken in gebruik die ook energieleverend kunnen worden gemaakt, zoals zonnecellen bevattende geluidsschermen. Hiernaar wordt momenteel in 's-Hertogenbosch onderzoek gedaan [31], door een consortium onder aanvoering van het bedrijf Heijmans. Een ander voorbeeld: de SolarRoad (wegdek als zonnepaneel) [32], waarnaar TNO onderzoek doet, samen met de provincie Noord-Holland en een aantal industriële partners. Een nog weinig ontgonnen gebied is energielevering via de daken van transportmiddelen. In Nederland rijden meer dan 2 miljoen bedrijfsauto's rond en bijna 8 miljoen personenauto's [33]. Stel dat men gemiddeld 2 m² aan cellen op personenauto's zou kunnen aanbrengen, en ca 7 m² op vrachtauto's en opleggers, dan zouden we 30 km² kunnen ontsluiten. Dat lijkt weinig, misschien niet meer dan 5-10% besparing op brandstof, maar het is slechts een eerste stap. Van hieruit ga je verder denken, bijvoorbeeld aan het ontwikkelen en toepassen van lichtgewicht zonnecellen. Maar ook het verbeteren van auto's biedt volop kansen. Een hogere motorefficiëntie, een lager gewicht, een vormgeving die het mogelijk maakt om op een esthetische manier een grote hoeveelheid zonnecelfolie toe te passen. Er is veel mogelijk. Denk bijvoorbeeld aan de Nuna [34], ontwikkeld door studenten van de TU Delft. Of Stella [35], de gezinsauto ontwikkeld door studenten van de TU/e, die volledig op zonlicht rijdt. Het gebruik van Stella leidt zelfs tot een overschot aan energie. Naast auto en vrachtvervoer, beschikt Nederland over de nodige km² aan treinoppervlak en vliegen er heel wat m² aan vliegtuig-

oppervlak rond. Momenteel vliegt een vliegtuig rond de wereld, de Solar Impulse, dat volledig gevoed is door zonnecellen [36]. En ten slotte zijn er nog boten volledig gevoed door zonnecellen, zoals de Avans zonneboot, de AvansSoleil.



ZONNEBOOT, DE AVANSSOLEIL

Meer grootschaliger mogelijkheden vinden we in de bebouwde omgeving, naast dakoppervlakken, is er een nog groter potentieel aan gevels en raamoppervlak van gebouwen. Dit potentieel wordt nog vrijwel niet benut. Enerzijds omdat een groot deel van deze objecten niet optimaal gericht is op de zon. Anderzijds omdat je in deze situaties de relatief goedkope 'standaard panelen' vaak niet kunt toepassen. Hoewel esthetische overwegingen tot op heden niet echt belemmerend hebben gewerkt bij de plaatsing van panelen op daken, kan dat bij nieuwe toepassingen, zoals in façades, wel een issue worden. Verder zal er veel meer variatie gevraagd worden als het gaat om de vorm van de panelen, iets wat met standaardmodules vaak niet mogelijk is. De uitdaging wordt om flexibele productie tegen acceptabele kosten te realiseren. Flexibele zonnecellen, die bovendien produceerbaar zijn in verschillende kleuren, kunnen hier een oplossing bieden. Omdat ze relatief makkelijk in allerlei vormen te maken zijn en gelamineerd kunnen worden op diverse ondergronden zoals, keramiek, hout, metaal of kunststof panelen. Sommige nieuwe

type dunne-film zonnecellen kunnen semitransparant gemaakt worden, waardoor ze te plaatsen zijn in dubbel glas. Zo krijg je ramen waardoor je gewoon naar buiten kunt kijken en waar tegelijkertijd energie mee wordt opgewekt. Er zijn flexibele dunne-film zonnecellen in ontwikkeling die transparant en gekleurd kunnen zijn. Volgens kostenberekeningen zijn deze zonnecellen, mits op grote schaal geproduceerd, straks minstens zo goedkoop als de huidige panelen. In de volgende paragraaf ga ik hier verder op in. Met dit soort materialen kunnen we allerlei nieuwe toepassingen ontsluiten, de hierboven genoemde bijvoorbeeld, maar je kunt ook denken aan toepassingen op textiel, tenten, buitenzonweringen, bedrijfskleding. Of aan toepassingen op of in voorwerpen van kunststof of composiet, zoals: buitenverlichting, deurbellen, binnenzonwering, opladers, tassen, zonnebomen, solar powered dakramen. Dit zal niet voldoende energie opleveren om de totale behoefte te dekken, maar kan wel een goede bijdrage leveren aan het terugdringen van de elektriciteitsbehoefte, door veel van het kleinschalige elektriciteitsgebruik te reduceren. Bovendien zijn er bijkomende voordelen; stand alone toepassingen gevoed door zonnecellen, zorgen voor een grotere onafhankelijkheid van een stopcontact, en ze leveren additionele besparingen op in de gebouwde omgeving. Een deurbel op zonlicht immers behoeft geen elektriciteitskabel en dus ook geen apart stopcontact. Solar power tuinverlichting, of vijverpompen, idem dito.



SEMITRANSPARANTE ORGANISCHE ZONNECEL ONTWIKKELD DOOR SOLLIANCE/HOLST CENTRE (FOTO: HOLST CENTRE)

Ik concludeer dat we - ook in Nederland - veel meer dan circa 10% van onze energiebehoefte uit zonlicht kunnen halen. Mits we breder gaan denken dan alleen toepassingen op daken, en ook het kleinere verbruik niet vergeten. Daar liggen nog vele technologische uitdagingen, niet in de laatste plaats om zonneceltechnologie kostenefficiënt te krijgen. Aan de overheid de taak om te zorgen voor een eerlijker speelveld. Dat wil zeggen: stoppen met het verstrekken van grote verkapte energiesubsidies aan de Nederlandse industrie en financiële consequenties verbinden aan de CO₂ uitstoot. Daarnaast moet het streven zijn om niet slechts energieneutraal te bouwen, maar liever nog te focussen op energieproducerende woningen, zonder nadelige belasting- en btw-constructies [37-40].

ZONNE-ENERGIE VANDAAG EN MORGEN

Geïnstalleerde zonnecelmodules worden tot op de dag van vandaag gedomineerd door kristallijne Silicium zonnecellen. In 2014 vertegenwoordigden deze 91% van de markt. Bij circa 40% van die 91% gaat het om mono-kristallijne panelen. Die zijn zwart van kleur en hebben efficiënties van rondom de 20%. Voor circa 60% gaat het om polykristallijne panelen, veelal blauw van kleur, met efficiënties van circa 14-16%. Verder wordt 9% van de markt ingenomen door dunne-film modules, circa 20% daarvan zijn dunne-film-Silicium (tf-Si) panelen. De overige 80% daarvan bestaat, in gelijke hoeveelheden, uit cadmiumtelluride (CdTe) panelen en koper-indium-gallium-selenide (CIGS) panelen, waarbij de CIGS panelen de sterkste groeier is en tf-Si in betekenis afneemt. Hier zijn verschillende redenen voor. De belangrijkste heeft te maken met de efficiency van de panelen. De tf-Si modules blijven achter en komen zelfs met een (dure) stapeling van cellen, de double of triple junctiecellen, niet boven de 11% uit op laboratoriumniveau.¹ Terwijl zowel CdTe als CIGS cellen in het laboratorium, maar ook in voor de markt geproduceerde modules, nog altijd in efficiëntie stijgen. In het laboratorium komen ze nu al uit boven 20% efficiëntie. Er zijn CIGS panelen op de markt met efficiënties van 16.5%, te vergelijken met poly-c-Si panelen. CdTe panelen hebben als nadeel dat ze de milieuverontreinigende elementen cadmium en telluur bevatten. Deze zitten zodanig in de modules verankerd dat ze niet zomaar vrij kunnen komen, desondanks moeten de panelen na het einde van de levensduur wel op een goede manier worden gerecycled. Bedrijven als First Solar, die CdTe modules produceert, heeft deze recycling goed opgezet, en houdt nauwlettend bij waar modules geïnstalleerd worden. De installatie van CdTe modules vindt vooral plaats in grote utiliteitsprojecten, vrijwel niet bij consumenten op het dak. Mooie zwarte CIGS modules beginnen hun weg naar de consument te vinden, vooral in de noordelijkere landen

1 Bij double of triple junctie cellen worden twee of drie dunne-film-Si zonnecellen, die optimaal actief zijn in verschillende delen van het zonlicht, op elkaar gestapeld.

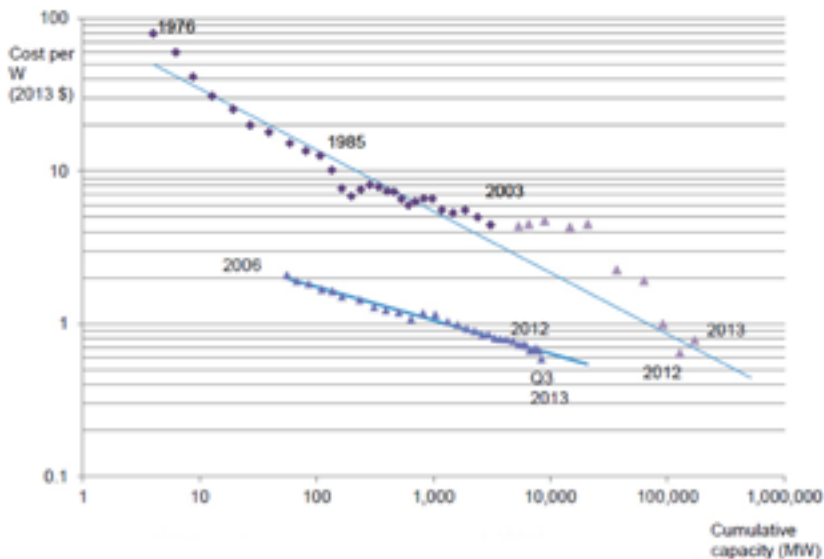
zoals bijvoorbeeld Nederland. Eén van de belangrijkste redenen voor consumenten om hiervoor te kiezen, lijkt te maken te hebben met de esthetica. De modules zijn mooi egaal zwart, in tegenstelling tot de blauwe polykristallijne modules.



CIGS DUNNE-FILM MODULES OP NOORDOOST EN ZUIDOOST DAK

Naast een esthetisch voordeel, bieden dunne-film modules, zoals CIGS, ook een iets hoger rendement per Wp. De modules zijn minder temperatuurgevoelig, op warme dagen zorgen ze voor een hogere opbrengst dan de mono/poly kristallijne Si-panelen. Daarnaast, maar dat geldt voor de meeste dunne-film panelen, zijn ze minder gevoelig voor schaduw. Daar waar c-Si panelen na 10-15% schaduw in het algemeen al niets meer produceren, neemt bij CIGS panelen in een dergelijke situatie de opbrengst lineair af.

Zonneceltechnologie laat de afgelopen decennia een continue dalende prijs zien, waarbij de daling lineair gerelateerd is aan het productievolume, een vrij bekend economisch principe. De kosten, zoals te zien in onderstaand figuur, worden veelal weergegeven als kosten per Watt-piek (Wp), waarbij Wp het piekvermogen is dat een dergelijk paneel kan leveren. In werkelijkheid is de echte productie afhankelijk van de positie op onze aardbol, en de hoek en richting waarin de panelen staan. We zien daarom langzaam een verandering naar werkelijke opbrengst in kWh gerelateerd aan aanschafprijs.



PRIJSONTWIKKELING ZONNECELMODULES. BOVENSTE CURVE C-SI MODULES; ONDERSTE CURVE DUNNE-FILM MODULES [ZIE OOK 41].

Dunne-film panelen zouden relatief meer opleveren in noordelijker landen zoals Nederland. Goede betrouwbare studies hiernaar zijn echter nog wel nodig. Dunne-film panelen zijn goedkoper te produceren dan c-Si panelen, maar omdat de productieaantallen veel lager zijn, is de kostprijs van c-Si en CIGS panelen vergelijkbaar. De prijs van panelen is zodanig laag geworden dat voor veel landen - hoe zuidelijker, hoe eerder - een break-evenpoint is bereikt. Solarenergie kan daar wedijveren met elektriciteit uit het net. In Nederland is dit punt enige jaren geleden al bereikt voor consumenten (kleinverbruikers), omdat die relatief veel belasting en btw betalen op elektriciteit uit het net. Zonnepanelen zullen echter nog ruim een factor 2 goedkoper moeten worden om te kunnen concurreren met steenkoolgestookte centrales. Als je de CO₂ uitstoot van deze centrales meeneemt in de berekening, dan is het verschil kleiner. In zuidelijke gebieden zoals Zuid-Spanje of de Sahara, is de prijs al vrijwel concurrerend.

Zonneceltechnologie vertoont mondiaal een zeer sterke groei. Wereldwijd is er in 2014 al meer dan 180 GWp aan cumulatief geïnstalleerd vermogen [41]. In Nederland hebben we afgelopen jaar de grens van 1 GWp aan zonnepanelenvermogen doorbroken [42]. Nog geen 1/60 deel van alle geschikte daken in Nederland ligt

vol. Een klein percentage, maar toch laten steeds meer consumenten weten dat zij zich storen aan de lelijkheid van de warboel aan panelen op de daken. In het Solar Trendrapport 2014 [43] wordt al geconstateerd dat de consument vaker om esthetisch fraaie oplossingen vraagt. Om dat mogelijk te maken moeten we niet langer focussen op installatie van panelen aan de buitenkant van gebouwen, de zogenaamde Building Added PV (BAPV). Deze geven een rommelig beeld, omdat je bij de installatie rekening moet houden met bijvoorbeeld de schaduw van schoorstenen en de aanwezigheid van dakramen. Door de beperkte keuze aan paneelmaten en de beperkte kleurvariëteit is het vaak lastig om op die manier een esthetisch fraaie aanblik te verkrijgen. Een interessant alternatief is de Building Integrated PV (BIPV). Panelen liggen daarbij niet meer bovenop de dakpannen, maar zijn geïntegreerd in het dak. Ze vormen een integraal onderdeel van het dak, hetzij in de dakplaten als vervanging van dakpannen, hetzij verwerkt in de dakpannen zelf. Er is een heel scala aan producten in ontwikkeling. Het Solar Energy Application Centre (SEAC), houdt een overzicht bij van alle systemen die momenteel op de markt of in ontwikkeling zijn [44].



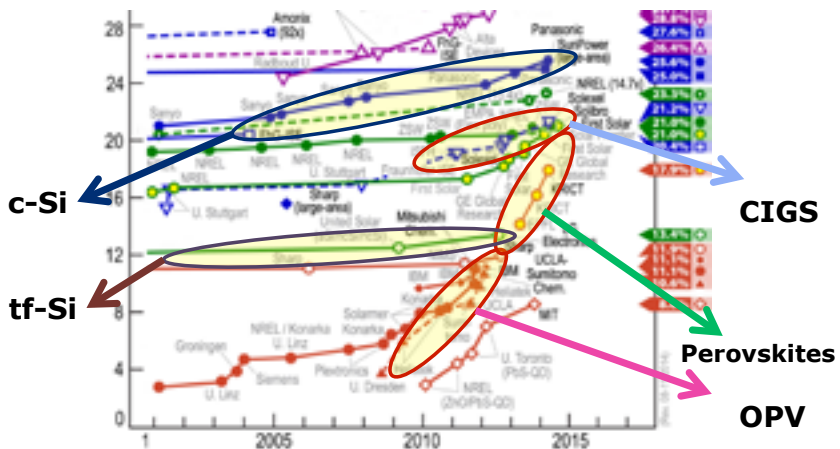
ZONNEPANELEN OP DAKEN; LINKS: ALS ADD-ON (BAPV); RECHTS: VOLLEDIG VERWERKT IN DAK (BIPV) (EEN ESTHETISCH FRAAIE BIPV OPLOSSING VAN AERSPIRE)

Het meest gebruikt op dit moment zijn c-Si of dunne-film zonnepanelen, op starre veelal glas gebaseerde ondergronden (substraten). Maar dunne-film zonnecellen kunnen ook geproduceerd worden op flexibelere folies van polymeer of metaal. Zonnecellen op folies hebben vele voordelen: ze zijn licht van gewicht, moeilijk kapot te krijgen althans in vergelijking met cellen op glas, ze zijn toepasbaar op 3D-voorwerpen en lamineerbaar, wat een volledige integratie in producten mogelijk maakt. Bovendien kunnen ze geproduceerd worden op de rol, waardoor zeer grote productievolumes haalbaar zijn, en de integratie van grote zonnecelmodules

in of op producten mogelijk wordt (zie de voorbeelden van mogelijke producten met de zonnefolie van Hyett Solar [45]). Kostenanalyses laten zien dat productie van dunne-film zonnecellen op de rol goedkoper is dan de fabricage van de klassieke c-Si panelen. Er zijn echter ook nadelen aan verbonden, waardoor toepassingen nog maar mondjesmaat te vinden zijn, en zonnefolie nog weinig voorhanden is. Zo is dit productieproces bijvoorbeeld veel meer onvoorspelbaar dan het proces waarbij je glassubstraat gebruikt. Daar komt bij dat je de cellen moet beschermen tegen water en lucht; terwijl glas daar van nature al een goede barrière voor vormt. Voor flexibele cellen op folie zijn speciale en vaak dure waterbarrièrefolies vereist. Maar afgezien van de technische uitdagingen, is de belangrijkste rede voor de geringe toepassing wel dat door de technologische achterstand het zeer moeilijk is om voldoende productiegrootte te krijgen, om te kunnen concurreren met c-Si. Prijzen zijn relatief hoog omdat de productie vaak alleen op relatief dure pilot schaal plaatsvindt. In het slechte economische klimaat van de laatste jaren wilden en konden bedrijven niet de investeringen doen om op te schalen. Een voorbeeld hiervan is de zojuist aangehaalde Nederlandse firma HyET Solar [45], die tf-Si modules op polymere folie heeft ontwikkeld en in Arnhem een pilotlijn heeft ontwikkeld. Zij krijgen het broodnodige kapitaal niet bij elkaar om te investeren in de bouw van een grote productiefabriek. Ditzelfde probleem hebben vele spelers in de markt die tf-Si of CIGS dunne-film zonnecellen ontwikkelen. Hopelijk verandert het economische tij, want flexibele zonnecellen zijn bitter nodig om een heel scala van nieuwe producten mogelijk te maken. Tot nu toe heb ik alleen gesproken over dunne-film zonnecellen die commercieel, zij het vooral op rigide basis, beschikbaar zijn op de markt, zoals CIGS en tf-Si. Beide typen zijn cellen op anorganische basis, keramisch materiaal, dat weinig flexibel is. Doordat deze zonnecellen zo dun geproduceerd kunnen worden, veel dunner dan een menselijk haar, hebben ze op een flexibele folie toch nog een redelijke flexibiliteit. Een relevante innovatie uit het laatste decennium is de ontwikkeling van de polymere zonnecellen (OPV: Organic PhotoVoltaics). Bij polymere zonnecellen bestaat het fotoactieve materiaal uit organisch materiaal (plastics). Deze zonnecellen zijn nog flexibeler en hebben als groot voordeel dat ze gedrukt kunnen worden bijna zoals je een krant drukt: groot-schalig, via klassieke druktechnieken. Maar ook celproductie via inkjet printen is mogelijk. Omdat het basismateriaal een polymeer is, kan je chemische modificaties aanbrengen, waardoor de zonnecel aan te passen is qua transparantie en kleur. Het belangrijkste nadeel van de polymere cellen is het feit dat ze geen hoge rendementen leveren. De bovengrens ligt waarschijnlijk tussen 10-15% zonlicht-efficiëntie, waardoor de markt vooral gevonden moet worden daar waar flexibiliteit of kleurgebruik cruciaal is. Momenteel zijn er maar een paar bedrijven die dit materiaal leveren. Mondjesmaat en voor relatief hoge prijzen, omdat er nog geen echte

productiecapaciteit is, hooguit een enkele pilot-lijn. Kostenberekeningen laten zien dat OPV, mits op grote schaal geproduceerd, de goedkoopste zonnecellen zijn, met bovendien de kleinste terugverdienperiode, als het gaat om de energie die nodig was om de cellen te produceren [46-47]. Dit wordt veroorzaakt door een scala aan factoren: de goedkope grondstoffen, de mogelijkheid om met behulp van Roll-to-Roll processen op zeer grote schaal te produceren en het feit dat je met goedkope druktechnieken kunt produceren. De grootste kostenpost, met name voor flexibele OPV producten, is de barrièrefolie die nodig is om de zonnecel te beschermen tegen water. Zodra de folie wordt verwerkt in bijvoorbeeld dubbelglas, zoals in energieleverende semi-transparante dubbele beglazing al is gedemonstreerd (zie Heliatek [48]), is deze dure barrièrefolie niet eens nodig. De zonneboom die we bij Avans momenteel in het lectoraat ontwikkelen, maakt gebruik van gekleurde OPV blaadjes (zie de afbeelding op de voorzijde van dit boekje).

Tot slot nog enkele woorden over de laatste ontwikkeling binnen het onderzoek naar zonneceltechnologie, de ontdekking van Perovskiet zonnecellen. Dit zijn zonnecellen gebaseerd op het anorganische materiaal methylammoniumloodtrijodide. Dergelijke zonnecellen, in het laboratorium gemaakt, hebben al efficiënties van boven de 20% laten zien. De productietechniek van de cellen lijkt veel op die van OPV: Roll-to-Roll, met gebruik van redelijk standaard druktechnieken. Solliance is een programma gestart rondom deze innovatie. Als lectoraat hopen we dat we binnen enkele jaren, in samenwerking met Solliance, ook naar producten met dit materiaal kunnen gaan kijken.



WERELDRECORDS DUNNE FILM ZONNECELLEN. BRON KAART: NIST[46]

Bijdrage lectoraat

Aan de basis van mijn lectoraat staan wensen, vragen en ambities van zowel bedrijfsleven als onderwijs. Ik doel daarbij op mijn subsidiegevers Solliance/TNO en - in het eerste jaar van mijn lectoraat - de firma Smit Ovens. Maar ook op de academie AI&I, die zich hard heeft gemaakt voor een lectoraat gericht op de machinebouwindustrie in Nederland, met name toegespitst op Noord-Brabant waar Avans Hogeschool gevestigd is. En dan is er nog de ambitie van het Expertisecentrum Duurzame Innovatie binnen Avans, om vanuit techniek een bijdrage te leveren aan duurzaamheid.

Solliance is een onderzoekscentrum, ondersteund door de Brabantse overheid. In het centrum hebben een aantal instituten en onderzoekscentra de krachten gebundeld op het gebied van dunne-film zonneceltechnologie, zoals ECN, TNO, Holst Centre, IMEC en Forschungszentrum Jülich samen met de TU/e, de TU Delft en de Universiteit van Hasselt. Hierbij neemt Solliance/TNO een deel van het salaris van de lector voor haar rekening. Avans Hogeschool en het lectoraat hopen spoedig onderzoekspartner te worden in Solliance.

Tot voor kort richtte Solliance zich vooral op het ontwikkelen van nieuwe dunne-film zonnecelmaterialen en modules op laboratoriumschaal, en op technieken om de productie van deze dunne-film zonnecellen mogelijk te maken. Dit laatste in nauwe samenwerking met lokale machinebouwers, waarvan Smit Ovens, tot aan haar faillissement begin 2014, er één was.

De focus lag initieel op machinebouw, maar is inmiddels verschoven. Solliance ziet een rol weggelegd voor het lectoraat om onderzoek te verrichten naar toepassingen van de door Solliance ontwikkelde dunne-film technologie en de ontwikkeling van apparatuur om dunne-film zonnecellen in producten te verwerken. Intussen heeft Solliance een nieuw programma gestart waarin applicatieonderzoek een belangrijke rol speelt, en waarin het lectoraat een rol kan spelen.

Mijn jarenlange ervaring als marktanalist en business developer levert het laatste ingrediënt aan het lectoraat, namelijk onderzoek naar de marktpotentie van nieuwe producten. Hoewel onderzoek doen, om het onderzoek zelf, erg leuk kan zijn en veel kennis kan opleveren, geeft het vaak meer voldoening als uit onderzoek innovaties en nieuwe producten voortkomen. Als die innovaties en nieuwe producten dan ook nog een bijdrage kunnen leveren aan een meer duurzame

wereld, dan zou in ieder geval deze lector aan het eind van zijn lectoraatsperiode een tevreden mens zijn.

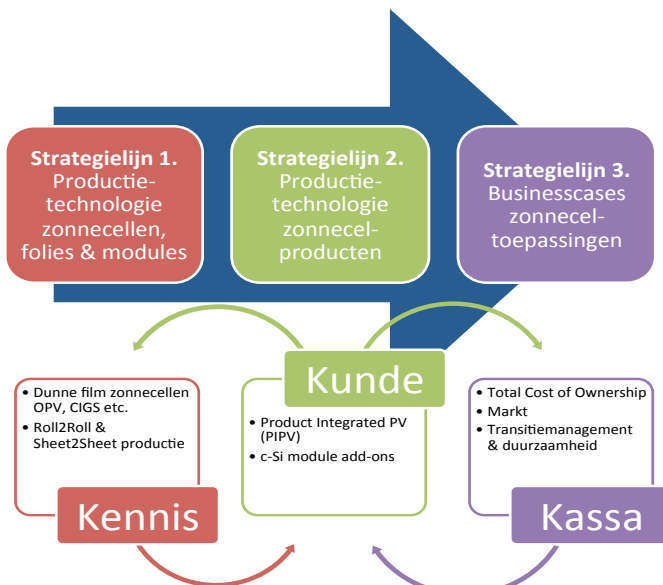
Centrale vraag lectoraat

Hoe kunnen dunne-film zonnecellen, -folies en -modules efficiënt en effectief worden geproduceerd en succesvol worden toegepast in producten in samenwerking met het Nederlandse solar PV ecosysteem?

Bovenstaande wensen en behoeftes hebben geleid tot de centrale onderzoeksthema's van het lectoraat, waarbij we flexibele zonnecellen willen integreren in diverse producten, de technologie willen ontwikkelen om deze producten te kunnen produceren, en de potentiële markt voor deze producten willen onderzoeken.

De centrale vraag is initieel door het lectoraat Solar Technology vertaald in de volgende drie inhoudelijke strategielijnen (focusgebieden):

- Strategielijn 1: Productietechnologie zonnecellen, -folies en -modules.
- Strategielijn 2: Ontwikkeling zonnecelproducten.
- Strategielijn 3: Businesscases zonnecel toepassingen.



Ruwweg doorlopen deze strategielijnen de waardeketen kennis-kunde-kassa. De strategielijnen sluiten enerzijds aan op de kracht van het regionale ecosysteem rondom de high tech maakindustrie (machinebouw en toepassers) en anderzijds op het doel van daadwerkelijke toepassing in de praktijk van zonnecelproducten. Zonder toepassingen kan immers geen bijdrage worden geleverd aan de transitie richting een duurzame energievoorziening.

Een uitgebreide beschrijving van de doelstellingen, plannen en type projecten is te vinden in het meerjarenplan van het lectoraat [50]. In dit hoofdstuk geef ik een aantal voorbeelden van lopend en voorgenomen onderzoek. Zoals aangegeven bestaat de hoofdmoot van ons onderzoek uit het ontwikkelen van toepassingen voor flexibele zonnecelfolies in allerlei vormen en maten, in de vorm van demo's en prototypes van mogelijke nieuwe producten. Daarnaast verrichten we onderzoek naar de potentiële markt voor deze mogelijke nieuwe producten. Om dit te realiseren lopen er verschillende onderzoeken. In de volgende opsomming geef ik aan welke onderzoeken vanuit het lectoraat momenteel worden opgepakt en wie van de kenniskringleden daarvan de 'eigenaar' is.

Technologie – Van folie naar freeform cel

Onderzoek naar hoe we vanuit zonnecel sheets of rollen kunnen komen tot een zonnecelmodule, gesneden in de juiste vorm, verwerkt in of op een product, beschermd met een beschermende folie, voorzien van connecties, en aangesloten op elektronica die de gewonnen power omzet in een bruikbare vorm. In het onderzoek van kenniskringlid Eric Kivits ontwikkelen we samen met verschillende groepen werktuigbouwstudenten snijd-, en/of ponsgereedschappen die de folies in de juiste vorm brengen. Op veel van de folies zijn verschillende coatings aangebracht, die afwisselend kunnen bestaan uit harde, breekbare materialen en zachte, flexibele materialen. Dat dit materiaal snijden een bijzondere uitdaging is, werd mooi verwoord door twee van de studenten: 'Je probeert een matras met daarbovenop een ijslaag zodanig te snijden dat de ijslaag perfect glad breekt, zonder cracks (zie bijlage Eric Kivits voor een foto van een breuk zoals het niet moet).

Verwerking folie in/op product

Veel producten waar je flexibele zonnecel in zou kunnen verwerken, bestaan uit kunststoffen en composieten. Daar kan je zonnecellen op lijmen, maar je zou de cel bijvoorbeeld ook kunnen 'meenemen' in het spuitgietproces. Omdat er weinig kennis bij de opleidingen werktuigbouw aanwezig was op het gebied van

composieten, heeft kenniskringlid Edwin Geldof, tevens voor het lectoraat van Jos Gunging, kennis over dit thema opgebouwd en een nieuw curriculum ontwikkeld. Voor mijn lectoraat moet dit leiden tot projecten waarin we folies in de productieprocesvoering mee gaan verwerken. Doelstelling is om samen met bedrijven uit de kunststof- en composietverwerkende industrie in Nederland, een studie te gaan doen naar de diverse routes waarop je zonnecelfolies kunt verwerken. Samen met die bedrijven willen we vervolgens demo's ontwikkelen voor potentiële nieuwe producten. Overigens zullen we de bedrijven ook bijstaan in onderzoek naar de marktpotentie van deze nieuwe producten. Voorbeelden van producten zijn: kunststof dakpannen, spoilers van vrachtwagens, kunststofdaken van auto's, maar ook kunststof solar powered deurbellen of andere gebruiksvoorwerpen. Edwin Geldof gaat ook onderzoek doen naar (mechanische) duurzaamheid van de producten, tijdens het productieproces en in gebruik. Hoe meten we dit en hoe bepalen we bijvoorbeeld breuk?

Momenteel doet Menno Mandemakers samen met een grote groep studenten Werktuigbouw onderzoek naar de mogelijkheden om zonnecellen in textiel te verwerken. Dit onderzoek gebeurt binnen een recent gestart Raak-Pro project 'Tex-Energie', waarin wordt samengewerkt met Saxion Hogeschool, MODINT (branchevereniging voor textielverwerkende bedrijven), en een tiental bedrijven. Producten kunnen hierbij variëren van (Rode Kruis-)tenten, bedrijfs- of consumentenkleding en scheepszeilen tot en met zonwering. Voor de bedrijven betrokken bij dit project is het belangrijk dat hun potentiële nieuwe producten een weg naar de markt kunnen vinden. Op dat gebied zullen Ad Breukel en een nog te vinden kenniskringlid vanuit een van de Marketing en Business academies een rol gaan spelen. In een marktstudie is het berekenen van winstmarges een zeer relevant onderdeel, ter ondersteuning daarvan zullen we Total Cost of Ownership (TCoO) en Total Cost of Energy (TCoE) berekeningen gaan uitvoeren.

Aansluitingen en elektronica

Bij elk product heb je te maken met de afvoer van de geproduceerde power en omzetting van die power in een bruikbare vorm. Kenniskringlid Xianning Liao doet hier onderzoek naar. In TexEnergie zal hij onderzoeken hoe je de flexibele zonnecellen in het textiel kunt verbinden met enerzijds flexibele batterijen, en anderzijds micro-elektronica, voor elektronische aansturing. Daarnaast is zijn onderzoek gericht op het halen van maximale power uit de cellen en batterijen, en het omvormen van spanningen naar een bruikbaar niveau. Twee onderzoeksthema's hebben zijn specifieke belangstelling. Ten eerste: het omgaan met schaduw. Hoe krijg je maximaal power uit modules die gedeeltelijk in de schaduw staan? Het

tweede thema is micro-elektronica, zoals inverters, om de power om te zetten naar bruikbare niveaus. Xianning Liao was begeleider van de groep studenten Elektrotechniek, die de eerste zonneboom-demo hebben ontwikkeld en gebouwd. Momenteel doet hij samen met een afstudeerder onderzoek naar de optimale plaatsing van zonnecelblaadjes in een dergelijke boom, rekening houdend met diverse factoren, onder andere de veranderende richting van het zonlicht op een dag, schaduweffecten, en de benodigde serie- of parallelschakelingen.

Design

Flexibele zonnecellen worden nog amper toegepast in producten. Producten met rigide zonnecellen kennen een groeiende populariteit. Bekende voorbeelden zijn de rekenmachines en de zonlicht gevoede lampjes voor in de tuin. Als je bij bedrijven zoals Amazon gaat googelen, vind je honderden producten. Zodra het mogelijk is om flexibele folies in allerlei vorm en kleur toe te passen, kan er een groot scala aan nieuwe producten ontstaan. Kenniskringlid Antal Ruhl doet momenteel, samen met een grote groep studenten Communicatie en Multimedia Design (CMD), designstudies naar mogelijke nieuwe producten waar zonnecellen in toegepast worden. We hopen bruikbare ideeën op te doen voor nieuwe producten die niet of moeilijk te verwezenlijken zouden zijn met rigide cellen. Daarnaast is het doel om te leren over de technische specificaties waar die cellen aan moeten voldoen, wat weer nuttig is bij de ontwikkeling van dunne-film cellen, bij bijvoorbeeld Solliance.

Kenniskringlid Sandra Oom gaat onderzoek doen binnen TexEnergie, samen met CMD studenten, deelnemende bedrijven en Saxion Hogeschool. Doelstelling is om designstudies te doen met alle deelnemende bedrijven. Per bedrijf zal één daarvan uitgewerkt worden tot een demo. Ditzelfde proces willen we ook met de kunststof- en composiet verwerkende bedrijven gaan doorlopen.

Zonnecellen in de gebouwde omgeving

De markt voor 'gebouw gebonden' PV oplossingen is al behoorlijk in ontwikkeling. Toch zien we deze producten nauwelijks terug als we op straat om ons heen kijken. Zeker niet bij nieuwbouwprojecten, terwijl bouwvoorschriften juist steeds strengere energie-eisen (EPC) voorschrijven. Kenniskringlid Peter Botz, naast docent Technische Bedrijfskunde ook architect, gaat in het lectoraat onderzoek doen op het vlak van BIPV. Hij zal, zoals hij het zelf verwoordt, 'proberen in kaart te brengen wat succesfactoren zijn op het vlak van specificaties, methodieken, verdimodellen en stakeholders, om PV producten beter geïntegreerd te krijgen in de bouw'.



Peter Botz is tevens de begeleider en inspirator van het zonneboom-project. Doelstelling van dit project is om met een grote multidisciplinaire groep studenten een levensgrote boom, bestaande uit duizenden flexibele zonnecelblaadjes, te realiseren. Afgelopen jaar heeft een groep studenten Elektrotechniek al een eerste studie gedaan, waarbij ze een klein boompje hebben gebouwd. Dit ter voorbereiding op de bouw van een grote boom, die straks bij de Avanslocatie in 's-Hertogenbosch in de tuin komt te staan. De boom wordt dan gebruikt om bijvoorbeeld mobiele telefoons of laptops op te laden tijdens zonnige dagen; maar ook als verlichtingsbron 's avonds, dankzij ingebouwde ledlampjes. Om deze boom te verwezenlijken zijn alle expertises nodig: van het snijden van zonnecelfolie, de elektrotechnische aansluitingen, het design van de boom, tot en met de techniek om deze te produceren. Verder zullen we samen met het team moeten zorgen voor sponsoring en promotie. Last but not least, onderzoeken we of een dergelijke boom als product in de markt is te zetten. De belangstelling voor het project is in elk geval groot. Sponsoring is mogelijk op verschillende manieren: als kleine sponsor door het sponsoren van een enkel blad; als sponsor van materialen en/of toegevoegde kennis; of als grote financiële sponsor.

Esthetiek gaat in mijn optiek cruciaal worden bij de grootschalige acceptatie en toepassing van zonnecellen. Ad Breukel begeleidt momenteel een masterstudente

van de Universiteit van Tilburg die onderzoek doet naar voorkeuren van potentiële klanten op het gebied van esthetiek in relatie tot kosten, opbrengsten, betrouwbaarheid en service. In samenwerking met een Avansstudent Commerciële Economie worden de resultaten nader vertaald in een marketing-communicatieplan voor de sector, met als leidende vraag: Hoe kan je meer bekendheid geven aan esthetisch vormgegeven zonnecellen, bij eigen huisbezitters, installateurs en de bouwsector in Nederland?

Transitie en nieuwe businessmodellen

Zoals in de eerste hoofdstukken beschreven, ondergaat de wereld een enorme transitie: van energiegrootmachten naar vele kleine ondernemers. Is een transitie naar een circulaire economie, met 100% gebruik van renewable energiesoorten, economisch gezien haalbaar? Wat betekent dit voor de bedrijfsvoering van groot-, midden- en kleinbedrijf? In de bouwsector zien we dat de klassieke structuren niet meer toereikend zijn. Bedrijven zullen meer moeten gaan samenwerken om te komen tot energieneutraal en cradle-to-cradle bouwen. Nieuwe verkoopconstructies zijn in opkomst, bijvoorbeeld leasen van zonnepanelen in plaats van kopen. Ad Breukel, docent Technische Bedrijfskunde, doet onderzoek binnen het lectoraat naar nieuwe businessmodellen, obstructies in de transitie en nieuwe verkoopmogelijkheden.

Slotwoord

DE VERLEIDING VAN FLEXIBELE ZONNECELLEN

Ik hoop dat ik erin geslaagd ben u een klein beetje inzicht te geven in de (toekomst) mogelijkheden voor producten waarin flexibele zonnecellen zijn geïntegreerd. Ik hoop ook dat ik u heb kunnen meegeven dat we niet alleen naar de grote applicaties moeten kijken, hoe belangrijk die ook zijn, maar dat zeker ook de kleinere applicaties onze aandacht verdienen. Zoals mijn moeder altijd zei: *'Wie het kleine niet eert, is het grote niet waard'*. Kleinere producten kunnen ons veel leren, terwijl de winstmarges daarvan vaak hoger zijn. Vaak vormen de kleinere applicaties een goede opmaat naar het grotere werk, en dat is wel de richting die we op moeten, willen we de wereld 100% duurzaam maken.

Ik ben dankbaar dat ik me anderhalf jaar geleden heb laten 'verleiden' en de kans heb gekregen om samen met docenten en studenten praktijkgericht onderzoek te doen rondom de flexibele zonnecel.

Ik dank alle studenten die deelnemen aan de vele projecten. Telkens weer word ik verrast door jullie enthousiasme en inzet; daar krijg ik regelmatig een zeer goed gevoel bij. Dank ook aan alle kenniskringleden. Zonder jullie geen lectoraat. Ik kan niet meer zijn dan een stuwende kracht en inspirator. Jullie doen het echte werk, jullie onderzoek maakt het verschil. Dank ook aan de diverse collega's buiten de kenniskring die ons scherp houden door hun bijdragen aan verschillende discussies. Mijn medelectoren, binnen en buiten Avans, dank ik voor de interessante discussies, het aandragen van wetenswaardigheden en kansen, en het samen opzetten en uitvoeren van projecten. De ondersteuning die mijn kenniskringleden en ik krijgen van de dames van het lectoraat, Esther, Sandra en Leslie, maar ook bij AI&I - Wilma, Katinka, Patty - is geweldig. Dank gaat ook uit naar Jetta, voor de ondersteuning bij subsidieaanvragen, en aan Astrid voor de hulp rondom de lectorale rede. Speciale dank ook aan Marjo Stevens met wie ik vooral in het begin zeer nuttige discussies heb gevoerd. Marjo, ik baal er nog steeds van dat ik je niet als projectleider heb kunnen strikken. Ook dank aan Jan Ammerlaan, helaas was jouw waardevolle inbreng kort maar krachtig.

Maya van den Heuvel en René Tönissen vanuit EDI en Andre Gehring en Martin Rodenburg vanuit AI&I, wil ik apart vermelden. Op jullie kan ik altijd een beroep doen, in voor- en tegenspoed. Ik dank jullie voor jullie voortdurende hulp. Martin, jij was mijn steun en toeverlaat.

Dank ook aan Smit Ovens en Wiro Zijlmans, die het lectoraat tot aan het faillissement ondersteund heeft. En dank aan Solliance/TNO die het lectoraat nog steeds ondersteunt. Speciale dank aan Peter Toonssen, zonder jouw nooit aflatende ondersteuning zou ik dit 'verleidende' werk niet kunnen doen.

Tot slot vrienden, familie en mijn gezin. De energie die ik haal uit jullie vriendschap, vakanties, feestjes, gezellig samen carnaval vieren, is absoluut nodig om goed te kunnen functioneren als lector.

Susan, dank voor alle begrip en ondersteuning, voor als ik weer eens laat thuis was of een weekje op congres, of rust nodig had omdat er weer eens iets af moest.

Literatuur

- [1] Jeremy Rifkin, "The Third Industrial revolution", 2011.
- [2] Jeremy Leggett, "Uit de Olie", 2014.
- [3] NRC, 17 september 2015, 'ExxonMobil Top van olieconcern verdoezelde kennis over opwarming', zie ook Neela Banerjee, Lisa Song, David Hasemyer, september 17, 2015 "Exxon, the road not taken", <http://insideclimatenews.org/news/16092015/exxon-believed-deep-dive-into-climate-research-would-protect-its-business>.
- [4] Claire Mikolajczak, Director, Metals and Chemicals Indium Corporation, "Availability of Indium and Gallium", Sept 2009.
- [5] Cassandraclub, "Metalen en mineralen essentieel voor groei", <https://cassandraclub.wordpress.com/2011/03/23/einde-aan-de-groei-metalen-en-mineralen/>
- [6] Annemieke van Roekel, "Grondstoffen schaars door geopolitiek", <http://www.kennislink.nl/publicaties/grondstoffen-schaars-door-geopolitiek>.
- [7] Peter Polder, Fleur de Huu, Albert ten Kate, Update 11 juni 2012, "Factsheet schaliegas, De risico's van onconventioneel aardgas", <https://www.schaliegasvrij.nl/factsheet-schaliegas/>.
- [8] Stephen G. Osborn, Avner Vengosh, Nathaniel R. Warner, and Robert B. Jackson, "Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing", PNAS, 108, 20 (2011), p. 8172–8176.
- [9] EPA/600/R-15/047a, June 2015, Office of Research and Development Washington, D.C., "Assessment of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing for Oil and Gas on Drinking Water Resources, Executive Summary", Draft version
- [10] "Aardbevingen door gaswinning in Groningen", <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/aardbevingen-in-groningen/inhoud/aardbevingen-door-gaswinning-in-groningen>.
- [11] "Tweede Kamer wil verbod olieboringen op Noordpool", <http://www.greenpeace.nl/2014/Nieuwsberichten/Klimaat--Energie/Tweede-Kamer-wil-verbod-olieboringen-op-Noordpool/#>.
- [12] "ASN Bank tegen olieboringen Shell op Noordpool", <http://nieuws.asnbank.nl/asn-bank-tegen-olieboringen-shell-op-noordpool>.
- [13] "Olieboringen op de Noordpool", www.wmf.nl/nl/wat_wmf_doet/dossiers/olieboringen_noordpool/.
- [14] Andrew Critchlow, 31-3-2015, "Barack Obama gives Shell go-ahead to drill for oil in Alaskan Arctic", <http://www.telegraph.co.uk/finance/news-bysector/energy/oilandgas/11507488/Barack-Obama-gives-Shell-go-ahead-to-drill-for-oil-in-Alaskan-Arctic.html>.
- [15] "Olieramp in de Golf van Mexico 2010", https://nl.wikipedia.org/wiki/Olieramp_in_de_Golf_van_Mexico_2010.

- [16] John Vidal, "Shell will despoil the Arctic. But Barack Obama is the real villain here", <http://www.theguardian.com/commentisfree/2015/aug/21/shell-despoil-arctic-barack-obama-real-villain-climate-change>.
- [17] "Mei 2015: CO2 atmosfeer naar 403,70 ppm", http://www.zeeburg-nieuws.nl/nieuws/kv_co2_400_ppm.html, Figuur komt uit: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carbon_Dioxide_400kyr-nl.png.
- [18] Volgens Sargossa.nl, +0.29 graad/30 jaar; <http://sargasso.nl/wereldtemperatuur-update-april-2015/>.
- [19] "De opwarming van de aarde leugen kent nog geen einde", <http://gedachtenvoer.nl/page/global-warming-leugen.html>.
- [20] "Zestien aanwijzingen dat wereldwijde opwarming een leugen is", http://www.niburu.co/index.php?option=com_content&view=article&id=6561:zestien-aanwijzingen-dat-wereldwijde-opwarming-een-leugen-is.
- [21] Greenfacts, "Feiten over de klimaatverandering", <http://www.greenfacts.org/nl/klimaatverandering-ar4>.
- [22] Greenpeace, "Het probleem: klimaatverandering", <http://www.greenpeace.nl/campaigns/schone-energie/het-probleem>.
- [23] www.renewableenergyworld.com/news/2015/06/coalition-of-scientists-start-150-billion-program-to-cut-clean-energy-costs.html.
- [24] Urgenda, "Klimaatzaak tegen de staat", <http://www.urgenda.nl/themas/klimaat-en-energie/klimaatzaak/>.
- [25] ASN Bank, <http://www.asnbank.nl/particulier/wie-zijn-wij/uw-geld-maakt-verschil.html>.
- [26] IEA, "2014 Key World Energy Statistics", <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Key-World2014.pdf>.
- [27] Global Energy Potential, Wikipedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Global_energy_potential_perez_2009_en.svg, originele bron: Perez en Rfassbind, 2009, "A Fundamental Look At Energy Reserves For The Planet".
- [28] Wilfried van Sark et al, "Bronnen en monitoringsinitiatieven Eindrapport", 2012, <http://www.zonnestroomnl.nl/wp-content/uploads/2013/08/Rapport-Bronnen-en-Monitoringsinitiatieven.pdf>.
- [29] Amelie Veenstra, Juni 2015,3, Juni 2015, Holland Solar, "Ruimte voor zonne-energie in Nederland 2020-2050", <http://www.hollandsolar.nl/publicaties-pagina1-a302-rapport-ruimte-voor-zonne-energie-in-nederland-2020-2050.htm>.
- [30] David J.C. MacKay, 2009, "Sustainable Energy – without the hot air", <http://www.withouthotair.com/>.
- [31] <http://www.heijmans.nl/nl/nieuws/heijmans-start-living-lab-solar-noise-barriers/>.
- [32] <http://www.solaroad.nl/>
- [33] CBS, Motorvoertuigenpark, <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=S&LNL&PA=7374hvv&D1=2-11&D2=0&D3=a&HDR=T&STB=G2,G1&VW=T>.

- [34] <http://www.nuonsolarteam.nl/>
- [35] <http://www.solarsteameindhoven.nl/>
- [36] <http://www.solarimpulse.com/>
- [37] Steeph, 29-7-2015, "IEA: Subsidie voor fossiele brandstof is vier keer zo hoog als voor duurzame brandstof", <http://sargasso.nl/wvdd/iea-subsidie-voor-fossiele-brandstof-is-vier-keer-zo-hoog-als-voor-duurzame-brandstof/>.
- [38] Wessel Simons, 11-05-2012, "CEO Eneco: Lage prijs CO2-uitstoot blokkeert opkomst schone energie", <http://www.energiebusiness.nl/2012/05/11/ceo-eneco-lage-prijs-co2-uitstoot-blokkeert-opkomst-schone-energie/>.
- [39] Rob van der Rijt, 18 oktober 2014, "Excuses CPB: We hanteerden verkeerde CO2 prijs", <http://www.klimaatplein.com/excuses-cpb-we-hanteerden-verkeerde-co2-prijs/>.
- [40] duurzaamnieuws.nl, 24 november 2013 "Minister Kamp wil lokale zonne-energie alsnog de nek omdraaien", <http://www.duurzaamnieuws.nl/minister-kamp-wil-lokale-zonne-energie-alsnog-nek-omdraaien/>.
- [41] "Photovoltaics report", FhG-ISE & PSE AG, 26-8-2015, <https://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/aktuelles/photovoltaics-report-in-englischer-sprache.pdf>.
- [42] "Nederland doorbreekt grens van 1GW aan geïnstalleerde zonnepanelen", <http://tweakers.net/nieuws/98478/nederland-doorbreekt-grens-van-1gw-aan-geinstalleerde-zonnepanelen.html>.
- [43] Solar Solutions Int. en Solar magazine, "Solar trendrapport 2014" en Solar trendrapport 2015", <http://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i2935/solar-trendrapport-2015-omzet-nl-solar-sector-2-424-miljoen-euro-mogelijk-500-mw-geinstalleerd-in-2014>
- [44] BIPV status report 2015, SUPSI – SEAC, "IPV Product overview for solar façades and roofs".
- [45] HyET Solar, <http://hyetsolar.nl/>
- [46] Nieves Espinosa, Rafael Garcia-Valverde and Frederik C. Krebs, Energy Environ. Sci., 2011, 4, 1547, "Life-cycle analysis of product integrated polymer solar cells"
- [47] "Life Cycle Assessment of Organic Photovoltaic Systems: Energy, Carbon and Monetary Analysis".
- [48] "Heliatek's transparent solar films will enable tinted windows to generate electricity", <http://www.heliatek.com/en/press/press-releases/details/heliateks-transparent-solar-films-will-enable-tinted-windows-to-generate-electricity>.
- [49] "NREL Best Research-Cell efficiencies", http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg.
- [50] "Aanvraag lectoraat Solar Productietechnologie en Equipmentontwikkeling Lectoraat, From application to module to cell and back", 8 september 2014.

Bijlage :

KENNISKRINGLEDEN VAN HET LECTORAAT

SOLAR PRODUCTIETECHNOLOGIE EN
EQUIPMENTONTWIKKELING

ERIC KIVITS

Eric Kivits is sinds 2009 werkzaam bij Avans, in eerste instantie bij de Academie voor Industrie & Informatica (AI&I) als hogeschooldocent Werktuigbouwkunde. Sinds de zomer van 2015 als hogeschooldocent Mechatronica, bij de Academie voor Engineering & ICT (AEI).



Bij AI&I heeft Kivits de minor Machines in Motion geïnitieerd. In deze minor werken vierdejaarsstudenten Werktuigbouwkunde, Mechatronica en Industriële Automatisering samen aan multidisciplinaire opdrachten voor bedrijven, met de focus op ontwerp van snelle en nauwkeurige machines.

LOOPBAAN

Na zijn studie werktuigbouwkunde aan de TU in Eindhoven heeft Kivits gedurende 20 jaar ervaring opgebouwd in de productontwikkeling bij internationale bedrijven, op het gebied van besturings- en aandrijftechniek, machinebouw en robotica, onder meer in een eigen bedrijf. Zijn passie is het ontwikkelen van 'tuig dat werkt', vanuit het niets innoverende oplossingen bedenken, op de rand van wat fysisch mogelijk is. De uitdaging voor Kivits is daarbij meer en meer verschoven naar het begeleiden en coachen van een nieuwe generatie technici, uitmondend in het docentschap bij Avans. Daar raakte Kivits al snel betrokken bij het lectoraat Mechatronica, en later bij het lectoraat Solar Productietechnologie en Equipmentontwikkeling.

Op initiatief van Kivits is al vóór aanvang van het lectoraat een begin gemaakt met onderzoek naar een productietechnologie voor het snijden van zonnefolie. Dit onderzoek is onontbeerlijk om "roll-to-sheet" machines te kunnen bouwen, die noodzakelijk zijn als we toepassingen van zonnefolie willen realiseren tegen acceptabele kostprijs.

Het lectoraat kon mede door dit initiatief voortvarend van start gaan, met Kivits als eerste kenniskringlid. Vervolgens heeft hij bij de minor Machines in Motion diverse voor het lectoraat relevante bedrijven betrokken, en daarmee een belangrijke voorwaarde geschapen voor de integratie van het beroepsonderwijs met de activiteiten van het lectoraat. In de minor werken studenten en docenten aan actuele ontwerp- en onderzoeksopdrachten binnen voor het lectoraat actuele thema's en met bedrijven als opdrachtgever.

Voor het lectoraat is een doorlopende koppeling met het onderwijs, via minors en afstudeerders, belangrijk voor de continuïteit bij de ontwikkeling en stapeling van kennis en kunde. Kivits heeft bij AI&I de eerste stappen gezet om een dergelijke doorlopende koppeling te bereiken.

HUIDIGE PROJECTEN

Realisatie en test van een solar film roll-to-sheet machine

Deze opdracht is tot stand gekomen in samenwerking met twee instituten, gevestigd in Eindhoven:

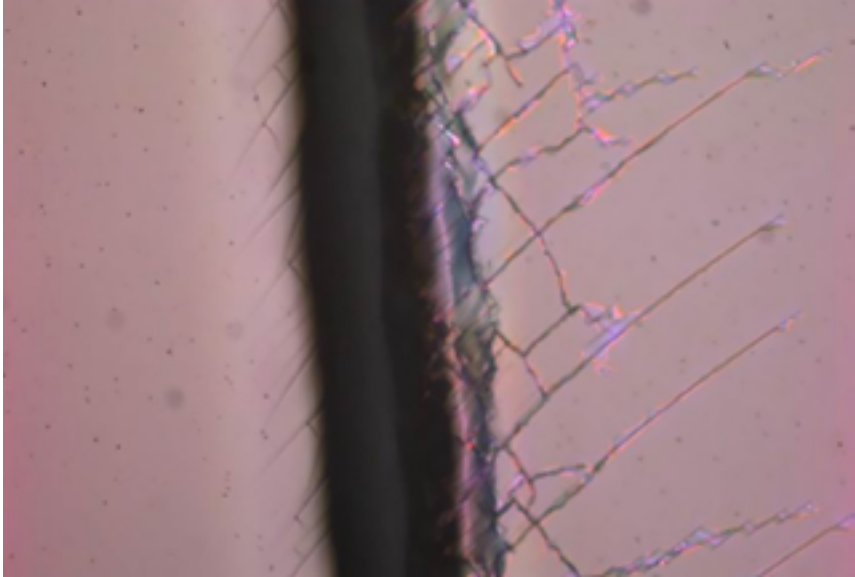
- Holst Centre, TNO onderdeel (www.holstcentre.com);
- Solliance R&D centrum voor dunne-film fotovoltaïsche energie (www.solliance.eu).

Zonnepaneelfolie wordt op rollen geproduceerd in zogenaamde *roll-to-roll* (R2R) productiesystemen. Holst Centre verricht onder meer onderzoek naar foliematerialen en productieprincipes. Binnen Solliance werken diverse bedrijven samen om de productieprincipes op te schalen naar industriële systemen.

Het lectoraat Solar Equipment Engineering wil toepassingen van zonnefolie mogelijk maken in allerlei producten, en zo het gebruik van duurzame energie bevorderen. Omdat zonnepaneelfolie op rollen wordt geproduceerd is het snijden van folie een must. We noemen dat een R2S (*roll-to-sheet*) systeem.

Zonnepaneelfolie bestaat uit meerdere lagen. Je kunt hierin niet zomaar gaan knippen of snijden. Om twee redenen: je zou het materiaal kunnen beschadigen bovendien bestaat het risico dat water- of zuurstofgevoelige lagen vrij komen liggen. Zowel beschadigingen als water/zuurstof inlek leiden tot versnelde degradatie en daarmee kortere levensduur.

In 2014 hebben twee Avansstudenten Werktuigbouwkunde tijdens hun afstudeeropdracht bij het Holst Centre, gezocht naar een optimale snijmethodiek, d.w.z. een methode die zo min mogelijk beschadigingen aan de snijdranden veroorzaakt.



BESCHADIGINGEN NA VERKEERD KNIPPEN FOLIE (FOTO: HOLST CENTRE)

Aan de hand van deze bevindingen heeft een groep studenten in de minor Machines in Motion 2014-2015 een R2S systeem ontworpen in opdracht van het lectoraat en het bedrijf VDL Flow (één van de industriële partners binnen Solliance). In dit automatische R2S systeem wordt folie van een rol afgewikkeld en via een set rollen, die de baanspanning constant moet houden, geleid naar een parabolisch gevormd mes. Dit mes snijdt de foliebaan overdwars tot rechthoekige vellen.

Momenteel heeft een groep studenten de opdracht om het systeem te voltooien, operationeel te maken en te demonstreren. Vervolgens zullen zij vaststellen of de opstelling voldoet aan de ontwerpisen, met als belangrijkste criterium de gerealiseerde snijkwaliteit. Daarbij maakt men gebruik van de adviezen en apparatuur van het Holst Centre en Solliance.



ONTWERP EN REALISATIE SOLAR FILM 2D STANS MODULE

Deze opdracht is tot stand gekomen in samenwerking met het Holst Centre, onderdeel van TNO en gevestigd in Eindhoven (www.holstcentre.com).

Bij een deel van de toekomstige toepassingen van zonnefolie is het gewenst om 2D-vormen te snijden uit een baan folie, of uit losse vellen. Een mooi voorbeeld is een blaadje in de 'zonneboom', die momenteel bij het lectoraat in ontwikkeling is.

Onder begeleiding van Kivits ontwikkelt een groep studenten een stansmodule, om dergelijke 2D-vormen te kunnen produceren en te onderzoeken hoe een optimale productkwaliteit kan worden bereikt.

De module moet in staat zijn om losse vellen (sheets) te verwerken. In eerste instantie worden de sheets handmatig geplaatst in de module. De module moet de sheet uitrichten, nauwkeurig (+/- 0,1 mm) positioneren en vervolgens doorstansen. De stansmodule zal uiteindelijk gekoppeld worden achter de R2S-machine.

CONTACTGEGEVENS

Eric Kivits is bereikbaar via e-mail: pf.kivits@avans.nl, of telefoon: 088 - 525 68 10.

AD BREUKEL



Ad Breukel is vanaf 2005 betrokken bij de opleiding Technische Bedrijfskunde van de Academie voor Industrie en Informatica (AI&I) in 's-Hertogenbosch. Hij doceert technologiemanagement, systeemleer, strategie, innovatie en veranderekunde, en is betrokken bij de onderzoeksleerlijn van Technische Bedrijfskunde. Ook was hij betrokken bij student companies (Solar Bell, Bullet Box), prijsvragen (Groene Waarde), het netwerk Continu Verbeteren (met Heineken en de Waterfabriek), externe projecten (Fhealinc) en Innovation in a Week (Avans innovatieprijs).

Breukel was auteur van het onderzoeksbeleid van de Academie AI&I. Hij is betrokken bij het Avans Academienetwerk Onderzoek (ANO) en heeft zitting in het landelijk overleg 'Afstudeeronderzoek' Technische Bedrijfskunde.

Sinds 2014 kan hij zijn onderwijsactiviteiten verrijken met onderzoekswerkzaamheden in het lectoraat Solar Productietechnologie en Equipmentontwikkeling. Daarvoor was hij actief in het lectoraat Industriële Automatisering en werkte hij samen met de lector van Duurzame Bedrijfsvoering.

LOOPBAAN

Breukel studeerde Technische Bedrijfskunde (ir.) aan de Universiteit Twente met een specialisatie in Informatiekunde en Marketing. Daarna verrichte hij promotieonderzoek naar de strategische inzet van ICT aan de faculteit Bedrijfskunde van de Rijksuniversiteit Groningen. Na een periode gewerkt te hebben als universitair docent Informatiekunde, verschoof zijn aandacht steeds meer naar de ontwikkeling van techniek, zoals dat in de vakgebieden van Innovatie en Managementgeschiedenis aan de orde komt. Hierbij werkte hij altijd samen met studenten en bedrijven uit de regio. Toen de lectoraten zich sterker gingen te profileren, was dat voor hem een mooie gelegenheid om aan het hbo te gaan werken. Zijn uitgangspunt daarbij was en is, onderwijs ontwikkelen dat door praktijkgericht onderzoek is geïnspireerd, en dat vervolgens aanbiedt.

VISIE

De transitie van fossiele energie naar *renewable* grondstoffen staat volop in de aandacht en wordt door vele partijen onderkend als dé uitdaging voor de komende decennia. Op vele niveaus en locaties worstelen bedrijven en overheden met de

overgang naar duurzame energie. Begin september 2015 stond op teletekstpagina 101 zowel een alarmboodschap van de president van de USA over het klimaat, als het besluit van de Nederlandse regering dat ze in beroep gaat tegen het Urgenda-vonnis*². Dat geeft de worsteling goed weer. Het huidige aandeel van duurzame energie (absoluut en procentueel) in de energiemix, en met name dat van zonnepanelen, groeit. Maar er is nog lang geen sprake van een geslaagde transitie. Hiervoor zijn technische en maatschappelijk oorzaken aan te wijzen. De vraag is hoe de mogelijkheden voor de winning van zonne-energie verder kunnen worden ontwikkeld. En vervolgens, hoe je deze boodschap onder de aandacht brengt van potentiële klanten en belangrijke partijen in en rond de sector van zonnepanelen.

De technische mogelijkheden van zonnepanelen nemen sterk toe. Zo is er een steeds hoger rendement op zonnepanelen, zowel bij de klassieke kristallijn zonnepanelen van silicium, als bij de nieuwere CIGS-panelen. Maar er is ook weerstand door de behoefte van bestaande partijen om waar mogelijk fossiele bronnen te blijven exploreren en exploiteren, daarbij ondersteund door overheden.

Een mogelijk andere bron van weerstand kan het willekeurig en overdadig plaatsen van eenvormige zonnepanelen worden. Deze aanpak kan het aanzicht van de leefomgeving schaden. Om toekomstige klanten te winnen voor zonnepanelen, kijken we daarom naar esthetisch gevormde panelen. Panelen die naast energiewinning ook andere functies kunnen vervullen, zoals de bescherming (en zelfs verbetering) van het omgevingsaanzicht, isolatie, en bescherming van het oppervlak waarop het wordt aangebracht.

Het onderzoek van Breukel richt zich op de driehoek dunne-film zonnecellen (als technische innovatie) – netwerkmodel (als sociale innovatie) – marktontwikkeling, waarbij elementen van deze drie invalshoeken elkaar wederzijds beïnvloeden.

1. Technische ontwikkelingen: we willen tot een typologie van zonnepanelen komen op basis van hun onderdelen, productietechniek, vorm en functie. Dunne-film zonnecellen worden daarin opgenomen. Ze kunnen zonnepanelen flexibeler maken en een integraal onderdeel worden van ontwerpbeslissingen van daken en gevels (maar ook van kleding, kassen en auto's).

2 Rechterlijke uitspraak die stelt dat Nederland (overheid) meer moet ondernemen om de uitstoot van CO2 te verminderen

2. Marktontwikkelingen: de markt voor duurzame energie komt niet vanzelf tot stand. Zo geeft voorzitter Ed Nijpels van NLI Ingenieurs aan dat om de markt voor duurzame energie te laten functioneren, je deze actief dient te creëren.
3. Netwerken: in de bedrijfskundige literatuur komen steeds vaker lokale netwerkmodellen aan bod, waarbij klanten en producenten samenwerken om tot energieopwekking te komen. Deze modellen zijn decentraal van aard, zowel bij burgers (in de vorm van participatiemaatschappij) als bij de energiewinning (smart grids). Jeremy Rifkin beschrijft dit als de Derde Industriële Revolutie.

Vanuit deze invalshoeken bestudeert Breukel met name lokale netwerkmodellen die onder meer bestaan uit:

- leveranciers van innovatieve zonnepanelen, zoals producenten, installateurs en andere bedrijven in de Solar bedrijfskolom;
- lokale bedrijven/collectieven van burgers als mogelijke energieproducenten;
- bedrijven/instanties die kennis hebben van het verbinden van genoemde partijen in en over regio's. Dit zou een mogelijke nieuwe rol voor huidige energieleveranciers (zoals Essent, Nuon en Eneco) kunnen zijn.

De stelling is dat marktontwikkeling alleen op gang komt als de partijen in de sector er zelf in geloven (*cognitive turn*) dat deze decentrale ontwikkeling mogelijk is. Dat geloof is nodig aangezien er tegen de status quo in dient te worden gegaan, inclusief de daarbij aanwezige machtsposities.

Om deze *cognitive turn* te realiseren is de ontwikkeling van een overtuigende *narrative* noodzakelijk. Een helder verhaal met ondersteuning van kwantitatieve gegevens, zoals de ordegrootte van de transitie inclusief de bijdrages van de huidige energiebronnen, het rendement van zonnepanelen (LCA, LCC, LCOE, TCoO, etc.) en de opbrengsten minus de kosten (= de marge) die de verschillende partijen in de keten/sector kunnen behalen.

De *narrative* zal gebruikmaken van lokale competenties die zichtbaar zijn verankerd in hun specifieke context en daarmee een krachtige betekenis hebben. Denk bijvoorbeeld aan de hedendaagse hightech en automotive clusters, die putten uit de Brabantse technisch-industriële historie. Of de competenties van DSM als het gaat om materiaalkennis, verbonden aan de Limburgse mijnbouw. En de ontwikkeling van Twentse bedrijven, zoals Ten Cate, die vanuit textieltechnologieën tot nieuwe functionele materialen zijn gekomen. Deze benadering kan gebruikmaken van de symbolische waarde van de ontwikkelde competenties, technieken en

structuren voor regionaal-lokale ontwikkeling, zoals de mijnschacht Zollverein in Essen (Duitsland) bijvoorbeeld laat zien. In de vorige eeuw was Zollverein een voorbeeld van ontwikkeling van succesvolle industriële ontwikkeling. Tegenwoordig wordt het industriecomplex als symbool aangewend voor regionale ontwikkeling (Essen was in 2010 Europese culturele hoofdstad), en levert het door zijn vormgeving en positionering in de regio een bijdrage aan het duurzaam karakter van het Ruhrgebied (European Green Capital Award 2017).

HUIDIGE PROJECTEN

Lopende praktijkgerichte onderzoeken vullen nu al enkele delen van de driehoek in. Zo onderzoeken we, aan de hand van een afstudeeronderzoek van een masterstudente Marketing Management van de Tilburg University, welke voorkeuren potentiële klanten kunnen hebben op het gebied van esthetiek in relatie met kosten, opbrengsten, betrouwbaarheid en service. Verder stelt een Avansstudent Commerciële Economie een marketing-communicatieplan op voor de sector, om bij te dragen aan de bekendheid van esthetisch vormgegeven zonnecellen bij eigen huisbezitters, installateurs en de bouwsector in Nederland. Aan de hand van dit communicatieplan kunnen we verder praktijkgericht onderzoek verrichten om de sector beter te begrijpen en in beweging te brengen. Daartoe schrijven we ook publicaties en zoeken we naar nieuwe vormen van subsidie en financiering.

Ook zijn er diverse studentprojecten geweest vanuit Spark waarbij studenten Technische Bedrijfskunde samenwerkten met collega-studenten van de Bouwkunde opleiding van Avans, om na te gaan welke mogelijkheden bedrijven zoals Heijmans hebben voor de grootschalige inzet van zonnepanelen (Stroomversnelling Brabant; energieneutraal bouwen). Ten slotte werken we samen met bedrijven uit de Gruyterfabriek in 's-Hertogenbosch (Zelfstroom, Partners in Marketing/AERspire) aan nieuwe verkoopconcepten en geveltechnieken voor zonnepanelen.

CONTACTGEGEVENS

Ad Breukel is te bereiken via e-mail: aww.breukel@avans.nl of telefoon: 088 - 525 65 89.

XIANNING LIAO

Xianning Liao is sinds april 2014 kenniskringlid van het lectoraat Solar Productietechnologie en Equipmentontwikkeling. Hij is vanaf 2008 werkzaam als docent Elektrotechniek aan de Academie voor Industrie & Informatica van Avans Hogeschool.



LOOPBAAN

Xianning Liao is afgestudeerd in Mechatronica aan de Katholieke Universiteit Leuven en gepromoveerd in Mechanical Engineering aan de Universiteit Twente. Met zijn proefschrift deed hij onderzoek naar een informatiesysteem voor het laser bewerken van materialen.

In zijn 13-jarige loopbaan in het bedrijfsleven ontwikkelde hij PLC controle units en mechatronische systemen bij Omron en ontwierp en ontwikkelde hij diverse elektrische/mechatronische systemen bij Philips. Liao verrichte daarnaast diverse onderzoeken op het gebied van regeltechniek, motion control, industriële controle netwerk en draadloze communicatie.

HUIDIGE PROJECTEN

Afgelopen jaar heeft Liao een groep studenten Elektrotechniek begeleid, bij het ontwikkelen en bouwen van de eerste zonneboom. Daarnaast heeft hij samen met studenten op het dak van de Avanslocatie in 's-Hertogenbosch praktijkonderzoek en -metingen verricht bij dunne-film CIGS panelen. In alle projecten binnen het lectoraat, zoals de Zonneboom, het Raak-Pro project TexEnergie en projecten in aanvraag, is hij de spil in de elektrotechnische aansluitingen van de (flexibele) zonnecellen. Zijn specifieke aandachtgebied zijn de micro inverters, en het vraagstuk hoe zo veel mogelijk power uit panelen te krijgen die gedeeltelijk in de schaduw staan.

CONTACTGEGEVENS

Xianning Liao is te bereiken via e-mail: x.liao@avans.nl of telefoon: 088 - 525 61 41.

PETER BOTZ

Peter Botz is vanaf de start kenniskringlid van het lectoraat Solar productietechnologie en equipmentontwikkeling (Solar). Sinds september 2014 is hij betrokken bij de derde strategielijn van het lectoraat; businesscases zonnecel toepassingen.



LOOPBAAN

Botz studeerde Architectuur aan de Technische Universiteit Eindhoven. Tijdens zijn studie verbreedde zijn interesse van 'techniek en ontwerp', naar de dynamiek rondom de bouwwereld. Hoe en door wie komen projecten tot stand en welke impact hebben ze op de gebouwde omgeving? In het verlengde hiervan is hij afgestudeerd met een focus op 'Architecture and Urban Cultures'. Daarna heeft hij bij uiteenlopende architecten-/onderzoeksbureaus zowel de gebouwde omgeving ontworpen en ingevuld, als bestudeerd op het vlak van sociaal-maatschappelijk, ecologisch en economisch-ruimtelijk verband.

Met deze breedte en zijn sociale betrokkenheid is hij in 2014 het docententeam van de opleiding Technische Bedrijfskunde van Avans in 's-Hertogenbosch komen versterken. Binnen het team heeft Botz zich geprofileerd op het vlak van duurzaamheid en (technische) innovatie. Deelname aan het lectoraat biedt hem de mogelijkheid om zijn kennis van de bouw en technische bedrijfskunde te koppelen aan de opkomende en ontwikkelende markt van Solar producten. Het lectoraat is een verrijking van zijn activiteiten binnen onderwijs en onderzoek.

HUIDIGE PROJECTEN

Op dit moment focust Botz zich op twee onderwerpen. Ten eerste, de ontwikkelingen rondom Building Integrated PV (BIPV). De eerste zonnepanelen werden gemonteerd bovenop een bestaand dak, tegenwoordig neemt de marktvraag naar geïntegreerde oplossingen toe. Ondanks deze veelbelovende groeipotentie, worden producten nog niet op grote schaal toegepast, de vraag is: Waarom niet?

Het tweede onderwerp is het Zonneboom project. Een ontwerp- en bouwproject dat met en door studenten in het collegejaar 2015-2016 wordt uitgevoerd. Een multidisciplinair studententeam gaat transparante, dunne-film zonnecellen verwerken in een nieuw product; een zonneboom, die stand-alone - en daarmee op elke

willekeurige en/of tijdelijke plek - energie kan leveren voor mobiele apparaten als smartphone, tablet of wellicht elektrisch vervoer.

CONTACTGEGEVENS

Peter Botz is bereikbaar via e-mail: p.botz@avans.nl of telefoon: 06 - 10 25 05 27.

BIPV

BIPV staat voor Building Integrated Photovoltaics, ofwel gebouwgeïntegreerde zonnecelproducten. BIPV is wat anders dan BAPV, Building Applied PV, de bekende zonnepanelen die bovenop bestaande daken gemonteerd worden. Veelal geen fraai aanzicht en daarom is er behoefte aan nieuwe, betere, mooiere, slimmere oplossingen in het dak, maar ook in de gevel.

De markt voor 'gebouwgebonden' PV oplossingen is al behoorlijk in ontwikkeling. Toch zien we deze producten nauwelijks terug als we op straat om ons heen kijken. Zeker niet bij nieuwbouwprojecten, terwijl bouwvoorschriften steeds strengere energie-eisen (EPC) voorschrijven.

WAAROM GAAT HET DAN MIS?

Een van de belangrijke oorzaken is de cultuur in de bouwsector en de opzet van de bouwkolom; de manier waarop de verschillende partijen samen een project realiseren. In de bouwkolom is het gebruikelijk dat de verschillende partijen na elkaar aan het werk gaan en dan hun expertise aanwenden. Op het moment dat de architect gaat ontwerpen, is de installateur vaak nog niet geselecteerd. En als de installateur gekozen is, staat het eindresultaat al vast. Dit bevordert het integreren van complexe PV producten in de bouw niet.

Wanneer partijen wel een team vormen, is dat nog geen garantie voor succes. Nog los van het vocabulaire - ontwerpers praten over vorm, kleur en maatvoering terwijl technici spreken over cijfers, prestaties en rendementen - werken ontwerpers liever met 'materialen' dan 'producten'. Materialen kunnen ze nog naar eigen inzicht (ver)vormen, terwijl producten juist bepalend, dus beperkend werken. Dit vraagt een flexibiliteit van PV producten die op dit moment (technisch) niet haalbaar is.

Naast deze praktische aspecten spelen ook risico en verantwoordelijkheid een belangrijke rol. Meer specifiek: de risicomijdende houding en een beperkte aansprakelijkheid. Omdat gebouwen doorgaans lang meegaan, is er het risico van storingen op de lange termijn. En wie draagt dan de verantwoordelijkheid? Dit is dikwijls niet duidelijk en werkt negatief door op het doen van diepte-investeringen.

Ook spelen financiële aspecten een grote rol. Een ontwikkelaar is doorgaans niet de gebruiker van een gebouw. Specifiek voor PV betekent dit dat het financiële voordeel (lagere energiekosten tijdens het gebruik) niet terechtkomt bij de investeerder. Daarmee is het maar sterk de vraag of deze een hoger investeringsrisico wil nemen tijdens de planontwikkeling.

BIPV DAN MAAR GEWOON AFSCHRIJVEN?

Nee, maar het vraagt wel om een cultuurverandering in de bouw. Door de crisis van de afgelopen jaren is de bouwsector wakker geschud en zijn grote spelers zoals, aannemers, coöperaties, ontwikkelaars en adviseurs, gaan inzien dat ze slimmer en efficiënter moeten samenwerken. Onder meer om grip te houden op de complexiteit en kwaliteit van energiezuinige gebouwen. Er worden stappen gezet van arbeidsintensieve en kwetsbare werkwijzen op lokale bouwplaatsen, naar standaardisatie en kwaliteitscontrole. Dit krijgt vorm door de productie van componenten en modules in een beheerste productieomgeving. Daarnaast zorgen nieuwe verdienmodellen voor een andere visie op de bouw. Zoals *Design-Build-Maintain*, waarbij de prestaties na oplevering bepalend zijn in het ontwerpproces. BIPV oplossingen vormen daarin juist een kans, in plaats van een obstakel.

In zijn onderzoek op het vlak van BIPV brengt Botz de succesfactoren in kaart op het gebied van specificaties, methodieken, verdienmodellen en stakeholders. Met als uiteindelijke doel: een betere integratie van PV producten in de bouw.

ZONNEBOOM

In het collegejaar 2015-2016 krijgt onderzoek van het lectoraat Solar Productietechnologie en Equipmentontwikkeling een gezicht. In een nieuw te ontwikkelen zonneboom wordt een nieuwe generatie zonnecellen verwerkt. Een multidisciplinair team van studenten gaat aan de slag met de praktische en technische vraagstukken die hierbij komen bovendrijven.

MAAR WAT IS EEN ZONNEBOOM

Wellicht ben je al wel eens een zonneboom, van klassieke rigide (glazen) zonnecellen, tegengekomen. Bijvoorbeeld langs de 'Weg van de toekomst' in Oss. Of op een festival waar ze gebruikt worden voor het opladen van mobiele telefoons.

In het lectoraat doen we onderzoek naar de toepassing van een nieuwe generatie flexibele zonnecellen. Deze cellen kunnen, onder andere door printtechnieken, in elke gewenste vorm worden gemaakt, dus ook in de vorm van blaadjes. Hierdoor is het mogelijk een 'boom' te bouwen die lijkt op een echte boom.

Deze nieuwe PV producten maken het aantrekkelijk om energie te produceren op andere, ongebruikelijk plaatsen: het park, bij overheids- of kantoorgebouwen, of zelfs in eigen tuin. De producten bieden tevens de mogelijkheid om energie ter plekke te gebruiken als (Led)verlichting, of als oplader voor telefoon, laptop. Mogelijk zelfs als energievoorziening van de elektrische fiets.



HUIDIGE ZONNEBOOM LANGS DE 'WEG VAN DE TOEKOMST' IN OSS

HET ZONNEBOOM PROJECT

In het schooljaar 2014-2015 heeft een groep van zeven studenten Elektrotechniek een eerste verkenning gedaan naar een geschikt systeem. Dit hebben ze toegepast op een prototype, een kleine boom met ca. 50 blaadjes.

Met de opgedane ervaring is in het schooljaar 2015-2016 een multidisciplinair studententeam van verschillende opleidingen gestart. Vanuit hun expertise (Elektrotechniek, Werktuigbouwkunde, Technische bedrijfskunde, Design en/of Business) gaan zij de krachten bundelen bij het ontwikkelen van een grote boom. Het lectoraat Solar Productietechnologie en Equipmentontwikkeling ondersteunt de studenten bij de realisatie.

Wij willen dit project uit laten groeien tot een succes, maar dat lukt ons niet alleen. We kunnen de hulp van enthousiaste partners en sponsors goed gebruiken. Bent u geïnteresseerd, heeft u interesse om bij te dragen, of heeft u verdere vragen, neem dan contact op met duurzame-innovatie@avans.nl.



PROTOTYPE MET NIEUWE GENERATIE ZONNECELLEN, GEKLEURD, TRANSPARANT, FLEXIBEL EN VORMVRIJ.

Edwin Geldof

Edwin Geldof is sinds 2014 kenniskringlid bij het lectoraat Solar Productietechnologie en Equipmentontwikkeling.

LOOPBAAN

Geldof studeerde Lucht- en Ruimtevaarttechniek aan de Universiteit van Delft en studeerde af bij de vakgroep Stabiliteit en Besturing m.b.t. ruimtevaarttoepassingen.

Vervolgens heeft hij vele functies bekleed in het bedrijfsleven als engineer, design leader, project manager en hoofd engineering, en manager development in de high tech sector. Design, research & development, innovatie en educatie, kenmerken zijn professionele interesses. Hij was eindverantwoordelijk voor het ontwerp, de productie, beproeving en kwalificering van verschillende ruimtevaartmodules of -structuren zoals elektronische behuizingen voor satellietinstrumentatie en hoog belaste lichtgewicht mechanismen en structuren binnen de ruimtevaart.

Geldof deed daarnaast veel ervaring op als engineer/adviseur Reliability Availability Maintenance Safety (RAMS). Binnen het programma van de Europese draagraket Ariane, maakte hij veiligheid- en betrouwbaarheidsanalyses van raketontstekers en turbopomp starters.

Daarbij werkte hij veel samen met instituten, onderzoekscentra, universiteiten en bedrijven, veelal op internationale basis. Zijn voorliefde voor onderwijs bracht hem in 2005 naar 's-Hertogenbosch, waar hij in dienst trad bij de opleiding Werktuigbouwkunde van Avans. Binnen het team bekleedde hij diverse functies, waaronder die van opleidingscoördinator, en is hij nauw betrokken bij curriculumontwikkeling.

De focus van Geldof ligt momenteel op onderzoek. Hij is contactpersoon duurzaamheid en werkt aan het opzetten en implementeren van composiet-onderwijs binnen het hbo. Allemaal zaken die nauw met elkaar verweven zijn. De kennis die vanuit deze activiteiten wordt ontwikkeld, is bruikbaar bij het proces waarbij men PV folies integreert in (onder andere) composieten. Precies daar ligt ook de koppeling met het lectoraat.



MOTIVATIE

Het werkveld van de toekomstige hbo-ingenieur spreidt zich uit over vier segmenten: engineering/ontwerp, productie, onderhoud/reparatie, en ontmanteling. Het steeds verder groeiende spectrum van toepassingen van composieten, vergt specifieke kennis op het gebied van gedrag, regelgeving en productietechnologieën van composietproducten en het toepassingsgerichte ontwerp daarvan.

Het is van groot belang dat toekomstige composiet-ingenieurs al tijdens hun studie kennis maken met composieten, temeer daar genoemde segmenten met name bij composietmaterialen sterk verweven zijn.

In de luchtvaarttechnologie, scheepsbouw, windenergie, automotive, sportsector en medische toepassingen zijn composieten niet meer weg te denken. Ook in de bouwkunde, civiele techniek, en mechatronica zullen hbo-afgestudeerden veel baat hebben bij kennis en ervaring op dit vlak. Composieten komen op in alle sectoren, en in een rap tempo. Bij veel opleidingen in het hbo echter, is het vak composieten nog onderbelicht. Hierdoor ontstaat een tekort aan jonge, nieuwe composiet-specialisten. De meeste werktuigbouwkundige opleidingen op hbo-niveau bevinden zich nog in de 'metaal comfortzone'. Composieten is een '*other way of thinking*'. Avans heeft deze gap onderkend en onderzoekt hoe het 'composieten' het beste kan implementeren in het reguliere werktuigbouwkundig onderwijs. In de discussie rondom de HBO Body of Knowledge and Skills, speelt composiet-onderwijs merkwaardig genoeg amper een rol, en wordt het hooguit gezien als een uitbreiding op een vak als materiaalkunde.

De opleiding Werktuigbouwkunde van Avans ziet onderwijs in 'composieten' als een uitbreiding op het bestaande curriculum. Het is een relevant aandachtsgebied dat alle engineering disciplines raakt: conceptontwerp, materiaalkeuze, 3D-CAD, analyses and FEM, detailontwerp, productietechniek, beproeving, faaldagnostiek, onderhoud en reparatie, en afdank. Voor het hbo ligt op dit vlak de belangrijke taak om een brug te slaan tussen universitair- en mbo-onderwijs en zodoende een doorlopende leerlijn te creëren.

Avans legt zich toe op curriculumontwikkeling, toegepast onderzoek en kennisvergarig, gebaseerd op de behoefte uit het bedrijfsleven. Maintenance en repair is een succesfactor voor composiettoepassingen, daarom moet dit onderwerp al in de ontwerpfase worden meegenomen. Hier ligt een van de uitdagingen voor het hbo-onderwijs. Composiettoepassingen hebben impact op duurzaamheid. Denk maar aan energiebesparing tijdens het transport vanwege de lichtere constructies,

of aan snel bewegende machines, reparatie en onderhoud, afvalproblematiek en recycling. Impact is er ook op het gebied van kennisvergaring, met name binnen faaldiagnostiek, automatiseringsvraagstukken, en onderzoek naar interface problematiek tussen metalen en composieten.

Daarnaast zijn composieten zeer interessant m.b.t. het toepassen van PV folies. Composieten zijn vaak gelamineerde producten, waarbij integratie met flexibele PV folies een mogelijkheid is. Kristallijne toepassingen in de maritieme, luchtvaart en automotieve sector zijn al bekend, binnen diverse demonstratieprojecten. Het uiteindelijk integreren van flexibele zonnecelfolies en het zoeken naar geschikte toepassingen is een van de doelstellingen van het lectoraat.

In september is gestart met een doorlopend onderzoeksproject. Doel is kennisopbouw en curriculumontwikkeling op het gebied van composieten, samen met studenten, bedrijven en docenten.

Naast de vele voordelen van composieten, met name op het gebied van constructie en ontwerp, zijn er ook nadelen. Een nadeel is dat schade niet altijd zo duidelijk zichtbaar is als bij metalen. Wanneer een aluminium of ander metaaldeel botst, zal vaak een deuk zichtbaar zijn door de plastische vervorming. Als ditzelfde voorwerp tegen een composiet deel botst, kan het zijn dat je niets ziet terwijl het materiaal toch dusdanig is aangetast dat het een groot deel van de sterkte en stijfheid heeft verloren. In de luchtvaart is dit een bekend fenomeen, dat door strenge regelgeving (verplicht melden en onderzoek) wordt ondervangen. In andere branches waar composieten recent in gebruik genomen zijn, is deze regelgeving niet zo streng.

Hoe meer composieten in consumentenproducten worden gebruikt, hoe groter het risico is dat producten 'ineens' falen, doordat opgelopen schade niet is opgemerkt.

Een mooi voorbeeld is het gebruik van carbon fiber in de fietsindustrie. Met dit materiaal maakt men extreem lichte en stijve fietsen. Maar hoe sterk is het frame nog na een valpartij, of na een sprong over een heuvel? Als je aan het fietsen bent, vertrouw je op je materiaal.

Wanneer is een auto met een carrosserie van composiet total loss, na een botsing in de flank? Er zijn niet-destructieve inspectiemethoden waarmee je redelijk goed kunt bepalen wat de conditie van het materiaal is. Deze techniek is nog in ontwikkeling.

Het is interessant te zien wat er nu werkelijk gebeurt bij een impact. Composieten hebben, in tegenstelling tot metalen, een niet-homogene structuur. Losse vezels zijn sterk in trekrichting, maar kunnen geen druk- of buigkrachten opnemen. De hars als basismateriaal kan weinig krachten opnemen. Door de verbinding van de vezels en de matrix op microscopisch niveau, ontstaat de uiteindelijke sterkte en stijfheid. Bij schade zal de energie die het materiaal moet opnemen, worden verdeeld. Als je naar de doorsnede kijkt, zie je een steeds groter gebied dat aangetast is. Afhankelijk van de totale energie die het materiaal moet opnemen en de dikte van het laminaat, zal het composiet beschadigd raken.

Mbo-monteurs worden getraind om composieten te repareren. Zij leren dit door een composietdeel te vervaardigen, zelf te beschadigen en vervolgens te herstellen. Het aanbrengen van de beschadigingen gebeurt momenteel met een schroevendraaier. Er is behoefte aan een apparaat waarmee studenten op een gecontroleerde wijze een realistische beschadiging kunnen aanbrengen, om deze vervolgens te onderzoeken. Met name interessant is de impact die weinig zichtbare schade laat zien, maar toch het (sandwich) paneel dusdanig beschadigd heeft dat de sterkte en stijfheid significant zijn afgenomen. Door een dergelijke opstelling is het later mogelijk om met FEM-modellen te voorspellen welke impact leidt tot schade.

ONDERZOEKSVRAAG

Is het mogelijk om een reproduceerbare impact op een composietpaneel te realiseren, zodanig dat de schade voorspelbaar en tegelijk niet zichtbaar is?

Deze vraag leidt tot vele subonderzoeksvragen waarbij veel kennis over composieten vergaard zal moeten worden. Theoretische kennis, maar ook kennis rondom het ontwerpen van test equipment, het uitvoeren van tests (mechanische en NDO- technieken), het opstellen van criteria en het vinden van betrouwbare indicatoren.

Deze kennis kan dan weer gebruikt worden bij het succesvol integreren van PV folies. Het voorkomen van vroegtijdige composiet/folie delaminatie, het tegenhouden van vocht en zuurstof, en het in het ontwerp rekening houden met onderhoud en reparatie van het zonnecel geïntegreerde product, zijn cruciale factoren voor het succes van de desbetreffende toepassing.

Menno Mandemakers

Menno Mandemakers is sinds september 2015 kennisringlid van het lectoraat Solar Productietechnologie en Equipmentontwikkeling. Sinds 2014 werkt hij als hogo-schooldocent bij de opleiding Werktuigbouw van Avans in Breda. Hij houdt zich o.a. bezig met de ontwikkeling van lesmateriaal m.b.t. toegepast onderzoek en was betrokken bij de realisatie van de nieuwe minor Engineering & Research.



LOOPBAAN

Mandemakers studeerde wis- en natuurkunde en hield zich daarnaast bezig met duurzaamheid, binnen de master Environment & Resource Management. Deze interesse in verduurzaming heeft zich vertaald in een promotietraject aan de Wageningen Universiteit. In december 2014 promoveerde hij op een multidisciplinair onderzoek met een proefschrift getiteld *'Interactions of governance and land-cover patterns'*. Veel nadruk lag hierbij op de toegepaste wiskunde. Maar ook de disciplines geografie en econometrie speelden een rol bij de ontwikkeling van mechanisch-statistische modellen, die op basis van thermodynamische concepten (vanuit de statistische fysica) trachten te simuleren hoe menselijke beslissingsvorming doorwerkt in landgebruikspatronen. Na zijn promotie trad hij in dienst als docent bij Avans, waar hij zijn fysische kennis op een maatschappelijk relevante wijze wil inzetten.

HUIDIGE PROJECTEN

Samen met studenten van de minor Engineering & Research doet Mandemakers onderzoek naar de integratie van flexibele zonnecellen in textiele producten. Dit ten behoeve van het project TexEnergie.

CONTACTGEGEVENS

Menno Mandemakers is bereikbaar via e-mail: m.mandemaker@avans.nl, of telefoon: 088 - 525 90 87

Sandra Oom

Sandra Oom is sinds september 2015 kenniskringlid van het lectoraat Solar Productietechnologie en Equipment-ontwikkeling. Sinds 2005 is ze werkzaam als hogeschool-docent bij de opleiding Communication & Multimedia Design. Ze is coördinator van het kennisdomein Multimedia Vormgeving. Daarnaast coördineert ze (regionale) projecten om de doorstroom van mbo naar hbo te bevorderen.



LOOPBAAN

Oom studeerde aan de Design Academy Eindhoven, Ravensbourne (Engeland) en AKV|St. Joost (MFA, cum laude). Sinds 1995 werkt zij als ontwerper en adviseur, in samenwerking met bedrijfsleven, overheid en onderwijs, aan (regionale) projecten gericht op het ontwerpen van veranderprocessen om tot (sociale) innovatie te komen. Daarnaast was zij werkzaam als hogeschooldocent aan de Design Academy Eindhoven; actief lid van de Beroepsvereniging Nederlandse Ontwerpers; en adviseur hbo voor de paritaire commissie Reclame Presentatie Communicatie van Savantis.

HUIDIGE PROJECTEN

Binnen het lectoraat richt Oom zich op design, onderzoek en ontwikkeling van nieuwe producten waarin flexibele zonnecellen zijn toegepast, voor o.a. de projecten Zonneboom en TexEnergie.

CONTACTGEGEVENS

Sandra Oom is bereikbaar via e-mail: s.oom@avans.nl, of telefoon: 076 - 523 86 90.

Antal Ruhl

Antal Ruhl is sinds september 2015 kenniskringlid van het lectoraat Solar Productietechnologie en Equipmentontwikkeling. Eerder had hij zitting in de leeskring, ter voorbereiding op het lectoraat Mensgericht Creëren.



LOOPBAAN

Van oorsprong is Ruhl industrieel productontwerper. Na het volgen van de master Media Technology in Leiden, is hij zich meer gaan richten op het doen van onderzoek middels het creëren van custom interactieve tools. Van hieruit heeft hij zich ontwikkeld in het ontwerpen en maken van interactieve installaties voor evenementen, festivals en merken.

Bij Avans is hij verantwoordelijk voor de onderwijsperiode die zich richt op de ontwikkeling van smart objects. Bij het toepassen van technologie kunnen steeds meer producten worden ontwikkeld die voldoen aan onze behoeften. Wanneer je in een vroeg stadium van het ontwerpproces gebruikmaakt van prototyping-technieken als 3D printen, lasersnijden, elektronica en software, vormt zich al snel een realistisch beeld van de mogelijkheden. Doordat je meteen kunt testen, zijn verbeterde iteraties van het product snel realiseerbaar.

Naast Avans werkt Ruhl als zelfstandig ondernemer. Hij is productontwerper en ontwikkelt interactieve installaties voor uiteenlopende opdrachtgevers.

HUIDIGE PROJECTEN

In samenwerking met het lectoraat zijn de smart objects die studenten bedenken en realiseren verder toegespitst op smart wearables. Door het toepassen van dunne flexibele zonnecellen zullen deze wearables steeds interessanter en veelzijdiger worden. Hierdoor ontstaat een breed scala aan mogelijke toepassingen voor deze nieuwe techniek. Dit moet de ontwikkeling van dit type zonnecellen een boost geven.

Ruhl zal zich de komende tijd dan ook richten op nieuwe toepassingsgebieden voor deze solar technologie.

CONTACTGEGEVENS

Antal Ruhl is bereikbaar via e-mail: a.ruhl1@avans.nl,
of telefoon: 088 - 525 66 21.



COLOFON

Dit is een uitgave van Avans Hogeschool.
Uitgegeven ter gelegenheid van de lectorale
rede van Karel Spee.

Vormgeving redactie en coördinatie

Dienstenheid Marketing,
Communicatie en Studentenzaken,
Avans Hogeschool

Contact

Expertisecentrum Duurzame Innovatie

Locatie Breda:

Hogeschoollaan 1, 4818 CR Breda
Postbus 90.116, 4800 RA Breda

Locatie 's-Hertogenbosch:

Onderwijsboulevard 215, 5223 DE
's-Hertogenbosch
Postbus 90.116, 4800 RA Breda

088 - 525 77 72
duurzame-innovatie@avans.nl

©2015 Karel Spee/
Avans Hogeschool