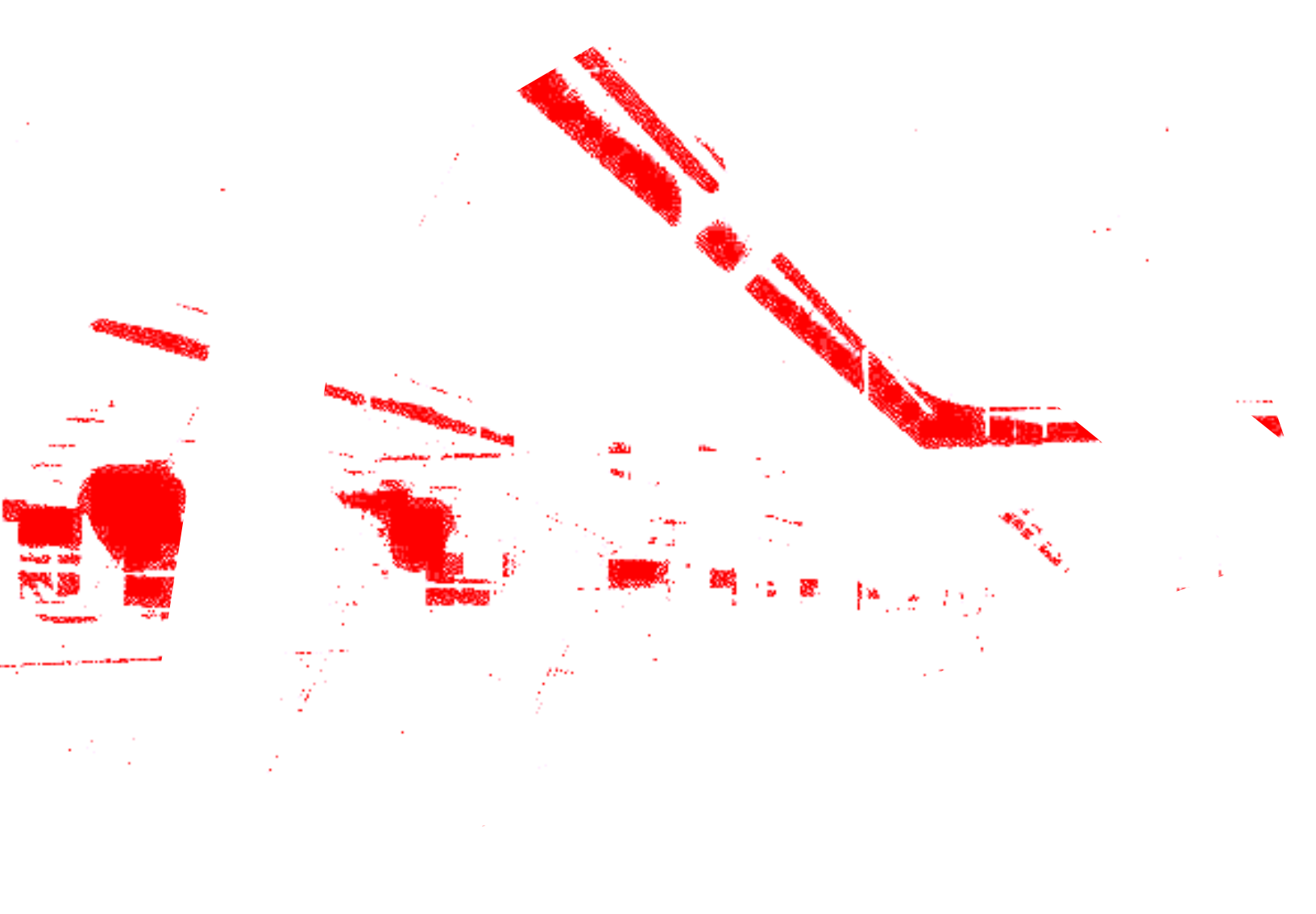




Opslag van Duurzame Energie in de Gebouwde Omgeving

Uitgave 2012



Technisch rapport - 8



HASKONING NEDERLAND B.V.
RUIMTE & MOBILITEIT

George Hintzenweg 85
Postbus 8520
3009 AM Rotterdam
+31 10 443 36 66 Telefoon
Fax
info@rotterdam.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoning.com Internet
Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel Opslag van Elektrische Energie in de
Gebouwde Omgeving
Verkennd onderzoek naar de
verduurzaming door Smart Grids
Verkorte documenttitel Energieopslag en Smart Grids
Status Definitief rapport
Datum 19 april 2012
Projectnaam Energieopslag en Smart Grids
Projectnummer 9W5041
Opdrachtgever TVVL Platform voor Techniek en
Maatschappij
Referentie 9W5041/R00001/902741/Rott

Auteur(s) Friso Lippmann, Steven Lemain, Stefan Valk
Collegiale toets Bob Meijer
Datum/paraaf 19/4/2012
Vrijgegeven door Niels Lanser
Datum/paraaf 19/4/2012



VOORWOORD

Energieopslag, decentrale energieopwekking en smart grids: onderwerpen met vele gezichten waar veel aan te onderzoeken is. Hier waren we ons terdege van bewust en voor wie ermee aan de slag gaat wordt dit des te duidelijker: er zijn niet voor niets hoogleraren 'Smart Grids'. De term smart grid wordt wel eens bestempeld als een 'buzzword' of een 'gehyped' onderwerp. Een verzamelnaam van iets dat moeilijk te definiëren is. Zoals bij elke innovatie en transitie komt ook bij smart grids veel kijken. Het is een onderwerp dat zowel Royal Haskoning als onze opdrachtgever TVVL aan het hart gaat. Om dan nog niet te spreken over het onderwerp "opslag van (duurzaam opgewekte) elektriciteit in de gebouwde omgeving" dat 'slechts' een onderdeel vormt van het overkoepelende complexe vraagstuk. Toch delen wij de mening dat in het voorliggende rapport de juiste vragen zijn gesteld en beantwoord. Tegelijkertijd doet het rapport niet af aan de complexiteit van dit omvangrijke onderwerp. Dit hadden wij nooit alleen voor elkaar kunnen krijgen. Allereerst willen wij TVVL en Jan-Fokko de Haan bedanken voor het in ons gestelde vertrouwen voor het uitvoeren van dit onderzoek. Verder hebben Hans Besselink van TVVL en Bart van der Velpen van Royal Haskoning beiden een belangrijke bijdrage geleverd aan het vaststellen van de onderzoekskaders. Jan Mulder van de Technische Universiteit Delft heeft ons in een interview inzicht gegeven in de potentie van waterstof en batterijen als opslagmedia. Ook de informatie van de sprekers op het IIR Energy congres "Energieproductie en –opslag" dat in oktober 2011 plaatsvond heeft bijgedragen aan een actueel beeld van de ontwikkelingen op het vlak van decentrale energieproductie, energieopslag en smart grids. Tot slot willen wij Bob Meijer en Wilco van der Lans van Royal Haskoning bedanken voor hun kritische blik op het voorliggende rapport.

Steven Lemain
Stefan Valk
Friso Lippmann



SAMENVATTING

Er zijn door TVVL, platform voor mens en techniek, vragen gesteld aan Royal Haskoning over opslag van energie en smart grids. Op basis daarvan zijn in samenwerking met TVVL hoofd- en deelvragen geformuleerd die in dit verkennende onderzoek zijn beantwoord. De hoofdvraag luidt als volgt:

In hoeverre is opslag van energie op woning, gebouw- en wijkniveau op korte en langere termijn gewenst rekening houdend met oplossingen geboden door smart grids en welke opslagmethoden zijn het meest haalbaar voor implementatie?

Voor de beantwoording van de hoofdvraag zijn deelvragen geformuleerd. De deelvragen en de beantwoording komen hieronder aan de orde.

Deelvraag 1: In hoeverre is er nu en in de toekomst behoefte aan opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving?: De behoefte aan opslag van elektrische (duurzame) energie in de gebouwde omgeving is vandaag de dag vrij laag. In de toekomst zal opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving voornamelijk kunnen ontstaan vanuit de behoefte van de decentrale producent om beter te kunnen handelen. Zo kan de consument / decentrale producent met een opslagmedium laden wanneer de elektriciteitsprijzen laag zijn en ontladen wanneer de prijzen hoog zijn. Piek dal compensatie, levering- en kwaliteitsoptimalisatie en peak shaving zijn op de schaal van de gebouwde omgeving van ondergeschikt belang. Verder mag worden verwacht dat beleid op Europees en nationaal niveau bijdraagt aan meer ontwikkeling en toepassing van decentraal opgewekte elektriciteit wat vervolgens een belangrijke drijver kan zijn voor opslagmedia in de gebouwde omgeving. Ook zullen trends als multifunctioneel grondgebruik, elektrificering, schaalverkleining en de neiging naar slim te delen decentrale elektriciteitsproductie stimuleren en daarmee de mogelijke ontwikkeling en implementatie van opslag van elektrische energie kunnen versnellen. Echter, tegenover deze ontwikkelingen in het voordeel van de toepassing van opslag op kleinere schaal staat dat de kosten van het realiseren van grootschalige flexibiliteit relatief laag zijn.

Deelvraag 2: Welke methoden voor opslag van elektrische energie zijn denkbaar op gebouw- en wijkniveau?: Beschouwd vanuit de technische selectiecriteria vermogen, ontladingstijd, responstijd en energiecapaciteit zijn batterijen en waterstof de opslagmethoden die het meest in aanmerking komen. Waterstof brengt vanwege de uitgebreide opslagcyclus nadelen met zich mee en is op laag schaalniveau complex. Het systeem dat op de kortere termijn het meest in aanmerking komt voor opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving is de batterij. Een batterij heeft een goede energiedichtheid (opgeslagen energie per kilogram en opgeslagen energie per volume) en efficiëntie (weinig verlies bij de laad- en ontladingscyclus). Door de hoge kosten voor de opslagcapaciteit (€/kWh) is een grote opslagcapaciteit economisch gezien nog niet realiseerbaar. Hiermee is een batterijsysteem geschikt voor het overbruggen van de dag/nachtcyclus, maar niet voor de seizoenscyclus. Tevens kan een batterij systeem gebruikt worden voor het efficiënt gebruiken van energie (bufferen tussen vraag en aanbod). Op het gebied van batterijen vindt nog zeer veel ontwikkeling plaats. Met name van de lithium-zwavel en lithium-lucht batterij wordt in de toekomst veel verwacht.

Deelvraag3: In hoeverre bestaat er een remmend danwel faciliterend verband tussen de toepassing van smart grids en de toepassing van opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving?: Onbalans in de lokale opwekking en lokaal verbruik in het smart grid kan worden opgevangen door lokale oplossingen (opslag, vraagsturing) of aan hogere netlagen worden overgelaten. Het aggregeren op een hoger niveau van onbalans kan het totale onbalansrisico verminderen. Hiervoor moeten dan wel kosten (transport, regelvermogen) worden gemaakt. Smart grids maken die lokale balancerings met behulp van lokale opslag technisch mogelijk en kunnen dus een stimulans zijn. Aan de andere kant kan het smart grid juist ook door de koppeling met hogere netlagen de balancerings op een hoger niveau mogelijk maken. En vice versa eventuele onbalans op hogere netlagen terugleggen bij het lokale smart grid.

Gezien het stadium van ontwikkeling van het huidige net, de hoge bedrijfszekerheid ervan en de potentiële toegevoegde waarde van informatie- en communicatie technologie is het aannemelijk dat op korte termijn voornamelijk oplossingen in de hoek van verdere optimalisatie van het bestaande net naar een smart grids zullen plaatsvinden. Dit betekent niet dat opslag geen toepassing vindt. Wanneer opslag verder is ontwikkeld, is het een welkome uitbreiding van het smart grids concept waarbij daadwerkelijke toepassing voornamelijk afhangt van de kosteneffectiviteit van twee scenario's: een stijging van opslag en/of een stijging van het terugleveren van stroom aan het net. Vanwege het stadium van ontwikkeling van smart grids, in deze de mogelijkheid tot terugleveren en de afwezigheid van opslag, is het aannemelijk dat op korte termijn terugleveren zich zal ontplooiën. Op langere termijn kan scenario opslag zich daar naast ontwikkelen en kunnen beiden naast elkaar bestaan.

Deelvraag 4: Hoe ziet het speelveld van stakeholders van smart grids en opslag van elektrische energie er uit, en welke consequentie heeft dit voor de haalbaarheid van opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving?

Hoe ziet het speelveld eruit?: Er zijn veel stakeholders betrokken bij smart grids en opslag van energie. Ze hebben allen in meer of mindere mate belang bij de ontwikkeling van smart grids en eventuele opslag hierbinnen. Kenmerkend voor het speelveld is dat de behandelde stakeholders deels tegenstrijdige belangen en doelstellingen hebben. Zo is er van oudsher bijvoorbeeld de centrale producent die geen baat heeft bij decentrale productie, of de leverancier die wel baat heeft bij smart grids (meer handel) maar geen baat heeft bij decentrale opslag. Van een vruchtbare samenwerking en degelijke onderlinge uitlijning van de belangen en doelstellingen lijkt op dit moment geen sprake te zijn.

En welke consequentie heeft dit voor de haalbaarheid van opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving?: Het huidige net - en zeker met de verwachte aanpassingen in het kader van smart grids – behoeft geen decentrale opslag voor de energievoorziening in Nederland. Het is dan ook niet te verwachten dat dwingend beleid en wet- en regelgeving met betrekking tot opslag wordt gevoerd. Echter, een reden om toch voor opslag te kiezen kan een economische zijn. De kosteneffectiviteit voor de verschillende stakeholders is hierbij doorslaggevend. Als opslag doorgang vindt op decentraal niveau dan is het aannemelijk dat de eerste partij voor wie opslag renderend wordt de consument/decentrale producenten zijn. Voor de haalbaarheid heeft het speelveld als consequentie dat gedeelde (georganiseerde) opslag vooralsnog uit zal blijven. Meer in de lijn der verwachtingen ligt het dat één partij zelf begint. In het kader



van een aantal geschetste toekomstscenario's is het dus aannemelijk dat als opslag doorgang vindt, in eerste instantie het scenario Individualisme op de voorgrond treedt. Opslag heeft schaalvoordelen; wanneer het smart grid inclusief opslag verder optimaliseert, is het daarom te verwachten dat op den duur gedeelde opslag toepassing vindt. We voorzien daarom een scenario als in Vertraagd Gematigd Collectivisme.





INHOUDSOPGAVE

	Blz.
1 INLEIDING	1
1.1 Achtergrond en doelstelling	1
1.2 Scope afbakening	2
1.3 Onderzoeksvragen	3
1.4 Aanpak	3
1.5 Leeswijzer	4
2 BEANTWOORDING VAN DE ONDERZOEKSVRAGEN	5
2.1 Deelvraag 1	5
2.1.1 Het huidige elektriciteitsnet	5
2.1.2 Het toekomstig Elektriciteitsnet: Smart Grids?	7
2.1.3 Redenen voor opslag van elektrische energie	9
2.1.4 Beleid en trends van invloed op decentrale energieproductie en -opslag	11
2.1.5 Antwoord deelvraag 1	14
2.2 Deelvraag 2	15
2.2.1 Selectiecriteria	15
2.2.2 Inventarisatie opslagmethoden	17
2.2.3 Selectie opslagmethoden gebouwde omgeving	17
2.2.4 Antwoord deelvraag 2	21
2.3 Deelvraag 3	22
2.3.1 Smart grids als rivaal van opslag van elektrische energie	22
2.3.2 Smart grids als voorwaarde voor opslag van elektrische energie	23
2.3.3 Maturiteit van Smart Grids en Opslagmedia	24
2.3.4 Antwoord deelvraag 3	25
2.4 Deelvraag 4	26
2.4.1 Stakeholders: wie speelt welke rol?	26
2.4.2 Kosten	28
2.4.3 Scenario's voor decentrale opslag	31
2.4.4 Antwoord deelvraag 4	34
3 CONCLUSIE	35
4 DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN	36
4.1 Decentrale Energieproductie	36
4.2 Smart Grids	37
4.3 Energieopslag	38
5 AANBEVELINGEN VOOR TVVL	40
6 LITERATUUR	43

Bijlage 1: Inventarisatie methoden opslag van elektrische energie

Bijlage 2: Interviewverslag Prof. Dr. F.M. Mulder

Bijlage 3: Presentielijst congres energieproductie en –opslag 26 en 27 oktober 2011

Bijlage 4: Congresverslag decentrale energieproductie en opslag 26 en 27 oktober 2011



1**INLEIDING****1.1 Achtergrond en doelstelling**

We zijn er aan gewend geraakt. Een wereld waarin we onze behoefte aan energie bevredigen met fossiele brandstoffen. We hebben ons de kunst van het winnen van fossiele brandstoffen eigen gemaakt en nog steeds worden we er steeds beter in. Niet alleen het winnen ervan kunnen we goed, ook het efficiënt aanwenden van de energie die deze brandstoffen herbergen hebben we steeds beter onder controle. Zoals we allen weten zijn deze fossiele bronnen eindig. Het houdt een keer op. De meningen over wanneer het zover is zijn verdeeld en niemand heeft de waarheid in pacht. Wel is vastgesteld dat het aantal nieuw ontdekte olie- en gasvelden daalt, zo ook de grootte ervan (Buchan, 2010). Het aanbod van fossiele brandstoffen stijgt echter nog steeds (EIA, 2011). Bovendien zal de vraag naar energie stijgen met een groeiende wereldbevolking en een toenemend welvaartpeil. Ter indicatie: vandaag telt de wereldbevolking bijna 7 miljard mensen en in 2050 is de populatie gestegen naar 9,2 miljard (UN, 2008). De laatste 200 jaar is de wereldbevolking met een factor 6 gegroeid en de energieconsumptie met een factor 8. Al deze zaken leiden ertoe dat de uitputting van fossiele bronnen zal versnellen en dat wereldwijd steeds meer mensen aansluiting vinden op het elektriciteitsnet: vandaag de dag hebben wereldwijd ruim 1,5 miljard mensen nog geen aansluiting op het elektriciteitsnet. Hoewel dit laatste in een welvarend land als Nederland een minder grote rol speelt, ligt hier weldegelijk een uitdaging. Hoe hoger het inkomen, des te meer energie we gebruiken. Met een toenemende vraag en de beperkte beschikbaarheid en grote milieu-impact van conventionele energiebronnen is een transitie naar duurzame energievoorziening evident. Implementatie van duurzame energievoorzieningen is echter niet eenvoudig en vraagt om systematische wijzigingen op het gebied van productie en consumptie van energie.

De weg naar duurzame energie is reeds ingeslagen; veel landen over de wereld werken in meer of mindere mate met een energiemix van conventioneel en duurzaam opgewekte energie. Technologieën voor opwekking van duurzame energie (veelal in de vorm van wind- en zonne-energie) worden dan ook op steeds grotere schaal toegepast. Niet alleen grootschalige centrale productie van duurzame energie (denk bijvoorbeeld aan off-shore windparken) maar ook kleinschaliger decentrale opwekking van energie (denk aan fotovoltaische zonnepanelen bevestigd aan woonhuizen, kantoorgebouwen). Dit is een gewenste ontwikkeling met het oog op klimaatverandering, voorzieningszekerheid en de doelen die de overheid stelt aan duurzame energieproductie en terugdringen van broeikasgasemissies.

Voor een transitie naar een duurzamere energievoorziening wordt verwacht dat energieopslag en 'smart grids' (intelligente netten) een belangrijke bijdrage gaan leveren waarbij voorzieningszekerheid en gedegen afstemming van energievraag en –aanbod zeker zijn gesteld. Tegen dit licht heeft TVVL, platform voor mens en techniek, gevraagd een verkennende studie te doen naar opslag van decentraal (duurzaam) opgewekte energie. De missie van TVVL luidt als volgt:

TVVL is een vereniging van mensen die zich toeleggen op de ontwikkeling en implementatie van de techniek van gebouwgebonden voorzieningen en de invloed hiervan op de mens en zijn/haar functioneren. TVVL vergaart, bundelt en ontwikkelt kennis en draagt deze over binnen de context van maatschappelijk debat, dagelijkse gebeurtenissen en aanpalende wetenschappen. We vertalen de kennis in innovatieve technologische oplossingen en organiseren dit naar praktische richtlijnen en handvatten (TVVL, 2011).

Dit verkennende onderzoek heeft in aansluiting op de missie van TVVL als doel TVVL van informatie te voorzien over opslag van energie in relatie tot smart grids. Dit moet voor TVVL bijdragen aan kennisvergaring, -bundeling en ontwikkeling op dit onderwerp en inzicht verschaffen in de te nemen stappen om bij te dragen aan de ontwikkeling van energieopslagmedia binnen een intelligenter net. Hierop wordt in de aanbevelingen nader ingegaan.

1.2 Scope afbakening

Voordat de onderzoeksvragen aan de orde komen, is het van belang bewust te zijn van de kaders waarbinnen dit verkennende onderzoek is uitgevoerd. Productie, distributie, levering en consumptie van energie is een omvangrijk speelveld. Om over de winning van primaire grondstoffen nog niet te spreken. In samenspraak met TVVL is ervoor gekozen om de volgende afbakening van dit verkennende onderzoek aam te houden:

1. Nederland;
2. de gebouwde omgeving op het niveau woning, kantoor, wijk;
3. opslag van elektrische energie;
4. elektrisch vervoer;
5. een tijdshorizon van maximaal 20 tot 30 jaar

Dit is als volgt toegelicht:

Ad 1:

Gezien het om innovaties gaat waarbij vele partijen betrokken zijn, is ervoor gekozen toepassing van energieopslag en smart grids binnen Nederland te onderzoeken. Daar waar nodig zijn ontwikkelingen buiten Nederland beschouwd.

Ad 2:

Gezien het werkveld van TVVL dat zich voornamelijk bevindt in de techniek van gebouwgebonden voorzieningen, is gekozen voor de schaal op het niveau van een woning, kantoor en wijk. Het schaalniveau gebouwde omgeving kadert bovendien het type opslagsysteem in dat in aanmerking komt. Binnen de gebouwde omgeving zijn veelal geen grootschalige opslagfaciliteiten mogelijk vanwege de natuurlijke en geografische omstandigheden die benodigd kunnen zijn voor grootschalige opslagmethoden. Grootschalige opslag aan de orde bij het selectieproces.

Ad 3:

Opslag van energie kan gaan over warmte- en koudeopslag, over tijdelijke opslag van aardgas of andere brandstoffen en over opslag van elektrische energie. In dit verkennende onderzoek ligt de focus op opslag van elektrische energie die na opslag weer als elektriciteit wordt benut.

Ad 4:

Het gebruik van elektrische transportmiddelen als toepassing voor opslag (batterijen in transportmiddelen) is in dit onderzoek niet expliciet behandeld. De discussie en aanbevelingen gaan hier nader op in.

Ad 5:

Met het oog op de beschikbare informatie en complexiteit van het onderwerp is geen exacte tijdshorizon gehanteerd.

1.3 Onderzoeksvragen

Er zijn door TVVL vragen gesteld aan Royal Haskoning die in onderlinge samenwerking zijn verfijnd om deze verkennende studie uit te kunnen voeren. De hoofd- en deelvragen van dit verkennende onderzoek zijn als volgt:

In hoeverre is opslag van energie op woning, gebouw- en wijkniveau op korte en langere termijn gewenst rekening houdend met oplossingen geboden door smart grids en welke opslagmethoden zijn het meest haalbaar voor implementatie?

- 1. In hoeverre is er nu en in de toekomst behoefte aan opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving?*
- 2. Welke methoden voor opslag van elektrische energie zijn denkbaar op gebouw- en wijkniveau?*
- 3. In hoeverre bestaat er een remmend danwel faciliterend verband tussen de toepassing van smart grids en de toepassing van opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving?*
- 4. Hoe ziet het speelveld van stakeholders van smart grids en opslag van elektrische energie er uit, en welke consequentie heeft dit voor de haalbaarheid van opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving?*

1.4 Aanpak

Om de deelvragen en hoofdvraag te beantwoorden is informatie verzameld op basis van:

- Deskstudy of basis van literatuur en informatie van het internet;
- interview met Prof. dr. F.M. Mulder van de Faculteit Radiation, Radionuclides & Reactors van de Technische Universiteit Delft, afdeling Fundamental Aspects of Materials and Energy: FAME (zie bijlage 2 voor het interviewverslag);
- congres Decentrale Energieproductie en –opslag dat plaatsvond op 26 en 27 oktober 2011 (zie bijlage 3 voor de presentielijst en sprekers en bijlage 4 voor het congresverslag);
- Workshops smart grids georganiseerd door TVVL in mei en november 2011
- TVVL Nieuwjaarssymposium van 10 januari 2012: Is een Smart Grid de Oplossing?



1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is een antwoord gegeven op de deelvragen zoals gepresenteerd in de inleiding. Gezien de complexiteit van het vraagstuk zijn de deelvragen ontleed in subvragen die aan het begin van elke paragraaf zijn gegeven. In hoofdstuk 3, de conclusie, wordt op basis van de beantwoorde deelvragen de hoofdvraag beantwoord. De discussie en aanbevelingen komen in hoofdstuk 4 aan de orde. Hier reflecteren we op de waarde die we mogen hechten aan de conclusies en doen we suggesties voor vervolgonderzoek. Tot slot zijn in hoofdstuk 5 aanbevelingen gedaan voor TVVL.

2 BEANTWOORDING VAN DE ONDERZOEKSVRAGEN

2.1 Deelvraag 1

In hoeverre is er nu en in de toekomst behoefte aan opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving?

Om een antwoord te geven op vraag deelvraag 1 is achtereenvolgens ingegaan op de volgende subvragen:

- a. *Wat is kenmerkend in het huidige elektriciteitsnet?*
- b. *Wat is kenmerkend in het toekomstige elektriciteitsnet (smart grid) en hoe verhoudt dit zich tot het huidige net?*
- c. *Welke redenen zijn er om opslag van elektrische energie toe te passen?*
- d. *Is er beleid en zijn er trends identificeerbaar die van invloed zijn op de toepassing van opslag van elektrische energie?*

2.1.1 Het huidige elektriciteitsnet

Geschiedenis in het kort

Dat er samenhang bestond tussen verschijnselen als een stroomstoot van een sidderaal en een bliksem werd ons pas ruim 300 jaar geleden duidelijk. Toen wij eenmaal in staat waren elektriciteit zelf op te roepen, duurde het nog twee eeuwen voordat de elektriciteit op een nuttige wijze kon worden aangewend. In de 2e helft van de 18e eeuw kwam in het Verenigd Koninkrijk de grootschalige productie van ijzer en staal op gang. Een stap die pas als gevolg van deze ontwikkeling kon worden gezet is de ontwikkeling van praktisch bruikbare elektriciteit door middel van transport door metalen geleiders. Elektriciteit heeft een grote invloed (gehad) op onze maatschappij: eerst was daar begin 20e eeuw de mogelijkheid tot verlichting en enkele tientallen jaren later is elektriciteit in de westerse wereld tot onmiskenbare levensbehoefte uitgegroeid (Mijn, 1978). De hoeveelheid geproduceerde (en gedistribueerde) energie hangt samen met de geschatte vraag van de consument. Zodoende is de capaciteit van het elektriciteitsnet de afgelopen eeuw enorm gegroeid. Bij de overgang van de 19e naar de 20e eeuw kon voor diverse elektriciteitsnetten in Nederland ruim 5 MW aan elektriciteit worden opgewekt. Bij de overgang van de 20ste naar de 21ste eeuw was de elektriciteitsproductie 15 GW (Ladiges, 2000).

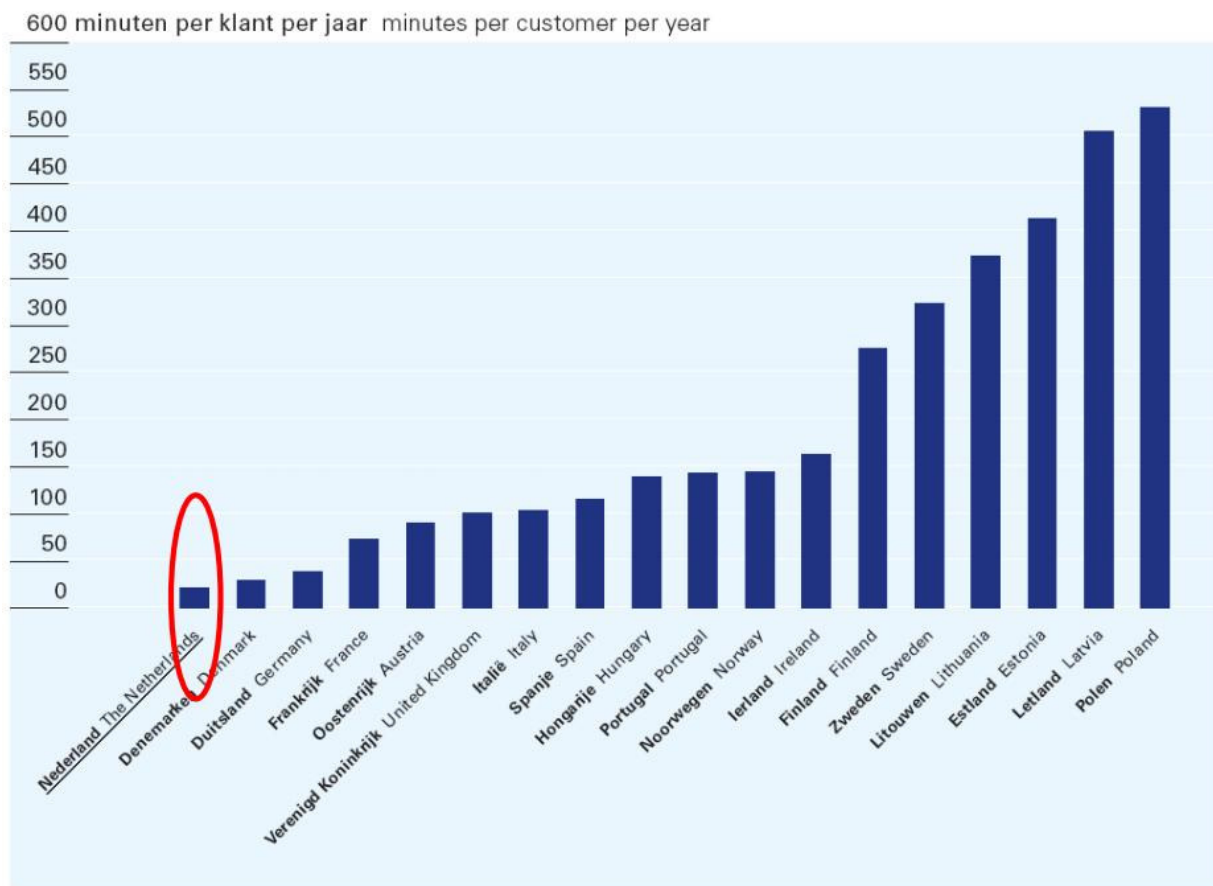
Kenmerken huidige energievoorziening

Verreweg het grootste deel van de Nederlandse elektriciteitsproductie kenmerkt zich door productie met kolen en aardgas. Deze productiemethode kenmerkt zich door centrale productie met een controleerbare capaciteit. De meest ingrijpende verandering die gaat plaatsvinden met betrekking tot onze elektriciteitsvoorziening is de transitie naar een duurzame energievoorziening. Deze kenmerkt zich niet alleen door toename van grootschalige centrale energieproductie met windparken maar ook door toename van decentrale productie en een lastiger te controleren productiecapaciteit. Dit vraagt om inspanningen van de netbeheerders om elektriciteitsnet toekomstbestendig te maken. Om het transportnet aan te laten sluiten bij de behoefte van de energiemarkt werken netbeheerders continu aan verbeteringen in het hoog- midden- en laagspanningsnet (TenneT, 2009).

Betrouwbaarheid van het elektriciteitsnet

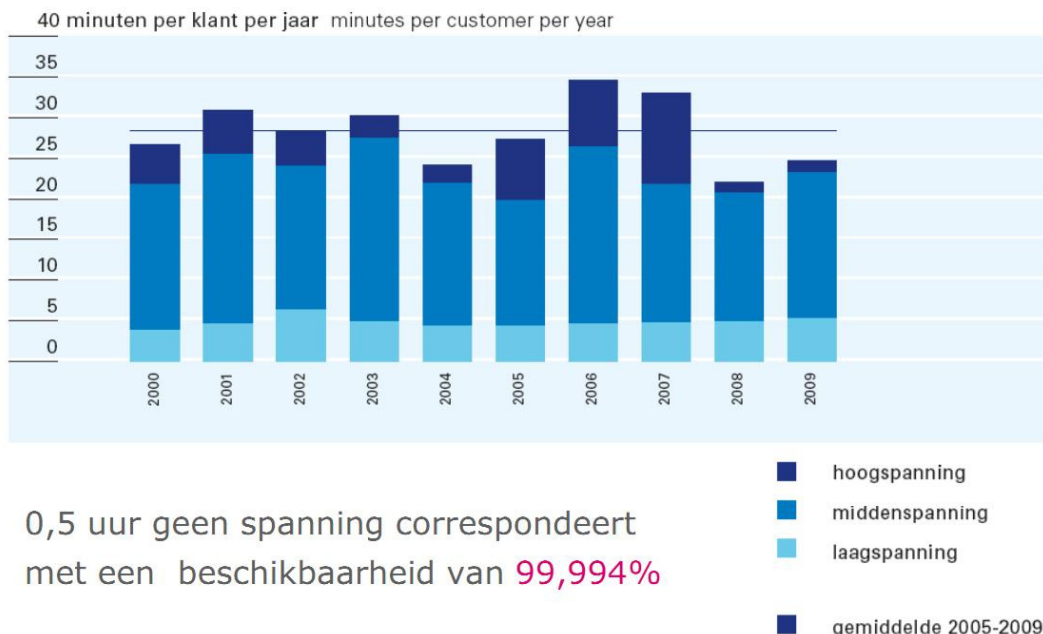
Zoals te zien in onderstaande figuur is het Nederlandse elektriciteitsnet uitermate betrouwbaar. In vergelijking tot andere Europese landen staan we bovenaan als het gaat om het aantal minuten stroomuitval per klant. Ook heeft het Europese elektriciteitsnet in vergelijking met de Verenigde Staten een zeer hoge betrouwbaarheid (Nieuwenhout 2011).

Figuur 1: Uitval in minuten ongeëvenaard (Slootweg, 2011)



Hoewel het hoog-, midden- en het laagspanningsnet zeer betrouwbaar zijn is wel een verschil op te maken tussen de drie. De onderstaande figuur maakt dit inzichtelijk.

Figuur 2: Betrouwbaarheid Nederlandse hoog-, midden-, en laagspanningsnet (Slootweg, 2011)



De stroomuitval was in 2009 gemiddeld 40 minuten per afnemer per jaar. Het middenspanningsnet is relatief het minst betrouwbaar maar levert in absolute zin desondanks een goede prestatie. Bovendien is er op alle drie de netten nog veel capaciteit beschikbaar voor het transporteren en distribueren van extra elektriciteit (Slootweg, 2011).

2.1.2 Het toekomstig Elektriciteitsnet: Smart Grids?

In het voorgaande is aangegeven dat er veranderingen in de energievoorziening worden verwacht, gedreven vanuit veranderingen in het aanbod van energie. Daar waar de huidige energie-infrastructuur zich kenmerkt door grootschalig centraal opgewekt aanbod van elektrische energie, zou de infrastructuur in de toekomst zich in toenemende mate kenmerken als kleinschalig duurzaam en decentraal opgewekt aanbod binnen intelligentere netten; netten die beter overweg kunnen met de voorspelde toenemende complexiteit van vraag en aanbod. Dit net van de toekomst wordt het smart grid genoemd.

Vooralsnog bestaat er geen algemeen gedragen definitie van smart grid. Om een beeld te geven van de nuanceverschillen volgen hieronder enkele definities.

TNO:

Smart grids zijn infrastructuren voor elektriciteit, gas en warmte, waaraan ICT-systemen zijn toegevoegd voor het meten van energiestromen met toepassingen voor het aansturen en regelen van consumptie en productie van energie. Ze verzamelen informatie die wordt gebracht naar plaatsen waar deze verder verwerkt kan worden, zodat communicatie mogelijk is met allerlei randapparatuur en toepassingen bij energiepartijen. (Huygen, 2009)

AgentschapNL:

Een 'smart grids' of 'intelligente net' is een overkoepelend concept waar verschillende innovatieve ontwikkelingen rond energie-infrastructuur in passen. Hoewel er ook bij gas- en warmtenetten sprake is van toevoeging van intelligentie, wordt vooral gedoeld op elektriciteitsnetten omdat de ICT-invloed daar het meest ingrijpend is. Dit omvat zowel technologische innovaties als innovaties in de waardeketen. Vooral ICT-ontwikkelingen fungeren hierbij als 'enabler'. (...) Er ontstaan meer mogelijkheden tot informatie-uitwisseling waardoor energiestromen beter kunnen worden gecontroleerd, gestuurd en beheerd. Kernelement binnen het begrip 'intelligent net' is het ontstaan van tweewegdistributie tussen energiegebruikers onderling én met producenten, waardoor er meer keuzemogelijkheden ontstaan voor gebruikers van de energie-infrastructuur. (EZ, 2010)

The Smart Grid European Technology Platform:

Een smart grid is elektriciteitsnet die in staat is om het gedrag en alle activiteiten van actoren die eraan verbonden zijn – producenten, consumenten en actoren die beide doen – te voorspellen en op intelligente wijze hierop te anticiperen, opdat op efficiënte manier betrouwbare, kostenoptimale en duurzame elektriciteit en aanverwante services worden geleverd. (ETP, 2011)

De drie bovengenoemde definities van smart grids vertonen veel overlap, maar ook zijn er enkele wezenlijke verschillen uit op te maken. De definitie van TNO omvat gas- en warmte-infrastructuren als onderdeel van smart grids. De Taskforce intelligente netten legt de nadruk op elektriciteitsinfrastructuur omdat daar de invloed van ICT het meest ingrijpend is. Ook uit de definitie van Smart Grid ETP blijkt dat het om het elektriciteitsnet gaat en de elektrische toepassingen die eraan verbonden zijn. Wat verder opvalt aan de definitie van Smart Grid ETP is dat een smart grid voorspellend vermogen heeft om in te spelen op het gedrag van alle elektrische toepassingen die er aan verbonden zijn, zowel elektriciteitsgebruikers als -leveranciers. Omdat wij ons in deze studie beperken tot elektrische energie, beperken wij de in deze studie gehanteerde definitie van 'smart grids' tot overeenstemmende kaders. De in dit rapport gehanteerde definitie van 'smart grid' is daarmee de laatst genoemde definitie van Smart Grid ETP.

In onderstaande tabel is voor diverse aspecten een vergelijking gegeven tussen het huidige en het toekomstige elektriciteitsnet (smart grid). Samenvattend, en als antwoord op deelvraag 2.1.b, kan worden gesteld dat de ontwikkeling naar smart grids een ontwikkeling betreft van gecentraliseerde hiërarchie naar een zelfsturend netwerk.

Tabel 1: Vergelijking tussen huidig netwerk en smart grid (gebaseerd op EZ, 2010; ETP, 2011, EnergyGov, 2011)

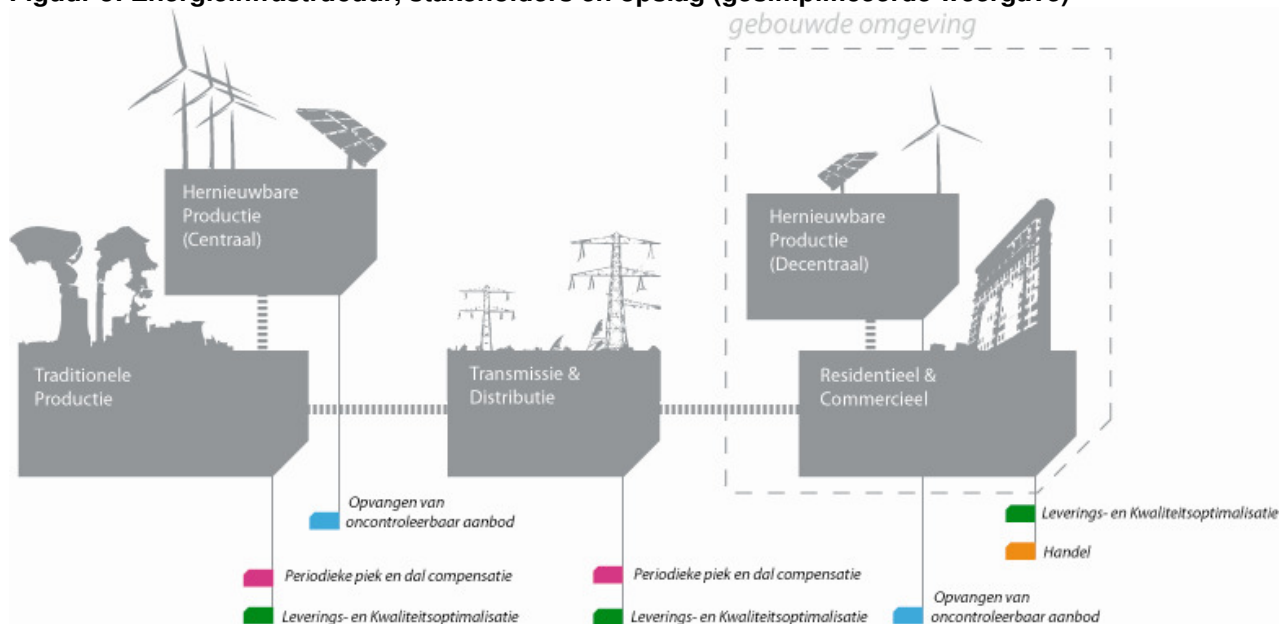
Aspect	Huidig netwerk	Smart grid in Nederland
Gebruikers	De gebruikers zijn niet geïnformeerd en participeren niet	De gebruikers zijn geïnformeerd, betrokken en actief; besparing door 'slimheid' (met privacy). Gebruikers spelen een rol in het optimaliseren van het systeem.
Productie	Vooral centraal opgestelde productiemiddelen	Naast centrale productiemiddelen allerlei decentrale productiemiddelen; verbruik kan gekoppeld worden aan soort productiemiddel. Gebruikers hebben meer mogelijkheden een keuze van aanbod.

<i>Aspect</i>	<i>Huidig netwerk</i>	<i>Smart grid in Nederland</i>
Opslag	Nauwelijks of geen decentrale opslagmogelijkheden	Beschikbaarheid van opslagmiddelen die in de markt participeren.
Duurzame energie	Inpassing (decentrale) duurzame energie beperkt mogelijk en soms moeizaam	Gestandaardiseerde plug-in voor duurzame productie, gestuurd door elektronica en IT.
Slimme technologie	Op decentraal niveau betrekkelijk weinig uitnutting van slimme technologie	Het net is niet alleen op centraal niveau, maar ook op decentraal niveau tot in de haarvaten voorzien van slimme technologie om de elektriciteitsvraag van o.a. consumentenelektronica te optimaliseren.
Milieu-impact	Milieu-impact weinig inzichtelijk	De gebruikers zijn geïnformeerd en optimaliseren op de 'kleur' van hun energieverbruik (duurzaam, kern etc.). Hiermee wordt meer inzicht verschaft in de milieu-impact van het gehele elektriciteitsproductiesysteem.
Marktwerving	Vooraf producenten en industriële grootverbruikers actief in de markt	Grote (prijzafhankelijke) vraagrespons op basis van nieuwe diensten en innovatieve applicaties.
Kwaliteit	Focus op leveringsonderbrekingen	Dynamische interactie tussen prijs en kwaliteit met snelle respons op kwaliteitsissues.
Systeembeheer	Beperkte integratie van asset management, bedrijfsvoering en operationele data	Real-time systeem informatie beschikbaar voor bedrijfsvoering, waarbij preventie centraal staat. Hierbij wordt gebruik gemaakt van technologie om energieverbruikers optimaal te laten functioneren.
Betrouwbaarheid	Systeembeveiliging richt zich op het voorkomen van schade bij componenten	Systeembeveiliging reageert automatisch zodanig dat de levering gewaarborgd blijft (self-healing).
Rampen	Systeem gevoelig voor (natuur) rampen en terroristische aanvallen	Systeem is relatief ongevoelig voor rampen ('dispersed' en met efficiënte herstelmechanismen) maar mogelijk gevoelig voor 'cyber attacks'.

2.1.3 Redenen voor opslag van elektrische energie

Er zijn diverse redenen om het elektriciteitsnetwerk te optimaliseren door middel van opslag. De volgende toepassingen zijn te definiëren (EAC, 2011; Pike Research, 2011) en geven antwoord op deelvraag 2.1.c. Onderstaande figuur geeft een gesimplificeerd beeld van de energie-infrastructuur en de stakeholders in relatie tot redenen voor energieopslag.

Figuur 3: Energieinfrastructuur, stakeholders en opslag (gesimplificeerde weergave)



1. Periodieke piek en dal compensatie (load leveling/peak shifting; figuur 3 roze)

Voor traditionele en hernieuwbare productie ter plaatse van Transmissie & Distributie, Centrale productie en Decentrale productie gaat het om het laden van het opslagmedium tijdens dalperioden en het ontladen van het medium tijdens piekperioden. Een kostenefficiënte basislast kan nu continu draaien en pieken kunnen worden opgevangen met elektriciteit die is opgeslagen wanneer de vraag onder de basislast is. Deze toepassing is van belang voor energieproducerende partijen.

2. Leverings- en Kwaliteitsoptimalisatie (figuur 3 groen)

Ter plaatse van Productie en Transmissie & Distributie gaat het om de aanwezigheid van 'Black start' voorraad; een voorraad energie om de centrale te herstarten wanneer deze stil is komen te liggen en energie van een nabijgelegen centrale niet voorhanden is. Ter plaatse van de eindgebruiker kan opslag dienen als stroomkwaliteitsoptimalisatie om uitval op te vangen (compensatie van schommelingen).

3. Opvangen van oncontroleerbaar aanbod (peak shaving) (figuur 3 blauw)

Ter plaatse van centrale productie kan energie worden opgeslagen op het moment dat er overschot is (bijvoorbeeld 's nachts bij wind) om de energie vervolgens te consumeren op het moment dat er een tekort is (bijvoorbeeld overdag en windstil). Grootschalige opslag wordt hier reeds voor ingezet. Zo kan eventuele overcapaciteit op het Nederlandse hoogspanningsnet opgevangen door elektriciteitstransport naar Noorwegen met de NorNed-kabel. In Noorwegen bestaat de mogelijkheid stuwmeren vol te pompen (zie ook pumped hydro paragraaf 2.2.2).

Ter plaatse van eindgebruiker / decentrale producent gaat het ook om opslag van energie op momenten dat er overschot is (bijvoorbeeld 's middags bij residentieel fotovoltaïsche zonnepanelen) omdat ofwel de energie anders verloren zou gaan ofwel omdat het lokale net te zwaar belast wordt. Decentrale productie kan leiden tot overbelasting van het net als het net daarop niet is berekend (Yahoo News, 2011).

Vanuit technisch perspectief kan lokale opslag van energie hierbij uitkomst bieden. Zoals beschreven in paragraaf 2.1.1 en weergegeven in figuur 1 en 2 is dit in Nederland doorgaans niet een beweegreden.

4. Handel (figuur 3, oranje)

Handel van energie wordt al lange tijd gedaan. Nieuw is dat consumenten die elektriciteit gaan produceren ook aan deze handel kunnen deelnemen. Met een opslagmedium beschikt de consument over meer controle over de eigen vraag en het aanbod op de markt. Zo kan de consument met een opslagmedium laden wanneer de elektriciteitsprijzen laag zijn en ontladen wanneer de prijzen hoog zijn. Dit kan het geval zijn wanneer:

1. energie van het net door een partij goedkoop wordt ingekocht, opgeslagen en verkocht wanneer de prijs hoog is;
2. door de consument geproduceerde energie wordt opgeslagen wanneer de prijs laag is en verkocht wanneer deze hoog is.

2.1.4 Beleid en trends van invloed op decentrale energieproductie en -opslag

In de gebouwde omgeving vindt met betrekking tot energie een zeer relevante ontwikkeling plaats: bij ontwerp van gebouwen wordt steeds meer en beter rekening gehouden met het energievraagstuk. Steeds vaker worden gebouwen ontworpen met een ambitie om energie-neutraal te zijn. Dit wil zeggen dat het gebouw tijdens de gebruiksfase netto evenveel energie gebruikt als dat het produceert. In deze paragraaf komt aan de orde of er beleid en trends identificeerbaar zijn die van invloed zijn op de toepassing van opslag van elektrische energie.

Beleid

Europese en nationale doelstellingen

De Europese Unie neemt de strijd tegen klimaatverandering zeer serieus en spant zich zowel op Europees als internationaal niveau in om klimaatverandering tegen te gaan. De volgende drie doelstellingen voor 2020 (ten opzichte van 1990) zijn maart 2007 overeengekomen:

- 20% vermindering van de uitstoot van broeikasgassen;
- 20% minder energieverbruik;
- 20% van het totale energiegebruik moet afkomstig zijn uit hernieuwbare energie, zoals wind- en zonne-energie.

Voor dit laatste punt zijn juridisch bindende doelen afgesproken voor iedere lidstaat en indien er overeenstemming komt over een wereldwijd klimaatverdrag zal de EU haar doelstelling verhogen naar 30% uitstootvermindering van CO₂ in 2020.

Voor Nederland geldt dat het aandeel energie gewonnen uit hernieuwbare energiebronnen omhoog moet naar 14% in 2020. In 2005 bedroeg dit aandeel in Nederland 2,5 % en in 2008 was dat slechts 3,4 % (Europa, 2011).

Roadmap

Op 8 maart 2011 adopteerde de Europese Commissie de *Roadmap for Moving to a Competitive Low Carbon Economy in 2050* waarin is opgenomen dat wordt gestreefd naar 80% tot 95% reductie van broeikasgasemissies in 2050 ten opzichte van 1990 (EC,

2011). Duurzame centrale en decentrale energieopwekking levert een belangrijke bijdrage aan het halen van de doelstelling van 80%. Zowel vanuit de EU als nationaal is er weinig voorkeur voor grootschalige centrale dan wel kleinschalige decentrale opwekking (Nieuwenhout, 2011).

Richtlijn 2003/96/EG

Op 29 april 2004 heeft de Europese Raad een voorstel aangenomen die stimulans biedt voor duurzaam opgewekte elektriciteit. Lidstaten kunnen onder fiscaal toezicht gehele of gedeeltelijke belastingvrijstellingen of -verlagingen toepassen op elektriciteit:

- afkomstig van zon, wind, golven, getijden of aardwarmte;
- afkomstig van waterkracht, die wordt opgewekt in waterkrachtcentrales;
- opgewekt uit biomassa of uit van biomassa afkomstige producten;
- opgewekt uit methaan dat vrijkomt in verlaten kolenmijnen;
- opgewekt uit brandstofcellen. (EU, 2003)

Richtlijn 2010/31/EG

In het kader van energie en reductie van CO₂ worden ook ontwikkelingen van decentrale energieproductie met betrekking tot gebouwen gestimuleerd vanuit de EU, zoals aangegeven in artikel 9 van de EU Directive on Energy Performance of Buildings. Hierin staat dat alle nieuwe gebouwen vanaf einde 2020 'nearly zero-energy buildings' dienen te zijn. Richtlijnen voor huidige gebouwen zijn minder vergaand, maar streven nog altijd de hoogst mogelijke netto energie-efficiëntie na. [EU, 2010]

EPC

Nieuwe gebouwen moeten aan bepaalde eisen voldoen op het gebied van energiezuinigheid. Dit wordt uitgedrukt in de energieprestatiecoëfficiënt (EPC). Hoe lager de EPC, hoe zuiniger het gebouw. Ook toepassing van technologie voor opwekking van duurzame elektriciteit verhoogt de EPC van een gebouw.

Subsidies

Vooralsnog is hernieuwbare energie in veel gevallen duurder dan conventionele stroom (Tennet, 2010). Echter, overheden creëren via subsidies een financiële stimulans voor particulieren opdat zij bijdragen aan de doelstellingen voor een duurzame energievoorziening en reductie van broeikasgassen.

Salderen

De prijs voor olie en andere uitputtende energiebronnen zullen op den duur stijgen, terwijl prijzen voor energie uit hernieuwbare bronnen zullen dalen. Op termijn kan (decentraal) hernieuwbaar opgewekte elektriciteit daarmee goedkoper worden dan conventionele energie. Op decentraal niveau, waar behalve de energiekosten ook de transportkosten en belastingen doortellen, kan door het salderen met eigen verbruik het break-even punt (net-pariteit) al eerder bereikt worden dan op de wholesale electriciteitsmarkt. Bij salderen koopt een (centrale) energieleverancier energie van de consument. De prijs van energie is niet gelijk aan de prijs die de consument betaalt voor haar energie; hier zitten immers transportkosten, servicekosten en belastingen bij. Dit verschil wordt vandaag de dag in veel gevallen weggewerkt met de salderingsregeling. Hierbij wordt door de leverancier alleen het positieve saldo van de het eigenverbruik minus de teruggeleverde stroom in rekening gebracht (tot een wettelijk bepaald maximum van 5000 kWh). Het electriciteitsnet werkt zo als een virtuele opslagcapaciteit

voor de consument. Deze regeling is bedoeld om decentrale, duurzame energieopwekking te stimuleren. De regeling houdt in dat (tot 5000kWh) de prijs voor in- en verkoop van energie voor de consument gelijk wordt gesteld. Op korte termijn zal deze regeling worden uitgebreid door ook Verenigingen van Eigenaars gezamenlijk hiervan te laten profiteren. Op langere termijn kan deze regeling, als stimuleringsregeling geleidelijk verdwijnen met het matuur worden van decentrale opwekking (Bijlage 4, Congresverslag 2011).

SDE

Nederland heeft zich uitgesproken de markt voor duurzame energie in het algemeen (SDE, 2011) te stimuleren met behulp van de SDE(+)-regeling. Deze regeling richt zich primair op de implementatie van bestaande technieken. De invoer van de subsidie op zonnepanelen in 2008 (onder de SDE) heeft de aanschaf van particuliere PV-systemen gestimuleerd. Met ingang van 2011 is de SDE-subsidie op particuliere zonnepanelen echter geschrapt.

Proeftuinen

Er konden tot september 2011 subsidies worden aangevraagd in het kader van 'Proeftuinen voor Intelligente Netten' waarvoor het ministerie van Economie, Landbouw en Visserij 16 miljoen euro beschikbaar stelde (Agentschap, 2011).

Trends

Centrale energieproductie

In de periode 2010 tot en met 2016 wordt ruim 20 GWth aan grootschalige centrale energieproductiemiddelen geïnstalleerd (TenneT, 2009). Deze voorziene capaciteit bestaat voornamelijk uit kolen- en gasgestookte productie. Verder wordt er naast het huidige geïnstalleerde windvermogen (off- en on-shore) van 2,3 GW_{el} in de nabije toekomst (tot 2020) in het meest gunstige scenario nog circa 6 GW_{el} geïnstalleerd (Windenergie, 2011).

Technologie voor elektriciteitsproductie en -vraag op laag schaalniveau

Zowel voor de aanbod van elektriciteit als de vraag zijn er enkele relevante technologieontwikkelingen/trends gaande in de gebouwde omgeving die in de toekomst van grote invloed kunnen zijn in de gebouwde omgeving. Aan de productiekant moet worden gedacht aan toepassing/verdere ontwikkeling van fotovoltaïsche PV systemen, micro-WKK en kleinschalige windenergie in de gebouwde omgeving. Aan de vraagkant moet worden gedacht aan warmtepompen, elektrisch rijden en meer behoefte aan koeling (Planbureau, 2009).

Bewegingen ten gunste van opslag

Er zijn veel bewegingen gaande die behoefte aan opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving kunnen stimuleren, zoals:

- *Multifunctioneel grondgebruik*: vanwege een stijgende bevolkingsdichtheid en stijgende grondprijzen is meervoudig ruimtegebruik door middel van inpassing van duurzame energietechnologie zoals PV een welkome ontwikkeling;
- *Elektrificering*: door een verwachte toename van elektrisch transport neemt de elektrificering toe. Hoewel er voor opslag van elektrische energie nog obstakels moeten worden overwonnen, is het potentieel voor opslag van elektrische energie zeer groot;

- *Schaalverkleining*: productie van elektriciteit kan zo kleinschalig als men wil en wordt juridisch houdbaar. Hiermee ontstaat een beweging van gecentraliseerde hiërarchie naar een zelfsturend netwerk waarbij de huidige consument een grotere rol speelt;
- *Slim delen*: Ontwikkeling van technologie maakt het delen van informatie beter mogelijk. (Hoekstra, 2011)

De trends wijzen in de richting van meer zelforganisatie wat gevolgen heeft voor de wijze waarop de energiemarkt momenteel georganiseerd is. Vanuit de transitiegedachte (Rotmans, 2004) is de verwachting dat vanuit nichemarkten vernieuwing plaatsvindt, door opschaling vanuit niches ontstaan regimes die op hun beurt onderdeel vormen van technologische en culturele trends binnen een transitie naar een duurzame energie voorziening.

Al met al vereist grootschalige toepassing van duurzame energie in de gebouwde omgeving meer flexibiliteit en opslag biedt deze flexibiliteit (Slootweg, 2011).

Marktaandeel energieopslag

De verwachting is dat wereldwijde marktwaarde van energieopslag van \$1.5 miljard in 2010 naar \$21 miljard in 2020 stijgt (Pike Research, 2011). Pike Research bedeeft iedere toepassing een zeker marktpercentage toe:

- Opvangen oncontroleerbaar aanbod (hernieuwbare bronnen, voornamelijk wind) 50%;
- Periodieke Piek/Dal compensatie 31%;
- Handel (arbitrage) 12%;
- Leveringszekerheid/stroomkwaliteit (incl Transmissie en Distributie Upgrade) 7%.

2.1.5 Antwoord deelvraag 1

In hoeverre is er nu en in de toekomst behoefte aan opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving?

De behoefte aan opslag van elektrische (duurzame) energie in de gebouwde omgeving is vandaag de dag vrij laag. In de toekomst zal opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving voornamelijk kunnen ontstaan vanuit de behoefte van de decentrale producent om beter te kunnen handelen. Zo kan de consument / decentrale producent met een opslagmedium laden wanneer de elektriciteitsprijzen laag zijn en ontladen wanneer de prijzen hoog zijn. Piek dal compensatie, levering- en kwaliteitsoptimalisatie en peak shaving zijn op de schaal van de gebouwde omgeving van ondergeschikt belang. Verder mag worden verwacht dat beleid op Europees en nationaal niveau bijdraagt aan meer ontwikkeling en toepassing van decentraal opgewekte elektriciteit wat vervolgens een belangrijke drijver kan zijn voor opslagmedia in de gebouwde omgeving. Ook zullen trends als multifunctioneel grondgebruik, elektrificering, schaalverkleining en de neiging naar slim te delen decentrale elektriciteitsproductie stimuleren en daarmee de mogelijke ontwikkeling en implementatie van opslag van elektrische energie kunnen versnellen. Echter, tegenover deze ontwikkelingen in het voordeel van de toepassing van opslag op kleinere schaal staat dat de kosten van het realiseren van grootschalige flexibiliteit relatief laag zijn.

2.2 Deelvraag 2

Welke methoden voor opslag van elektrische energie zijn denkbaar op gebouw- en wijkniveau?

Om een antwoord te geven op deelvraag 2 wordt hieronder ingegaan op de volgende subvragen:

- a. *Welke selectiecriteria moeten worden gehanteerd voor opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving?*
- b. *Welke opslagmethoden zijn denkbaar?*
- c. *Welke opslagmethoden zijn het meest geschikt voor de gebouwde omgeving?*

2.2.1 Selectiecriteria

Niet elke methode voor opslag van elektrische energie is geschikt voor toepassing in de gebouwde omgeving. Toepassingen voor opslag van elektrische energie laten zich typeren volgens de volgende technische eigenschappen die in dit onderzoek als uitsluitingscriterium zijn gehanteerd voor toepassing in de gebouwde omgeving:

- Vermogen (W) in relatie tot woning, kantoor, wijk;
- Ontladingstijd bij gegeven vermogen in reële toepassing (s);
- Responstijd (s);
- Energiecapaciteit (kWh) in relatie tot woning, kantoor, wijk.

Met betrekking tot onze onderzoeksvraag, toepassing van opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving, vormen deze technische eigenschappen criteria op basis waarvan opslagmethoden op gebouw- en wijkniveau worden geselecteerd.

Vermogen: Er is slechts een beperkt vermogen nodig. Er hoeft immers 'slechts' een woning, gebouwcomplex of wijk te worden voorzien van elektriciteit. Een gemiddelde wijk van 500 huishoudens wordt geraamd op een vraag van maximaal 1MW (uitgaande van een gelijktijdig verbruik van 2 kW per huishouden). Decentraal opgewekte stroom is in productie eveneens beperkt. Ter indicatie: een kant-en-klaar zonnepanelenpakket voor een enkel huishouden is maximaal 2,66 kW (MetDeZon, 2011). Het vermogen van het opslagmedium wordt daarom geraamd in de range tot 1 MW.

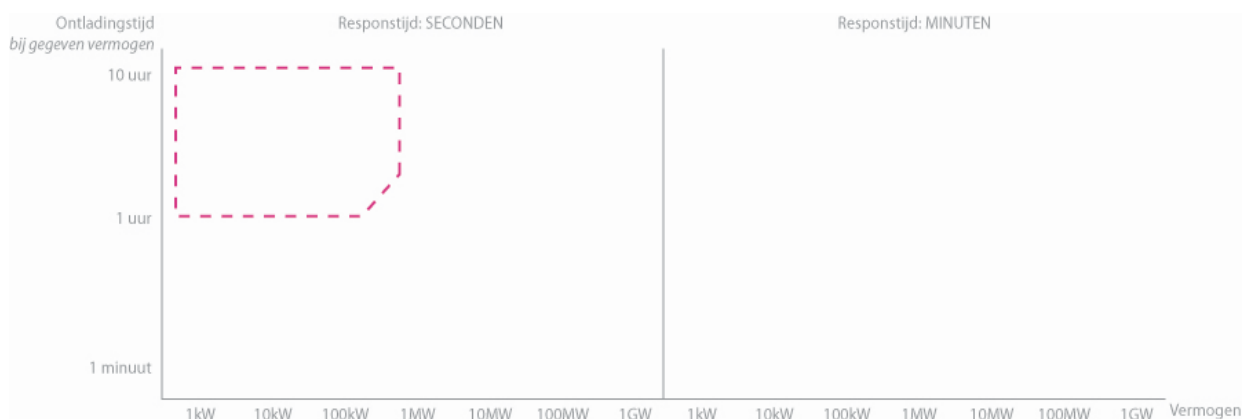
Ontladingstijd: De ontladingstijd betreft de tijd die een opslagsysteem nodig heeft voor volledige op- of ontleding. Gezien de drijvers voor opslag in de gebouwde omgeving (van handel tot leveringsoptimalisatie, van dag- nachtcompensatie tot seizoenscyclusoverbrugging) is een op- en ontladingstijd van enkele uren een geschikt profiel. Voor het overbruggen van de seizoenscyclus is een langere ontladingstijd acceptabel.

Responstijd: De responstijd betreft de tijd waarin het systeem kan reageren op (verandering van) vraag en aanbod. Consumentengedrag wordt gekenmerkt door directe aanspraak op elektriciteit van het opslagmedium en veroorzaakt daarom een responstijd van maximaal enkele seconden. Daarnaast wordt er door duurzaam opgewekte energie door bijvoorbeeld zonnepanelen veel fluctuatie in het aanbod van

energie geboden. Om deze energie op te slaan, dient het opslag systeem direct te kunnen reageren en is een responstijd van enkele seconden vereist.

Energiecapaciteit: De capaciteit van het systeem is in principe al gedefinieerd door de hierboven beschreven ontladingstijd en het vermogen. Omdat de capaciteit een gevoelsmatig goede maat biedt, wordt deze als aparte eigenschap vermeld. Het vermogen van het opslagmedium is geraamd op 1 MW. Met een ontladingstijd van enkele uren (2 tot 5 uur) komt de capaciteit in de orde van enkele MegaWatturen (2 tot 5 MWh). Ter indicatie: een gemiddeld huishouden verbruikt 3480 kWh/jaar (NIBUD, 2012). Dit is grofweg 10 kWh/dag/huishouden en 5 MWh voor 500 huishoudens. Het kantoor van Royal Haskoning aan de George Hintzenweg te Rotterdam verbruikte in 2010 gemiddeld 3,5 MWh/dag.

De onderstaande figuur geeft de specificaties voor opslagmedia weer. Binnen het roze veld vallen de opslagmedia die aan de criteria voor opslag in de gebouwde omgeving voldoen.



Duurzaamheid

Naast de technische criteria is het van belang om het thema duurzaamheid operationeel te maken, te toetsen of op zijn minst te benoemen. Duurzaamheid wordt veelal gedefinieerd als het in balans brengen van People, Planet en Profit (PPP), of zoals in het Cradle to Cradle principe als een balans tussen Economy, Ecology en Equity (Braungart, 2008). Opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving maakt het, zo is de verwachting, beter mogelijk de energievoorziening te verduurzamen. Echter, wanneer voor een bepaald opslagmedium materiaal wordt toegepast dat schaars voor handen is, zal het op termijn uitputten en niet bijdragen aan algehele duurzaamheid terwijl het eventueel wel de toepassing van decentraal opgewekte duurzame energie faciliteert. Ook als we duurzaamheid van een opslagmedium individueel (dus niet ingepast in de gehele duurzame energievoorziening) beschouwen kunnen er tegenstrijdigheden zijn zoals de mogelijke lange levensduur van een opslag systeem ten opzichte van toepassing van toxische materialen. Al met al is duurzaamheid in het algemeen, en zeker ook in het kader van dit onderzoek, een lastig vraagstuk. In dit

onderzoek worden een aantal duurzaamheidsaspecten impliciet meegenomen. Naast de genoemde technische eigenschappen zijn voor de diverse opslagmethoden meerdere eigenschappen aan de orde gekomen, zoals:

- Kosten
- efficiëntie
- levensduur
- stadium van ontwikkeling
- toxiciteit
- veiligheid
- ecosysteem
- beschikbaarheid materiaal

De eerder genoemde technische criteria zijn zoals genoemd als uitsluitscriterium gehanteerd voor de selectie van toepassing in de gebouwde omgeving. De hierboven genoemde criteria zijn beschouwd om een bijdrage te leveren aan inzicht in de haalbaarheid van opslag in de gebouwde omgeving.

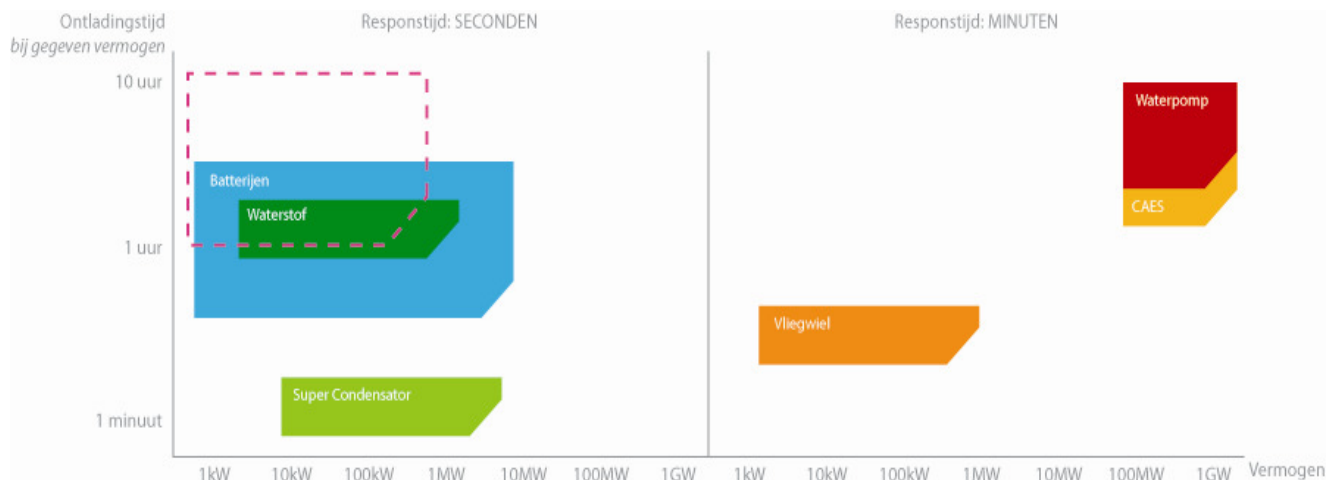
2.2.2 Inventarisatie opslagmethoden

In bijlage 1 is de inventarisatie van de opslagmethoden opgenomen. Tevens is, waar mogelijk, voor de genoemde selectiecriteria een waardeoordeel gegeven. Om een beeld te geven van de opslagmethoden voor elektrische energie op verschillende schaalniveaus zijn voornamelijk de meest doorontwikkelde opslagmethoden behandeld. Niet al deze methoden zijn in dezelfde mate geschikt voor toepassing in de gebouwde omgeving en zijn derhalve op hoofdlijnen behandeld. De inventarisatie is, wanneer een specifieke literatuurverwijzing niet is opgenomen, gebaseerd op [Cole S, 2006] en [Baxter, 2007]. In de hierop volgende paragraaf 2.2.3 zijn de meest kansrijke opslagmethoden voor de gebouwde omgeving uitgelicht. Dit is gebaseerd op de informatie opgenomen in bijlage 1.

2.2.3 Selectie opslagmethoden gebouwde omgeving

Zoals genoemd zijn er verschillende technische selectiecriteria voor het bepalen van een geschikt systeem voor een gebouw(encomplex) of wijk. Het gewenste vermogen dient binnen de range te liggen van kW tot MW met een op- en ontladingstijd van enkele uren (waarmee een energiecapaciteit in de orde van megawatturen wordt vastgesteld). De responstijd dient maximaal enkele seconden te zijn. De gebruiker is immers tot op heden gewend direct respons te krijgen op een vraag naar elektriciteit. Uiteraard zijn ook de overige aspecten zoals genoemd in paragraaf 2.2.1 van belang en in sommige gevallen zelfs doorslaggevend.

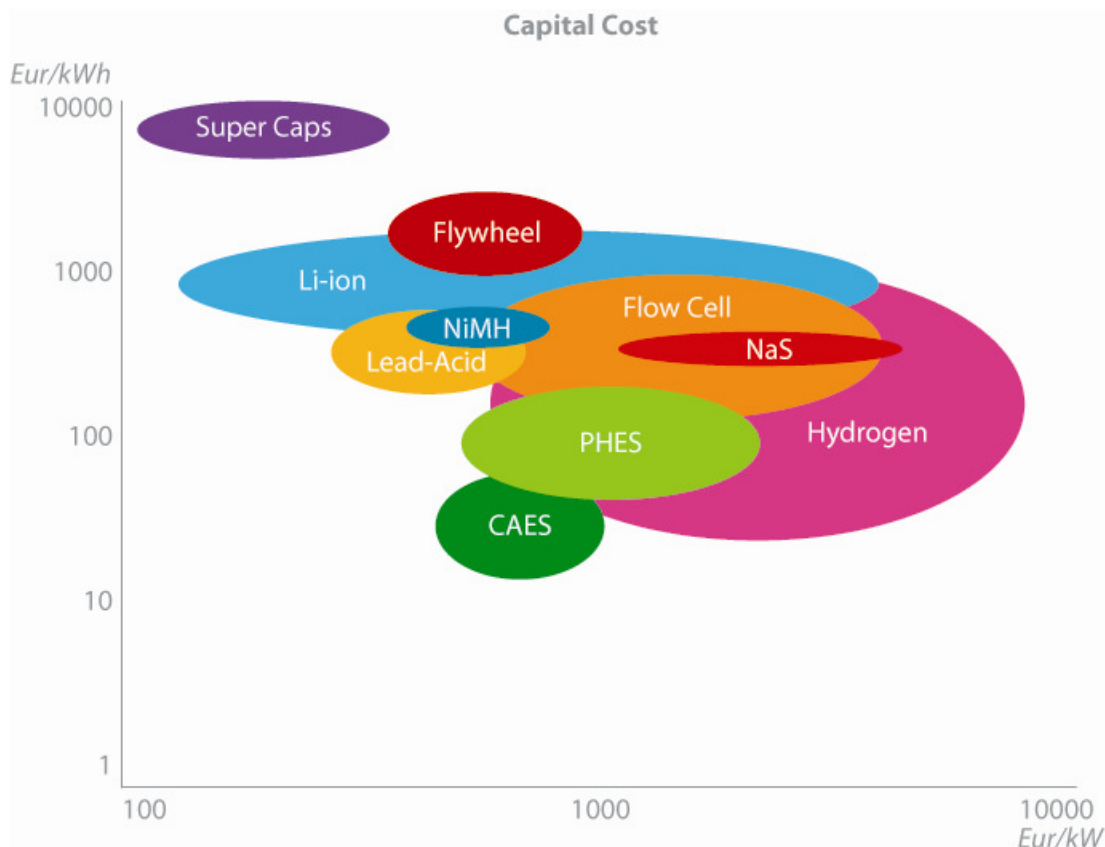
In onderstaande figuur is een overzicht gegeven van de opslagmethoden in relatie tot de ontladingstijd, het vermogen en de responstijd. Tevens geeft het rode kader waarbinnen de opslagmethoden volgens de technische selectiecriteria moeten vallen.



Figuur 4: Opslagmethoden in relatie tot de ontlastingstijd en vermogen

De opslagmethoden zijn in eerste instantie getoetst aan de genoemde technische selectiecriteria. Als gekeken wordt naar de responstijd van de genoemde systemen, vallen het vliegwiel, CAES en pumped Hydro af voor het beschouwde schaalniveau. Tevens kan voor CAES en pumped Hydro geconcludeerd worden dat specifieke lokale geologische eigenschappen benodigd zijn voor de opslag van energie.

Er is ook gekeken naar de kosten van het systeem (zie onderstaande figuur). Hierin dient onderscheid gemaakt te worden in de kosten voor vermogen (€/kW) en de kosten voor opslagcapaciteit (€/kWh). Verschillende energieopslagsystemen met verschillende karakteristieken geven voor deze eigenschappen verschillende kostenplaatjes. Zoals uit de figuur is op te maken, is er geen systeem dat zowel het goedkoopst is in termen van vermogen als in termen van opslagcapaciteit. Het vermogen en de opslagcapaciteit zijn beiden van belang voor een energieopslagsysteem, waardoor vanuit economisch oogpunt de super/ultracondensator afvalt.



Figuur 5: kosten van opslag van elektrische energie (voornamelijk gebaseerd op [Wagemaker, 2011])

De twee systemen die overblijven en in aanmerking komen voor implementatie op gebouw- of wijkniveau zijn batterijen en waterstof. Batterijen en waterstof worden hieronder nader beschouwd.

Batterijen

Met een goede energiedichtheid en omzettingsefficiëntie is een lithium batterij een geschikte opslagmethode. De levensduur van de huidige generatie Li-ion batterijen is acceptabel en met betrekking tot de toxiciteit, veiligheid en het beschikbare materiaal is de batterij haalbaar. (Wagemaker, 2011) Volgens Wagemaker is de beschikbare hoeveelheid *eenvoudig* te winnen lithium voldoende voor productie van drie keer het huidige wereldwagenpark. Bij deze redenering worden politieke aspecten (m.b.t. locatie van winning), ontwikkeling van andere markten voor lithiumvraag en de hoeveelheid moeilijker te winnen lithium buiten beschouwing gelaten.

Door de relatief lage opslagcapaciteit per uitgegeven euro is de batterij echter economisch gezien ongeschikt voor opslag van grote hoeveelheden energie (grote schaal, >100 MW geïnstalleerd vermogen). Wél kan de batterij gebruikt worden op gebouwniveau voor bijvoorbeeld het opvangen van korte cycli, zoals de dag/nachtcyclus (Mulder, 2011). Tevens is de batterij uitermate geschikt voor het opvangen van variaties in het net, waardoor het gehele energienet efficiënter wordt. Dit houdt in dat er minder

verliezen optreden doordat het aanbod groter is dan de vraag en de overtollige energie in plaats van verloren gaat, wordt opgeslagen.

Daarnaast dient opgemerkt te worden dat er op het gebied van batterijen nog zeer veel onderzoek wordt gedaan en dat er nog grote ontwikkelingen worden verwacht in de toekomst (Wagemaker 2011). De markt van lithium batterijen breidt zich in hoog tempo uit door de opkomst van elektrische en hybride auto's en er wordt gewerkt aan nieuwe batterijtypes zoals lithium-zwavel en lithium-lucht met verbeterde eigenschappen.

Geconcludeerd kan worden dat op de korte termijn op het beschouwde schaalniveau gebruik gemaakt kan worden door lithium-ion batterijen voor het overbruggen van de korte cycli. Op langere termijn worden respectievelijk lithium-zwavel en lithium-lucht batterijen verwacht, waarvoor wellicht grotere toepassingsmogelijkheden zijn weggelegd. Grootschalige toepassing batterijen vereist echter wel een (verdere) kostendaling (Slootweg, 2011).

Waterstof

Met een zeer hoge energiedichtheid is waterstof een geschikte opslagmethode voor energie. Echter, op kleine schaal is een volledig op waterstof gebaseerd opslagsysteem duur en inefficiënt. Dit wordt veroorzaakt doordat bij elke stap in de opslagcyclus (productie van waterstof uit water, opslag van waterstof en omzetting naar elektriciteit in een brandstofcel) er energieverliezen optreden. Hoewel omzetting van water naar waterstof, opslag van waterstof en omzetting naar water in een brandstofcel technisch mogelijk is, is het vanuit kostenooptpunt niet efficiënt. Bovendien zijn er voor elke component in de opslagcyclus meerdere opties mogelijk die allen specifieke eigenschappen hebben met de nodige voor- en nadelen. Door deze grote hoeveelheid mogelijke systemen voor opslag van elektrische energie met waterstof is het complex om in het kader van dit onderzoek het beste algemeen toe te passen systeem voor gebouw- of wijk-schaal te selecteren.

Op het vlak van energieopslag met waterstof vindt nog veel onderzoek plaats. Met name op het gebied van brandstofcellen en opslagmethodes van waterstof is nog veel winst (met betrekking tot de efficiëntie) te behalen.

Gesteld kan worden dat opslag met behulp van waterstof met name op grotere schaal toekomstperspectief biedt. (Mulder, 2011) Hierbij moet worden gedacht aan inpassing in meer industriële complexen en buitengebieden. De waterstof kan dan centraal worden opgeslagen in de vorm van ammoniak. Deze opslag via ammoniak is energetisch gezien een efficiëntere methode dan opslag via water¹. Hierdoor is het systeem ook economisch gezien interessanter. Echter, op gebouw- en wijkniveau is deze vorm van opslag door middel van waterstof ongeschikt vanwege het toxisch karakter van ammoniak. (Mulder, 2011)

¹ De vormingsenergie voor ammoniak (NH_3) is lager dan de vormingsenergie van water (H_2O) uit de elementen. De vorming van ammoniak, $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{NH}_3$, heeft een vormingsenergie $\Delta H = -31$ kJ per mol H_2 (Chemguide, 2011) tegenover een vormingsenergie ΔH voor water, $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$, van -286 kJ per mol H_2 (Hyperphysics, 2011). De reactie voor de vorming en ontbinding van ammoniak verloopt onder standaard omstandigheden (kamertemperatuur en standaard druk) makkelijker dan de soortgelijke reactie voor vorming en ontbinding van water.

2.2.4 Antwoord deelvraag 2

Welke methoden voor opslag van elektrische energie zijn denkbaar op gebouw- en wijkniveau?

Beschouwd vanuit de technische selectiecriteria vermogen, ontladingstijd, responstijd en energiec capaciteit zijn batterijen en waterstof de opslagmethoden die het meest in aanmerking komen. Waterstof brengt vanwege de uitgebreide opslagcyclus nadelen met zich mee is op laag schaalniveau complex. Het systeem dat op de kortere termijn het meest in aanmerking komt voor opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving is dan ook de batterij. Een batterij heeft een goede energiedichtheid (opgeslagen energie per kilogram en opgeslagen energie per volume) en efficiëntie (weinig verlies bij de laad- en ontladingscyclus). Door de hoge kosten voor de opslagcapaciteit (€/kWh) is een grote opslagcapaciteit economisch gezien nog niet realiseerbaar. Hiermee is een batterijsysteem geschikt voor het overbruggen van de dag/nachtcyclus, maar niet voor de seizoenscyclus. Tevens kan een batterij systeem gebruikt worden voor het efficiënt gebruiken van energie (bufferen tussen vraag en aanbod). Tot slot dient opgemerkt te worden dat er op het gebied van batterijen nog zeer veel ontwikkeling plaatsvindt. Met name van de lithium-zwavel en lithium-lucht batterij wordt in de toekomst veel verwacht.

2.3 Deelvraag 3

In hoeverre bestaat er een remmend dan wel faciliterend verband tussen de toepassing van smart grids en de toepassing van opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving?

In een ideale situatie is er geen opslag van elektrische energie benodigd op het net of in de gebouwde omgeving. In de ideale situatie komt de energieproductie in hoeveelheid en tijd exact overeen met de energieafname in hoeveelheid en tijd. Deze ideale situatie is echter een theoretische en kunnen we beschouwen als onmogelijke werkelijkheid. Zowel bij conventionele als bij hernieuwbare energieproductie blijkt het afstemmen van vraag en aanbod niet zo gemakkelijk. Zoals aangegeven in hoofdstuk 1 kunnen buffering en toepassing van smart grids hiervoor een oplossing zijn. Dit hoofdstuk geeft een beeld van de relatie tussen energieopslag en smart grids in termen van tegenstrijdigheid en afhankelijkheid, of remming en facilitatie. In de volgende paragrafen komen smart grids als *rivaal* van de ontwikkeling en toepassing van elektrische energieopslag, en smart grids als *voorwaarde* voor elektrische energieopslag aan de orde.

2.3.1 Smart grids als rivaal van opslag van elektrische energie

Meting en communicatie

Het smart grid gaat uit van zeer exacte meting van de vraag, exacter dan deze nu is. Hiermee maakt een smart grid een meer exacte sturing van aanbod mogelijk. Directe communicatie tussen centraal en decentrale producenten en afnemers zou het mogelijk moeten maken voor elke energieproducent, centraal of decentraal, real time een afnemer voor zijn energie te vinden. De verbeterde voorspelbaarheid van vraag naar elektriciteit en de verbeterde communicatie zorgen ervoor dat er te allen tijde voldoende afnemers zijn waarmee overproductie tot een minimum wordt beperkt. Hiermee vermindert de behoefte aan opslag.

Vraagsturing

In het huidige energienet is energieaanbod afgesteld op de energievraag: als er vraag is gaan de centrales produceren. Veel conventionele energiecentrales zijn echter weinig flexibel en dus niet goed aan te passen op schommelingen in de vraag. Voor hernieuwbare energie uit zon en wind is sturing van het aanbod nagenoeg uitgesloten; de enige optie is het stellen van een maximum aan de capaciteit. In de context van smart grids wordt daarom gedacht aan het sturen van de vraag in tegenstelling tot het sturen van het aanbod. Hierbij wordt gedacht aan het aangeven van een tijdspanne waarbinnen een bepaalde hoeveelheid energie wordt gevraagd om vervolgens het smart grid te laten bepalen welke tijdstippen binnen de aangegeven tijdspanne het beste zijn voor energieafname. Een voorbeeld hiervan zijn koelinstallaties die 's nachts 'overkoelen' wanneer er een aanbodoverschot is en energieprijzen laag zijn. Overdag is dan minder koeling vereist: alle benodigde energie is in kortere tijd in de nacht opgenomen.

Andere vormen van vraagsturing zijn bijvoorbeeld real-time sturing of demand-response. Dit kan op basis van de actuele stroomprijs als prikkel of op basis van afspraken met de stroomleverancier. Een afnemer krijgt een betere stroomprijs als hij op verzoek in periodes van onbalans het verbruik vermindert; dat kan automatisch gebeuren voor sommige apparaten (elektrische boilers, (vaat)wasmachines, airconditioners wasdroger, diepvriezer voor een korte periode etc -) (ECN 2003).

Sturing van de vraag verbetert de afstembaarheid van vraag en aanbod, reduceert hiermee de kans op over- of onderproductie en vermindert daarmee de behoefte aan opslag.

Infrastructuur: 'De hele wereld' is verbonden

Het smart grid gaat uit van een sterk verbeterde infrastructuur: een grid waar aan iedere aanbieder en afnemer verbonden is. In relatie tot hernieuwbare energie is de gedachte dat 'overal wel ergens de wind waait', 'overal wel ergens de zon schijnt' en 'overal wel ergens vraag is'. Zou een stevige wind in Duitsland tot overproductie leiden, dan is het in Spanje misschien windstil en is er juist een grote vraag. Een verbeterende infrastructuur maakt het in dit voorbeeld voor de Spanjaarden overbodig om een buffer aan te leggen.

ECN geeft aan dat Europa hier reeds op aanstuurt. Voorbeelden zijn de kabelverbindingen van Nederland met België en Duitsland, maar vooral ook overzee met UK en recenter Noorwegen. (Nieuwenhout, 2011) In het kader van dit onderzoek is echter ook de kleinere schaal van belang. Het gaat dan over het verbinden van de hele wijk of het gehele kantorencomplex. Het midden- en laagspanningsnet heeft voorlopig voldoende capaciteit om eventuele verhoogde decentrale levering op te vangen (Bijlage 4, Congresverslag).

2.3.2 Smart grids als voorwaarde voor opslag van elektrische energie

Meting en communicatie

Opslag vindt zijn nut in het huidige net, en ook in een net waar steeds meer hernieuwbare energie op wordt aangesloten. Het nut van energieopslag komt echter pas goed tot zijn recht wanneer de afweging levering of afname van opslagmedium versus levering of afname van het net *direct* en op *ieder moment* gemaakt kan worden, en dus niet voor langere tijd vast staat en op voorspellingen is gebaseerd. De afweging zal gemaakt worden op basis van prijs van elektriciteit en belasting van het net, en zal daarmee vooral af gaan op meting van vraag en aanbod. Door de afweging van verkeer met het net of met opslag direct en op ieder moment mogelijk te maken, scheppen de voorspelde verbeterde meting en communicatie die gepaard gaan met het smart grid een gunstig klimaat voor de marktintroductie van opslagmedia.

Infrastructuur: gedeelde lasten

In een situatie bij een conventioneel net zal een opslagmedium aan een productiefaciliteit gekoppeld zijn. De kosten voor opslag zijn in dit geval relatief hoog, ze worden immers maar door één producent gedragen. Binnen het smart grid concept is het mogelijk dat het opslagmedium niet slechts aan één productiefaciliteit maar aan meerdere tegelijk is gekoppeld. Dit komt doordat decentraal opgewekte energie aan het

net geleverd kan worden en op deze manier elektriciteit uit bijvoorbeeld een hele wijk wordt opgeslagen in een centraal opslagmedium. Het smart grid drukt zo dus de kosten voor opslag en versneld de introductie ervan.

2.3.3 Maturiteit van Smart Grids en Opslagmedia

Het huidige net in Europa verkeert in goede staat: het heeft een grote marge op de capaciteit en kent een zekere redundantie (Bijlage 4, Congresverslag). Dit laatste wil zeggen dat een deel van het net als back-up aanwezig is. Wanneer met decentrale opwekking wordt gewerkt zal de redundantie toenemen omdat energie vanuit verschillende punten via verschillende wegen kan worden verkregen. Kortom, er ligt reeds een netwerk dat voorbereid lijkt te zijn op een evolutie richting een smart grid. Het huidige net kent al vormen van vraagsturing. Denk aan dag- en nachttarieven: mensen worden hierdoor gestimuleerd 's nachts energie af te nemen, wanneer er overproductie is. Met metingen en communicatie worden eerste experimenten gedaan (ECN, 2011). Het smart grid lijkt zijn eerste stappen dus reeds te hebben gemaakt. ECN geeft aan hierin verder te willen gaan door te focussen op het versterken van de infrastructuur en versoepelen van de markt op Europees niveau (Nieuwenhout, 2011).

Grootschalige opslagmedia als grootschalige waterkrachtcentrales en perslucht zijn reeds tientallen jaren oud (Baxter, 2006) en zouden we volwassen kunnen noemen. Opslagmedia voor gebruik op gebouw- en wijkniveau staan echter nog in de kinderschoenen. Als aan opslag wordt gedacht is het daarom aannemelijk dat eerst aan beproefde, en bovendien veel goedkopere, methoden als opslag op grote schaal wordt gedacht (waterkracht, perslucht) dan aan opslag op kleinere schaal. ECN geeft aan dat zij decentrale opslag als de laatste optie zien om het grid te verbeteren (Nieuwenhout, 2011).

Kosten

Duurzaamheid en leveringszekerheid zijn belangrijke drijvers voor de ontwikkeling van duurzame energievoorziening, waar hernieuwbare energie en smart grids deel van uit maken. Een zeer belangrijk aspect zijn uiteraard ook de kosten. Deze zullen naast andere aspecten doorslaggevend zijn in een verdergaande evolutie naar duurzame energievoorziening. In de vraag of opslagmedia van de grond zullen komen zit dan ook altijd de component van kostenvergelijking met alternatieven om onbalans te voorkomen. Dit kan zitten in bijvoorbeeld het afstemmen van energieproductie, transport of opslag in een medium. Deze vraag geldt overigens niet alleen voor de centrale producent, maar ook voor de decentrale producent. De decentrale producent moet doorgaans andere kostenoverwegingen maken alvorens over te gaan op levering of opslag.

Op grote schaal zijn kosten als baten van zowel smart grids in het algemeen als opslag in het bijzonder lastig te berekenen (Slootweg, 2011). Er is daarom gekozen om voor decentrale opwekking in de gebouwde omgeving inzichtelijk te maken wat de kosten zijn van opslag in relatie tot tarieven van stroom van het net en van teruglevering. Meer over kosten is opgenomen aan het einde van deelvraag 4.

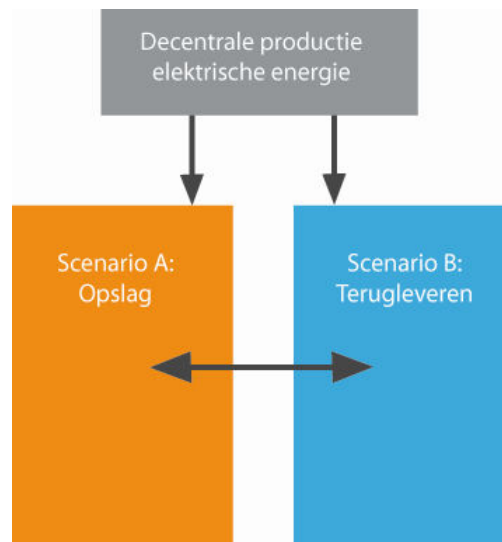
2.3.4 Antwoord deelvraag 3

In hoeverre bestaat er een remmend danwel faciliterend verband tussen de toepassing van smart grids en de toepassing van opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving?

Onbalans in de lokale opwekking en lokaal verbruik in het smart grid kan worden opgevangen door lokale oplossingen (opslag, vraagsturing) of aan hogere netlagen worden overgelaten. Het aggregeren op een hoger niveau van onbalans kan het totale onbalansrisico verminderen. Hiervoor moeten dan wel kosten (transport, regelvermogen) worden gemaakt.

Smart grids maken die lokale balancering met behulp van lokale opslag technisch mogelijk en kunnen dus een stimulans zijn. Aan de andere kant kan het smart grid juist ook door de koppeling met hogere netlagen de balancering op een hoger niveau mogelijk maken. En vice versa eventuele onbalans op hogere netlagen terugleggen bij het lokale smart grid.

Gezien het stadium van ontwikkeling van het huidige net, de hoge bedrijfszekerheid ervan en de potentiële toegevoegde waarde van informatie- en communicatie technologie is het aannemelijk dat op korte termijn voornamelijk oplossingen in de hoek van verdere optimalisatie van het bestaande net naar een smart grids zullen plaatsvinden. Dit betekent niet dat opslag geen toepassing vindt. Wanneer opslag verder is ontwikkeld, is het een welkome uitbreiding van het smart grids concept waarbij daadwerkelijke toepassing voornamelijk afhangt van de kosteneffectiviteit van verschillende twee scenario's. De onderstaande figuur geeft dit weer.



Scenario A betreft een stijging van opslag en scenario B betreft een stijging van het terugleveren van stroom aan het net. Vanwege het stadium van ontwikkeling van smart grids, in deze de mogelijkheid tot terugleveren en de afwezigheid van opslag, is het aannemelijk dat op korte termijn scenario B zal ontplooiën. Op langere termijn kan scenario A zich daar naast ontwikkelen en kunnen beiden naast elkaar bestaan. Bij de beantwoording van deelvraag voor wordt hier dieper op ingegaan.

2.4 Deelvraag 4

Hoe ziet het speelveld van stakeholders van smart grids en opslag van elektrische energie er uit, en welke consequentie heeft dit voor de haalbaarheid van opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving?

De inzichten die zijn verschaft in de voorgaande paragrafen maken al deels duidelijk dat daadwerkelijke implementatie van het smart grid, al dan niet in combinatie met energieopslag, sterk afhankelijk is van een samenspel tussen verschillende stakeholders. Er moet dus inzichtelijk worden gemaakt welke stakeholders de meeste invloed uitoefenen op het mogelijk maken van de daadwerkelijke toepassing van smart grids en/of opslag van energie in de gebouwde omgeving. Om deelvraag 4 te kunnen beantwoorden komen de volgende subvragen aan de orde:

- a) Wie speelt welke rol?
- b) Wat is de kostenstructuur binnen het speelveld?
- c) Wat zijn mogelijke toekomstscenario's?

2.4.1 Stakeholders: wie speelt welke rol?

Centrale energieproducent

De rol van de energieproducent is om een gestelde hoeveelheid energie te leveren van een bepaalde kwaliteit. Mocht de centrale producent hier een opslagmedium voor in willen zetten dan is het diverse redenen (organisatorisch, operationeel, financieel) aannemelijk dat dit eveneens centraal plaatsvindt.

Wanneer de productie van energie centraal plaatsvindt, is het eveneens aannemelijk dat mogelijke opslag ook centraal plaatsvindt. De centrale energieproducent heeft een dubbele relatie met decentrale elektriciteitsproductie. Immers, decentrale producenten kunnen worden beschouwd als concurrenten maar ook als collegae van centrale producenten. Een centrale energieproducent kan business genereren door haar diensten uit te breiden naar kleinschaliger decentrale opwekking in de gebouwde omgeving. In dit scenario, wanneer een centrale producent verantwoordelijk is voor decentrale productie, is het mogelijk dat de centrale producent kiest voor decentrale opslag van elektrische energie. In Nederland is hier echter (nog) geen sprake van.

Netbeheerder

Smart grids zijn voor de netbeheerder in zoverre relevant dat de belasting op het net zal veranderen. Het net zou lokaal meer onder druk komen te staan door verhoogde decentrale productie. Met de in de toekomst verwachte stijging van de algehele belasting kan opslag een uitkomst bieden. Echter zowel het hoogspanningsnet als het midden- en laagspanningsnet zullen op de korte middellange termijn niet kampen met capaciteitsproblemen. Energieopslag gekoppeld aan het midden- en laagspanningsnet kan wel vanuit kosteneffectiviteit interessant zijn voor decentrale producenten. De netbeheerder kan hier een investerende, beherende en/of exploiterende rol in spelen (Slootweg, 2011).

Lokale) Overheid

Overheden hebben als taak een dusdanig klimaat te creëren dat optimale en duurzame energievoorziening kan ontstaan. De overheid heeft hierbij niet als taak om energie op te wekken, maar wel om de juiste voorwaarden te scheppen (RWS, 2011). Dat een overheid eigenaar wordt van opslagmedia in de gebouwde omgeving is niet aannemelijk, zoals het nu ook geen eigenaar is van het huidige net.² Wel kan een overheid opdracht geven tot uitvoering en onderhoud, en kan zij vanwege de monopolistische positie van de netbeheerder een zeker tarief (capaciteitstarief) vast stellen.

Echter, de rijksoverheid speelt een belangrijke rol bij het stimuleren van de ontwikkeling van smart grids, ook in relatie tot opslag. Zoals in paragraaf 2.1 is beschreven zijn er in het verleden subsidies verleend en zijn er plannen voor toekomstige subsidies ten behoeve van stimuleren van duurzame decentrale elektriciteitsproductie en ontwikkeling van smart grids.

Consument / decentrale energieproducent

De consument heeft vanuit zijn consumerende rol alleen de leveringszekerheid en kwaliteitsoptimalisatie als voordeel van opslag. Het huidige en ook toekomstige net lijkt met deze punten geen problemen te zullen hebben (Bijlage 4, Congresverslag). Een andere situatie ontstaat wanneer de consument niet enkel consumeert maar ook gaat produceren. En niet alleen voor zichzelf, maar aan 'het net' gaat leveren. Het fenomeen van het verrekenen van aan het net stroom met de stroomrekening wordt ook wel 'saldere' genoemd zoals behandeld in paragraaf 2.1. Vanuit de consument beschouwd zou bovendien de opkomst van de electric vehicle een overschot aan elektriciteit kunnen opvangen door opladen van het mobiele opslagmedium³. De status van het huidige net en de verwachte opkomst van de electric vehicle kan daarmee een eventuele behoefte aan stationaire opslagtoepassingen verminderen.

Wet- en regelgeving: Je eigen netwerk

Energieproducenten en -leveranciers wordt door de overheid een belasting in rekening gebracht. Een consument die voor eigen gebruik produceert valt niet binnen deze regeling. Wanneer deze echter aan 'de buurman' gaat leveren wordt de consument bestempeld als producent/leverancier en zal belasting moeten betalen. Dit maakt de levering aan de buurman aanzienlijk minder rendabel dan veel mensen in eerste instantie verwachten. Consumenten zijn in de praktijk daarom vaak beter uit om aan het net terug te leveren (saldere). Energieleveranciers zijn verplicht een "redelijke vergoeding" te betalen voor teruggeleverde energie (Elektriciteitswet, 1998). Er zijn initiatieven om deze regeling op te rekken, bijvoorbeeld in het geval van Vereniging van Eigenaren of bij energievoorzieningen in een straat (bijvoorbeeld zonnepanelen op het dak van een flat waar alle woningen gebruik van kunnen maken). Momenteel is het echter niet duidelijk hoe dit er in de nabije en verdere toekomst uit komt zien (Bijlage 4, Congresverslag). Bovendien zijn er geen duidelijke juridische kaders waarbinnen

² Wel heeft bijvoorbeeld de provincie Limburg zich bereid verklaard te participeren in de eerste fase van de ontwikkeling van een pompaccumulatiecentrale voor *grootschalige* opslag van energie. Het gaat om een investering van enkele miljoenen euro's (FD, 2011)

³ Toepassing van batterijen in de electric vehicle ontstaat vanuit de behoefte aan elektrisch transport en niet primair vanuit de behoefte om opslag van decentraal opgewekte elektriciteit.

levering door decentrale producenten van duurzame energie wordt gefaciliteerd (Bijlage 4, Congresverslag).

Energieleverancier/handelaar

De energiehandelaar zou aan opslag kunnen denken om speelruimte te krijgen op de markt: elektriciteit inkopen wanneer de prijzen laag zijn en verkopen wanneer de prijzen hoog zijn. Zij hebben een business model zonder investeringsrisico van een energiecentrale of opslagmedium; het is daarmee niet aannemelijk dat de energieleverancier uitbater van een opslagmedium wordt. De handelaar kan weliswaar geïnteresseerd zijn om energie op te slaan maar heeft niet direct belang bij het in beheer hebben van het opslagmedium.

Een aantal energieleveranciers is tevens energieproducent. Een voorbeeld hiervan is Greenchoice die als energieleverancier investeert in de decentrale productie met zonnepanelen (Greenchoice, 2011). Voor deze gecombineerde partijen aannemelijk dat zij interesse hebben in opslag.

Grootverbruikers

Grootverbruikers zouden geïnteresseerd kunnen zijn in opslag vanwege leveringszekerheid. Voor een aantal sectoren (ziekenhuizen, continue bedrijfsprocessen) kan stroomuitval desastreuze gevolgen hebben en vormt daarmee een groot risico. In veel gevallen hebben dergelijke organisaties een noodaggregaat. Op de situatie van grootverbruikers en opslag op dit schaalniveau wordt in dit onderzoek niet verder ingegaan. Dit verdient een aanbeveling voor vervolgonderzoek wanneer men opslag in een bredere context dan de gebouwde omgeving zou willen bekijken.

Investeerders, woningbouwcorporaties en projectontwikkelaars

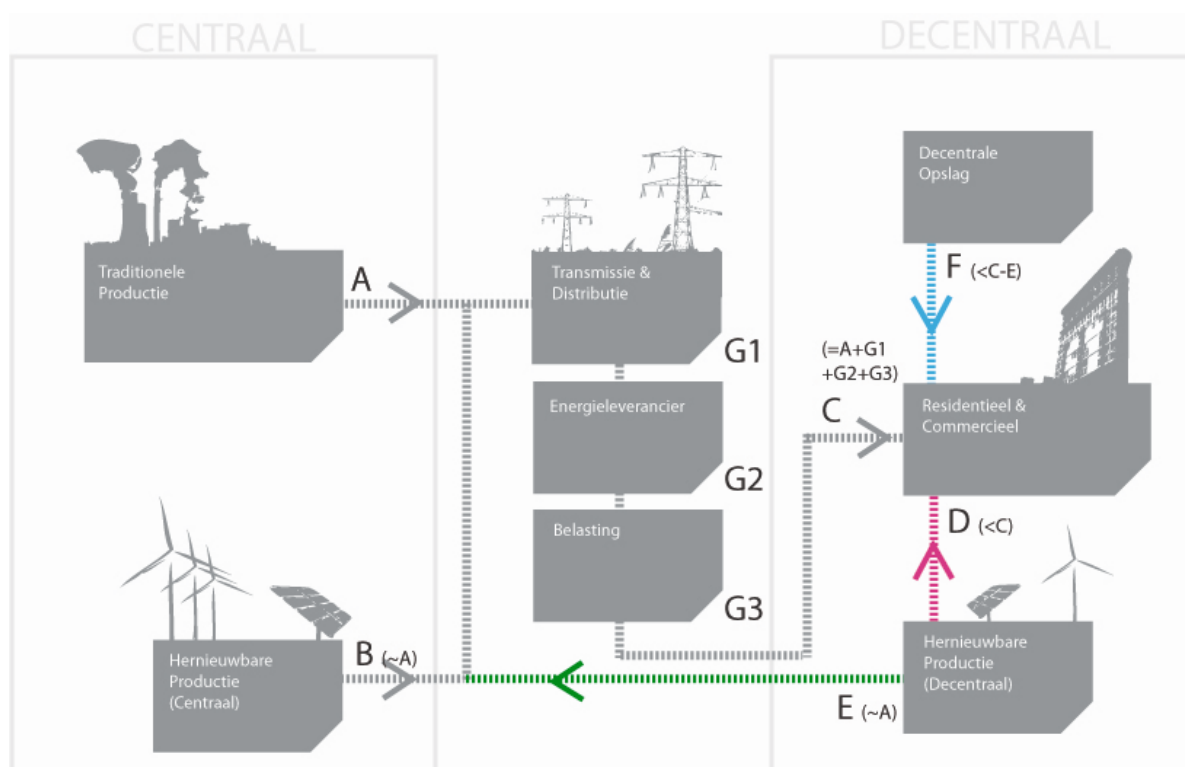
De incentive van een investeerder is een financiële; investeerders kiezen voor ondersteuning van smart grids danwel opslag op het moment dat ze vermoeden dat dit economisch rendabel is. Op grote schaal is opslag rendabel (denk aan stuwmeren en perslucht), maar op kleine schaal is daar (nog) geen sprake van. Evenzo geldt dit voor projectontwikkelaars, die hier zijn beschouwd als investeerder in de woningsector. Woningcorporaties kunnen als collectief kiezen om energieproductie te integreren in hun woningen en complexen in het kader van de energievoetafdruk van hun gebouwen, zoals besproken in H 2.1.4. De woningcorporatie wordt in dit geval energieproducent en zou vanuit dat oogpunt kunnen kiezen voor de verwerking van een systeem met opslag en dit weer verwerken in de huur van haar woningen. De woningbouwcorporatie wordt hiermee een energieproducent met de bijbehorende verantwoordelijkheden. Maar voor het plaatsen van energieproductie-eenheden en opslagmedia hoeft de woningbouwcorporatie geen eigenaar te zijn van de installaties. Een mogelijkheid is om een derde partij energieopwekking en eventuele de opslag uit te laten baten.

2.4.2 Kosten

Op grote schaal zijn de kosten als baten van zowel smart grids in het algemeen als opslag in het bijzonder lastig te berekenen (Slootweg, 2011). Om toch een beeld te geven van het kostenvraagstuk is in dit verkennende onderzoek de kostenstructuur van opslag in de gebouwde omgeving in relatie tot de tarieven voor stroom van het net en de tarieven voor teruglevering inzichtelijk gemaakt.

In onderstaande figuur zijn de verbanden weergegeven tussen stakeholders in een simpele toepassing van een consument / decentrale producent die over een opslagmedium beschikt en is aangesloten op het net (varianten op onderstaande figuur kunnen zijn: meerdere consumenten eigenaar van het opslag medium of een andere partij eigenaar van het opslagmedium. Hierin wordt meer inzicht verschaft in paragraaf 2.4.3).

Figuur 6; verband tussen stakeholders en kosten van opslag



In de linkerhelft van de figuur zijn de centrale activiteiten weergegeven – in de rechterhelft de decentrale activiteiten. De pijlen geven stromen van elektrische energie weer. De letters bij de pijlen staan voor de waarde die aan deze energiestroom wordt toegekend.

A, Kostprijs Traditionele Productie

De waarde van A wordt bepaald door de kosten plus marge van de energieproducent. In de praktijk komt dit neer op zo'n € 0.04.

B, Kostprijs Centrale Hernieuwbare Productie

Voor de waarde van B geldt eveneens de opbouw van kosten plus marge. Deze vorm van energieopwekking is renderend wanneer ze concurrerend is met traditionele productie, oftewel wanneer B gelijk is aan A. Andere motieven dan puur economische (zoals duurzaamheid) kunnen maken dat B toch een hogere waarde heeft dan A.

G1, G2, G3

De G-groep vertolkt de waarde van 'het net' en bestaat uit kosten en marge voor distributie en transmissie, handelskosten en belasting.

C, Consumententarief

Het consumententarief bestaat uit de kostprijs voor productie van energie (A of B), plus de kosten om de energie bij de consument te krijgen (G-groep). In formulevorm: $C = A + G1 + G2 + G3$.

D, Kosten Decentrale Hernieuwbare Productie

De consument installeert een productie unit in eerste instantie om voor zichzelf energie te produceren. Decentrale productie concurreert dus met Centrale productie, en zal alleen renderen als D kleiner is dan C. Andere motieven om decentrale energie te verkiezen boven centrale energie (zoals duurzaamheid) zijn hier buiten beschouwing gelaten.

E, Teruglevertarief

Zoals in het schema is weergegeven concurreert centraal opgewekte energie met decentraal opgewekte energie. Niet alleen in huishoudens, maar ook op de energiemarkt. Dit resulteert er in dat de prijs voor decentraal opgewekte energie in een vrije markt situatie gelijk moet zijn aan die van centraal opgewekte energie. Ofwel, $E = A$. In de huidige situatie wordt E kunstmatig hoog gehouden. Via de salderingsregeling wordt de consument voor teruglevering een tarief betaald gelijk aan de tarieven voor afname. In dit geval is E gelijk aan C.

F, Kosten voor Decentrale Opslag

F laat de waarde zien waarvoor de consument opslag in operatie zal nemen. Opslag concurreert met teruglevering in deze situatie. Omdat vanuit de consument gezien F een kostplaats is en E een opbrengst, geeft dit de formule $F < C - E$.

Subsidie in de vorm van salderen werkt de toepassing van opslag tegen. Immers, wanneer volledig gesaldeerd wordt is $C = E$, met als gevolg dat $F = 0$. Het opslagmedium zou dus gratis moeten zijn. Zolang duurzame energieproductie in de vorm van decentrale hernieuwbare productie via (volledige) saldering gesteund wordt is het economisch dus niet rendabel om elektrische energie op te slaan.

Illustratie kosten decentrale opslag

Energie op de Europese energiemarkt kost gemiddeld ongeveer 4ct/kWh, gelijk aan A. De maximale prijs die voor energie op de markt wordt betaald is ongeveer 7ct/kWh, gelijk aan B. Voor de consument worden bovenop de 4 of 7 ct kosten in rekening gebracht tot een totaal van rond de 23ct/kWh, stroom C. Energie uit decentrale opwekking dat zo de energiemarkt op gaat (stroom E) wordt verhandeld voor 'een redelijke prijs': gelijk aan ongeveer de maximum prijs voor energie op de markt, zo'n 7ct ($E = A$ tot B).

Wanneer niet wordt gesaldeerd geldt dus dat de kosten voor een kWh uit een opslagmedium $F < C - E$ ofwel $23 - 7 = 16$ ct mogen bedragen om rendabel te zijn. Wanneer de salderingsregeling wordt toegepast geldt dat $E = C = 23$ ct. F is dan $23 - 23 = 0$ ct, ofwel het medium moet kostenloos zijn om te renderen.

In de volgende paragraaf wordt ingegaan op enkele denkbare toekomstscenario's gebaseerd op deze kostenstructuur.

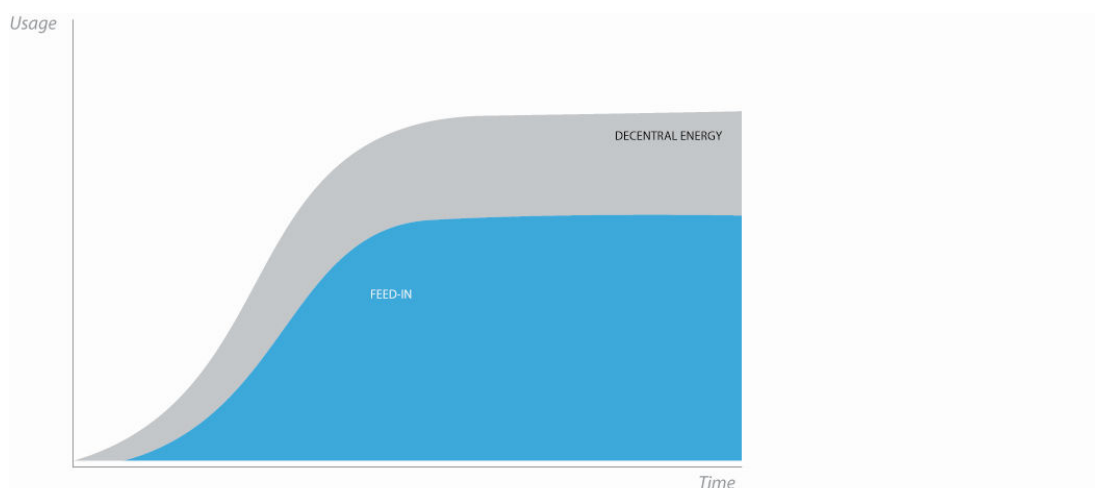
2.4.3 Scenario's voor decentrale opslag

Zoals in dit hoofdstuk is aangeduid spelen er diverse belangen in het beoogde speelveld. Hoe de toekomst er exact uit ziet daarom lastig te voorspellen. In deze paragraaf zijn een viertal scenario's gepresenteerd die de mogelijkheden beschouwd binnen de scope van dit onderzoek.

In onderstaande figuren zijn op schematische wijze de vier scenario's geschetst van de relatie tussen toepassing van decentrale stroomopwekking, teruglevering, individuele opslag en gedeelde opslag. Een constante factor hierin is de veronderstelde stijging van de toepassing van decentrale energie. Elk van deze scenario's geeft een reëel toekomstbeeld; in de beantwoording van de deelvraag wordt ingegaan op welk van deze scenario's wij het meest aannemelijk achten.

NB. Een vijfde scenario met betrekking tot mobiele opslag is vanwege de scope van het project buiten verdere beschouwing gelaten. In dit scenario, waarbij voornamelijk gedacht wordt aan elektrisch vervoer als mobiel opslagmedium, zal zowel gebruik van individueel opslag als teruglevering oplopen. In dit geval is teruglevering namelijk benodigd om te allen tijde aansluiting te vinden bij het mobiele medium. Kenmerkend voor dit scenario is bovendien dat de ontwikkeling van gebruik van het opslagmedium los staat van de ontwikkeling van toepassing van decentrale energie.

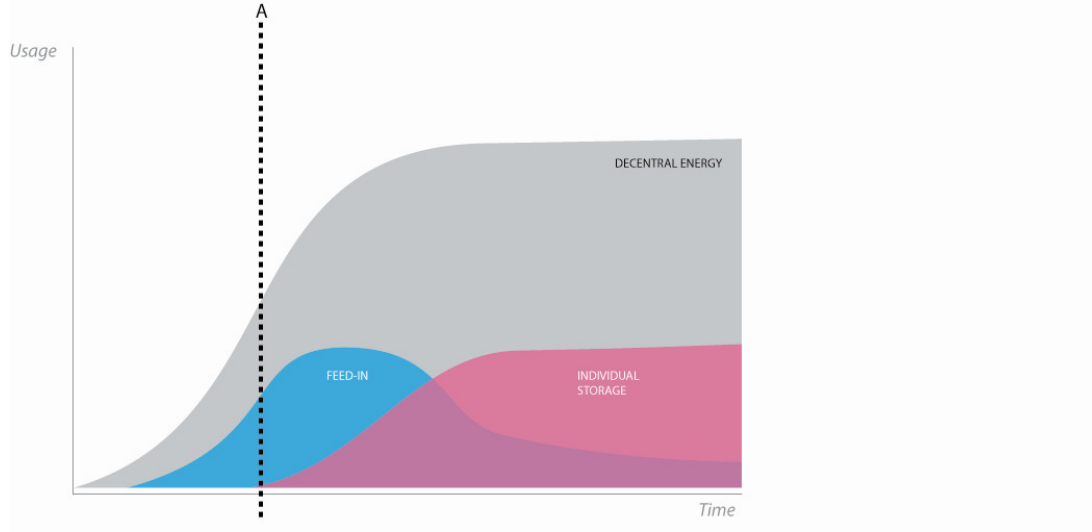
Figuur 7: Collectivisme



Toekomstbeeld 1: Collectivisme

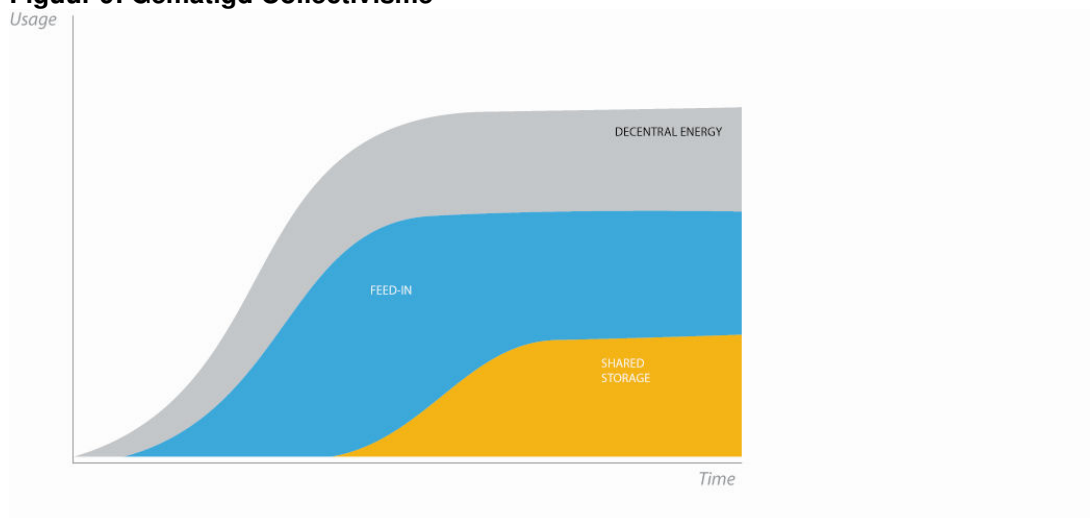
In de transitie naar het smart grid maken we geen gebruik van stationaire opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving; terugleveren aan het net is voor de decentrale producent het meest kostenefficiënt. De oorzaken hiervan liggen in een uitblijvende daling in de prijs voor opslagmedia, nieuwe kostenconstructies met betrekking tot (lokale) teruglevering, aanhoudende subsidiëring op teruglevering, een goede afstemming tussen vraag en aanbod en een combinatie van deze.

Figuur 8: Individualisme

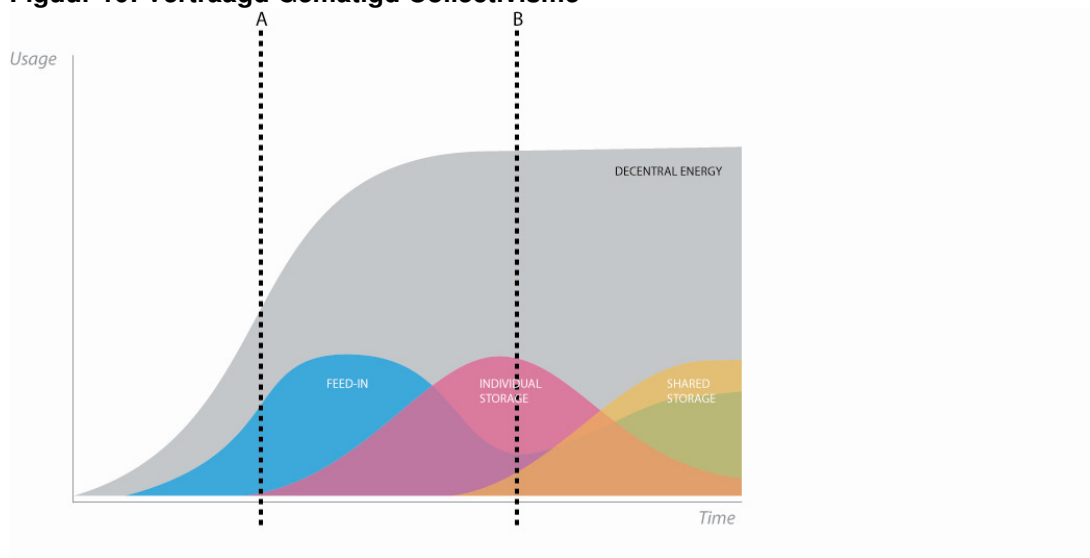


Toekomstbeeld 2: Individualisme

Dit scenario wordt gekenmerkt door moment A, aangegeven door de stippellijn in de figuur, waarop opslag van elektrische energie voor de consument even veel opbrengt als teruglevering ('grid parity'). Momenteel wordt de teruglevering van huishoudens bij normaal gebruik en productie gesubsidieerd zodanig dat het tarief voor in- en verkoop van elektriciteit voor de consument gelijk is. In deze situatie zouden de kosten voor een opslagmedium gelijk moeten zijn aan 0 om financieel rendabel te zijn. Deze regeling is een subsidie, bedoelt om startende technieken van de grond te krijgen. Het is daarmee de intentie van deze regeling dat bij het matuur worden van de techniek de subsidie vermindert of zelfs wordt opgeheven. Moment A geeft het punt weer waarop subsidiëring op teruglevering dusdanig is teruggelopen dat opslag voordeliger is voor de consument/decentrale producent. Individuele opslag leidt vanaf dit punt tot een stijging in gebruik en teruglevering zal vanaf dit punt minder stijgen tot afnemen. In een reëel eindscenario is het gebruik van individueel opslag gestabiliseerd, evenals de mate van teruglevering dat bij onbalans op individuele schaal (wanneer het opslagmedium is volgeladen en nog steeds overproductie plaatsvindt) nog altijd zal blijven bestaan. In dit scenario wordt opslag binnen de gebouwde omgeving op laag schaalniveau toegepast (woning of kantoor). Een eerste reden hiervoor is dat zo de hobbel van de tegenstrijdige belangen in het speelveld wordt omzeild door de geringe benodigde samenwerking. Een tweede reden is het voor de voor de consument economisch rendabel worden om opslagmedia in operatie te nemen.

Figuur 9: Gematigd Collectivisme

Toekomstbeeld 3: Gematigd Collectivisme

Om opslagmedia binnen een groter collectief (gebouwencomplex / wijk) toe te passen (wat schaalvoordelen biedt) hebben overheden het speelveld beïnvloedt door het elimineren van tegenstrijdige belangen en het scheppen van de voorwaarden voor betere samenwerking. We zien een scenario als bij het toekomstbeeld Collectivisme, waarin teruglevering voor de decentrale producent de beste optie is, met als uitbreiding de georganiseerde toepassing van gedeelde opslag op het niveau van gebouwencomplex of wijk.

Figuur 10: Vertraagd Gematigd Collectivisme

Toekomstbeeld 4: Vertraagd Gematigd Collectivisme

Een vierde scenario laat een overgangsfase zien van toekomstbeeld Individualisme naar Gematigd Collectivisme. Op moment A speelt dezelfde situatie als in het scenario bij Individualisme, het moment waarop opslag van elektrische energie voor de consument even veel opbrengt als teruglevering ('grid parity'). Ontwikkelingen op het gebied van opslag zetten door tot een punt waarop schaalvoordelen kunnen worden uitgenut. Dit punt wordt aangegeven door stippellijn B in de figuur. Evenals in het toekomstbeeld Gematigd Collectivisme hebben overheden het speelveld beïnvloedt

door het elimineren van tegenstrijdige belangen en het scheppen van de voorwaarden voor betere samenwerking, om zo gedeelde opslag renderend (kostenneutraal) te maken.

2.4.4 Antwoord deelvraag 4

Hoe ziet het speelveld van stakeholders van smart grids en opslag van elektrische energie er uit, en welke consequentie heeft dit voor de haalbaarheid van opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving?

Hoe ziet het speelveld eruit?

Er zijn veel stakeholders betrokken bij smart grids en opslag van energie. Ze hebben allen in meer of mindere mate belang bij de ontwikkeling van smart grids en eventuele opslag hierbinnen. Kenmerkend voor het speelveld is dat de behandelde stakeholders deels tegenstrijdige belangen en doelstellingen hebben. Zo is er van oudsher bijvoorbeeld de centrale producent die geen baat heeft bij decentrale productie, of de leverancier die wel baat heeft bij smart grids (meer handel) maar geen baat heeft bij decentrale opslag. Van een vruchtbare samenwerking en degelijke onderlinge uitlijning van de belangen en doelstellingen lijkt op dit moment geen sprake te zijn.

En welke consequentie heeft dit voor de haalbaarheid van opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving?

Het huidige net - en zeker met de verwachte aanpassingen in het kader van smart grids – behoeft geen decentrale opslag voor de energievoorziening in Nederland. Het is dan ook niet te verwachten dat dwingend beleid en wet- en regelgeving met betrekking tot opslag wordt gevoerd. Echter, een reden om toch voor opslag te kiezen kan een economische zijn. De kosteneffectiviteit voor de verschillende stakeholders is hierbij doorslaggevend. Als opslag doorgang vindt op decentraal niveau dan is het aannemelijk dat de eerste partij voor wie opslag renderend wordt de consument/decentrale producenten.

Het speelveld heeft als consequentie voor de haalbaarheid dat gedeelde (georganiseerde) opslag vooralsnog uit zal blijven. Meer in de lijn der verwachtingen ligt het dat één partij zelf begint. In het kader van de geschetste scenario's is het dus aannemelijk dat als opslag doorgang vindt, in eerste instantie het scenario Individualisme op de voorgrond treedt. Opslag heeft schaalvoordelen; wanneer het smart grid inclusief opslag verder optimaliseert, is het daarom te verwachten dat op den duur gedeelde opslag toepassing vindt. We voorzien daarom een scenario als in Vertraagd Gematigd Collectivisme.

3**CONCLUSIE*****In hoeverre is opslag van energie op gebouw- en wijkniveau op korte en langere termijn gewenst rekening houdend met oplossingen geboden door smart grids?***

De behoefte aan opslag van elektrische (duurzame) energie in de gebouwde omgeving is vandaag de dag vrij laag. Het huidige en toekomstige net in Nederland heeft vanuit technisch perspectief (capaciteit) geen decentrale opslag voor de energievoorziening. In de toekomst kan opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving echter wel ontstaan vanuit de behoefte van de decentrale producent om beter te kunnen handelen. Zo kan de consument / decentrale producent met een opslagmedium laden wanneer de elektriciteitsprijzen laag zijn en ontladen wanneer de prijzen hoog zijn.

Deze behoefte aan opslag kan ontstaan uit een toename van decentraal opgewekte elektriciteit. Verwacht wordt dat beleid op Europees en nationaal niveau bijdraagt aan meer ontwikkeling en toepassing van decentraal opgewekte elektriciteit, zo ook de geïdentificeerde trends als multifunctioneel grondgebruik (integratie van residentiële gebouwen en energieopwekking), elektrificering, schaalverkleining en de neiging naar slim te delen. Dit zijn stimuli die de mogelijke ontwikkeling en implementatie van opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving kunnen versnellen.

De opkomst van smart grids kan de hiervoor beschreven stimuli versterken, maar ook verzwakken. Gezien het stadium van ontwikkeling van het huidige net (hoge bedrijfszekerheid en belastbaarheid) en de potentiële toegevoegde waarde van informatie- en communicatie technologie is het aannemelijk dat op *korte termijn* voornamelijk ontwikkelingen in de hoek van optimalisatie van het bestaande net naar een smart grid zullen plaatsvinden. De behoefte aan opslag is daarbij niet urgent.

Het speelveld binnen de energiesector kenmerkt zich door deels tegenstrijdige belangen en doelstellingen van stakeholders. Van een vruchtbare samenwerking en degelijke onderlinge uitlijning van de belangen en doelstellingen lijkt op dit moment geen sprake te zijn. Het schaalniveau (woning of wijk) waarop behoefte is aan opslag is afhankelijk van de kostenstructuur en deze onderlinge uitlijning. Als decentrale opslag zijn toevlucht vindt op korte termijn is er daarom een reële kans dat dit op individuele schaal zal gebeuren. Al met al kan worden gesteld dat wanneer opslag verder is doorontwikkeld het een welkome extensie kan zijn van het net, ook wanneer dit in zekere mate tot smart grid is geëvolueerd.

En welke opslagmethoden zijn het meest haalbaar voor implementatie?

Beschouwd vanuit de technische selectiecriteria (vermogen, ontladingstijd, responstijd en energiec capaciteit) zijn batterijen en waterstof de opslagmethoden die het meest in aanmerking komen. Waterstof brengt vanwege de uitgebreide opslagcyclus nadelen met zich mee is op laag schaalniveau complex. Het systeem dat op de kortere termijn het meest in aanmerking komt voor opslag van elektrische energie in de gebouwde omgeving is daarom de batterij. Er zijn momenteel veel verschillende soorten batterijen. Gelet op de technische specificaties alsmede de verwachte ontwikkelingen vanuit de markt van mobiele opslag, ligt de toepassing van lithium-ion batterijen, met als toepassing het overbruggen van de korte cycli, het meest in de lijn der verwachtingen. Op langere termijn worden lithium-zwavel en lithium-lucht batterijen verwacht, waarvoor wellicht grotere toepassingsmogelijkheden zijn weggelegd. Grootschalige toepassing van batterijen vereist echter wel een (verdere) kostendaling.

4 DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

Smart grids, (duurzame) decentrale energieproductie en –opslag betreffen drie omvangrijke onderzoeksvelden. In dit verkennende onderzoek is een beeld gegeven van de relatie tussen deze drie. Ook is de behoefte en haalbaarheid van implementatie van energieopslag in de gebouwde omgeving belicht. We zijn op een aantal fronten genooddaakt geweest af te zien verbreding en verdieping. Het is dan ook van belang de bevindingen in perspectief te plaatsen. Hieronder zijn enkele aanbevelingen gedaan voor verdere verdieping en vervolgonderzoek. Hoewel de drie onderwerpen vanwege de grote verbondenheid niet als aparte onderzoeksvelden moeten worden beschouwd, is voor de leesbaarheid van dit hoofdstuk toch gekozen voor een onderverdeling naar decentrale opwekking, smart grids en energieopslag.

4.1 Decentrale Energieproductie

Ontwikkelingen grootschalig centraal versus kleinschalig decentraal

De transitie naar een duurzame energievoorziening is in beweging gezet, maar de wereld zal nog vele jaren gebruik maken van een energiemix van conventioneel en duurzaam. Hierbij worden de conventionele energieproductie steeds moderner, niet alleen het rendement, maar ook de flexibiliteit. Kolencentrales zijn slechts beperkt flexibel; ze zijn niet gebouwd voor een snel fluctuerende vraag. Bij gascentrales is het wel mogelijk deze in meerdere mate flexibel in te zetten. ECN geeft aan in te zetten op onderzoek naar het flexibiliseren van gascentrales (Bijlage 4, Congresverslag). In dit verkennende onderzoek is beleid benoemd en zijn trends geïdentificeerd die decentrale duurzame energieproductie in de gebouwde omgeving kunnen stimuleren. Hiermee is niet vastgesteld dat dit daadwerkelijk gaat gebeuren. In dit licht is het van belang de huidige sterke groei van modern centraal conventioneel (en in mindere mate duurzaam) aanbod van elektriciteit te vergelijken met de verwachte toekomstige groei van decentraal aanbod in Nederland. Deze ontwikkeling heeft ongetwijfeld invloed op de mate waarin decentrale duurzame opwekking plaatsvindt op de korte en langere termijn. Maar hoe groot is deze invloed?

Split incentives: snel handelen!

Er is duidelijk gemaakt dat het speelveld binnen de energiesector zich kenmerkt door tegenstrijdige belangen en doelstellingen van stakeholders. Van een vruchtbare samenwerking en degelijke onderlinge uitlijning van de belangen en doelstellingen lijkt op dit moment geen sprake te zijn wat de verdere marktintroductie van smart grids en opslag belemmert. In dit onderzoek is geconcludeerd is dat de overheid een faciliterende rol moet spelen in het uitlijnen van deze tegenstrijdige belangen. Er is echter niet in detail ingegaan op de bereidheid van de overheid hierin te faciliteren en hoe de overheid dit moet doen. Waar kan de overheid het beste het belastinggeld aan besteden? Welke juridische kaders moeten worden aangepast om decentrale productie en levering beter mogelijk te maken? Prijsprikkels en prijssturing zijn belangrijke mogelijkheden om stakeholders te stimuleren om potentiële flexibiliteit in te zetten. De Nederlandse Mededingingsautoriteit (NMa) moet hier een actieve rol in spelen door opwekking en vraag achter de meter beter mogelijk maken. Een aanpassing van de tarief- en verrekeningsstructuren is noodzakelijk waardoor “split incentives” worden

geëlimineerd. Kortom, hoe kunnen de belangen en doelstellingen binnen het beschreven speelveld daadwerkelijk worden uitgelijnd?

Systeemvarianten

Welk energiesysteem is gewenst in welke situatie? Er zijn veel elementen die een energiesysteem op gebouw- of wijkniveau kenmerken. Opwekking (PV, urban wind, elektrische auto's, warmtepompen, micro-wkk), opslagmethoden en wijktypen (demografische opbouw, type bouw, vraagpatronen) zijn elementen die hierbij een systeemvariant typeren. Het is daarom gewenst om (meerdere) eenduidige decentrale systemen voor elektriciteitsvoorziening te schetsen. Het werken met meerdere systeemvarianten kan hier inzicht bieden zoals gedaan in het een onderzoek door het Planbureau voor de leefomgeving (Planbureau, 2009).

4.2 Smart Grids

Learning by Interacting: wat is er gaande?

Ontwikkelingen op het vlak van energieopslag en smart grids kunnen snel gaan. Er worden in Nederland, Europa en wereldwijd (voornamelijk VS) veel activiteiten ontplooid op het vlak van smart grids en opslag. Verdere verdieping in deze activiteiten en ontsluiting van de opgedane kennis en ervaring (onderzoek, pilotprojecten etc.) is van belang om de transitie naar een smart grid te versnellen. Het is daarom gewenst beschikking te hebben over een gedegen overzicht van activiteiten. Bij het opstellen van een dergelijk overzicht kan een onderverdeling worden gemaakt naar activiteiten van universiteiten, instituten, bedrijven, adviesbureaus en overheden. Het verdient de aanbeveling deze activiteiten te rangschikken naar afstand tot marktintroductie (gaat het om fundamenteel onderzoek, pilotprojecten of concurrerende activiteiten). Het voert hier te ver om een uitgebreide lijst van actuele ontwikkelingen op te nemen. Hier volgt een zeer limitatieve opsomming:

- In de Verenigde Staten worden veel activiteiten ontplooid. Met name in de staat Florida zijn interessante ontwikkelingen gaande;
- Smart grids hebben op Europees niveau veel aandacht en is Framework Program 7 (FP7);
- Kema heeft in Europees verband in enkele lidstaten een aantal pilotprojecten uitgevoerd met verschillende opslagmethoden op kleine schaal;
- In Duitsland zijn de E-Energy projecten een interessant voorbeeld;
- In Nederland konden in 2011 subsidies worden aangevraagd in het kader van 'Proeftuinen voor Intelligente Netten' waarvoor het ministerie van Economie Landbouw & Innovatie 16 miljoen euro beschikbaar stelde.
- In het Groningse Hoogkerk is een proefopstelling gerealiseerd waarbij 25 huishoudens verbonden zijn (FD, 2011)

Vergelijkbare ontwikkeling

De ontwikkeling naar een smart grid is een ontwikkeling waarin technische, maar zeker ook sociaal-maatschappelijke en culturele aspecten een belangrijke rol spelen. Hoe organiseren we dat we energie op optimale wijze zowel centraal en decentraal opwekken (bij voorkeur duurzaam)? En hoe organiseren we dat we deze energie samen kunnen delen tegen redelijke prijzen? De parallel met de razendsnelle opkomst van

internet kan hierbij verhelderend zijn. Immers, van oudsher was publiekelijk toegankelijke informatie centraal opgeslagen (archieven, bibliotheken) en was het delen van informatie een tijdrovende bezigheid. Met de komst van het digitale tijdperk en internet beschikt de huidige mens over zowel individuele dataopslag als de infrastructuur om zonder veel inspanning data te delen. Huidige trends op dit vlak lijken te wijzen richting meer focus op infrastructuur en centrale opslag. De wijze waarop deze snelle opkomst van informatie delen (1990 in vergelijking tot 2011) is georganiseerd, leert ons wellicht hoe we het net dat we vandaag kennen, intelligenter kunnen maken.

Solidariteit

Een politiek argument tegen smart grids is het solidariteitsprincipe: iedereen betaalt voor de energielevering van iedereen. Door een smart grid (en met name micro grid) op te zetten sluit een groep zichzelf (vaak voor een gedeelte) af van het landelijk net, waardoor die groep minder belasting voor het net gaat betalen. Het gevolg is dat mensen die om wat voor reden ook niet in een smart-/micro grid kunnen/willen deelnemen meer belasting moeten betalen voor het landelijk net. Tegelijkertijd is het wenselijk, en zeker in de beginfase van het smart-/micro grid, dat het landelijk net wel voor handen is als het smart-/micro grid niet naar behoren werkt. Met dit argument moet rekening worden gehouden in het Nederlandse politieke klimaat.

4.3 Energieopslag

Electric Vehicle als mobiel opslagmedium

In dit onderzoek is kort ingegaan op de invloed van de mogelijke grootschalige marktintroductie van elektrisch vervoer op smart grids en opslag. Dit is een belangrijke ontwikkeling gezien de enorme potentie met betrekking tot het wegnemen van onbalans op de energiemarkt: het wagenpark in ogenschouw nemend kan elektrisch vervoer enerzijds een sterk verhoogde vraag van elektriciteit teweegbrengen en anderzijds veel flexibiliteit inbrengen in het elektriciteitsnet. Elke elektrische auto is door de aanwezige accu immers een potentieel opslagmedium. Beter inzicht in de mogelijke grootschalige introductie van elektrisch vervoer en mobiele opslagmedia helpt bij inzicht in hoeverre in de toekomst behoefte is aan stationaire decentrale opslag, en ook de auto als kleine energiecentrale.

De kosten van opslag

In dit verkennende onderzoek zijn de kosten van opslag tot op zekere hoogte inzichtelijk gemaakt. De extra kosten voor de opslag van de decentraal duurzaam opgewekte kWh is echter niet concreet gegeven. Uiteraard zijn deze extra kosten afhankelijk van de levensduur. Inzicht in deze kosten voor opslag en de samenhang met de prijsdaling van duurzame energietechnologie zoals zonnepanelen is gewenst om de economische rentabiliteit beter in kaart te brengen. Hiermee kan gericht prijsbeleid worden gevoerd door de overheid.

Het gedrag van 'early adopters'

In dit verkennende onderzoek is voornamelijk 'het grotere beeld' in kaart gebracht en niet zozeer 'een gedetailleerde probleemanalyse' gegeven. Hiermee is onderbelicht gebleven welke aspecten van invloed zijn bij de daadwerkelijke aanschaf van een

opslagsysteem. Immers, als een opslag systeem economisch rendabel is voor de gebruiker leidt dit niet per definitie tot aanschaf en toepassing ervan. Meer inzicht in de aspecten die adoptie beïnvloeden is dus van belang. Zo zijn naast kostenoverwegingen ook aspecten van belang die samenhangen met: relative advantage (waaronder prijs en duurzaamheidsbeleving), compatibility, complexity, trailability en observability (Rogers, 1995).

Grootverbruikers

Grootverbruikers zouden geïnteresseerd kunnen zijn in opslag vanwege leveringszekerheid. Voor een aantal sectoren (ziekenhuizen, continue bedrijfsprocessen) kan stroomuitval desastreuze gevolgen hebben en vormt daarmee een groot risico. In veel gevallen hebben dergelijke organisaties een noodaggregaat. Op de situatie van grootverbruikers en opslag op dit schaalniveau is in dit onderzoek niet ingegaan. Dit verdient een aanbeveling voor vervolgonderzoek naar opslag in een bredere context, namelijk vanuit noodstroom behoefte. Systemen met waterstof komen hierbij naar verwachting nadrukkelijker in beeld.

Duurzaamheid van opslagmedia

De ontwikkeling van energieopslag in relatie tot smart grids vindt de oorsprong onder andere in de behoefte de energievoorziening te verduurzamen. Per opslagmedium is beknopt de impact op duurzaamheid in termen van verschillende criteria (waaronder materiaalschaarste, toxiciteit, veiligheid en levensduur) belicht. Nader onderzoek naar de duurzaamheid van deze opslagmedia geeft inzicht in de mate waarin de eventuele toepassing van opslagmedia gewenst zijn. Herbruikbaarheid van materiaal en Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen zijn hierbij ook van belang.

5 AANBEVELINGEN VOOR TVVL

Gezien de missie van TVVL mogen we stellen dat decentrale opwekking, smart grids en energieopslag uitermate relevante onderwerpen zijn voor het platform. TVVL is reeds intensief bezig met het onderwerp smart grids. Er zijn al meerdere workshops georganiseerd, er worden onderzoeken gedaan naar smart grids (waaronder het voorliggende) en er worden door leden van TVVL presentaties gegeven op congressen en symposia. TVVL is in het kader van smart grids en opslag dus al bezig met de volgende onderdelen van haar missie:

- *vergaren, bundelen en ontwikkelen van kennis;*
- *overdracht binnen de context van maatschappelijk debat, dagelijkse gebeurtenissen en aanpalende wetenschappen,*

De vraag is welke concrete stappen TVVL in het vervolg moet zetten om aan de overige onderdelen van haar missie te voldoen:

- *de invloed op de mens en zijn/haar functioneren;*
- *vertalen van de kennis in innovatieve technologische oplossingen;*
- *organiseren naar praktische richtlijnen en handvatten;*
- *de ontwikkeling en implementatie van de techniek van gebouwgebonden voorzieningen.*

Voor het vaststellen van vervolgstappen is het voor TVVL van belang in het kader van smart grids en opslag van (elektrische) energie scherp in beeld te hebben wat TVVL *wil* (wat zijn de ambities?) en wat TVVL *kan* (hoeveel invloed kan worden uitgeoefend?). Richt TVVL zich voornamelijk op de technische aspecten van gebouwgebonden voorzieningen of kan en wil TVVL haar scope verbreden? Zoals uit dit verkennende onderzoek blijkt zijn decentrale opwekking, smart grids en energieopslag onderwerpen die niet los kunnen worden gezien van ontwikkelingen buiten de gebouwgebonden wetenschap en het 'gebouwgebonden speelveld'. Het rolmodel (Royal Haskoning, 2008) kan uitkomst bieden bij het oplossen van dit vraagstuk. In het rolmodel wordt onderscheid gemaakt in volgende stappen:

- *Stap 1: Kies positie en de rol*
De positie van TVVL wordt bepaald aan de hand van het vaststellen van de ambities en de beïnvloedingsmogelijkheden van de organisatie.
- *Stap 2: Baken de bandbreedte af*
Vanuit de gekozen rol worden de ambities en beïnvloedingsmogelijkheden concreter ingevuld. De doelgroepen, het instrumentarium van TVVL, de beschikbare personele capaciteit en financiële middelen zijn hierbij belangrijke criteria.
- *Stap 3: Formuleer of toets de acties*
Nadat de rol is gekozen en de rolinvulling is afgebakend, kunnen nieuwe acties worden geformuleerd of bestaande acties worden getoetst.
- *Stap 4: Verken de competenties*
In deze stap wordt inzicht verkregen in sterk en zwak vertegenwoordigde competenties binnen TVVL. Hierdoor wordt inzichtelijk welke competenties nog ontwikkeld moeten worden om effectief invulling te geven aan de gekozen rol.
- *Stap 5: Evaluer de keuzes*
Door de eerste 4 stappen de doorlopen wordt consistentie aangebracht in de positie, rol, activiteiten en competenties van TVVL in relatie tot de ambities. De



stappen kunnen nogmaals worden doorlopen om een consistente rolinvulling van TVVL in praktijk te brengen.

Na het doorlopen van stap 1 en 2 kunnen in stap 3 nieuwe acties worden geformuleerd. De discussiepunten en mogelijkheden voor vervolgonderzoek benoemd in het voorgaande hoofdstuk kunnen in stap 3 in beschouwing worden genomen.





6

LITERATUUR

Baxter R., Energy Storage – A nontechnical Guide, Pennwell Corporation, Tulsa, Oklahoma (USA), 2006

Braungart M., Mc Donough W., Remaking the way we make things, Waste equals Food, North Point Press, Straus & Giroux, New York 2008

Buchan David, The Rough Guide to the energy crisis, How to plug the energy gap without costing the earth, October 2010

BZ, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijks Relaties, 2011, Plan van Aanpak Energiebesparing Gebouwde Omgeving, 2011

Cerovsky Zdenek, Hybrid drive with supercapacitor energy storage, Czech Technical University, Prague, Czech Republic, 2004

Chemguide, www.chemguide.co.uk, gelezen op 15 december, 2011

Cole S., Van Hertem D., Meeus L., Belmans R.: "Energy storage on production and transmission level: a SWOT analysis," WSEAS Transactions on Power Systems, Vol. 1, Issue 1, ISSN 0885-8950, IF 0.922, January, 2006; pp. 31-38

EAC, Energy Advisory Committee, US Dep. of Energy, 2011, Energy Storage Program Plan

EC, 2003 RICHTLIJN 2003/96/EG VAN DE RAAD van 27 oktober 2003 tot herstructurering van de communautaire regeling voor de belasting van energieproducten en elektriciteit, 27 oktober, 2003

EC, 2011, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS; A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050, march 8, 2011

ECN, PowerMatchingCity, www.ecn.nl/news/item/date/2010/03/12/powermatching-city-the-first-european-city-test-for-a-smart-power-grid/, gelezen op 5 november 2011

ECN, Donkelaar ten M., Scheepers M., Rol van vraagsturing bij leveringszekerheid in een geliberaliseerde elektriciteitsmarkt, notitie aan het Ministerie van Economische Zaken, Petten, 9 oktober 2003

ETP, 2011 <http://www.smartgrids.eu/node/81> gelezen september 2011

EU Directive, 2010, Energy Performance of Buildings, Article 9, DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings

Europa, 2011, www.europa.nu, gelezen op 20 augustus 2011

EZ, Ministerie van Economische zaken, op weg naar intelligente netten in Nederland, Discussiedocument van de Taskforce Intelligente Netten, juli 2010

EZ, Verhagen, M.J.M, 2010, Kamerbrief Stimulering Duurzame Energie, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

FC-Application, 2011, <http://www-eng.tp.edu.sg>, gelezen op 27 augustus, 2011

FC-Energy, 2011, <http://www.fuelcellenergy.com/products.php>, gelezen op augustus 2011

Elektriciteitswet 1998, artikel 95c lid 2 en 3, artikel 95c lid 2 en 3

Energy Gov, 2011, <http://energy.gov/>, gelezen op 27 augustus 2011

Energy Storage, Program Document, U.S. Departement Of Energy Office Of Electricity Delivery & Energy Reliability, February 2011

FD, 2011, Financieel Dagblad: Nederland moet aan de enerieopslag als sluitsteen van een duurzaam stroomnet, 28 mei 2011

FD, 2011, Financieel Dagblad: Wereldprimeur Hoogkerk, praktijktest van een smart grid, 25 oktober 2011

Greenchoice.nl, gelezen op 3 november 2011

Hoekstra Auke, 2011, congres decentrale energieproductie en –opslag, 24, 25 en 26 okt 2011, presentatie Auke Hoekstra

Huygen A., Huitema G., Smart Grids voor een duurzame energievoorziening, TNO 2009

Hyperphysics, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/electrol.html>, gelezen op 15 december 2011

IEA, 2011, Medium term oil & gas markets 2011, overview, Paris 2011

KEMA, Cost Comparison for a 20 MW Flywheel-based Frequency Regulation Power Plant, Beacon Power corporation, KEMA Project: BPCC.0003.002, September, 2007

Linden S. van der, The case for CAES, Modern Power Systems, 2002, pp. 19-21.

Makarov Y.V , Ma J., Lu S., Nguyen T.B.,; Pacific Northwest Laboratory , operated by Batelle for the U.S. department of Energy; Assessing the Value of Regulation Resources Based on Their Time Response Characteristics, June, 2008

MetDeZon, 2011, [<http://www.zonnepanelen.nl/zonnestroom-systeem-2590-watt.html>], gelezen op 3 november 2011

Mulder, 2011, Interview met Prof.Dr.Ir. Mulder van de Faculteit Radiation, Radionuclides & Reactors (R3) van de Technische Universiteit Delft, afdeling Fundamental Aspects of Materials and Energy, afgenomen op 4 oktober 2011 te Delft

NIBUD, www.nibud.nl, gelezen op 4 januari 2012

Nieuwenhout, Frans, congres decentrale energieproductie en –opslag, 24, 25 en 26 okt 2011, presentatie Frans Nieuwenhout

Pike Research, 2011, Energy Storage on the Grid

Planbureau, Faber A., Ros J.P.M., Decentrale elektriciteitsvoorziening in de gebouwde omgeving Evaluatie van transitie op basis van systeemopties, Planbureau voor de Leefomgeving april 2009

Rogers E.M., Diffusion of Innovations, fourth edition ed. New York Free Press, 1995

Rotmans J., Grin J., Schot J., Smits R., Multi-, Inter- and Transdisciplinary Research Program into Transitions and System Innovations, Maastricht, 2004

Royal Haskoning, Strategiereeks, Het Rolmodel, over kiezen en uitvoeren van rollen in het publieke domein, Rotterdam, 2008

RWS, 2011: http://www.rijkswaterstaat.nl/kenniscentrum/duurzaam/duurzame_energie, gelezen op 3 december 2011

SDE, 2011, Stimuleren Duurzame Energieproductie, www.agentschap.nl, gelezen op 29 november 2011

Tennet, 2007, Visie 2030

TenneT, 2009, Kwaliteits en Capaciteitsplan 2010 – 2016 management samenvatting, 1 september 2009

TVVL, www.tvvl.nl gelezen op september 2011

United Nations, Population Division, Department of Economic and Social Affairs, 2008 estimates and medium variant projections, The 2008 Revision Population Database, 2008

Valk S., Hydrogen Storage in new hybrid materials based on Metal Organic Frameworks, Fundamental Aspects of Materials and Energy, Delft University of Technology, april 2010

Wagemaker, Marnix, Presentatie congres decentrale energieproductie en –opslag, 24, 25 en 26 okt 2011, presentatie Marnix Wagemaker

Windenergie, www.windenergie.nl, gelezen op 4 november 2011

Yahoo News, 2011, <http://au.news.yahoo.com/thewest/a/-/breaking/9402805/solar-panel-overload-a-risk-to-the-grid/>, 2011-08-10, gelezen op 5 november 2011

Yongguang Zhang et al., Development in Lithium/Sulfur Secondary Batteries, The Open Materials Science Journal, 2011, 5, (Suppl 1: M3) 215-221

=0=0=0=





Bijlage 1
Inventarisatie methoden opslag van elektrische energie

Vliegwiel

Een vliegwiel is een lichaam dat kan roteren om een as. Overtollige energie kan via een elektromotor een vliegwiel laten roteren en hiermee de energie in de vorm van kinetische energie opstapelen. Het traagheidsmoment is de belangrijkste eigenschap en geeft in feite aan in welke mate een object zich verzet tegen verandering van de draaisnelheid om de eigen as. Hoe groter het traagheidsmoment, hoe moeilijker het is om het vliegwiel op gang te krijgen. Hoe groter het traagheidsmoment, hoe meer energie je dient toe te voegen om het wiel sneller te laten draaien en dus hoe meer energie je in het systeem opslaat.

Bij moderne energieopslagsystemen op basis van vliegwielen wordt het vliegwiel in een luchtdichte kamer opgesteld, om de wrijving met de lucht te voorkomen. Het vliegwiel kan simpelweg aangedreven worden met een elektromotor en energie terug leveren met behulp van een dynamo.

Voor vliegwielen is nog veel ontwikkeling gaande op materiaalkundig gebied. Nieuwe composiet materialen maken het mogelijk betere prestaties te bereiken tegen lagere kosten.

Feiten:

- Vermogen: ongeveer 3 kW – 20 MW (KEMA, 2007)
- Responstijd: ~10 – 15 minuten
- Efficiëntie: maximaal 95% (Makarov, 2008)
- Levensduur: ongeveer 20 jaar
- Stadium van ontwikkeling: bewezen en op kleine schaal toegepaste technologie, nog wel veel ontwikkeling mogelijk

Voordelen:

- Efficiënte omzetting
- Lange levensduur
- Hoge energiedichtheid (energie per volume)
- Snelle responstijd en snelle laad/ontlaad cyclus

Nadelen:

- Relatief veel onderhoud benodigd
- Hoge initiële kosten
- Moeilijk toepasbaar op gebouw- en wijkniveau in verband met veiligheid (mechanische vliegwiel explosies)

Waterpomp

Overtollige elektrische energie kan gebruikt worden om water van een laag naar een hoger gelegen bassin te pompen. De energie wordt dan opgeslagen in de vorm van potentiële energie. Op het moment dat er een energievraag is, kan het water door een turbine van het hoger gelegen bassin naar het lager gelegen basin stromen waardoor een turbine wordt aangedreven en elektriciteit wordt opgewekt.

Voor het hoogteverschil is men veelal afhankelijk van de geologische omstandigheden. Door ontwikkeling van nieuwe pompen kunnen steeds meer locaties gebruikt worden.

Feiten:

- Vermogen: ongeveer 200 MW – 2 GW
- Responstijd: ~10 – 15 minuten
- Efficiëntie: ~75%
- Levensduur: ongeveer 50 jaar
- Stadium van ontwikkeling: bewezen en toegepaste technologie voor grootschalige toepassing

Voordelen:

- Lage kosten
- Hoge betrouwbaarheid en levensduur
- Hoog vermogen
- Redelijke responstijd
- Efficiëntie rond de 75%

Nadelen:

- Specifieke geologische omstandigheden benodigd (moeilijk toepasbaar in gebouwde omgeving)
- Mogelijke nadelige effecten op heersend ecosysteem. Door het aanleggen van een groot waterbassin (al dan niet in de vorm van een stuwmeer) worden nieuwe elementen in het heersende ecosysteem dan wel bestaande omgeving geïntroduceerd.

Compressed Air Energy Storage (CAES)

Een serie compressors kan lucht comprimeren en opslaan in (ondergrondse) holtes. De energie kan naar behoefte beschikbaar komen door de gecomprimeerde lucht door een turbine te voeren. Het comprimeren van lucht genereert veel warmte en het uitzetten van lucht gebruikt warmte. Voor de efficiëntie van dit systeem is het daarom van essentieel belang deze warmte effectief op te slaan of te gebruiken (Advanced Adiabatic CAES: AA-CAES).

Feiten CAES:

- Vermogen: ongeveer 25 MW – 2,7 GW (Linden, 2002)
- Responstijd: ~10 – 15 minuten
- Efficiëntie: ~70% (zonder nuttig warmte gebruikt zoals bij AA-CAES)
- Levensduur: maximaal 50 jaar
- Stadium van ontwikkeling: bewezen en toegepaste technologie

Voordelen:

- Lange opslag zonder energieverlies is mogelijk, mits het opslagmedium luchtdicht is.
- Hoog vermogen
- Redelijke responstijd

Nadelen:

- Specifieke geologische omstandigheden benodigd (niet altijd toepasbaar in de gebouwde omgeving)
- Hoge kosten voor kunstmatige holtes.

Elektrochemische energieopslag in batterijen

We zijn gewend (oplaadbare) batterijen te gebruiken voor kleine applicaties (mobiele telefoons, fotocamera's, etc.). Batterijen kunnen ook op grotere schaal toegepast worden. Er zijn verschillende typen batterijen met verschillende eigenschappen.

De bestaande technologieën zijn de volgende:

- Lood-zuur
- Lithium-ion
- Redox Flow
- Natrium-zwavel

Mogelijke toekomstige technologieën zijn de volgende:

- Natrium-water
- Lithium-zwavel
- Lithium-lucht

Het principe van deze batterijen is hetzelfde: elektrische energie wordt elektrochemisch opgeslagen. Op het gebied van batterijen vindt momenteel veel ontwikkeling plaats. Met name naar Lithium-ion batterijen wordt veel onderzoek gedaan vanwege de grootschalige toepassing van mobiele consumenten elektronica en door de verwachte opkomst van elektrische auto's. Hier volgen de feiten van de bestaande en mogelijke toekomstige varianten.

Bestaande batterijen

Lood-zuur:

Feiten:

- Vermogen: van orde kW tot ongeveer 50 MW
- Responstijd: enkele seconden
- Efficiëntie: 70-80% (Wagemaker, 2011)
- Levensduur: 500-800 cycli (Wagemaker, 2011)
- Stadium van ontwikkeling: bewezen en toegepaste technologie

Voordelen:

- Goedkoop
- Grote toepassingsmogelijkheden, door brede inzetbaarheid (klein tot groot, opschaalbaar)
- Zeer korte responstijd
- Efficiëntie rond de 80%

Nadelen:

- Korte levensduur
- Lage energiedichtheid
- Hoge zelfontlading (leegloop bij geen gebruik)
- Gevoelig voor omgevingscondities (temperatuur)
- Opslag capaciteit gaat achteruit bij niet volledig op-/ontladen
- Toxische materialen (zoals lood) hebben mogelijke gevolgen voor het milieu

Lithium-ion:

Feiten:

- Vermogen: van orde kW tot ongeveer 50 MW
- Responstijd: enkele seconden
- Efficiëntie: 90-98% (Wagemaker, 2011)
- Levensduur: 1000-10000 cycli (Wagemaker, 2011)
- Stadium van ontwikkeling: bewezen en toegepaste technologie, nog veel ontwikkeling mogelijk

Voordelen:

- Grote toepassingsmogelijkheden, door brede inzetbaarheid (klein tot groot, opschaalbaar)
- Zeer korte responstijd
- Weinig energieverlies
- Efficiëntie tot 98%
- Hoge energiedichtheid

Nadelen:

- Gevoelig voor omgevingscondities (temperatuur)
- Dure technologie. Met het oog op de ontwikkeling van elektrische auto kunnen de productiekosten dalen door opschaling (Mulder, 2011)

Redox Flow:

Feiten:

- Vermogen: maximaal 1 MW
- Efficiëntie: 65-80% (Wagemaker, 2011)
- Levensduur: 2000-15000 cycli (Wagemaker, 2011)
- Stadium van ontwikkeling: demonstratie en enkele commerciële projecten gerealiseerd

Voordelen:

- Instantaan bij te vullen door elektrolyt te vervangen
- Goedkoop
- Lange levensduur

Nadelen:

- Corrosieproblemen doordat sensors en pompen vereist zijn
- Middelmatige efficiëntie
- Lage energiedichtheid

Natrium-zwavel:

Feiten:

- Vermogen: van orde kW tot ongeveer 350 MW
- Responstijd: enkele seconden
- Efficiëntie: 80-90% (Wagemaker, 2011)
- Levensduur: 2500-4500 cycli (Wagemaker, 2011)
- Stadium van ontwikkeling: op kleine schaal commercieel toegepaste technologie

Voordelen:

- Grote schaal mogelijk
- Relatief goedkoop
- Weinig energieverlies (vrijwel geen zelfontlading)
- Efficiëntie tot 90%
- Hoge energiedichtheid

Nadelen:

- Corrosieproblemen (met natrium-polysulfides)
- Natrium dendrietvorming (groei van kristallen van natrium)
- Werkt op hoge temperatuur

Mogelijke toekomstige batterijen***Natrium-water:*****Feiten:**

- Responstijd: enkele seconden
- Efficiëntie: >90% (Wagemaker, 2011)
- Levensduur: >5000 cycli (Wagemaker, 2011)
- Stadium van ontwikkeling: testfase, productie aanvang 2012 (Wagemaker, 2011)

Voordelen:

- Goedkoop
- Weinig energieverlies
- Efficiëntie meer dan 90%
- Lange levensduur
- Milieuvriendelijke materialen

Nadelen:

- Lage energiedichtheid
- Niet constant (afnemend) voltage bij ontlading

Lithium-zwavel en Lithium-lucht:

Op het gebied van lithiumbatterijen wordt onderzoek gedaan naar lithium-zwavel en lithium-lucht batterijen. Deze technologieën staan nog in de kinderschoenen, maar de lithium-zwavel batterij wordt als een van de meest veelbelovende opslagsystemen beschouwd. (Wagemaker, 2011; Zhang, 2011)

De genoemde voordelen betreffen:

- Lage kosten
- Niet toxisch en milieuvriendelijk
- Grote werktemperatuur range
- Lange levensduur

Voor deze batterijen heeft Wagemaker [Wagemaker, 2011] de volgende uitdagingen gedetecteerd:

- Reactiviteit elektrolyt, waardoor er actief materiaal verloren gaat en de levensduur wordt aangetast (Zhang, 2011)
- Vorming van kristallen (dendrieten) van lithium, waardoor de levensduur eveneens wordt aangetast

Met name voor mobiele toepassing zijn de lithium-zwavel en de lithium-lucht batterij interessant. Met deze technieken kan door invloed van meerdere designparameters een energiedichtheid (in Wattuur per kilogram) respectievelijk 2 tot 3,5 keer groter worden dan de huidige generatie lithium-ion batterijen. (Wagemaker, 2011).

Waterstof

Als energiedrager is waterstof zeer aantrekkelijk vanwege zijn hoge energiedichtheid. Voordat waterstof als energiedrager gebruikt kan worden, dient het eerst geproduceerd te worden. Productie van waterstof voor toepassing in een energieopslagsysteem op wijk- en gebouwniveau is mogelijk door elektrolyse van water. In een compleet systeem kan de waterstof vervolgens als volgt worden opgeslagen:

- gasvormig onder hoge druk;
- vloeibaar bij -253 °C;
- in vaste stoffen
 - Metaalhydriden (verbindingen waarin waterstofatomen aan metalen gebonden zijn zoals MgH_2 , LiH , $NaAlH_4$)
 - In poreuze materialen (Valk, 2010)

Wanneer er een energievraag is, kan de waterstof worden omgezet naar elektriciteit door reactie met zuurstof in een brandstofcel. Er zijn veel verschillende typen brandstofcellen met zeer uiteenlopende eigenschappen.

Voor een energieopslagsysteem op grote schaal kan de waterstof ook opgeslagen worden in de vorm van ammoniak (Mulder, 2011). De grote schaal is hierbij vereist vanwege het toxisch karakter van ammoniak en de daaruit volgende veiligheidscontour (de afstand waarbinnen geen bebouwing mag voorkomen). Aangezien de opslag van ammoniak betrekkelijk eenvoudig is (vloeibaar bij kamertemperatuur), kan er voor lange tijd een grote hoeveelheid energie worden opgeslagen. Indien de vraag naar energie groot is, kan ammoniak (relatief eenvoudig) worden omgezet in stikstof en waterstof, waarbij de laatste wordt gebruikt voor omzetting naar elektrische energie met behulp van een brandstofcel. Met deze opslagmethode zou zelfs de seizoenscyclus overbrugd kunnen worden.

Feiten (voor een systeem op gebouw- en wijkniveau):

- Vermogen: van orde kW tot ongeveer 2.8 MW, werktemperatuur 650 °C (FC-Energy, 2011)
- Responstijd: enkele seconden (FC-Application, 2011)
- Efficiëntie: 40-70%⁴
- Levensduur afhankelijk van type productie waterstof, type opslag en type brandstofcel
- Stadium van ontwikkeling: bewezen en op kleine schaal toegepaste technologie, nog veel ontwikkeling mogelijk

Voordelen:

⁴ Gebruikmakend van een warmtekrachtkoppeling.

- Hoge energiedichtheid
- Korte responstijd
- De opgeslagen energie in de vorm van waterstof is relatief eenvoudig transporteerbaar

Nadelen:

- Bij grote vraag (>30% van maximaal vermogen) loopt de efficiëntie terug
- Relatief hoge prijs doordat er nog geen massaproductie plaatsvindt.
- Er zijn drie systeemstappen nodig: productie, opslag en omzetting. Elk van deze drie stappen heeft een efficiency vermindering tot gevolg en brengen beperkingen met zich mee.

Super-/Ultracondensator

Een andere methode voor het opslaan van elektrische energie is opslag in het elektrische veld tussen twee elektrodes. Het principe van de condensator is al enkele eeuwen oud, maar door ontwikkeling van nieuwe materialen blijven condensatoren verbeteren. Door betere diëlektrische eigenschappen kunnen er hogere voltages bereikt kunnen worden, waardoor de opslagcapaciteit toeneemt. Een diëlektricum is een stof of een materiaal met zodanige elektrische eigenschappen dat de polarisatie een overheersende rol speelt ten opzichte van elektrische geleiding en magnetisatie. In deze vorm kan energie opgeslagen worden. Naast de verbetering door middel van de diëlektrische eigenschappen wordt het door nano-technologie mogelijk steeds kleinere structuren met een groot intern oppervlak te maken, waardoor de energiedichtheden van condensatoren vergroot kunnen worden.

Feiten:

- Vermogen: tot 150 kW
- Responstijd: maximaal een seconde
- Efficiëntie: tot 98% (alleen condensator); tot 70% inclusief omzetter (Zdenek, 2004)
- Levensduur: ruim 10 jaar
- Stadium van ontwikkeling: op zeer kleine schaal toegepaste technologie, nog veel ontwikkeling mogelijk

Voordelen:

- Zeer korte responstijd
- Veel cycli mogelijk met relatief weinig onderhoud

Nadelen:

- Hoge kosten
- Techniek is nog niet ver genoeg gevorderd om te concurreren met andere opslagmethoden





Bijlage 2
Interviewverslag Prof. Dr. F.M. Mulder



Gespreksverslag

Aan : F. Lippmann, S. Lemain
Van : S. Valk
Datum : 17 oktober 2011
Kopie : Prof. dr. F.M. Mulder
Onze referentie : 9W5041/M0001/904644/Rott

Betreft : Gespreksverslag

Geïnterviewde: Prof. dr. F.M. Mulder van de Faculteit Radiation, Radionuclides & Reactors (R3) van de Technische Universiteit Delft, afdeling Fundamental Aspects of Materials and Energy (FAME).

Interviewer: S. Valk

Datum gesprek: 04 oktober 2011 te Delft

Inleiding

Een gebouw is niet alleen een gebruiker, maar kan en wordt ook gebruikt worden voor opslag en opwekking van energie. In dit kader wil TVVL (Platform voor Mens en Techniek) meer inzicht in de wijze waarop in de gebouwde omgeving duurzaam opgewekte energie kan worden opgeslagen. Vraag en aanbod van duurzaam opgewekte energie kan in dat geval beter op elkaar afgestemd worden, door opslag van overtollige energie. Op het moment dat de vraag groter is dan het momentane aanbod, kan de opgeslagen energie worden benut. Opwekking van duurzame energie (in de vorm van wind- en zonne-energie) is een ontwikkeling die op steeds grotere schaal wordt toegepast. In de meeste gevallen is hier sprake van decentrale opwekking van energie. De afstemming van vraag en aanbod van elektrische energie is hierbij zeer belangrijk. Immers, wanneer het aanbod groter is dan de vraag, kan dit leiden tot overbelasting (en beschadiging) van het elektriciteitsnetwerk.

Vragen

1. In hoeverre is er nu en in de toekomst behoefte aan opslag van duurzame energie in de gebouwde omgeving? (dit met het oog op de vraag en aanbod van energie en overbelasting van het elektriciteitsnet door decentraal duurzaam opgewekte elektriciteit)
 - Momenteel is het aandeel duurzaam opgewekte energie nog relatief klein, in de toekomst wordt dit aandeel groter. Aangezien deze duurzaam opgewekte energie niet continu opgewekt wordt, is opslag benodigd om energieverlies of overbelasting van het netwerk te voorkomen.
 - Het opslaan van (elektrische) energie kan ook helpen tegen transportverliezen. In Groningen wordt bijvoorbeeld windenergie opgewekt terwijl in Limburg een grote energievraag is. Energie dient in dat geval over lange afstand getransporteerd te worden. Lokale opslag en smartgrids verminderen energieverlies doordat transportafstanden korter gemaakt worden. Bij toenemende transportafstanden, nemen de transportverliezen eveneens toe.
 - Warmte is een zeer grote energievrager. Echter, opslag van warmte is relatief eenvoudig en zou voor veel huishoudens een mogelijkheid zijn. Hiermee is een groot deel van de energievraag te bufferen.

2. Welke energieopslagmethoden zijn denkbaar op gebouw- en wijkniveau?
 - Warmte:
 - Waterbassin/grondwater
 - Zouten die rond de 60 °C stollen/smelten, wat veel energie oplevert/kost.
 - Elektrisch:
 - Vliegwielen: Te duur en te weinig/onconstant vermogen
 - Waterpomp: Geografische beperkingen en te lage energiedichtheid
 - CAES: Te veel energieverlies door opwarming gas en veiligheidsrisico's
 - Batterijen: Duur, kleinschalig is een mogelijkheid
 - Waterstof: Hoge energiedichtheid, op kleine schaal slecht toepasbaar
 - Super/Ultracondensator: Te duur, onconstant vermogen en te lage energiedichtheid.
3. Is waterstof een kansrijk medium voor energieopslag?
 - Ja, met name in de vorm van NH₃ op grotere schaal (centraal). Op gebouw/wijkniveau (decentraal) zitten hier teveel nadelen (met name toxiciteit) aan. De energiedichtheid van waterstof is enorm groot, het produceren van NH₃ en omzetten naar stikstof en waterstof zijn volwassen en efficiënte technieken.
 - Een installatie met elektrolyse, kleine schaal opslag (hoge druk of in een vaste stof) en een brandstofcel veroorzaakt teveel verliezen (rendement ~25%)
4. Wat zijn de huidige ontwikkelingen op het gebied van (lithium)batterijen?
 - Batterijen zijn een goede vorm van elektrische energieopslag. Ze hebben een hoog rendement (~95%) en leveren een constant vermogen. Echter, batterijen zijn wel duur en zeker voor een grote capaciteit loopt de prijs snel op. Batterijen zijn daarmee geschikt voor decentrale opslag voor een korte bufferperiode (dag/nacht cyclus opvangen voor zonnepanelen). Een seizoenscyclus opvangen met batterijen is momenteel nog niet haalbaar.
5. Rekening houdend met toepassing van smart grids en verschillende stadia van ontwikkeling van dit concept: Welke systeem voor opslag van duurzame energie in de gebouwde omgeving denkt u dat het meest kansrijk is voor implementatie? Hierin kan 'kansrijk' gezien worden als:
 - Technische haalbaarheid (hierop ligt voor dit aspect de focus)
 - Economische haalbaarheid
 - Milieueffectiviteit
 - Maatschappelijke haalbaarheid, waarbij de volgende aspecten worden belicht:
 - Marktsituatie
 - Maatschappelijk draagvlak (waaronder veiligheid)
 - Beleid, wet- en regelgeving / juridische haalbaarheid
 - Organisatorische haalbaarheid / aanwezigheid van samenwerkingsverbanden tussen relevante stakeholders.
 - Op kleine schaal (decentraal) zijn batterijen op het gebied van (milieu)technische en economische haalbaarheid het best toepasbaar; echter wel voor een kleine bufferperiode;
 - op grote schaal (centraal) is waterstof (met name in de vorm van ammoniak) op het gebied van (milieu)technische en economische haalbaarheid het best toepasbaar.
 - De markt van batterijen is sterk (exponentieel) aan het groeien door de opkomst van elektrische auto's. Hierdoor is een stap naar batterijen voor energieopslag een eenvoudige eerste stap. Als het aandeel duurzaam opgewekte energie groter wordt, is een grotere opslagcapaciteit nodig. Hiervoor zal waterstof een grote kanshebber zijn.

6. Kent u toevallig (pilot)projecten waar onderzoek wordt gedaan naar opslag van (duurzaam opgewekte) energie?
- In kassen wordt veelal in de zomer opgevangen warmte opgeslagen die in de winter wordt gebruikt voor de verwarming.
 - DenLab in Delft doet veel onderzoek naar duurzame energie, maar niet specifiek met opslag. Wellicht dat zij wel een beeld hebben van andere projecten waar opslag van duurzaam opgewekte energie wordt onderzocht.

Hoofdvraag:

In hoeverre is opslag van energie op gebouw- en wijkniveau op korte en langere termijn benodigd rekening houdend met oplossingen geboden door smart grids en welke opslagmethoden zijn het meest haalbaar voor implementatie?

Opslag van energie zal altijd nodig zijn. Een werelddekkend smart grid is geen mogelijkheid (technisch, economisch en maatschappelijk (veiligheid) gezien). Waterstof is een kansrijke methode, maar alleen op grotere schaal (centraal). Batterijen zijn, mede gezien de marktsituatie, een goede eerste stap voor decentrale opslag van duurzaam opgewekte energie. De capaciteit is echter te klein voor het bufferen van seizoenscycli, maar wel groot genoeg voor dag/nachtcycli.



Bijlage 3
Presentielijst congres decentrale energieproductie en –
opslag 26 en 27 oktober 2011



Decentrale Energieproductie en –Opslag
26 & 27 oktober 2011, Conferentiecentrum Woudschoten in Zeist

Registrant	Job Title	Company Name
Arendonk, R.J. van	Consultant	Alliander N.V.
Barendse, P.N.M.	Ontwikkelingsmanager	Ceres projecten (onderdeel van Vestia)
Besjes, M.	Senior Productmanager	Rabo Groen Bank BV
Boer, P.D.M. de	Consultant	KEMA Nederland B.V.
Bokhoven, T.	Voorzitter	Duurzame Energie Koepel
Bongaerts, M.	Manager Innovatie & Voorzitter projectgroep Smart Grids	Liander Assetmanagement & Netbeheer Nederland
Braaksma, A.S.	Business Analyst	GasTerra B.V.
Chatelin, M.	Advocaat & Partner	Eversheds Faassen
Donders, R.	Specialist Asset Management	Endinet BV
Duijnemayer, D.	Redacteur	Energieia
Geradts, F.	Marktinnovator Energietransitie	Enexis
Haytema, A.P.	Product Manager	NEDAP Energy Systems
Heijmans, A.	Directeur Utilities en Telecom	Realworld Systems BV
Hoekstra, A.E.	Senior Program Manager Sustainable Mobility	Stichting Urgenda
Hotke, T.	Adviseur Milieucommunicatie	Gemeente Amersfoort
Hovius, P.	Senior Consultant	Looije Agro Technics
Jablonska, B.	Wetenschappelijk onderzoeker	ECN Energieonderzoek Centrum Nederland
Kolstee, G.J.	Projectleider	Animal Sciences Group van Wageningen UR
Korf, D.	Initiatiefnemer	FreeEnergy4All
Kuijlaars, I.C.A.	Business Consultant	Realworld Systems BV
Kwast, R.P.	Adviseur Duurzaamheid, Energie en Conceptontwikkeling	Herman de Groot Ingenieurs
Lemain, S.O.	Consultant	Royal Haskoning
Leys, T.	Projectmanager Innovations	Electrawinds NV
Man, G. de	Director ELES Management	Essent Local Energy Solutions (ELES)
Molendijk, W.O.	Adjunct-directeur	Raadgevend Ingenieursbureau Lieveense
Müller, F.	Senior Specialist Marktoperaties	Stedin Netbeheer BV
Nieuwenhout, F.D.J.	Smart Grids and Electricity Storage	ECN
Pelt, R. van	Business Director	Greenchoice
Philipsen, W.J.M.	Bestuurslid	CCI Consult
Pieterse, C.W.	Adviseur Duurzaamheid, Energie en Conceptontwikkeling	Herman de Groot Ingenieurs
Raadschelders, J.	Principal Consultant Energy Storage	KEMA Nederland B.V.
Rouwenhorst, H.	Productmanager	Rabo Groen Bank BV
Schoen, A.J.N.	Adviseur	New Energy Works
Slootweg, H.	Deeltijd Hoogleraar Smart Grids & Manager Innovatie	TU Eindhoven & Enexis
Slot, D.A. van 't	Energieadviseur	DWA installatie- en energieadvies
Smits, I.M.	Consultant	Alliander N.V.
Snellen, S.W.	President; CEO	IHaveMyOwnEnergy
Staal, H.	Adviseur Gebiedsontwikkeling	Agentschap NL
Terbijhe, A.	Projectleider	PPO-AGV
Timmerman, W.H.	Onderzoeker-docent	Energie Kenniscentrum Hanzehogeschool Groningen
Urlings, M.	Architect	LSWA Architecten
Vercauteren, T.C.	Project developer Sustainable Energy	HEJA Projectontwikkeling Woningcorporatie B.V.
Wagemaker, M.	Assistant Professor	Technische Universiteit Delft
Waters, D.	Marketing Manager	Energieia
Werf, M.C.I. van der	Kamerlid	Tweede Kamer der Staten-Generaal



Bijlage 4
Congresverslag decentrale energieproductie en opslag
26 en 27 oktober 2011

Samenvatting Congres decentrale energieproductie en –opslag 26 en 27 oktober Conferentiecentrum Woudschoten, Zeist

Jillis Raadschelders, KEMA, principal consultant energy storage, dagvoorzitter

Dhr. Raadschelders zegt dat PV op dit moment in NL voordeliger is dan in Duitsland omdat in Duitsland een feed-in tarief wordt gehanteerd dat niet gekoppeld is aan de marktprijs van elektriciteit. In Nederland wordt voor 100% gesaldeerd tot in ieder geval 5000kWh.

Vanuit KEMA heeft Dhr. Raadschelders diverse studies gedaan naar opslagfaciliteiten, vooral in de US. Van grootschalig (multi-megawatt) tot kleinschalig (community niveau, 25kW). Dit waren Li-ion en vliegwheels.

Michel Chatelin, Eversheds Faassen, advocaat & partner, presentatie wetgeving

Dhr. Chatelin gaf een presentatie o.a. over gaten in de wet. 'Als deze er zijn moet gebruik worden gemaakt van de mogelijkheden', aldus dhr. Chatelin.

Belangrijkst aandachtspunt is dat er op dit moment wetten zijn ten aanzien van energie (Warmtewet, Gaswet) die de kleinverbruiker beschermen. Dit betekent dat je als leverancier aan bepaalde eisen moet voldoen (waaronder leveringszekerheid). Het zomaar verkopen van stroom aan je buurman is dus bij deze wet verboden (tenzij je het in een gesloten community doet). Het is wel te verwachten dat hier aanpassingen op zullen worden gemaakt.

Een ander aandachtspunt is dat er een maximum prijs is gesteld voor warmte. Dit zou duurzame productie in de weg kunnen staan, omdat duurzame productie misschien best tegen een hogere prijs verkocht zou kunnen worden.

Dhr. Chatelin noemt het bestaan van ESCO's, Energy Service Companies. Deze bedrijven garanderen een zekere energieverbruiksreductie en vragen in ruil of een vast bedrag per jaar of bijvoorbeeld het verschil in de energienota.

Salderen komt ter sprake. Salderen is het verrekenen van terugleveren aan het net met de energienota. Wanneer voor 100% gesaldeerd wordt, wordt de prijs voor leveren gelijkgesteld aan de prijs voor afname. Betaal je 22ct/kWh als je afneemt, dan krijg je ook 22ct/kWh als je levert. Dit is een tegemoetkoming van de overheid en de energieleverancier. Namelijk, de kostprijs op de markt van energie is slechts zo'n maximaal 7ct/kWh. Door belasting en transportkosten wordt dit voor de consument uiteindelijk 22ct. De consument 22ct betalen om de stroom af te nemen is dus vreselijk duur. Het salderen is dus een vorm van subsidie, of een promotie van energieleveranciers. Het salderen heeft een limiet. Vaak wordt alleen de eerste 5000kWh gesaldeerd, daarna krijg je slechts 7ct. Er zijn echter partijen die 100% salderen, en zelfs 100+ oftewel wanneer de consument eigenlijk een netto producent is.

NB: ligt straks heel Nederland vol met PV's, dan is het te verwachten dat de salderingsregeling stopt, de overheid en energieleveranciers moeten ergens hun geld vandaan halen.

Contact Michel: +31 20 5600651

Conclusies voor Smart Grids: Wet- en regelgeving loopt praktisch altijd achter de feiten aan. Zo ook in de energiemarkt. Momenteel is het klimaat gunstig voor de consument om PV te installeren. Op deze manier ontstaat een stijging van het aandeel decentrale opwekking, en daaruit volgt het 'smart grid'.

Conclusies voor Opslag: Mbt opslag zijn geen conclusies te trekken.

Frans Nieuwenhout, ECN, Smart Grids and Electricity Storage, presentatie Europese Visie

Dhr. Nieuwenhout heeft een achtergrond in de duurzame energie in ontwikkelingslanden. Bij gebrek aan een net is opslag daarbij vrijwel altijd noodzakelijk.

Vanuit de EU wordt met betrekking tot duurzame energie vooral naar elektriciteit gekeken. (waarschijnlijk omdat elektriciteit op EU schaal te distribueren en te vermarkten is).

Europa beschikt over een goed net, dhr. Nieuwenhout wil niet zeggen 'overgedimensioneerd' maar wel daar aan grenzend. Dit net is veel stabielere ook dan bijvoorbeeld het net van de VS (waar meer gepleit wordt voor opslag ten behoeve van stabilisatie van het net).

Dhr. Nieuwenhout ziet een aantal zaken dat moet gebeuren om het net te optimaliseren, om het tot een smart grid om te vormen. Allereerst ziet hij een **verdere integratie Europees net en Europese markt**. Doelstelling van EU is om in 2014 één Europese elektriciteitsmarkt te hebben. Dhr. Nieuwenhout geeft aan dat dit wat ambitieus is, maar het is wel de richting.

Dhr. Nieuwenhout laat een afbeelding zien van AES (American Energy Storage) dat per opslagmedium de prijs voor geleverde kWh laat zien. Uit dit plaatje, dat weliswaar oud is (geen datum gedefinieerd), blijkt dat alleen pumped hydro in de buurt komt van een reguliere prijs voor energie. Andere technieken zitten er razend ver boven. Wil je met opslag dus rendabel kunnen zijn, dan is pumped hydro op dit moment de enige optie. En dat kunnen ze in Noorwegen heel goed. Voor ons is het dan rendabeler een goede kabel naar Noorwegen te leggen en daar op te slaan dan hier iets te verzinnen. Bekijk je opties buiten je landsgrenzen, want daar gaan we in Europa naar toe, aldus dhr. Nieuwenhout.

Dan is het zo dat we minstens de komende twee decennia een energiemix zullen hebben, waarvan fossiel nog altijd deel zal uitmaken. Als antwoord op onbalans ziet Dhr.

Nieuwenhout daarom **flexibele conventionele installaties** (gas). In zijn lijstje van 5 opvolgende punten staat opslag als laatste genoemd, daarmee dus als minst urgent, als laatste middel.

De 20/20/20 doelstelling op EU niveau zal waarschijnlijk gehaald worden, maar dat zal dan komen door landen als Duitsland en Spanje. Het stuk CO₂ reductie zal wellicht met CCS worden opgelost, al zitten er nog wel wat haken en ogen aan deze techniek.

Met betrekking tot overheidssteun: wind is slechts op enkele plaatsen rendabel zonder subsidie, evenals zon, zegt dhr. Nieuwenhout. Er zal nog zeker 2 decennia ondersteuning nodig zijn voor nieuwe technieken in DE (zoals PV en Wind). Of subsidie het juiste middel is staat ter discussie, het zou bijvoorbeeld in landen als Duitsland en Spanje de prijzen voor panelen kunstmatig hoog houden.

Voorrang voor duurzame energie is in EU en in NL bij wet nu al geregeld. Het addertje is alleen dat niet is bepaald wanneer sprake is van 'congestie'.

Frans is er van overtuigd dat we elektrisch gaan. Biomassa naar biodiesel staat zeer ter discussie.

Op de day-ahead EU energiemarkt betaal je ongeveer 4ct/kWh.

De PowerMatcher is een apparaat dat mede door ECN is ontwikkeld dat op decentrale schaal productie en vraag afstemt. Op huishouden niveau is er een powermatcher, op wijkniveau, op gemeenteniveau, etc. Er wordt nu in een wijk in Brabant geëxperimenteerd. Het apparaat doet denken aan de Qbox van Current.

Conclusies tav smart grids: het smart grid gaat vooralsnog voornamelijk gevormd worden door verder gaande integratie en flexibilisering.

Conclusies tav opslag: alleen rendabel op grote schaal, denk aan pumped hydro. Op kleine schaal alleen mogelijk erwijs voor capaciteitsproblemen van het net. Müller van Stedin ziet de capaciteitsproblemen niet.

Waldo Molendijk, Ingenieursbureau Lievense, adjunct-directeur, presentatie Business Case Water Eiland

Dhr. Molendijk geeft een presentatie over een project dat al in de tachtiger jaren is bedacht, namelijk een artificeel eiland voor de kust waarin je pumped hydro toe zou kunnen passen. De BC was echter niet rond te krijgen, aanleg van zo'n ding is te kostbaar. Beter maak je dan gebruik van plaatsen waar natuurlijk verval is, zoals in Noorwegen. Getijdeverschil in NL ook te klein om nuttig aan te wenden.

Dhr. Molendijk zegt dat windenergie op dit moment voor meer CO₂ uistoot zorgt dan als alle gevraagde energie door kolen was geleverd, doordat onbalans met heftige CO₂ verbruikende acties moet worden gecompenseerd; als bron wijst hij naar C. Lepair, 2011. Frans van ECN zegt dat dit haaks staat op zijn bevindingen.

Dhr. Molendijk ziet de toekomst van opslag vooral in decentraal, voor centraal zijn investeringskosten te hoog. NB: Dhr. Molendijk lijkt zich te beperken tot Nederland. Verder somt Dhr. Molendijk een aantal argumenten op voor opslag van energie. Dit is het bekende rijtje dat we vooral van American Energy Storage kennen. Hier in Nederland in de huidige tijd lijken weinig argumenten werkelijk relevant.

Conclusies Smart Grid: is niet aanwezig, het verhaal is opslaggestuurd

Conclusies opslag: grote schaal niet in NL. Wat de oplossing is voor kleine schaal is niet genoemd.

Richard van Pelt, Greenchoice, Business Director, presentatie Business Model Greenchoice

Focus van Greenchoice is 100% DE, vooral decentraal, maar ook centraal Wind vinden ze interessant. Dus feitelijk is het zonnepanelen in NL of wind off-shore.

Greenchoice betrokken bij een aantal initiatieven, zoals Zonvast en Easystreet. Greenchoice garandeert 100+% salderen, dus ook aan nettoproducenten.

Dhr. Van Pelt gelooft in 'het net als opslag'. Ze zien zichzelf graag als administrateur, iemand die daar zijn geld mee verdient. Dat de consument producent wordt is daarmee niet erg, er moet wel geadministreerd worden. Ze zijn er dan ook op gefocust dat het net een 'opslagmedium' is. Anders wordt er immers niet geadministreerd. Als het van je PV recht in je accu gaat komt er geen derde partij meer bij kijken. In die zin past opslag dus niet bij het business model van Greenchoice. Dhr. Van Pelt vertelt mij dat dit toch wel het geval is, omdat je er met opslag ook niet altijd komt en je toch het net nodig zal hebben.

Greenchoice werkt ook aan het salderen 'op afstand'. Dit is het geval wanneer een PV bijvoorbeeld niet op je eigen dak maar op het dak van je flat ligt. Of misschien wel als je met je wijk windmolens in de polder exploiteert.

Bij Zonvast wordt voor de consument kosteloos PV op zijn dak geïnstalleerd, betaalt de consument vast 23ct/kWh voor 20 of 30 jaar en zijn de PV daarna van de consument.

Easystreet is een experiment in Breda waar in een straat een minismartgridje is aangelegd met PV.

Ook noemt Dhr. Van Pelt de **betrouwbaarheid van het net**, en het **salderen** dat in NL bestaat, als reden dat **opslag in NL niet reëel** is. Komt deze laatste te vervallen, dan zou het ineens relevant kunnen worden, maar daar zijn we dus nog niet.

Conclusies Smart Grids: als het aan deze partij ligt komt er een smart grid, liefst zonder (decentrale) opslag.

Conclusies opslag: komt er niet voorlopig.

Paul Hovius, Looije Agro Technics, Senior Consultant, *presentatie business case WKK Tuimbouw*

Bottomline is dat er meer WKK zou komen welke **warmtegestuurd** is. Het is dus een **niet regelbare elektriciteitsproducent**.

Conclusies: geen. WKK tuinbouwverhaal niet zeer relevant voor dit project.

Peter Barendse, Vestia (Ceres Projecten), Ontwikkelingsmanager, *Discussie*

Dhr. Barendse vertelt dat wat zij doen aan energie allemaal op warmte gefocust is. Ze doen dus niet mee met smart grids in die zin. Wel houden ze zich bezig met slimme koppelingen tussen industrie en bijvoorbeeld stadsverwarming (Snowworld Zoetermeer wordt als voorbeeld genoemd).

Ze doen isolatie (bezuiniging), synergie met industrie als het kan, en WKO doen ze nog wel. Vestia heeft 90.000 woningen en is de grootste woningcorporatie in Nederland. Ze zien dat energieprijzen stijgen en willen niet dat energieprijzen hoger wordt dan de prijs voor de huur. Bij sociale huur is investering in bezuiniging overigens een punt omdat je de kosten hiervoor niet altijd op de klant kan verhalen omdat je met een wettelijke maximum huur zit.

Han Slootweg, Enexis, TU/e

ziet de netcapaciteit als belangrijkste driver voor het toepassen van Smart Grids. De huidige netcapaciteit is uitgelegd voor de theoretisch hoogste piek belasting plus marge/redundancy, in de praktijk komt het erop neer dat het net het grootste gedeelte van de tijd voor veel minder dan 50% wordt belast. De netcapaciteit is dus niet perse onvoldoende, het is echter belangrijk hoe je deze benut. Smart Grids en de daaruit volgende mogelijkheid tot vraagsturing kan hierbij een grote rol spelen. Drie ontwikkelingen waren volgens hem noodzakelijk voor het succes/nut van Smart Grids:

- Elektrificering van de markt (elektrische auto, warmte pomp)
- Meer decentrale/duurzame opwekking
- Flexibiliteit belasting (e.g. elektrische auto 's nacht opladen)

Overig en Discussie

Martijn van Liander denkt dat over 5 jaar al iedereen een zonnepaneel bij de gamma koopt dat rendabel is. Hij denkt ook dat daarbij iedereen aan een opslagmedium gaat, en iedereen dus autarkisch zal leven. De energie- en opslaginstallatie wordt onderdeel van je huis. Het net zal daarbij overbodig worden, zal alleen als verzekering dienen. Frans van ECN is het hier niet mee eens. Het net is een vreselijk geschikt 'opslagmedium', wat daarnaast nog altijd een grote rol in basislast zal vervullen.

Volgens de meeste aanwezigen gaat PV de komende vijf jaar een grote rol spelen. Niet zozeer door de winst in efficiëntie, maar meer door de kostendaling van dergelijke systemen.





Korenmolenlaan 4
3447 GG Woerden
Telefoon: 088 401 06 20

info@tvvl.nl | www.tvvl.nl

