

Smart buildings voor smart grids

Uitgave 2012



Technisch rapport - 7



TR-07 Smart buildings voor smart grids

| | |
|------------------------|---|
| Datum | februari 2012 |
| Versie | 0.05 februari 2012 |
| Documentnr | 2011_34_MBr |
| Auteur | Ir. Michiel van Bruggen |
| In opdracht van | TVVL, platform voor mens en techniek |

De Energiemanager
J.O. Vaillantlaan 67
1086 XZ Amsterdam
T: 06 13608931
F: 084 2275663
E: info@deenergiemanager.nl



Voorwoord

Dit rapport is tot stand gekomen na enkele workshops die georganiseerd zijn door TVVL. In deze workshops zijn de onderzoeksvragen geformuleerd en is het onderzoek verder uitgediept. De TVVL is alle TVVL-leden die bijgedragen hebben aan deze workshops zeer erkentelijk. De resultaten van deze rapportage zijn gepresenteerd tijdens het Nieuwjaarssymposium van de TVVL op 10 januari 2012.



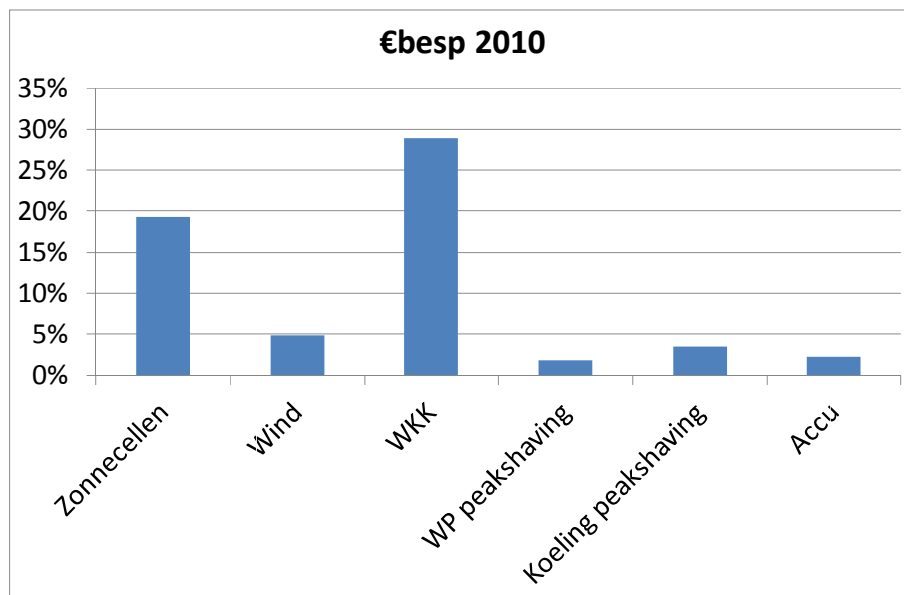
Samenvatting

Smart buildings zijn in de context van dit rapport gebouwen, waarin de energiehuishouding met behulp van een informatie-netwerk geoptimaliseerd wordt om bijvoorbeeld de kosten voor het totale energiegebruik via de aansluiting naar het openbare net te minimaliseren of om te zetten in inkomsten.

Deze rapportage bestaat uit twee delen. Het eerste deel geeft inzicht in de belangrijkste aspecten van smart grids en smart buildings. Het tweede deel gaat in op technieken die in gebouwen gebruikt kunnen worden voor de energievoorziening en die van invloed zijn op de werking van smart grids in smart buildings.

Met smart grid technieken voor gebouwen kan flexibiliteit in de energiehuishouding gerealiseerd worden (voorbeeld: piek-shaving). Hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen energieproductie (voorbeeld: WKK met variërende verhouding tussen warmte- en elektriciteitsproductie), energieverbruik (voorbeeld: afschakelbaar vermogen) en buffering (voorbeeld: accu's).

Om een indicatie te kunnen geven van de waarde van de verschillende technieken in relatie tot een smart grid is gekeken naar de energie- en kostenbesparing door het toepassen van deze technieken in een referentiegebouw. Dit is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: impact op energiekosten in het referentiegebouw van verschillende smart-grid maatregelen.



Inhoud

| | |
|--|-----------|
| VOORWOORD | 2 |
| SAMENVATTING | 3 |
| 1. INLEIDING | 1 |
| 2. WAAROM EEN SMART GRID? | 2 |
| 2.1. ONTWIKKELINGEN | 2 |
| <i>Decentrale energieproductie</i> | 2 |
| <i>Elektrificatie transport en verwarming</i> | 5 |
| <i>Grensoverstijgende kansen</i> | 6 |
| 2.2. BEPERKINGEN | 7 |
| <i>Piekbelasting</i> | 7 |
| <i>Spanningskwaliteit</i> | 8 |
| <i>Voorspelbaarheid en flexibiliteit</i> | 8 |
| 2.3. CONCLUSIE..... | 9 |
| 3. WAT IS EEN SMART GRID? | 10 |
| 3.1. OVERZICHT | 10 |
| 3.2. DE SLIMME METER | 11 |
| 3.3. MICROGRID | 12 |
| 3.4. VIRTUAL POWERPLANT | 12 |
| 3.5. ZELFHELEND NETWERK..... | 13 |
| 3.6. VERANDERENDE ROLLEN | 13 |
| 4. SCENARIO'S NEDERLAND | 14 |
| 5. WAT KAN EN MAG OP HET SMART GRID? | 16 |
| 5.1. WETGEVING | 16 |
| <i>Wat zijn beschermde aansluitingen?</i> | 16 |
| <i>Past de huidige tariefstructuur bij een smart grid?</i> | 16 |
| <i>Wie mag een elektriciteitsnet exploiteren?</i> | 17 |
| <i>Wie mag elektriciteit verhandelen?</i> | 18 |
| <i>Wie beschikt over de relevante informatie voor het besturen van een smart grid?</i> | 19 |
| <i>Wie kan profiteren van balanshandhaving?</i> | 19 |
| 5.2. PRIJSPRIKKELS | 19 |
| 5.3. MEEDOEN..... | 21 |
| 6. INLEIDING | 24 |
| 7. SMART BUILDINGS VOOR SMART GRIDS | 25 |
| 7.1. MAATREGELEN | 25 |
| <i>Waarde van een voorziening</i> | 25 |
| <i>Referentiegebouw</i> | 26 |
| <i>Grafische weergave</i> | 27 |
| 8. ENERGIEPRODUCTIE | 28 |
| 8.1. ZONNECELLEN | 28 |
| 8.2. WINDTURBINE..... | 29 |
| 8.3. WARMTE-KRACHTKOPPELING | 30 |
| 9. PEAK SHAVING/SHIFTING | 33 |
| 9.1. WARMTEPOMPEN | 33 |
| 9.2. KOELING | 34 |
| 9.3. OVERIGE | 35 |
| 10. ENERGIEOPSLAG | 36 |



| | | |
|------------|---|-----------|
| 10.1. | ACCU'S | 36 |
| 10.2. | OVERIGE OPSLAGTECHNIEKEN | 37 |
| | <i>Potentiële energie</i> | 37 |
| | <i>Vliegwiél</i> | 37 |
| | <i>Perslucht</i> | 39 |
| | <i>Waterstof</i> | 39 |
| 11. | SAMENVATTING | 39 |
| | BIJLAGE 1: OVERZICHT VAN MAATREGELEN | 41 |
| | BIJLAGE 2: REFERENTIEGEBOUW AGENTSCHAPNL | 43 |



1. Inleiding

Van oudsher zijn onze elektriciteitsnetwerken uitgelegd op grote gecentraliseerde opwekeenheden en vele decentrale verbruikseenheden waarvan het elektriciteitsgebruik binnen acceptabele bandbreedte valt te voorspellen. Dit gaat veranderen. Onze toekomstige energievoorziening zal gebaseerd zijn op meer lokale en regionale (duurzame) energieopwekking en buffermogelijkheden zoals in elektrische auto's. Verder zal door toename van grote energieverbruikers bij eindgebruikers, zoals warmtepompen of elektrische auto's de belasting van het net toenemen en de voorspelbaarheid van de belasting afnemen. De toename van de belasting van het net zou al op korte termijn tot technische problemen kunnen leiden. Door een grotere onvoorspelbaarheid van de belasting moeten leveranciers en de landelijk netbeheerder Tennet meer flexibiliteit inkopen. Aangezien flexibiliteit kostbaar is kan dit leiden tot hoge energieprijzen.

Ook op internationaal niveau is behoefte aan meer flexibiliteit. Windenergie van de Noordzee, buffercapaciteit in stuwmeren, waterkracht uit Noorwegen en in de toekomst zonne-energie uit de Sahara.

Een smart grid biedt hiervoor een oplossing door met behulp van informatie- en regelsystemen aanbod en vraag van energie op elkaar af te stemmen.

In deze publicatie worden de verschillende aspecten van het smart grid beschreven. Daarbij wordt met name uitgegaan van het perspectief van het gebouw. De publicatie bestaat uit twee delen. In deel één wordt het smart grid in al zijn facetten beschreven, in deel twee worden verschillende voorzieningen op gebouwniveau beschreven die een relatie kunnen hebben met het smart grid.



2. Waarom een smart grid?

Verduurzaming van de energievoorziening zorgt voor ontwikkelingen waar de energievoorziening op dit moment niet op berekend is. In dit hoofdstuk worden deze ontwikkelingen kort geschetst samen met de problemen die als gevolg van de geschetste ontwikkelingen te verwachten zijn.

2.1. Ontwikkelingen

De ontwikkelingen met betrekking tot de verduurzaming van de energievoorziening zijn voornamelijk:

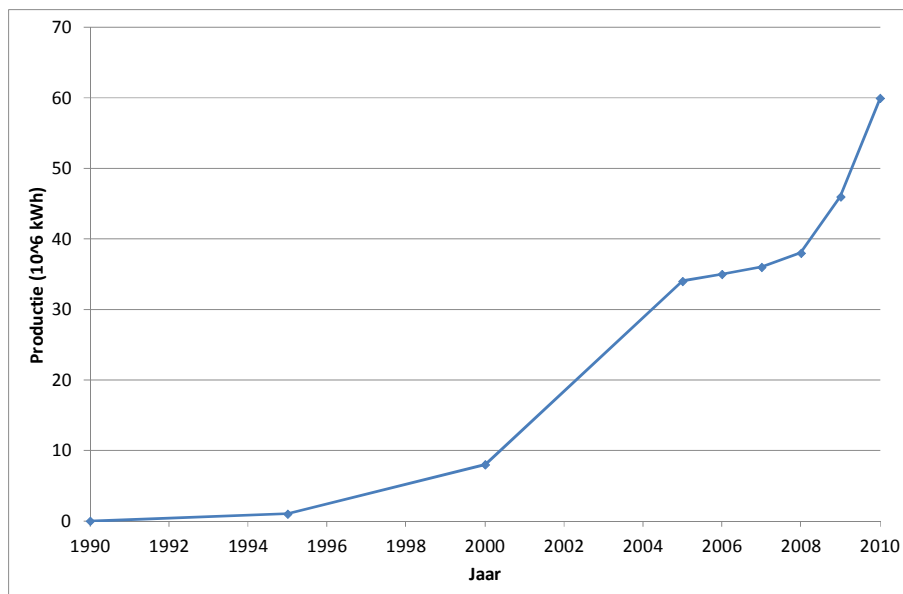
- Sterke toename van decentrale energieproductie
- Elektrificatie van transport (elektrische auto's) en verwarming (warmtepompen)
- Grensoverschrijdende mogelijkheden, zoals het gebruik van waterkracht uit Noorwegen, buffercapaciteit in de stuwweren van Frankrijk en zonnestroom uit Spanje.

Deze ontwikkelingen worden in deze paragraaf uitgebreider beschreven.

Decentrale energieproductie

ZON

Zonnecellen worden goedkoper, elektriciteit wordt duurder. Op dit moment bedraagt de terugverdientijd van een investering in zonnecellen circa 10 jaar. Binnen afzienbare termijn zal je eigen zonnestroom goedkoper zijn dan de stroom uit het elektriciteitsnet. Bovendien zijn zonnecellen vaak eenvoudig te integreren in de gebouwde omgeving. Het potentieel van (foto voltaïsche) zonne-energie in de gebouwde omgeving is aanzienlijk. In Figuur 2 is de ontwikkeling van de productie van elektriciteit uit zonne-energie in Nederland weergegeven over de afgelopen jaren. Het is duidelijk dat de elektriciteitsproductie uit zonne-energie sterk toeneemt.



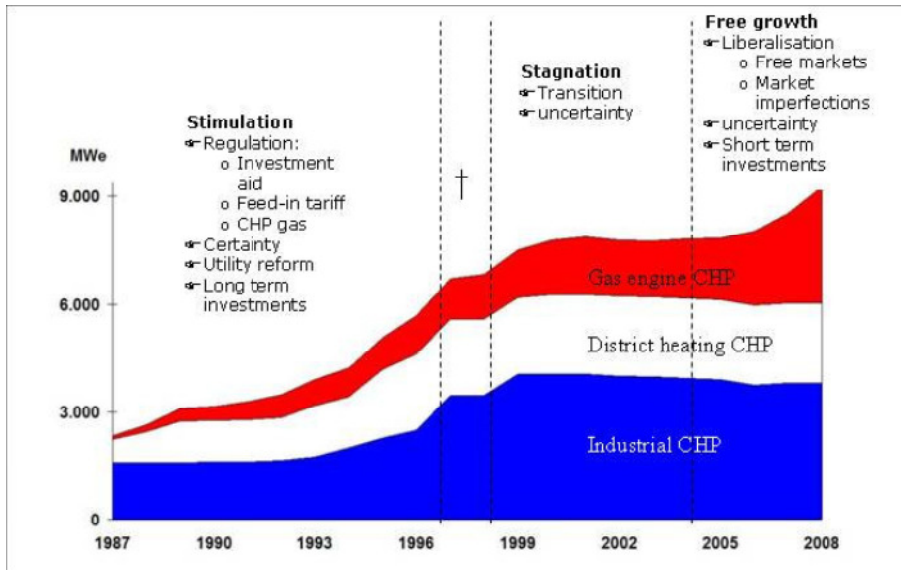
Figuur 2: Ontwikkeling van foto-voltaïsche zonne-energie in Nederland¹

¹ Hernieuwbare energie in Nederland 2010 (CBS)



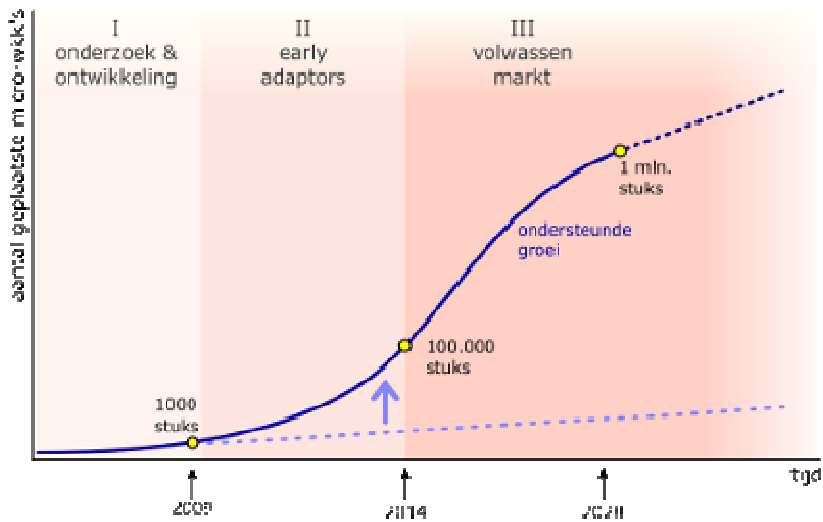
WKK

Gezien de aardgas-infrastructuur in Nederland bied de toepassing van warmtekrachtkoppeling veel perspectief. Elektriciteitsproductie waarbij de restwarmte ook nuttig gebruikt wordt, wordt gekenmerkt door een hoge efficiëntie. Door gebruik van biobrandstoffen en slimme combinaties met warmtepompen kunnen de milieuprestaties van WKK nog verder verbeterd worden. Het geïnstalleerd vermogen van (grote) WKK installaties vertoont een forse groei, zie Figuur 3.



Figuur 3: Ontwikkeling van geïnstalleerd WKK vermogen in Nederland (Source: Cogen Projects; CBS; ECN).

De verwachting is dat kleinere warmte-kracht units een forse ontwikkeling zullen doormaken. Een belangrijke rol is daarbij weggelegd voor de HRe-ketel die zowel warmte als elektriciteit produceert. De HRe-ketel is met name geschikt voor de vervangingsmarkt. Met circa 300.000 ketels per jaar is dat een grote markt. Producenten verwachten rond 2020 één miljoen HRe ketels geleverd te hebben, zie Figuur 4. Bij elkaar kunnen deze ketels een elektrisch vermogen van 1000 MW leveren. Dat is evenveel als een grote elektriciteitscentrale.

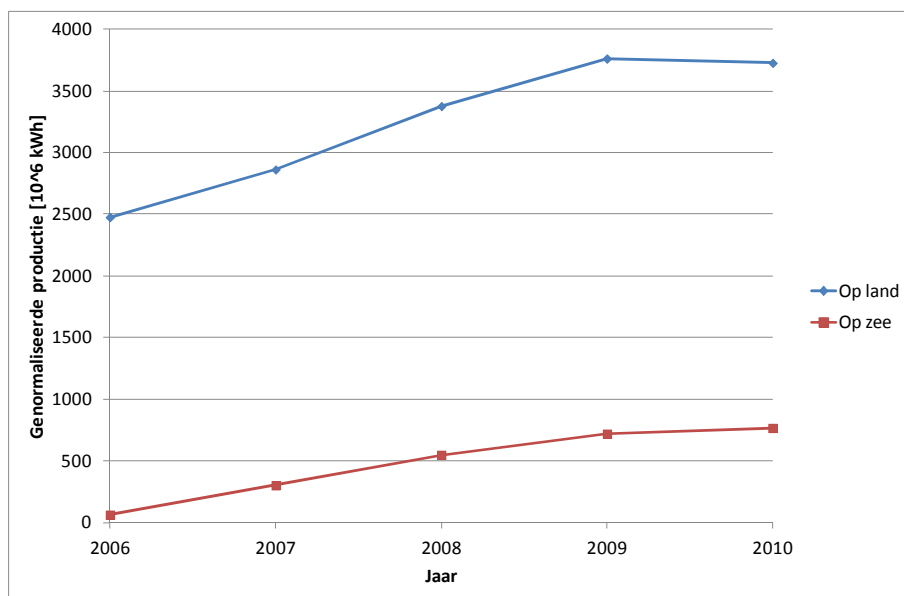


Figuur 4: Verwachtingen van leveranciers (bron: www.microwkk.nl).

Ook voor utiliteitsgebouwen is de verwachting dat het gebruik van warmte-krachtkoppeling zal toenemen. Met name in situaties waar de warmtebehoefte aanzienlijk is. Mini-warmtekrachtkoppeling is leverbaar vanaf een elektrisch vermogen van circa 5 kW.

WIND

De toepassing van windenergie in de gebouwde omgeving wordt over het algemeen als niet kansrijk gezien. Door de slechte windomstandigheden en de kleine schaal is de opbrengst relatief laag. Toch zijn er wel niches bedenken waar, wellicht juist door bebouwing de omstandigheden gunstig zijn voor het toepassen van kleine windturbines. De schaalgrootte van dergelijke toepassingen blijft echter beperkt. De toepassing van windparken op windgunstige landlocaties is interessant, maar heeft vaak te maken met strijdige belangen op het gebied van natuur, landschap of industrieontwikkeling. Windparken op zee zijn nu sinds een aantal jaar in opkomst. De verwachting is dat de productie van windparken op zee fors zal toenemen. In Figuur 5 is de ontwikkeling van windenergieproductie in Nederland gegeven. Te zien is enige stagnatie, de verwachting is echter dat de productie snel weer zal toenemen.



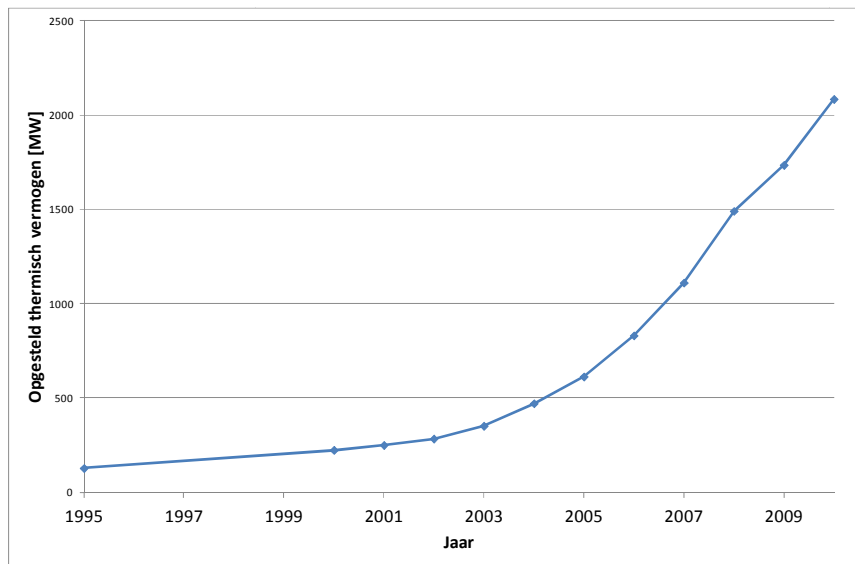
Figuur 5: Ontwikkeling van windenergie in Nederland. (Bron: Hernieuwbare energie in Nederland 2010 (CBS).



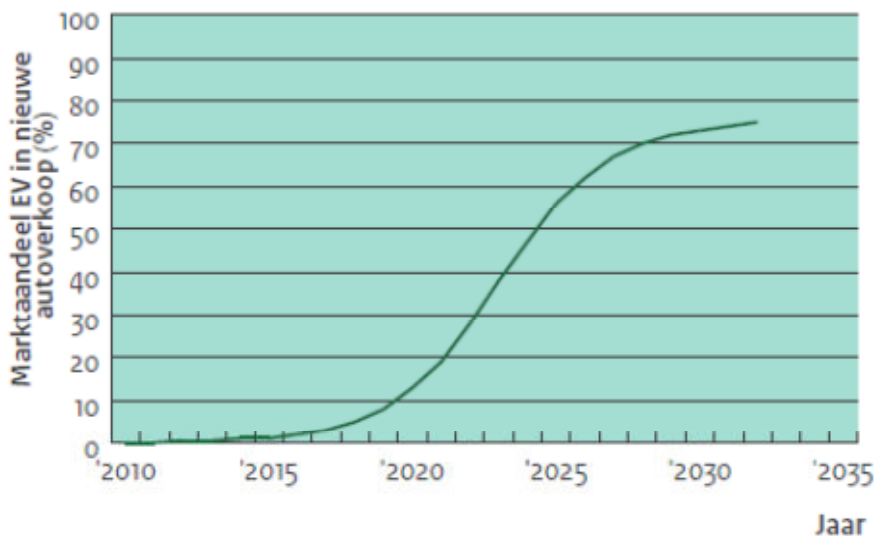
Elektrificatie transport en verwarming

Elektriciteit is een zeer flexibele energiedrager. Het is eenvoudig te transporteren en bij gebruik van elektriciteit ontstaan geen emissies. Toekomstscenario's zijn dan ook vaak gebaseerd op elektriciteit als belangrijkste energiedrager. Bij energietoepassingen waar traditioneel gebruik gemaakt wordt van fossiele energiedragers zijn vervangingen op basis van elektriciteit in opmars. Het meest evident is dat bij de ruimteverwarming, met de warmtepomp als elektrisch alternatief en het vervoer, waar elektrische auto's steeds meer gebruikt worden.

In Figuur 6 is het opgestelde thermische vermogen van warmtepompen (zowel warmtepompen met als warmtebron zowel lucht als bodem) geven. In Figuur 7 is de prognose van de Nederlandse overheid gegeven van de marktontwikkeling van de elektrische auto.



Figuur 6: Opgesteld thermisch vermogen van warmtepompen in Nederland (Bron: CBS, statline)

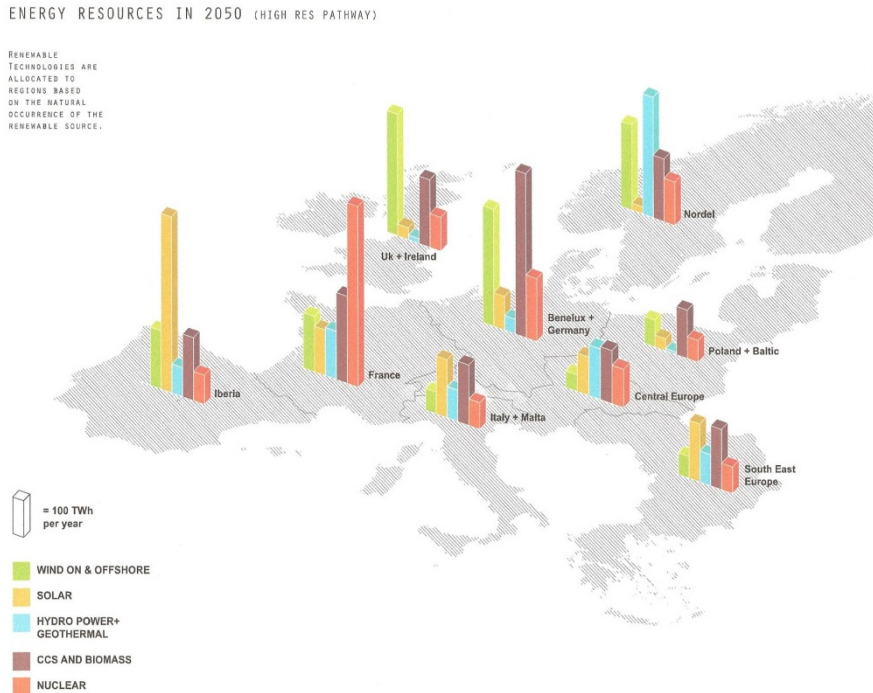


Figuur 7: Prognose door Nederlandse Overheid ontwikkeling elektrische auto.

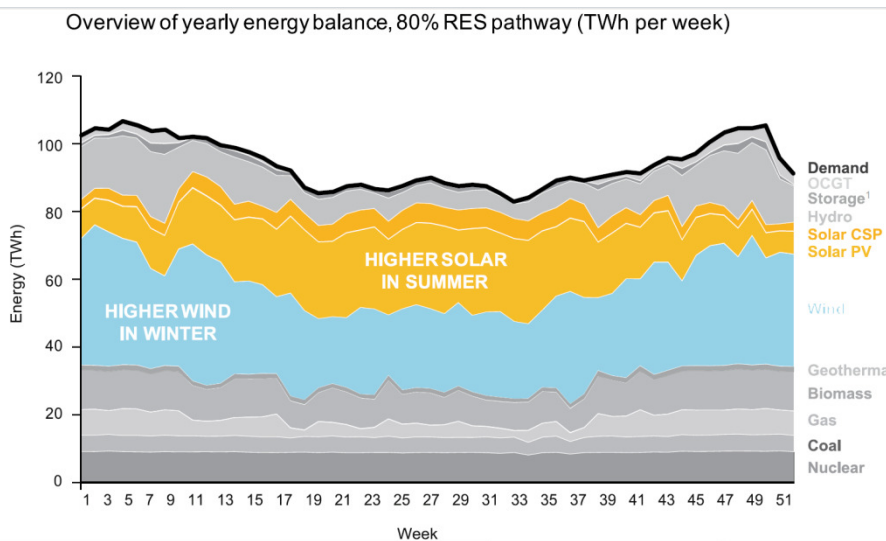


Grensoverstijgende kansen

Noorwegen heeft waterkracht, op de Noordzee wordt windenergie geproduceerd, Spanje biedt mogelijkheden ten aanzien van zonne-energie. Bij de verduurzaming van de Europese energievoorziening is mogelijke een visie op internationale samenwerking op dit gebied noodzakelijk. Figuur 8 geeft een beeld van duurzame energieproductie in Europa in 2050. Het is duidelijk dat elke regio gekenmerkt wordt door eigen mogelijkheden voor duurzame energieproductie. Deze duurzame bronnen kunnen elkaar goed aanvullen wat betreft gelijktijdigheid. Dit is weergegeven in Figuur 9.



Figuur 8: Europese duurzame energiebronnen in 2050 (Bron: Roadmap 2050, Office for metropolitan architecture, European Climate Foundation)



Figuur 9: Visie op de energiebalans in 2050. 2050 (Bron: Roadmap 2050, Office for metropolitan architecture, European Climate Foundation)



Naast deze duurzame bronnen is er in Europa zo'n 40.000 MW aan grootschalige opslagcapaciteit, met name in het Verenigd Koninkrijk, Noorwegen, Italië en Frankrijk.

De geografische spreiding van de verschillende duurzame energiebronnen en opslagcapaciteit maken een Europees intelligent supernetwerk noodzakelijk.

Facebook bouwt serverpark bij de Noordpool. Sociale netwerksite Facebook is van plan een groot groen datacenter te bouwen in Luleå, vlakbij de poolcirkel in Zweden. Het bedrijf kan hier profiteren van de toegang tot duurzame energie en het koude klimaat, wat cruciaal is voor de koeling van servers. De keuze is op Luleå gevallen vanwege haar koude klimaat en de goedkoopste energieprijzen van Europa. Het nieuwe datacenter wordt het grootste van Europa. Het serverpark zal 30 duizend vierkante meter groot worden, gelijk aan elf voetbalvelden, en zal goed zijn voor de verwerking van alle data uit Europa, Afrika en het Midden-Oosten. Facebook wil met de bouw van het groene datacenter haar ecologische voetafdruk verminderen. "Het is ons eerste datacenter dat energie vooral uit hernieuwbare energiebronnen gaat halen", zei een Facebook-woordvoerder.

2.2. Beperkingen

In de vorige paragraaf hebben we gezien welke ontwikkelingen de elektriciteitsnetten van de toekomst moeten faciliteren. Gezien deze ontwikkelingen kampen de huidige netwerken met een aantal technische problemen:

- Bij grootschalig gebruik van elektrische auto's en warmtepompen zal, zonder verder ingrijpen, onacceptabel hoge piekbelasting ontstaan op het net. Dit is dus een probleem van de netbeheerder. Ook bij gelijktijdige productie van bijvoorbeeld zonnecellen of HRe ketels kunnen piekbelastingen op het net ontstaan;
- Grootschalige toepassing van lokale energieopwekking kan ten koste gaan van de elektronische stabiliteit van het net. Dit is ook een probleem van de netbeheerder;
- Bij grootschalige toepassing van elektrisch transport en lokale opwekking is het verbruik minder goed te voorspellen. De voorspelbaarheid van het verbruik is belangrijk voor het plannen van de inzet van (grote) productiemiddelen. Grote energiecentrales zijn nauwelijks regelbaar.

Met name de toepassing van warmtepompen blijkt al op korte termijn tot problemen te kunnen leiden. De verwachting is dat de overige ontwikkelingen (elektrisch transport, lokale productie) op langere termijn (ca 15 jaar) tot problemen kan leiden.

Piekbelasting

Deze toenemende zware belastingen op het net, zoals warmtepompen en elektrische auto's kunnen voor problemen zorgen in de elektrische infrastructuur. Het elektrische vermogen voor een warmtepomp in een woning is 2 à 3 kW. Verder zijn warmtepompen vaak uitgerust met aanvullend elektrisch (reserve) vermogen voor zeer koude weersomstandigheden. Dit aanvullend vermogen is meestal veel groter dan het vermogen van de warmtepomp zelf, waardoor de belasting door een warmtepomp op het net onder extreme omstandigheden kan oplopen tot 5 à 10 kW.

De netbelasting van elektrische auto's hangt af van het type accu en de laadsnelheid. Een auto met een enigszins acceptabele actieradius heeft een accu met een energie-inhoud van 25 kWh. Om de accu op te laden zal een aansluitvermogen nodig zijn van minimaal 3 kW. Een normale lader (bijvoorbeeld een laadstation) heeft een vermogen van 11 kW (3X16A). Snelladers (DC-laders), aangesloten op het middenspanningsnet, kunnen een aangesloten vermogen hebben tot 100 kW.

In de traditionele situatie (met een c.v. ketel) wordt voor de netbelasting per woning uitgegaan van circa 1 kW. Het is duidelijk dat de netten die uitgelegd zijn voor deze traditionele situatie zonder aanvullende maatregelen in de problemen komen bij grootschalige introductie van warmtepompen en elektrisch vervoer.



Duurzame energieproductie is doorgaans niet goed regelbaar. Levering van duurzame energie moet ook voorrang hebben boven levering van elektriciteit uit fossiele bronnen. Bij gelijksoortige duurzame energieproductie, zoals uit zon of wind is de gelijktijdigheid groot. Dit kan ook leiden tot piekbelasting op het net.

TENNET congestiemanagement

Nu al blijkt in sommige gebieden de beschikbare transportcapaciteit onvoldoende. Dit wordt met name veroorzaakt door de toenemende decentrale energieproductie, zoals bijvoorbeeld windparken op zee die leiden tot transportproblemen in de Maasvlakte. Om de beschikbare transportcapaciteit optimaal te benutten heeft Tennet het systeem van congestiemanagement ingevoerd. Dit systeem zorgt er voor dat, bij dreigende overschrijding van de beschikbare transportcapaciteit, producenten op dit net uitgeschakeld worden. De verminderde levering wordt dan opgevangen door productiecapaciteit elders in het land.

Spanningskwaliteit

De kwaliteit van elektriciteit hangt samen met in hoeverre de werkelijke stroom- en spanningskarakteristieken van het net overeenkomen met de gewenste karakteristieken. Een slechte kwaliteit wordt veroorzaakt door uitval of schakelactiviteiten op het net, hetgeen spanningsdips kan veroorzaken. De kwaliteit kan ook verstoord worden door specifieke afnemers die zorgen voor harmonische vervuiling of fase-verschuiving.

Lokale opwekking kan de kwaliteit van de elektriciteit ten goede komen, de transportafstanden zijn immers kleiner. In netwerken met zowel grote hoeveelheden belasting als grote hoeveelheden opwekking kunnen echter ook spanningsproblemen ontstaan, met name als de opwekking zich op laagspanningsniveau bevindt. De noodzaak van stroom in twee richtingen op het net en de met vele kleinschalige opwekeenheden samenhangende complexiteit van balancering kan leiden tot fluctuaties.

In het huidige elektriciteitsnet is de richting van de stroom altijd duidelijk. De stroom gaat van een het hoogspanningsnet naar het middenspanningsnet en vervolgens naar het laagspanningsnet. Bij grootschalige toepassing van decentrale opwekking moet het net twee richtingen op kunnen werken. Bij overschotten op het laagspanningsnet, zal teruggeleverd moeten worden op het middenspanningsnet. Dit vraagt om andere technieken en beveiligingssystemen.

Om die problemen te voorkomen of te verminderen moeten specifieke regelstrategieën ontwikkeld worden.

Voorspelbaarheid en flexibiliteit

Te alle tijden moeten vraag en aanbod van elektriciteit in evenwicht zijn. Om de inzet van productiemiddelen te plannen moeten de energiebedrijven een voorspelling maken van de elektriciteit die ze de volgende dag zullen leveren. Deze verplichting wordt de programmaverantwoordelijkheid genoemd. De partijen die de programma's maken worden de programmaverantwoordelijken genoemd. Sommige (kleinere) energiebedrijven hebben hun programmaverantwoordelijkheid uitbesteed aan andere bedrijven. De landelijke netbeheerder Tennet zorgt op basis van al de programma's van de programmaverantwoordelijken voor een planning van de inzet van productiemiddelen.

Deze planning komt nooit helemaal overeen met de vraag. Om het verschil tussen de planning en de werkelijke vraag te overbruggen wordt reservecapaciteit ingekocht. Deze reservecapaciteit heeft zowel betrekking op het opregelen als het afregelen. Inzet van deze reservecapaciteit is kostbaar.

Niet alle productiemiddelen zijn goed en snel regelbaar. Zo kan een kolencentrale nauwelijks geregeld worden. Een grote gascentrale is beter regelbaar en de inzet van kleinere productie-eenheden (bijvoorbeeld warmte-kracht eenheden bij tuinders) zijn goed regelbaar.



Energiebedrijven zullen zelf tot het laatste moment hun programma's bijstellen om de inzet van reservevermogen te voorkomen. Dit wordt gedaan met bilaterale contracten. De energie die op deze manier verhandeld wordt heeft meestal een hogere prijs dan de energie die ingekocht is op basis van lange-termijn contracten, maar een lagere prijs dan de inzet van reserververmogen door Tennet.

Door de toename van decentrale opwekeenheden wordt het lastiger om het verbruik goed te voorspellen. Met name bij zon- en windenergie, waarbij de productie afhankelijk is van klimatologische omstandigheden is er een grote onzekerheid. Ook onvoorspelbare grote piekbelastingen, zoals bijvoorbeeld te verwachten is bij elektrisch vervoer, zorgt voor een grotere onzekerheid ten aanzien van het te verwachten afnamepatroon.

Toenemende onzekerheid ten aanzien van het te leveren afnamepatroon betekent een grotere behoefte aan reservevermogen en dus hogere kosten.

Regelstrategieën kunnen met gebruikmaking van buffers en afschakelbaar vermogen er voor zorgen dat de elektriciteitsvraag binnen acceptabele bandbreedte blijft.

2.3. Conclusie

In dit hoofdstuk hebben we laten zien dat er een aantal ontwikkelingen zijn die een grote impact zullen hebben op de wijze waarop elektriciteitsnetwerken worden gebruikt. We hebben ook gezien dat de huidige elektriciteitsnetwerken daar niet op berekend zijn. Op de laagspanningsnetten kunnen deze problemen zich al op korte termijn voordoen. Op de middenspannings- en hoogspanningsnetten zal dit pas op langere termijn tot problemen leiden. De oplossing wordt gezocht in slimme regelsystemen die vraag- en aanbod op optimaal op elkaar af kunnen stemmen.



3. Wat is een smart grid?

In het vorige hoofdstuk zijn de te verwachten ontwikkelingen beschreven en ook die aspecten waarop de huidige elektriciteitsnetten te kort schieten in relatie tot de beschreven ontwikkelingen. In dit hoofdstuk wordt beschreven wat de eigenschappen zijn van het net dat de ontwikkelingen wel goed kan opvangen.

3.1. Overzicht

In een smart grid worden met behulp van informatie- en regelsystemen aanbod en vraag van energie op elkaar afgestemd. Essentieel is dat er tweerichtingsverkeer mogelijk is tussen energiegebruikers onderling en met producenten.

Een smart grid moet in ieder geval de volgende eigenschappen hebben²:

- Flexibiliteit: Inspelen op de behoefte van de eindgebruikers nu en in de toekomst.
- Toegankelijk: Toegang verlenen tot alle aansluitingen op het net.
- Betrouwbaar: Leveringszekerheid en leveringskwaliteit moeten gewaarborgd zijn.
- Economisch en efficiënt: Kosten-efficiënt, faciliteren van energiebesparing en energiemanagement, zorgen voor een gelijk speelveld ten aanzien van concurrentie.

Hierdoor ontstaan er mogelijkheden om:

- vraagrespons bij gebruikers te activeren zodat bijvoorbeeld niet iedereen tegelijk elektrische auto's gaat opladen of elektrische apparaten gaat aanzetten;
- decentrale opwekking en opslag van energie beter in het systeem in te passen;
- nieuwe producten, diensten en markten te ontwikkelen gekoppeld aan energiebesparing en comfort;
- de flexibiliteit van het energiesysteem te verhogen;
- investeringen in netten te beperken of uit te stellen;
- de betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening te waarborgen.

Het smart grid biedt de netbeheerder dus mogelijkheden om het vermogen in zijn netten te beperken en de leverancier de mogelijkheid om de benodigde flexibiliteit kosten-efficiënt in te vullen. Het smart grid biedt ook kansen voor de eindgebruikers. Door toegankelijkheid van het net kan een eindgebruiker (in de toekomst) optimaal profiteren van de dynamiek van de energieprijzen. Eindgebruikers kunnen zelf deelnemen aan de energieproductie en kunnen per situatie overwegen van welke producent ze energie willen afnemen. De verwachting is dat, met de stijging van de energieprijzen en de toenemende behoefte aan flexibiliteit bij de energieleveranciers en de toenemende behoefte aan vermogensregulering bij netbeheerders, dit interessant wordt voor de eindgebruikers.

In het smart grid vinden we, naast mogelijkheden voor demand side management (opwekking, buffering, peak shaving) achter de meter een aantal belangrijke elementen:

- De slimme meter met gedetailleerde meetgegevens van de aansluiting.
- Toegevoegde intelligentie op allerlei niveaus.
- Microgrid.
- Virtual powerplant
- Self healing grid.

² European smart grids Technology platform, "Vision and strategy for Europe's electricity networks of the future", 2006, Brussel



Figuur 10: Illustratieve voorstelling van een smart grid

Deze worden in de volgende paragrafen beschreven.

3.2. De slimme meter

De huidige slimme meter biedt actuele informatie van het energiegebruik op de aansluitingen, status-informatie over aangesloten apparaten (maximaal 5) en stuursignalen (maximaal 4) voor aangesloten apparaten. De term 'slimme meter' wordt momenteel gebruikt om de toekomstbestendige energiemeters voor kleingebruikers mee aan te duiden. De belangrijkste eigenschappen van de slimme meter zijn:

- Zowel energielevering als energieafname worden gedetailleerd (interval van een kwartier) gemeten. Overigens worden de gedetailleerde gegevens in beginsel niet uitgelezen door de energiebedrijven en zit in de meters een geheugen voor 10 dagen aan gedetailleerde meetgegevens.
- De meter kan op afstand uitgelezen worden. Wettelijk mag de meter, zonder aanvullende toestemming van de eindgebruiker, maximaal één maal per 2 maanden uitgelezen worden. Er worden dan alleen geaggregeerde gegevens (meterstanden) uitgelezen, dus geen gedetailleerde meetgegevens.
- Er bestaat een mogelijkheid om anderen (overige dienst aanbieders, ODA's) toegang te verlenen tot de meetgegevens. Deze kunnen bijvoorbeeld energiemanagementdiensten leveren.
- De meter kan de belasting limiteren met behulp van een drempelwaarde.
- De meter meet de kwaliteit van de stroomvoorziening en kan deze informatie naar de netbeheerder sturen.
- De meter kan apparaten of lokale energieproductie, aansturen.

De technische specificaties van de slimme meter voor kleingebruikers zijn vastgelegd in NTA 8130. De term 'slimme meter' is overigens misleidend, De intelligentie die bepaalt hoe apparaten en voorzieningen aangestuurd worden zit niet in de slimme meter zelf.

De slimme meter heeft betrekking op kleingebruikers. De meetgegevens van grootverbruikers met een aansluitvermogen van meer dan 100 kW worden nu al standaard op basis van telemetrie gedetailleerd uitgelezen. De overige mogelijkheden van de slimme meter hebben deze aansluitingen echter vooralsnog niet.

Om een aansluiting effectief mee te kunnen laten doen met het smart grid is meer informatie en vooral ook veel meer intelligentie nodig. ECN heeft een protocol ontwikkeld voor de aanvullende benodigde intelligentie onder de naam 'powermatcher'. De powermatcher kan bijvoorbeeld de basis zijn van een virtual powerplant. In paragraaf 3.4 wordt de powermatcher uitgebreid beschreven.



3.3. Microgrid

Een microgrid is een sectie in het laagspanningsnetwerk dat (tijdelijk) autonoom kan functioneren. In het microgrid zijn (duurzame) energieproductie, buffercapaciteit en afschakelbaar vermogen (zoals warmtepompen, elektrische auto's, airconditioning e.d.) aanwezig. De schaal is middelgroot (tot maximaal een paar MW aangesloten vermogen).

Storingen in het bovenliggende netwerk kunnen door het microgrid (tijdelijk) opgevangen worden. Als de storing verholpen is wordt het microgrid weer gesynchroniseerd met het bovenliggende net. Hiermee wordt de betrouwbaarheid van het net vergroot.

Een microgrid kan, maar hoeft niet, samenvallen met een virtual power plant (zie paragraaf 3.4). Het microgrid kan dan beschouwd worden als één aansluiting met een flexibele belasting of productie.

3.4. Virtual powerplant

Kleinschalige (duurzame) energieproductie-units worden doorgaans ingepast in bestaande elektriciteitsnetwerken zonder actieve sturing of monitoring. Met grote aantallen lokale productie-units wordt het noodzakelijk de productie optimaal in te passen zodat verstoring van het net voorkomen wordt en voorrang gegeven kan worden aan duurzame energieproductie.

Door een groot aantal kleinschalige productie-units te combineren kan één grote, min of meer regelbare, productie-unit gerealiseerd worden. Dit wordt een virtual powerplant genoemd. Een virtual powerplant hoeft zich niet te beperken tot productie-eenheden. Ook het aggregeren van afnamepatronen kan tot een interessante propositie in de energiemarkt leiden.

Een virtual powerplant is dus een groep van aansluitingen die gezamenlijk een interessante propositie kunnen hebben in de energiemarkt. De propositie wordt met name bepaald door de flexibiliteit (beïnvloedbaarheid) die de virtual powerplant kan bieden ten aanzien van verbruik en productie. De aansluitingen die tezamen de virtual powerplant vormen hoeven niet perse geografisch bij elkaar te liggen. Is dit wel zo, dan kan de virtual powerplant samenvallen met het microgrid.

De virtual powerplant introduceert een nieuwe rol in de energiemarkt. De tussenpersoon, die zorgt voor het aggregeren van afname en productie van een groot aantal verschillende aansluitingen tot één verhandelbaar product. De tussenpersoon regelt de verhandeling van energie en stuurt op basis van prijsprikkels (of andere randvoorwaarden) de portfolio aan.

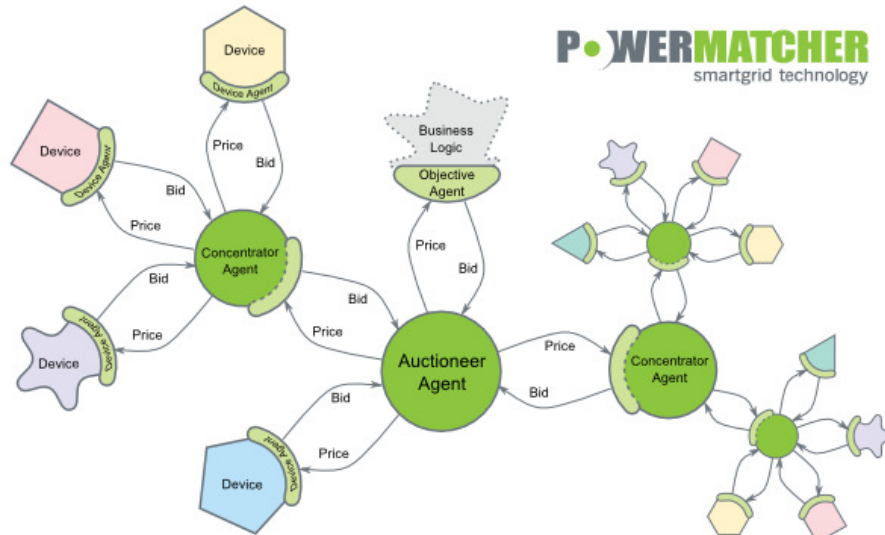
Door ECN is software ontwikkeld die de taken van de tussenpersoon grotendeels op zich neemt. Deze software heet powermatcher. De powermatcher matched vraag en aanbod op basis van dezelfde bied-principes als in de groothandelsmarkt. Dit proces is, door het gebruik van software-agents, schaalbaar en kan volledig geautomatiseerd verlopen. Een software agent is een software-onderdeel dat een specifieke rol kan vervullen. De software agent behartigd de als het ware de belangen van de betreffende rol. Het systeem onderscheidt de volgende software agents:

- Local device agent. Verbonden aan het te regelen apparaat, bijvoorbeeld een duurzaam energiesysteem of een systeem met een afschakelbaar vermogen. Op het niveau van de local device agent wordt bijvoorbeeld vastgesteld voor welke prijs energie gekocht of geleverd kan of mag worden.
- Concentrator agent. Aggregeert de informatie van de device agents en concentreert de informatie tot één aankoop- of verkoopspositie.
- Auctioneer agent. Bepaalt uiteindelijk de prijs op basis van alle posities van de concentrator agents.



- Objective agents. Bepaalt op basis van welke criteria de handel plaats vindt. Als er geen objective agent aanwezig is, streeft het systeem naar een balans van vraag en aanbod in de eigen cluster.

In Figuur 11 is de werking van de powermatcher grafisch weergegeven.



Figuur 11: Werking van powermatcher op basis van verschillende agents (bron www.powermatcher.net).

3.5. Zelfhelend netwerk

Het zelfhelende netwerk is een systeem dat op basis van informatie- en regelsystemen defecten in het netwerk kan detecteren, lokaliseren en isoleren. Door dynamische routing van de energielevering is de impact van de defecten in het netwerk op de eindgebruikers minimaal. Het zelf helende netwerk vergroot de betrouwbaarheid van het systeem.

3.6. Veranderende rollen

Met de versnippering van de energievoorziening veranderen ook de rollen van de partijen in de traditionele energiemarkt. Zo wordt de consument een actieve betrokkene, een prosumert. Ook de rol van de netbeheerder wordt actiever, met een dynamische uitwisselingen van allerlei gegevens, slimme stuursystemen en flexibele tarifiering. De energieleverancier die alle mogelijkheden benut om de kosten van het onvoorspelbare verbruik te beperken of mogelijk allerlei andere rollen op zich zal nemen.



4. Scenario's Nederland

In het Energierapport 2008, uitgegeven door het ministerie van economische zaken worden een aantal mogelijke scenario's geschetst voor de energievoorziening van Nederland in 2050. Deze scenario's worden 'powerhouse van Europa', Nederland Energieflexwerker en 'Smart Energy city' genoemd. Deze scenario's worden hier verder toegelicht (citaat uit betreffende rapport).

Powerhouse Europa

De eerste denkrichting is die van Nederland als Powerhouse van Europa. Vanwege de ligging van Nederland aan de kust kunnen kolen makkelijk worden aangevoerd en is voldoende koelwater beschikbaar. Er komen veel kolencentrales in Nederland bij. De gasinfrastructuur wordt daarnaast uitgebouwd tot een gasrotonde, met een aantal grote gascentrales. Door te kiezen voor kolenvergassing wordt de flexibiliteit van het systeem vergroot. Nederland levert basislastvermogen aan de ons omringende landen, die zelf in hun piekvermogen moeten voorzien. De zeehavens investeren in overslagcapaciteit van kolen, en TenneT investeert met buitenlandse partners in uitbreiding van de netcapaciteit, om de stroom naar het achterland te vervoeren. De industrie, en met name de energie-intensieve industrie wordt hiermee op haar wenken bediend. Het is mogelijk dit beeld te 'vergroenen'. Nederland speelt dan een voorbeeldrol met het afvangen en opslaan van CO₂ en bijstook van biomassa en gaat hard door met het ontwikkelen van zijn windparken op land en op zee.

Energieflexwerker

Het tweede beeld is dat van Nederland als de energieflexwerker van Europa. Meer grootschalige wind- en zonne-energie leidt tot een grotere behoefte aan snelstartend reservevermogen: centrales die snel hoger of lager kunnen worden geschakeld. Nederland levert deze flex-energie – die een hogere waarde heeft dan basislast-energie – dankzij het aardgas. Landen om ons heen verzorgen met hun kolen- en kerncentrales de basislast voor de Noordwest-Europese markt. Nederland ontwikkelt zich zo tot flexibele buffer tussen de 'must run' basislast en de sterk variabele duurzame energievormen. Zo kan Nederland zijn eigen (en in de toekomst: het ingekochte) aardgas tegen de beste Europese prijs in de vorm van elektriciteit verhandelen en wordt de elektriciteitsvoorziening het verlengstuk van de Gasrotonde. Ook aan dit beeld kan weer een vergroeningsperspectief worden gekoppeld: de restwarmte uit de piekcentrales wordt benut voor bijvoorbeeld nieuwe visserij-industrie (warmwater viskweek) en biobrandstof-industrie (oliewinning uit gekweekte algen). Hierbij past een beeld van de Noordzee als energiebron, met onder meer het grootste windpark ter wereld.

Smart Energy City

Het derde toekomstbeeld is meer lokaal gericht en betreft Nederland als Smart Energy City. De vraag naar minder energieafhankelijkheid leidt in dit beeld tot 'eigen' lokaal geproduceerde en vaak kleinschalig opgewekte elektriciteit (met onder meer zon-PV, micro-WKK, mestvergisting en zonneboilers). Door de elektriciteitsnetwerken 'smart' te maken produceren de vroegere energieconsumenten energie (ze worden 'prosumers'). Met de micro-WKK en de slimme meters als vertrekpunt groeit de decentrale energieopwekking (waar we nu al wereldwijd in voorop lopen). Ieder huishouden en bedrijf heeft zijn eigen opwekkingseenheid, met een 'smart' netwerk om het overschot aan stroom te verhandelen. Het Nederlandse bedrijfsleven specialiseert zich in toenemende mate in slimme ontwerpen met hoge toegevoegde waarde (creatieve industrie, handel, dienstverlening) en een sterk ecologisch profiel (cradle to cradle). Ook hier is weer een transitiepad naar meer duurzaamheid uit te zetten, met bijvoorbeeld het aankoppelen van zonneboilers en decentrale energieopslag in auto-accu's of warmtepompen.

0-ampère visie

Het scenario van de 0-ampère visie is niet opgenomen in het energierapport van de overheid. Deze visie is ontwikkeld door Uneto-VNI. De essentie van deze visie is dat



gestreefd wordt naar een zo klein mogelijke stroom (bij voorkeur 0-ampère) in alle netten. Hierdoor worden overschotten en tekorten altijd op het laagst mogelijke schaalniveau vereffend. De automatisering van dit concept is veel eenvoudiger dan dat van het smart energy city concept van de overheid.

De eerste twee denkrichtingen hebben met name betrekking op de inrichting van de grootschalige energieproductie in Nederland. Het derde scenario heeft betrekking op het niveau van de laagspanningsnetten en de 0-Ampère visie en komen het dichtst in de buurt van het 'smart grid' zoals bedoeld in deze publicatie. De verschillende scenario's sluiten elkaar niet uit, maar geven een beeld van de relevante ontwikkeling op het gebied van de energie-infrastructuur.



5. Wat kan en mag op het smart grid?

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de randvoorwaarden ten aanzien van het smart grid. Eerst wordt ingegaan op de (huidige) wetgeving. Vervolgens wordt specifiek ingegaan op prijsprikkels die nodig zijn om van passieve aangeslotenen actieve aangeslotenen te maken.

5.1. Wetgeving

Op het smart grid worden aanbod en vraag van energie optimaal op elkaar afgestemd door slimme regelsystemen. In deze paragraaf wordt aan de hand van een aantal concrete vragen ingegaan op de randvoorwaarden die de huidige wetgeving schept. De inhoud van deze paragraaf is grotendeels gebaseerd op de rapportage 'smart grid pilots, handvaten voor toepassing van wet- en regelgeving. Deel 2'.

Wat zijn beschermde aansluitingen?

Aansluitingen worden onderscheiden naar kleinverbruikers en grootverbruikers. Kleinverbruikers zijn aangeslotenen die beschikken over een aansluiting met een maximale doorlaatwaarde van 3x80A (ca 50 kW). Dit zijn niet alleen consumenten. Meer dan 90% van de aangeslotenen zijn kleinverbruikers.

Kleinverbruikers zijn door wetgeving verzekerd van energielevering. Levering van elektriciteit aan kleinverbruikers is alleen toegestaan door leveranciers met een leveringsvergunning.

Past de huidige tariefstructuur bij een smart grid?

Een smart grid is gebaat bij een zo flexibel mogelijke tariefstructuur met allerlei mogelijkheden voor incentives voor productie of afname (beperking). Voor grootverbruikers zijn de tarieven vrij, maar voor de kleinverbruikers zijn er wettelijke regels die soms beperkend werken.

Wettelijk is vastgelegd dat de kosten voor de netbeheerder worden verrekend middels een capaciteitstarief. Het capaciteitstarief is een vast bedrag voor het transport van elektriciteit, afhankelijk van de omvang van de aansluiting. De structuur van dit tarief biedt geen prikkels om het verbruik af te stemmen op het beschikbare aanbod. Netbeheerders zijn gebonden aan door NMa goed gekeurde maximale tarieven. Dit beperkt de mogelijkheid om door middel van tariefdifferentiatie de belasting op een net te beïnvloeden. Overigens kunnen de netbeheerders wel lagere tarieven vragen dan de vastgestelde maximale tarieven.

De afrekening aan kleingebruikers gebeurt (wettelijk) volgens het leveranciersmodel. Dit houdt in dat de kleinverbruikers van hun leverancier één rekening ontvangen waarin zowel het tarief voor hun aansluiting (inclusief meterkosten) alsook de prijs die zijn verschuldigd zijn aan de leverancier voor de door hen gebruikte hoeveelheid elektriciteit. Deze verplichting gaat ten koste van de, voor het smart grid gewenste, flexibiliteit van de kleinverbruikers.

Alleen verbruikers betalen transportkosten, producenten aan de hoogspanningsnetten zijn daarvan vrijgesteld. Producenten zijn ook gebruikers van transportcapaciteit. Het is economisch efficiënt als de tarieven voor het transport van elektriciteit de door de aangeslotene veroorzaakte kosten weerspiegelen. In dat geval gaan er prikkels uit naar alle deelnemers van het systeem om de transportkosten zo laag mogelijk te houden.

Dit geldt ook voor de kosten van hoogspanningsnetten. Deze worden (middels het cascadesysteem) toegerekend aan de verbruikers op de distributienetten. Het cascadesysteem wil zeggen dat de kosten verdeeld worden onder verbruikers naar rato van de levering aan



het betreffende distributienet. Een kenmerk van de lokale duurzame energievoorziening is dat productie dicht bij de consumptie plaatsvindt. Hierdoor zijn de transportkosten lager. Verbruikers die hun elektriciteit dichtbij kopen kunnen niet beloond worden voor het vermijden van transportkosten op alle spanningsniveaus.

De grootverbruikers kennen de wettelijke bescherming van de kleingebruikers niet. Aan grootverbruikers kan worden geleverd zonder leveringsvergunning. Ook de tarifiering van transportkosten is niet wettelijk geregeld. Er zijn ook geen belemmeringen om van verschillende leveranciers naast elkaar in een bepaalde periode elektriciteit af te nemen.

Wie mag een elektriciteitsnet exploiteren?

Initiatieven waarbij het elektriciteitsnet door anderen dan de netbeheerder geëxploiteerd wordt sluiten goed aan bij de ideeën van het smart grid. Een gezamenlijk ontwikkeld bedrijventerrein, een bewonerscoöperatie in een wijk die streeft naar autarkie. Toch zijn de mogelijkheden binnen de huidige wetgeving beperkt.

De taak van de netbeheerders is om in voldoende transportcapaciteit te voorzien door het aanleggen van distributienetten. Deze netten mogen in principe niet aangelegd worden door anderen dan de netbeheerder. Wettelijk lijken particulier netten voor de ontwikkeling slechts zeer beperkt mogelijk. Bij het verlenen van ontheffingen is de overheid tot nu toe zeer terughoudend geweest. De volgende gronden voor ontheffingsverlening worden genoemd in de elektriciteitswet:

- het net bestemd is om de aanvrager te voorzien van elektriciteit dan welk om het centrale bedrijfsproces van de aanvrager te ondersteunen, of;
- het net bestemd is om een aantal samenwerkende natuurlijke personen of rechtspersonen te voorzien van elektriciteit en de samenwerking van deze personen een betrouwbaar, duurzaam, doelmatig en milieuhygiënisch verantwoord functionerende energiehuishouding in hun vestigingen ten doel heeft, of;
- ten aanzien van het net kwaliteitseisen van toepassing zijn die in betekenende mate afwijken van de kwaliteitseisen die voor een elektriciteitstransport net gebruikelijk zijn, en;
- de aanvrager geen (openbare) netbeheerder is en niet in een groepsmaatschappij met een netbeheerder verbonden is.

Verder zijn uit gerealiseerde ontheffingsbesluiten de volgende beperkingen af te leiden:

- Het moet om één geografisch, beperkt gebied gaan
- Het aantal aangeslotenen moet beperkt zijn, hoogstens enkele tientallen.
- Minimaal 50% van de (rechts)personen die op het te realiseren particuliere net worden aangesloten dien op het moment van ontheffingsaanvraag bekend te zijn.
- De aanvrager moet voldoende overtuigend kunnen beargumenteren wat de meer- of eigenwaarde is van het particuliere netwerk in vergelijking met een openbaar netwerk. Een kostenvoordeel geldt niet als een op zichzelf staande aanvoordbare reden voor verlening van de ontheffing, wel als aanvullende reden.

In het geval van een installatie waarbij de elektriciteit geleverd wordt aan de personen die voor eigen risico de installatie exploiteren wordt het net niet gezien als een openbaar net maar als een installatie. Daarbij hoeft de installatie niet perse gesitueerd te zijn op het perceel van de verbruikers. Er mag zonder leveringsvergunning worden geleverd aan afnemers die mede-exploitant zijn van de installatie. Aan andere kleinverbruikers mag niet zonder leveringsvergunning geleverd worden.

In het geval er sprake is van een net dat energie levert aan verschillende gebouwen waarbij zowel de gebouwen als de elektrische installatie eigendom is van één eigenaar, mag deze eigenaar de betreffende energievoorziening zelf beheren.

De verantwoordelijkheid van de netbeheerder voor de betrouwbaarheid van de netten kan de netbeheerders terughoudend maken bij het ontwikkelen van slimme netten.



Netbeheerders mogen geen concurrerende activiteiten ontwikkelen tenzij dit nodig is voor de uitoefening van hun wettelijke taak de veiligheid op het net te waarborgen.

Een netbeheerder mag geen elektriciteit produceren, verhandelen of leveren. Een netbeheerder mag zelf elektriciteit inkopen voor het compenseren van de netverliezen. Netbeheerders zouden deze netverliezen in principe in kunnen kopen bij kleinverbruikers die zelf elektriciteit opwekken. Kleinverbruikers hebben daar dan geen leveringsvergunning voor nodig.

De Netbeheerder is wettelijk belast met de beheerstaken voor het net. De netbeheerders zijn verantwoordelijk voor de betrouwbaarheid van de netten en zijn zij verplicht om ieder die daarom vraagt van een aansluiting op het net te voorzien. Netbeheerders hebben een natuurlijk monopolie. Het is mogelijk dat door voortschrijdende technieken de vanzelfsprekendheid van dit natuurlijke monopolie achterhaald blijkt. Het bij het slimme net behorende ICT systeem behoort overigens niet vanzelfsprekend tot dit natuurlijke monopolie.

Wie mag elektriciteit verhandelen?

Productie en handel in elektriciteit zijn vrij. De levering aan kleinverbruikers is echter beschermd. Alleen partijen met een leveringsvergunning mogen leveren aan kleinverbruikers. Hierop zijn een beperkt aantal uitzonderingen, zoals bijvoorbeeld de levering van elektriciteit uit een eigen installatie.

Een leveranciersvergunning is in principe niet geschikt voor een kleinverbruiker (of beperkte groepen van kleinverbruikers verenigd in bijvoorbeeld in een virtuele energiecentrale). Een leverancier met een leveranciersvergunning moet bijvoorbeeld aan elke kleinverbruiker die daarom verzoekt elektriciteit leveren. Gezien de beperkte capaciteit van de productie zullen kleinverbruikers of een groep van kleinverbruikers daar niet aan kunnen voldoen. Als kleinverbruiker zijn de mogelijkheden om zelf energie te verkopen aan andere (klein)verbruikers dus zeer beperkt. Levering van energie aan niet beschermde klanten is overigens wel mogelijk. Zo kan de kleinverbruiker wel energie verkopen aan andere leveranciers, of aan de netbeheerder die energie moet inkopen om de netverliezen te compenseren.

In beginsel mag iedereen volgens de elektriciteitswet deelnemen aan de APX, dus ook kleinverbruikers. Er zijn echter door de exploitant van deze energiebeurs algemene voorwaarden gesteld door deelnemers die voor kleinverbruikers bezwaarlijk kunnen zijn. Zo moeten er bepaalde financiële garanties worden gesteld.

Voor kleinverbruikers met eigen productiecapaciteit wordt de salderingsregel gebruikt. Deze kleinschalige producenten zullen soms de opgewekte energie zelf gebruiken en soms de opgewekte energie terug willen leveren aan het net. De salderingsregel houdt in dat op jaarbasis de aan het net geleverde elektriciteit verrekend mag worden met de hoeveelheid afgenomen elektriciteit. Hiermee wordt voorkomen dat voor de teruglevering aparte contracten moeten worden afgesloten. De salderingsregel is alleen van toepassing als de omvang van de levering op het net minder dan 5000 kWh bedraagt.

Netbeheerders geven alleen gesaldeerde hoeveelheden door aan de leverancier. De leverancier weet dus niet wat er geproduceerd is. Bij een slimme meter kan de leverancier overigens ook zelf (na toestemming van de aangeslotene) de detailgegevens van verbruik en productie inzien. Door de salderingsregel is de financiële tegemoetkoming van teruggeleverde elektriciteit gelijk aan de kosten van afgenomen elektriciteit. In principe is dit gunstig voor de aangeslotene. Bij het salderen wordt uitgegaan van een niet-variabele (behoudens dan dag-nachtarieven) energieprijs. Dit beperkt de toepasbaarheid binnen slimme netten. De salderingsregel geldt niet voor grootverbruikers.



Wie beschikt over de relevante informatie voor het besturen van een smart grid?

De netbeheerder is in het lokale distributienet de spil in het informatieverkeer. De netbeheerder verzamelt de gegevens van de slimme meter en verstrekt deze aan de leverancier. De gegevens hebben daarbij niet betrekking op een tijdsbestek van minder dan een dag tenzij de kleinverbruiker daarvoor expliciet toestemming heeft gegeven.

Na expliciete toestemming door de aangeslotene kunnen meetgegevens ook beschikbaar gesteld worden aan derden.

Een netbeheerder kan alleen haar diensten, en daarbij hoort ook de informatie-uitwisseling, leveren op een aansluiting met een EAN-code. Aansluitingen binnen een particulier netwerk vallen daarmee buiten de reguliere informatiestromen.

Wie kan profiteren van balanshandhaving?

Ten alle tijden moeten levering en afname op een elektriciteitsnet in balans zijn. Paragraaf 2.2.3 gaat dieper in op de rol van programmaverantwoordelijkheid bij het handhaven van de systeembalans. Het systeem van programmaverantwoordelijkheid en balanshandhaving is interessant omdat de prijzen voor reserververmogen relatief hoog zijn.

In principe hebben alle aangesloten (zowel verbruikers als producenten) programmaverantwoordelijkheid. Bij wet is deze verantwoordelijkheid bij kleinverbruikers overgedragen aan hun leverancier. Dit beperkt de kleingebruiker in zijn mogelijkheden om gebruik te maken van de handel in flexibiliteit. Anderzijds elimineert dit het risico op boetes die door afwijking van het eigen programma aan Tennet verschuldigd zou zijn.

Teruglevering van elektriciteit op het net ten behoeve van de balanshandhaving buiten de eigen leverancier om is niet logisch.

De programmaverantwoordelijkheid van grootverbruikers is niet automatisch overgedragen. In de praktijk wordt de programmaverantwoordelijkheid wel uitbesteed en zijn de financiële condities daarvoor onderhandelbaar.

Producenten spelen een grote rol bij de balanshandhaving op het net door tegen een door Tennet te betalen marktconforme prijs op- en af te schakelen. Bij grootschalige integratie van lokale energieproductie wordt balanshandhaving echter ook een lokale aangelegenheid: het handhaven van een lokale balans. Activiteiten op het gebied van de balanshandhaving van het net zijn nu echter voorbehouden aan Tennet (de zogenaamde systeemdiensten). Bij een gedistribueerde elektriciteitsvoorziening zal er een behoefte zijn aan aanvullende activiteiten op het gebied van balanshandhaving op het laagspanningsdistributienet.

5.2. Prijsprikkel

Als er geen stimulans is om actief te participeren in het slimme net, zal dit ook niet gebeuren.

Als specifiek gekeken wordt naar de meerwaarde van actieve aansluitingen in het smart grid, dan kunnen de volgende aspecten onderscheiden worden:

- Het verminderen van het eigen energiegebruik.
- Het verminderen van netverliezen door meer lokale uitwisseling van energie.
- Het voorkomen van netverzwaringen door regelbaar vermogen.
- Handel in elektriciteit in day-ahead handel (APX).
- Handel in elektriciteit in bilaterale contracten. Dit zijn contracten met energieleveranciers op nog kortere termijn dan de APX. De energieleveranciers (of



eigenlijk de programmaverantwoordelijken) kopen of verkopen vermogen om de inzet van reservevermogen door Tennet te voorkomen.

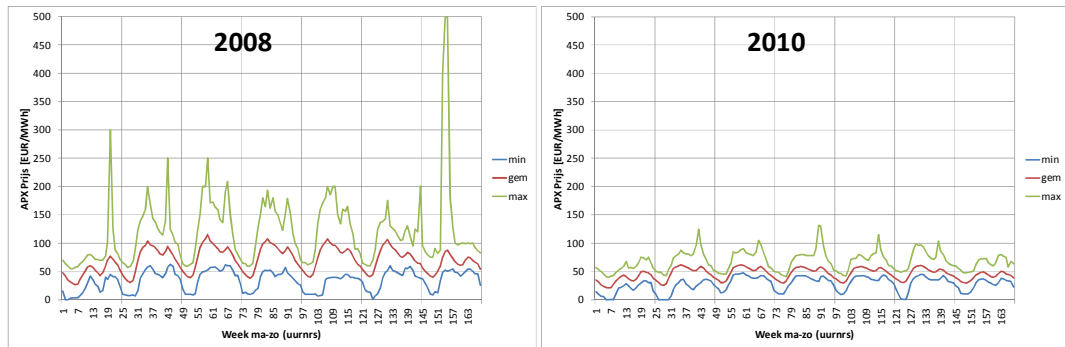
- Handel in elektriciteit in reservevermogen. Reservevermogen wordt door Tennet ingezet op basis van een veilingssysteem als de belasting van het net afwijkt van de programma's van de energieleveranciers.

Aansluitingen kunnen, op basis van de huidige tariefstructuren niet van al deze waarmedemogelijkheden gebruik maken. In de vorige paragraaf is al beschreven dat de huidige tariefstructuur (van met name de beschermde aansluitingen) niet aansluit op de vereisten in een smart grid. De volgende knelpunten zijn daarbij aan de orde gekomen:

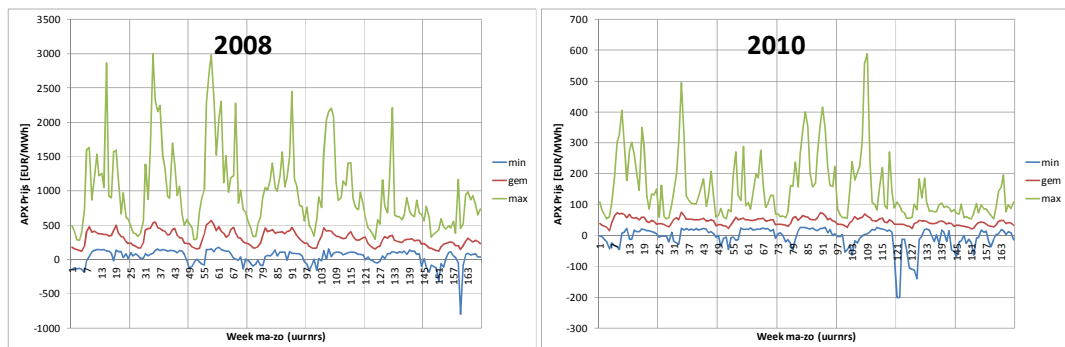
- De transportkosten zijn verwerkt in een capaciteitstarief. Het capaciteitstarief heeft geen flexibiliteit. Het verschuiven van vermogen of terugleveren van elektriciteit heeft bij de huidige tariefstructuur geen waarde in relatie tot de transportkosten. Dit terwijl bijvoorbeeld verschuiving van vermogen wel een aanzienlijke waarde kan vertegenwoordigen als in beschouwing wordt genomen dat hierdoor verzwarening van het net voorkomen wordt.
- De kosten voor het beheer van hoogspanningsnetten worden volgens een cascadesysteem doorberekend in het capaciteitstarief. Lokale aansluitingen met energieproductie beperken juist het gebruik van de netten op een hoger spanningsniveau. Dit voordeel komt echter niet tot uiting in de tarifiering.
- Grote producenten (aangesloten op het hoogspanningsnet) zijn vrijgesteld van transportkosten. De transportkosten worden dus vrijwel geheel verlegd naar de aangeslotenen (zowel productie als verbruik) op het laagspanningsnet. Producenten zijn ook gebruikers van transportcapaciteit, het toewijzen van transportkosten aan grote producenten zou stimulerend werken op lokale opwekking.
- Kleinverbruikersaansluitingen hebben slechts weinig mogelijkheden om de door hen geproduceerde energie vrij te verhandelen tegen wisselende tarieven. Ze kunnen bijvoorbeeld niet verkopen aan andere kleinverbruikersaansluitingen.
- Aangeslotenen kunnen slechts beperkt gebruik maken van de financiële mogelijkheden van het aanbieden van reservecapaciteit. Kleinverbruikers kunnen dit alleen via hun eigen energieleverancier.
- De salderingsregeling, waarbij duurzame energieproductie en afname bij kleinverbruikers gesaldeerd kunnen worden maakt geen onderscheid naar tijd van de energieproductie. Gebruik van prijsdynamiek is nu voor kleinverbruikers met teruglevering dus niet mogelijk.

Wat de werkelijke prijsdynamiek wordt als de huidige netten tegen hun grenzen aanlopen is niet te voorspellen. Bij zowel de transportkosten als de leveringskosten zullen er stimulansen zijn richting een grotere prijsdynamiek. Voor kleinverbruikersaansluitingen zullen de transportkosten belangrijker zijn dan voor de grote aansluitingen, waar de transportkosten relatief laag zijn ten opzichte van de verbruikskosten.

De prijzen op de APX-ENDEX geven een redelijk beeld van de bewegingen van de elektriciteitsprijzen. In Figuur 12 zijn de APX elektriciteitsprijzen gegeven. Te zien is dat de prijzen in 2008 vrij onrustig waren en relatief hoog. In Figuur 13 zijn de verrekenprijzen van onbalans gegeven. Het is duidelijk dat de kosten voor de verrekening van onbalans veel hoger zijn dan de gangbare APX-prijzen. De onbalansvolumes zijn echter veel lager dan de volumes die in de groothandelsmarkt verhandeld worden. De gemiddelde onbalanskosten per (kleinverbruiker)aansluiting is ongeveer 10 EUR.



Figuur 12: Verloop van APX-prijs over de uren van de week in 2008 en 2010 (Bron: APX-ENDEX).



Figuur 13: Onbalansverrekenprijzen over 2008 en 2010 (Bron: Tennet)

5.3. Meedoen

Als gebouweigenaar kan je meedoen aan het smart grid door het inzetten van lokale energieproductie, het aanbieden van buffercapaciteit of het actief beïnvloeden van het verbruikspatroon. Het participeren aan het smart grid zal gebeuren op basis van prijsprikkels. Deze prijsprikkels kunnen vastgelegd zijn in een contract met de netbeheerder of de leverancier of eventueel een andere partij. De te verwachten financiële opbrengsten worden over het algemeen te klein geacht om op individuele basis te participeren in het smart grid.

We zouden de volgende contractvormen in kunnen onderscheiden:

- Een vast tariefstelsel met naar tijdstip gedifferentieerde tarieven.
- Een gemaximeerd vermogen met boeteclausules voor overschrijding van dit vermogen.
- Ter beschikking stellen van afschakelbaar vermogen op afroep, voor bijvoorbeeld een maximale tijdsduur.
- Ter beschikking stellen van productiecapaciteit.
- Ter beschikking stellen van buffercapaciteit.

Alle maatregelen die bijdragen aan een gunstiger afnameprofiel kunnen bijdragen aan een smart grid. De verschillende typen maatregelen zijn gegeven in Tabel 1.



Tabel 1: Typen smart-grid maatregelen

| Type | Omschrijving |
|------------------------|--|
| Energiebesparing | Door het treffen van energiebesparende maatregelen kan de netbelasting afnemen. |
| Energieproductie | Door het op het juiste moment inschakelen van energieproductie of de energieproductie aan het net te leveren in plaats van zelf te gebruiken. |
| Buffering | Door het bufferen van energie kan een verschuiving in het afnamepatroon bewerkstelligd worden. |
| Afschakelbaar vermogen | Bij sommigen energieverbruikers maakt het moment dat ze aan zijn niet zo veel uit. Het moment kan dan zo gekozen worden dat dit gunstig is voor het afnamepatroon. Ook kan het zijn dat het uitschakelen van een gebruiker binnen acceptabele bandbreedte, ten koste gaat van het comfort. |
| Synergie | Door verschillende gebruikers te combineren kan een gunstiger afnamepatroon verkregen worden. De maximale belasting van beide gebruikers tezamen is kleiner dan het product van elke maximale belasting afzonderlijk. |

In deel 2 van deze publicatie worden voor deze typen smart grid maatregelen concrete voorbeelden uitgewerkt.



DEEL 2



6. Inleiding

Gebouweigenaren kunnen participeren in het smart grid. Voorwaarde is dat de juridische mogelijkheden daarvoor geschapen zijn en de tariefstructuur zodanig is dat participeren loont.

Als op de aansluiting gekeken wordt zijn er twee soorten maatregelen: Energieproductie en flexibiliteit. Met deze maatregelen moet getracht worden tekorten en overschotten op het net gecompenseerd worden. Flexibiliteit is de mate waarin het verbruikspatroon beïnvloedbaar is. Ten aanzien van energieproductie kan onderscheid gemaakt worden tussen duurzame energieproductie en energieproductie op basis van fossiele brandstoffen. Duurzame energieproductie heeft de hoogste prioriteit en kan dus gezien worden als niet beïnvloedbaar. Wel hoort duurzame energieproductie bij het smart grid omdat juist één van de doelen van het smart grid het faciliteren van lokale duurzame energieproductie is. Energieproductie op basis van fossiele brandstoffen zou ook op basis van afroep (flexibel) ingezet kunnen worden.

Ten aanzien van Flexibiliteit kunnen we onderscheid maken tussen afschakelbaar (of, misschien beter gezegd uitstelbaar vermogen) vermogen en buffercapaciteit. Functioneel lijken beiden op elkaar. Beiden gaan in principe niet gepaard met energiebesparing, maar zorgen enkel voor een verschuiving in het afnamepatroon. Een fundamenteel verschil is dat in een buffer ook overschotten op het net opgeslagen kunnen worden, of dat ook aan het net geleverd kan worden. Incidenteel kan afschakelbaar vermogen ook gepaard gaan met energiebesparing. In dat geval gaat dit ten koste van het comfort. Denk bijvoorbeeld aan een koelmachine die tijdelijk uitgezet wordt. Afschakelbaar vermogen is verder vaak gebonden aan bepaalde randvoorwaarden. Het aanschakelen van een warmtepomp kan in een goed geïsoleerd gebouw, door de bufferende werking van de eigen thermische massa, zonder problemen een of twee uur verschoven worden, maar verschuiven over een langere periode kan problemen opleveren.

Tabel 2: Bijdrage van de verschillende smart grid voorzieningen aan wegwerken van overschotten en tekorten op het net.

| | | Tekort op het net | Overschot op het net |
|------------------|---------------|-------------------|----------------------|
| Energieproductie | Duurzaam | + | - |
| | Fossiel | + | - |
| Flexibiliteit | Buffer | + | + |
| | Afschakelbaar | - | + |

Energiebesparing draagt ook bij aan de doelstellingen van een smart grid. In de meeste gevallen zullen maatregelen op het gebied van energiebesparing zelfs rendabeler zijn dan de voorzieningen hier beschreven. In zijn algemeenheid zal gelden dat eerst alle mogelijkheden op het gebied van energiebesparing in het gebouw benut moeten worden voordat men participeert aan het smart grid. In deze publicatie gaat specifiek in op smart-grid maatregelen die betrekking hebben op lokale energieproductie of het bieden van flexibiliteit.

Alle acties ‘achter de meter’ die betrekking hebben op het wijzigen van aanpassen van het energiegebruik, waaronder ook aanpassingen aan het afnamepatroon worden demand side management, of, met een Nederlandse term, energiemanagement genoemd.

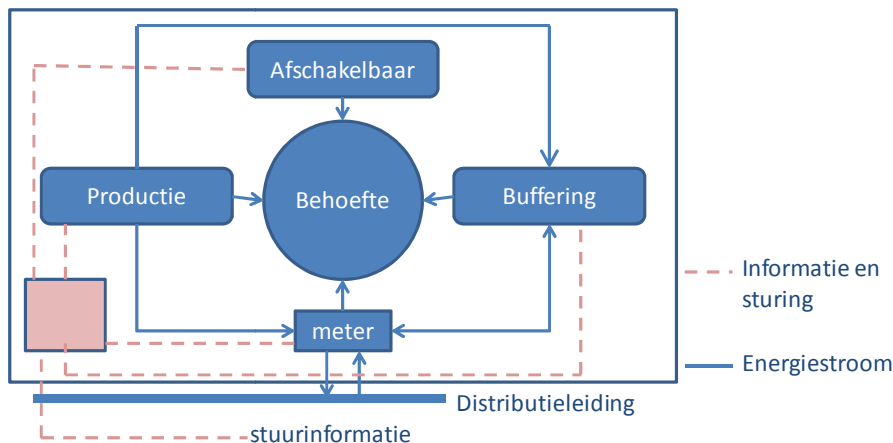


7. Smart buildings voor smart grids

Als een gebouweigenaar gebruik wil maken van de voordelen van het smart grid zal de technische (ICT) infrastructuur in het gebouw daarvoor geschikt moeten zijn. Deze infrastructuur bestaat met name uit:

- Aansluiting met teruglevermogelijkheid;
- (externe) Stuurinformatie, bijvoorbeeld prijsprikkels;
- Separate meting van levering en teruglevering op de aansluiting (hoofdmeter);
- Metingen aan beïnvloedbare onderdelen (productie, buffering en uitschakelbaar vermogen);
- Sturing van beïnvloedbare onderdelen.

Dit is schematisch weergegeven in Figuur 14.



Figuur 14: Overzicht van smart grid in het gebouw.

Er zijn verschillende protocollen voor informatie-uitwisseling waarmee een intern smart grid gerealiseerd kan worden. Er is (nog) geen standaard voor uitwisseling van informatie buiten de grenzen van het gebouw. Er wordt wel in Europees verband aan standaardisering op dit gebied gewerkt.

7.1. Maatregelen

In de volgende hoofdstukken worden een aantal maatregelen of voorzieningen op gebouwniveau beschreven. Van de maatregelen worden kengetallen gegeven die een idee geven over de waarde van een specifieke voorziening in een smart grid. De waarde heeft met name betrekking op de mate waarin een maatregel (piek)belasting van het net kan beperken. De elektriciteitsprijzen op de APX beurs zijn een goed maat voor piekbelasting, bij hoge belasting zijn de prijzen immers hoog en bij een lage belasting zijn de prijzen laag.

Waarde van een voorziening

De waarde van een voorziening in relatie tot het smart grid heeft twee componenten:

- De waarde van de flexibiliteit heeft betrekking op het verschuiven van afnamemomenten. Een accu kan bijvoorbeeld geladen worden op een moment dat elektriciteit goedkoop is en ontladen als elektriciteit duur is.
- De waarde van (lokaal) geproduceerde of bespaarde energie heeft betrekking op de commodity zelf.

De waarde van flexibiliteit wordt bepaald door de prijzverschillen. De commodity-waarde wordt bepaald door de prijs van elektriciteit op het moment dat deze geproduceerd (of



bespaard) wordt. De waarde van flexibiliteit zal doorgaans lager zijn dan de commodity-waarde. Dit geeft ook aan dat de waarde van energiebesparing of duurzame energieproductie over het algemeen veel groter is dan maatregelen die enkel invloed hebben op het afnamepatroon.

Voor het kwantificeren van de waarde van de voorzieningen in het smart grid worden handelsprijzen van de APX gebruikt. De APX-prijs is tevens een goede indicator voor de belasting van het net. Als netbelasting hoog is zijn de APX-prijzen doorgaans ook hoog. De APX-prijzen kunnen van jaar tot jaar fors verschillen. Voor deze studie zijn de prijzen van 2008, een jaar met veel prijsschommelingen, en 2010, een jaar met een vrij stabiel prijsontwikkeling, gebruikt.

Een voorziening (zoals zonnecellen, of afschakelbaar vermogen) kan altijd weergegeven worden als een patroon. Dit patroon is wat de netbeheerder aan de aansluiting merkt van deze voorziening, oftewel het verschil met het 'gangbare' afnamepatroon. Dit patroon kan zowel positief zijn (meer leveren door netbeheerder) als negatief (minder leveren door netbeheerder). Voor een voorziening die vooral gekenmerkt wordt door flexibiliteit wordt dit patroon gekenmerkt door perioden waarin minder geleverd wordt en perioden waarin meer geleverd moet worden. Voor een voorziening die vooral gekenmerkt wordt door productie of besparing wordt dit patroon alleen gekenmerkt door perioden waarin minder geleverd (of teruggeleverd) wordt.

Op basis van dit patroon van een voorziening kan een gewogen gemiddelde APX-prijs bepaald worden. Deze prijs is de waarde van deze voorziening op de energiemarkt.

Van elke maatregel zijn steeds de volgende ketngetallen gegeven:

- APX-prijs ongewogen: De gemiddelde MWh-prijs, zonder weging op basis van een verbruikspatroon (dus alsof het een vlak patroon is).
- APX-prijs gebouw: de gemiddelde MWh prijs op basis van het afnamepatroon van het gebouw zonder de voorziening.
- APX-prijs gebouw met de voorziening: de gemiddelde MWh prijs op basis van het afnamepatroon van het gebouw met de voorziening. Dit staat dus los van de besparing door de voorziening (bijvoorbeeld zonnecellen). Hoe lager deze prijs, hoe gunstiger de voorziening.
- APX-prijs 1 MWh (bij energieproductie): de gemiddelde MWh prijs op basis van het patroon van alleen de voorziening (dus zonder het gebouw). Dit is dus niet afhankelijk van het *volume* van de productie, maar van het *profiel* van het van de productie. Hoe hoger deze prijs, hoe gunstiger deze voorziening.

Bij deze berekeningen wordt dus niet uitgegaan van de huidige tariefstructuur. De berekende kostenbesparingen zijn niet te realiseren met de huidige tariefstructuur, maar zijn gebaseerd op de dynamiek van de prijzen op de day-ahead handelsmarkt.

Referentiegebouw

De voorzieningen worden ook steeds beschouwd op een referentiegebouw. Dit geeft concreter inzicht in het effect van de betreffende voorziening in de gebouwde omgeving. Dit referentiegebouw is gebaseerd op het referentiegebouw 'klein kantoorgebouw' van AgentschapNL. Het referentiegebouw betreft een gebouw met vier verdiepingen van 57,6 meter lang en 14,4 meter breed. De totale gebruiksoppervlakte van het gebouw is circa 3000 m². Het referentiegebouw wordt gekenmerkt door een elektriciteitsverbruik van 80 kWh/m² (totaal 240.000 kWh per jaar) en een aardgasverbruik van 8 m³/m² (totaal 24.000 m³ per jaar). Het gebouw heeft een koelinstallatie van totaal 30 kWe en heeft 200 kW verwarmingsvermogen door middel van HR-ketels. Voor de kosten van elektriciteit wordt 0,2 EUR/kWh aangehouden, voor de prijs van aardgas wordt 0,4 EUR per m³ aangehouden.



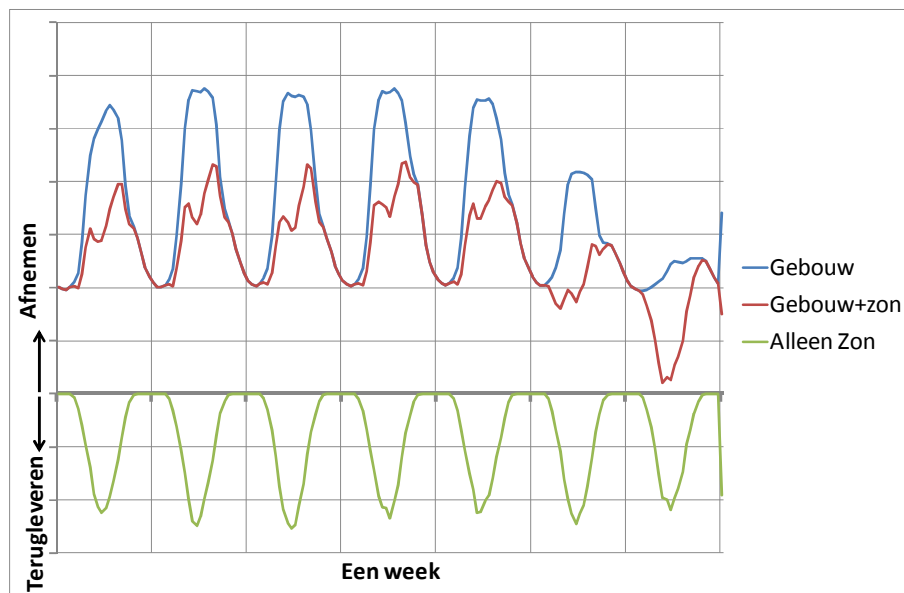
Als uitgegaan wordt van het verbruikspatroon van het gebouw, kan de gemiddelde elektriciteitsprijs bepaald worden op basis van de prijsdynamiek van de APX. Dat is hieronder aangegeven voor de jaren 2008 en 2010.

| | | |
|----------|----|---------|
| APX 2008 | 78 | EUR/MWh |
| APX 2010 | 49 | EUR/MWh |

De berekende kostenbesparing heeft steeds betrekking op de het totale energiegebruik, dus zowel elektriciteit als aardgas.

Grafische weergave

Er wordt bij het referentiegebouw steeds een grafische weergave gegeven van de impact van de betreffende voorziening op het afnamepatroon van het referentiegebouw. Uitgangspunt voor het afnamepatroon van het gebouw is het standaard verbruiksprofiel voor zakelijke aansluitingen dat ook in de energiemarkt gebruikt wordt voor het verhandelen van elektriciteit. In dit patroon is ook het resulterende patroon gegeven indien de betreffende voorziening gebruikt wordt en het verschil tussen beiden. In het voorbeeld van Figuur 15 is bijvoorbeeld het gemiddelde effect van de bijdrage van de zon gegeven. De groen lijn geeft de gemiddelde elektriciteitsproductie door zonnecellen.



Figuur 15: Voorbeeld van weergave van de impact van de voorziening op het afnamepatroon.



8. Energieproductie

Ten aanzien van lokale energieproductie onderscheiden we zonnecellen en windenergie als duurzame energieproductie. Verder kan lokaal energie geproduceerd worden met de verschillende mogelijkheden van warmte-krachtkoppeling.

8.1. Zonnecellen

Omschrijving

Zonnecellen zijn bij uitstek geschikt voor lokale duurzame energieproductie. Ze zijn eenvoudig in zowel bestaande als nieuwe gebouwen te integreren.



Figuur 16: Toepassing van zonnecellen op het dak van een gebouw.

Smart-grid toepassing.

De elektriciteitsproductie door zonnecellen hangt direct samen met de beschikbare zoninstraling en is dus niet beïnvloedbaar. De energieproductie van zonnecellen valt goed samen met momenten dat de prijs hoog is.

Een eigenaar kan er voor kiezen alle zonne-energie aan het net te leveren, alle (of zoveel mogelijk) zonne-energie zelf te gebruiken of de teruglevering aan het net te laten afhangen van bepaalde criteria (bijvoorbeeld de prijs van elektriciteit). In Tabel 3 zijn de prijzen van gegeven die betrekking hebben op een zonne-energiesysteem.

Tabel 3: Kenmerkende APX prijzen bij toepassing van een zonne-energiesysteem.

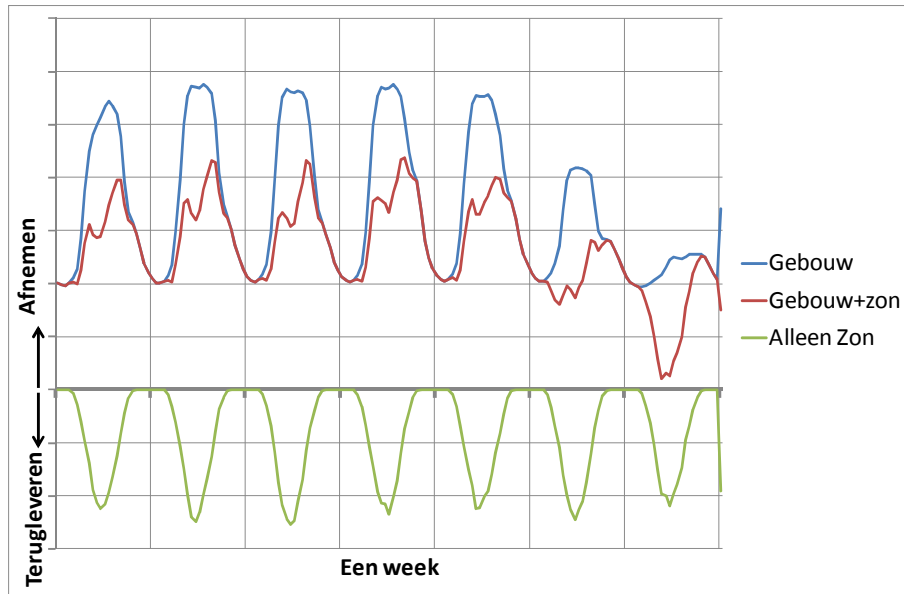
| | 2008 | 2010 |
|----------------------------------|------------|------------|
| APX prijs ongewogen | 70 EUR/MWh | 45 EUR/MWh |
| APX prijs gebouw | 78 EUR/MWh | 49 EUR/MWh |
| APX-prijs gebouw met zonnecellen | 74 EUR/MWh | 48 EUR/MWh |
| APX prijs 1 MWh zonne-energie | 89 EUR/MWh | 51 EUR/MWh |

Ten aanzien van het referentiegebouw wordt uitgegaan van het gehele dak vol met zonnepanelen. De energieproductie is 65 kWh per m² dakvlak. De totale opbrengst van het zonne-energiesysteem is 54000 kWh.

Tabel 4: Energiebesparing en kostenbesparing bij het referentiegebouw

| | |
|------------------------------|-----|
| Energiebesparing primair | 16% |
| Energiekostenreductie (2010) | 19% |

In Figuur 17 is de impact van de toepassing van zonnecellen op het verbruikspatroon van het referentiegebouw gegeven.



Figuur 17: Impact op het verbruikspatroon van het referentiegebouw.

8.2. Windturbine

Omschrijving

Windenergie is niet zo eenvoudig inpasbaar in de gebouwde omgeving. Er zijn kleine windturbines, 'urban turbines', beschikbaar die bijvoorbeeld op een dak van een gebouw geplaatst kunnen worden. Het vermogen van dergelijke turbines is 0,5 à 3 kW. De opbrengst is sterk afhankelijk van de windcondities. Een indicatie is dat het aantal vollasturen voor kleine windturbines is 1000 à 2000. Voor het referentiegebouw wordt uitgegaan van een totale maximale opbrengst van 15000 kWh (5 kleine turbines à 3000 kWh).



Figuur 18: Kleine windturbines voor de gebouwde omgeving (urban turbines) (Logan International Airport in Boston)

Smart grid toepassingen

De elektriciteitsproductie is afhankelijk van de windcondities. De windcondities hebben niet, zoals bijvoorbeeld wel bij zon het geval is, een gunstige relatie met het piekverbruik in het net. De elektriciteitsproductie door windturbines is niet beïnvloedbaar.

Een eigenaar kan er voor kiezen alle wind-energie aan het net te leveren, alle (of zoveel mogelijk) windenergie zelf te gebruiken of de teruglevering aan het net te laten afhangen van bepaalde criteria (bijvoorbeeld de prijs van elektriciteit). In Tabel 5 zijn de prijzen gegeven die betrekking hebben op een windenergieenergiesysteem.



Tabel 5: Kenmerkende APX prijzen bij toepassing van een wind-energiesysteem

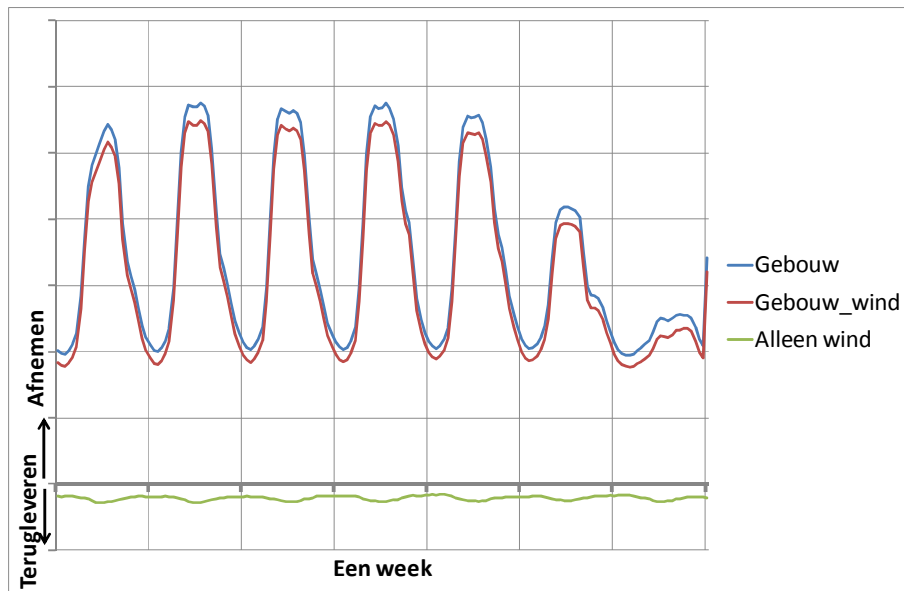
| | 2008 | 2010 |
|------------------------------------|------------|------------|
| APX prijs ongewogen | 70 EUR/MWh | 45 EUR/MWh |
| APX prijs gebouw | 78 EUR/MWh | 49 EUR/MWh |
| APX prijs gebouw + windturbines | 78 EUR/MWh | 49 EUR/MWh |
| APX prijs 1 MWh wind-elektriciteit | 70 EUR/MWh | 46 EUR/MWh |

Ten aanzien van het referentiegebouw wordt uitgegaan van een tiental turbines met een totale opbrengst van 15000 kWh per jaar.

Tabel 6: Energiebesparing en kostenbesparing bij het referentiegebouw

| | |
|------------------------------|----|
| Energiebesparing primair | 4% |
| Energiekostenreductie (2010) | 5% |

In Figuur 17 is de impact van de toepassing van zonnecellen op het verbruikspatroon van het referentiegebouw gegeven.



Figuur 19: Impact van windenergie op het verbruikspatroon van het referentiegebouw.

8.3. Warmte-krachtkoppeling

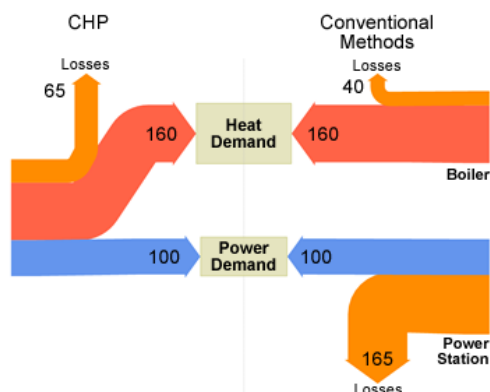
Omschrijving

Bij warmte-kracht koppeling (WKK) wordt de productie van elektriciteit en warmte gecombineerd. Door de gezamenlijke productie van warmte en elektriciteit is het rendement hoog. In de gebouwde omgeving is de warmtelevering doorgaans bepalend voor de aansturing van de WKK. Elektriciteit is dan een bijproduct. WKK kan verduurzaamd worden door biobrandstoffen (zoals ethanol) te gebruiken. Er zijn verschillende typen WKK's, doorgaans gebaseerd op een verbrandingsmotor. Een uitzondering daarop zijn brandstofcellen, die gebaseerd zijn op een chemische reactie. De kleinere WKK's zijn meestal Stirling motoren, grotere WKK's zijn meestal gasmotoren. In elektriciteitscentrales worden gasturbines gebruikt. In Tabel 7 is een overzicht gegeven van typen WKK-installaties met kenmerken.

Tabel 7: Typen WKK en hun eigenschappen

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------|---|
| Externe verbranding | Stirling motor | <ul style="list-style-type: none"> • Meestal kleine vermogens. • Niet goed regelbaar, meestal vast toerental, vast vermogen. • Wordt toegepast bij micro-WKK |
| | Organic Rankine Cycle | <ul style="list-style-type: none"> • Experimenteel • Kleine tot middelgrote vermogens. • Werkingsprincipe gelijk aan stoommotor, maar met ander medium dan stoom met lagere verdampingstemperatuur. • Restwarmte als energiebron te gebruiken. • Laag elektrisch rendement. • Niet direct regelbaar, wel met enige vertraging |
| | Stoomturbine | <ul style="list-style-type: none"> • Grotere vermogens (vanaf circa 500 kW) • Vanwege externe verbranding goed geschikt voor duurzame brandstoffen. • Niet direct regelbaar, wel met enige vertraging |
| Interne verbranding | Gasmotor | <ul style="list-style-type: none"> • Middelgrote vermogens 15 kW-1 MW. • Goed regelbaar • Geschikte voor specifieke duurzame brandstoffen (methaan, biogas) • Goed regelbaar. |
| | Gasturbine | <ul style="list-style-type: none"> • Grote vermogens 1 MW-1000 MW. • Geschikte voor specifieke duurzame brandstoffen (methaan, biogas) • Goed regelbaar |
| Chemische reactie (brandstofcellen) | PE FC (PEM) | <ul style="list-style-type: none"> • Experimenteel, kostbaar • Vermogen tot 250 kW (marktrijpe modellen van 1 kW) • Temperatuurniveau 80°C • 30-60% elektrisch rendement • Goed regelbaar. |
| | PA-FC | <ul style="list-style-type: none"> • Experimenteel, kostbaar • Vermogen tot ca 200 kW • Temperatuurniveau 200 °C • 35-40% elektrisch rendement • Goed regelbaar |
| | SOFC/MCFC | <ul style="list-style-type: none"> • Experimenteel, kostbaar • Vermogens tot 1 MW • Temperatuurniveau 650-1000 °C • 45%-60% elektrisch rendement |

In combinatie met andere technieken zoals bijvoorbeeld absorptiekoelmachines, kunnen WKK's interessante energie-efficiënte concepten opleveren. In Figuur 20 is een Sankey diagram gegeven van een WKK-installatie in vergelijking met een conventionele energievoorziening.



Figuur 20: Sankey diagram van warmtekrachtkoppeling in vergelijking met conventionele energie-opwekking.



Smart grid toepassing

Hier wordt uitgegaan van een warmtekrachtinstallatie in het gebouw met een elektrisch rendement van 30% en een warmterendement van 60%. De warmtevraag is leidend. In het referentiegebouw levert de WKK evenveel warmte als de c.v. installatie. De elektriciteitsproductie van de WKK kan zelf gebruikt worden of direct terug geleverd worden aan het net. De flexibiliteit van de inzet van de WKK hangt af van het type WKK. Met name typen met een interne verbrandingsmotor zijn goed regelbaar. Onder bepaalde condities zou de WKK ook elektriciteit kunnen leveren zonder dat er een warmtebehoefte is. Er moet dan gezorgd worden voor voorzieningen om de overtollige warmte kwijt te raken. Een warmtebuffer zou de inzet van de WKK ook in een stooksituatie kunnen flexibiliseren.

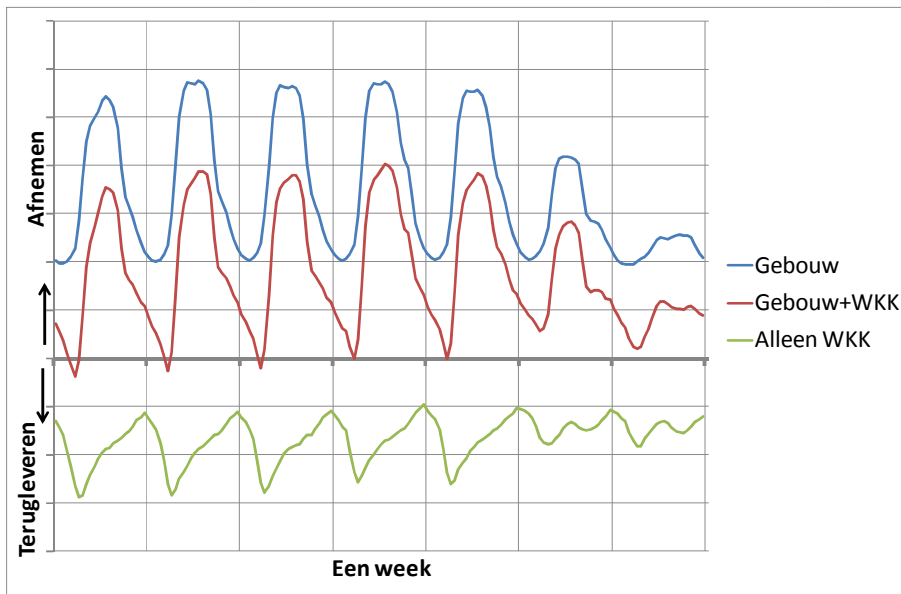
Tabel 8: Kenmerkende APX prijzen bij toepassing van een WKK

| | 2008 | 2010 |
|------------------------|------------|------------|
| APX prijs ongewogen | 70 EUR/MWh | 45 EUR/MWh |
| APX prijs gebouw | 78 EUR/MWh | 49 EUR/MWh |
| APX prijs gebouw + WKK | 86 EUR/MWh | 50 EUR/MWh |
| APX prijs 1 MWh WKK | 69 EUR/MWh | 52 EUR/MWh |

In het referentiegebouw levert de WKK evenveel warmte als de c.v. installatie, waarbij elektriciteit als bijproduct wordt gezien.

Tabel 9: Energiebesparing en kostenbesparing bij het referentiegebouw

| | |
|------------------------------|-----|
| Energiebesparing primair | 16% |
| Energiekostenreductie (2010) | 29% |



Figuur 21: Impact van WKK op het verbruikspatroon van het referentiegebouw



9. Peak shaving/shifting

Peak shaving of peak shifting heeft betrekking op het afvlakken van piekverbruik. Meestal heeft dit geen lager energiegebruik tot gevolg, tenzij een lager comfort geaccepteerd wordt. Het inschakelen van de piek wordt uitgesteld of vervroegd om piekvermogens te voorkomen. Dit kan gedaan worden omdat het nodig is om de belasting op de eigen aansluiting te verminderen, bijvoorbeeld om te voorkomen dat een contractvermogen overschreden wordt, of omdat de belasting op het net te groot wordt. In het laatste geval zal er dus sprake moeten zijn van een extern stuursignaal. Peak shaving wordt meestal toegepast op de gebouwinstallaties met een groot vermogen, zoals een warmtepomp of een koelinstallatie. Het is echter voorstelbaar dat kleinere installaties, zoals pompen, koel- en vriesinstallaties, elektrische boilers en dergelijke ook bruikbaar zijn ten aanzien van peak shaving. Bij veel aangesloten gebouwen kan zo toch een forse flexibiliteit gecreëerd worden. Het schakelen van een koelkast bij 1000 woningen levert bijvoorbeeld zo'n 200 kW flexibel vermogen op. Hier wordt met name ingegaan op de grotere schakelbare vermogens die in een gebouw aanwezig kunnen zijn.

9.1. Warmtepompen

Omschrijving

De warmtepomp kan zowel voor koeling als verwarming gebruikt worden. Er zijn verschillende configuraties waarin de warmtepomp toegepast wordt. Bij kleinere gebouwen zijn grondwarmtewisselaars of lucht-water warmtepompen gebruikelijk. Bij grotere gebouwen worden de warmtepompen veelal in combinatie met bodemopslag gebruikt. Als de bodem als bron gebruikt wordt is het van belang dat het thermisch evenwicht in de grond gehandhaafd blijft. De warmtepomp is het meest rendabel bij hoge bedrijfstijden. In sommige gevallen wordt dan ook wel een c.v. ketel bijgeplaatst voor het opvangen van piekbehoefte. Het rendement, uitgedrukt als coefficient of performance (COP) varieert tussen de 3 en 10.

Het geïnstalleerd vermogen voor een normale (c.v.) verwarmingsinstallatie is 10 à 20 W/m² (*Cijfers en tabellen, AgentschapNL*). Het benodigde vermogen voor de warmtepomp kan beperkt worden door het gebouw goed te isoleren, gebruik te maken van de thermische massa van het gebouw, en warmteterugwinning op de ventilatielucht toe te passen. Een indicatie voor het benodigde elektrische vermogen is 2 à 8 W/m².

smart grid toepassing

Met name in moderne gebouwen die goed geïsoleerd zijn en een forse thermische massa hebben, kan het in- en uitschakelen van de warmtepomp flexibel zijn binnen een beperkte periode. De duur van deze periode hangt af van het gebouw. Bij zeer energiezuinige gebouwen kan dit zelfs een dag zijn. Als richtlijn kan aangehouden worden dat (bij nieuwe gebouwen met voldoende thermische massa) het schakelen flexibel binnen een periode van 2 uur kan plaats vinden. De inzet van verwarmingsvermogen kan ook beperkt worden door het achterwege laten van nachtverlaging. Er is dan geen extra vermogen nodig voor het opwarmen van het gebouw.

Tabel 10: Kenmerkende APX prijzen bij toepassing peakshaving met warmtepompen

| | 2008 | 2010 |
|--|------------|------------|
| APX prijs ongewogen | 70 EUR/MWh | 45 EUR/MWh |
| APX prijs gebouw | 78 EUR/MWh | 49 EUR/MWh |
| APX prijs gebouw + peakshaving Warmtepomp | 68 EUR/MWh | 48 EUR/MWh |

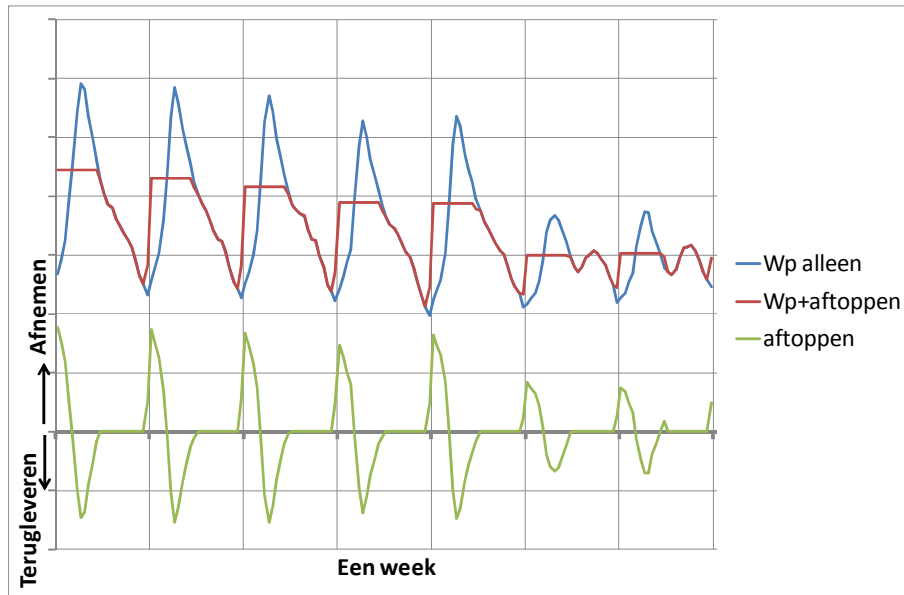
Bij het referentiegebouw wordt voor het belastingprofiel van de warmtepomp het standaardverbruiksprofiel gebruikt dat in de energiemarkt wordt gebruikt om het



aardgasverbruik van zakelijke aansluitingen te verhandelen. In het voorbeeld wordt het verbruik tussen 00:00 en 12:00 gelijkmatig verdeeld over deze uren.

Tabel 11: Energiebesparing en kostenbesparing bij het referentiegebouw

| | |
|------------------------------|-----|
| Energiebesparing primair | - % |
| Energiekostenreductie (2010) | 2 % |



Figuur 22: Impact van afvlakken op het verbruikspatroon van het referentiegebouw (enkel E-verbruik Wp).

9.2. Koeling

Omschrijving

Ook koeling kan een grote vermogens vergen. Voor utiliteitsgebouwen kan uitgegaan worden van 5 à 15 W(elektrisch) per m².

smart grid toepassing

Er zijn verschillende manieren om de belasting door koelinstallaties te flexibiliseren, zie onderstaande tabel.

Tabel 12: Enkele opslagtechnieken voor koude

| Opslagtechniek | Flexibiliteit |
|---|---------------|
| Gebouwmassa, eventueel in combinatie met phase changing materials, die in de gebouwmassa geïntegreerd zijn. | Enkele uren |
| Actieve buffer. Dit kan bijvoorbeeld een ijsbuffer zijn. Of een buffer op basis van een ander PCM. | Een etmaal |
| Bodemwarmte. In de winter onttrokken warmte aan de bodem wordt in de zomer benut. | Een seizoen |

In sommige gevallen wordt een ijsbuffer ook gebruikt als noodkoelsysteem, bijvoorbeeld voor datacenters.

Tabel 13: Kenmerkende APX prijzen bij toepassing peakshaving met koeling

| | | |
|---------------------|------------|------------|
| | 2008 | 2010 |
| APX prijs ongewogen | 70 EUR/MWh | 45 EUR/MWh |

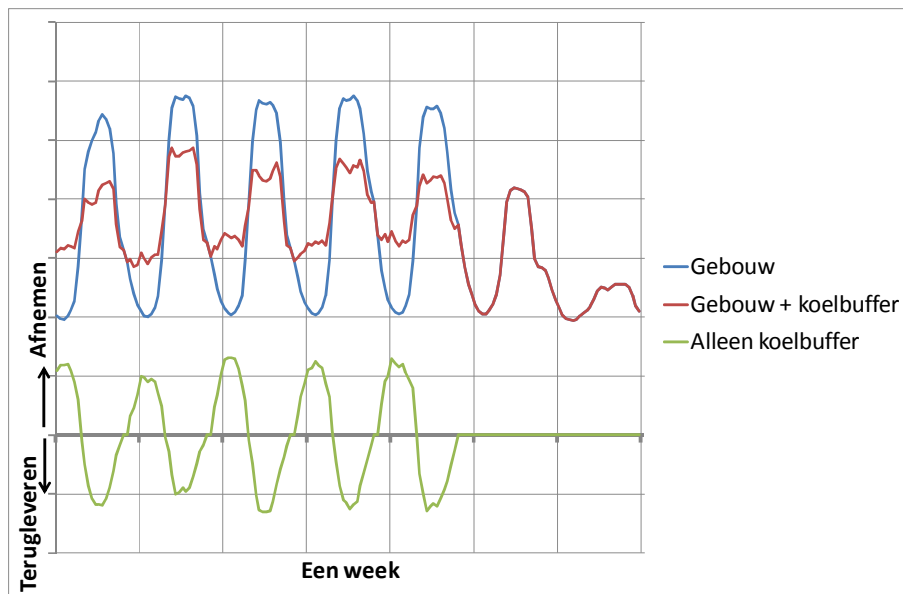


| | | |
|--|------------|------------|
| APX prijs gebouw | 78 EUR/MWh | 49 EUR/MWh |
| APX prijs gebouw + peakshaving koeling | 74 EUR/MWh | 47 EUR/MWh |

In het referentiegebouw is uitgegaan van een koelvermogen van 10 W/m². Bij deze berekening is er van uitgegaan dat gedurende de nacht met een koelmachine geproduceerde koude wordt opgeslagen ten behoeve van gebruik gedurende de dag.

Tabel 14: Energiebesparing en kostenbesparing bij het referentiegebouw

| | |
|------------------------------|-----|
| Energiebesparing primair | - % |
| Energiekostenreductie (2010) | 4 % |



Figuur 23: Impact nachtbuffer t.b.v. koeling.

9.3. Overige

Warmtepompen en koeling zijn over het algemeen de installaties met de grootste elektrische belasting. Ook bij sommige andere installaties is het mogelijk de belasting binnen randvoorwaarden te regelen. Meestal de periode waarbinnen geschoven kan worden met de belasting echter beperkt. Denk hierbij bijvoorbeeld aan:

- Pompen van een verwarmingssysteem
- Koeling van koelkasten of vriezers.
- Laptops.
- Elektrische boilers.

Omdat het hier gaat om kleinere vermogens zal het voor individuele gebouwen niet snel zinvol zijn om hiermee aan peakshaving te doen. In de toekomst kan dit echter wel zinvol zijn als een gebouw is aangesloten bij een grotere groep, zoals een virtual powerplant.



10. Energieopslag

Alleen afschakelbaar vermogen zal op den duur niet voldoende flexibiliteit bieden om tijdelijk overschotten op te vangen of tekorten aan te vullen. Een vorm van energieopslag is dan noodzakelijk. Energieopslag kan grootschalig, zoals bijvoorbeeld in stuwmeren, maar ook lokaal. Vooral nog lijkt het meest geschikte medium daarvoor de accu. In dit hoofdstuk komen de diverse technieken die gebruikt kunnen worden voor opslag van elektrische energie aan bod. Hiervan is alleen de accu uitgewerkt ten aanzien van de waarde van het buffervermogen in relatie tot de prijsdynamiek op de APX.

10.1. Accu's

Omschrijving

Een accu slaat elektriciteit op een chemische wijze op en kan deze op een gewenste moment weer afgeven. De accu wordt gekarakteriseerd door de capaciteit in kWh, de laadtijd in combinatie met de laadstroom, en de onlaadtijd en onlaadstroom. De efficiency van een accu is tussen 80% en 90%.

Smart grid toepassing

Een accu is kan zeer flexibel ingezet worden als buffercapaciteit. In het voorbeeld van het referentiegebouw wordt een Accu dagelijks ingezet om in de uren met de gemiddeld laagste APX-prijs energie op te slaan en deze vervolgens te leveren in de uren met de gemiddeld hoogste APX-prijs. Uitgegaan wordt van een laadtijd van vijf uur gedurende de periode 00:00 – 05:00 en een onlaadtijd van vijf uur gedurende periode 8:00 – 13:00 uur. Optimalisatie van het laadregime van een accu is niet specifiek het onderwerp van deze studie. Er zullen waarschijnlijk slimmere laadstrategieën mogelijk zijn.

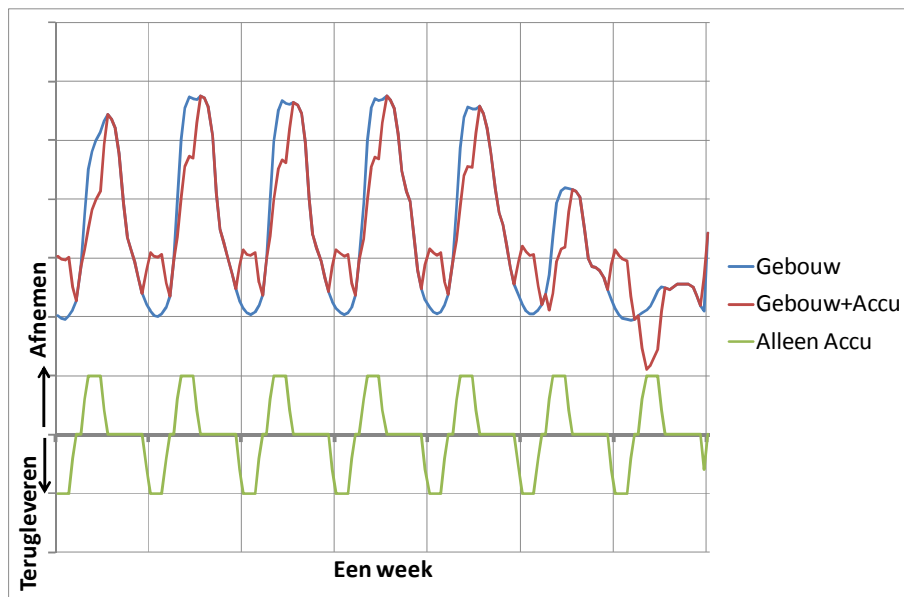
Tabel 15: Kenmerkende APX prijzen bij toepassing accu

| | 2008 | 2010 |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| APX prijs ongewogen | 70 EUR/MWh | 45 EUR/MWh |
| APX prijs gebouw | 78 EUR/MWh | 49 EUR/MWh |
| APX prijs gebouw + Accu | 75 EUR/MWh | 48 EUR/MWh |
| Waarde van opslag | 16,6 EUR/kWh per jaar | 7,9 EUR/kWh per jaar |

In het referentiegebouw is uitgegaan van een accu met een opslagcapaciteit van 40 kWh.

Tabel 16: Energiebesparing en kostenbesparing bij het referentiegebouw

| | |
|------------------------------|-----|
| Energiebesparing primair | - % |
| Energiekostenreductie (2010) | 3 % |



Figuur 24: Impact accu op het afnamepatroon van het gebouw.

10.2. Overige opslagtechnieken

Potentiële energie

Omschrijving

Potentiële energie is de energie die beschikbaar is tengevolge van het hoogteverschil van een massa. Het meest wordt hier water voor gebruikt, in stuwmeren. Ook het plan Lieveense, waarbij energie in het Markermeer opgeslagen zou worden is gebaseerd op potentiële energie. In de gebouwde omgeving zou je kunnen denken aan water, maar ook aan betongewichten. Het nadeel van deze opslagmethode is dat er heel veel massa nodig is om energie op te slaan. Verder zijn er verschillende energie-omzettingen nodig, waardoor ook de efficiency gering is.

Rekenvoorbeeld

Voor het berekenen van de potentiële energie wordt de volgende formule gebruikt:

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

Stel bijvoorbeeld huis met een betonnen constructie van drie lagen. Het (beton)gewicht van dit huis is ongeveer 250.000 kg. Als dit huis 0,5 meter opgetild wordt, is de daarmee opgeslagen potentiële energie gelijk aan $250.000 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 10 = 1,23 \text{ MJ}$ (0,34 kWh).

Een speciale vorm van potentiële energie is potentiële elastische energie. Deze kan opgeslagen worden in bijvoorbeeld een veer. Ook hier is echter het ruimtebeslag aanzienlijk om substantieel energie op te slaan.

smart grid toepassing

Voor potentiële energie in de gebouwde omgeving lijkt niet veel perspectief te zijn.

Vliegwiel

Omschrijving

Een vliegwiel is een schijf met een forse massa die door middel van energie tijdelijk opslaat als kinetische energie. Het vliegwiel is met name geschikt voor het overbruggen van kortere perioden. Zware vliegwielen kunnen een forse aanlooptijd hebben. Kleinere



vliegwielen, zoals die bijvoorbeeld in elektrisch vervoer kunnen worden gebruikt, kunnen een groot vermogen absorberen in een korte tijd en kunnen ook een groot vermogen leveren. Het vliegwiel is minder geschikt voor opslag van energie gedurende langere tijd vanwege de wrijvingsverliezen in het systeem. Bij geavanceerdere vliegwielen draait het vliegwiel in vacuüm. Verliezen in het systeem worden ook gevormd door de omzetting van elektrische energie in arbeid en vice versa.

Rekenvoorbeeld

De kinetische energie van een vliegwiel is:

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2$$

waar

I = traagheidsmoment van de massa om de rotatieas [kg m²]

ω = de hoeksnelheid [rad/s] 1 rpm \approx 0,104720 rad/s.

Het traagheidsmoment voor een schijf bepaald worden met de formule:

$$I = \frac{1}{2} m r^2$$

met:

m = massa [kg]

r = straal [m]

Stel een schijf met een diameter van 45 cm en een dikte van 3 cm wordt op een omwentelingssnelheid van 25.000 toeren/minuut gebracht. De soortgelijke massa van het schijfmateriaal is 7000 kg/m³. Hoe veel kinetische energie is dan opgeslagen?

Inhoud van de cilinder: $\pi * 0,45^2 * 0,03 = 0,019 \text{ m}^3$.

Gewicht cilinder: $0,019 * 7000 \text{ (kg/m}^3) = 133 \text{ kg}$.

25.000 rpm = 3680 rad/s.

$$I = 0,5 * 133 * 0,45^2 = 13,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$E = 0,5 * 13,5 * 3680^2 = 91 \text{ MJ.}$$

91 MJ komt overeen met 25 kWh.

Smart grid toepassing

Vliegwielen kunnen in compacte vorm veel energie opslaan. Verder is de reactiesnelheid zeer kort. Vanwege de wrijvingsverliezen kan er echter niet veel tijd mee overbrugd worden. Dit beperkt de mogelijkheden voor de toepassing van het vliegwiel.

Er zijn wel toepassingen in het netwerk op hoger schaalniveau. Vliegwielen kunnen, als alternatief op frequentieregeling, gebruikt worden om spanningsverschillen te corrigeren.

Vliegwielcentrale in New York

In Stephentown, in de staat New York is een 20MW vliegwielcentrale gebouwd. De centrale kan gedurende 15 minuten 20 MW leveren. De centrale levert ongeveer 10% van het reservevermogen van de staat New York. De centrale maakt circa 20 cycli per dag. Het grote voordeel van de vliegwielcentrale is de snelle responstijd van 4 seconden. Door de snelle responsetijd draagt de vliegwielcentrale per MW vermogen 3 maal meer bij aan de balanshandhaving dan regulier reservevermogen.



Perslucht

Omschrijving

Energie kan opgeslagen worden door lucht te comprimeren. Bij het comprimeren van lucht wordt de temperatuur van de lucht hoger. Bij het expanderen zal de lucht weer afkoelen. Gecomprimeerde lucht kan dus samengaan met warmteverliezen. Een adiabatisch energieopslagsysteem slaat de warmte die bij comprimeren geproduceerd wordt op en gebruikt deze warmte weer bij het expanderen.

Bij het comprimeren met een factor 200 wordt de druk verhoogd van atmosferisch (0,1 MPa) naar 20 MPa). De opgeslagen energie is ongeveer 10 kWh per m³ à 20 MPa.

De omzetting van elektriciteit naar arbeid voor het comprimeren van de lucht gaat gepaard met energieverliezen. Verder zijn er ook warmteverliezen in het systeem.

smart grid toepassing

Energie-opslag door middel van perslucht op kleine schaal lijkt niet kansrijk vanwege het grote benodigde ruimtebeslag. Er zijn wel al gerealiseerde installaties van grootschalige energieopslag door middel van perslucht in oude zoutmijnen.

Opslag met perslucht al in 1970

De eerste compressed air energy storage (CAES) installatie is in 1978 in het Duitse Huntorf in gebruik genomen. De installatie had oorspronkelijk een capaciteit van 290 MW, dat werd verhoogd met een retrofit in 2006 tot 321 MW. De installatie is een combinatie van perslucht en gasturbine.

Waterstof

Omschrijving

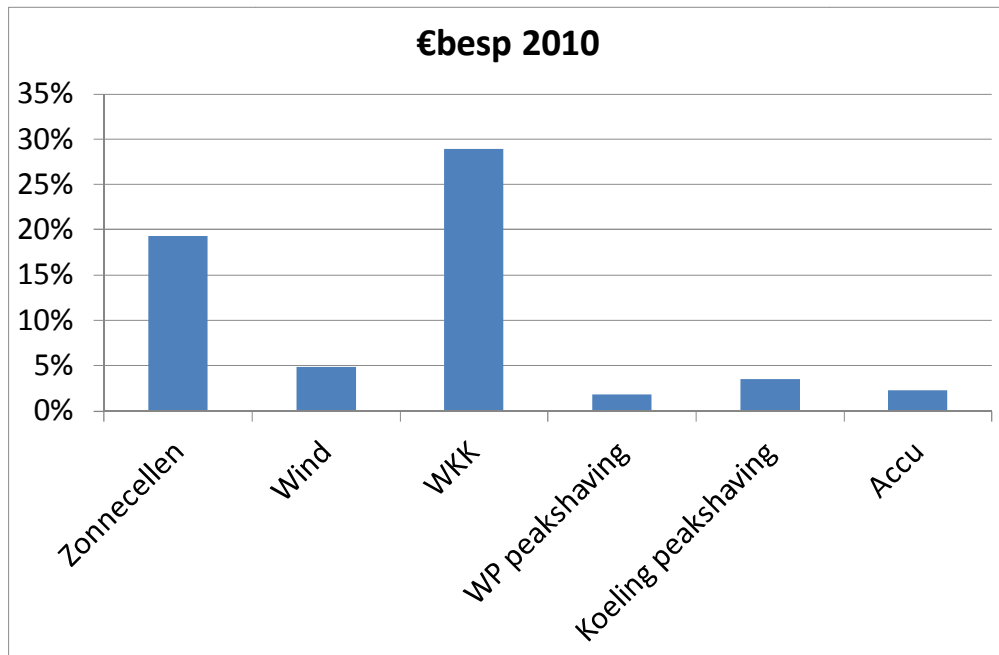
Elektriciteit kan via elektrolyse van water omgezet worden in waterstof. Waterstof kan vervolgens weer als brandstof gebruikt worden voor bijvoorbeeld brandstofcellen. De waterstof moet na productie gecomprimeerd worden, hetgeen ten koste gaat van de efficiency. De efficiency van waterstofproductie bedraagt circa 50 à 80%. De energiedichtheid van waterstof is 143 MJ/kg. Waterstof kan met behulp van brandstofcellen weer omgezet worden in elektriciteit. De totale efficiency van waterstof-opslag is, door eht comprimeren en de verschillende omzettingen laag, circa 25%.

11. Samenvatting

In deze rapportage zijn de diverse aspecten van het smart grid beschreven. Daarbij ligt de nadruk op de relatie met gebouwen.

De belangrijkste bouwstenen van het smart grid zijn lokale (duurzame) energieproductie en beïnvloedbaarheid van het afnamepatroon (flexibiliteit). Deze voorzieningen bevinden zich voornamelijk achter de meter. Om deze voorzieningen ook echt te kunnen activeren zijn prijsprikkels nodig die gebouweigenaren motiveert te participeren in het smart grid. Er zijn verschillende waarde-aspecten aan het smart grid, zoals energiebesparing, voorkomen van verzwaring van het net of optimaal gebruik van de prijsdynamiek in de energiehandel. De huidige tariefstructuur vormt echter op een aantal punten een belemmering om de eindgebruiker gebruik te kunnen laten maken van deze waarde-aspecten.

Van een aantal voorzieningen, zoals duurzame energieproductie of peak shaving is gekeken wat de waarde kan zijn voor een gebouweigenaar, als uitgegaan wordt van de prijsdynamiek op de APX-ENDEX. In zijn algemeenheid zijn productievoorzieningen (zon, wind, wkk) waardevoller dan voorzieningen die enkel flexibiliteit leveren (accu's, peakshaving). In Figuur 25 is de procentuele besparing op de energiekosten gegeven als gebruik gemaakt wordt van de betreffende voorzieningen in een referentiegebouw.



Figuur 25: Energiekostenbesparing in het referentiegebouw ten gevolge van de verschillende smart-grid technieken.



Bijlage 1: Overzicht van maatregelen

Tijdens een aantal TVVL-workshops zijn ideeën verzameld over maatregelen die kunnen bijdragen aan smart grids. Vervolgens zijn deze maatregelen tijdens een sessie bij de techniekdag van de TVVL op 17 november geprioriteerd. Het resultaat daarvan is gegeven in onderstaande tabel. Uiteindelijk is besloten in deze rapportage specifiek in te gaan op energieproductie, buffering en afschakelbaar vermogen.

| | beschrijving | stemmen |
|----|---|----------------|
| 1 | Anticiperende gebouwregeling* | - |
| 2 | zonnecellen | 6 |
| 3 | lokale uitwisseling van overtollige energie | 5 |
| 4 | Bodemopslag van warmte en koude | 5 |
| 5 | Elektrische auto's als buffer | 5 |
| 6 | Klimaatdashboard met feedback en regelmogelijkheden per persoon | 5 |
| 7 | zonnecollectoren voor verwarming | 4 |
| 8 | Koude-buffer (nachtstroom) | 4 |
| 9 | Zomernachtkoeling | 4 |
| 10 | Peakshaving (gelijktijdigheid van grote afnemers beperken) | 4 |
| 11 | Koelmachines tijdelijk uitzetten | 4 |
| 12 | Benutten van bouwfysische mogelijkheden van het gebouw | 4 |
| 13 | Flexibiliteit van gebouwen optimaal benutten door multifunctioneel gebruik en efficiënt ruimtegebruik (bij lage bezetting verdieping 'uit') | 4 |
| 14 | Optimale daglichttoetreding, solar tubes | 4 |
| 15 | warmte/kracht koppeling | 3 |
| 16 | Lokale synergie, complementaire afnamepatronen | 3 |
| 17 | Laptops als actieve buffer | 3 |
| 18 | Daglichtregeling en aanwezigheidsdetectie van verlichting | 3 |
| 19 | Computeren 'in the cloud', thin clients | 3 |
| 20 | Benchmarken van gebouwen, gebouwfuncties of zelfs mensen | 3 |
| 21 | Warmtewiel | 3 |
| 22 | Ledverlichting | 3 |
| 23 | windturbine | 2 |
| 24 | bivalente (elektriciteit/aardgas) systemen | 2 |
| 25 | PCM's als passieve buffer | 2 |
| 26 | Bewustwording, terugkoppeling van het verbruik op het niveau van ruimte/persoon | 2 |



| | | |
|----|--|---|
| 27 | Organisatorische aspecten zoals bedrijfstijd vergroten, spreiding van gebruikstijd van bijvoorbeeld keuken of planning van schoonmaak. | 2 |
| 28 | UPS als actieve buffer | 1 |
| 29 | PCM's als actieve buffer (koude accu) | 1 |
| 30 | Thuiswerken en flexibele werkplekken | 1 |

*Deze maatregel is tijdens de TVVL techniekdag nog geopperd als aanvulling op de lijst.



Bijlage 2: referentiegebouw AgentschapNL

Voor het bepalen van de impact van verschillende maatregelen of voorzieningen is gebruik gemaakt van de het referentiegebouw klein kantoor van AgentschapNL. Hier is een korte beschrijving gegeven van dit referentiegebouw.

Het percentage raam in de gevels bedraagt circa 35 procent. Het kantoor is voorzien van mechanische toe- en afvoer met een warmtewiel voor warmteterugwinning (rendement zeventig procent). Een HR-ketel zorgt voor de warmteopwekking. De warmteopwekking voor warmtapwater gebeurt met een elektrische boiler. Koeling vindt plaats door een compressiekoelmachine. De isolatiewaarde van de gebouwschil is voor de dichte delen $R_c = 3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ en $R_c = 5,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ voor het dak. De ramen zijn voorzien van HR++ beglazing. Als verlichtingssysteem is hoogfrequente verlichting aanwezig met een gemiddeld geïnstalleerd vermogen van 8 W/m^2 . Ook is een veeg- en daglichtschakeling toegepast met aanwezigheidsdetectie. Bij de berekeningen is het uitgangspunt dat honderd procent van het gebouw tot de gebruiksfunctie kantoor behoort. Met deze uitgangspunten kan het gebouw voldoen aan de EPC-eisen.



Korenmolenlaan 4
3447 GG Woerden
Telefoon: 088 401 06 20

info@tvvl.nl | www.tvvl.nl

