



De tweede revolutie

**Elfde Hidde Nijland rede
gehouden te Delft op 12 juni 2009
voor de Dr.Ir. H.A. Hidde Nijland Stichting
door Prof. Dr. Ir. J. H. Blom**

De tweede revolutie

"Recente ontwikkelingen in de elektrische energievoorziening".

**Geacht bestuur van de Hidde Nijland Stichting,
Geachte dames en heren toehoorders,**

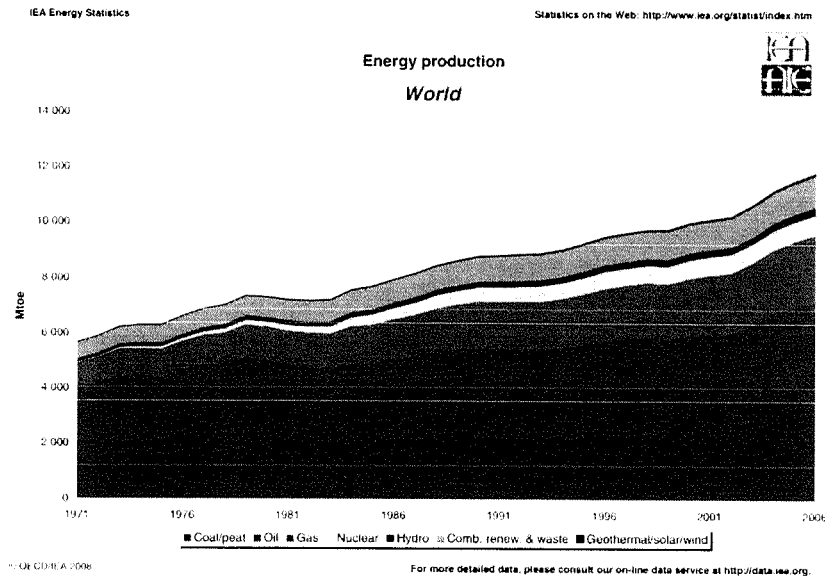
Toen ik vernam dat ik was uitverkoren om deze lezing te mogen houden, was ik natuurlijk blij verrast en ook vereerd omdat ik mij mocht scharen in de illustere rij van voorgangers die een bijdrage in deze cyclus hebben geleverd. Naast het voorrecht om deze lezing te mogen houden zie ik het ook als een vervolmaking van een trilogie. In het jaar 2000 mocht ik mijn intrede als hoogleraar uitspreken. Vorig jaar moest ik door de tand des tijds gedreven mijn afscheidscollege geven. Deze voordracht beschouw ik als een derde loot aan deze stam. Natuurlijk omdat alle goede dingen uit drieën bestaan. Maar zult u vragen, kan je na een jaar al weer wat nieuws te vertellen? Ja, dat kan! Dit positieve antwoord illustreert de dynamiek in de elektrische energievoorziening van vandaag. Daar ben ik trots op! Toen ik nu drienvestig jaar geleden afstudeerde in de elektrotechniek besloot ik om onderzoek te gaan doen ten behoeve van de elektrische energievoorziening. De reden was dat ik vond dat je je talenten in moet zetten op een onderwerp dat belangrijk is voor de samenleving. In het bijzonder beschouwde ik het als een opdracht om de bronnen waarover wij beschikken zo efficiënt mogelijk te benutten.

Daarom was ik zeer gelukkig om onder de onvolprezen leiding van Leo Rietjens te mogen werken aan de ontwikkeling van Magneto-hydrodynamische energieconversie. De simpele reden was dat deze conversiemethode in potentie een onovertroffen rendement van de conversie van warmte naar elektrische energie beloofde. Toen dacht ik kennelijk dat warmte de belangrijkste energiebron was, en elektriciteit de belangrijkste energiedrager. Het eerste blijkt niet waar te zijn. Elektriciteit is nog steeds de belangrijkste energiedrager zoals ik hoop toe te lichten. Inclusief mijn afstuderen heb ik vijftien jaar gewerkt aan de ontwikkeling van magneto-hydrodynamische energieconversie. Het resultaat was nul. Toch waren dit de mooiste jaren uit mijn leven als onderzoeker. Er was kennis van hoge temperatuur plasma's, compressibele stromingen, construeren met keramische brosse materialen, hoge magneetvelden, dus lage temperatuur geleiding, en optische diagnostieken nodig. Kortom een complete fysische meccanodoos. Toen heb ik geleerd dat ook voor onderzoekers de Olympische gedachte geldt: Meedoen is belangrijker dan het resultaat! Met de uitspraak "het resultaat was nul" bedoel ik trouwens alleen dat de doelstelling om met behulp van magneto-hydrodynamische generatoren een efficiëntere en meer economische elektriciteitsproductie te realiseren niet is behaald. Wel is de kennis op de zojuist vermelde gebieden vergroot en hebben een groot aantal stageaires, afstudeerders en promovendi hun kennis bij dit boeiende project mogen vergroten. Die mensen hadden het gemeenschappelijk kenmerk dat ze gingen voor iets dat echt nieuw, revolutionair was, een soort avontuur. Nog gelukkiger ben ik dat de revolutie in de elektrische energievoorziening die niet is veroorzaakt door de Magneto-hydrodynamische energieomzetting er toch is gekomen. Tijdens mijn intrede heb ik de eerste revolutie mogen aankondigen. Het is mij een voorrecht u vandaag de tweede revolutie te mogen onthullen.

De Dr.Ir. H.A. Hidde Nijland Stichting, waarin opgenomen het Dr.Ir. C.J. de Grootfonds, heeft ten doel de bevordering van al datgene dat kan bijdragen tot de ontwikkeling van de wetenschap en van het onderwijs op het gebied van de elektrotechniek, speciaal van de sterkstroom, aan de Technische Universiteit Delft

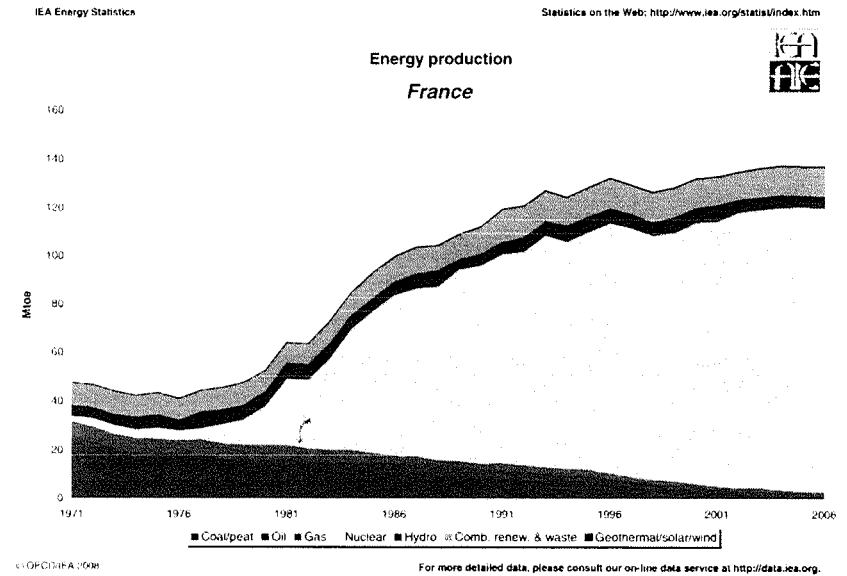
De gemiste revolutie

In de vorige eeuw stond de elektrische energievoorziening niet bekend als een dynamische bedrijfstak. Ze bevond zich in stabiel en rustig vaarwater. De enige rimpelingen in dit water vormden de discussies over kernenergie die in de jaren tachtig plaatsvonden, maar helaas hebben die niet tot een drastische hervorming van de elektriciteitsvoorziening geleid. In 1972 verscheen het rapport van de zogenaamde Club van Rome. Dit rapport van Dennis Meadows c.s. had als titel: "The Limits to Growth- A Report for the club of Rome Project on The Predicament of Mankind". De gemiddelde Engelstalige Nederlander weet niet goed raad met het woord: "Predicament". Wanneer u in het woordenboek kijkt leert u dat het ondermeer "een hachelijke positie" betekent. Nu vijfendertig jaar later behoeven we dat woord niet meer op te zoeken. We realiseren ons vandaag de dag maar al te goed dat we ons ten aanzien van de energiehuishouding in een hachelijke positie bevinden! In 1973 trad tevens de eerste energiecrisis op door de vorming van de OPEC de organisatie van olie-exporterende staten die de olieprijs drastisch verhoogden. Maar ook dit leidde niet tot een revolutie in het denken over energiegebruik. De titel en de inhoud van het rapport van de Club van Rome ging echter verder dan de vaststelling dat we ons in een hachelijke positie bevonden. De hoofdtitel luidt: "De grenzen van de groei". In het rapport werd dit geïllustreerd door de exponentiële groeicurven, waar elk weldenkend mens uit kan concluderen dat die niet ongelimiteerd door kunnen gaan. Toch leidde ook het rapport van Dennis Meadows niet tot een revolutie in het omgaan met energie en milieu. Slechts Frankrijk koos voor een grootschalige introductie van kerncentrales als bron voor elektriciteit. Figuur 1 toont de brandstofinzet voor energieproductie gedurende de laatste 35 jaar wereldwijd.



Figuur 1: Brandstofinzet energieproductie wereldwijd (bron IEA)

Figuur 2 toont deze brandstofinzet voor elektriciteitsproductie in Frankrijk. Het verschil is overduidelijk. Ik droom weleens hoe de wereld er nu uit zou hebben gezien wanneer de wereld het voorbeeld van Frankrijk zou hebben gevolgd. Natuurlijk zou dan de



Figuur 2: Brandstofinzet energieproductie van Frankrijk (bron IEA)

transport en opwerking van nucleaire afvalstoffen op een grote schaal zijn gaan plaatsvinden. Maar ook zou het broeikaseffect niet of in zeer beperkte mate zijn opgetreden. Alleen Frankrijk en slechts enkele andere landen trokken hun lessen. Dus de revolutie die dit rapport had moeten veroorzaken vond niet plaats! Achteraf gezien is dat een ramp voor de mensheid! Want we hebben nu meer dan vijfendertig jaar voorbij laten gaan zonder die te benutten voor de benodigde revolutie van een energievoorziening met fossiele brandstoffen die het broeikaseffect versterken naar bronnen zoals kernenergie en duurzame bronnen die de aarde kunnen redden. We kunnen wel leren dat een omslag naar een nucleaire energievoorziening in ongeveer vijftien tot twintig jaar kan worden gemaakt. Dus wellicht is het nog niet te laat!

De eerste revolutie

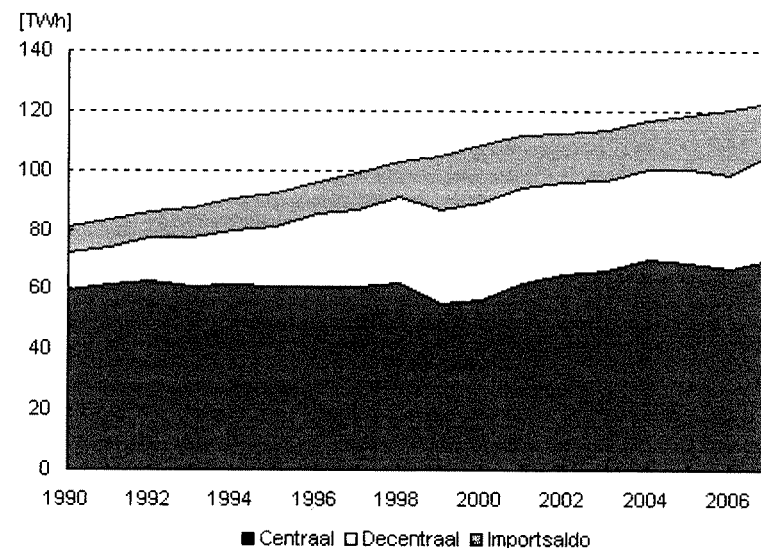
In het jaar 2000 publiceerde het toonaangevende blad "The Economist" op 20 augustus een nummer met op het voorblad de titel "The Electric Revolution". Dus dertig jaar na het rapport van de Club van Rome trad er kennelijk wel een revolutie op in de elektrische energievoorziening, helaas niet in de totale energievoorziening! Maar laten wij ons allereerst gelukkig prijzen met deze revolutie en analyseren waar deze door werd veroorzaakt en wat deze betekent voor de energievoorziening. Voor de goede orde

deze revolutie waarvan ondermeer "The Economist" gewag maakte duid ik aan als de eerste revolutie. Deze eerste revolutie kunnen we kenschetsen met een drietal transitie: "Van grootschalig naar kleinschalig", "Van centraal naar decentraal" en "Van fossiel naar duurzaam". Natuurlijk hangen deze transitie gedeeltelijk met elkaar samen. Daarom is het interessant om de onderliggende oorzaken te bezien waardoor deze transitie zijn veroorzaakt of mogelijk gemaakt. In mijn intreedende voorspelde ik de eerste revolutie op grond van drie trendbreuken: De maatschappelijke trendbreuk, de economische trendbreuk en de technologische trendbreuk. Nu bijna tien jaar later kunnen we vaststellen of deze trendbreuken robuust waren.

Met de maatschappelijke trendbreuk doelde ik op het streven naar een (meer) duurzame samenleving. We kunnen vaststellen dat die verandering inderdaad blijvend is. Een voorbeeld is de zogenaamde 20-20-20 doelstelling van de Europese gemeenschap: Twintig procent energieopwekking uit duurzame bronnen, twintig procent minder CO₂ uitstoot en twintig procent verhoging van de energie-efficiency. Dit zijn ambitieuze doelstellingen. Die kunnen alleen worden behaald wanneer wordt gekozen voor een verdere elektrificatie van de energievoorziening. Reeds in 1997 toonde KEMA in de studie "From Source to Service" aan dat door een drastische elektrificatie de energie-efficiency van een maatschappij als Nederland in twintig jaar kan verdubbelen. Dat kunt u in mijn intreedende lezen. De vraag is of het aandeel van duurzame opwekking snel genoeg zal stijgen. Figuur 4 toont dat de relatieve stijging indrukwekkend is. Maar in 2006 bedroeg het aandeel van opwekking uit zon en wind in Europa ongeveer 1% en uit waterkracht ongeveer 2%. Daarom vrees ik dat het erg moeilijk zal zijn om de target van 20% duurzame opwekking in 2020 te halen. Maar dit neemt niet weg dat de maatschappelijke trendbreuk echt duurzaam is gebleken.

De economische trendbreuk, de liberalisering van de elektrische energievoorziening is nog in volle gang. De regelgeving wordt in verschillende landen verder ontwikkeld en geïmplementeerd. Op Europese schaal wordt de strenge splitsing van de productie en het netwerkbeheer weer wat verzacht, terwijl Nederland zoals gewoonlijk weer het braafste jongetje van de klas is. Dit leidt tot de actuele discussie over de verkoop van onze grote elektriciteitsbedrijven. Het eindresultaat is nog niet bereikt. Wel zijn de beurzen voor de handel in elektrische energie al enkele jaren operationeel. Dit leidt niet alleen tot een handel door de grote elektriciteitsbedrijven, maar ook kleinere aanbieders zoals tuinders proberen alleen of samenwerkend een voordeel op deze markt te behalen.

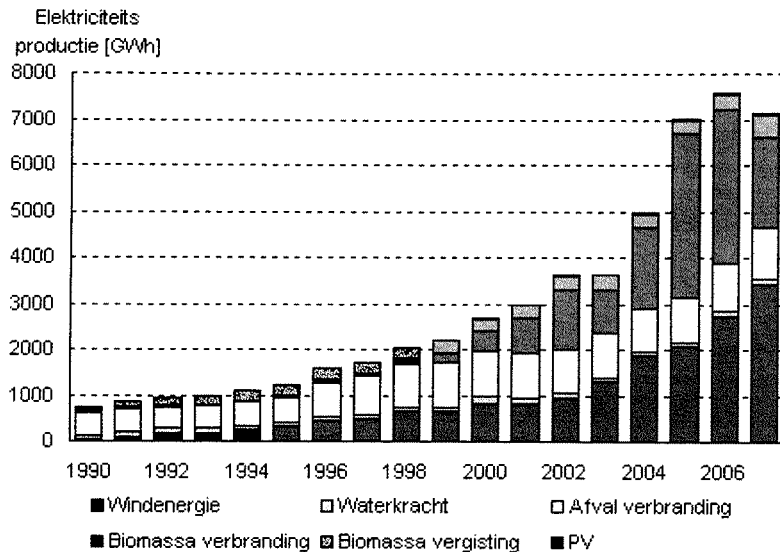
De eerder beloofde daling van de consumentenprijzen is niet gerealiseerd, en het is de vraag of dit ooit zal gebeuren. Hooguit de grootverbruikers kunnen profiteren van de liberalisering. We kunnen concluderen dat de economische trendbreuk nog volop in ontwikkeling is. De politiek zal bepalen hoe vrij deze markt in de toekomst zal zijn.



Figuur 3: De toename van decentrale opwekking in Nederland (bron: Energiecijfers ECN)

De technologische trendbreuk voorspelde een toename van het gebruik van vermogenslektronica in het elektrisch net en de toename van relatief kleine opwekeenheden met een hoog elektrisch rendement. Het toenemend gebruik van vermogenslektronische converters blijkt gekoppeld aan de toename van kleinschalige opwekking. Deze opwekeenheden zoals bijvoorbeeld fotovoltaïsche zonnepanelen zijn vaak via vermogenslektronica gekoppeld aan het net. Figuur 3 toont de toename van kleinschalige opwekking in Nederland, ten opzichte van de centrale opwekking en de import van elektrische energie. Het is duidelijk dat de centrale opwekking vrijwel niet meer stijgt terwijl de decentrale opwekking gestaag toeneemt. In 2007 werd slechts 57% van de elektrische energie centraal opgewekt, terwijl 28% oftewel 17.6 TWh decentraal werd opgewekt. Welk aandeel van deze decentrale opwekking wordt nu duurzaam gegenereerd? Dat antwoord vinden we in figuur 4. Hieruit blijkt dat bijvoorbeeld in 2007 van het totaal van 34,7 TWh decentrale opwekking 7,15 TWh of bijna 21% uit zogenaamde duurzame bronnen wordt opgewekt. Dat betekent tevens dat in Nederland 6% van de totale elektriciteitsconsumptie van 122,8 TWh uit duurzame bronnen kwam.

We kunnen vaststellen de eerste revolutie in volle gang is. We gaan van centrale naar decentrale opwekking, uiteraard van grootschalig naar kleinschalig en van fossiel naar duurzaam! Dit heeft consequenties voor de besturing en beveiliging van het elektriciteitsnet. De besturing geschiedt nu nog steeds centraal, maar door de toename van decentrale opwekking verandert het vermogensverkeer van een-richting- naar tweerichtingsverkeer met consequenties voor de spanningshuishouding en de beveiliging van het distributienet. Met name in het verzorgingsgebied van Eneco en het netbedrijf Stedin vraagt dit door het relatief groot aandeel decentrale opwekking om een

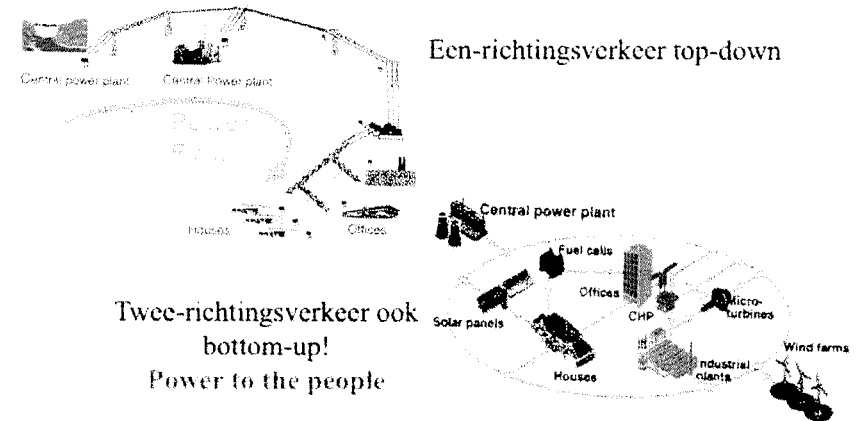


Figuur 4: Toename duurzame opwekking in Nederland (bron: Energiecijfers ECN)

nieuwe beveiligingsfilosofie. Ook vraagt de soms geconcentreerde decentrale opwekking om een lokale verzwaring van het net. Nu het aandeel decentrale opwekking toeneemt verandert de rol van "getolereerd" naar een welkome ondersteuning van de productie. De deelname in de frequentieondersteuning en "ride through" gedurende storingen is in discussie en wordt technologisch ontwikkeld. Decentrale opwekking levert ook nieuwe toepassingsmogelijkheden zoals clusters van decentrale opwekkers in de vorm van "virtual power plants" met een eigen karakteristiek of autonome netten met een lokaal evenwicht tussen opwekking en de belasting in de vorm van zogenaamde "microgrids". De vraag is hoelang het huidige net nog centraal zal worden geregeld. Veel onderzoek vindt plaats naar lokale regelingen met zogenaamde "agent" technologie een vorm van decentrale regeling die naadloos lijkt te passen bij de overgang van centrale naar decentrale opwekking. De bij ECN ontwikkelde zogenaamde "PowerMatcher" is een voorbeeld van deze technologie. Wanneer hierdoor een werkelijk zelfsturend intelligent net zal worden gerealiseerd is moeilijk te voorspellen. Het is ook mogelijk dat door de decentrale regelingen met "agent" technologie de centrale regeling wordt ondersteund. Zodat beide regelingen gaan samenspelen. Een interessante vraag hierbij is of een variabele prijs het evenwicht tussen vraag en aanbod kan bewerkstelligen. Deze prijs kan werkelijk worden gehanteerd of alleen als regelgrootte worden gebruikt. Dit is mede een politieke vraag. Figuur 5 geeft een schematisch beeld van de eerste revolutie.

De eerste revolutie

- Van top-down naar bottom-up
- Naast het net, de technische koppeling, komt de markt, de economische koppeling



Figuur 5: Beeld van de eerste revolutie

Het belang van rendement

Het is verbazingwekkend dat het belang van het energetisch rendement bij een aantal energieopties nauwelijks ter discussie staat. Natuurlijk zegt de eerste hoofdwet van de thermodynamica dat energie altijd behouden blijft, dat is het goede nieuws! Helaas leert de tweede hoofdwet van de thermodynamica dat thermische energie wanneer die eenmaal is benut voor energieconversie, weliswaar in dezelfde hoeveelheid terugkeert, maar dat het potentieel conversierendement is gedaald. Dit bracht mijn onvolprezen leermeester Leo Rietjens ertoe om in zijn intreedende hier aandacht te besteden, en te voorspellen dat wij door dit effect in de verre toekomst helaas gedoemd zijn om een warmtedood te sterven. Daarom is het van belang om bij de conversie van energie een zo hoog mogelijk conversierendement na te streven. Zo noem ik altijd graag met trots het hoge elektrisch rendement van de Eemscentrale van 55,2%! Zo vind ik het verbazingwekkend dat bij de discussie over biomassa als duurzame vorm van energieopwekking het in mijn ogen zeer lage rendement van de conversie van zonne-energie van minder dan 0,3% geen rol lijkt te spelen. In de NRC van zaterdag 9 mei jongstleden wordt juichend gemeld dat switchgrass (*Panicum virgatum*) een veel betere opbrengst geeft dan mais. Switchgrass haalt een opbrengst van 13,5 ton droge stof per hectare per jaar. Wie schetst mijn teleurstelling toen ik constateerde dat mijn getal van 0,3% rendement gebaseerd is op de opbrengst van griendhout van 15 ton per hectare per jaar. Verder is het getal gebaseerd op een verbrandingswaarde van het hout van 18 MJ/kg, een rendement van de elektrische opwekking van 40% en een gemiddelde

zonne-instraling van 110W/m². Dan kunt u indien gewenst een en ander narekenen. Dit lage rendement van biomassa als duurzame bron kunnen we vergelijken met het rendement van foto voltaïsche cellen van 10 tot 20%. Natuurlijk zijn deze cellen relatief duur. Maar de prijs daalt snel, en er dienen zich veelbelovende alternatieven zoals de organische cellen aan. Mijn conclusie is dat biomassateelt voor energieproductie gezien het potentieel lage rendement een verboden weg dient te zijn.

De wetten van de thermodynamica gelden natuurlijk alleen wanneer we met warmteprocessen te maken hebben. Dat is de reden dat voor de opwekking van elektrische energie uit warmte een beperkt rendement geldt. Maar de omzetting van elektrische energie naar andere energievormen zoals mechanische energie, licht en elektromagnetische golven in het algemeen, elektronenbundels, en warmte kan geschieden met vrijwel honderd procent rendement. Dit maakt elektriciteit tot een ideale energiedrager. Een energiedrager moet immers vrijwel verliesvrij naar alle andere energievormen kunnen worden geconverteerd.

Daarom is het in mijn ogen verbazingwekkend dat waterstof in sommige kringen nog steeds wordt gepropageerd. Immers waterstof is net als elektriciteit geen energiebron, maar slechts een energiedrager. Echter voor waterstof geldt dat het evenals elektriciteit met een beperkt rendement kan worden vrijgemaakt of opgewekt. Daar is voor waterstof dan wel altijd een grondstof als een koolwaterstof of water voor nodig. Maar de omzetting van waterstof naar andere energievormen heeft ook een beperkt rendement, omdat daar de wetten van de thermodynamica nog steeds gelden. Dus waterstof voldoet niet aan de voorwaarde dat een energiedrager eenvoudig en verliesvrij in andere vormen van energie moet kunnen worden omgezet. Een argument dat vaak genoemd wordt als voordeel van waterstof is de opslagmogelijkheid. Nu blijkt dit ook niet zo eenvoudig te zijn wegens de lage dichtheid van waterstof bij atmosferische druk. Daarom is de meest toegepaste methode nu de opslag onder zeer hoge drukken van 500 tot 1000 bar. Echter vergelijken we een systeem van opslag met waterstof met opslag van elektriciteit in een conventionele lood-zuur accu, dan vinden we een rendement elektriciteit uit/elektriciteit in van 25% voor waterstof en 80% voor elektriciteit. Toen ik aan een leverancier van een opslagsysteem met waterstof voor windenergie vroeg of hij 25% geen laag rendement vond antwoordde hij: "Wanneer we de energie niet opslaan gaat hij helemaal verloren. Dus 25% is beter dan niets" Dan is waterstof door zijn inherent kleine moleculen moeilijk te transporteren of op te slaan omdat het gemakkelijk weglekt. Aangezien het zich gretig bindt aan zuurstof geeft het ook corrosieproblemen. Dus waterstof is als energiedrager inferieur aan elektriciteit zowel uit het oogpunt van gebruiksgemak als door de relatief hoge verliezen bij de conversie naar andere energievormen.

Daarom is het des te opmerkelijker dat professionele goeroes die de toekomst pogen te voorspellen en politici adviseren zoals Jeremy Rifkin pleiten voor waterstof. In zijn boek "The Hydrogen Economy" vergelijkt hij de beschikbaarheid van waterstof met die van olie, en concludeert dat er veel meer waterstof in de wereld is dan olie. Daarbij vergeet hij dat olie energie oplevert, terwijl het eerst energie kost om waterstof vrij te maken. Citaat uit "The Hydrogen Economy" pag. 179: "Hydrogen completes the journey of decarbonization. It contains no carbon atoms. Its emergence as the primary energy source of the future signals the end of the long reign of hydrocarbon energy in human history. Jeremy Rifkin vermeldt hier niet dat die "carbon atoms" eerst van de "hydrogen atoms" moeten worden gescheiden en dat dit altijd meer energie kost dan "the primary

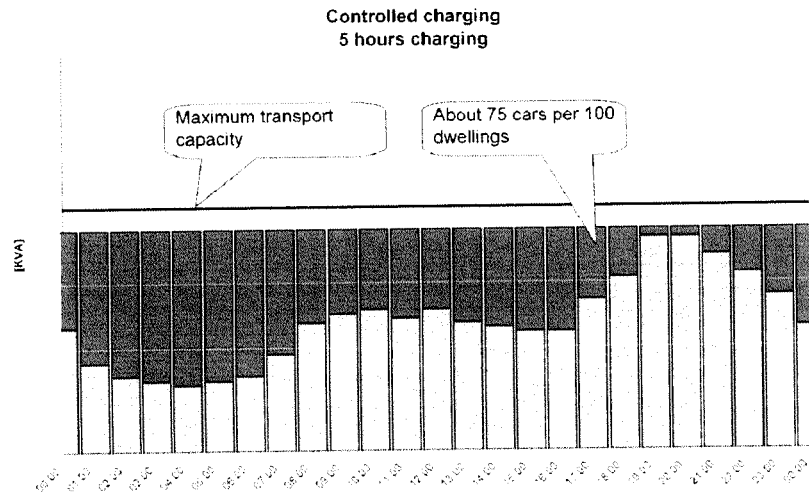
energy source" ooit zal leveren. Een ander citaat: pag. 217 "For the first time in human history we have within our grasp a ubiquitous form of energy, what proponents call the "forever fuel". Hydrogen will eventually be as cheap as personal computers, cel phones and palm pilots." De "forever fuel" is echter slechts een energiedrager die inferieur is aan elektrische energie als energiedrager wegens het genoemde lage conversierendement. Bovendien geldt het "forever" wederom alleen zolang er energie beschikbaar is om de waterstof te genereren. Ik laat het hier maar bij. Mensen als Jeremy Rifkin zijn gevaarlijk, omdat ze geen verantwoording als wetenschapper afleggen, maar wel politici adviseren, waarvan je niet mag verwachten dat ze de wetten van de thermodynamica wel kennen.

De tweede revolutie

De eerste revolutie kan kort worden samengevat als de transitie van centrale naar decentrale energieopwekking. Deze transitie verplaatst het belang van de energievoorziening voor een deel van centraal naar decentraal. De decentrale energievoorziening zal zich in toenemende mate op wijk en woningniveau gaan afspelen. Het ligt voor de hand dat de decentrale opwekking ook deel gaat nemen aan de regeling van de elektrische energievoorziening. Zoals geschetst zal dat onder andere geschieden met decentrale regelingen gebaseerd op "agent" technologie. Daarom spreken we dan over actieve distributienetten, die geen passieve belasting meer vormen, maar deelnemen aan de regeling. Dus de belasting is dan niet langer passief maar wordt actief.

Aan de andere kant zien we bij de opwekking van elektrische energie steeds meer in de tijd variabele bronnen optreden zoals windparken en zonnepanelen. Die worden nu nog gezien als storende factoren voor de stabiliteit van de energievoorziening. De andere productie-eenheden moeten de fluctuaties in het aanbod opvangen om een stabiele energievoorziening te kunnen waarborgen. Recente studies tonen aan dat dit zelfs mogelijk zou moeten zijn, gezien de regelbaarheid van het klassieke productiepark. Dan moet echter de transportcapaciteit van het net voldoende zijn om deze fluctuaties in het vermogen van bijvoorbeeld windparken te kunnen opvangen. Wanneer echter steeds meer fluctuerende bronnen decentraal worden opgesteld, zoals zonnepanelen, is het wenselijk dat er decentraal ook regelbare opwekking aanwezig is om die fluctuerende bronnen te compenseren. Dat ligt niet voor de hand. Dan rest de vraag of de belasting voldoende kan worden gestuurd om de fluctuaties op te vangen. Met de huidige belastingen lijkt de regelruimte te klein. Dan rest de optie om decentraal opslag bijvoorbeeld in de vorm van accumulatoren te installeren. Dat is technisch een aantrekkelijke optie omdat die accu's zowel fluctuaties in de belasting als fluctuaties in de opwekking kunnen compenseren. Economisch is het echter een extra investering waar de klant geen zichtbaar voordeel voor krijgt.

Daarom komt de elektrische auto of de zogenaamde plug-in hybride als geroepen. Immers deze voertuigen beschikken al over een accu waarvoor de klant al heeft betaald voor een ander doel. Maar aangezien die auto toch periodiek aan het net moet worden aangesloten om te laden kan die accu ook dienen om de fluctuaties in de opwekking op te vangen.

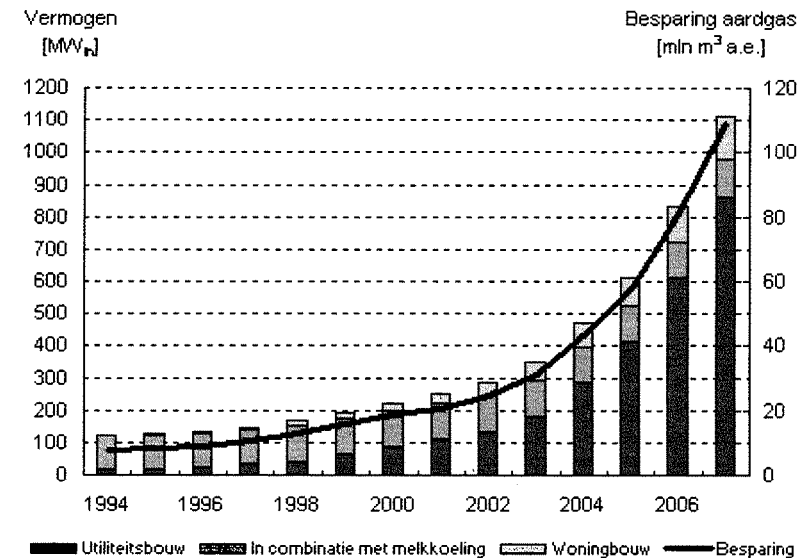


Figuur 6: Voorbeeld van het laden van elektrische auto's met een intelligente regeling. Het effect op de dagbelastingcurve wordt getoond. (bron ECN)

Dit betekent dat de accu van de auto tijdens de laadcyclus en wellicht gedeeltelijke ontladingscyclus moet worden gestuurd door een intelligente regelaar die wordt gestuurd door de lokale belasting van het net. Figuur 6 geeft een voorbeeld van een dagbelastingcurve op middenspanningsniveau. Volgens de berekeningen van ECN zou je binnen de huidige maximum transport capaciteit 75 auto's per honderd huizen kunnen laden.

Gezien deze ontwikkelingen dringt zich de volgende paradigmaverschuiving op. Laat de vraag niet meer het aanbod sturen, maar laat het aanbod de vraag sturen! Dat is een echte revolutie, de tweede revolutie! Immers decennia lang heeft het aanbod altijd de vraag gevolgd. Wanneer nu de vraag het aanbod zou kunnen volgen kunnen duurzame intermitterende bronnen op hun volle capaciteit worden benut. Dit wordt mogelijk door de ontwikkelingen van decentrale sturing met intelligente regelaars die gebruik maken van "agent" technologie. Zoals bijvoorbeeld de reeds genoemde PowerMatcher ontwikkeld door ECN. Daarnaast komt de populariteit van de elektrisch auto juist op tijd om de benodigde variabele belasting te leveren. De ontwikkeling van beide technologieën levert de mogelijkheid om de tweede revolutie te realiseren. De vraag is natuurlijk hoe snel de introductie van elektrische auto's en plug-in hybride auto's zal verlopen. De capaciteit van het net behoeft nauwelijks te worden aangepast. ECN rekent voor dat een miljoen elektrische auto's die 20.000 km per jaar rijden 4000 kWh per auto per jaar, en dus totaal aan energie van 4.4 TWh vragen. Wanneer deze getallen u verbazen, dan moet bedenken dat de motor van een elektrisch voertuig een zeer hoog rendement heeft. Bedenk dat de totale elektrische energieconsumptie in 2008 in Nederland 123 TWh bedroeg. Dus een paar miljoen auto's vragen slechts ongeveer 10%

meer elektrische energie. Het is dus eerder de vraag of de hoeveelheid energie die in auto's kan worden opgeslagen voldoende groot is om de gewenste belastingsturing te realiseren, dan of het elektriciteitsnet de extra benodigde energie wel kan leveren.



Figur 7: Toename van het geïnstalleerd vermogen van warmtepompen in Nederland (bron: Energiecijfers ECN)

In elk geval zal de elektrische auto een belangrijke bijdrage leveren aan de gewenste belastingsturing. Blijkt de totale opslagcapaciteit te klein te zijn, dan kunnen we gebruik maken van de snelle toename van het aantal warmtepompen, die ook heel geschikt zijn om mee te helpen om de belasting in de tijd te schuiven. Figuur 7 toont het begin van een stormachtige ontwikkeling. De toename van warmtepompen leidt tot een besparing van aardgas, door hun beter overall thermodynamisch rendement. Ook is het tijdstip van de belasting afhankelijk van de warmtebuffer regelbaar. Op dit moment vragen de warmtepompen meestal een verzwaring van het distributienet omdat ze nog niet kunnen worden gestuurd.

De conclusie is dat dankzij de combinatie van ICT technologie met de komst van decentrale opwekking en regelbare belastingen zoals elektrische auto's en warmtepompen de tweede revolutie een grote kans van slagen heeft.

Graag dank ik het bestuur van de Hidde Nijland Stichting voor de gelegenheid die ze me hebben geboden om deze rede uit te spreken. Dat was een genoegen. Ook dank ik het bestuur van de Hidde Nijland Stichting dat ze mij waardig achten om de penning in ontvangst te nemen, ik beschouw dat als een grote eer.

Ik dank u voor uw aandacht.