

Smart Grids - fundament voor de toekomstige energievoorziening

Citation for published version (APA):

Slootweg, J. G. (2010). *Smart Grids - fundament voor de toekomstige energievoorziening*. Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/2010

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Intreerede
prof.dr.ir. Han Slootweg
10 september 2010

A portrait of a man with short dark hair, wearing a dark jacket over a blue and white checkered shirt. He is smiling slightly and looking towards the camera. The background is a solid blue color.

/ Faculteit Electrical Engineering

TU e Technische Universiteit
Eindhoven
University of Technology

Smart Grids – Fundament voor de toekomstige energievoorziening

Where innovation starts

Intreerede prof.dr.ir. Han Slootweg

Smart Grids – Fundament voor de toekomstige energievoorziening

**Uitgesproken op 10 september 2010
aan de Technische Universiteit Eindhoven**

Inleiding

Waarschijnlijk vertel ik u geen nieuws als ik zeg dat de wijze waarop wij als mensheid in onze energiebehoefte voorzien niet duurzaam is. De fossiele brandstoffen kolen, aardolie en aardgas zijn onze belangrijkste energiebronnen. In toenemende mate worden wij echter geconfronteerd met de consequenties van het op grote schaal verbranden van deze fossiele brandstoffen in elektriciteitscentrales, verbrandingsmotoren en verwarmingsinstallaties.

Het meest in het oog springend is het thema van de klimaatverandering. Een verdere toename van de droogte in gebieden rond de evenaar, de stijging van het aantal orkanen in Midden-Amerika en de verwachte stijging van de zeespiegel hebben ingrijpende gevolgen. Er kleven ook andere nadelen aan de huidige inrichting van onze energievoorziening. Allereerst zijn er vragen te stellen bij, om het eufemistisch te stellen, 'onbedoelde neveneffecten' van de winning van fossiele brandstoffen, in het bijzonder van kolen en olie. Zo komen er alleen al in China enkele duizenden mijnwerkers per jaar om het leven in kolenmijnen¹. In andere delen van de wereld ligt dit aantal lager, maar ook hier doen zich met enige regelmaat ongevallen voor, zoals recentelijk in Slowakije, Turkije en de Verenigde Staten². Verder zijn de arbeidsomstandigheden van mijnwerkers vaak abominabel³.

Ook bij het winnen en transporteren van aardolie doen zich de nodige ongevallen voor. Vaak vallen er dodelijke slachtoffers te betreuren, maar hier springt ook de schade aan het milieu in het oog. Toen ik in het voorjaar begon met het schrijven van deze rede braakte het olielek in de Golf van Mexico enkele miljoenen liters olie per dag uit. Pas vier maanden later, net voor het ter perse gaan van dit betoog, was het lek gedicht. De schade aan het milieu en de economie is immens. De vraag naar olie stijgt nog altijd. Omdat de gemakkelijk winbare voorraden uitgeput raken, moeten we vrezen dat dergelijke catastrofes zich in de toekomst

¹ <http://www.asianews.it/news-en/Shanxi:-153-trapped-miners-could-die-of-hunger-and-thirst-18020.html>

² Respectievelijk 20 doden op 10 augustus 2009, 13 doden op 24 februari 2010 en 25 doden op 6 april 2010

³ Zie o.a. de uitzendingen van het programma Netwerk in de laatste week van juni 2010 over de Colombiaanse mijnbouwbedrijven Drummond en Cerrejon



vaker zullen voordoen. De zeer geavanceerde en grensverleggende technologieën voor het verrichten van boringen op grote diepte brengen immers inherent risico's met zich mee.

De olie- en gasvoorraden zijn niet gelijkmatig over de wereld verdeeld, maar geconcentreerd in landen die onderhevig zijn aan politieke en maatschappelijke instabiliteit. Wanneer we de koers niet wijzigen, zal de westerse wereld voor zijn energievoorziening in toenemende mate afhankelijk zijn van onberekenbare regimes in Noord-Afrika, Centraal Azië en het Midden-Oosten. Gezien het belang van de energievoorziening voor het maatschappelijk leven en economisch verkeer brengt ook dit de nodige risico's met zich mee.

Ter afronding van mijn pleidooi voor een fundamentele koerswijziging in de wijze waarop wij onszelf van energie voorzien, wil ik wijzen op het volgende. Sinds 2007 kampt de wereld met een financiële en economische crisis die wereldwijd miljarden aan waarde vernietigde en een forse groeivertraging veroorzaakte. De oorzaken van deze crisis worden primair gezocht in de ontsporing van het internationale financiële systeem. Deskundigen breken zich het hoofd over de vraag welke aanpassingen nodig zijn om de economie uit het slop te halen en een

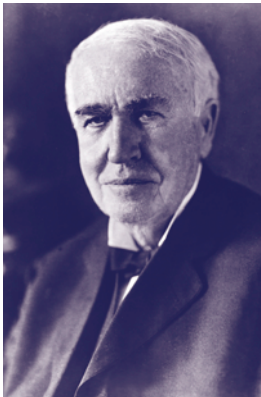
herhaling van deze gebeurtenissen te voorkomen. Volgens de Amerikaanse hoogleraar Jeremy Rifkin, auteur van verschillende boeken over energie en adviseur van de Europese Unie en diverse nationale regeringen, is er echter niet primair sprake van een economische crisis, maar van een *energiecrisis*.

Volgens Rifkin zouden wij ter voorkoming van nieuwe crises niet alleen het financiële systeem moeten aanpassen. Ook, of misschien wel éérs, moeten wij onze energievoorziening fundamenteel anders inrichten. Doen we dat niet, dan kan de huidige crisis een voorbode zijn van wat ons te wachten staat bij een onvermijdelijk steeds verder toenemende schaarste aan fossiele brandstoffen. Ik hoop dat u mijn visie deelt dat het tijd wordt voor het inzetten van een fundamentele koerswijziging voor wat betreft onze energievoorziening. Hierin sta ik niet alleen.

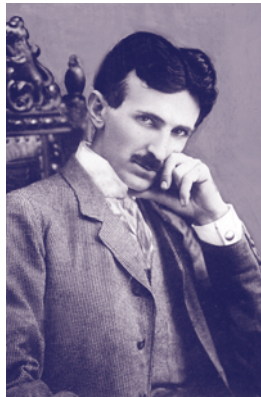
Elektrische energietechniek: de stand van zaken

Zo'n 15 procent van de in Nederland verbruikte energie verbruiken we in de vorm van elektriciteit⁴. De productie en het transport van elektriciteit zijn onderwerp van wetenschappelijke studie in het vakgebied van de elektrische energietechniek. De elektrische energietechniek is een belangrijke pijler van onze energievoorziening, die op zijn beurt een essentiële voorwaarde vormt voor vrijwel elke vorm van maatschappelijke en economische activiteit in ontwikkelde landen. Dit laatste illustreert het ontwrichtende effect van een onderbreking van de elektriciteitsvoorziening, in het gangbare spraakgebruik veelal aangeduid als een 'storing' (strikt genomen overigens ten onrechte⁵).

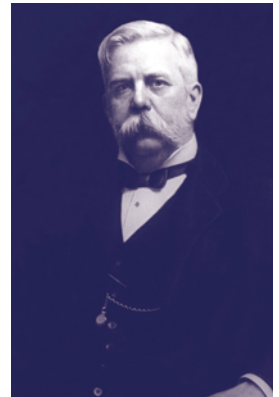
De elektrische energietechniek staat niet bekend als een discipline waarin wetenschappelijke doorbraken en technologische vernieuwingen elkaar in hoog tempo opvolgen. Een eerste oorzaak hiervan is de lange levensduur van de toegepaste componenten; deze bedraagt al snel meerdere decennia. Het zal duidelijk zijn dat het tempo waarmee technologische vernieuwingen worden geïmplementeerd daardoor lager ligt dan in veel andere vakgebieden.



Thomas Alva Edison
(1847-1931)



Nikola Tesla
(1856-1943)



George Westinghouse
(1846-1914)

⁴ Energiebalans CBS

⁵ Een component kan *gestoord* raken. Soms leidt dit tot een *onderbreking* van de voorziening.

Een tweede oorzaak waarom innoveren in de elektrische energietechniek een zaak is van een lange adem, is de rijke traditie van het vakgebied. Het is inmiddels ruim honderd jaar geleden dat de pioniers Edison, Tesla en Westinghouse de technologische grondslagen hebben gelegd voor de elektriciteitsnetten die tot op de dag van vandaag het fundament van de elektriciteitsvoorziening vormen. Sindsdien hebben generaties elektrotechnisch ingenieurs zich beziggehouden met het optimaliseren en doorontwikkelen van de componenten waaruit deze zijn opgebouwd. Dit leidde tot een voortdurende verlaging van de kosten en verhoging van de betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening.

Men zou verwachten dat het vakgebied van de elektrische energietechniek in alle opzichten floreert. De wetenschappelijke uitdaging en de maatschappelijke relevantie zijn overduidelijk. Toch vatte in de laatste twee decennia van de vorige eeuw het denkbeeld post dat de technologische ontwikkeling van de elektrische energietechniek voltooid was. In Nederland en Europa werden onderwijs en onderzoek weliswaar voortgezet, maar de financiële middelen en het aantal beoefenaars van het vakgebied liepen sterk terug. In de Verenigde Staten werden de vaak door elektriciteitsbedrijven bekostigde leerstoelen in de elektrische energietechniek in rap tempo opgeheven. Meer dan in Nederland en Europa het geval is, dragen bedrijven daar bij aan universitair onderzoek. De koppeling tussen de belangstelling voor een vakgebied en de beschikbare financiële middelen is daardoor (nog) sterker dan wij hier gewend zijn.

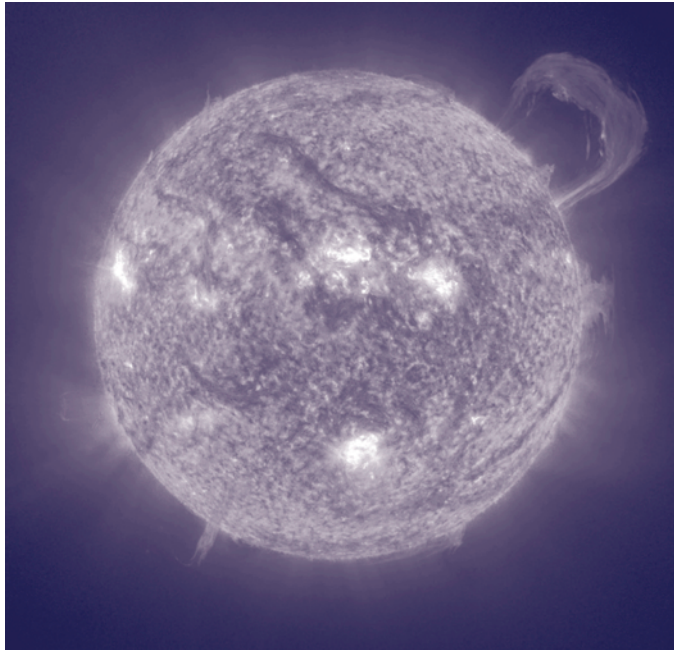
Dit laatste illustreert dat de op veel Nederlandse universiteiten nagestreefde maximalisatie van de (financiële) inbreng vanuit het bedrijfsleven ook nadelen heeft. Deze kan op gespannen voet staan met het langetermijnkarakter dat inherent is aan wetenschappelijk onderzoek. Wanneer partners uit het bedrijfsleven hun strategische koers verleggen of financieel in zwaar weer geraken, kan dit leiden tot het doodbloeden van veelbelovende onderzoekslijnen en daarmee tot vernietiging van wetenschappelijk kapitaal. De eerste en de derde geldstroom zijn dus geen communicerende vaten, zoals beleidsmakers nogal eens lijken te denken, maar ‘multipliers’. Wanneer ons land zich wil ontwikkelen tot een internationaal toonaangevende kenniseconomie is een toereikende en stabiele eerste geldstroom een *conditio sine qua non*. Derde geldstroom-onderzoek moet zich concentreren op valorisatie; het daadwerkelijk toepassen van de resultaten van meer fundamenteel wetenschappelijk onderzoek in producten en diensten. Uiteraard zie ik het als een van mijn missies om hieraan bij te dragen. De combinatie van een deeltijdhoogleraarschap en een positie bij een toepassingsorganisatie schept daarvoor immers unieke mogelijkheden.



Contouren van een duurzame energievoorziening

Het standpunt, oftewel de misvatting dat de technologische ontwikkeling in de elektrische energietechniek onderhand is afgerond, vindt ondertussen steeds minder ingang. De oorzaak hiervan is het eerder genoemde toenemende besef dat de huidige inrichting van onze energievoorziening op de lange termijn onhoudbaar is. Inherent gevolg daarvan is dat het vakgebied onmogelijk voltooid kan zijn. Op enig moment zal het immers *anders* moeten. Ik beschouw het als een grote uitdaging en een bijzondere eer daaraan mijn bijdrage te mogen leveren en daartoe vandaag het ambt van deeltijdhoogleraar Smart Grids te mogen aanvaarden. In het vervolg van deze rede schets ik allereerst de contouren van een toekomstbestendige energievoorziening. Vervolgens geef ik aan welke consequenties dit alles heeft voor het ontwerp en de bedrijfsvoering van elektriciteitsnetten en welke bijdrage zogenaamde Smart Grids in dit verband kunnen leveren. Tot slot ga ik in op de onderzoeksthema's die hieruit voortvloeien.

Uitgangspunt voor een werkelijk toekomstbestendige, duurzame energievoorziening is dat deze gebaseerd is op duurzame, ofwel hernieuwbare, ofwel onuitputtelijke energiebronnen. Binnen het kader van een voor mensen overzienbaar, niet astronomisch tijdsbestek geldt dat de zon een onuitputtelijke bron van energie is. Bij het kernfusieproces in de zon wordt massa omgezet in energie, zodat in principe de zon ook een eindige energiebron is. De termijn waarop de zon als gevolg van gebrek aan grondstoffen voor het fusieproces uitdooft, gaat elk menselijk voorstellingsvermogen echter te boven. Zowel op basis van de orthodox-christelijke wereldbeschouwing die ik persoonlijk aanhang, alsook op basis van een meer evolutionair wereldbeeld, mogen we sterk betwijfelen of de mensheid dit moment zal meemaken. Dit rechtvaardigt het om binnen het kader van het vraagstuk van de toekomstige energievoorziening de zon te beschouwen als een constante factor. Daarmee is direct duidelijk dat thermische en fotonvoltaïsche zonne-energie duurzaam zijn. Wind, de diverse vormen van waterkracht en biomassa zijn indirecte vormen van zonne-energie en zijn dus eveneens duurzaam. De zon is een zeer krachtige energiebron; het *totale* energieverbruik van de mensheid in *één jaar* komt overeen met de hoeveelheid zonne-energie die de aarde in *één uur* bereikt.



Om de energie uit de genoemde duurzame bronnen daadwerkelijk aan te kunnen wenden ten behoeve van onze energievoorziening, zal deze energie moeten worden omgezet in een bruikbare vorm. Uit duurzame energiebronnen moet een *energiedrager* worden geproduceerd, die in het energievoorzieningsstelsel inpasbaar is. In eerste instantie komen daarvoor energiedragers in aanmerking die op dit moment ook al grootschalig worden ingezet. Dit zijn vaste, vloeibare en gasvormige brandstoffen, warmte en elektriciteit, waarvoor een infrastructuur voorhanden is.

Een groot voordeel van elektriciteit is de flexibiliteit van deze energiedrager. We kunnen elektriciteit met hoge rendementen in vrijwel elke andere vorm van energie omzetten en daardoor voor een veelheid aan toepassingen benutten. Het veroorzaakt lokaal geen afvalstoffen zoals as en uitlaatgassen en staat een zeer eenvoudige en veilige wijze van aansluiting toe, namelijk door middel van een stekker en een wandcontactdoos of 'stopcontact'. Verder geldt dat belangrijke duurzame energiebronnen als waterkracht, wind en zonlicht efficiënter in elektriciteit dan in andere gangbare energiedragers om te zetten zijn. Elektriciteit zal daarom een belangrijke rol spelen in een duurzame energievoorziening. Dit leidt tot de paradox dat de *verduurzaming* van de energievoorziening zal leiden tot een

toename van het elektriciteitsverbruik. De sleutel tot het verstaan van deze paradox ligt uiteraard in het feit dat deze elektriciteit *duurzaam* wordt geproduceerd. Belangrijk nadeel van elektriciteit is wel, dat het lastig op te slaan is. Zoals nog zal blijken compliceert deze eigenschap de verduurzaming van de energievoorziening, maar kunnen de gevolgen ervan door het toepassen van Smart Grids worden beperkt.

Voorlopig is het bij lange na nog niet zo ver en wordt het overgrote deel van de verbruikte elektriciteit geproduceerd in grote centrales. Hierin worden gas, kolen of de energie die vrijkomt bij splijting van atoomkernen, gebruikt als energiebron voor het opwekken van elektriciteit. De belangrijkste uitdaging voor een duurzame energievoorziening ligt dan ook op het vlak van de *productie* van voldoende duurzame energie. De omvang van deze uitdaging is ongekend en de transitie naar een duurzame energievoorziening is omgeven met grote onzekerheden. Hoe deze zijn beslag zou moeten krijgen, vormt daarom een veelbesproken en controversieel thema. Zonder er in detail op in te gaan, wil ik hierover het volgende zeggen:

- De wijze waarop een toekomstige, duurzame energievoorziening vorm moet krijgen, is naar mijn vaste overtuiging geen technische of technisch-economische discussie maar een politiek-maatschappelijke discussie. *Waarden* spelen hierin een grote rol. De taak van wetenschappers is het ontwikkelen van nieuwe technologie en het verhogen van de kwaliteit van de discussie door het aanreiken van objectieve en juiste informatie. Een discussie over waarden moet echter niet worden versmald tot een discussie over cijfers. Dit leidt af van de thema's waar werkelijk over gesproken moet worden en beperkt de discussie tot een 'incrowd'. Die *kan* en *zal* de uitdagingen die de toekomstige energievoorziening stelt echter niet oplossen omdat deze een bredere politieke en maatschappelijke betrokkenheid vragen.
- Het verduurzamen van onze energievoorziening is een uitdaging van ongekende proporties. Dit is geen reden om tot inactiviteit te vervallen. Eerder een argument om zo snel mogelijk te beginnen. Afwachten en vooruitschuiven maakt de uitdaging *niet* kleiner, maar de urgentie *wel* groter.
- Het huidige elektriciteitsvoorzieningsstelsel is het resultaat van een ontwikkeling van een eeuw. Qua omvang en technische complexiteit heeft het een niveau bereikt dat het voorstellingsvermogen van de ingenieurs die het fundament ervoor legden, ongetwijfeld ver te boven gaat. Zonder het zich te realiseren hebben zij de ontwikkeling ingezet richting het elektriciteitsvoorzieningsstelsel

zoals dat nu functioneert. Het kenmerkt zich door een vrijwel volledige dekking en een hoge betrouwbaarheid tegen alleszins redelijke kosten. De tijd is rijp voor het inzetten van een volgende fase van ontwikkeling; die richting een duurzame elektriciteitsvoorziening. Dat het einddoel van deze ontwikkeling op voorhand niet bekend, misschien zelfs niet voorstelbaar is, hoeft ons net zo min als onze voorgangers ervan te weerhouden om de hand aan de ploeg te slaan. En zoals de ontwikkeling van het huidige elektriciteitsvoorzieningsysteem ruim een eeuw duurde, zal ook deze volgende fase op zijn minst enkele decennia in beslag nemen.

Werkingsprincipes van elektriciteitsnetten

De volgende vraag die ik aan de orde wil stellen, is welke consequenties dit alles heeft voor de elektrische infrastructuur. De belangrijkste componenten daarvan zijn boven- en ondergrondse verbindingen - respectievelijk lijnen en kabels genoemd - transformatoren en schakelinstallaties. Allereerst wil ik de wijze waarop elektriciteitsnetten op dit moment worden bedreven kort schetsen. Vervolgens zal ik ingaan op de invloed die het verduurzamen van de energievoorziening hierop heeft.

Electriciteitsnetten vormen de verbindende schakel tussen vraag en aanbod en daarmee - met een beeldspraak ontleend aan de Algemene Energieraad - de 'ruggengraat' van het elektriciteitsvoorzieningsstelsel⁶. De vraag of dit ook in de toekomstige energievoorziening het geval zal zijn en om welke aanpassingen dat vraagt, is dan ook van groot belang.

Electriciteit wordt tot nu toe voor het overgrote deel opgewekt in grootschalige elektriciteitscentrales die zijn aangesloten op hoogspanningsnetten en die forse volumes elektriciteit produceren en invoeden. Deze elektriciteit vindt vervolgens zijn weg naar de verbruikers. Afgezien van zware industrieën nemen die slechts een duizendste tot een miljoenste deel van de productie van een centrale af; ze zijn aangesloten op de 'onderliggende' midden- en laagspanningsnetten. Als gevolg hiervan is de *richting* waarin de elektriciteit vloeit op voorhand bekend: 'omhoog' vanuit de hoogspanningsnetten, via de middenspanningsnetten, naar de laagspanningsnetten en de verbruikers die op deze netten aangesloten zijn.

Het verbruik van elektriciteit is, althans tot nu toe, *tijdkritisch* en *inflexibel*. Wanneer een verbruiker verlichting wil inschakelen, een voetbalwedstrijd op televisie wil bekijken of koffie wil zetten, dient de daarvoor benodigde elektriciteit per direct beschikbaar te zijn. Deze behoeften kunnen niet worden uitgesteld. De netbeheerder moet daarom zorgen voor voldoende netcapaciteit om in de piekvraag naar elektriciteit te voorzien. Hiertoe wordt het instrumentarium van *netplanning*

⁶ De ruggengraat van de energievoorziening, Advies Algemene Energieraad over de energie-infrastructuur, augustus 2009

ingezet. Netplanning is het op basis van historische gegevens en toekomstscenario's en met gebruikmaking van geavanceerde beslismethoden, bepalen *hoeveel* capaciteit er *wanneer* en *waar* vereist is om in de piekvraag te kunnen voorzien. Vervolgvraag is dan *of* en zo ja *hoe* de bestaande netcapaciteit moet worden uitgebreid.

Verder geldt sinds het ontstaan van elektriciteitsvoorzieningsystemen dat het actuele *aanbod*, oftewel de *productie* van elektriciteit, de actuele *vraag* volgt. Dit omdat de vraag naar elektriciteit inflexibel en tijdkritisch is en elektriciteit eigenlijk niet kan worden opgeslagen. Zo wordt de *vermogensbalans* gehandhaafd. Deze is voor een adequaat functioneren van het systeem essentieel. Het feit dat de elektriciteitsproductie voor verreweg het grootste deel gebaseerd is op het verbranden van fossiele brandstoffen en het principe van kernsplijting, maakt deze aanpak mogelijk. Dergelijke productiemiddelen kunnen worden aangestuurd om de vraag naar elektriciteit te volgen. De constantheid van de frequentie van de netspanning geeft aan in hoeverre vraag en aanbod daadwerkelijk in balans zijn.

Decentralisatie van de elektriciteitsproductie

Uitgangspunt voor de duurzame energievoorziening van de toekomst vormt het *efficiënt* benutten van zoveel mogelijk *duurzame* energiebronnen. Ik zal nu uiteenzetten waarom de consequentie van dit uitgangspunt is dat de hierboven geschetste wijze waarop de laag- en middenspanningsnetten, verder genoemd distributienetten, worden ontworpen en bedreven, ingrijpend zal gaan wijzigen. De energietransitie zorgt er namelijk voor dat de premissen die gelden voor het *huidig* functioneren van distributienetten gaan schuiven, aangezien:

- de richting waarin de elektriciteit vloeit niet langer meer op voorhand bekend is én
- er als gevolg van de toenemende elektrificatie van de energievoorziening flexibiliteit aan de verbruikskant ontstaat.

De richting van de energiestroom in distributienetten is niet langer op voorhand bekend als gevolg van een schaalverkleining of *decentralisatie* van de elektriciteitsproductie. Deze decentralisatie heeft twee oorzaken. Ten eerste leidt het efficiënt benutten van (fossiele of duurzaam geproduceerde) brandstoffen tot de noodzaak om de bij elektriciteitsproductie onvermijdelijk vrijkomende warmte nuttig te gebruiken; het concept van warmte-krachtkoppeling (WKK). Technisch en economisch is het niet haalbaar warmte te transporteren over grote afstanden. Warmte moet lokaal worden benut. De geproduceerde volumes moeten daarom qua orde van grootte vergelijkbaar zijn met de warmtevraag in de directe omgeving.

Deze randvoorwaarde leidt al snel tot productie-eenheden die een factor 10 tot 10.000 kleiner zijn dan die in grootschalige elektriciteitscentrales. Die produceren namelijk veel meer warmte dan de totale warmtevraag in het gebied waarbinnen deze warmte kan worden getransporteerd. Een groot deel van de warmte wordt daarom weggekoeld. Feitelijk is dit een vorm van energieverlies. Als gevolg van de dimensionering van de productie-eenheid op de lokale warmtevraag zijn de geproduceerde volumes aan elektriciteit relatief beperkt. Dergelijke eenheden worden dan ook niet op hoogspanningsnetten, maar op distributienetten aangesloten. Gasmotoren bij tuinders, waarbij de warmte en de CO₂ in de kas worden

benut en de elektriciteit die 'over' is, wordt ingevoerd op het net, vormen in Nederland de bekendste toepassing van warmte-krachtkoppeling.

Ten tweede leidt de inzet van duurzame energiebronnen eveneens tot decentralisatie van de elektriciteitsproductie. De relatief lage energiedichtheid van duurzame energiebronnen heeft tot gevolg dat voor het produceren van een bepaalde hoeveelheid energie een fors oppervlak noodzakelijk is. Zeker in een dichtbevolkt land als Nederland is er onvoldoende ruimte om grote oppervlakken vrij te maken en uitsluitend te benutten voor het produceren van energie. Energieproductie wordt daarom geïntegreerd met andere ruimtelijke functies, zoals infrastructuur en bebouwing.

Voorbeelden hiervan vormen windturbines langs snelwegen en dijken en fotovoltaïsche zonnepanelen op daken van huizen en kantoren. Het vermogen van productie-eenheden die gebruik maken van duurzame bronnen is qua orde van grootte vergelijkbaar met dat van WKK-eenheden; ook deze worden daarom op distributienetten aangesloten. Off-shorewindparken vormen hierop een uitzondering. Deze worden op hoogspanningsnetten aangesloten, al worden de individuele turbines ook hier op een distributienet aangesloten en niet direct op de hoogspanningsaanleg van de aanlanding. In dit geval gaat het echter om een speciaal ten behoeve van het windpark aangelegd off-shoredistributienet. Het mag duidelijk zijn dat hierop geen verbruikers zijn aangesloten.





Op distributienetten aangesloten decentrale productie-eenheden voorzien in (een deel van) het lokale elektriciteitsverbruik. Op het moment dat het lokale verbruik laag is en de productie hoog, draait de richting van de energiestroom om. Er wordt *teruggevoerd naar* in plaats van *afgenomen uit* het bovenliggende net. Componenten in het elektriciteitsnet zijn fysisch geschikt voor ‘tweerichtingsverkeer’, in tegenstelling tot wat geldt voor gasnetten. Het omdraaien van de energiestroom vergt op zichzelf dus geen aanpassingen aan de netten. Wel leidt dit alles tot een complexere netplanning. Daarnaast kan het op grote schaal toepassen van decentrale elektriciteitsproductie leiden tot specifieke technische problemen. Bijvoorbeeld een overschrijding van het toelaatbaar kortsluitvermogen, problemen met de spanningshuishouding en -kwaliteit of de noodzaak tot wijziging van het beveiligingsconcept. Deze problemen zijn in principe oplosbaar. De vraag hoe dit technisch en financieel zo effectief mogelijk kan gebeuren en waar dit van afhangt, vergt echter nog veel onderzoek. Dit is dan ook een belangrijk thema in het onderzoeksprogramma van de capaciteitsgroep Electrical Energy Systems.

Flexibilisering van het elektriciteitsverbruik

De energietransitie is van invloed op beide premissen waarop het huidig functioneren van distributienetten gebaseerd is. De elektriciteit stroomt als gevolg van de decentralisatie van de elektriciteitsproductie niet meer noodzakelijkerwijs van ‘hoog’ naar ‘laag’, maar ook in de omgekeerde richting. De energietransitie heeft daarnaast ook gevolgen voor de mate waarin het elektriciteitsverbruik tijdkritisch en inflexibel is en blijft. Dit als gevolg van de verwachte elektrificatie van *ruimteverwarming en mobiliteit*.

Op dit moment benutten wij naast elektriciteit ook andere energiedragers. Ook deze dienen we in het kader van de verduurzaming van onze energievoorziening te beschouwen. Niet alleen de elektriciteit die wij verbruiken zal duurzamer geproduceerd moeten worden dan nu het geval is. Ook in de energiebehoefte van toepassingen waarvoor nu direct fossiele brandstoffen worden ingezet, zal op duurzame wijze moeten worden voorzien. Het gaat daarbij vooral om ruimteverwarming en mobiliteit, waarvoor we nu respectievelijk gasvormige en vloeibare fossiele brandstoffen inzetten.

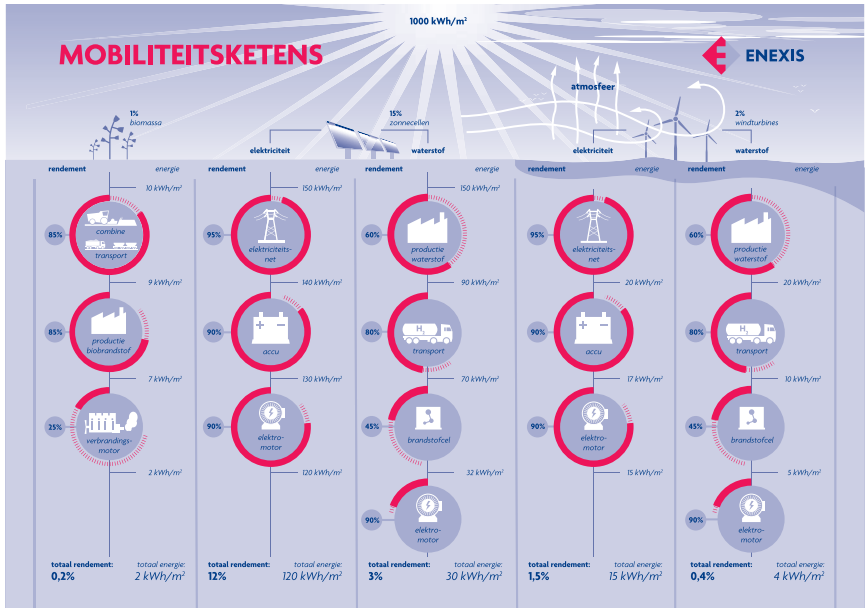




De eerste vraag is daarbij op welke wijze de benodigde duurzame energie wordt *geproduceerd*, de tweede vraag is op welke wijze deze wordt *getransporteerd* van de bron naar de gebruiker. Deze vragen hangen samen, aangezien de aard van de energiedrager de transportmogelijkheden in belangrijke mate bepaalt. Vanwege de gunstige eigenschappen van elektriciteit mag worden verwacht dat deze energiedrager in de duurzame energievoorziening van de toekomst een belangrijke rol zal spelen. Dit brengt mij tot de vraag of, en zo ja hoe, ruimteverwarming en mobiliteit kunnen worden geëlektrificeerd. Ik zal nu laten zien dat dit in principe mogelijk is en dat dit ertoe leidt dat ook de tweede premisse voor het huidige functioneren van distributienetten, namelijk dat de elektriciteitsvraag tijdkritisch en inflexibel is, twijfelachtig wordt.

Ruimteverwarming kan worden geëlektrificeerd door het toepassen van elektrische warmtepompen. De essentie van een warmtepomp is dat er geen warmte wordt *geproduceerd*, zoals het geval is bij een CV-installatie, maar dat er warmte wordt *verplaatst* van een warmtebron naar een andere locatie. In zekere zin is een warmtepomp dus een omgekeerde koelkast of airconditioner; bij deze toepassingen wordt er warmte vanuit een ruimte weg getransporteerd; bij een warmtepomp gaat er juist warmte naar een ruimte toe. In beide gevallen verplaatst de warmtepomp de warmte tegen de 'natuurlijke' richting van hoge naar lage temperaturen in. De warmtebron kan de buitenlucht of het grondwater zijn. Voor extreem koude dagen kan er zo nodig een resistief bijverwarmingselement aan worden toegevoegd. Ervan uitgaande dat de verbruikte elektriciteit duurzaam geproduceerd

wordt, is een elektrische warmtepomp de meest voor de hand liggende technologie voor duurzame elektrische ruimteverwarming.



biomassa. Bovendien kan dit met andere ruimtelijke functies, zoals infrastructuur, bebouwing of landbouw, worden gecombineerd. Verder is de zogenaamde ‘well to wheel’ efficiency veel hoger dan geldt voor auto’s op vloeibare of gasvormige biobrandstof of waterstof. Met een elektrische auto wordt namelijk het relatief lage rendement van het oxidatieproces van brandstof in een inwendige verbrandingsmotor of een brandstofcel vermeden. Voor alle duidelijkheid merk ik nog wel op dat het *energetisch* rendement niet moet worden verward met het *financieel* rendement. Dit laatste is een compleet andere grootheid.

- Elektrische aandrijftechniek heeft grote voordelen vergeleken met aandrijftechniek gebaseerd op een inwendige verbrandingsmotor en een mechanische aandrijflijn. We kunnen stellen dat de verbrandingsmotor in auto’s alleen overleeft omdat deze hun eigen energie moeten meenemen en het opslaan van elektriciteit problematisch is. Sommige hybrides benutten de voordelen van elektrische aandrijftechniek, terwijl vloeibare brandstof de energiedrager blijft.
- Het is duidelijk dat een essentiële randvoorwaarde voor elektrische auto’s de beschikbaarheid van adequate accubatterijen is. Dit betekent batterijen met een hoge energie- en vermogensdichtheid, een lange levensduur en een lage prijs. Verder is het van belang dat deze batterijen snel opgeladen kunnen worden om het eventuele nadeel van een beperkte actieradius zoveel mogelijk te onderwerpen. Gecomplieerde oplossingen voor dit probleem, zoals batterijwisselstations, worden dan overbodig.
- Volgens mij mag de elektrische auto niet zonder meer worden vergeleken met een auto met inwendige verbrandingsmotor en vervolgens worden afgeserveerd, bijvoorbeeld vanwege prijs en gewicht van de noodzakelijke batterijen of de (voorlopig?) beperkte actieradius. De huidige auto is het resultaat van een ontwikkeling vanaf de Ford T uit 1908. Aan de ontwikkeling van serieuze elektrische auto’s wordt pas het laatste decennium gewerkt. Ik sluit zeker niet uit dat wanneer hier nog enkele decennia ontwikkeling overheen gaan, de huidige nadelen van elektrische auto’s oplosbaar blijken. Bovendien is de (hogesnelheids)trein een prima alternatief voor afstanden van enkele honderden tot ongeveer duizend kilometer, die te kort zijn voor het vliegtuig (op biobrandstof), maar voorlopig te lang voor een elektrische auto. Bij voorkeur uiteraard een trein aangedreven met duurzaam geproduceerde elektriciteit.



Op basis van het bovenstaande is de verwachting dat ruimteverwarming en mobiliteit naarmate de energietransitie vordert steeds vaker elektriciteit als energiedrager zullen benutten. Met deze constatering gaat de tweede premisse voor het huidige functioneren van distributienetten op de helling, namelijk dat de elektriciteitsvraag tijdkritisch en inflexibel is. Toepassing van elektriciteit voor ruimteverwarming en mobiliteit introduceert namelijk flexibiliteit in de elektriciteitsvraag. Het verwarmen van een gebouw is een relatief traag proces dat lange tijdconstanten kent. Zeker wanneer het gebouw goed geïsoleerd is, kan er gedurende enige tijd meer of juist minder warmte in het gebouw worden gebracht zonder dat dit direct tot temperatuurschommelingen leidt. En voor veel auto's geldt, dat deze 20 tot 22 uur per etmaal stilstaan, terwijl de enkele tientallen kilometers die een auto dagelijks gemiddeld rijdt in maximaal 6 uur kunnen worden geladen. De mogelijkheid tot het spreiden van de benodigde 6 uur over een tijdsbestek dat drie- tot viermaal zo lang is, introduceert eveneens flexibiliteit in de elektriciteitsvraag.

Consequenties voor de distributienetten

Decentralisatie van de elektriciteitsproductie en flexibilisering van de elektriciteitsvraag bieden vrijheidsgraden die tot nu toe bij het bedrijven van distributienetten niet voorhanden waren, maar die een essentiële rol zullen spelen bij de transitie naar een duurzame energievoorziening. In dit kader is de verwachte flexibilisering van de vraag het meest belangrijk. Allereerst maakt deze het mogelijk om met de vraag naar elektriciteit het aanbod aan elektriciteit enigszins te volgen. Het omgekeerde van wat tot op heden geldt. Bij een toenemend aandeel van elektriciteit uit duurzame bronnen als zon en wind is dit van groot belang. De elektriciteitsproductie van zonnepanelen en windturbines is afhankelijk van de weersomstandigheden en valt dus niet of nauwelijks te beïnvloeden. Het verduurzamen van de elektriciteitsproductie schudt daarmee aan de fundamenten van de werking van het huidige elektriciteitsvoorzieningsstelsel.

Flexibilisering van de vraag biedt nieuwe mogelijkheden om de balans tussen vraag en aanbod te handhaven. Flexibilisering van de vraag maakt het daarnaast mogelijk om pieken in de vraag 'glad te strijken'. Op momenten dat de tijdkritische, inflexibele vraag hoog is, kan de flexibele, niet tijdkritische vraag tijdelijk worden beperkt en in een later stadium weer de ruimte krijgen. Dit kan leiden tot een reductie van de netverliezen en een betere benutting van de netcapaciteit en daarmee tot uit- of afstel van uitbreidingsinvesteringen. In combinatie met de decentralisatie van de elektriciteitsproductie biedt flexibilisering van de vraag nog een extra mogelijkheid: het lokaal balanceren van vraag en aanbod. Door lokaal de flexibele vraag af te stemmen op de productie van decentrale, duurzame elektriciteitsproductiemiddelen kan nog eens extra worden bespaard op netverliezen en mogelijk ook op netcapaciteit.

Hoewel bovenstaande redenering technisch gezien steekhoudend is, moeten wij ons realiseren dat deze doelstellingen in een geliberaliseerde elektriciteitssector bij verschillende spelers belegd zijn. Het handhaven van de balans tussen vraag naar en aanbod van elektriciteit is primair de verantwoordelijkheid van commerciële energiemarktpartijen. Zij zijn actief in productie en levering van elektriciteit. Het optimaal uitnutten van elektriciteitsnetten is echter de verantwoordelijkheid

van de netbeheerders. Deze verschillende doelstellingen kunnen onder omstandigheden met elkaar op gespannen voet staan. Wanneer het hard waait in een – voorlopig overigens hypothetische – situatie met grote aantallen off-shorewindturbines, willen commerciële marktpartijen zoveel mogelijk elektriciteit afzetten omdat dit in ruime mate beschikbaar is. Verbruikers willen zoveel mogelijk elektriciteit kopen omdat de prijs laag is. Deze doelstelling kan echter haaks staan op het streven van de netbeheerder om pieken in het elektriciteitsverbruik te vermijden en de flexibiliteit in de elektriciteitsvraag te benutten om pieken glad te strijken in plaats van deze te vergroten.

Het potentieel van Smart Grids

Om de nieuwe vrijheidsgraden die ontstaan als gevolg van de elektrificatie van de energievoorziening te kunnen benutten, wordt veel verwacht van Smart Grids. Smart Grids vormen niet zozeer een technologie, maar een concept. Er circuleren verschillende definities voor de term Smart Grids. De gemeenschappelijke noemer hiervan is het voorzien van elektriciteitsdistributienetten van informatie- en communicatietechnologie.

Uiteraard is dat een middel en geen doel op zichzelf. De vraag welk doel we hiermee beogen, wordt verschillend beantwoord⁹. De literatuur zegt dat Smart Grids concepten ingezet kunnen worden ten behoeve van:

- het besparen van kosten, onder meer door het efficiënter inpassen van duurzame, decentrale energieproductie en het optimaal uitnutten van netcapaciteit
- het actiever betrekken van kleinere verbruikers bij de geliberaliseerde elektriciteitsmarkt, zodat zij kunnen profiteren van de prijsfluctuaties die zich daar voordoen
- het verhogen van de betrouwbaarheid van de voorziening

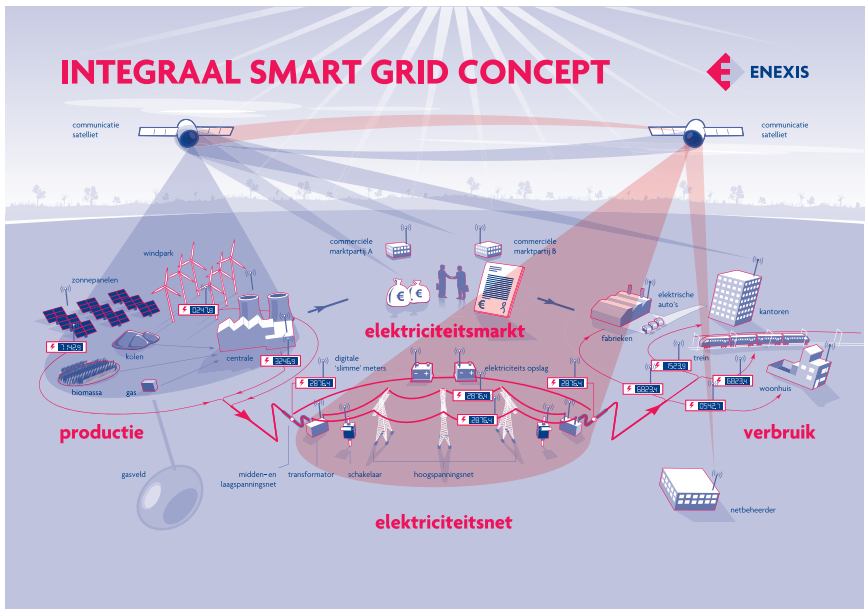
Bij nadere beschouwing blijken deze doelen echter deels te overlappen en kunnen er drie hoofdlijnen worden onderscheiden voor Smart Grids concepten:

1. Het ‘netgerichte’ Smart Grid concept. Dit concept stelt de netbeheerder in staat om de uitnutting en de betrouwbaarheid van distributienetten te verhogen. Hiertoe worden meetgegevens verzameld en wordt op afstand geschaald. Eventueel wordt decentrale elektriciteitsopslag in bijvoorbeeld accu’s ingezet om pieken af te vlakken of onderbrekingen van de voorziening op te vangen. Essentie van dit Smart Grid concept is dat het zich uitsluitend richt op de verantwoordelijkheden van de netbeheerder en er geen betrokkenheid is van producenten en verbruikers.

⁹ Zie bijv. “Smart Grid System Report”, US Department of Energy, juli 2009

2. Het 'marktgerichte' Smart Grid concept. Met dit concept worden kleinverbruikers intensiever betrokken bij de elektriciteitsmarkt. Door de prijssignalen die daar tot stand komen naar hen door te leiden of door de bij de klant aanwezige flexibiliteit beschikbaar te maken voor een commercieel energiebedrijf. Dit schept extra vrijheidsgraden voor het acteren van het bedrijf op de elektriciteitsmarkt. Essentie van dit Smart Grid concept is dat er uitsluitend commerciële energiemarktpartijen, leveranciers en verbruikers, bij betrokken zijn. Op de taak en de rol van de netbeheerder heeft dit concept in principe geen invloed. Dit maakt de betiteling Smart Grid overigens wat verwarrend.

3. Het 'integrale' Smart Grid concept. Dit concept mikt op een integrale optimalisatie van het gehele systeem. Dit is mogelijk door middel van geavanceerde tariefstructuren waarin zowel de situatie op de energiemarkt als de lokaal beschikbare netcapaciteit wordt gereflecteerd. Of door technische ingrepen door de netbeheerder of het commerciële energiebedrijf, waarin deze factoren worden meegenomen. Denk aan zaken als het op afstand in- en uitschakelen van koelapparatuur, (vaat)wasmachines en wasdrogers. Daarbij wordt dan rekening gehouden met de prijs van elektriciteit op de markt en met de lokale elektriciteitsproductie en netcapaciteit.



Het feit dat deze fundamenteel verschillende concepten alle worden betiteld als Smart Grid leidt met regelmaat tot Babylonische spraakverwarringen. Het is daarom zaak om bij artikelen en presentaties over dit onderwerp altijd nauwkeurig te bepalen welk Smart Grid concept er aan de orde is. Zo voorkomen we dat resultaten en conclusies ten aanzien van een bepaald concept ten onrechte worden betrokken op één van de andere concepten of dat er ingewikkelde discussies ontstaan omdat het de gesprekspartners niet duidelijk is dat zij uitgaan van fundamenteel verschillende Smart Grid concepten.

De verschillende Smart Grid concepten staan centraal in mijn onderzoek aan deze universiteit. Ik zal mij bezighouden met technisch-inhoudelijke vraagstukken zoals het nagaan van de potentiële baten van de diverse Smart Grid concepten, de bepalende factoren en de bijbehorende meet-, stuur- en optimalisatieconcepten. Een belangrijk thema is ook de onderlinge vergelijking van de verschillende Smart Grid concepten op deze punten, aangezien hierover nog veel onduidelijkheid bestaat. Specifiek aandachtspunt daarbij vormen de gevolgen van de in Nederland doorgevoerde ‘splitsing’ tussen energiebedrijven en netbeheerders. Naast deze elektrotechnische vraagstukken zijn er vraagstukken aan de orde rondom wet- en regelgeving, tarifiering en de allocatie van de kosten en baten van Smart Grids¹⁰. Smart Grids vormen daarmee een overduidelijk interdisciplinair onderzoeksbied. Ik verheug mij erop hieraan te werken samen met andere groepen binnen onze faculteit en universiteit en daarbuiten, die zich vanuit andere invalshoeken bezighouden met Smart Grids. Zo leggen wij samen het fundament voor de duurzame energievoorziening van de toekomst.

Uit het voorgaande blijkt dat de noodzakelijke, maar complexe en tijdrovende verduurzaming van de energievoorziening een uitdaging van formaat is én dat Smart Grids daarvoor het fundament vormen. Vele collega’s en leermeesters zullen de komende jaren onze sector verlaten vanwege het bereiken van de pensioengerechtigde leeftijd. De leeftijdsopbouw van het ledenbestand van de Power and Energy Society van de IEEE, de van oorsprong Amerikaanse maar in toenemende mate internationale vereniging van elektrotechnici, illustreert dit. De gemiddelde leeftijd van de leden ligt op bijna 50 jaar. Ik ben nog niet zo heel veel ouder dan de studenten onder u. Gedurende ons werkzame leven zal de transitie naar een

¹⁰ Zie voor een uitwerking van deze vraagstukken bijv. E. Veldman, D.A.M. Geldtmeijer, J.G. Slootweg, “Smart grids put into practice” in *Internationalization of infrastructures*, Proceedings of the 12th annual international Conference on the Economics of Infrastructures, Delft University of Technology, mei 2009

duurzame energievoorziening zich voltrekken. Wij gaan een interessante tijd tegemoet, maar hebben ook een grote verantwoordelijkheid. Via mijn deeltijd-hoogleraarschap wil ik eraan bijdragen u hierop voor te bereiden. Ik hoop dat u als vakgenoten en collega's hier vervolgens samen met mij invulling aan zult geven.

Dankwoord en afsluiting

In de afgelopen jaren heb ik een ontwikkeling kunnen doormaken en resultaten kunnen bereiken die maken dat ik vanmiddag officieel de positie van deeltijd-hoogleraar Smart Grids mag aanvaarden. Ik wil van deze gelegenheid gebruik maken om het woord te richten tot een aantal personen en instanties dat daaraan heeft bijgedragen. Ik prijs mij gelukkig dat ik in mijn loopbaan vele mensen heb ontmoet die met mij op allerlei manieren en in allerlei verbanden hebben willen samenwerken. Zo hebben wij samen resultaten bereikt die wij individueel nooit hadden kunnen bereiken. Het is mij onmogelijk hen allen met naam en toenaam te noemen. Ik vertrouw erop dat zij daaraan geen aanstoot nemen en betrek hen graag in de woorden van dank en waardering aan diegenen tot wie ik nu wel persoonlijk het woord richt.

Allereerst mijn grootouders. Op 11 november 2005 sprak mijn vader zijn rede uit ter gelegenheid van de aanvaarding van het ambt van hoogleraar Klinische Pathologie aan het UMC St Radboud. Ik citeer hieruit “Toen ik nu bijna 10 jaar geleden in Utrecht mijn openbare les uitsprak vanwege mijn benoeming aldaar tot bijzonder hoogleraar Orale Pathologie, verwoordde ik mijn vreugde en dankbaarheid voor het feit dat hun (dat wil zeggen van zijn ouders, dus mijn grootouders, HS) gevorderde leeftijd geen belemmering was om bij deze gebeurtenis aanwezig te zijn. Dat dit opnieuw zo is, is wederom reden tot blijdschap en verwondering.” De leeftijd van mijn grootouders is vijf jaar verder gevorderd en hun beider gezondheidstoestand gaat de laatste maanden achteruit. Het mag daarom des te meer tot blijdschap en verwondering strekken dat zij na reeds twee inaugurele redes van hun oudste zoon te hebben kunnen bijwonen, nu ook aanwezig kunnen zijn bij de inaugurele rede van hun oudste kleinzoon. Ik heb niet uitgezocht of dit feit in de geschiedenis van onze universiteit uniek is, maar dat zou best eens het geval kunnen zijn.

De dankwoorden die mijn vader bij deze gelegenheid tot zijn ouders heeft gericht, richt ik hierbij tot mijn ouders. Het fundament waarop ik samen met vele anderen heb kunnen bouwen en, zo lang als mij dat gegeven wordt, zal blijven bouwen, is door jullie beiden gelegd. Van de degelijkheid van dit fundament pluk ik dagelijks de vruchten. Ik ben jullie daarvoor dan ook bijzonder dankbaar.

Hooggeleerde Kling, beste Wil, wij werken nu ruim tien jaar samen. Ik ben er zeker van dat ik ook namens jou spreek als ik zeg dat dit ons veel gebracht heeft. En dat niet alleen op wetenschappelijk, maar ook op persoonlijk vlak. Ik ben je zeer erkentelijk voor de zeldzame combinatie van ruimte en betrokkenheid die ik in onze samenwerking vanaf het begin heb ervaren. Ik waardeer het vertrouwen dat blijkt uit het feit dat ik voor de positie van deeltijdhoogleraar in jouw groep in aanmerking mag komen.

Mijn hoofdwerkgever Enexis, vanmiddag vertegenwoordigd door de Raad van Bestuur, wil ik bedanken voor de financiële ondersteuning die mij financieel in staat stelt om deze positie te bekleden en voor de stimulerende en prettige werkomgeving die Enexis mij nu al jaren biedt.

In deze dank wil ik ook mijn leidinggevendenden van de afgelopen jaren betrekken: Johan, Kees, Gabriël, Marco en Jan. Zoals alle grotere organisaties staan er bij Enexis mooie dingen op papier over persoonlijke groei, ontwikkeling en ontplooiingsmogelijkheden. Dankzij jullie geldt voor mij dat dit niet bij lovenswaardige frasen en goede voornemens bleef, maar steeds werkelijkheid was. Dat maakte het mij mogelijk om in de afgelopen jaren niet alleen toegevoegde waarde te hebben voor Essent Netwerk en Enexis, maar ook in bredere verbanden actief te zijn. Zo kon ik ook na mijn, naar vandaag overigens blijkt voorlopige, vertrek van de universiteit, een wetenschappelijke bijdrage blijven leveren. Ik waardeer dit bijzonder en jullie inspireren mij allen bij het invullen van mijn eigen leidinggevende rol.

De collega's van de afdeling Innovatie bij Enexis wil ik bedanken voor de tomeloze inzet waarmee zij werken aan de verduurzaming van de energievoorziening en onze andere innovatiespeerpunten. En passant vullen jullie daarbij ook nog allerlei gaten op die ik bij Enexis laat vallen in verband met verplichtingen op de universiteit. Dank jullie wel!

Hanneke, Lidewij en Nienke, en ook Michiel en Maaïke die nog te jong zijn om hier aanwezig te zijn, ik wil jullie mijn verontschuldiging aanbieden voor het feit dat ik het thuisfront te vaak veronachtzaam en mij teveel in beslag laat nemen door werk en kerk. Ik waardeer, zij het niet altijd meteen, de assertiviteit waarmee jullie mij er elk op een geheel eigen manier op wijzen wanneer ik jullie onbedoeld weer eens tekort doe. Hanneke, je hoort veel te weinig hoeveel het voor mij elke dag weer betekent dat je het leven met mij wilt delen en een groot deel van de verantwoordelijkheid voor ons gezin op je wilt nemen. Het zij daarom hier en nu gezegd.

Tot besluit van deze rede het volgende. Zowel het vakgebied van de elektrische energietechniek als de thematiek van duurzaamheid kenmerken zich door lange tijdshorizonten. Er wordt gesproken van 'decennia' en 'generaties'. Ik geloof echter dat er zaken zijn die qua belang en reikwijdte deze thematiek nog oneindig ver te boven gaan. Ze overstijgen het materiële domein van de fysica en de techniek, dat het kader vormt voor het vraagstuk van de verduurzaming van de energievoorziening. In de 8^{ste} eeuw voor Christus heeft de profeet Jesaja uit Israel dit onderscheid dichterlijk onder woorden gebracht toen hij schreef: "Het gras verdort en de bloem verwelkt, maar het Woord van onze God houdt altijd stand"¹¹. Het is dát Woord dat mij oproept tot rentmeesterschap en mij inspireert om mijn vakinhoudelijke deskundigheid in te zetten voor het verduurzamen van de energievoorziening. Dit om de energieverbruikende mens in harmonie te brengen met de rest van de schepping. Het is dát Woord dat mij zicht geeft op de dieperliggende problemen van de mensheid. De consequenties die de wijze waarop wij ons van energie voorzien heeft voor onze leefomgeving, zijn daarvan slechts één symptoom. Tot slot is het dát Woord waarin mijn diepste overtuiging wortelt, namelijk dat die problemen voor eens en altijd opgelost zijn door het werk van Jezus Christus.

Ik heb gezegd.

¹¹ Jesaja 40 vers 8 in de Nieuwe Bijbelvertaling

Curriculum vitae

Prof.dr.ir. J.G. (Han) Slootweg is op 1 oktober 2009 benoemd tot deeltijdhoogleraar Smart Grids aan de faculteit Electrical Engineering van de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e).

Han Slootweg (De Bilt, 1976) studeerde in 1998 cum laude af in de Elektrotechniek aan de Technische Universiteit Delft. Tijdens zijn studie verbleef hij een half jaar in Berlijn voor stage en voor studie aan de Technische Universiteit aldaar. In 2003 promoveerde hij in Delft op een proefschrift met de titel 'Wind Power; Modelling and Impact on Power System Dynamics'; eind 2007 ontving hij voor dit onderzoek de prestigieuze Hidde Nijlandprijs. In 2003 studeerde hij ook af in de Bedrijfswetenschappen; zijn afstudeerscriptie had betrekking op de effecten van maatstafregulering van netbeheerders op de betrouwbaarheid van energienetten op de lange termijn. Sinds 2003 is Slootweg werkzaam bij Enexis (tot 1 januari 2008 Essent Network). Vanaf begin 2008 geeft hij leiding aan de nieuw opgerichte afdeling Innovatie van Enexis. Eén van de speerpunten van de afdeling is de transitie naar een duurzame energievoorziening en de consequenties daarvan voor de energiedistributienetten. Per oktober 2009 is hij benoemd tot deeltijdhoogleraar Smart Grids bij de Electrical Energy Systems groep van de faculteit Electrical Engineering van de Technische Universiteit Eindhoven. Zijn onderzoeksthema is de toepassing van Smart Grid technologieën voor optimale inpassing van duurzame energiebronnen en voor de verbetering van de betrouwbaarheid en de uitnutting van elektriciteitsnetten. Slootweg is (co-)auteur van meer dan 75 wetenschappelijke en vakpublicaties over een veelheid aan onderwerpen die verband houden met elektriciteitsnetten. Hij is gehuwd en heeft drie dochters en een zoon. Zijn belangrijkste nevenactiviteit is het voorzitterschap van het College van Kerkrentmeesters van de Protestantse Gemeente Zwolle.

Colofon

Productie

Communicatie Expertise
Centrum TU/e
Communicatiebureau
Corine Legdeur

Fotografie cover

Rob Stork, Eindhoven

Ontwerp

Grefo Prepress,
Sint-Oedenrode

Druk

Drukkerij van
Santvoort, Eindhoven

ISBN 978-90-386-2334-4
NUR 959

Digitale versie:
www.tue.nl/bib/

Bezoekadres

Den Dolech 2
5612 AZ Eindhoven

Postadres

Postbus 513
5600 MB Eindhoven

Tel. (040) 247 91 11
www.tue.nl



Technische Universiteit
Eindhoven
University of Technology