

Berenschot

ADVIES AAN DE TOPSECTOR ENERGIE



De rol van de eind-
gebruiker in relatie tot
systeemintegratie





De rol van eindgebruikers in relatie tot systeemintegratie

Advies aan de topsector Energie

Berenschot

Joost Krebbekx
Bert den Ouden
Peter Graafland
Niki Lintmeijer

CE Delft

Frans Rooijers
Maarten Afman

Overview

John Baken

27 maart 2015

Inhoud

| | |
|---|------------|
| Management Samenvatting | 9 |
| 1. Inleiding | 15 |
| 1.1 Achtergrond | 15 |
| 1.2 Vraagstelling en aanpak: naar een Roadmap Vraagflexibiliteit | 16 |
| 1.3 Segmenten | 17 |
| 1.4 Gevolgde onderzoeksmethode en structuur rapport | 19 |
| 2. Visie 2030 | 23 |
| 2.1 De ‘preferable future’: het energiesysteem van 2030..... | 23 |
| 2.2 Industrie: trends en ontwikkelingen in 2015 | 25 |
| 2.3 MKB/utiliteitsbouw: trends en ontwikkelingen in 2015..... | 26 |
| 2.4 Huishoudens: trends en ontwikkelingen in 2015 | 28 |
| 3. Marktontwikkeling | 31 |
| 3.1 Scenarioselectie..... | 31 |
| 3.2 Trends in de energievoorziening van 2030..... | 34 |
| 3.3 Kansen voor de rol van de eindgebruiker | 37 |
| 4. Technische opties | 39 |
| 4.1 Industrie | 40 |
| 4.2 MKB/utiliteitssector | 42 |
| 4.3 Huishoudens en personenvervoer | 43 |
| 4.4 Flexibeletopties buiten de energietechniek..... | 45 |
| 5. Decision Making Units en gedrag | 47 |
| 5.1 Soorten DMU’s..... | 48 |
| 5.2 Gedragsfactoren..... | 49 |
| 5.3 Belangrijkste bevindingen | 55 |
| 6. Kansrijke opties | 57 |
| 6.1 Inleiding..... | 57 |
| 6.2 Industrie | 58 |
| 6.3 MKB/utiliteitsbouw | 65 |
| 7. Systemintegratie | 89 |
| 7.1 Organisatie | 90 |
| 7.2 Verdienmodellen en tariefstructuren | 92 |
| 7.3 Wet- en regelgeving | 94 |
| 8. Aanbevelingen voor de Nederlandse Topsector: aanzet tot roadmap | 97 |
| 8.1 De benutting van kansrijke opties..... | 98 |
| 8.2 Suggesties aan de Topsector Energie | 99 |
| Bronnenlijst | 105 |
| Bijlagen | 109 |



Begrippenlijst

| BEGRIP | DEFINITIE |
|--------------------------------|---|
| 1 All-electric | All-electric houdt voor de gebouwde omgeving in dat er elektrisch wordt verwarmd doormiddel van elektrische technologieën i.p.v. conventionele technologieën (vaak aardgas). |
| 2 Aquifers | Watervoerende laag in de ondergrond (bijvoorbeeld zand). Vanuit een aquifer kan water gewonnen worden via een bron. |
| 3 BIPV | Building Integrated Photovoltaic, hier is de zon-PV technologie geïntegreerd (bouwkundige) elementen van het gebouw, zoals gevelbeplating of dak. Vaak op een esthetische of architectonisch verantwoorde wijze. |
| 4 COP | Coefficient of Performance, geeft de verhouding weer tussen de hoeveelheid per tijdseenheid opgenomen energie en de resultante nuttige energie. |
| 5 Day-ahead markt | De voornaamste handelsmarkt (beurs) voor elektriciteit, voor levering de volgende dag. Heet ook wel spotmarkt. In Nederland verzorgt APX deze markt. |
| 6 Demand side management (DSM) | Het wijziging van de elektriciteitsvraag bij een afnemer van energie op grond van externe sturing, bijvoorbeeld financiële prikkels. |
| 8 DMU | Decision Making Unit, Het collectief/individueel met de beslissingsbevoegdheid van een bepaald groep. |
| 10 Dual sourcing | Het kunnen gebruik maken van meerdere bronnen. Bij commodities/roerende goederen zijn dan twee leveranciers aanwezig; de totale behoefte wordt gedeeld en toegewezen aan deze twee leveranciers. In geval dat een leverancier niet kan leveren kan de inkoper op de andere terugvallen. In energie-context verwant met <i>hybridisering</i> , zie aldaar. |
| 13 FTE | Full Time Equivalent: maatstaf voor een voltijds-equivalente baan |
| 14 HVAC | Heating, Ventilating & Airconditioning, veel voorkomende energiefuncties in de gebouwde omgeving. Vaak onderdeel van een gebouwbeheersingssysteem. |
| 15 Hybridisering | Bij energiesystemen: een installatie aanpassen opdat van meerdere alternatief inzetbare energiedragers gebruikt kan worden om de functionele te voorzien. |
| 16 Installed base | Het aantal eenheden van een systeem of product dat momenteel in gebruik is. |
| 17 IRR | De interne-opbrengstvoet (internal rate of return, IRR) of effectief rendement: maatstaf voor de rentabiliteit van een investering. |
| 18 LEN | Local Energy Network |
| 19 MKB | Midden- en kleinbedrijf: ondernemingen tot 250 medewerkers. |
| 20 MTBF | Mean Time Between Failures: maatstaf die de betrouwbaarheid van een proces of product weergeeft. De gemiddelde tijd waarna een proces of product faalt. |
| 21 MTTR | Meant Time To Repair: maatstaf voor de onderhoudbaarheid van herstelbare artikelen. Het vertegenwoordigt de gemiddelde tijd die nodig is om een defecte onderdeel of apparaat te repareren. |
| 22 must run | Een proces dat continu moet blijven draaien en niet onderbroken kan worden, dus niet flexibel kan worden bedreven. |
| 23 MVO | Maatschappelijk verantwoord ondernemen |
| 24 Persuasive technology | Technologie die is ontworpen om de houding of gedrag van de gebruikers te veranderen door middel van overreding en sociale invloed, maar niet door dwang. |
| 25 PV | Photovoltaic: technologie voor het omzetten van zonne-energie in elektrische energie door middel van halfgeleidende materialen en het fotovoltaïsche effect. |
| 26 PV-partijen | Programmaverantwoordelijke partijen: verantwoordelijk voor balancering van een energieprogramma voor een groep eindafnemers van energie. |
| 27 R&D | Research & Development |
| 28 Serious gaming | Een spel met als primair doel communiceren, leren, verwerven van inzicht, onderwijzen.. |
| 29 Spark-spread | Theoretische bruto marge tussen de waarde van een eenheid van geproduceerde elektriciteit in verhouding tot de waarde van de benodigde brandstof. |
| 30 Swarm intelligence | Een vorm van kunstmatige intelligentie die gebaseerd is op collectief gedrag van gedecentraliseerde, zelforganiserende systemen. |
| 31 Systeem-integratie | De integratie van deelsystemen in een overkoepelend systeem. In de context van het onderzoeksprogramma van de Topsector Energie de vraag of de energietransitie kan worden versterkt en versneld door op het niveau van het hele energiesysteem interacties en te zoeken naar integrale oplossingen. |
| 32 Technology readiness level | Classificatie van de technologische rijpheid van een technologie. |
| 33 Volatiliteit | Mate van beweeglijkheid van een marktprijs |
| 34 WKK | Warmte-kracht koppeling: het gelijktijdig opwekken van nuttig toepasbare warmte en kracht (elektriciteit) om een hogere totaalefficiëntie te bewerkstelligen dan als warmte en kracht afzonderlijk uit brandstoffen worden opgewekt. |
| 35 WKO | Warmte- en koude opslag: vaak ondergrondse opslagsystemen voor warmte en voor koude, die vaak over de seizoenen heen gebalanceerd zijn. |



Management Samenvatting

Aanleiding onderzoek: kansen en uitdagingen

De ontwikkeling naar een meer duurzame energievoorziening is ongekend dynamisch, met veel technische en organisatorische veranderingen, maar ook nog met veel onzekerheden. Dit biedt naar verwachting de komende jaren allerlei kansen voor oplossingen die verder reiken dan een enkel technologisch domein of een enkele markt: oplossingen op het vlak van integratie van systemen en koppelingen door de hele energiewaardeketen heen. Dit is waar het Thema Systeemintegratie binnen de Topsector Energie zich op richt: waar liggen deze kansen, hoe kunnen we middels gerichte R&D ondernemingen zodanig helpen dat we de kansen maximaal gaan benutten? Het gaat hierbij om het tijdig adresseren van uitdagingen van de snel veranderende energievoorziening en het ontwikkelen van kennis, diensten en producten die de B.V. Nederland sterker maken.

Drie belangrijke uitdagingen kenmerken het toekomstige energiesysteem:

1. Het wordt ingewikkelder om vraag en aanbod goed op elkaar te blijven afstemmen op een wijze die verenigbaar is met het behalen van de drievoudige doelstellingen van ons energiesysteem: leverings-/voorzieningszekerheid; betaalbaarheid én duurzaamheid: het halen van *minimaal* de afspraken uit het *SER energieakkoord*.
2. Verdienmodellen veranderen. Dit komt niet alleen door ontwikkeling van de commodity- en CO₂ prijzen op wereldmarkten, ook door de blijvende investeringsbehoeften van hernieuwbaar, en de gevolgen van hernieuwbaar op elektriciteitsprijzen.
3. De consument eist in toenemende mate zijn rol op in de energievoorziening. De consument wil niet alleen maar meedoen aan een proeftuin, een consument wil - nu al - *realtime* prijzen, en soms bijvoorbeeld *all-electric* of energieneutraal kunnen worden.

Dit onderzoek richt zich op de toekomstige rol van de eindgebruiker van energie. Hierin komt een aantal vragen aan bod: wat is de betekenis van een actievere rol van de eindgebruiker voor het energiesysteem? Welke kansen heeft de eindgebruiker, nu, en in de toekomst, om actief te worden? Welke waarden kan de eindgebruiker het gehele energiesysteem bieden, en wat is de waarde van de opties om zijn energievraag te flexibiliseren voor de eindgebruiker zelf? Hoe hangt dit samen met gedragsaspecten van de rol van de eindgebruiker van energie, en wat is nodig om de waarde te ontsluiten op de korte termijn?

Het laatste aspect van dit onderzoek betreft de opmaat naar de *Roadmap Vraagflexibiliteit*. Dit rapport levert de bouwstenen voor deze roadmap en richt zich op een set wenselijke acties die leiden tot een actievere betrokkenheid van de eindgebruiker in het totale energiesysteem.

Aanpak: naar een Roadmap Vraagflexibiliteit

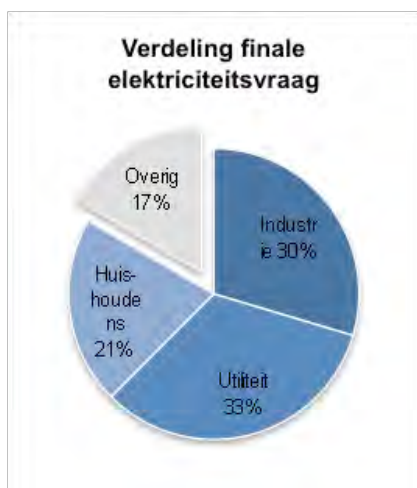
In het onderzoek is een gedegen aanpak gehanteerd met een aantal analysestappen waarmee het sociaal-technische innovatiesysteem in kaart gebracht is. Achtereenvolgens zijn de volgende elementen behandeld: de structuur van de onderzochte eindgebruikerssegmenten, wensbeeld en visie voor een open energiediensten economie, marktkant van flexibiliteit, technieken die helpen bij flexibiliteit en balanshandhaving, de factoren die spelen bij investerings- en routinematig gedrag. Vervolgens is een analyseslag uitgevoerd naar kansrijke opties en de gevolgen voor het geïntegreerde energiesysteem en de gehele energiewaardeketen. Dit heeft geleid tot de aanbevelingen voor de *Roadmap Vraagflexibiliteit*.

Het onderzoek is uitgevoerd in de periode december 2014 - februari 2015 en heeft bestaan uit literatuuronderzoek, diverse individuele interviews met relevante deskundigen en een serie van interactieve experts-/stakeholder workshops per eindgebruikerssegment (technisch ondersteund met het elektronische vergadersysteem).

Belangrijkste deelconclusies per onderdeel van de analyse

1. Structuur relevante eindgebruikerssegmenten

- Onderzocht zijn industrie, utiliteitsbouw/midden- en kleinbedrijf; huishoudens en elektrisch vervoer.
- Er bestaan grote verschillen tussen deze eindgebruikerssegmenten en hun relevante *Decision Making Units* (DMU's). Verschillende DMU's staan voor andere uitdagingen en reageren verschillend op bijvoorbeeld opportuniteiten die energiemarkten in de toekomst bieden. Dit raakt de kern van hoe het gedrag van eindgebruikers de waarde van de opties voor het systeem beïnvloedt.
- Gezamenlijk kennen de drie eindgebruikerssegmenten een zeer groot technisch potentieel voor het leveren van stabiliteit aan het elektriciteitsnetwerk, uitgaande van het eindgebruik van elektriciteit en aardgas voor energetische doeleinden (verwarmen, koelen, aandrijven, etc.)

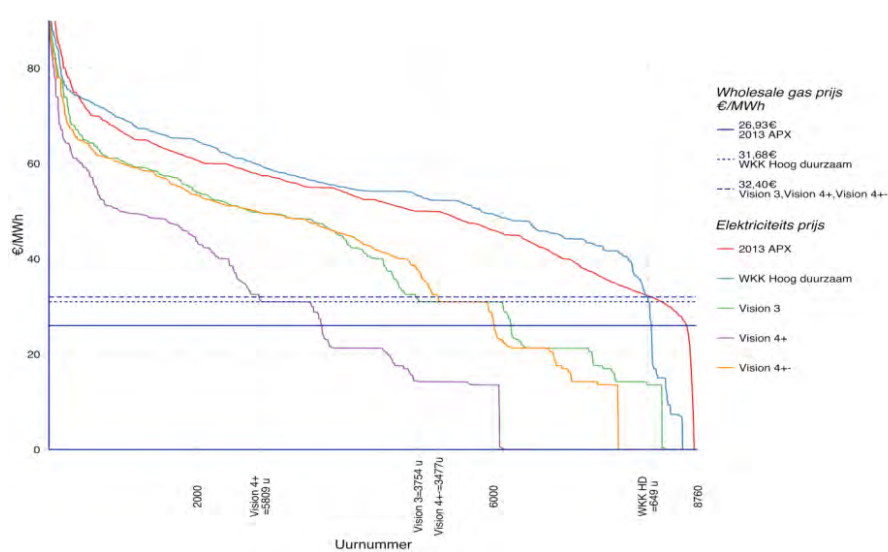


2. Visie/wensbeeld voor 2030

- In een uitgewerkt wensbeeld voor 2030 spelen deze segmenten een actieve rol in het energiesysteem en leveren ze een bijdrage aan het inpassen van hernieuwbare energie (en daarmee ook het verdienmodel ervan), het handhaven van de systeembalans, etc.
- Het wensbeeld bevat een aantal trends, zoals elektrificatie van de procesindustrie, toename van de rol van biogas, buffers van hybride energiesystemen, energiebesparing, toename van energiezuinige 'slimme' apparatuur, etc.

3. Markontwikkeling

- In het onderdeel scenario-analyse zijn een aantal 'probable futures' doorgerekend die verschillende mogelijkheden ten aanzien van de energietransitie laten zien.
- Hierbij zijn prijsreeksen geanalyseerd van een aantal energiesysteemscenario's afkomstig van eerdere studies van DNV GL.
- In elk van de onderzochte scenario's ligt het aantal uur per jaar dat de elektriciteitsprijzen naar 0 euro/MWh gaan hoger dan in het basisjaar 2013.



- Hieruit kan men concluderen dat het vermijden van hoge prijzen of juist het opzoeken van lage prijzen een nieuwe strategische kans biedt voor eindgebruikers.

4. Technische opties

- In dit onderzoek wordt een groot aantal technische opties voor de verschillende segmenten gepresenteerd, op basis van een veelheid aan bronnen, workshops en dergelijke.
- Technieken zijn door deelnemers aan de workshops gescoord op relevantie: technisch en economisch potentieel.
- Voornamelijk in het huishoudelijk segment is de relatief hoge schatting van het technisch potentieel opvallend tegenover het geringere economisch potentieel.

5. *Gedrag: Decision Making Units (DMU's) en hun gedragsaspecten*

- De relevante Decision Making Units en hun gedragsfactoren verschillen sterk tussen en binnen de eindgebruikerssegmenten, hetgeen van belang is voor hoe investerings- en operationele beslissingen worden gedaan.
- Een classificatieschema van DMU's is ontwikkeld aan de hand van het onderscheid particulier/zakelijk; intensiviteit energiegebruik voor productieproces, aandeel in de kostprijs, mate van eigen opwek (prosumer).
- Voor sommige DMU's is energie een *high involvement* product ("close to core"), terwijl voor andere DMU's energie een *low involvement* product is, waarbij niet-financiële gedragsaspecten belangrijker worden.
- In de workshops voor verschillende DMU's is het belang van de verschillende gedragsfactoren onderzocht. Bij alle DMU's blijken individuele en institutionele gedragsaspecten belangrijk. Dit zijn bijvoorbeeld kennisniveau van technieken, perceptie op risico's/kosten/baten, vuistregels, *peer pressure* en ruimte/esthetiek.

6. *Kansrijke opties*

- Een aantal technische opties zijn aan de hand van het potentieel van de opties aan de eindgebruikerskant geclusterd. Dit zijn alle kansrijke opties waarmee de eindgebruiker een belangrijke en actieve rol kan spelen in het handhaven van de systeembalans en de drievoudige doelstellingen voor het systeem (balanshandhaving/voorzieningszekerheid, betaalbaarheid, duurzaamheid).
- Kansrijk zijn *Power to Products/Power to Cold/Power to Heat* (waaronder elektrische boilers, stoomrecompressie, HT -, LT -, hybride warmtepompen); *energiebesparing*, *slim gestuurde apparatuur*, *elektrisch vervoer*, *decentrale opwek* en *gebiedsopties*.
- Deze opties zijn langs diverse dimensies geanalyseerd, waarbij geïdentificeerde kansen en belemmeringen belangrijk zijn voor de *Roadmap Vraagflexibiliteit*

7. *Systeemintegratie*

- Vanuit het belang van de eindgebruikers blijkt dat, door de energiewaardeketen heen, aanpassingen nodig zijn om het functioneren van de 'open energiediensten economie' van de toekomst te laten slagen. De belangrijkste zijn:
 - **Organisatie.** Het energiesysteem wordt voor de eindgebruiker complexer, daarmee ontstaan behoeften aan nieuwe energiediensten, die zowel *keuzemogelijkheden* als *ontzorging* bieden.
 - **Verdienmodellen en tariefstructuren, regulering.** Wetgeving moet het mogelijk maken dat een eindgebruiker een uurlijkse prijs kan betalen op basis van het verbruik op zijn slimme meter.
 - **Enabling techniek.** Voor de aansturing van apparaten is het zoeken naar de software van het energiesysteem van de eindgebruiker. Gestandaardiseerde protocollen (zoals PowerMatcher™) zijn hierbij nodig.

Aanbevelingen voor de Roadmap Vraagflexibiliteit

Uit de gedane analyse blijkt dat er innovaties nodig zijn ten aanzien van de organisatie van de sector, verdienmodellen en tariefstructuren, regulering en enabling technologie. Daarnaast zijn voor elk van de meest kansrijke opties ook kansen en knelpunten voor het realiseren van vraagflexibiliteit benoemd. Deze belemmeringen doen zich slechts beperkt voor op technologisch terrein (de meeste technieken hebben hoge TRL levels en zijn technisch gesproken uitontwikkeld). Er zijn belangrijke belemmeringen op economisch, organisatorisch en juridisch terrein. Deze belemmeringen staan de ontwikkeling in de weg en zullen moeten worden omgebogen om ervoor te zorgen dat de kansen die de flexibilitieopties kunnen bieden worden benut.

De innovaties die nodig zijn om tot het wensbeeld te komen waarin de eindgebruiker een belangrijke rol in ons energiesysteem vervult zijn onderhevig aan een set randvoorwaarden. Ook deze randvoorwaarden, zoals wet- en regelgeving en tariefstructuren, zullen moeten worden onderzocht om de verschillende innovaties een slagingskans te bieden.

In hoofdstuk 8 is in tabelvorm een aanzet gegeven voor een roadmap met betrekking tot de ontwikkeling van producten en diensten op het gebied van vraagflexibiliteit. Deze tabel is gedestilleerd uit hoofdstuk 6 waarin de kansrijke opties met hun kansen en belemmeringen uitvoerig zijn geanalyseerd. De ingekorte tabel hieronder laat de doelstellingen op middellange termijn per eindgebruikerssegment zien.

| EINDGEBRUIKER SEGMENT | DOEL OP MIDDELLANGE TERMIJN (5-10 JAAR) |
|-----------------------|---|
| Industrie | De industriële eindgebruiker houdt zich actief bezig met flexibiliteit en speelt slim in op het marktaanbod. Het afstemmen van vraag- en aanbod wordt zo goed mogelijk gefaciliteerd door de markt. |
| | Er zijn bewezen voorbeelden die uitwijzen dat de industriële eindgebruiker baat heeft bij het investeren in flexibilitieopties. De eerste financiële drempels zijn hierbij weggenomen. |
| | Verschillende industriële partijen werken met elkaar samen om de energiesymbiose en afstemming van vraag en aanbod te vergroten. |
| Industrie en MKB | Koudeopslag wordt gebruikt om het elektrische energieverbruik van de industrie en MKB terug te dringen tijdens piekuren. |
| MKB/ Huishoudens | De eindgebruiker wordt actief ontzorgd bij zijn energieverbruik. Dienstenleveranciers nemen de consument bij de hand. |
| | Randvoorwaarden t.a.v. wet- en regelgeving zijn versoepeld om flexibiliteit van de eindgebruiker te vergroten en de juiste incentives te bieden. |
| | Warmtepompsystemen zijn doorontwikkeld en functioneren optimaal. |
| | ICT vervult een belangrijke rol in de sturing van apparatuur en zorgt voor balancering van het netwerk. |
| | Er zijn bewezen voorbeelden van succesvolle gebiedsgerichte opties, waarbij eindgebruikers samenwerken om flexibiliteit te ontsluiten. |
| | Installateurs zijn deskundige partners. |

Het complete overzicht van de korte termijn acties (1-3 jaar) op het gebied van de meest kansrijke opties die nodig zijn om deze doelstellingen te bereiken, is te vinden in het totaaloverzicht (tabel 8.1). De verantwoordelijke partijen die hierin een belangrijke rol vervullen zijn ook opgenomen in dit overzicht.



1. Inleiding

1.1 Achtergrond

De ontwikkeling naar een meer duurzame energievoorziening is ongekend dynamisch, met veel technische en organisatorische veranderingen, maar ook nog met veel onzekerheden. Er bestaan verschillende scenario's en eindbeelden die een duurzame energievoorziening laten zien. Wat opvalt is dat in elk van deze scenario's robuuste elementen ontstaan. De toename van de opwekking van duurzame energie, meer decentrale productie, meer behoefte aan flexibiliteit, toenemende elektrificatie en groeiende complexiteit zijn hierin dominante trends. Van deze trends staat de richting niet meer ter discussie, alleen nog maar het tempo. Deze robuuste elementen zijn belangrijk om mee te nemen in het denken over de energiesector van de toekomst.

De verduurzaming van onze energievoorziening biedt de komende jaren allerlei kansen voor oplossingen die verder reiken dan een enkel technologisch domein of een enkele markt. Oplossingen op het vlak van integratie van systemen en koppelingen door de hele energiewaardeketen heen zijn naar verwachting bij uitstek kansrijk. Binnen de Topsector Energie is daarom besloten het Programma Systeemintegratie op te zetten, om gericht te zoeken naar kansen op dit vlak en eventuele R&D kansen tijdig te signaleren zodat deze benut kunnen worden. R&D activiteiten onder het programma systeemintegratie moeten er toe leiden dat de uitdagingen van de snel veranderende energievoorziening adequaat worden geadresseerd en dat kennis, diensten en producten worden ontwikkeld om de energievoorziening toekomstbestendig te maken.

De internationalisering van de energiemarkt en doelstellingen op het gebied van CO₂-reductie zijn belangrijke randvoorwaarden. Deze ontwikkelingen hebben positieve gevolgen: het aandeel duurzaam neemt snel toe, wat bijdraagt aan het realiseren van de nationale en Europese ambities op dit vlak, ook op de lange termijn. Daarnaast neemt de voorzieningszekerheid van Noordwest-Europa toe omdat we meer duurzame energie zelf produceren. De snel veranderende energievoorziening zorgt tot slot voor nieuwe economische activiteiten en werkgelegenheid in de hernieuwbare energiesector.

Anderzijds stelt de ontwikkeling naar meer duurzame energie de energiesector ook voor grote uitdagingen:

- Het wordt ingewikkelder om vraag en aanbod goed op elkaar te blijven afstemmen op een wijze die leverings- en voorzieningszekerheid, betaalbaarheid en duurzaamheid op een gewenst niveau waarborgt;
- Traditionele verdienmodellen blijken niet altijd goed te werken in dit nieuwe systeem;
- De consument eist in toenemende mate zijn rol op in de energievoorziening. Het 'traditionele' systeem met haar (verouderde) assets, actoren, verdienmodellen, regulering en maatschappelijke rollenverdeling zal moeten veranderen om deze ontwikkelingen te kunnen faciliteren.

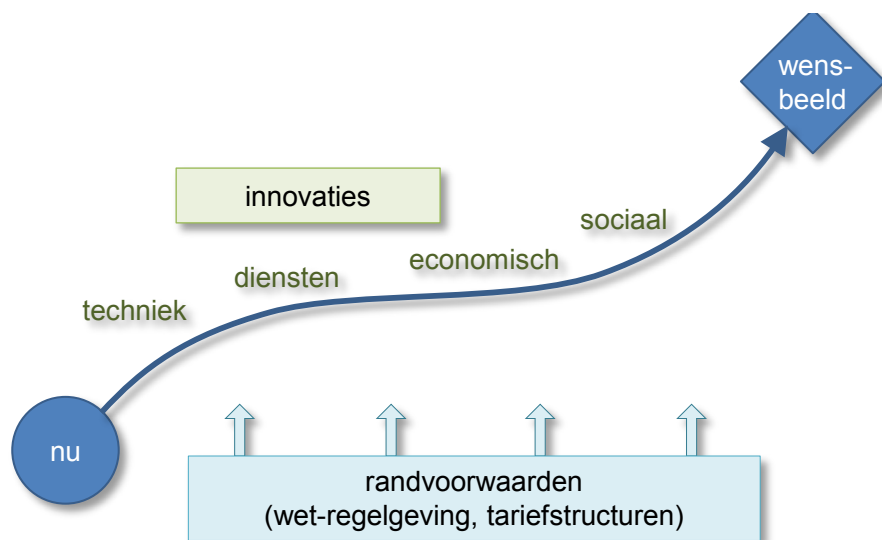
Met het oog op de toenemende uitdagingen in het energiesysteem wil de Topsector Energie weten wat de verschillende TKI's Energie en het programma systeemintegratie in samenhang kunnen bijdragen om gewenste ontwikkelingen te bevorderen en kansen voor Nederland te genereren. De topsector heeft een viertal onderzoeksopdrachten uitgezet die vanuit verschillende onderdelen van de energiewaardeketen naar het thema systeemintegratie kijken. Dit rapport is het resultaat van de vierde onderzoeksopdracht: de rol van de eindgebruiker in relatie tot systeemintegratie.

In deze studie richten we ons op de eindgebruiker van energie, waarin we de veranderende rol van de eindgebruiker in ons energiesysteem verkennen. Deze veranderende rol spitst zich vooral toe op de vraag wat de mogelijkheden zijn om de eindgebruiker een *actieve rol* in de energiewaardeketen te laten vervullen. Het doel hiervan is de mogelijkheden te ontsluiten die bij de eindgebruiker bestaan om - gegeven de hiervoor benoemde trends en uitdagingen - waarde op systeemniveau te creëren. Een belangrijk deel van dit onderzoek betreft de vraagstelling op welke manier de flexibiliteit van het energiegebruik bij eindgebruikers van energie kan worden vergroot. Het zal blijken dat hier veel potentieel ligt: het eindgebruik van energie is immers waar de diverse energie-infrastructuren en -waardeketens samenkomen. Dit biedt mogelijkheden om uit complementariteit flexibiliteit voor individuele energiesystemen te ontsluiten.

1.2 Vraagstelling en aanpak: naar een *Roadmap Vraagflexibiliteit*

De vraagstelling van dit onderzoek behelst primair het aandragen van suggesties voor een R&D agenda gericht op het actief betrekken van de eindgebruiker van energie in de *Roadmap Vraagflexibiliteit*. Een actieve, in het energiesysteem geïntegreerde eindgebruiker creëert meerwaarde voor het gehele energiesysteem, omdat deze helpt om vraag en aanbod van energie goed op elkaar te afstemmen op een wijze die leverings- en voorzieningszekerheid, betaalbaarheid en duurzaamheid vergroot.

Hier zijn een aantal innovaties voor nodig, wat wordt geïllustreerd in figuur 1.1. Vanuit een wensbeeld/visie voor 2030 zoeken we naar de noodzakelijke innovaties op de weg om naar dit wensbeeld toe te geraken. Naast de innovaties op een aantal dimensies onderscheiden we zaken die randvoorwaardelijk zullen zijn voor het doorlopen van het innovatiepad. Dit zijn zaken zoals wet- en regelgeving; andere tariefstructuren en experimenteerruimte. We zullen dit expliciet benoemen.

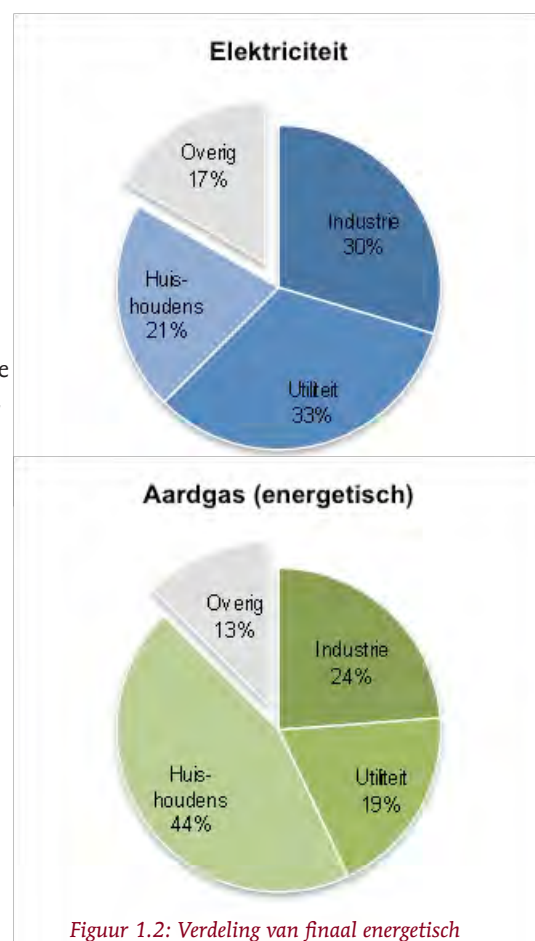


Figuur 1.1: de weg naar een wensbeeld

1.3 Segmenten

Er bestaan grote verschillen tussen verschillende eindgebruikers van energie. Deze studie maakt onderscheid tussen de drie belangrijkste sectoren in het energiesysteem: de industrie, de utiliteitssector/MKB en de huishoudelijke sector. Elektrisch vervoer nemen we daarnaast ook mee, gegeven de grote kansen die hier liggen. Deze groepen hebben elk andere relevante kenmerken: verschillende mogelijkheden voor flexibiliteit op andere tijdschalen; toepasbaarheid van verschillende technieken. De relevante *Decision Making Units* (DMU's) en wat voor hen van belang is verschilt ook sterk. De DMU's staan voor andere uitdagingen en reageren verschillend op mogelijkheden die energiemarkten in de toekomst bieden. Hoe DMU's reageren en verschillen in bepaalde situaties is de kern van hoe het gedrag van eindgebruikers het speelveld beïnvloedt. Dit vraagstuk neemt binnen deze studie dan ook een belangrijke plaats in: het zal bepalend blijken voor de onderzoeksagenda.

Gezamenlijk kennen de drie eindgebruikssegmenten een zeer groot potentieel voor het leveren van stabiliteit aan het elektriciteitsnetwerk, wat blijkt uit het aandeel van deze sectoren in het eindgebruik van elektriciteit en aardgas voor energetische doeleinden (verwarmen, koelen, aandrijven, etc.), zie figuur 1.2.



Figuur 1.2: Verdeling van finaal energetisch verbruik van elektriciteit en aardgas tussen de eindgebruikssegmenten¹

¹ Centraal Bureau voor de Statistiek. Finaal energetisch verbruik van elektriciteit en aardgas tussen eindgebruikssegmenten. Geraadpleegd op 2 december 2015, van <http://statline.cbs.nl/Statweb/>

1.3.1 Industrie

De procesindustrie is met 250.000 medewerkers een belangrijke sector voor de Nederlandse economie. De procesindustrie is de grootste Nederlandse energieverbruiker en neemt circa 40% van het totale Nederlandse verbruik van primaire energie voor zijn rekening (ca 1200 PJ/jaar). De industrie is verantwoordelijk voor circa 30% van het totale elektriciteitsgebruik en 24% van de totale inzet van aardgas voor energietoepassingen. Daarnaast worden ook andere energiebronnen ingezet, alsmede secundaire stromen.

BELANGRIJKSTE DEELSECTOREN INDUSTRIE (SBI C< CODES 10-33)

| | |
|--|------------------------------------|
| Chemische en farmaceutische industrie | Rubber- en kunststofindustrie |
| Voedings-, genotmiddelenindustrie | Papier- en grafische industrie |
| Cokesovenproducten en aardolieverwerking | Textiel-, kleding-, lederindustrie |
| Bouwmaterialenindustrie | Transportmiddelenindustrie |
| Basismetalaalindustrie | Houtindustrie |
| Metaalproducten/machine-industrie | Overige industrie en reparatie |

1.3.2 Utiliteitsbouw, midden- en kleinbedrijf

Het Midden- en Kleinbedrijf (MKB) is de motor van veel economische bedrijvigheid. Het gaat om 150.000 bedrijven (met een omvang van 10- 250 FTE per bedrijf). Gezamenlijk zijn deze bedrijven verantwoordelijk voor een kleine 40% van de Nederlandse R&D uitgaven en een kleine 50% van de exportwaarde.² Onder 'utiliteitsbouw' valt een heterogene groep bedrijven, zoals blijkt uit onderstaand overzicht. Gezamenlijk gaat het om zo'n 33% van de Nederlandse elektriciteitsvraag en 19% van de aardgasvraag.

CLASSIFICATIE UTILITEITSSECTOREN (SBI G-O)

| | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Handel | Specialistische zakelijke diensten |
| Vervoer en opslag | Verhuur en overige zakelijke diensten |
| Horeca | Openbaar bestuur en overheidsdiensten |
| Informatie en communicatie | Onderwijs |
| Financiële dienstverlening | Gezondheids- en welzijnszorg |
| Verhuur en handel van onroerend goed | |

Dominante soorten gebouwen zijn kantoren, retail (winkels, supermarkten), scholen, zorg, bedrijfshallen, koel-/vriesshuizen. Deze verschillen onderling sterk in fysieke omvang (m² vloeroppervlakte), omvang en aard van het energiegebruik en de functie daarvan: energie voor het productieproces (machines, apparaten) of juist vooral meer voor gebouwgebonden energiefuncties zoals verlichting, verwarming, ventilatie, koeling. We richten ons op de belangrijkste soorten gebouwen.

² Centraal Bureau voor de Statistiek (2013), *ICT, kennis en economie. Exportwaarde: CBS Statline, In- en uitvoer; aantal bedrijven en waarde naar omvang en activiteit, 2009*

1.3.3 Huishoudens

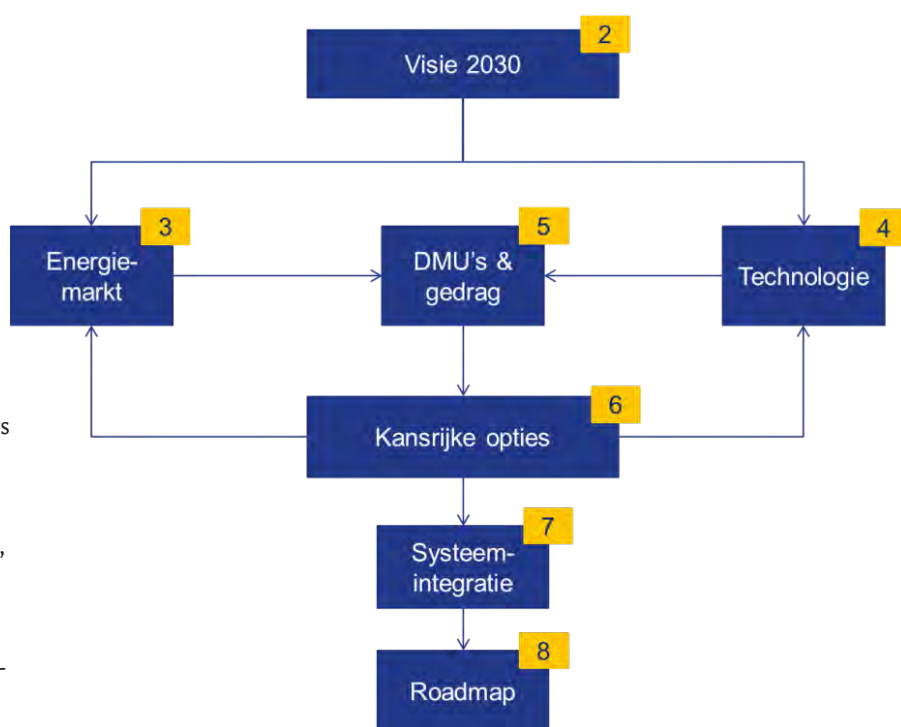
Het elektriciteit- en gasgebruik van huishoudens bedraagt zo'n 430 PJ (2012) en is hiermee zo'n 13% van het primaire energieverbruik in Nederland.³ Dit lijkt gering, maar het elektriciteitsverbruik bedraagt 21% van het totaal en het energetisch gebruik van aardgasgebruik is 44%. Er bestaat een significant technisch potentieel voor demand side management bij huishoudens, zoals uitvoerig onderzocht in Groot-Brittannië.⁴ Anderzijds zijn er ook genoeg redenen waardoor dit lastig van de grond zal komen: vanwege de prijs, complexiteit en huidige betrouwbaarheid is energie voor kleinverbruikers momenteel vaak een *low involvement product*.

1.4 Gevolgde onderzoeksmethode en structuur rapport

De rol van de eindgebruiker van energie in het geïntegreerde energiesysteem wordt gedreven door verschillende factoren die in samenhang gezien moeten worden. Vanuit de eindgebruiker van energie zien we het energiesysteem als een sociaal-technisch landschap, waarbij innovaties alleen tot een succes gebracht kunnen worden door de verschillende relevante factoren in samenhang te beschouwen. Deze bril is leidend geweest in de gevolgde onderzoeksmethode en de structuur van dit rapport.

De relevante factoren ontstaan uit een aantal dimensies. Aan de ene kant reageert de eindgebruiker op marktomstandigheden, waarin energieprijzen, tariefstructuren en nieuwe energiediensten centraal staan. Aan de andere kant reageert de eindgebruiker op technische mogelijkheden die in toenemende mate beschikbaar komen. Dit zijn twee wezenlijk verschillende 'drivers': 'market pull' en 'technology push'.

Daarnaast is van belang dat actoren in de verschillende eindgebruikssegmenten hier sterk verschillend op reageren, afhankelijk van de structuur van de Decision Making Units (DMU's) en de voor de verschillende DMU's relevante beslissingsfactoren, waaronder gedragsmatige en sociale factoren. Dit alles bepaalt zowel de investerings- als de operationele beslissingen, en door dit in samenhang te bezien kunnen kansrijke opties voor de flexibiliteit van eindgebruikers in het kader van systeemintegratie in beeld gebracht worden. Kortom, voor de rol van de eindgebruiker van energie is zowel markt, technologie, en gedrag van belang, dus dit zijn belangrijke pijlers van het onderzoek. De structuur van het onderzoek is weergegeven in figuur 1.3.



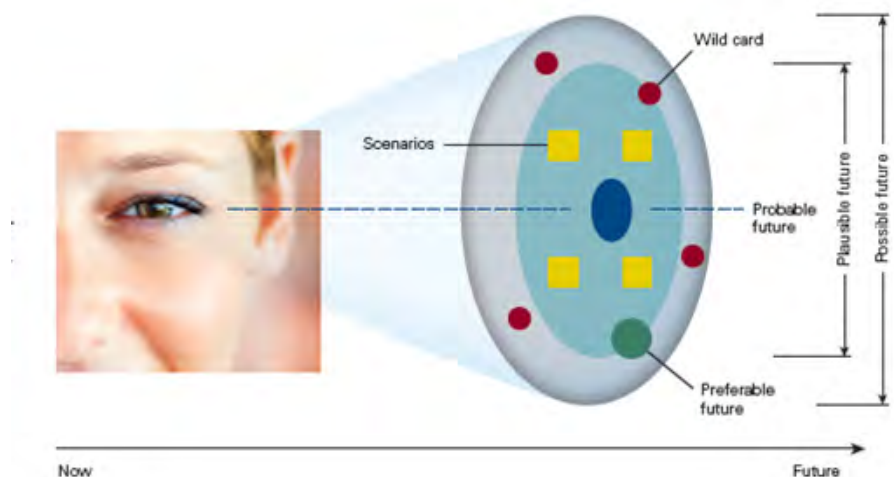
Figuur 1.3: structuur van het onderzoek

³ Centraal Bureau voor de Statistiek (2013), *ICT, kennis en economie. Exportwaarde: CBS Statline, In- en uitvoer; aantal bedrijven en waarde naar omvang en activiteit*, 2009

⁴ Cambridge Architectural Research, Loughborough University and Element Energy. *Further Analysis of the Household Electricity Survey, Early Findings: Demand Side Management*. 29 November 2013. Beschikbaar op: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/275483/early_findings_revised.pdf

Voor dit onderzoek nemen we ten aanzien van de toekomstige rol van de eindgebruiker een tijdshorizon van 2030 aan. In de komende jaren zullen de energiemarkten en beschikbare technologieën zich immers volop ontwikkelen. Het zelf opwekken van energie zal een grote vlucht nemen, net als de beschikbare (ICT-) hulpmiddelen en tools om processen te automatiseren. Dit betekent dat de rol van de eindgebruiker steeds actiever kan worden. In hoofdstuk 2 schetsen we dit in een visie waarbij energieconsumenten een actieve bijdrage leveren aan het flexibele energiesysteem in 2030. Hierbij nemen we de momenteel waargenomen trends en ontwikkelingen met betrekking tot de energiemarkt en beschikbare technologie mee. Dit hoofdstuk beperkt zich tot een kwalitatieve beschouwing van de toekomstige rol van de eindgebruiker in een zogenaamde ‘*preferable future*’ (figuur 1.4): een ‘wenselijk’ toekomstbeeld waarin de eindgebruiker volledig flexibel functioneert in een open energiediensten economie.

In hoofdstuk 3 wordt deze beschouwing kwantitatief aangevuld met een aantal ‘*probable futures*’: doorgerekende scenario’s die uitgaan van bestaande ontwikkelingen op de energiemarkt. Deze scenario’s leiden tot een *mogelijk* toekomstbeeld van de energiemarkt, waarin de eindgebruiker haar rol vervult.



Figuur 1.4: Verschillende toekomstbeelden

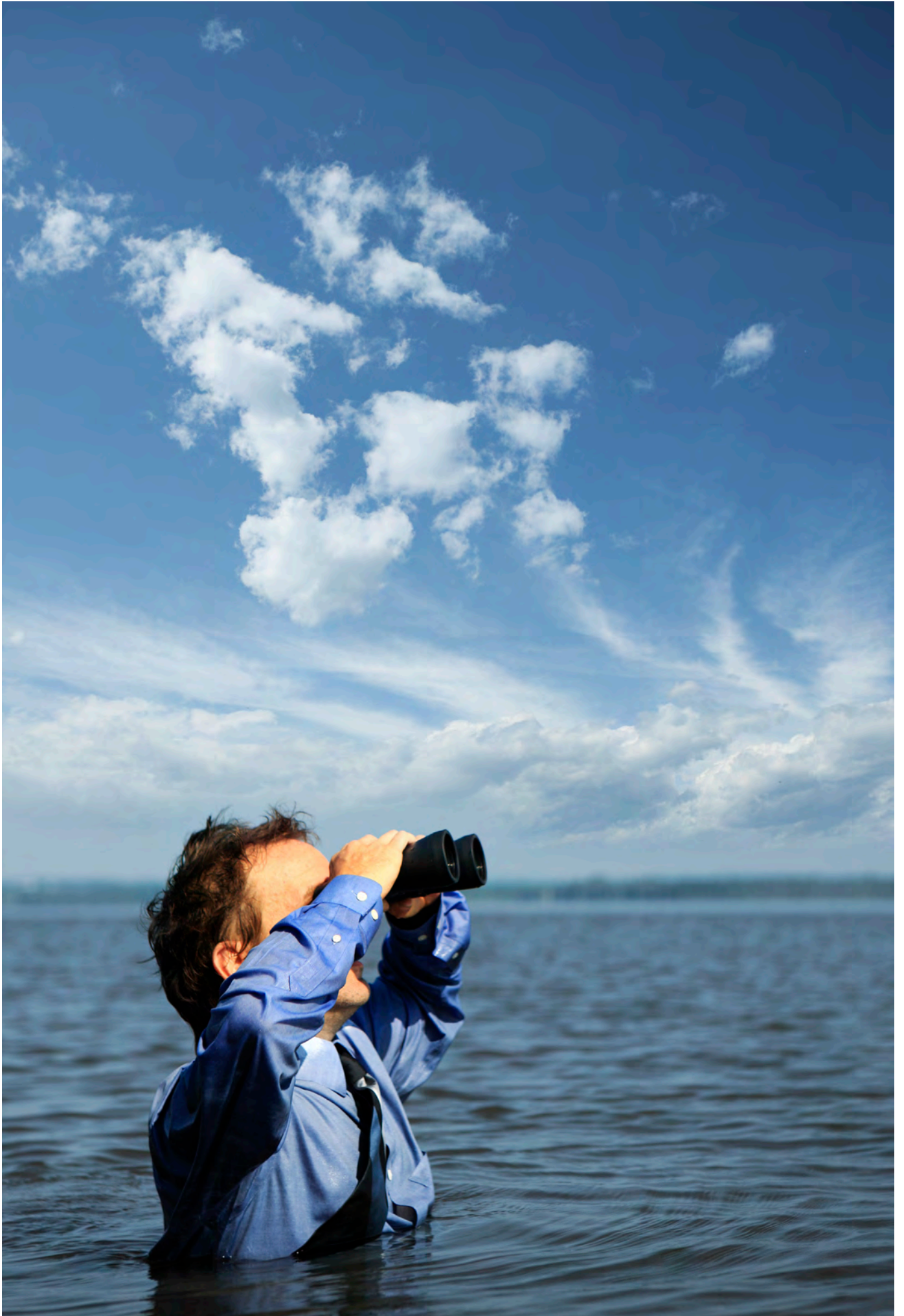
Hoofdstuk 4 gaat in op de technologieën die voor verschillende groepen eindgebruikers van belang zijn om hun bijdrage aan een flexibel energiesysteem te ontsluiten. Hierin wordt een beeld geschetst van alle mogelijke reeds bestaande technologieën en hun innovatierijpheid.

Zowel hoofdstuk 3 als hoofdstuk 4 hebben invloed op de *Decision Making Units* en gedragsfactoren van verschillende groepen eindgebruikers van energie. Deze beslissingsfactoren bepalen wat voor een DMU relevant is bij investerings- en operationele beslissingen. Dit komt aan bod in hoofdstuk 5. In dit hoofdstuk richten we ons op de drie voornaamste segmenten gebruikers die het eindgebruik van energie bepalen.

De combinatie van DMU's en hun gedrag, de mogelijke energiescenario's en de kansen die de technologieën bieden, leiden tot kansrijke opties om flexibiliteit van verschillende groepen eindgebruikers optimaal te ontwikkelen en te benutten. Deze kansrijke opties, inclusief hun kansen en belemmeringen, worden uiteengezet in hoofdstuk 6. Voor de selectie van kansrijke opties hebben we een aantal workshops georganiseerd en diverse experts geraadpleegd. We hebben input van deskundigen van energiebedrijven en netbeheerders tot industriële partijen en consumentenbelangenorganisaties en NGO's verwerkt.

De wisselwerking van de kansrijke opties en de uitwerking hiervan op het grotere systeem wordt behandeld in hoofdstuk 7. Samen met hoofdstuk 6 schetst dit hoofdstuk een beeld van de meest kansrijke oplossingen, inclusief hun huidige ontwikkelingsstatus en interactie met het gehele energiesysteem. Hierin komen enerzijds de kansen voor deze opties aan bod en anderzijds de belemmeringen die verdere ontwikkeling momenteel in de weg staan.

Deze analyse leidt tot een ontwikkelingsbehoefte voor de Nederlandse topsector, waarin wordt aangegeven wat nog kan worden gedaan om de flexibiliteitsopties toepassingsrijp te maken, niet alleen met het oog op Nederland zelf, maar ook om op sommige terreinen internationaal de leiding te nemen of samenwerking op te zoeken. Deze ontwikkelingsbehoefte zal in hoofdstuk 8 worden vertaald in een aanzet tot een *Roadmap Vraagflexibiliteit*.



2. Visie 2030

De veranderende mix tussen fossiele en duurzame energie roept een sterke behoefte aan flexibiliteit op. Niet alleen aan de aanbodzijde, ook aan de vraagzijde bestaan er verschillende opties voor het leveren van flexibiliteit, door afstemming van het verbruik op het aanbod. Daarnaast worden energievragers in toenemende mate lokale producenten (prosumers), die zowel flexibiliteit in vraag als in aanbod kunnen inzetten. Eindgebruikers, van verschillende soorten, spelen dus een cruciale rol in het toekomstige energiesysteem, dat zich steeds verder zal vormen naar een ‘open energiediensten economie’. De eindgebruiker zal hierin niet langer alleen toeschouwer zijn, hij wordt ook een speler van betekenis.

In deze visie staat de rol van de eindgebruiker in de open energiediensten economie van 2030 centraal. Hierin schetsen we een beeld van de mate waarin consumenten in de toekomst een actieve bijdrage leveren aan ons energiesysteem. Vervolgens kijken we per eindgebruikersgroep naar de huidige trends en ontwikkelingen die mogelijk leiden tot het gewenste beeld in 2030. De mate van betrokkenheid bij het energiesysteem zal immers niet voor elke eindgebruikersgroep gelijk zijn. Een industriële partij kent andere mogelijkheden en belangen dan bijvoorbeeld een individueel huishouden. In dit hoofdstuk schetsen we daarom een visie op de bijdrage van de energieconsument aan een flexibel energiesysteem in drie sectoren: industrie, MKB/utiliteitsbouw, en huishoudens.

2.1 De ‘preferable future’: het energiesysteem van 2030...

Vanaf het strand van Bergen aan Zee is in de verte geen windmolen te zien. Windmolens staan namelijk voorbij de kim, maar wel in grote aantallen. Omgedraaid, de blik naar de duinen leert dat alle woningen voorzien zijn van PV. Dankzij de integratie van PV-systemen in bouwelementen is het originele dorpsgezicht ongeschonden. Wind- en zonne-energie hebben hun plek veroverd in het Nederlandse energielandschap. Nederland is niet meer de Europese rode lantaarndrager op dit gebied. Op een zonnige en winderige dag ademt het totale energiesysteem op een symbiotische wijze zodat alle opgewekte MWs ook meteen, of met een tussentijdse opslag, een nuttige bestemming krijgen. Bovendien zijn de prestaties van het energiesysteem dankzij de nieuwe genetwerkte structuur net zo betrouwbaar als in het verleden.

Mede dankzij het Energieakkoord is het aandeel duurzame energie in Nederland in het afgelopen decennium snel gegroeid. Dit bracht flinke veranderingen in de energiemarkt met zich mee: door de inzet van hernieuwbare bronnen was energie op bepaalde momenten ineens in overvloed beschikbaar. Door groot aanbod van elektriciteit op bepaalde momenten van de dag werden elektriciteitsprijzen volatiel en vaak extreem laag. Op zonnige, winderige dagen werd het aanbod namelijk groter dan de reguliere vraag, waardoor prijzen aanzienlijk daalden.

Inmiddels is de prijs van elektriciteit niet meer zo volatiel als aan het begin van dit decennium. Dit komt doordat de industrie van een grote inflexibele basislast verbruiker, flexibeler is gaan opereren. De industrie heeft het voordeel van het “vangen van goedkope momenten” goed geadopteerd en stuurt strak aan op momenten waar er veel goedkope wind- en zonne-energie is. Hiermee is de industrie een stuk concurrerder dan in voorgaande (gasafhankelijke) situaties. Op een aantal plekken zijn in de primaire processen zelfs succesvol elektrificatieprocessen toegepast. De meeste procesgedreven industrieën zijn echter in de secundaire schil overgeschakeld naar hybride oplossingen met verschillende vormen van opslag. Flexibele industrieën zijn een belangrijke flexibiliteitspartner geworden van de programma-verantwoordelijke partijen en van de netbeheerders. Vanwege die flexibiliteitsrol hebben toezichthouder samen met netbeheerders besloten om de flexibiliteit te verwaarden in lagere aansluittarieven voor flexibele afnemers. Hiermee werd de grootste blokkade ten aanzien van flexibiliteit in de industrie opgeheven.

Bij de huishoudens spelen Building Integrated Photovoltaic (BIPV) en elektrische auto's in 2030 een belangrijke rol. Toch blijft energiecomfort een onderwerp dat graag uitbesteed wordt aan derden. Verschillende dienstenleveranciers zijn daarom in de afgelopen jaren ingesprongen om huishoudens zoveel mogelijk te ontzorgen. Consumenten maken regelmatig gebruik van uitnodigende technologieën en blijven op deze wijze bewust van hun energiegedrag. Nagenoeg 80% van de huishoudens kan op wijkniveau tot energieneutraliteit komen. Veel huishoudens beschikken over een hybride warmtepomp en nieuwbouwhuizen worden vrijwel alleen nog van elektriciteit voorzien.

Het getrappt afschaffen van de salderingsregeling heeft ervoor gezorgd dat oplossingen zoals buffers worden beloofd. Er vindt echter geen accubuffering plaats binnen de huishoudens, maar juist een systeemchaal hierboven: in de wijk, buurt, of beter gezegd in het LEN Local Energy Network. LEN's gedragen zich als zwermen en zijn door middel van Swarm Intelligence ook nog op een hoger systeem niveau aan elkaar verbonden. Elke LEN praat door middel van eenvoudige spelregels met minstens 3 naastliggende LEN's, waarmee veel balancerings zelfsturend uitgevoerd worden tegen lage kosten

Decision Making Units kunnen inmiddels beter omgaan met het investeren in en het gebruiken van flextechnologie en het adaptieve gebruik van energie. DMU's binnen huishoudens, de industrie en het MKB hebben wat dat betreft een enorme (gedrags)verandering doorgemaakt in hoe zij met energie omgaan. Kansen ten aanzien van de ontsluiting van flexibiliteit zijn aangegrepen en belemmeringen die de actieve bijdrage van consumenten in de weg stonden zijn stuk voor stuk verholpen.

Door deze ontwikkelingen zijn eindgebruikers in 2030 de balancerende factor van het energiesysteem geworden en spelen daarmee een cruciale rol in de open energiediensten economie van de toekomst. Doordat ze deze balancerende rol vervullen, wordt alle opgewekte duurzame energie uit variabele energiebronnen, volkomen nuttig en hoogwaardig gebruikt, waardoor het verdienmodel van hernieuwbare energie is gegarandeerd en de energievoorziening kan worden verduurzaamd.

2.2 Industrie: trends en ontwikkelingen in 2015

Vanwege haar grote energieverbruik heeft de industrie een enorm potentieel voor het leveren van een bijdrage aan een betrouwbaar en stabiel energiesysteem. Onder andere door demand side management, hybridisering van de energievraag, buffering van elektriciteit en elektrificatie kunnen bedrijven in de toekomst actief inspelen op het variabele aanbod. Alle schakels in de keten kunnen hiervan profiteren: de industrie heeft lagere energiekosten, de eigenaren van de windparken krijgen een betere prijs voor hun elektriciteit (wat een drukkend effect heeft op de benodigde subsidie voor windenergie) en de programmamverantwoordelijke partijen en system operators hebben met lagere kosten te maken voor het balancerend vermogen, waardoor indirect hun klanten ook weer profiteren. Bovendien kunnen de hier beproefde systeemoplossingen als exportproduct te gelde gemaakt worden in het buitenland, waar gelijksoortige systeemoplossingen nodig zijn om de uitbreiding van wind- en zonne-energie probleemloos in het energiesysteem op te nemen. Echter, de manier waarop de industrie kan bijdragen aan stabiliteit zal erg afhangen van de rendabiliteit van technische opties, de mogelijke snelheid waarmee gereageerd kan worden op fluctuaties en eventuele beperkingen in wet- en regelgeving en tariefstructuren die hierop van toepassing zijn.

Een aantal trends worden momenteel waargenomen in de industrie:

1. *Energiebesparing.* De grotere energiegebruikers in de industrie hebben afspraken over energiebesparing afgesloten met de overheid in het Energieakkoord⁵. Dat zijn ongeveer duizend bedrijven, waarvan de meeste tot de industrie behoren. Samen dekken zij 80% van het energiegebruik van alle industriële bedrijven (exclusief elektriciteits- en warmteproducenten).
2. *Penetratie van eigen opwekking via WKK.* Nederland is samen met Finland, Denemarken en Letland koploper op het gebied van warmtekrachtkoppeling (WKK).⁶ Met warmtekrachtkoppeling wordt gecombineerd elektriciteit en warmte geproduceerd, met een hoge energie-efficiëntie. Vrijwel de gehele intensieve glastuinbouw past inmiddels WKK toe. WKK-installaties staan echter economisch onder druk vanwege de hoge gasprijs en lage elektriciteitsprijs. Naar verwachting worden tussen nu en 2020 meer installaties gesloten, terwijl daarna, richting 2030, een lichte verbetering in de marktpositie van WKK-installaties is voorzien.⁷

⁵ Sociaal-Economische Raad, *Energieakkoord voor duurzame groei. Geraadpleegd op 7 januari 2015, van http://www.energieakkoordser.nl/~media/files/internet/publicaties/overige/2010_2019/2013/energieakkoord-duurzame-groei/energieakkoord-duurzame-groei.ashx*

⁶ *Energie-Nederland, Energietrends 2014. Geraadpleegd op 7 januari 2015, van <http://www.energie-nederland.nl/wp-content/uploads/2013/04/EnergieTrends2014.pdf>*

⁷ *CE Delft, DNV GL, Toekomst warmtekrachtkoppeling en warmtevoorziening industrie en glastuinbouw. Delft, oktober 2014 - 115 pag. ,van http://www.ce.nl/publicatie/toekomst_warmtekrachtkoppeling_en_warmtevoorziening_industrie_en_glastuinbouw/1542*

3. *Verkenning van flexibilitieopties.* Binnen de industrie wordt op kleine schaal voornamelijk gekeken naar opties om elektriciteit om te zetten in andere vormen van energie (zoals Power to Heat, Power to Pressure, Power to Products). Een voorbeeld is het project Power2Products van Berenschot, CE Delft en ISPT, waarin vijf business cases voor de industrie worden uitgewerkt.
4. *Groen gas.* Een belangrijke ontwikkeling om de gasvoorziening te verduurzamen is groen gas. Dat wordt geproduceerd uit zuiveringsslib, uit stortplaatsen en uit allerlei groenten-, fruit-, plantsoen- en tuinafval.⁸ Uit de landbouwsector, voedingsmiddelenindustrie, horeca en detailhandel komen ook veel restproducten, waaronder mest. Op dit moment is het aanbod van groen gas relatief klein, maar het aandeel in de gasvoorziening neemt elk jaar toe.

Het ontwikkelen van bedrijfseconomisch aantrekkelijke opties voor de grote energiegebruikers vraagt om afspraken over zeer verschillende factoren en disciplines. Zo moeten over de financiën, de operationele uitvoering van demand side management, asset management, juridisch aspecten, verplichtingen over en weer tussen producenten, netbeheerders en gebruikers tot aan eventuele planologische consequenties van fysieke netwerken afspraken gemaakt worden. Samenwerking in de keten, financieel aantrekkelijke business cases en juiste incentives (tariefstructuren) zijn daarbij van groot belang. De verdere uitwerking van deze kansen en belemmeringen komen aan bod in hoofdstuk 6.

2.3 MKB/utiliteitsbouw: trends en ontwikkelingen in 2015

In het segment MKB/utiliteitsbouw bestaat een significant technisch potentieel voor demand side management. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de *maatschappelijke kosten/baten analyse intelligente netten*.⁹ Er bestaat een groot aantal technologische opties waarmee de elektriciteitsvraag flexibeler kan worden ingevuld. Deze concepten zijn onder te verdelen in de volgende categorieën:

- a. Energiebesparing (reduceert de verbruikspiek en is relevant op momenten met tekorten)
- b. Sturen van energie verbruikende apparatuur waarvan het moment van gebruik niet kritisch is. Bijvoorbeeld:
 - Load management van een productieproces om de piekbelasting te reduceren;
 - Slimme aansturing van installaties zoals vries- en koelmeubelen.
- c. Warmte-/koeling gerelateerde opties (hybridisering warmtevraag; dual sourcing; slimme aansturing, al dan niet met buffers), bijvoorbeeld:
 - Bijplaatsen elektrische boiler in ketelhuis;
 - Elektrische warmtepompen met koude/warmtebuffering;
- d. Decentrale opwekking opties, bijvoorbeeld:
 - Flexibel bedreven WKK installatie met een thermische buffer
 - Micro-WKK met een hoog E-rendement (Bluegen);
 - PV gevelplaten plus elektrische opslag (building integrated PV);

⁸ *Energie-Nederland, Energietrends 2014. Geraadpleegd op 7 januari 2015, van <http://www.energie-nederland.nl/wp-content/uploads/2013/04/Energietrends2014.pdf>*

⁹ *CE Delft, DNV GL, Maatschappelijke kosten/baten analyse intelligente netten, Delft, 2012*

- e. Gebiedsgerichte opties, bijvoorbeeld:
 - Ondergrondse thermische opslagsystemen (WKO) gecombineerd met warmtepomp en een lokaal warmte/koudenet
- f. Elektrisch vervoer:
 - Gestuurd laden van elektrische auto's op parkeerterreinen;

We zien dat binnen het MKB-segment en de utiliteitsbouw talrijke opties bestaan die een potentieel bieden voor vraagflexibilisering, maar dat dit in verschillende vormen zijn beslag kan krijgen. Welke configuraties favoriet worden is nu nog niet te zeggen. Een aantal trends die we zien zijn:

1. *All-electric gebouwen*. Een toenemende klantvraag naar 'all electric'-oplossingen binnen de context van een gebouw.
2. *Lokale gebiedsgeoriënteerde opties die warmte en koude combineren*. Warmte- en koudenetten met buffers op bedrijventerreinen bieden een significante flexibilitieoptie en staan centraal in het flexibele toekomstbeeld. Voor een aantal klassen utiliteitsbouw wordt de koudevraag belangrijker dan warmtevraag.
3. *Buffers en hybride energiesystemen ('dual sourcing')*. Hiermee wordt het flexibilitieaanbod vergroot, maar het is nog niet duidelijk hoever de penetratie van deze technieken zal reiken.
4. *Gasafname*. Een dominante trend lijkt wel dat de rol van (aard)gas voor verwarmingsdoeleinden zal afnemen, niet alleen in verband met CO₂-reductiedoelstellingen maar ook met prijsontwikkeling en energiebesparing.

De toepassing van flexibilitieopties en andere trends die worden waargenomen verschillen enorm per bedrijf. Verschillende factoren, zoals bijvoorbeeld de fysieke omvang van het gebouw (m² vloeroppervlakte), maar ook het aantal medewerkers, ook binnen de focusgroep van het MKB segment (bedrijven in de range 10-250 FTE) zijn van belang in het analyseren van de waarde van deze ontwikkelingen. Sommige bedrijven gebruiken een significante hoeveelheid energie in het bedrijfsproces (heavy users), zoals glastuinbouw, koel-/vriesshuizen. Andere partijen kennen juist vooral gebouwgebonden elektriciteitsgebruik voor verlichting, koeling, verwarming, luchtbehandeling (HVAC). Deze factoren komen verder aan bod in hoofdstuk 5.

2.4 Huishoudens: trends en ontwikkelingen in 2015

Het potentieel voor flexibiliteit bij huishoudens wordt momenteel vooral gevormd door verbruik dat in de tijd kan worden verschoven. Denk hierbij aan elektrische boilers, airco's, wasmachines, vaatwassers en drogers. Daarnaast ligt er een beperkt potentieel bij (mechanische) ventilatie. In de toekomst zijn er wellicht ruimere mogelijkheden, zoals het laden van elektrische voertuigen of het slim benutten van de hierin aanwezige accu's. Ook de piekvraag van de huishoudens kan worden verlaagd door de inzet van energiezuinige apparatuur. Hoewel dit geen flexibilitieoptie is, is het potentieel voor piekverlaging van dezelfde orde als vraagsturing.

De financiële en economische crisis vormen een stimulans voor de ontwikkeling van nieuwe business modellen in alle sectoren. Ook de opkomst van de 'functional economy' maakt hier onderdeel van uit. Deze economie is niet langer gebaseerd op het bezit van de 'asset', maar om de behoefte aan een specifieke dienst (geen auto verkopen, maar mobiliteit, zie Jan Jonker 'Nieuwe business modellen', Nijmegen School of Management, 2013). In de bouwsector zien we een ontwikkeling dat projectontwikkelaars en bouwpartijen zich meer en meer bezighouden met de exploitatiefase van door hen gerealiseerde gebouwen. We zien dit terug in het DBFMO-concept en in het denken in termen van de circulaire economie (denk bijvoorbeeld aan 'cradle to cradle' en het Turntoo-concept van Thomas Rau). Momenteel speelt dit zich hoofdzakelijk af in de utiliteitsbouw. Geleidelijk aan zien we dat deze trend zich uitbreidt naar de woningbouw. Denk hierbij aan de concepten die onder andere partijen als BAS Energie, KlimaatGarant in de markt zetten, waarbij voor de bewoner de energierekening wordt beperkt bij een gegarandeerd comfortniveau. Grotere partijen waaronder bedrijven uit de aannemerij, woningcorporaties, de energiebedrijven en de installatiebranche ontwikkelen zich als dienstverleners. Deze partijen krijgen daardoor een toenemend belang in de beschikbaarheid van betrouwbare en efficiënte energiesystemen. Zodra er tariefstructuren worden geïmplementeerd die een businessmodel creëren voor handel in flexibiliteit, zullen bovenbedoelde energiediensten bedrijven ook diensten ontwikkelen voor kleinverbruikers. Het is waarschijnlijker dat flexibiliteit in de huishoudelijke sector met name zal worden benut door tussenkomst van dergelijke partijen.

Daarnaast vormt de toenemende penetratie van warmtepompen een belangrijk potentieel, zeker wanneer warmtepompen worden gecombineerd met buffers voor warmtapwater en/of warmte ten behoeve van de ruimteverwarming. Warmtepompen kunnen bij gebruik van buffers kleiner worden gedimensioneerd en flexibeler worden ingezet.

In de huishoudelijke sector zien we vier grote trends in de technische aard van de energievoorziening die deels nu al op gang zijn gekomen, maar ook richting 2030 zullen doorzetten:

- *De penetratie van eigen opwekking, met name in de vorm van zon-PV¹⁰.* Het betreft hier zowel individuele als collectieve systemen, en geïntegreerde (PV in bouwelementen: gevels en glas) en niet-geïntegreerde systemen
- *De penetratie van warmtepompen.¹¹* In Europa wordt veel gewerkt aan de verbetering van warmtepompsystemen (zie IEA Heat Pump Programme). Warmtepompen worden efficiënter, goedkoper en compacter. De toepassingsmogelijkheden nemen daardoor sterk toe. Er is nota bene een annex specifiek gewijd aan de mogelijke rol van de warmtepomp als flexibiliteitsoptie.¹²
- *De penetratie van energiezuinige apparatuur.* Tot 2012 vertoonde het aardgasverbruik een sterke daling. Deze trend zal zich doorzetten vanwege de vele activiteiten op het gebied van na-isolatie in de bestaande bouw. Het elektriciteitsverbruik in de huishoudens nam tot en met 2012 toe.¹³ De penetratie van energiezuinige apparatuur zal leiden tot een stabilisatie of zelfs afname van het elektriciteitsverbruik (afgezien van warmtepompen en EV).
- *Het geleidelijk uitfaseren van aardgas in de gebouwde omgeving.* Zeker gezien de afnemende vraag is dubbele infrastructuur niet te handhaven. Inzet van aardgas in de gebouwde omgeving is een laagwaardige toepassing, die met het schaarser worden van de voorraad niet kan worden gehandhaafd. Bovendien moeten emissies vanuit puntbronnen worden vermeden en zullen uiteindelijk alleen klimaatneutrale energiedragers worden ingezet in de gebouwde omgeving. Met name de toepassing van warmtepompen houdt de optie van toepassing van warmte- en koudenetten in de gebouwde omgeving open. Levering van koude betekent comfort en verhoogt de potentie van warmtepompen als flexibiliteitsoptie.
- Daarnaast zien we een toenemende penetratie van elektrisch vervoer. Dit heeft een groot effect op enerzijds de energievraag in de huishoudelijke sector (meer vraag naar elektriciteit), en anderzijds een toename van de mogelijkheden om flexibiliteit te leveren.

¹⁰ Planbureau voor de Leefomgeving, *Het potentieel van zonnestroom in de gebouwde omgeving van Nederland. Geraadpleegd op 5 December 2015.* van http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2014-dnv-gl-het-potentieel-van-zonnestroom-in-de-gebouwde-omgeving-van-nederland_01400.pdf

¹¹ Dutch Heat Pump Association, *Statusrapportage Warmtepompen. 2014. Geraadpleegd op 9 Januari 2015.* van <http://www.dhpa-online.nl/wp-content/uploads/2011/03/Statusrapportage-Warmtepompen-2014-11-11.pdf>

¹² Delta, IEA HPP Annex 42: *Heat Pumps in Smart Grids. 2014. IEA Heat Pump Programme. Geraadpleegd op 8 Januari 2015.* van <http://web.ornl.gov/sci/ees/etsd/btrc/usnt/countryReports/NETHERLANDS.pdf>

¹³ Energie-Nederland, *Energietrends 2014. Geraadpleegd op 7 januari 2015.* van <http://www.energie-nederland.nl/wp-content/uploads/2013/04/EnergieTrends2014.pdf>

Ondanks het toenemende aantal 'prosumers' verwachten vrijwel alle deskundigen dat energie een *low involvement product* blijft. De consument is niet geïnteresseerd in de 'commodity', maar vooral in betrouwbaarheid en comfort. De consument is daarom vooral geïnteresseerd in energiediensten met een hoge toegevoegde waarde. Ondanks de toenemende penetratie van slimme meters (100% van de huishoudens in 2030) en het toenemend gebruik van actieve feedback displays kan niet worden verwacht dat het gemiddelde huishouden bereid is over langere perioden actief bezig te zijn met energiemangement. Dit betekent dat er kansen zijn voor energiedienstenleveranciers.

Als flexibiliteit een waarde krijgt (sterk afhankelijk van volatiliteit en tariefstructuren), dan zal een van de diensten het organiseren van flexibiliteit zijn (aggregators). In dit verband is het relevant om ook ontwikkelingen op andere gebieden te betrekken. De ontwikkelingen op het gebied van de sharing economy en burgerparticipatie wijzen in de richting van lokale initiatieven. Ook in de energievoorziening is er een trend naar coöperaties en lokale initiatieven. Zo is het organiseren van flexibiliteit op wijkniveau kansrijker dan op het niveau van één woning (bijvoorbeeld één accu in de wijk i.p.v. één accu per woning).

Serious gaming wordt wel als een potentiële mogelijkheid gezien om belangstelling en participatie te bevorderen; een kans is het inzetten van Persuasive Technology. Een (computer-based) agent stuurt zichzelf aan en neemt de consument bij de hand (een online avatar of robot, die mensen stimuleert om bepaalde dingen te doen, tips, adviezen, inzicht, antwoorden op vragen etc.). De gedachte van Persuasive Technology is dat mensen ondersteuning nodig hebben bij het maken van keuzes, gevolgd door een concreet handelingsperspectief. Behavioural control staat hierin centraal. Dit gaat verder dan feedback systemen die door leveranciers worden aangeboden, zoals de Toon, die alleen maar gebruikscijfers laat zien waar mensen vaak weinig mee doen. In de MKBA Slimme Netten¹⁴ kwam immers al naar voren dat slimme meter in combinatie met feedback op lange termijn niet resulteert in besparing.

Het is duidelijk dat het potentieel voor vraagverschuiving in de huishoudelijke sfeer alleen kan worden benut wanneer investeringsdrempels laag of niet aanwezig zijn, de privacy van de gebruiker is gegarandeerd, de gebruiker niet de perceptie heeft dat zijn handelingsvrijheid wordt beknopt en energie(beheer) niet te veel aandacht vereist (vergaande automatisering is dus vereist/aanbieden van geschikte technologie). In hoofdstuk 6 gaan we verder in op de kansen en belemmeringen voor huishoudens in het leveren van een actieve bijdrage aan het toekomstige energiesysteem.

In Nederland zijn bedrijven zoals Greeniant en IPSUM Energy actief. Deze bedrijven zijn in staat om op basis van analyse van het stroomverbruik van een huishouden te bepalen welke apparatuur in bedrijf is. Dit opent vele mogelijkheden voor energiemangement en voor de ontwikkeling van nieuwe diensten en verdienmodellen. Wanneer er volledig inzicht is in de inzet van apparatuur kan er gericht worden ingegrepen om het totale profiel van huishoudens te beïnvloeden. Ook wordt het mogelijk af te rekenen op basis van gebruik. Zo kan een leverancier van TV's het apparaat ter beschikking stellen zonder aanschafkosten in rekening te brengen en afrekenen op basis van gebruiksuren.

¹⁴ CE Delft, DNV GL, Maatschappelijke kosten/baten analyse intelligente netten, Delft, 2012.



3. Marktontwikkeling

Voordat dieper in kan worden gegaan op de rol van eindgebruikers in het leveren van een bijdrage aan een flexibel energiesysteem, presenteren we in dit hoofdstuk een kwantitatieve inschatting van de elektriciteitsmarkt en de prijsvorming daarop in 2030.

Om te onderzoeken in welke mate de drie eindgebruikersgroepen - huishoudens, industrie en MKB/utiliteitsbouw - een rol kunnen spelen in de toekomstige energievoorziening, is het van belang een beeld te schetsen van hoe deze voorziening er mogelijk uit kan gaan zien. Ter verkenning van deze vraag is er een aantal 'probable futures' doorgerekend die verschillende mogelijkheden ten aanzien van de energietransitie laten zien.

Door verschillende prijsscenario's als uitgangspunt te nemen ontstaat er een beeld van de markkansen die flexibiliteit zou kunnen bieden.

3.1 Scenarioselectie

Voor de marktanalyse zijn toekomstscenario's met uurlijkse prijsreeksen belangrijk omdat deze, en de volatiliteit daarvan, een beeld kunnen geven over de prijsontwikkelingen op de elektriciteitsmarkt en wat de scope is van de kansen die daaruit voortvloeien voor de eindgebruiker van energie.

Tijdens de workshop systeemintegratie op 6 januari te Wageningen is er besloten om geen gebruik te maken van de scenario's uit het recente rapport "Scenario ontwikkeling energiehuishouding 2020" voor Netbeheer Nederland (CE Delft en DNV GL, 2014). Deze scenario's zijn namelijk ontwikkeld om de effecten van beleidskeuzes t.a.v. het energiesysteem in beeld te brengen, met name voor de analyse van de effecten op infrastructuur. Hiermee passen de scenario's meer bij perceel 3 van de onderzoeksopdracht systeemintegratie. Voor het bepalen van de waarde van opslagsystemen of van het flexibel maken van de elektriciteitsvraag bij de eindgebruiker - wat vooral speelt bij perceel 2 en 4 - zijn deze scenario's minder geschikt omdat deze geen doorgerekende (uurlijkse) prijsreeksen bevatten.

Gegeven deze informatie is een viertal andere scenario's geselecteerd (zie onderstaande tabel) die de volgende eigenschappen hebben:

1. De scenario's zijn vanwege de gebruikte ENTSO-E verkenningen¹⁵ bruikbaar in een internationale context
2. De scenario's verschillen in penetratie van zon en wind. Het is belangrijk dat scenario's onderling verschillen in deze dimensie omdat dit een fundamentele onzekerheid is op de tijdschaal tot en met 2030.
3. De scenario's verschillen in de samenstelling van het conventionele park. Ook dit is een onbekende, die grotendeels niet stuurbaar is. .

De geselecteerde scenario's bevatten een doorrekening voor de Nederlandse markt op uurlijks niveau (prijsreeksen)

De voor het thema Systeemintegratie gekozen scenario's schetsen een toekomstperspectief van de energie-transitiemogelijkheden in Nederland in de periode tot 2030. De vier uitgewerkte scenario's verschillen op een aantal onderdelen van elkaar. De belangrijkste verschillen zitten in twee aspecten: de hoeveelheid intermitterende duurzame energie en de hoeveelheid en rol van fossiele opwekking.

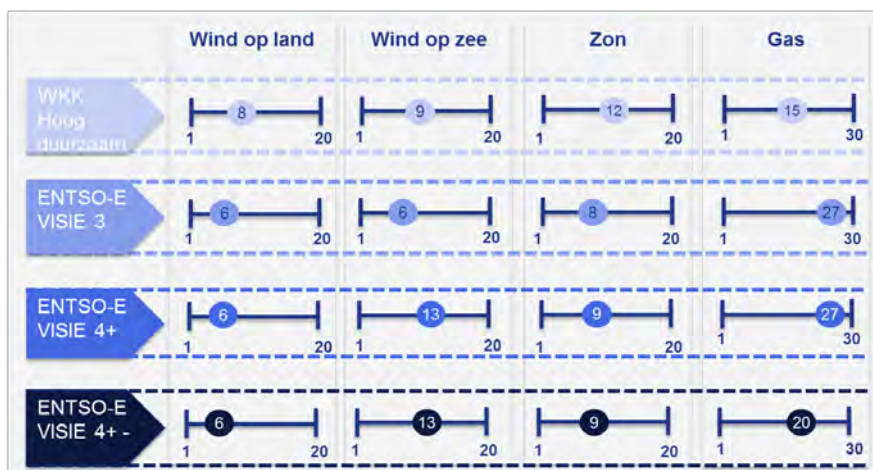
- **De hoeveelheid intermitterende duurzame energie.** Voor onze beschouwing zijn vooral de intermitterende duurzame bronnen (zonne- en windenergie) belangrijk, aangezien deze de variaties in de elektriciteitsopwekking kunnen veroorzaken die minder goed opgevangen kunnen worden bij een teruglopend aandeel fossiele opwekking (duurzame biomassa gedraagt zich in dit opzicht niet als intermitterende bron, maar meer vergelijkbaar met fossiele bronnen). Er zijn de volgende twee varianten:

- **20 GW zon en wind.** Dit is meer dan de totale elektriciteitsvraag van Nederland. Het komt overeen met een doorgroei van ca. 5 GW tussen 2023 en 2030 ten opzichte van de Energieakkoord-doelstelling in 2023 van ongeveer 15 GW (4,45 GW wind op zee, 6 a 7 GW wind op land, en circa 4 GW zon-PV¹⁶).
- **30 GW zon en wind.** Dit komt overeen met een verdubbeling van de hoeveelheid zon en wind in 2023, in slechts zeven jaar (tussen 2023 en 2030): een tamelijk ambitieuze doelstelling. Het komt ongeveer overeen met de hoeveelheid duurzame energie die is afgesproken in EU-verband voor 2030.

¹⁵ ENTSO-E, *The Ten-Year Network Development Plan and Regional Investment Plans*. 2014. Geraadpleegd op 19 december 2015, van https://www.entsoe.eu/Documents/TYNDP%20documents/TYNDP%202014/141031%20TYNDP%202014%20Report_.pdf.

¹⁶ Sociaal-Economische Raad, *Energieakkoord voor duurzame groei*. Geraadpleegd op 7 januari 2015, van http://www.energieakkoordser.nl/~media/files/internet/publicaties/overige/2010_2019/2013/energieakkoord-duurzame-groei/energieakkoord-duurzame-groei.ashx

- **De hoeveelheid en rol van de fossiele opwekking.** Voor onze beschouwing is zowel de hoeveelheid als de rol van de fossiele elektriciteitsbronnen belangrijk, aangezien dit bepaalt in hoeverre het fossiele park de variaties van de wisselende duurzame bronnen kan volgen. Per duurzame variant zijn er twee varianten genomen voor het fossiele park, alle gebaseerd op dezelfde database en rekensystematiek. Hiermee ontstaan de volgende vier scenario's:
 - **WKK Hoog duurzaam, 20 GW zon en wind.** Dit bestaande scenario staat ter beschikking als het scenario met de meeste hoeveelheid duurzame energie uit de recente WKK-studie van CE Delft en DNV GL. Het veronderstelt een teruglopend aandeel WKK, wat bovendien vrijwel volledig is geflexibiliseerd. De WKK is dan minder warmtevraagvolgend; op momenten van lage elektriciteitsprijs wordt de WKK teruggeregeld en wordt de warmtevraag anders opgewekt. Hierdoor is er relatief weinig must-run gasvermogen in het systeem en kan het fossiele park (inclusief WKK) vrij makkelijk worden teruggeregeld op momenten van veel duurzame energie.
 - **ENTSO-E visie 3, 20 GW zon en wind.** Dit bestaande scenario is ter beschikking uit studies van DNV GL. Dit gaat uit van de WKK-situatie ongeveer zoals nu, dus met relatief veel warmtevraagvolgende WKK. Daarnaast wordt uitgegaan van een flinke hoeveelheid additioneel gasgestookt reservevermogen (om variaties van duurzame energie op te vangen) wat steeds in deellast moet blijven draaien. In vergelijking met het WKK hoog duurzaam scenario geeft dit een veel groter aandeel must-run gasvermogen: dit fossiele park levert veel opvang voor momenten zonder zon en wind, maar kan minder makkelijk worden terug geregeld op momenten van veel zon en wind.
 - **ENTSO-E visie 4+, 30 GW zon en wind.** Dit bestaande scenario is hetzelfde als ENTSO-E visie 3, maar nu met grotere hoeveelheid (30 GW) zon en wind in 2030. Ook dit scenario heeft een groter aandeel must-run gasvermogen: dit fossiele park levert veel opvang voor momenten zonder zon en wind, maar kan minder makkelijk worden teruggeregeld op momenten van veel zon en wind.
 - **ENTSO-E visie 4+-, 30 GW zon en wind.** Dit scenario is een variant op het voorgaande scenario 4+, waarbij het extra gasgestookte reservevermogen achterwege is gelaten. De situatie voor gasgestookt vermogen en WKK is daardoor min of meer vergelijkbaar met de situatie van thans. Er is hierdoor minder must-run gasvermogen dan in scenario's 3 en 4+, maar meer dan in het scenario WKK hoog duurzaam.

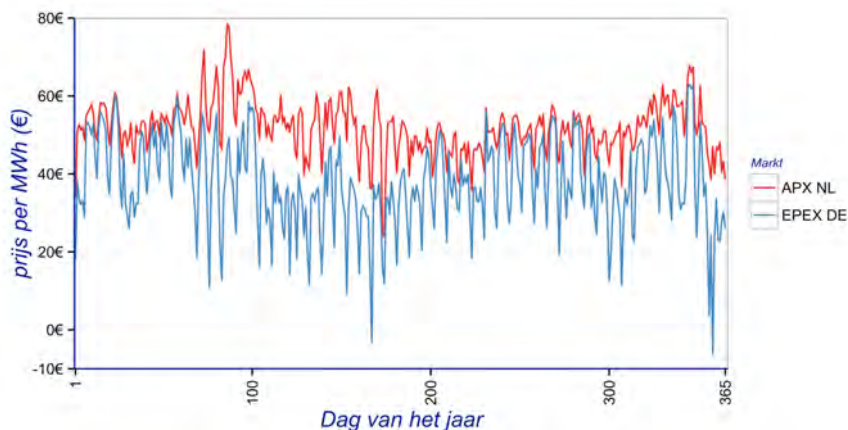


Figuur 3.1: Aandeel van wind, zon en gas per scenario (in GW)

De aangenomen prijzen van gas, kolen en CO₂ zijn voor elk scenario nagenoeg gelijk, aangezien het redelijkerwijs niet mogelijk is om verschillende varianten hiervan te verkennen. Daarentegen zijn het aandeel van zon en wind en de samenstelling van het productiepark per scenario wel verschillend. Dit is met opzet zo gestructureerd, omdat de onderzoeksopdracht zich juist wil concentreren op de veranderende mix van duurzame en fossiele energiebronnen.

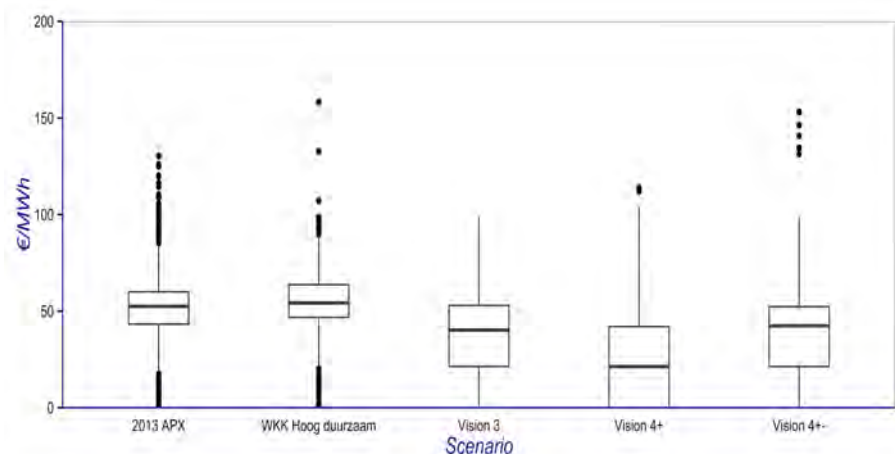
3.2 Trends in de energievoorziening van 2030

De algemene trend in elk van de scenario's is dat de Nederlandse volatiliteit richting het huidige Duitse niveau zal bewegen, waar het aandeel duurzame energie in 2012 al op 22,9% lag. Deze verschuiving komt voornamelijk doordat het aandeel duurzaam opgewekte energie steeds groter wordt in Nederland (zie doelstellingen Energieakkoord) en het aandeel in Duitsland ook blijft groeien. Naast deze groei van het aandeel duurzame energie speelt ook een sterkere koppeling van de Nederlandse en Duitse markt een belangrijke rol. Het grote aandeel duurzaam in Duitsland krijgt daardoor ook een steeds grotere invloed op de prijs in Nederland. Zie hieronder de gemiddelde dagprijzen op de spotmarkt van Nederland (APX) en Duitsland (EPEX) in 2013:



Figuur 3.2: Daggemiddelde prijzen NL (APX) en DE (EPEX) in 2013.17

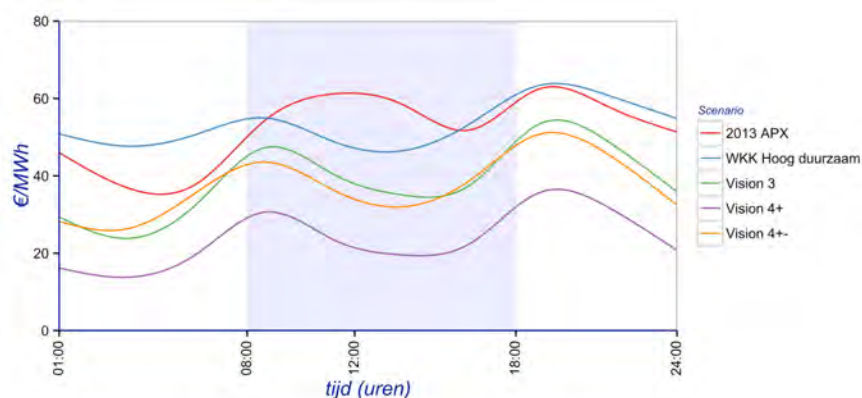
De prijsreeksen gerelateerd aan de verschillende scenario's laten zien dat de volatiliteit op de spotmarkt voor de meeste scenario's inderdaad toeneemt vergeleken met 2013. Alleen in het WKK-scenario is dit niet het geval. In dit scenario is geen must-run WKK meegenomen, waardoor het volledig variabel is. Dit beperkt de prijsuitslagen naar beneden.



Figuur 3.3: Prijs spreiding voor verschillende scenario's. Bron: prijsreeksen DNV-GL

Volgens de verwachting laten de meeste scenario's met meer duurzame opwekking, lagere gemiddelde prijzen zien en een groter aantal uren met een nulprijs. In Vision 4+ komen deze uren het vaakst voor (rond de 2600 uur).

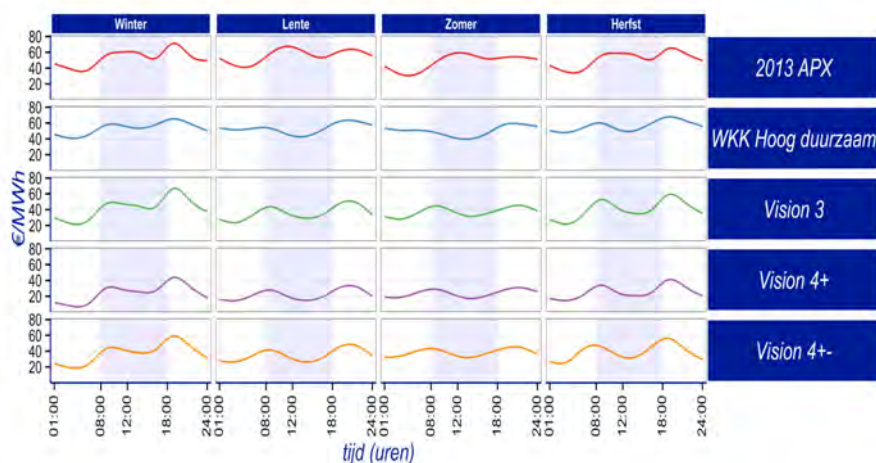
De uurgemiddelden over de dag laten in alle scenario's dezelfde curve zien. De gemiddelde prijzen verschillen in hoogte, maar het patroon blijft hetzelfde.



Figuur 3.4: Gemiddelde prijzen over de dag voor 2013 en 2030. Bron: prijsreeksen DNV-GL

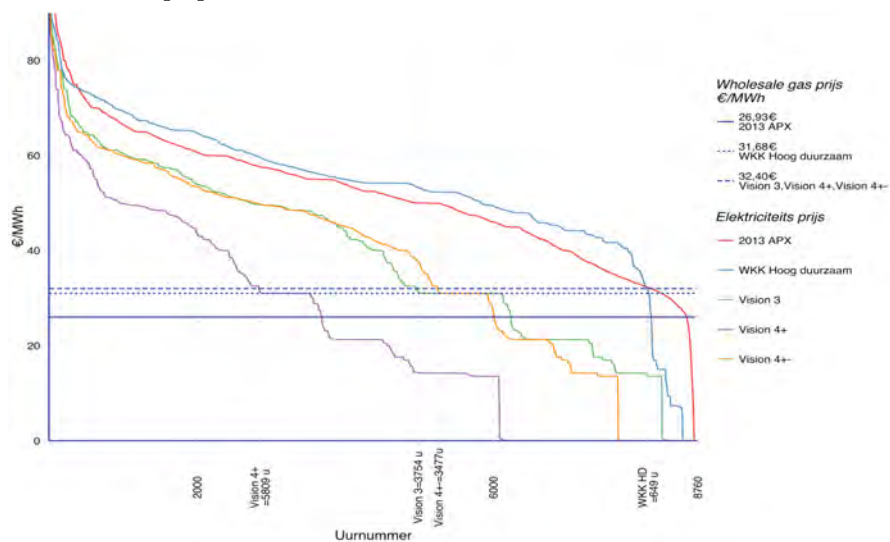
Dit betekent dat het dag plateau wat we nu nog kennen en zichtbaar is in 2013, in de toekomst waarschijnlijk zal verdwijnen. Daarnaast laten de verschillende scenario's consequent zien, dat de ochtendpiek eerder op de dag voorkomt. Het gemiddelde prijsverschil ligt tussen de 17 en 30 euro/MWh over een periode van circa zes uur.

De gemiddelde prijzen over de dag per seizoen laten zien dat er tussen de seizoenen verschillen in volatiliteit optreden.



Figuur 3.5: Gemiddelde prijzen over de dag per seizoen voor 2013 en 2030, van links naar recht respectievelijk winter, lente, zomer, herfst. Bron: prijsreeksen DNV-GL

In de winter zijn de prijzen logischerwijs hoger dan in de zomer. Daarnaast is de avondpiek ook een stuk hoger dan in de zomer. Wat betreft de volatiliteit kan er worden geconcludeerd dat deze in de herfst en winter toeneemt en in de zomer afneemt. Vergeleken met 2013 zijn de prijzen in 2030 in de lente minder volatiel. In elk van de onderzochte scenario's ligt het aantal uur per jaar dat de elektriciteitsprijzen naar 0 euro/MWh gaan hoger dan in het basisjaar 2013. Op deze momenten kan worden aangenomen dat er een overschot aan elektriciteit op de markt aanwezig is, waardoor de prijzen van elektriciteit volgens het marktprincipe dalen. Dit betekent derhalve dat op deze uren, waarbij hoogstwaarschijnlijk veel wind en zon aanwezig is, een deel van de duurzame productie niet kan worden benut. De duurzame productie wordt namelijk afgekapt bij een prijs van nul, waardoor de prijs niet verder kan dalen¹⁸. Dit onbenut potentieel is voornamelijk in Vision 4+ substantieel. oplopend tot 4,4TWh in 2030.



Figuur 3.6: Prijs duerkromme, weergeven is het aantal uur per jaar dat een bepaalde prijs zich voordoet. Bron: prijsreeksen DNV-GL

¹⁸ ENTSO-E, *The Ten-Year Network Development Plan and Regional Investment Plans. 2014. Geraadpleegd op 19 december 2015. Van https://www.entsoe.eu/Documents/TYNDP%20documents/TYNDP%202014/141031%20TYNDP%202014%20Report_.pdf*

Een belangrijke opmerking bij figuur 3.6 is dat er nog geen rekening is gehouden met flexibele vraag en aanbod van elektriciteit vanuit de eindgebruiker. Bij een overaanbod van elektriciteit zal de eindgebruiker - indien mogelijk - hierop inspelen, waardoor de prijzen niet naar nul gaan. Er zal een bodemprijs komen die hoger ligt omdat het waarschijnlijk voor verschillende flex-toepassingen rendabel wordt om in te schakelen bij een prijs boven nul. In het opvangen van overschotten van elektriciteit op momenten dat duurzame productie in volle gang is kan de eindgebruiker dus een belangrijke rol spelen. In veel gevallen kan dit voor de (industriële) consument zelfs voordelig zijn.

De prijsduurkromme laat verder zien dat in elk scenario uren voorkomen waarop de prijs van elektriciteit goedkoper is dan de prijs van gas. In het Vision 4+ scenario zal dit zelfs in 5809 uren het geval zijn, bijna een derde van de totale uren in het jaar. Op deze momenten kan dus op een flexibele manier worden ingespeeld op het beschikbare aanbod, wat naast efficiënte benutting ook economisch voordeel oplevert.

Productieaanbod en de vraag van elektriciteit zullen moeten worden afgestemd op de verschillende tijdschalen, zoals afgebeeld in het kranenmodel. De eindgebruiker kan figuurlijk aan verschillende kranen draaien om door de tijd heen flexibiliteit te leveren.

3.3 Kansen voor de rol van de eindgebruiker

Op een flexibele manier inspelen op aanbod zal naar verwachting in de toekomst op een veel uitgebreidere schaal worden ingezet dan nu het geval is. Het belang en de waarde van een flexibele vraag nemen vooral toe vanwege de toenemende variabiliteit en de onzekerheid van de totale elektriciteitsproductie, en de resulterende volatiliteit van elektriciteitsprijzen. Hierdoor zal het productieaanbod naar verwachting steeds vaker moeilijkheden ondervinden in het volgen van de elektriciteitsvraag ('load following capability'), en zal de vraag in toenemende mate het aanbod moeten volgen.¹⁹

Veel eindgebruikers zijn nog niet in de gelegenheid om flexibel in te spelen op de elektriciteitsproductie waardoor de verschillende kranen niet volledig kunnen worden benut. In deze studie proberen we de potentie van flexibiliteit van de eindgebruiker inzichtelijk te maken door zowel te kijken naar de technische mogelijkheden als de gedragscomponent van DMU's

Al met al kan men concluderen dat het vermijden van hoge prijzen of juist het opzoeken van lage prijzen een nieuwe strategische kans biedt voor gebruikers in het algemeen, en met name de industrie. Veel ondernemingen zijn echter niet bewust bezig met het formuleren van een bid-strategie" op basis van de verschillende flexibiliteitskranen en laten dus kansen om geld te besparen liggen.



Figuur 3.7: Kranenmodel Berenschot

¹⁹ Welle, A van der., Dijkstra, S., *Optimale interactie tussen marktpartijen en netbeheerders in de transitie naar smart grids*, 29 februari 2012.



4. Technische opties

Uit het voorgaande hoofdstuk blijkt dat er in de toekomstige energievoorziening kansen ontstaan als een eindgebruiker van energie een flexibele vraag kan hebben. Veel eindgebruikers kennen echter momenteel geen flexibele elektriciteitsvraag en nemen niet actief deel aan de energiemarkten. Er bestaat gelukkig een groot aantal technische opties om het gebruik van elektriciteit flexibel te maken. Deze opties zijn het onderwerp van dit hoofdstuk.

De technieken vallen grofweg uiteen in technieken waarmee elektriciteit kan worden opgeslagen voor later gebruik, en technieken waarmee de elektriciteitsvraag variabel kan worden doordat er bijvoorbeeld naar een andere energiedrager kan worden geschakeld of andere technieken waarmee de vraag flexibel wordt. Deze laatste groep oplossingen vormen de kern van deze onderzoeksopdracht, die zich richt op het onderzoek naar functionele energietoepassingen. Binnen deze categorie gaat het, toegespitst op het elektriciteitssysteem, om twee soorten opties:

1. Accommoderen van grote hoeveelheden hernieuwbare elektriciteit (dus het creëren van extra vraag als elektriciteitsprijzen laag zijn)
2. Terugregelen van de elektriciteitsvraag als er een relatief geringe productie van hernieuwbaar is (en elektriciteitsmarkten hoge prijzen laten zien).

De opslagsystemen voor elektrische energie, reeds hierboven aangestipt, zijn een bijzondere categorie en in zekere zin complementair of concurrent. Bij opslagsystemen voor elektrische energie wordt deze omgezet in een andere (tijdelijke) energievorm, waarna een retourconversie naar elektrische energie volgt als er een vraag naar elektrische energie is. Deze categorie technieken (accu's, vliegwielen, gecompriëerde lucht, etc.) zijn de expliciete focus in onderzoeksopdracht 2 ("de rol van opslagsystemen") binnen het thema Systeemintegratie. Opslagtechnieken komen - voor zover ze toepasbaar zijn bij eindgebruikers van energie - ook terug in dit hoofdstuk. Dit onderzoek richt zich in de breedte op alle opties die binnen de eindgebruikersectoren functionele waarde toevoegen én die bijdragen aan de integratie van hernieuwbaar c.q. die waarde aan het systeem toevoegen (breder dan opslagtechnieken).

Van de technische opties per eindgebruikerssegment hebben we allereerst een groslijst gemaakt op basis van de doorgenomen literatuur en expertinterviews. Vervolgens hebben we gezocht naar een logische clustering om de opties in een coherent stramen te presenteren. In een aantal workshops hebben we gestemd over het technisch en economisch potentieel. De clustering vormt de basis voor verdere uitwerking in hoofdstuk 6, waar we de markt- en gedragskant meenemen om de kansrijke opties, kansen en belemmeringen en de onderzoeksagenda mee op te stellen. In de volgende paragrafen zijn de technische opties per eindgebruikerssegment uiteengezet.

4.1 Industrie

Binnen industriebedrijven is er een groot aantal technische opties dat bij verschillende onderdelen van een typische fabriek toepasbaar is. Als we een clustering aanbrenge naar de meest voorkomende energiefuncties, dan verkrijgen we de lijst zoals gepresenteerd in tabel 4.1.

Dit betreft een overzicht van huidige en innovatieve nieuwe wijzen van energieopslag en energieomslag, toepasbaar binnen de procesindustrie in Nederland. In de tabel is ook het relevantiepotentieel aangeduid met *laag, gemiddeld of hoog*.²⁰

²⁰ Toelichting op de scoring. De score in de kolom 'relevant potentieel' is gebaseerd op een workshop waarin elektronisch is gestemd op deze opties. Iedere optie is gescoord met een cijfer van 1- 10 om het relevant potentieel om bij te dragen aan additioneel vraagflexibiliteit in de industrie aan te duiden. Het ging hier om technisch én economisch potentieel op de korte/middellange termijn (2020-2025). Het gemiddelde van alle scores was 5,6 met de laagste score 2,6 en de hoogste score een 8,7. In de tabel betekent 'Hoog' dat de gemiddelde score meer dan een 6,5 was, 'Gemiddeld' is een cijfer tusseneen 5 en een 6,5, 'Beperkt' is een score lager dan 5,0.

| ENERGIEFUNCTIE | DEELSYSTEEM, TOEPASSING | TECHNISCHE OPTIE | RELEVANT POTENTIEEL | |
|--|---|--|--|-----------|
| Proces-toepassingen, Power2Products. Variabiliseren en elektrificeren proces | Opslag producten | Opslaan (tussen-)producten, halffabrikaten | Gemiddeld | |
| | | Elektrolyse (/Power2Gas) | H2 elektrolyse (i.c.m. opslag/H2 netwerk) | Gemiddeld |
| | | | H2+ nageschakelde reacties (Power2Gas, Power2MeOH, i.c.m. opslag /netwerk) | Gemiddeld |
| | | | Chloor: omzetting NaCl tot NaOH, Cl2 en H2 (i.c.m. infrastructuur) | Gemiddeld |
| | | | Reductie van Al2O3 tot aluminium | Beperkt |
| | | | Zinkelektrolyse ZnO tot Zn | Beperkt |
| | Oppervlaktebehandeling staal | Beperkt | | |
| | Elektrische proceshitte | Chemische en metallurgische processen (bijv. elektrostaal, SiC) | Beperkt | |
| Vlamboogtechnologie (C2H2, NH3 synthese) | | Beperkt | | |
| Aandrijven | Gascompressie (Power2Pressure) | Perslucht met drukopslag | Gemiddeld | |
| | | Compressie/liquifactie andere gassen | Gemiddeld | |
| | Transport | Ventilatie (binnen toegestane marges) | Beperkt | |
| | | Pompen, vooral als er een opslag is. | Beperkt | |
| | | Stoom/electrisch gecombineerde aandrijving | Hoog | |
| Verwarmen (Power2Heat) | Warm water | Warmtepomp LT stadsverwarming, tuinbouw (i.c.m. ondervuurde boiler, WKC, opslag) | Hoog | |
| | | Elektrische boiler (i.c.m. ondervuurde boiler, WKC, opslag) | Hoog | |
| | Stoom | Elektrische stoomketel (i.c.m. ondervuurde boiler, WKC, opslag) | Hoog | |
| | | Warmtepomp, 100-150 °C (i.c.m. opslag) | Hoog | |
| | | Warmtepomp, 150 °C (of hoger, thermo-akoestisch, i.c.m. opslag) | Gemiddeld | |
| | | Meertraps indamping, i.c.m. droogproces | Hoog | |
| | Stoomhercompressie (i.c.m. ondervuurde boiler, WKC, opslag) | Hoog | | |
| | Hete lucht | Hete lucht droging, sproeidrogen | Hoog | |
| Koelen (Power2Cold) | Koelen | Koelmachines koel/vrieshuizen | Hoog | |
| | | Koelmachines koudenet industrie/utiliteit | Gemiddeld | |
| | | Combinaties van koelen en verwarmen | Gemiddeld | |
| Straling | Straling | UV – o.a. voor O3-productie / desinfectie | Beperkt | |
| | | IR – o.a. voor verwarming, droging, bakken | Beperkt | |
| Elektrische opslag (Power2Power) | Elektrische opslag | Compressed Air Energy Storage (o.a. zoutcavernes) | Gemiddeld | |
| | | Accu's, batterijen (elektrochemisch) | Beperkt | |
| | | Flowbatterijen (NaS etc.) | Beperkt | |
| | | Vliegwiel | Gemiddeld | |
| Thermische opslag ¹ | Warmte-opslag | Opslagsysteem voelbare warmte | Gemiddeld | |
| | | PCM thermische opslag | Gemiddeld | |
| | | Chemische verbinding (ab/adsorptie) | Beperkt | |

Tabel 4.1. Technische opties voor de industrie.

¹ Opmerking over thermische opslag. Thermische opslag biedt uit zichzelf geen flexibiliteit, maar maakt het mogelijk om productie van warmte en elektriciteit door WKC's gedeeltelijk of geheel te ontkoppelen, en maakt het mogelijk om een grotere hoeveelheid 'overschotten' hernieuwbare elektriciteit om te zetten in nuttig bruikbare warmte dan alleen tijdens overschotperiodes kan worden benut. Ook maakt thermische opslag het mogelijk om tijdens momenten met geringe productie van hernieuwbare elektriciteit door te draaien op eerder hernieuwbaar opgewekte warmte.

Bijlage 2 geeft een verdeling van de scores die gegeven zijn. Het valt op dat er een flink aantal opties is waar zeer verschillend over wordt gedacht: er worden over dezelfde technische optie zowel zeer lage als zeer hoge scores gegeven. Dit is opmerkelijk: sommige workshop-deelnemers zien grote kansen en een duidelijk potentieel, terwijl anderen dat potentieel veel beperkter zien. Dit kan legio oorzaken hebben, maar waar er zo verschillend over de materie wordt gedacht is het duidelijk dat er een relevante kennisvraag ligt en kennisdisseminatie meerwaarde heeft.

4.2 MKB/utiliteitssector

Voor de eindgebruikersgroep MKB/utiliteitsbouw is een inventarisatie gemaakt van flexibiliteitsopties die interessant zijn voor een groot aantal utiliteitsgebouwen op grond van kennis van de energiesystemen die van toepassing zijn. Deze lijst is aangevuld met ideeën uit interviews met deskundigen en met wat naar voren is gekomen in de workshop MKB/utiliteitsbouw en huishoudens. De techniekgroslisjt is niet uitputtend; er zijn nog heel veel andere oplossingen die specifiek toepasbaar zijn in specifieke situaties. De techniekgroslisjt hebben we geclassificeerd naar een aantal categorieën. De onderstaande tabel bevat de technologische opties (groslisjt), inclusief scoring op relevantie potentieel²¹:

| CATEGORIE | FLEXIBILITEITSOPTIES | TECHNISCH POTENTIEEL | ECONOMISCH POTENTIEEL |
|---------------------------------------|--|----------------------|-----------------------|
| Energiebesparing | Energiebesparing om piekverbruik te reduceren | Hoog | Hoog |
| Slimme aansturing apparatuur | Load management productieproces Vries- en koelmeubelen Overige apparatuur | Hoog | Hoog |
| Warmte-opties | Elektrische boiler in ketelhuis voor benutting goedkope (wind)stroom Slim gestuurde elektrische warmtepompen met koude/warmtebuffering Slim gestuurde hybride warmtepompen Absorptiekoeling (uit warmte koude maken) Elektrische kachel (incl. infraroodpanelen) Bij warmtepompen: thermische massa gebouw als opslag benutten Thermische opslag in de vorm van Phase Change Materials | Hoog | Hoog |
| Elektrisch vervoer/elektrische opslag | Gestuurd laden van elektrische auto's op parkeerterreinen Gestuurd laden van overige elektrisch transport Stationaire elektrische opslagsystemen (accu's van elektrische auto's e.d.) | Hoog | Hoog |
| Decentrale opwek | Thermische opslag met flexibel bedreven WKK Micro-WKK conventioneel PV gevelplaten plus elektrische opslag (building integrated PV) Brandstofcel (bijv. Bluegen) | Hoog | Gemiddeld |
| Gebiedsgericht | Ondergrondse thermische opslagsystemen (WKO) gecombineerd met warmtepomp | Hoog | Gemiddeld |
| Variabilisering bedrijfsvoering | Andere inrichting/verdeling personeel en tijden productieproces Variabilisering bedrijfsvoering door opslag van materiaal of tussenproducten in productieproces | Hoog | Gemiddeld |
| Conceptniveau | "Trim-back": maximaal zelfvoorzienend, eigen E-productie | Hoog | Hoog |

Tabel 4.2. Technische opties voor het MKNB/utiliteitsbouw.

²¹ De score in de kolommen 'technisch potentieel' en 'economisch potentieel' zijn een reflectie van de scores in de workshop MKB/utiliteit, waarbij elektronisch stemmen zijn gegeven over de inschatting van potentieel, analoog als bij industrie hierboven (maar nu uitgesplitst naar technisch en economisch potentieel op de korte/middellange termijn : 2020-2025). In de tabel betekent 'Hoog' dat de gemiddelde score meer dan een 7 was, 'Gemiddeld' is een cijfer tusseneen 5,5 en een 7, 'Beperkt' is een score lager dan 5,5.

4.3 Huishoudens en personenvervoer

Ook voor de eindgebruikersgroep huishoudens is een inventarisatie gemaakt van flexibiliteitsopties die binnen de huishoudens bestaan. De lijst is aangevuld met ideeën die naar voren zijn gekomen in de workshop en interviews met deskundigen. De volledige groslijst van opties binnen het segment huishoudens is weergegeven in de onderstaande tabel.

In deze tabel is ook de inschatting van technisch en economisch potentieel opgenomen.²²

²² De score in de kolommen 'technisch potentieel' en 'economisch potentieel' zijn een reflectie van de scores in de workshop huishoudens, waarbij elektronisch stemmen zijn gegeven over de inschatting van potentieel. In de tabel betekent 'Hoog' dat de gemiddelde score meer dan een 7 was, 'Gemiddeld' is een cijfer tusseneen 5,5 en een 7, 'Beperkt' is een score lager dan 5,5.

| GROEPERING | OPTIE | TECHNISCH POTENTIEEL | ECONOMISCH POTENTIEEL |
|--|--|----------------------|-----------------------|
| Energiebesparing | Energiebesparing (generiek) | Hoog | Gemiddeld |
| | Energiezuinige apparatuur aanschaffen | | |
| Sturen van energie verbruikende apparatuur | Verschuiven gebruik apparatuur die niet gebonden is aan specifiek moment | Gemiddeld | Beperkt |
| | Gestuurde regeling (slimme) warmtepompen / airconditioners | | |
| | Gestuurde regeling (slimme) close-in boilers | | |
| | Gestuurde regeling (slimme) was drogers | | |
| | Gestuurde regeling (slimme) vriezers | | |
| | Gestuurde regeling (slimme) koelkasten | | |
| | Gestuurde regeling (slimme) vaatwassers | | |
| | Gestuurde regeling (slimme) wasmachines | | |
| Warmte-gerelateerde opties | Warmtepompen i.c.m. opslag | Gemiddeld | Gemiddeld |
| | Hybride warmtepomp als brug tussen gas en elektriciteitssysteem | | |
| | Houtkachel | | |
| | Warmteopslagcapaciteit woning sterk verhogen met PCM's of opvolgers daarvan | | |
| | Nieuwe innovatieve elektrische verwarmingssystemen: infrarood, glasverwarming | | |
| | Elektrisch koken | | |
| Decentrale opwekking | Micro-WKK inclusief met thermische opslag | Gemiddeld | Gemiddeld |
| | Micro-WKK | | |
| | Afstemming oriëntatie van zon-PV systemen | | |
| | Afschakelen van PV systemen | | |
| | Windenergie | | |
| Gebiedsgerichte opties | Slimme gemeenschap (sturing apparaten binnen postcode), lokaal sturen/produceren/opslaan | Hoog | Gemiddeld |
| | Uitwisselen van energie tussen consumenten in wijk | | |
| | WKO - Warmte Koude Opslag | | |
| | Lokale warmtenetten | | |
| Elektrisch vervoer | Slimme sturing elektrische auto's | Hoog | Gemiddeld |
| | Elektrische auto ook als leverende unit (Vehicle2Grid) | | |
| | Gebruik (vervangbare) accu van de EV als opslagsysteem (stationair) | | |
| | Power2gas opslag: potentie waterstofauto | | |
| Overig | Thuiswerken | Gemiddeld | Beperkt |
| | Verkeersmodaliteiten-overstijgend reisadvies op grote schaal | | |
| | Herkomst relatie van energie (bewustwording) i.c.m. avatar/persuasive technology | | |

Tabel 4.3. Technische opties voor huishoudens.

Het is opvallend dat er naar het idee van de stakeholders die aanwezig waren bij de workshop een groot technisch potentieel bestaat, maar dat het economisch te ontsluiten potentieel duidelijk geringer is. Met name over de haalbaarheid van de flexibiliteit die met slimme apparaten te behalen is, wordt genuanceerd gedacht.

4.4 Flexibiliteitsopties buiten de energietechniek

Het is belangrijk dat het technische domein alleen niet voor flexibiliteit gaat zorgen. Veel technologische oplossingen moeten gezien worden in de context van het gedrag van een actor. Dit komt aan bod in hoofdstuk 5. Bovendien merken wij op dat ook zonder technische systemen en innovatie een flexibelere energievraag mogelijk is. Het anders sturen van bestaande processen vereist niet in alle gevallen nieuwe techniek in de zin van nieuwe installaties, maar het vergt wel aanpassing van bestaande besturingssystemen. Een lijst met flexibiliteitsopties die buiten de energietechniek vallen behelst opties op het gebied van ICT, organisatorisch, juridisch, financieel, markten, gedrag, etc.

Op het gebied van ICT wordt duidelijk dat IT-communicatieprotocollen ontwikkeld worden om aansturing van assets makkelijk te maken (een voorbeeld is de PowerMatcher™ ondersteund door de Flexible Power Alliance). Hiermee kunnen door middel van agent technologie de verschillende (clusters) apparaten (opwek en gebruik) zelf sturen en zo geautomatiseerd flex uit te nutten, in overeenstemming met het mechanisme van de vrije markt (dus niet centraal aangestuurd). Aanwezigheidsdetectie wordt momenteel gebruikt voor geschakelde verlichting, maar dit kan uitgebreid worden tot verwarming/koeling etc.

Organisatorisch wordt veel verwacht van ontzorgen: een bedrijf doet zaken met ESCO/aggregator en niet met leverancier én netbeheerder én andere partijen die een mogelijke rol spelen. We signaleren een trend van commoditymarkt naar dienstenmarkt.

Juridisch zijn contractinnovaties wenselijk waarbij gestimuleerd wordt om opwekking en gebruik op elkaar af te stemmen en flexibele afname mogelijk is (marktmodel). Thans is het zo dat regelgeving zeer belangrijk is in het gedrag van de gereguleerde netbeheerders en dit ondersteunt niet altijd flexibele oplossingen op gebiedsniveau. Verder wordt wenselijk geacht dat elektriciteit, gas en warmte eenzelfde reguleringsmethodiek krijgen.

Financieel wordt wenselijk geacht dat energiebelasting evenredig verdeeld wordt over E en G naar rato van energie in de commodity in plaats van het huidige systeem, waarbij E zwaarder is belast. Het flexibele gebruik van energie wordt nu nog niet op afnemerniveau geprijsd, dus er bestaat een wens voor realtime pricing of wellicht andere tijdsafhankelijke beprijzing. Interessant zou verder zijn als investeringen in opslagsystemen achter de meter door de netbeheerder kunnen worden gedaan waardoor een langere TVT wordt geaccepteerd. Opslagdienst wordt door markt cq klanten ingevuld. CO₂ beprijzing in enigerlei vorm kan ook helpen, en als laatste is het weghalen van de split incentives tussen gebruik en eigendom belangrijk.

Op het gebied van de **energiemarkt** speelt het beleidsvraagstuk of de energiemarkt op basis van de commodity blijft, of dat capaciteitsvergoedingen worden geïntroduceerd. Dit beïnvloedt de prijsvorming en de waarde van de flexibiliteit van de eindgebruikssectoren. Rond de markt moet ook worden opgelost hoe de tarieven flexibiliteit gaan belonen, dit betreft zowel het tarief voor transport als de facturering van de commodity. Het is zaak om eenvoudige energieproducten voor eindgebruikers te ontwikkelen zodat de eindgebruiker een vergoeding kan krijgen voor flexibiliteit dat op afroep beschikbaar is. Voor sommige groepen verbruikers (kleinverbruik LS en grootverbruik MS vanaf bepaald niveau) geldt een capaciteitstarief, waarbij hoogte van de piekafname bepalend is voor de vergoeding. Voor andere groepen verbruikers (grootverbruik, LS en MS tot bepaald niveau) geldt een tarief per volume eenheid. Beide tarieven bevatten nu geen congestiecomponent. Het is dus wenselijk om de werkelijke actuele systeemcapaciteiten te kennen, te alloceren en voor alle afnemers te beprijzen op grond van de momentane beschikbaarheid. Specifiek nog de suggestie om meerdere leveranciers op een aansluiting toe te staan, zodat nieuwe proposities op apparaatniveau mogelijk worden. Dit vergt een heroverweging van het huidige profielensysteem.

Op het gebied van (het beïnvloeden van) **flexibel gedrag** wordt de suggestie gegeven dat er wellicht veel bereikt kan worden als het uitstoten van CO₂ maatschappelijk onaanvaardbaar wordt. Energiebesparingscampagnes (licht uit bij het verlaten van de ruimte) bieden ook ruimte voor bewustwording en helpen indirect bij het flexibilisering van energiegebruik. Een onderneming met een energie-intensief productieproces kan zelf de productietijden aanpassen, met gevolgen voor de personeelsplanning. Wenselijk gedag moet wel altijd ondersteund worden met technische maatregelen. Continu inzicht geven in de bereikte effecten helpt om het gedrag te bestendigen. Op deze en andere gedragsaspecten die een rol spelen bij het ontsluiten van flexibiliteit gaan we in dit onderzoek dieper in in hoofdstuk 5.

5. Decision Making Units en gedrag

De verandering die er door de inzet van hernieuwbare energiebronnen aan gaat komen en de flexibiliteit die hiermee van eindgebruikers wordt gevraagd zal in de komende jaren vragen om een enorme gedragsverandering. Niet alleen het gedrag tijdens gebruik van producten of installaties zal veranderen, ook het gedrag bij investeringen wordt geraakt. De volatiliteit van elektriciteitsprijzen op de energiemarkt gaat zich de komende jaren ontwikkelen. De vraag of investeringen snel terug te verdienen zijn, hangt erg af van het manifesteren van prijspatronen en kan niet gemakkelijk van tevoren worden beantwoord. Bedrijven die gewend waren om zo risicoloos mogelijk te investeren met een lange tijdshorizon worden gedwongen om met lagere zekerheden te gaan werken. Percepties op deze aspecten worden hierbij erg belangrijk: welke ontwikkelingen in techniek of markt worden gesignaleerd en welke gevolgen heeft dit voor de investeringsbeslissing?

Bij een investeringsbeslissing spelen vele factoren een rol. Het belang van deze factoren en de mate waarop ze van invloed zijn op de beslissing worden bepaald door eigenschappen van de Decision Making Unit (DMU) van de actor (bedrijf/eigenaar van een installatie). DMU's verschillen onderling in beslissingsfactoren. Dit heeft gevolgen voor welke gedragsaspecten van de bedrijven dominant zijn voor de investering en operationele beslissingen om de energievraag te flexibiliseren. Zo zal voor een industrieel bedrijf de Return on Investment van een bepaald product belangrijk zijn in de aanschaf, terwijl een individueel huishouden meer waarde hecht aan de esthetiek van het product.

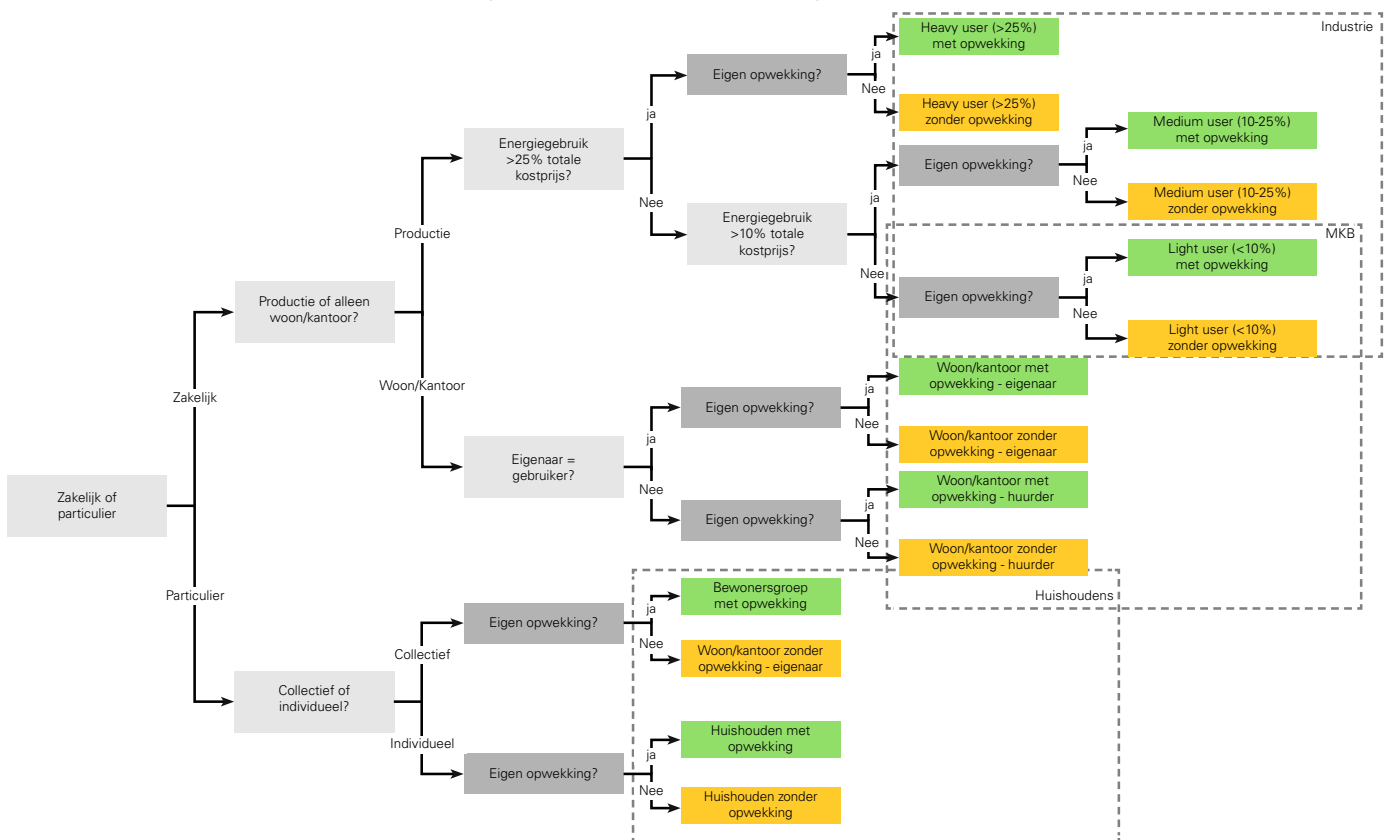
Ook binnen de eindgebruikersgroepen die wij in dit rapport aanhouden komen vele verschillende DMU's voor. Binnen dit onderzoek is het dan ook van belang om voor de verschillende eindgebruikersgroepen te kijken naar de soorten DMU's die een rol spelen en welke factoren voor elk van deze DMU's van belang zijn om flexibiliteit van de energievraag te ontsluiten.

5.1 Soorten DMU's

De aard van een organisatie of groep is in grote mate bepalend voor de manier waarop investeringen worden toegestaan of afgewezen. Allereerst bestaat er een groot verschil tussen zakelijke en particuliere DMU's, die een investering doen op basis van het belang van een organisatie of op basis van het belang van henzelf. Ook financiële afwegingen met betrekking tot energieverbruik spelen een grote rol. Als de energiekosten in verhouding groot zijn, dan is er vaak meer bekendheid met het onderwerp 'energie'. Bij deze DMU's is het te verwachten dat beslissingen om flexibeler met de energievraag om te gaan nadrukkelijker het karakter van een kosten/baten-afweging zullen kennen.

Bij bedrijven of groepen met een relatief minder groot energiegebruik is er gemiddeld minder deskundigheid en betrokkenheid bij het onderwerp. Bij deze groep DMU's zijn er redenen waardoor het potentieel voor demand side management minder gemakkelijk van de grond zal komen. Energie is hier vaak een low involvement product: het is er altijd nagenoeg zonder onderbrekingen (hoge leveringszekerheid); en het is relatief goedkoop (slechts een paar procent van de totale kosten). Voor deze DMU's is het rationeel om niet teveel beslissingskracht/energie in afwegingen te stoppen. Bij huishoudens bijvoorbeeld is ontzorging belangrijk, waarbij de flexibelere systemen geen merkbare impact op het comfort van het gebruik mogen hebben. Dit zal grenzen stellen aan het potentieel van verschillende DMU's, maar het vraagt ook om een nieuwe configuratie van de keten.

Figuur 5.1 geeft een in dit onderzoek ontwikkeld schematisch overzicht van de verschillende DMU's die wij in dit onderzoek onderscheiden en de eindgebruikersgroepen waaraan deze DMU's gelinkt zijn.



Figuur 5.1: Schematisch overzicht van verschillende DMU's

Zoals in dit figuur is aangegeven, onderscheiden we binnen de groep energieconsumenten niet alleen verschillende eindgebruikersgroepen, maar ook bepaalde verfijningen die binnen deze groepen kunnen leiden tot andere investeringsbeslissingen. Zo kan bij elke eindgebruikersgroep sprake zijn van eigen opwekking van energie (via bijvoorbeeld WKK of PV), waarmee de incentives voor het gedrag tijdens gebruik of bij investeringen zullen veranderen. Hetzelfde geldt voor de mate van eigendom van een gebouw of product: wanneer de gebruiker niet tegelijkertijd de eigenaar is, zullen er 'split-incentives' meespelen, waarbij de gebruiker geen financiële baat heeft bij verandering van zijn gedrag. Ook dit heeft invloed op het gedrag van een DMU. Voor elk van bovenstaande DMU's zijn andere factoren bepalend bij het nemen van een beslissing.

5.2 Gedragsfactoren

Wanneer het gaat om gedrag onderscheiden we investeringsgedrag van het zogenaamde 'routinegedrag' in het gebruik van energie en energieverbruikende apparatuur. De ervaringen op het gebied van 'klassieke' energiebesparing laten bijvoorbeeld zien hoe moeilijk het is om kleinverbruikers te bewegen tot investeren, ook al zijn de besparingen groot, de investeringen rendabel en is er vaak sprake van comfortverbetering. Het routinegedrag van de consument, of zijn perceptie op onbekende factoren, is in deze situaties vaak bepalend.

Binnen dit onderzoek is een analyse gedaan van het belang van verschillende gedragsfactoren bij DMU's van de drie eindgebruikersgroepen die leidend zijn in dit rapport. Met behulp van drie workshops met experts uit verschillende segmenten is per DMU getoetst welke factoren dominant zijn bij het maken van beslissing. In dit onderzoek zijn factoren op technisch, economisch en sociaal gebied onderverdeeld, zoals weergegeven in tabel 5.1.

| CATEGORIE | SUB ASPECT | FACTOR |
|------------------|-----------------------------|--|
| Technisch/fysiek | Inpasbaarheid | Compatibiliteit technologie met bestaande energiehuishouding/systemen |
| | Ruimte/esthetisch | Ruimte voor plaatsing/footprint |
| | | Mooi design/vorm/kleur/textuur |
| | TRL | Robuustheid technologie |
| Economisch | Bedrijfseconomisch aanschaf | Bruto investeringsbedrag |
| | | Netto investeringsbedrag (incl subsidie) |
| | | ROI (op basis van factoren gebruik en onderhoud); verwachting van uptime |
| | | Risicoanalyse |
| | | Duurzaamheidsdoelen: MJA-MEE targets of andere doelen |
| | Bedrijfseconomisch gebruik | Werkelijke kosten/ baten |
| | | MTBF/MTTR |
| Sociaal | Individueel | Aan/afschakelbaar |
| | | Kennisniveau technieken |
| | | Perceptie op kosten en baten |
| | | Vuistregels op investeringsbeslissingen |
| | | Risico perceptie |
| | Institutioneel | Reductie onafhankelijkheid suppliers |
| | | Lange termijn onafhankelijkheid |
| | Bijdrage maatschappij | |
| | Collectief | Peer pressure – ‘mate waarin anderen het ook doen’ |

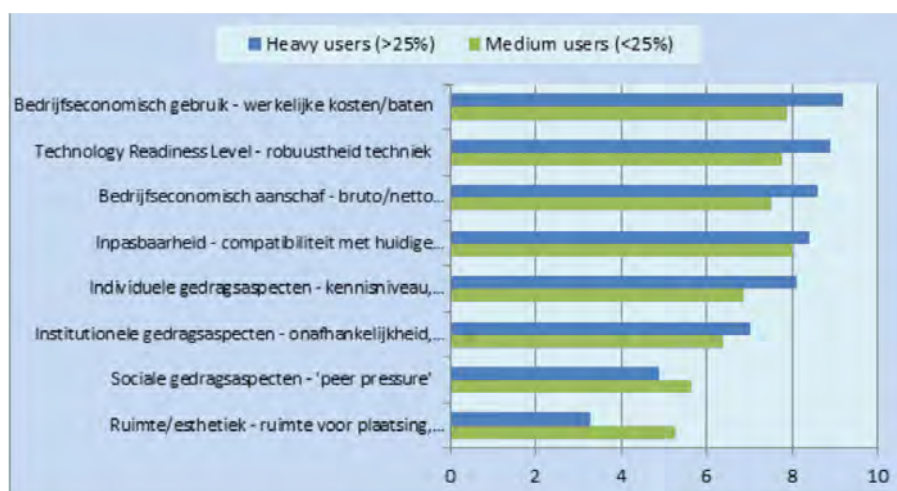
Tabel 5.1. Gedragsfactoren per categorie.²³

Onderstaande paragrafen schetsen een beeld van de verschillen tussen de eindgebruikersgroepen bij het waarderen van deze beslissingsfactoren.

5.2.1 Industrie

Wat opvalt bij de analyse van investeringsbeslissingen binnen de industrie, is dat zowel bedrijfseconomisch gebruik als de robuustheid van de technologie belangrijk zijn, voornamelijk voor de zogenaamde ‘heavy users’, waar het aandeel energiekosten >25% van het totaal is. Zoals figuur 5.2 laat zien worden deze factoren verreweg het hoogst gescoord.

²³ CE Delft (2006): zachte instrumenten voor energiebesparing (2006) (<http://www.ce.nl/publicatie/energiebesparingsgedrag/472>) Ajzen, I. (1985): *The Theory of Planned Behavior*. Rogers, E. (2003). *Diffusion of Innovations*, 5th edition.

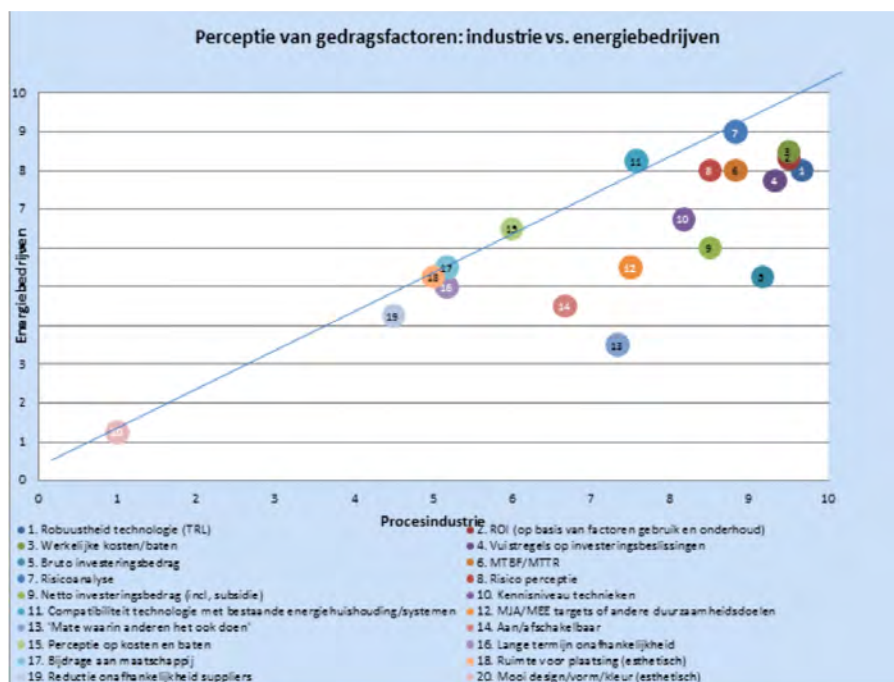


Figuur 5.2: Gedrag in relatie tot investeringen: industrie (scoring workshop)

Sociale aspecten zijn voor heavy users binnen de industrie echter minder belangrijk en ook esthetiek speelt nauwelijks rol bij het nemen van een investeringsbeslissing. Bij de medium users is hierin een klein verschil merkbaar: hier wordt de compatibiliteit van de technologie met bestaande energiesystemen hoger gewaardeerd en ook wordt de waarde van esthetiek hoger ingeschat (hoewel deze factor nog steeds als laagst wordt gescoord).

Dit beeld laat zien dat industriële partijen voornamelijk beslissingen nemen op basis van bedrijfseconomische voordelen, zoals de return on investment en een kosten/baten analyse van de investering. Hierbij maakt het aandeel van energiekosten in totale kosten een verschil: bij grootverbruikers spelen kosten en baten een grotere rol dan bij middelgrootverbruikers. Ook TRL-niveau wordt belangrijker naarmate het aandeel van energiekosten stijgt; dit geldt zeker voor must-run bedrijven. Hoe moeilijker het wordt om de productie op- en af te schakelen, hoe belangrijker de betrouwbaarheid van de technologie.

Een ander interessant beeld ontstaat wanneer de perceptie van de industrie met betrekking tot gedragsfactoren wordt vergeleken met de perceptie van energiebedrijven. Figuur 5.3 laat zien in welke mate de perceptie van energiebedrijven ten opzichte van belangrijke factoren voor de industrie afwijkt van de perceptie van de industrie zelf. Met andere woorden, wat is volgens energiebedrijven belangrijk voor de industrie en in hoeverre komt dit overeen met het beeld van de industrie zelf?



Figuur 5.3: Perceptie van gedragsfactoren: industrie vs. energiebedrijven (scoring workshop)

Wanneer energiebedrijven en de industrie qua perceptie volledig op één lijn zouden zitten, dan zou in dit figuur een diagonale lijn zichtbaar moeten zijn. Hierin zijn echter flinke uitschieters waarneembaar. Bovenstaande analyse laat bijvoorbeeld zien dat 'peer pressure' (nr. 13) door de industrie als belangrijker wordt ervaren dan de energiebedrijven denken. Daarnaast wordt ook het bruto investeringsbedrag (nr. 5) door de industrie hoger gescoord dan energiebedrijven denken. Dit figuur laat dan ook zien dat verschillende stakeholders op een andere manier tegen gedragsfactoren aankijken en ook een andere invulling geven aan de waarde van bepaalde factoren ten opzichte van de eindgebruikersgroep zelf.

5.2.2 MKB/utiliteitsbouw

Ook binnen het segment MKB/utiliteitsbouw zijn interessante bevindingen waarneembaar. Allereerst bestaat er een groot verschil tussen de verschillende DMU's die onder deze eindgebruikersgroep vallen, waarbij voornamelijk de medium users compleet anders scoren in vergelijking met light users en DMU's die alleen woon- of kantoorruimten bezitten.



Figuur 5.4: Gedrag in relatie tot investeringen: MKB/utiliteit (scoring workshop)

Ook in deze categorie geldt: hoe hoger het aandeel van energiekosten op het totaal, hoe belangrijker de bedrijfseconomische factoren worden. Hierbij is het interessant dat in deze categorie zowel bedrijfseconomisch gebruik als bedrijfseconomisch aanschaf als zeer belangrijk worden ervaren. Ook speelt - net als bij de industrie - het Technology Readiness Level bij deze groep een grote rol.

Bedrijven met een hoog aandeel van energiekosten op het totaal verschillen daarnaast in hoe professioneel er wordt omgegaan met energie, wat zich in gedragsaspecten uit die cruciaal zijn voor de investering en operationele beslissingen:

- Bij bedrijven met een fors energiegebruik (als aandeel in de totale kosten) is er vaak meer focus op energiekosten vanuit het dagelijkse bedrijfsproces en is er dus meer bekendheid met het onderwerp. Bij deze groep bedrijven is het te verwachten dat beslissingen om mee te doen aan DSM nadrukkelijker het karakter van een kosten/baten-afweging zal zijn.
- Bij bedrijven met een relatief minder groot energiegebruik is er gemiddeld minder deskundigheid en betrokkenheid bij het onderwerp. Bij deze groep bedrijven zijn er zeker redenen waardoor het potentieel voor DSM minder gemakkelijk van de grond zal komen. Energie is vaak een *low involvement* product: het is er altijd nagenoeg zonder onderbrekingen (hoge leveringszekerheid); en het is relatief goedkoop (slechts een paar procent van de totale bedrijfskosten). Dit maakt het rationeel om niet teveel beslissingskracht-/energie in afwegingen te stoppen.

Wanneer het gaat om kleinere energiegebruikers, worden sociale gedragsaspecten steeds belangrijker. De 'mate waarin anderen het ook doen' worden voor deze DMU's bijvoorbeeld belangrijker dan voor de grootverbruikers. Hetzelfde geldt voor de esthetiek van het product. Bij deze factoren wordt de relatie met de eindconsument kenmerkender. Hoe dichter de DMU bij de eindconsument staat, hoe belangrijker factoren zoals design, vorm, duurzaamheid en peer pressure worden. In deze categorie in speelt marketing immers een grotere rol dan bij pure business-to-business ondernemingen, waarin energiegebruik doorgaans groter is vanwege het verschil in primaire processen.

Een belangrijke verfijning binnen het MKB betreft de mate van eigenaarschap. Voornamelijk in woon/kantoor situaties is de gebruiker van het gebouw vaak niet de eigenaar. Dit betekent dat in deze gevallen split-incentives optreden, zoals eerder benoemd. Waar voor de gebruiker factoren zoals esthetiek belangrijker zijn, maakt de eigenaar vaak beslissingen op basis van bedrijfseconomische factoren. Bij de investering in flexibiliteitstechnieken zullen er voor de gebruiker echter minder prikkels zijn om rekening te houden met deze bedrijfseconomische factoren. Deze DMU's zullen dan ook op verschillende manieren handelen.

5.2.3 Huishoudens

Bij het segment huishoudens wordt een compleet ander beeld geschetst dan bij de voorgaande, zakelijke groepen.



Figuur 5.5: Gedrag in relatie tot investeringen: huishoudens (scoring workshop)

In dit segment valt op dat factoren zoals kennisniveau en perceptie op kosten en baten, voornamelijk voor het individuele huishouden van belang zijn. Hierin wordt ook het routinegedrag weer zichtbaar: gedrag van een huishouden wordt niet zozeer gedreven door daadwerkelijke kosten en baten, maar op de perceptie van de gebruiker op de kosten en baten en zijn/haar individuele kennisniveau. Dit laat bijvoorbeeld zien dat (voor kleinverbruikers) relatief onbekende producten, of een verouderde perceptie op deze producten, sneller zullen leiden tot een negatieve investeringsbeslissing.

Ook de esthetische waarden, 'peer pressure' en de bijdrage aan de maatschappij spelen voor (voornamelijk individuele) huishoudens een grotere rol dan voor de twee voorgaande groepen. Dit resultaat insinueert dat particuliere eindgebruikers meer worden gedreven door emoties bij het maken van een investeringsbeslissing.

Wanneer een particulier huishouden ook prosumer is, zal betrokkenheid bij een duurzame energievoorziening groter zijn en worden factoren zoals compatibiliteit en werkelijke kosten/baten belangrijker. Een prosumer is zich immers bewuster van zijn/haar energieverbruik en zal zich actiever bezig houden met monitoring en besparing.

Binnen Alliander, betrokken bij 7 proeftuinen, zijn dwars op de proeftuinen expertisegebieden gedefinieerd. Op het gebied van gebruikersbenadering is dit MIES (Menselijke Interactie Energie Systemen). In een gesprek met Alliander kwamen de volgende punten naar voren:

- Het is van groot belang open te staan voor de behoeften van de eindgebruiker. Vaak worden oplossingen bedacht van achter het bureau (push) en is er te weinig aandacht voor de wensen van de eindgebruiker (pull).
- Er zou meer sprake moeten zijn van co-creatie. Ook is het van belang vanuit welke partij diensten en producten worden aangeboden. In termen van de participatieladder (zie bijlage) moet worden ingezet op de hoogste treden.
- Gedragsbeïnvloeding dient rekening te houden met emoties.

Bron: Interview met Liander

Uit nadere analyse van de verschillende DMU's blijkt dat beslisfactoren, waarop een investering wordt gebaseerd, onderling afwijken van elkaar. Met name de afstand tot de consument in de keten en de mate van energieverbruik zijn bepalend bij de afweging tot investeren. Verder wordt er door zakelijke gebruikers anders tegen flexibiliseren van vraag aangekeken dan particulieren gebruikers. Industriële gebruikers hechten meer waarde aan robuustheid en bedrijfseconomisch gebruik terwijl huishoudelijke gebruikers esthetiek en inpasbaarheid belangrijk vinden. Daarnaast zijn huishoudens gevoeliger voor sociale druk van buitenaf, men vergelijkt zichzelf met anderen en stemt daar het gedrag op af. Zakelijke gebruikers redeneren meer vanuit economische rationaliteit. Dat gegeven, gecombineerd met het feit dat het lijkt dat de energiewereld haar (belangrijkste) klanten niet goed kent, is belangrijk om te constateren. Bij het verder door ontwikkelen van de roadmap gaat het dan ook om andere dan harde technologische en bedrijfseconomische criteria. Die dienen minstens even veel aandacht te krijgen en soms wellicht juist meer.

5.3 Belangrijkste bevindingen

De relevante decision making units verschillen sterk tussen de eindgebruikssegmenten maar ook daarbinnen. Verschillende gedragsfactoren beïnvloeden de wijze waarop investerings- en operationele beslissingen worden genomen op verschillende manieren. DMU's kunnen worden geclassificeerd aan de hand van het onderscheid particulier/zakelijk en intensiviteit van het energiegebruik voor het productieproces: aandeel in de kostprijs, mate van eigen opwek (prosumer).

Voor sommige DMU's is energie een *high involvement* product ("close to core"), en voor andere DMU's is energie een *low involvement* product, waarbij niet-financiële gedragsaspecten belangrijker worden. Bij alle DMU's blijken individuele en institutionele gedragsaspecten een rol te spelen, soms zelfs een erg belangrijke. Dit zijn bijvoorbeeld niet-financiële factoren zoals kennisniveau technieken, perceptie op risico's/kosten/baten, vuistregels ten aanzien van hoe met investeringsbeslissingen wordt omgegaan, *peer pressure* (de mate waarin anderen het ook doen) en ruimte/esthetiek.



6. Kansrijke opties

6.1 Inleiding

Voor een grote en actieve rol van de eindgebruiker van energie hebben we in de voorgaande hoofdstukken de verschillende dimensies van *markt*, *techniek* en *gedrag* de revue laten passeren. Over de *marktontwikkeling* hebben we in hoofdstuk 3 geconstateerd dat in meerdere doorgerekende scenario's de volatiliteit van de energieprijzen hoger lijkt dan in het recente verleden het geval was. Hierbij is vooral de grotere neerwaartse volatiliteit interessant. Het in een aantal scenario's verwachte frequente optreden van momenten met lage elektriciteitsprijzen (veroorzaakt door grote hoeveelheden zon en wind) biedt vanuit de markt een prikkel voor de eindgebruiker van energie om zijn energievraag maximaal af te stemmen op die momenten, wanneer de productie van hernieuwbare elektriciteit maximaal is²⁴. In hoofdstuk 4 hebben we vervolgens voor de verschillende eindgebruikssegmenten een groot aantal *technische opties* geïnventariseerd waarmee deze extra elektriciteitsvraag geacommodeerd kan worden. Deze opties zijn in workshops aangevuld, bediscussieerd en geprioriteerd op het relevante potentieel. Vervolgens hebben we in hoofdstuk 5 gezien dat de samenstelling van de eindgebruikssectoren sterk verschilt tussen de *Decision Making Units (DMU's)*, en dat er diverse *gedragsfactoren* zijn die van invloed zijn op hoe het besluitvormingsproces verloopt. Bedrijfseconomische zaken, zoals de ROI of de terugverdientijd, zijn heel belangrijk voor sommige DMU's maar minder belangrijk voor andere DMU's. Sociale aspecten zoals de mate waarin anderen het ook doen, spelen ook altijd mee.

Deze verschillende deelanalyses – markt, techniek, gedrag – trekken we in dit hoofdstuk door om tot een analyse van de *kansrijke opties* te komen. Voor de meest kansrijke opties zoomen we in op de waarde van de opties in termen van potentieel voor flexibiliteitslevering, waarde van de eindgebruiker en de waarde voor het systeem, *de bijdrage* die de opties kunnen leveren in systeemintegratie (bijv. balancing, flexibiliteit, voorzieningszekerheid), *kansen en knelpunten* die ontstaan bij het ontsluiten van het potentieel, alsmede de globale *behoefte voor verdere ontwikkeling*: wat zou nodig zijn om de kansen verder te kunnen ontwikkelen en de gesignaleerde knelpunten weg te nemen?

²⁴ Prikkel kunnen, afhankelijk van of ze positief of negatief zijn, verschillend doorwerken. Een analyse van deze prijselasticiteiten is niet in dit onderzoek opgenomen maar wel interessant om te onderzoeken.

Daarnaast komt de (internationale) ontwikkelingsstatus van de optie naar voren, onder andere via de Technology Readiness Level.²⁵

Voor de analyse in dit hoofdstuk hebben we relevante technologieën geclusterd aan de hand van hun technische eigenschappen en typisch toepassingsgebied. De analyse doen we op het niveau van de clusters.

6.2 Industrie

Binnen de industrie is in paragraaf 4.1 een groot aantal technieken gepresenteerd waarmee de elektriciteitsvraag kan worden geflexibiliseerd. Op grond van de overeenkomsten in toepassingsgebied en techniek onderscheiden we de volgende overkoepelende clusters:

- Power to Products
- Power to Cold
- Power to Heat: E-boilers, weerstandsverwarming
- Power to Heat: stoomrecompressie, HT-warmtepomp

Naar verwachting zijn dit de meest kansrijke opties die we verder uitwerken.

6.2.1 Power to Products

Het omzetten van elektriciteit naar producten of halfabricaten is de letterlijke vorm van 'Power to Products'. Als dit flexibel wordt gedaan, dus gestuurd door het aanbod en de prijs van elektriciteit, dan is dit een flexibiliteitsoptie voor het elektriciteitssysteem, maar dat vergt dus een flexibilisering van het hele productieproces. Het bedrijf ESD-SIC in Delfzijl, producent van siliciumcarbide, is het geëigende voorbeeld van een bedrijf dat dit doet: de elektriciteitsvraag is voor 90% of meer geflexibiliseerd. Het produceren van siliciumcarbide vergt veel elektrische energie voor het bereiken van de zeer hoge temperaturen. Omdat het mogelijk is de elektrische stroom enige uren te onderbreken, kan ESD-SIC goed inspelen op momenten van veel aanbod en/of een lage prijs van elektriciteit, waarbij de prijsvorming op verschillende markten (day-ahead en onbalans) wordt betrokken in de bedrijfsvoering.

Een belangrijke voorwaarde voor het omzetten van elektriciteit naar producten is dat het proces ruimte voor een flexibel bedrijf moet bieden. De procesinstallaties moeten beschikken over ruimte in termen van productiecapaciteit of in de vorm van tijd. Een productieproces dat nagenoeg het gehele jaar volcontinu op het maximale outputniveau draait, kan moeilijk flexibel worden bedreven. Het doel is te zoeken naar mogelijkheden om (meer) te produceren als de elektriciteit relatief goedkoop is en minder te produceren als de elektriciteit relatief duur is. Voor sommige bedrijven is het rendabel om de productie geheel af te schakelen om de energiebalans op het net te faciliteren. Zie nevenstaand een casus in Amerika waar dit al gebeurt.

Leggett & Platt is Noord-Amerika's grootste onafhankelijke producent van onderdelen voor bedden, residentiële- en kantoormeubilair, tapijt, staaldraad, en autostoel frames. Dankzij software van EnerNOC heeft Leggett & Platt kosten-batenanalyses uit kunnen voeren om te berekenen wat de beste manier is om demand response bij hun productiefaciliteiten toe te passen. Ten gevolge hiervan stoppen twee productiefaciliteiten in Texas tijdelijk delen van hun productielijn en een faciliteit in Illinois stopt tijdelijk de productie in een draadwalserij. Hierdoor zijn ze in staat om 11 MWe aan energiereductie te faciliteren, met een responsetijd van 10 – 30 minuten. Voor het deelnemen in demand response ontvangt Leggett & Platt een vergoeding van \$400.000 per jaar van EnerNOC.²

² *Enernoc, case-studie Leggett a platt makes enernoc part of its national manufacturing operations. Geraadpleegd op 29 januari 2015. van <http://www.enernoc.com/our-resources/case-studies/leggett-a-platt-makes-enernocpart-of-its-national-manufacturing-operations>*

²⁵ *Opmerking over de TRL: deze geeft zuiver technisch de marktrijpheid van een technologie aan maar zegt niets over de marktadoptie: veel technieken zijn technisch wel bewezen en ook commercieel toegepast in bijvoorbeeld nichetoepassingen, maar nog wel te duur voor opschaling tot grote marktsegmenten. Als technieken te duur zijn voor mainstream is het moeilijk om opschaling te bewerkstelligen. Dit zullen we als knelpunt benoemen.*

Het toepassen van flexibiliteit is sterk afhankelijk van het bedrijf en de aard van het productieproces. Implementatie van Power to Products maakt op het eerste gezicht in ieder geval kans bij bedrijven die werken met batchprocessen, maar het kan ook bij continuprocessen. Wel is van belang dat de aard van het proces en de aanwezige productie- en opslagcapaciteit het mogelijk moeten maken om in de tijd te verschuiven.

Kansen

Het gebruik van elektriciteit voor de opslag in producten/halffabricaten een bedrijf de elektriciteitsrekening verlagen. Door op momenten van een lage energieprijis te produceren worden de kosten van het productieproces verlaagd. Een andere kans is om ook cross sectoraal te gaan kijken. De restgassen die de staalindustrie produceert kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt bij processen in de chemische sector waar deze gassen nodig zijn. Op deze manier levert productie ook een CO₂ reductie op.

Belemmeringen

De investeringskosten voor opslag en vaak additionele productiecapaciteit zijn kostprijsverhogend per eenheid product hetgeen, indien niet gecompenseerd door opbrengsten, effect heeft op de internationale concurrentiepositie. Deze extra kosten voor opslag in bijvoorbeeld silo's zijn dus een belangrijke component in het vaststellen van een rendabele business case. Power to Products is dus het meest kansrijk bij bedrijven waarbij de kosten voor energie per eenheid product zeer fors zijn. Als andere kosten domineren, bijvoorbeeld kapitaalskosten voor de productie-installaties, dan zijn die belemmerend, omdat een bedrijf die CAPEX minimaliseert door maximaal te produceren wanneer dat mogelijk is.

Daarnaast stelt de industriële sector zich enigszins conservatief op wat betreft het verrichten van aanpassingen aan het productieproces in verband met risico's op de aspecten health, safety, environment en quality (HSEQ). Een sterkere koppeling van flexibiliteit met het primaire productieproces vergt daarnaast een nieuwe manier van denken en werken binnen het bedrijf. De dagelijkse productieplanningen moeten mede worden gebaseerd op basis van marktverwachtingen van de APX day ahead markt, en wellicht wordt de besturing van de fabriek daarnaast ook (deels) overgenomen door IT-systemen die informatie uit de intraday en onbalansmarkt haalt om productiebeslissingen op te baseren. Kennis van de ontwikkeling op elektriciteitsmarkten wordt een integraal onderdeel van de dagelijkse bedrijfsvoering.

Een andere belemmering wordt gevormd door de organisatie van het productieproces in relatie tot de productieketen. Als het bedrijf volledig is ingericht volgens JIT (just-in-time production), lean manufacturing of andere concepten manufacturing resource planning/operations research, dan is de sturen op een nieuwe exogene grootheid (de elektriciteitsprijs) een slechts een van de vele factoren waarop wordt geoptimaliseerd. Het is dus denkbaar dat grote veranderingen van de elektriciteitsprijs niet sterk van invloed zijn op het operationele gedrag van het productiesysteem. Echter als blijkt dat de productieplanning van het dominante bedrijf in een productieketen wel wordt aangepast, dan zijn er vaak ook effecten op de up- en downstream partijen, omdat dit soort bedrijven vaak keten-geïntegreerd produceren.

| POWER TO PRODUCTS | |
|----------------------|---|
| Potentieel | Het potentieel van het opslaan producten/halffabricaten als flexibiliteitsoptie verschilt per proces. Het potentieel is groot als de elektriciteitsvraag van het productieproces voor bijvoorbeeld 80-90% kan worden gereduceerd, zoals bij de siliciumcarbideproductie in Delfzijl, dan gaat het om 50-70 MW voor een enkel bedrijf. Bij dit soort productieprocessen is er dus zeer veel potentieel. Maar veel bedrijven hebben minder mogelijkheden om de productie en de elektriciteitsvraag terug te regelen als de stroomprijs hoog is. |
| Tijdschaal | Typerende tijdschaal: een aantal uren per dag. In bijzondere gevallen kan het ook over langere termijnen gaan (seizoenschaal: meer produceren in de zomer dan in de winter bijvoorbeeld) en over korte termijnen, inspelen op de onbalansmarkt, regelen per minuut. SiC: minuut-halve dag |
| Beschikbaarheid | Zowel opregelen als afregelen valt hieronder. |
| Waarde eindgebruiker | Verbeteren van kostenpositie, door actieve sturing het inkopen van dure uren vermijden. Daarnaast een CO ₂ footprint effect: door een productiepatroon te volgen dat bijdraagt aan de inpassing van hernieuwbare energie wordt bijgedragen aan de energietransitie. |
| Waarde systeem | Kan relatief economische optie zijn om de systeembalans te handhaven. Als lokaal /regionaal opgewekte hernieuwbare energie direct kan worden gebruikt in het productieproces dan draagt dit bij aan het voorkomen van congestie op het net. |
| Kansen | Verminderen van de energiekosten Doordat hernieuwbare energie wordt geacommodeerd verbetert dit de inpassing van grote opgestelde vermogens wind en zon, waarmee de transitie wordt ondersteund. |
| Belemmeringen | Beschikbaarheid van overcapaciteit in de productiecapaciteit is een voorwaarde. Investeringskosten (kosten voor productie overcapaciteit en opslag). Gedrag is gericht op de core business, kennis van de mogelijkheden op de elektriciteitsmarkten is beperkt. Dagelijkse productieplanningen aan moeten passen op elektriciteitsmarkten. Perceptie van risico op impact van productkwaliteit en/of HSEQ gevolgen voor installaties Organisatie van de productieketen (JIT, lean etc.) |
| TRL | Wisselt per proces. Veelal TRL 9 in geval van productopslag, het kan lager zijn bij processen die tot nu toe alleen volgens een vlak profiel opereren. |
| Opmerkingen | Sterk afhankelijk van bedrijf en aard van het proces. Eenvoudigst toepasbaar bij batchprocessen. |

6.2.2 Power to Heat: e-boilers, weerstandsverwarming

Het omzetten van elektriciteit in warmte heeft bij reguliere elektriciteitsprijzen hogere kosten dan het gebruik van veel andere bronnen, zoals het verbranden van (aard-)gas. Echter als de elektriciteitsprijzen zeer laag zijn, dan biedt een flexibel inzetbare 'Power to Heat' installatie wel een kostenvoordeel om dan in te schakelen, om gebruik te maken van deze momenten van goedkope elektriciteit. Power to Heat installaties creëren op deze momenten een extra elektriciteitsvraag. Het theoretisch potentieel van Power to Heat met E-boilers in de Nederlandse procesindustrie is naar verwachting circa 6 GW_e. (CE Delft, 2014²⁶), binnen de context van het elektrische systeem dus zeer significant. Omzetting van elektriciteitsoverschotten in warmte is toepasbaar bij alle bedrijven met een warmtebehoefte in temperatuurgebied tot 260 °C/45 bar.

²⁶ CE Delft, 2014. Match van vraag en aanbod. Denktank vernieuwing energiemarkt, bijlage 2. Van: http://www.ce.nl/ce/notities_denktank/824 (januari 2014)

Kansen

Power to Heat kan op systeemniveau een zeer grote flexibilisering van de vraag betekenen, op de momenten van lage elektriciteitsprijzen (vaak samenvallend met grote hoeveelheden wind-/zonnestroom). De techniek wordt al reeds toegepast en heeft zich al bewezen, het wordt onder andere toegepast in Denemarken en Duitsland en in niche-toepassingen (bv. booreilanden).

Voorbeelden van in het buitenland geïnstalleerde installaties zijn gegeven in Agora (2014)²⁷. Agora heeft een onderzoeksrapport gewijd aan de mogelijkheden voor Power to Heat om de energietransitie (Energiewende) te faciliteren, omdat het een belangrijke techniek is die in potentie veel afschakeling van wind en zon kan voorkomen (zie bijlage 4 voor een overzicht).

Belemmeringen

Naarmate er meer partijen inspringen op deze markt worden de opbrengsten waarschijnlijk minder omdat er – net als bij de toepassing van andere flexibiliteitsopties – kansen zijn dat de markt tot een hogere prijs komt. De business case van Power to Heat voor een onderneming lijkt op grond van nu bekende gegevens, rekening houdend met de verschillende scenario's, op korte en middel lange termijn niet rendabel te zijn. Voor het slagen van Power tot Heat zal de terugverdientijd voor de gebruikelijk IRR rond de 3 jaar moeten zijn.

Naast de investeringskosten vormen de netwerkkosten op dit moment ook een belemmering voor de implementatie van e-boilers. Aan overschrijding van de piekvraag zijn forse kosten verbonden waardoor het niet rendabel is om op sommige tijden meer elektriciteit af te nemen van het net.

²⁷ *Power-to-Heat zur Integration von ansonsten abgeregeltem Strom aus Erneuerbaren Energien, 2014.*

POWER TO HEAT: E-BOILERS, WEERSTANDSVERWARMING

| | |
|----------------------|---|
| Potentieel | Elektrische stoomketel, elektrische warmwaterboiler, heteluchtdroging. Potentieel elektrificeren industriële warmtevraag technisch ca. 6 GWe (op basis van stoomvraag in temperatuurgebied tot 260 °C, hoger is mogelijk). Potentieel hete lucht sproeidrogers in de zuivelindustrie bedraagt ca. 130 MWe. |
| Tijdschaal | Variërend van uren tot enkele dagen |
| Beschikbaarheid | Alleen geschikt voor opregelen (momenten met goedkope elektriciteit) en doorgaans niet voor afregelen |
| Waarde eindgebruiker | Het stelt de eindgebruiker in staat in te spelen op de behoefte aan flexibiliteit. Daarnaast verduurzaamt het productieproces (MVO)? Door afname windelektriciteitoverschotten? Basislast kern-/kolencentrales draaien ook door... |
| Waarde systeem | Biedt hoge mate van flexibiliteit. Draagt bij aan opheffen congestie op het net wanneer lokale duurzame energie wordt afgenomen |
| Kansen | Bewezen technologie en in grote vermogens beschikbaar. Levert een bijdrage aan verduurzamen van producten wanneer er overschotten van duurzame bronnen worden ingezet. Goed stuurbaar en schakelbaar. Additionele stoomvoorziening vergroot betrouwbaarheid van processen. |
| Belemmeringen | Vereist specifieke inpassing op utility niveau. Terugverdientijd investering te lang voor industrie terwijl maatschappelijke bijdrage wel belangrijk is. De nettarieven (transportcapaciteit en kWmax tarief) kunnen prohibitief zijn voor de business case. Kan piekbelastingen en congestie op lokale netten creëren of soms ook oplossen. |
| TRL (1-10) | Techniek: 9: al commercieel verkrijgbaar |
| Opmerkingen | Biedt grote kansen voor Nederlandse industriebedrijven, zeker als de netaansluiting al groot genoeg is. |

6.2.3 Power to Heat; stoomrecompressie, HT-warmtepomp

Bij stoomrecompressie wordt er gebruik gemaakt van stoomcompressoren om de stoom van lage kwaliteit op te werken naar een hoger energieniveau en druk zodat deze niet verloren gaat. Stoomrecompressie gebruikt het principe van een elektrische warmtepomp, waarbij de druk en temperatuur van de stoom stijgt door het toevoeren van elektrische energie in de mechanische compressiestap.

Het potentieel van stoomrecompressie voor de Nederlandse procesindustrie is nog niet goed in kaart gebracht, maar gezien de warmtevraag is een elektrisch potentieel van 1 GW goed voorstelbaar. Het potentieel van de HT-warmtepomp binnen de procesindustrie hangt erg af van de ontwikkeling die de inpasbaarheid bepaalt.

Power to Heat via stoomrecompressie wordt soms Power to Pressure genoemd, maar we beschouwen het eerder als een thermische techniek: van laagwaardige naar hoogwaardige warmte. Stoomrecompressie heeft een groot toepassingspotentieel als er een aanbod is aan lagedrukstoom, en dat is het geval in de procesindustrie met een stoomcyclus.

Kansen

Stoomrecompressie van een overschot aan stoom met een beperkte tot geen economische waarde is technisch goed haalbaar. Daarnaast is het economisch ook interessant vanwege de hoge toegevoegde waarde; één eenheid elektriciteit levert bijna tien eenheden warmte.²⁸

²⁸ DWA, Inventarisatie kansen Power to Storage Zuid-Nederland. Geraadpleegd op 9 december 2015. van http://www.dwa.nl/?detail_id=12227&father=7

Door deze methode op te nemen in het productieproces wordt fors bespaard op de energie voor stoomproductie en levert het een bijdrage aan kostenverlaging en verduurzaming van de producten die worden gefabriceerd.

Stoomrecompressie is een uitstekende combinatie met industriële WKK installaties. Door stoomrecompressie toe te passen kan een WKK installatie flexibel gemaakt worden, zodat de WKK-installatie alleen in bedrijf is als de stroomprijs gunstig is. Dit combineert goed met een energiesysteem waarin variabele hernieuwbare energie een belangrijke bijdrage levert aan het systeem en waarin het verdienmodel van mustrun-WKK's sterk onder druk staat.²⁹

Belemmeringen

De terugverdientijd voor Power to Heat met stoomrecompressie hangt erg af van de gasprijzen en de momenten (frequentie x duur x delta) van lage stroomprijzen.

De investeringskosten zijn (significant) hoger dan e-boilers, daarentegen verdient deze techniek zich terug bij een kleinere delta tussen gasprijs en stroomprijs door het hogere rendement. In sommige situaties wordt stoomrecompressie nu als continuproces gebruikt (>8000 uren per jaar) - dan is het geen flexibel inzetbare techniek.

| POWER2HEAT: STOOMRECOMPRESSIE, HT-WARMTEPOMP | |
|--|--|
| Potentieel | Potentieel stoomrecompressie onbekend, orde ca 1 GWp? Hangt af van beschikbaarheid lagedrukstoom en technische configuratie van de bestaande HT stoomopwekking. Het kan ook meer zijn (opgesteld vermogen aan must run WKK in de procesindustrie is anno 2015 iets minder dan ca. 2 GW). Tevens potentieel voor toepassing van een grootschalige warmtepomp van ca. 200 MWe voor de basislast van stadsverwarming (in de winter dus een stuk meer!) |
| Tijdschaal | Variërend van uren tot enkele dagen |
| Beschikbaarheid | Vooral geschikt voor opregelen en minder voor afregelen maar dit hangt af van het bedrijfsregime. Als de stoomrecompressie volcontinu wordt ingezet dan is het geen flexoptie. |
| Waarde eindgebruiker | Het stelt de eindgebruiker in staat om in te spelen op de behoefte aan flexibiliteit. Daarnaast verduurzaamt het productieproces (MVO) bij toepassing van DE overschotten. De COP van de oplossing (efficiency) is met 10 heel hoog waardoor de energie-efficiency sterk verbetert. Direct financieel voordeel door besparing op energiekosten, zeker bij hogere gasprijzen. |
| Waarde systeem | Biedt hoge mate van flexibiliteit. Draagt bij aan opheffen congestie op het net. Energie-efficiency winst en verbetering voorzieningszekerheid (afname aardgasvraag) |
| Kansen | Bewezen technologie en in grote vermogens MWe beschikbaar. Levert een bijdrage aan verduurzamen van producten. Goed stuurbaar en schakelbaar |
| Belemmeringen | Vereist specifieke inpassing op utility niveau. Terugverdientijd investering te lang voor industrie terwijl maatschappelijke bijdrage wel belangrijk is. Gezien de investeringsomvang is het ook toepasbaar in continu-last situaties |
| TRL (1-10) | Techniek: stoomrecompressie: 9 (commercieel). HT warmtepompen tot 150 °C: 4-8 (demo), HT warmtepompen tot 100 °C: 9 (commercieel) |
| Opmerkingen | CAPEX intensief. Verdienmodel op basis van alleen kapitaliseren op lage elektriciteitsprijzen is wellicht kritisch. |

²⁹ CE Delft, DNV GL, Toekomst warmtekrachtkoppeling en warmtevoorziening industrie en glastuinbouw. Delft, oktober 2014. van http://www.ce.nl/publicatie/toekomst_warmtekrachtkoppeling_en_warmtevoorziening_industrie_en_glastuinbouw/1542

6.2.4 Power to Cold

Proceskoeling (met compressiekoeling) is een onderdeel van een aantal productieprocessen, onder andere in Rotterdam. Het kan gaan om bijvoorbeeld liquefactie van gasen of bv. vriesprocessen. De koelvraag in de procesindustrie is redelijk stabiel en gekoppeld aan de productieprocessen. Naar verwachting neemt de elektriciteitsvraag van koeling buiten de procesindustrie duidelijk toe, want bijvoorbeeld de koel- en vrieshuizen zijn een relevant toepassingsgebied in het MKB/utiliteitssegment (zie 6.3.2). In de supermarkten- en levensmiddelenketen is van belang dat steeds meer producten gekoeld worden, wat een stijgende koelvraag in de gehele productieketen geeft.

Power-to-Cold voor Carlsberg

Voor de wijk Carlsberg Byen in Kopenhagen is men bezig met een koudenet voor twee voorraadvaten van elk 2.000 m³ inhoud. Deze vaten worden gevuld met koude door compressiekoelmachines die draaien in nachturen en bij een overschot aan windenergie. De omgekeerde beweging, Power-to-Heat, is in Denemarken al populair vanwege het veelvuldig voorkomen van elektriciteitsoverschotten.³

Railx is een landelijk transport-, logistiek- en distributiebedrijf in de Verenigde Staten.

Dankzij een energiemanagementsysteem wordt energieconsumptie gedurende piekperiodes gestuurd door deel te nemen in een geautomatiseerde demand response programma. Een voorbeeld van geautomatiseerde demand response binnen het bedrijf, is het flexibel schakelen van 20.900 m² aan koelfaciliteiten. Geschatte kostenbesparingen is \$ 32.000 met een besparing van 300 kW per piekperiode.⁴

Power to Cold is een flexibiliteitsoptie indien de koudevraag flexibel ingevuld kan worden, bijvoorbeeld door van een bepaald inertieprincipe (thermische massa) of een thermische buffer (bijv. met koudeopslag in fase-overgang) gebruik te maken.

Het totaal beschikbare potentieel van flexibele Power to Cold in de industrie is nog niet in kaart gebracht. Uit onderzoek blijkt dat afhankelijk van de configuratie vrieshuizen 50% of meer load kunnen verschuiven.³⁰ Als het in de operatie relatief makkelijk is te implementeren, dan is het wel de verwachting dat deze flexibiliteit reeds is uitgenut op basis van de prijsverschillen dag/nacht bijvoorbeeld.

In een aantal productieclusters en gebieden bestaan koudenetwerken of zijn die denkbaar. Door koude te genereren op momenten van lage elektriciteitsprijzen kan er uiteindelijk worden bespaard op de energierekening.

Bij een overschot aan wind in de vorm van elektriciteit is het ook mogelijk om koel- en vrieshuizen 's nachts een graadje dieper te koelen dan normaal, zodat tijdens de piekuren overdag de koelmachine niet hoeft te worden aangezet. Volgens onderzoek "Night Wind" van TNO is dit een mogelijke manier om elektriciteit uit duurzame bronnen tijdelijk op te slaan.

Verder zijn er in de Verenigde Staten al partijen die gedurende een piekperiodes flexibel schakelen met hun koelfaciliteiten.

Kansen

Door koude op te slaan en te gebruiken wanneer nodig draagt deze vorm bij aan het terugdringen van het elektrische energieverbruik tijdens piekuren, waardoor er dan minder energievraag is voor het net. Vrieshuizen zijn bij uitstek geschikt om gebruik te maken van schommelingen in de elektriciteitsprijs. Daar waar koelhuizen vanuit kwaliteitsoogpunt maar zeer beperkt temperatuurschommelingen kunnen toestaan, kunnen vrieshuizen daar prima mee omgaan.³¹

³ Warmtenetwerk, *Power-to-Cold voor Carlsberg*. Geraadpleegd op 14 februari 2015. van <http://www.warmtenetwerk.nl/home/nieuws/warmtenetwerk-nieuws-september-2/>

⁴ SCE, *Case study Railx*. Geraadpleegd op 10 februari 2015. Van https://www.sce.com/wps/wcm/connect/109348ba-7680-43f6-839f-6b7651b583ff/CaseStudy_Railx_AA.pdf?MOD=AJPERES

³⁰ Sluis, S.M. van der, *Night Wind. Opslag van elektriciteit in koel- en vrieshuizen*. TNO Bouw en Ondergrond, Delft. 2009.

³¹ *Demand response - kansenverkenning onder enkele MJA sectoren*, Movares 2014

Belemmeringen

Aan ondergrondse koudeopslag zijn veelal langdurige vergunningstrajecten verbonden, zeker als het gaat om opslag die niet altijd in balans is. Er is vaak veel tijd verloren gegaan voordat de vergunning daadwerkelijk wordt verleend.

| POWER TO COLD | |
|----------------------|--|
| Potentieel | Koudeopslag voor koelprocessen. Kan grootschalig worden toegepast bij koel- en vrieshuizen en bij andere partijen met koudebehoefte in het productieproces |
| Tijdschaal | Urbasis tot tijdschaal van meerdere dagen of langer |
| Beschikbaarheid | Zowel opregelen als afregelen is mogelijk |
| Waarde eindgebruiker | Lagere energiekosten door lagere energiekosten kosten voor koeling. Minder geluidsproductie |
| Waarde systeem | Draagt bij aan terugdringen energieverbruik tijdens piekuren en dan minder energievraag voor het net. |
| Kansen | Economische vorm van opslag in grotendeels bestaande installaties. |
| Belemmeringen | Hogere investeringskosten (installatie en hoge temperatuurkoeling). Complexere installatie met complexere regeling. Moeilijker toepasbaar in bestaande gebouwen Bij nieuwe WKO vergunningen nodig |
| TRL (1-10) | Techniek: 9: al commercieel toepasbaar |
| Opmerkingen | |

6.3 MKB/utiliteitsbouw

In deze paragraaf gaan we dieper in op de kenmerken van verschillende techniek-groepen voor flexibilisering van de elektriciteitsvraag die eerder in paragraaf 4.2 zijn gepresenteerd. De analyse doen we niet op het niveau van de individuele technische opties maar op het niveau van de clusters van technische opties. De meest kansrijke clusters zijn:

- Energiebesparing
- Warmte-/koude-gerelateerde opties en hybride warmte-opties (elektrische boilers naast conventionele; gas-warmtepomp; hybride warmtepomp;)
- Sturen van energie verbruikende apparatuur: tijd/prijs-gestuurd gebruiken van apparaten, processen, machines (inclusief ICT)
- Decentrale opwekoptyes: gestuurde opwek uit micro-WKK, fuel cell, zon-PV, optimaliseren converter
- Gebiedsgerichte opties die lokaal optimaliseren: interactie tussen gebruikers via warmtenet. *Deze optie wordt behandeld bij het segment huishoudens.*
- Elektrische opslagopties, zelfstandig of in auto's (Vehicle2grid; gestuurd laden EV's)

6.3.1 Energiebesparing

In de utiliteitssector is een groot potentieel voor energiebesparing. Indicatief is voor verschillende energietoepassingen 10-30% besparing mogelijk door het treffen van maatregelen die economisch rendabel zijn tegen commerciële elektriciteitsstarieven en financieringscondities. Als we alleen al de energiefunctie verlichting nemen, die universeel aanwezig is. Over het geheel van de dienstensector is verlichting verantwoordelijk voor 32% van het elektriciteitsverbruik ECN (2014)³². ECN (2014) rekende verder uit dat over het totaal van de hele utiliteitsbouw 64% besparing mogelijk is (technisch besparingspotentieel van 29 PJ). Het overgrote deel hiervan (18 PJ) is rendabel (binnen 5 jaar terug te verdienen)³³.

Kansen

Energiebesparing draagt bij aan het verminderen van de piekbelasting. Het is daarentegen geen techniek die flexibel ingezet kan worden en zo kan helpen om de overschotten hernieuwbare energie te accommoderen, maar het verlagen van de piekvraag van het eindgebruik draagt wel (significant) bij aan de leveringszekerheid en balanshandhaving op momenten dat er weinig productie van hernieuwbare energie is. Daarnaast draagt het reduceren van het totale energiegebruik bij aan het halen van de doelstellingen voor het aandeel hernieuwbare energie in de energievoorziening. Ook wordt er voor het systeem veel waarde gecreëerd in termen van uitgespaarde CO₂ emissie, vergrote voorzieningszekerheid, reductie van importafhankelijkheid van fossiele energiebronnen, kostenreductie voor het MKB en bijdrage aan werkgelegenheid.

Belemmeringen

Het blijkt dat energiebesparing op basis van een berekening van de directe kosten en baten vaak rendabel lijkt te zijn, maar het komt in de praktijk niet van de grond. Er is een groot aantal belemmeringen waardoor dit geval is, waaronder:

- Veel energiebesparingspotentieel is niet zichtbaar voor de eindgebruiker (split incentive). Als er geen probleem ervaren wordt, dan wordt ook niet gezocht naar alternatieven/oplossingen.
- Als het potentieel voor energiebesparing wel gezien wordt, dan is het low-priority omdat het in de sfeer 'nice to have' valt voor een bedrijf, in plaats van core business. Dit geldt voor het grote deel van de MKB/utiteit bedrijvigheid, maar er zijn deelsectoren die uiteraard een uitzondering zijn, want er zijn ook DMU's waar energie vanwege het aandeel in de productiekosten als 'core to our business' wordt benoemd. Dit zijn onder andere koel- en vrieshuizen; en datacenters.
- Routinematig gedrag speelt een rol en is moeilijk te doorbreken (bijvoorbeeld uitzetten verlichting)
- Investerings voor energiebesparende maatregelen zijn vaak niet los financierbaar

³² ECN (2014). *Verbetering referentiebeeld utiliteitssector*. Petten: ECN <https://www.ecn.nl/publicaties/ECN-E--13-069>, laatst geraadpleegd op 10 maart 2015.

³³ Dit potentieel is handhaafbaar onder de Wet milieubeheer (natuurlijk moment)

Zie verder de opmerkingen in paragraaf 6.3.2 over belemmeringen bij warmte opties. De *split incentive* en de *problematiek m.b.t. de investeringscyclus* zijn belangrijk.

| ENERGIEBESPARING | |
|----------------------|--|
| Potentieel | Verschildt sterk per vestiging. Besparing in verlichting bijna 4 TWh vermindering van de elektriciteitsvraag (obv. 212 mln m ² bruto vloeroppervlakte kantoren, retail, zorg, onderwijs in gebruik). Dit is 3% van de Nederlandse elektriciteitsvraag of 9% van die op LS/MS niveau. (Berekeningen CE Delft). |
| Tijdschaal | Alle; geen flexibiliteit |
| Beschikbaarheid | Energie-efficiënte oplossingen kennen geen wezenlijk andere beschikbaarheid dan de huidige technologie. Verlichting vooral overdag en tijdens de avond-piek. Ventilatie idem. |
| Waarde eindgebruiker | Kostenreductie op energierekening: zowel commodity als variabel tarief bij grootzakelijke klanten LS/MS. |
| Waarde systeem | Afname van gebruikspiek, vlakker afnamepatroon. |
| Kansen | Er zit nu al een financiële incentive, veel potentieel dat in zuiver bedrijfseconomisch opzicht rendabel is. |
| Belemmeringen | Diverse (gedragsmatige) belemmeringen bij gebruikers waarbij energiekosten niet dominant zijn, waardoor het potentieel niet van de grond komt, is groot bestaand aandachtspunt in milieuzorg en actueel ook gezien invulling energiebesparingsambitie SER-akkoord |
| TRL | meestal 9 |
| Opmerkingen | HF en LED verlichting hebben een levensduur dan oudere oplossingen, en dit geeft een additionele operationele besparing. Daarnaast ook vermindering energievraag voor gebouwkoeling. |

6.3.2 Warmte-/koude-gerelateerde en (hybride) warmte opties

Warmte-/koude gerelateerde technieken (Power to Heat/ Power to Cold en hybride opties waarbij ook gas een rol speelt zoals WKK-systemen en de hybride warmtepomp) zijn binnen het segment utiliteitsbouw een zeer belangrijke groep technieken omdat verwarming en koeling vaak een significant deel van de totale gas- en elektriciteitsvraag betreffen.

Voor WKK en de inpassing daarvan, zie 6.3.3 decentrale opwek opties.

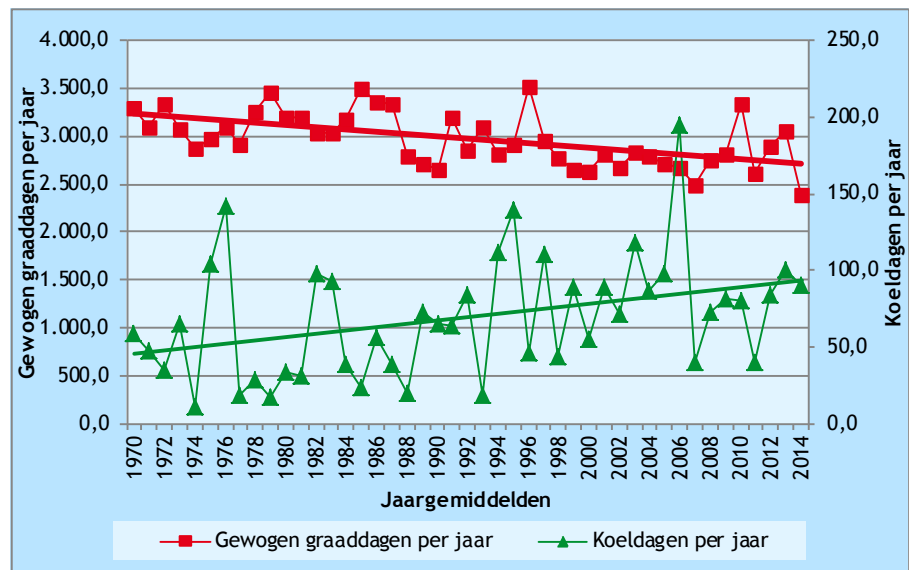
Koeling

In de utiliteitsbouw neemt in verband met de toenemende isolatiegraad en de temperatuurontwikkeling van de laatste jaren (zie de groene lijn in figuur 6.1) de energievraag voor comfortkoeling toe. In de supermarkten worden steeds meer producten gekoeld, wat een hogere koelvraag in de gehele levensmiddelenketen geeft. Datacenters zijn een groeiende sector, maar de behoefte aan mechanische koeling neemt daar naar verwachting minder toe doordat er meer van natuurlijke koude bronnen gebruik zal worden gemaakt.

Buitenlandse ervaring met gestuurd schakelen van warmte/koude-systemen

In diverse landen is veel ervaring met time-of-use prijssystematieken die het doel hebben de elektriciteitsvraag voor ruimteverwarming of –koeling beheersbaar te maken, in onder andere de V.S., Frankrijk, Zwitserland en andere landen in Europa. De installaties worden op basis van een elektrisch stuursignaal geschakeld op goedkope stroom. Een voorbeeld hiervan is de weerstandsverwarming systemen met een thermische buffer in de vorm van keramisch materiaal dat wordt opgewarmd gedurende de nacht, en gedurende de dag de hitte af kan geven. Deze systemen zijn allemaal automatisch geschakeld om de eindgebruiker te ontzorgen, en zorgen niet voor comfortverlies. In Nederland waren dit soort systemen ook gebruikelijk (elektrische boilers ingeschakeld op nachtstroom).

In de V.S. is in bijvoorbeeld Californië veel aandacht om de middag/avondpiek van airconditioningsystemen te reduceren. Daar wordt vaak gebruik gemaakt van een dagelijks prijsverschil (time-of-use pricing) aangevuld met critical peak pricing voor de heetste uren van het jaar. Tijdens critical peak pricing is de stroomprijs 20x hoger dan normaal, dus dit heeft veel effect. Er is nog maar beperkt ervaring van het effect van realtime pricing. Zie ook het tekstkader in 7.2.



Figuur 6.1: Stook en koelvraag uitgedrukt in graaddagen en koeldagen, 18oC koel/stookgrens, Schiphol.34.

De koudevraag kan flexibel ingevuld worden door van een bepaald inertieprincipe (thermische massa) of een thermische buffer met een technologische component (bijv. met koudeopslag in fase-overgang) gebruik te maken. Binnen gebouwssystemen zijn dit vaak ijsslurries, zeker als de gebouwkoeling met lage temperaturen werkt. Koudemiddelen met faseovergang op hogere temperaturen zijn in ontwikkeling. Het totaal beschikbare potentieel van flexibele Power to Cold in de utiliteitsbouw is nog niet in kaart gebracht. Zoals in 6.2.4 al genoemd laat Laborelec (2013³⁵) zien dat, afhankelijk van de configuratie, vrieshuizen 50% of meer load kunnen verschuiven maar dat het veel geringer is bij andere systemen, zoals de continue koeling van producten.

Warmteopties

Bij hybride warmtepompsystemen wordt een gas-pieketel ingezet samen met een warmtepompsysteem met een beperkte capaciteit, in een geïntegreerde oplossing. Het onderdeel warmtepomp wordt gedimensioneerd op een relatief vlak profiel (veel draaiuren, warmtevraag door het hele jaar heen), de piekvraag wordt geleverd met een hoogrendementsaardgasketel die veel thermisch vermogen kan leveren. Uitgangspunt is dat een flink deel van het jaarvolume (MJ) van de warmtepomp afkomstig is, maar dat een significant deel van de capaciteitsvraag (MW) door de HR-ketel wordt geboden.

34 <http://www.kwa.nl/content/graaddagen-en-koeldagen>

35 Presentatie 'Vraagsturing bij koelhuizen', Laborelec, 2013.

Kansen

Warmte/koude gerelateerde technieken bieden veel kansen:

- Een groot deel van de energievraag van een MKB/utiliteitsgebouwen kan worden ingevuld, zie de kaders voor de kwantificering.
- Sterke match met dag/nacht : koppeling zon-PV voor koude kansrijk.
- Koudevraag is groeiende (zowel vanwege energieneutraal bouwen als vanwege weer/klimatologische ontwikkelingen)
- Combinatie van WKK, thermische opslag, en elektrische boiler of warmtepomp aantrekkelijk.

Belemmeringen

Split incentive. Besparingen in gebouwgebonden energiegebruik komen niet van de grond vanwege de split incentive die bestaat omdat tot 90% van de utiliteitsgebouwen huur betreft, de energierekening bij de gebruiker beland en de gebruiker gezien de korte huurperiode geen incentive heeft om bij te dragen aan investeringen die de gebouweigenaar moet doen.

De *investeringscyclus* van een utiliteitsgebouw heeft specifieke kenmerken waardoor in feite aanpassingen aan bestaande installaties nooit gedaan worden, alleen de nieuwbouwsituatie is kansrijk. Zie het tekstkader. In verband met de split incentive en de investeringscyclus is het investeren in efficiënte warmte-/koude systemen haast alleen interessant in de nieuwbouwsituatie, want dan eist een beoogde (prospective) huurder de technieken. Voor bestaande kantoren is de kale huurprijs en bijkomende condities veel dominanter in het aantrekken van huurders dan hoe zuinig het gebouw is.

Warmtewet. De warmtewet, van kracht sinds 1 januari 2014, is ook veel genoemd als belemmering voor energie-efficiënte warmtetechnieken in bijvoorbeeld multi-tenant kantoorgebouwen. Dit heeft een aantal oorzaken. Als eerste stelt de warmtewet eisen aan de maximale totale kosten die in rekening gebracht mogen worden voor aansluitingen kleiner dan 100 kW, gebaseerd op het niet-meer-dan anders principe dat uitgaat van verwarming met aardgas. Deze maximale kosten sluiten bepaalde klassen investeringen uit, tenzij ze over de hele levenscyclus inderdaad significant goedkoper zijn, ook bij leegstand van een deel van het kantoor. Anderzijds is de aansluiting niet goed gedefinieerd in de warmtewet: betreft het een natuurlijk persoon, of de aansluiting op een verticale stijgleiding in een kantoorgebouw. Daarnaast is het onduidelijk wat de implicaties zijn van de warmtewet voor koude. Koude valt buiten de warmtewet, maar koude is vaak wel een integraal onderdeel van de techniekopties, energie-efficiënte klimaatinstallaties in de utiliteitsbouw. De warmtewet stelt daarnaast aanpalende regels zoals vergoedingen die uitgekeerd moeten worden bij storingen, die hoog zijn in verhouding tot de brutomarges. Als laatste zorgt de warmtewet voor een stuk regulatoire onzekerheid omdat het een jonge wet betreft die in de implementatie voor veel onduidelijkheid zorgt. Er zijn veel kansen dat de wet in de nabije toekomst wordt uitgebreid, dat de scope anders wordt gedefinieerd, etc.

Een typische investeringscyclus van een kantoorgebouw ziet er als volgt uit (NEVAP):

1. Nieuwbouw. De nieuwbouwsituatie is het moment waarbij duurzaamheid meegenomen wordt, nu vooral gedreven door het energielabel: de eerste huurder eist vaak een goed label (A). Hier zien we dus gebouwtechnieken zoals WKO installaties of recent houtpelletketels. De eerste huurder tekent een contract voor 5 of 10 jaar. De tijdschik van de investeerder (gebouweigenaar) is gelijk aan deze termijn, want de investeerder verkoopt het gebouw na 5/10 jaar.
2. Kantoren worden na door de professionele vastgoedpartij naar een institutionele vastgoedbelegger (NL of buitenland) verkocht. Na 10 jaar bestaan er efficiëntere technische opties, dus die kunnen gerealiseerd worden, echter inpassing van nieuwe technieken kan problematisch zijn omdat de gebouwen vaak niet voor een lange termijn zijn ontworpen (ruimtelijke beperkingen)
3. Na de institutionele vastgoedbelegger worden de gebouwen verkocht naar deels minder professioneel geleide beleggingsvehikels, commanditaire vennootschappen en dergelijke partijen, waar ook meer particulieren in participeren. De leegstandsproblematiek is hier groter, maar het ontbreekt aan cashflow om investeringen van hoge kwaliteit te kunnen doen. In toenemende mate zien we dat dit moment wel wordt gegrepen voor een herontwerp van het hele gebouw, nieuwe gebouwfuncties, dit kan gecombineerd worden met duurzame technieken en een verbetering van het label.

Het *CAPEX-intensieve* karakter van energie-efficiënte warmte/koude technieken (hogere investeringskosten in vergelijking met gasverwarming) worden commerciële risico's zoals leegstandrisico nijpender dan bij minder energie-efficiënte technieken die een lagere CAPEX kennen. Dat is op zich een overkomelijk probleem, echter de warmtewet maakt dit erger.

Financierbaarheid speelt een beperkte rol: voor projecten waarbij een significant deel aan risicodragend vermogen nodig is in verband met innovatieve technieken is het lastig om financiering bij banken te verkrijgen (zie ook nieuwjaarsartikel Maarten Camps in ESB).

Transportkosten voor de elektriciteitsaansluiting kunnen hoog zijn en een business case met power to heat in de weg zitten.

De onderstaande tabellen vatten de opties samen:

| WARMTE-/KOUDE-GERELATEERDE OPTIES | |
|--|---|
| Potentieel | Ca. 20% piekreductie lijkt mogelijk voor WP-verwarming, WKO + WP systemen en koelingen. Voor het totaal van kantoren, retail, zorg, onderwijs zou dit leiden tot flexibilisering van 1% van de Nederlandse elektriciteitsvraag of 3% van die op LS/MS niveau. Indien voorzien van thermisch opslagsysteem dan is het potentieel groter en kan op uurbasis de warmtekoudevraag voor een zeer groot deel uit de buffer geleden. Dat zou kunnen leiden tot flexibilisering van 2% van de Nederlandse elektriciteitsvraag of 6% van die op LS/MS niveau. |
| Tijdschaal | Variërend van enkele uren tot enkele dagen |
| Beschikbaarheid | Omdat de utiliteitsbouw jaar-rond een warmte/koude vraag heeft is de beschikbaarheid goed. De traagheid van thermische systemen zorgt dat er ook zonder buffers een potentieel is met een prima beschikbaarheid. Zowel opregelen als afregelen is mogelijk. |
| Waarde eindgebruiker | De financiële waarde wordt volledig bepaald door tariefstructuur. Bij een beperkt deel van de MKB/utiliteit bedrijven zal het vanuit MVO-oogpunt waarde hebben dat bijvoorbeeld lokaal of regionaal opgewekte energie gebruikt wordt. Voor alle groepen eindgebruikers die niet actief met het energieonderwerp bezig zijn, is het van belang dat de gebruiker er niets van merkt (maar wel een voordeel mee behaalt). |
| Waarde systeem | Biedt hoge mate van flexibiliteit, zeker als er thermische buffers zijn waardoor de elektriciteitsvraag op uurniveau sterk terug kan. Draagt bij aan opheffen congestie op het lokale netvlak, en is ook op landelijk niveau significant. (vraagrespons bij dure elektriciteit) |
| Kansen | Potentieel is relatief voordelig te ontsluiten, de warmte/koude opties hebben een centraal besturings-systeem dat moet worden aangepast. Nieuwbouw en grootschalige renovatie bieden de meeste kansen. |
| Belemmeringen | <ul style="list-style-type: none"> • Penetratie van WKO-WP en andere elektrische warmtesystemen is stijgende maar niet volledig. • Lastig om in bestaande bouw nieuwe systemen zoals warmte/koudebuffers te implementeren. • Financiële incentive zal significant moeten zijn. • Tariefstructuren maken grote elektrische aansluiting kostbaar. • Warmtewet zorgt voor onzekerheden • CAPEX intensief karakter zorgt voor sterke doorwerking commerciële risico's • Split incentive tussen eigendom en gebruik |
| TRL | meestal 9 |
| Opmerkingen | |

HYBRIDE WARMTE-OPTIES (ELEKTRISCHE BOILERS NAAS CONVENTIONEEL; GAS-WARMTEPOMP; HYBRIDE WARMTEPOMP)

| | |
|----------------------|---|
| Potentieel | Potentieel van elektrische warmwater boilers: op basis van glastuinbouw, de warmtevraag van de glastuinbouw is ca 100 PJ met een temperatuur tot 100°C. De bulk van deze warmtevraag zit echter in herfst, winter, lente, en in de zomer is het potentieel voor elektrische boilers gering. |
| Tijdschaal | Variërend van enkele uren tot enkele dagen |
| Beschikbaarheid | Warmte opties in de regel niet van toepassing in de zomer. De hybride configuratie betekent dat de richting waarin flexibiliteit geboden wordt, afhangt van het momentale prijsregime (DAM/IBM/BM). Bij lage prijzen is er mogelijkheid tot afregelen E-vaag. Bij hoge prijzen is er mogelijkheid tot opregelen E-vraag. Gegeven traagheid van thermische systeem is de beschikbaarheid daarnaast groot. |
| Waarde eindgebruiker | De financiële waarde wordt volledig bepaald door tariefstructuur. Bij een beperkt deel van de MKB/utiliteit bedrijven zal het vanuit MVO-oogpunt waarde hebben dat bijvoorbeeld lokaal of regionaal opgewekte energie gebruikt wordt. Voor alle groepen eindgebruikers die niet actief met het energieonderwerp bezig zijn, is het van belang dat de gebruiker er niets van merkt (maar wel een voordeel mee behaalt). |
| Waarde systeem | Biedt door het volledige switchover een zeer hoge mate van flexibiliteit. Hybride warmtepomp-oplossing enerzijds elektrisch kleiner gedimensioneerd is dan full electric, maar geeft anderzijds relatief meer flexibiliteit. Draagt bij aan opheffen congestie op het lokale netvlak, en is ook op landelijk niveau significant. (vraagrespons bij dure elektriciteit) |
| Kansen | Potentieel is relatief voordelig te ontsluiten, de warmte/koude opties hebben een centraal besturings-systeem dat moet worden aangepast. Nieuwbouw en grootschalige renovatie biedt de meeste kansen. |
| Belemmeringen | Penetratie van hybride technieken nu nog laag, implementatie in bestaande utiliteitsbouw niet altijd mogelijk. Financiële incentive zal significant moeten zijn. Beperkingen van potentieel voor accommodatie zomerse pieken (zon-PV) |
| TRL | meestal 9 |
| Opmerkingen | |

6.3.3 Decentrale opwekoptyes

Decentrale opwekoptyes betreffen technieken die deels van conventionele energiebronnen gebruik maken, zoals flexibel bedreven WKK-installaties met thermische opslag en/of deels van alternatieve warmte-oplossingen. De WKK kan hierbij ook een micro-WKK of brandstofcel-installatie zijn. Maar gaat echter ook in toenemende mate om decentrale hernieuwbare opwek: zon-PV systemen met geïntegreerde elektrische opslag bijvoorbeeld.

In een aantal utiliteitsgebouwen komen veel WKK-systemen voor: typisch ziekenhuizen, glastuinders, universiteiten en stadsverwarming. WKK-systemen zijn, indien niet flexibel inzetbaar (maar gedreven door de warmtevraag in het elektriciteitsdomein een must-run karakter hebben) een slechte fit met een energiesysteem met veel wind en zon (CE Delft en DNV GL, 2014)³⁶. Maar als WKK-installaties goed flexibel gemaakt kunnen worden, dan zijn ze uitstekend te combineren met een hoge penetratie van variabel hernieuwbaar. Het is nodig dat als er frequente, relatief korte perioden van geringe, bijna nul, of negatieve stroomprijzen zijn, dat de WKK-exploitant de installatie in een aantal stappen tot 100% kan uitschakelen. WKK's bieden dan de voordelen van afregelbaarheid als er hernieuwbare energie is, en een zeer efficiënte manier van gelijktijdige opwek van elektriciteit en warmte als er weinig hernieuwbare energie is.

³⁶ Ab de Buck, Sebastiaan Hers, Maarten Afman, Harry Croezen, Frans Rooijers (allen CE Delft) Wim van der Veen, Pieter van der Wijk, Thijs Slot (allen DNV GL) Toekomst WKK en warmtevoorziening industrie en glastuinbouw. Delft, CE Delft, oktober 2014

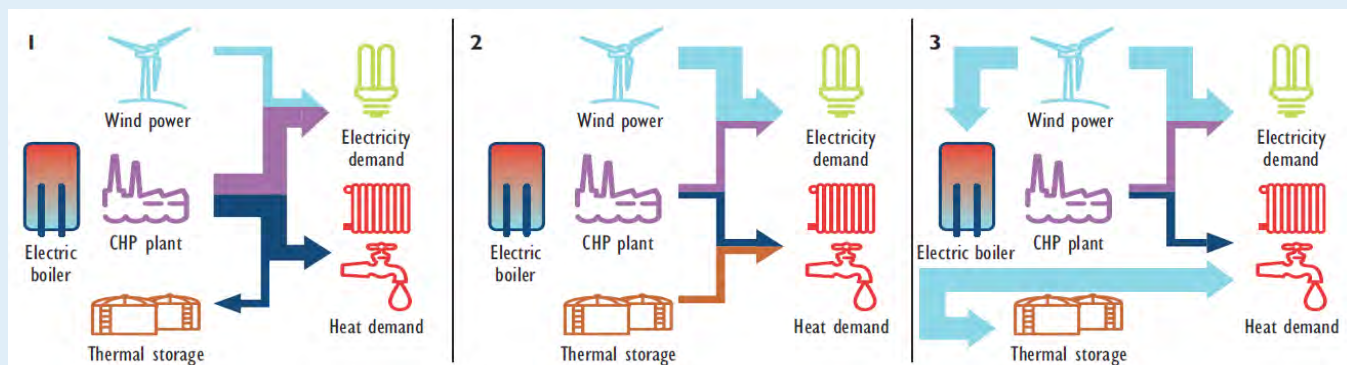
Om een WKK flexibel te maken tegen de achtergrond van een vaste warmtevraag, moet de WKK worden uitgerust met een van de volgende technieken:

- Warmte-opslag in een thermische buffer of gebruikmakend van thermische traagheid van processen, gebouwen, enz.
- Power to Heat, elektrische ketelinstallaties, om de warmte te produceren uit elektriciteit.
- Power to Heat via stoomrecompressie (soms wordt dit power to pressure genoemd). Dit heeft een groot toepassingspotentieel als er een aanbod aan lagedrukstoom is.

Voorbeeld uit Denemarken:

warmte opties uit combinatie van WKK, warmteopslag, elektrische ketel en hernieuwbare energie.

In Denemarken zijn veel creatieve combinaties gemaakt tussen warmte-koude opties, Power to Heat met elektrische boilers en windenergie, en hybride technologieën zoals flexibele WKK. De volgende figuur, overgenomen uit IEA (2014)³⁷, illustreert typische bedrijfsmodi van dit soort concepten. De kostenstructuur kan competitief zijn indien het toepassingsgebied van de warmte relatief energiedicht is.



37 IEA 2014. *The Power of Transformation. Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems*

Zon-PV systemen ontwikkelen zich snel. In de utiliteitssector is relatief veel dakoppervlakte beschikbaar met gunstige plaatsingscondities. De volgende tabel geeft de totale potentieel van zon-PV uit de studie van PBL & DNV GL 2014³⁸ (berekend met het Vesta model):

| | WONINGEN | UTILITEITSBOUW |
|---------------------------|-----------------|-------------------|
| Opgesteld vermogen zon-PV | 41 GWp | 25 GWp |
| Zon-PV-productie per jaar | 115 PJ (32 TWh) | 69 PJ (19 TWh) |
| Gebouvvraag per jaar | 88 PJ (24 TWh) | 96 PJ (26 TWh) |
| Overschot/tekort per jaar | 27 PJ (7,5 TWh) | -27 PJ (-7,5 TWh) |

Te zien is dat op jaarbasis de utiliteitsbouw netto een vrager blijft, maar op dagbasis zal de piekproductie, die typisch tussen 11 uur 's morgens en 15 uur 's middags optreedt, uitgesmeerd moeten worden over de dag om geen piekbelasting op de netten te geven. Opslagsystemen (zie 6.3.5) of sturen van apparatuur (6.3.4) of warmte/koude opties (6.3.2) is hierbij cruciaal.

38 PBL – Planbureau voor de Leefomgeving & DNV GL, 2014. *Het potentieel van zonnestroom in de gebouwde omgeving van Nederland.*

Kansen

- Intelligente combinatie van WKK, thermische opslag, en elektrische boiler of warmtepomp. Zeer aantrekkelijk concept vanuit technische en milieukundige invalshoek. Kansen in utiliteitssegment maar zeker ook in tuinder/agro omgevingen
- Match met dag/nacht patroon: koppeling zon-PV voor koude kansrijk. Koudevraag is groeiende (zowel vanwege energieneutraal bouwen als vanwege weer/klimatologische ontwikkelingen).
- Zon-PV met gestuurd laden EV is kansrijk voor utiliteit omdat veel leaserijders op kantoor ingeplugd kunnen zijn. Aandachtspunt is dan netbelasting in weekend.

Belemmeringen

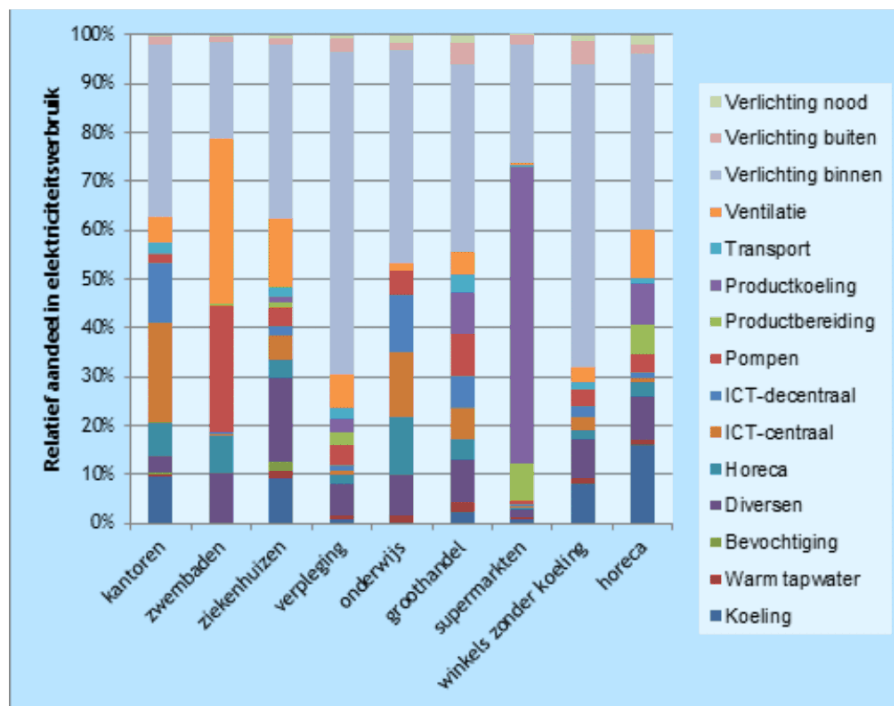
- De gevraagde investeringen om WKK flexibel te maken vergen ruimte in het gebouw of de omgeving daarvan. Buffers kennen een (significant) ruimtebeslag. Bestaande technische ruimten kunnen te klein zijn.
- Opslagssystemen zijn duur
- *Transportkosten voor de elektriciteitsaansluiting* kunnen hoog zijn en een business case met Power to Heat in de weg zitten.

DECENTRALE OPWEK OPTIES: FLEXIBEL BEDREVEN WKK MET THERMISCHE OPSLAG; ZON-PV MET GEÏNTEGREERDE ELEKTRISCHE OPSLAG; GESTUURDE OPWEK UIT MICRO-WKK/BRANDSTOFCELLEN

| | |
|----------------------|---|
| Potentieel | Het potentieel hangt sterk af van de aannames over de penetratie van deze opwek. 40% van de huidige opwek van elektriciteit is decentraal, dit betreft voornamelijk grote WKK's bij tuinders, ziekenhuizen, etc. Deze installaties bieden nu al veel flexibiliteit die in het tuinderssegment voor een zeer groot deel is uitgenut.. |
| Tijdschaal | Variërend van enkele minuten tot uren |
| Beschikbaarheid | Varieert sterk met de oplossing. Proven technology zoals de WKK's bij de tuinders is toegerust met zeer grote thermische buffers zodanig dat de beschikbaarheid van de flexibiliteit gemaximeerd is, maar is gebonden aan de warmtevraag en seizoensaspecten. Op het gebied van de regeling van de inverter van zon-PV is de beschikbaarheid evenredig met momentane opwekintensiteit van zon-PV. |
| Waarde eindgebruiker | De financiële waarde hangt af van de tariefstructuur, bijv. een vergoeding is voor afschakelen van zon-PV. |
| Waarde systeem | Het sturen van decentrale opwek biedt een grote flexibiliteitsoptie |
| Kansen | Deze opties zijn succesvol in Denemarken toegepast om de vergaande integratie van hernieuwbare energie mogelijk te maken. Dit model kan ook in Nederland worden geïmplementeerd. Bij huidige toepassing van gas-WKK's liggen ook nog kansen voor verdere flexibilisering van de warmtevraag (o.a. tuinbouw maar ook daarbuiten). |
| Belemmeringen | Deels al uitgenut, bijvoorbeeld de WKK installaties in de glastuinbouw worden flexibel bedreven, elektriciteitsprijs is leidend, warmte komt uit buffer. Technische aspecten: ruimtebeslag, beperkt ruimte in technische ruimtes Kostprijs opslagsystemen |
| TRL | WKK met thermische opslag TRL 9, inverterregeling: TRL 8-9; micro-WKK/brandstofcellen: TRL <7 |
| Opmerkingen | Wordt deels al benut |

6.3.4 Sturen van apparatuur

Figuur 6.2 geeft de verdeling van het elektriciteitsgebruik in utiliteitsgebouwen naar energiefuncties weer, voor de verschillende soorten utiliteitsgebouwen. Verlichting valt op als een belangrijke verbruiker, bijvoorbeeld bij de winkels zonder koeling en de verpleging.



Figuur 6.2: Elektriciteitsverbruik naar energiefunctie utiliteitsgebouwen³⁹

Een aantal energiefuncties is met name interessant om te sturen. Een selectie van de meest kansrijke energiefuncties staat in de onderstaande tabel, het betekent niet dat de andere energiefuncties (zoals pompen, ICT, warm tapwater etc.) per definitie niet verschuifbaar zouden zijn. Koeling voor het gebouw is aan de orde geweest in paragraaf 6.3.2.

³⁹ Meijer Energie & Milieumanagement, 2008, herleid naar elektriciteit door CE Delft.

| ENERGIEFUNCTIE | BESCHRIJVING | INTERESSANT OMDAT: | PIEKREDUCTIE |
|----------------------------|--|---|--|
| Productkoeling | Deze post heeft betrekking op het energieverbruik voor het bewaren van producten. | Koelmachines t.b.v. productkoeling kunnen op andere momenten in werking gezet worden. De vraag kan uitgesmeerd worden door producten bijvoorbeeld enige graden 'voor te koelen' voor de piek verwacht wordt, of hoger te laten opwarmen dan de setpoints, zodat er nagekoeld wordt. | 10-30%, op tijdschaal kwartier-half uur |
| Ventilatie | Deze post heeft betrekking op het energieverbruik van ventilatoren voor de klimatisering van het gebouw. Dit kan afzuiging zijn, bijvoorbeeld van toiletten. Het kan ook balansventilatie zijn waarbij zowel mechanische toevoer als afvoer wordt gerealiseerd.. | Luchttransport is in de regel profiel met een zeker continu gehalte, maar ook een intensivering als de luchtkwaliteit verslechtert tijdens de werkdag of als de klimatisering dit vraagt. De regeleenheden kunnen aangepast worden. | 10-30%, op tijdschaal kwartier-half uur |
| Horeca en productbereiding | Hier onder valt zowel de apparatuur in de (groot)keukens als de koffieautomaten, snackautomaten en waterkoelers. Met productbereiding wordt meestal voedselbereiding aangeduid. | De horecafunctie is interessant voor vraagverschuiving. Ovens en frituurapparaten kunnen eerder op de dag worden aangeschakeld, vaatwasmachines kunnen eerder (voorverwarmen) of later op de (werk)dag in bedrijf gezet worden. Ook bij productbereiding is het waardevol vraagverschuiving te onderzoeken. De keuken kan eerder aan de slag, bij supermarkten kan het afbakken ook anders getimed worden | Afhankelijk van de inschakelpiek voor opwarmen en het verbruikspatroon daarna. |

Kansen

- Omdat de vermogens groter zijn, geringere kosten dan bij huishoudens.
- Net als bij huishoudens grote aantallen gelijksoortige apparaten.
- De bedrijfsmatige DMU maakt dat er rationeler naar kostenreductie wordt gekeken.

Als inschakelpieken hoog zijn, dan kan de aansluitwaarde van een connectie naar beneden, dat geeft grote kostenreductie voor bijvoorbeeld een supermarktondernemer.

Belemmeringen

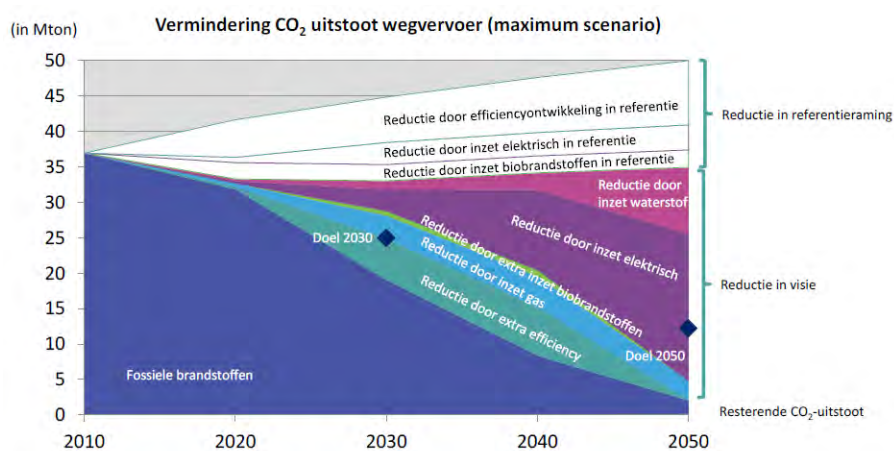
Vergt mogelijk relatief hoge kosten per geschakeld vermogen.

STUREN VAN ENERGIE VERBRUIKENDE APPARATUUR: TIJD/PRIJS-GESTUURD GEBRUIKEN VAN APPARATEN, PROCESSEN, MACHINES (INCLUSIEF ICT)

| | |
|----------------------|---|
| Potentieel | Hangt erg af van het soort apparaten en de aard van het elektriciteitsverbruik. In sommige sectoren (kantoren, scholen, retail, zorg) lijkt het potentieel beperkter dan in supermarkten, zwembaden en/of winkels. Voor warmte/koude is veel potentieel, zie daarvoor 'warmte/koude gerelateerde opties' |
| Tijdschaal | Variërend van enkele minuten tot uren |
| Beschikbaarheid | De beschikbaarheid wordt bepaald door de invoering van goedkope en betrouwbare technologie en door randvoorwaarden van de technische apparatuur (bv. delta T, grootte opslagbuffer voor product, etc.) |
| Waarde eindgebruiker | De financiële waarde wordt volledig bepaald door tariefstructuur. Bij een beperkt deel van de MKB/utiliteit bedrijven zal het vanuit MVO-oogpunt waarde hebben dat bijvoorbeeld lokaal of regionaal opgewekte energie gebruikt wordt. Voor alle groepen eindgebruikers die niet actief met het energieonderwerp bezig zijn, is het van belang dat de gebruiker er niets van merkt (maar wel een voordeel mee behaalt). Als de capaciteit van de aansluiting naar beneden kan dan kan dat een significante incentive zijn. |
| Waarde systeem | Kan significante mate van flexibiliteit leveren, lokale inpassing verbeteren van EV, PV, etc. |
| Kansen | Kansen voor partijen die dit als dienst kunnen aanbieden. Verslimming van apparaten kan samen met efficiencyslag doorgevoerd worden. |
| Belemmeringen | Kosten van aansturingmodules, samenhang met primaire proces is een moeilijk oplosbaar aspect. Eindgebruiker moet eraan willen en moet ofwel intrinsiek gemotiveerd zijn ofwel ontzorgd worden. |
| TRL | 8 tot 9 |
| Opmerkingen | Het ontwikkelen van een veilige en open aansturingssystematiek is nodig. |

6.3.5 Elektrisch vervoer opties; opslag van elektriciteit

Bij het MKB/utiliteit segment zijn er significante kansen voor het gestuurd laden van de elektrische auto's van de werknemers die inpluggen op het werk. In de Brandstofvisie voor verkeer van juni 2014 neemt elektrisch wegvervoer een centrale plaats in. De ambitie is dat met name het lichte vervoer in de komende decennia overschakelt van verbrandingsmotoren naar elektro-motoren, zie figuur 6.3. Afhankelijk van de technische ontwikkelingen kan het hierbij gaan om batterij-elektrische voertuigen (*Full electric vehicles, FEV*, en *plug-in hybrid electric vehicles, PHEV*) en/of brandstofcelvoertuigen (FCEV).



Figuur 6.3: Vermindering CO₂ uitstoot wegvervoer uit de Brandstofvisie:⁴⁰

⁴⁰ Duurzame Brandstofvisie met LEF, juni 2014. Van: <http://www.energieakkoordser.nl/nieuws/brandstofvisie.aspx> Geraadpleegd: februari 2015.

De toename van elektrische auto's kan leiden tot capaciteitsproblemen voor de belasting van energienetten als de aantallen groot worden, maar dat hangt sterk af van de manier waarop het laden van de elektrische auto's gestuurd wordt. Indien men uitgaat van niet-intelligent ('dom') laden, dan zal met een relatief vlak profiel worden geladen. De netbelasting is dan al snel een probleem, bijvoorbeeld LS netten zijn typisch gedimensioneerd op ca 1-2 kW gemiddelde gelijktijdige vraag, maar het is makkelijk te voorzien dat het laden van elektrische auto's dit kan gaan verdubbelen. Thuisladen vraagt bijv. 3-10 kW⁴¹, dus de limiet komt in beeld vanaf een penetratie van 10%. Het kabinetsbeleid streeft naar 200.000 elektrische auto's in 2020 en 1 miljoen in 2025, wat overeenkomt met een gemiddelde penetratie van ca 13%. Maar dit betekent dat er wijken zijn waar de penetratie een veelvoud zal zijn, wat grote netinvesteringen kan vergen als er 'dom' wordt geladen. Bij significante penetratie van elektrische auto's en elektrische laadpalen in het MKB/utiliteitsegment ontstaat, gezien de beperkte capaciteit van de elektriciteitsaansluiting, al snel een business case voor slim, oftewel gestuurd laden. Partijen zoals fabrikanten voor apparatuur van elektrische laad-infrastructuur; exploitanten daarvan, wagenparkbeheerders van elektrische auto's e.d. werken nu al in diverse cases en proftuinen aan systemen en concepten voor slim laden.

Proeftuinen en eerder onderzoek

Er zijn verschillende proeftuinen op het vlak van *smart grids* en *smart energy systems*, (met name onder de programma's: TKI Switch2SmartGrids, EBU (Economic Board Utrecht), NWO-programma's SES (Smart Energy Systems) en MVI (Maatschappelijk Verantwoord Innoveren), TNO Vraaggestuurd Programma Energie Efficiëntie (VP EE) en IPIN (Innovatieprogramma Intelligente Netten). Sommige van deze projecten kijken ook naar het maken van slimme combinaties tussen het aanbod van (hernieuwbare) elektriciteit met elektrisch vervoer. Hierbij wordt ervaring opgedaan met deze innovatieve technologieën om zo een brede toepassing ervan in de toekomst voor te bereiden.

Ook zijn er verschillende onderzoeken op dit grensvlak tussen elektrisch rijden en elektriciteitsvoorziening uitgevoerd. Zo heeft het Internationaal energieagentschap (IEA) in een aantal studies gekeken naar mogelijke raakvlakken tussen transport en elektriciteitsvoorziening. Dit kwam o.a. aan bod in de projecten RETRANS en recenter in OPTIMUM. Remco Verzijlbergh heeft promotieonderzoek gedaan naar de impact van elektrisch vervoer op het energiesysteem⁴¹. Ook CE Delft heeft er enkele studies naar gedaan, zoals 'Match van vraag en aanbod' in april 2014 waarin bijv. een raming wordt gegeven van de maximale opslagcapaciteit bij 100.000 EV's (2GWh). CE Delft heeft ook Netbeheerder Stedin ondersteund bij de ramingen van de benodigde netinvesteringen tot en met 2030, gegeven scenario's voor het energiesysteem, waar het laden van elektrische auto's een onderdeel van zijn.

Alhoewel verschillende studies kijken naar de raakvlakken tussen (lokale) hernieuwbare elektriciteitsopwekking en elektrische auto's, is de precieze kwantificatie naar de grootte van de waarde van gestuurd laden voor het energiesysteem met gelijktijdig het maximaal verkennen van de synergie met lokale duurzame opwekking nog niet gedaan.

⁴¹ De accugrootte van een elektrische personenauto is thans 30-80 kWh; plugin-hybride tot ca 20 kWh. Het is de verwachting dat deze opslagcapaciteiten omhoog gaan, en daarmee is het ook wenselijk dat de laadstroom hoger kan zijn zodat het laden niet langer dan een nacht duurt. Als de laadstroom toeneemt neemt ook het belang van de (geaggregeerde) flexibiliteitsoptie toe.

Kansen

Deze transitie naar elektrisch rijden is ingegeven vanuit de vele kansen die elektrisch rijden biedt. In de eerste plaats kan het een belangrijke bijdrage leveren aan de reductie van verkeeremissies (CO₂ en luchtvervuiling) en daarmee aan de klimaat- en milieudoelen voor verkeer. Aandrijving middels een elektromotor kan over de hele energieketen forse rendementsvoordelen geven. Bovendien zijn de emissies van elektriciteit en waterstof naar verwachting makkelijker en op grotere schaal te reduceren dan die van conventionele brandstoffen als benzine en diesel.

Andere belangrijke kansen van de opkomst van elektrisch rijden liggen op het vlak van groene groei. Op dit moment zijn er al ca. 1.600 banen op het gebied van elektrisch rijden en een recente studie van CE Delft laat zien dat dit bij de huidige ontwikkelingen en ambities zal doorgroeien naar ca. 10.000 banen in Nederland in 2020 (gerekend in fte).

| ELEKTRISCHE OPSLAG OPTIES, ZELFSTANDIG OF IN AUTO'S (VEHICLE2GRID; GESTUURD LADEN EV'S) | |
|--|--|
| Potentieel | Opslagcapaciteit bij 200.000 EV's (doelstelling 2020) bedraagt ca. 4-6 GWh. |
| Tijdschaal | Kwartier |
| Beschikbaarheid | Op niveau van individuele elektrische auto is de beschikbaarheid van flex voor het systeem slecht. Dit wordt beter als grotere hoeveelheden van elektrische auto's gelijktijdig worden beschouwd (bijv. laden van een wagenpark van 20 auto's in een kantoorgebouw) Beschikbaarheid is daarnaast verschillend op week/weekenddagen/ Beschikbaarheid bij huishouden is gemiddeld beter, maar deel auto's (lease) gebruikt voor woon/werkverkeer dus niet aanwezig. |
| Waarde eindgebruiker | De financiële waarde hangt af van de tariefstructuur, capaciteit aansluiting moet al snel worden vergoed, dan dus onder huidige tariefregime al een directe financiële baat bij gestuurd laden. Additionele baat indien utiliteitsgebouw is uitgerust met zon-pV, dit geldt nu nog niet voor huishoudens (salderen) maar wel in de toekomst. Vehicle2Grid kent nog een aantal knelpunten die negatieve waarde voor de eindgebruiker opleveren (teruggang van de batterij) |
| Waarde systeem | Het sturen van het laden van EV's is erg belangrijk, en biedt veel flexibiliteit op korte tijdschalen. Vehicle to grid gedraagt zich achter een opslagsystemen achter de meter |
| Kansen | Bewezen krachtige optie, ombuigen negatieve impact op de netten naar positieve rol flexibiliteit en gelijktijdig vergroenen wagenpark; reduceren CO ₂ vervoerssector. Zodra er een capaciteitstarief van toepassing is, is er nu al wel een incentive uit die hoek (huishoudens en kleinzakelijk segment) |
| Belemmeringen | Nog niet uitgenut, aan de huishoudenskant ontbeert het nu grotendeels aan financiële incentives, er wordt niet realtime betaald, |
| TRL | TRL 8- 9 |
| Opmerkingen | Mogelijke doorbraak EV's sterk afhankelijk van kostenreductie Li-Ion of andere opslagtechnieken, kan heel snel gaan. Sterke kansen voor Nederland gezien unieke positie op EV gebied. |

Huishoudens

In deze paragraaf gaan we dieper in op de kenmerken van verschillende techniek-groepen voor flexibilisering van de elektriciteitsvraag die eerder in paragraaf 4.3 zijn gepresenteerd voor het segment huishoudens. De analyse doen we niet op het niveau van de individuele technische opties maar op het niveau van de clusters van technische opties. De meest kansrijke clusters zijn:

- Sturen van energieverbruikende apparatuur
- Elektrische warmtepompen i.c.m. opslag
- Hybride warmtepompen
- Decentrale opwekking
- Energie-uitwisseling op wijkniveau
- Elektrisch vervoer (deze optie wordt behandeld in het segment MKB/ utiliteitsbouw)

Er bestaat een zekere overlap tussen deze clusters. Daarnaast zijn er behalve de genoemde opties nog ontwikkelingen noodzakelijk om deze opties te kunnen implementeren. Dan betreft enerzijds ontwikkelingen op het gebied van interactie (monitoring, feed back en actief energie management). Anderzijds gaat het om de ontwikkeling van nieuwe diensten. Ook deze ontwikkelingen worden hieronder beschreven.

6.4.1 Sturen energieverbruikende apparatuur

Een goed inzicht in de mogelijkheden en het potentieel voor demand side management in huishoudens is gepresenteerd in het rapport: Further Analysis of the Household Electricity Survey: Early Findings: Demand side management, 29 November 2013.⁴² Hierin wordt aangegeven dat de best schakelbare apparatuur betreft: vaatwassers, wasmachines, wasdrogers en boilers en in iets mindere mate vriezers. Zij zijn tezamen verantwoordelijk voor zo'n 14 % van het energieverbruik van huishoudens.

In Duitsland wordt door huishoudens al gestuurd. Vooral elektrische boilers worden veel ingezet⁴³. Er bestaan inmiddels meerdere producten voor het gericht aansturen van huishoudelijke apparatuur. Het betreft dan vooral het instellen van het moment waarop apparaten worden aangezet. 'Start delay' is een vorm van aansturing die een directe actie vergt van de gebruiker. Er zijn echter ook fabrikanten die al mogelijkheden voor externe aansturing hebben ontwikkeld. Een voorbeeld hiervan is Miele. Met het Miele@home systeem is de weg naar volledig geautomatiseerd energiemanagement van huishoudelijke apparatuur geopend.⁴⁴

⁴² Palmer J., Nicola T., Kane T., *Further Analysis of the Household Electricity Survey: Early Findings: Demand side management*. 2013, Cambridge. van https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/275483/early_findings_revised.pdf

⁴³ Dit was in Nederland ook het geval. Hoewel tegenwoordig steeds minder relevant, er zijn nog altijd veel huishoudens die een elektrische boiler hebben die speciaal op nachtstroom werkt. Hiermee is uiteraard goed inzichtelijk dat prijsprikkels en automatische sturing ook in Nederland werkt.

⁴⁴ Miele, *Programma en prijsoverzicht Miele inbouwapparaten*. Geraadpleegd op 10 februari 2015. van http://www.miele.nl/media/domestic_nl/media/files/download/Programma-en-prijsoverzicht-Miele-inbouwapparaten-januari-2015.pdf

PowerRouter

NEDAP heeft het product PowerRouter ontwikkeld.⁵ Met dit systeem kunnen huishoudens de door hen zelf opgewekte energie optimaal voor eigen gebruik benutten. Het is een combinatie van omvormer, accu en energiemanagement systeem. De PowerRouter is in staat om energieverbruikende apparatuur aan te sturen. NEDAP geeft zelf aan dat er nog heel beperkt apparatuur op de markt is die op basis van een extern signaal kan worden aangestuurd. Nu wordt dan ook gewerkt met externe schakelaar. Overigens richt NEDAP zich met de PowerRouter vrijwel volledig op de Duitse markt, omdat er in Nederland geen markt bestaat, gezien de salderingsregeling.

⁵ Nedap, Powerrouter. Geraadpleegd op 7 januari 2015. van <http://www.powerrouter.com/nl/>

Er zijn geen ontwikkelingen bekend gericht op het gericht vertragen, versnellen of onderbreken van programma's van bijvoorbeeld vaatwassers, wasmachines en drogers, waarmee een tijdschaal van 15 minuten binnen bereik komt.

Kansen

Gezien de sterke positie van de Nederlandse ICT sector liggen hier kansen om in samenwerking met producenten van met name witgoed nieuwe stuursystemen te ontwikkelen. Uitdaging is daarbij wel het contacten leggen met de wit- en bruingoed-industrie in Duitsland en Azië. In Nederland kennen we het 'Domotica Platform'. De strategische agenda van dit platform biedt vele aanknopingspunten voor de ontwikkeling van nieuwe systemen. Ontwikkelingen dienen zich te richten op:

- Standaardisatie van o.a. communicatie protocollen;
- Gebruiksgemak;
- Prijsreductie.

In Nederland is het Flexiblepower Alliance Network actief. Hierin wordt gewerkt aan open source systemen voor het managen van smart grids (Powermatcher) en energie-apparatuur (FPAI: flexiblepower application infrastructure).

Belemmeringen

Het is een goede ontwikkeling dat het energieverbruik van dit soort apparatuur een dalende tendens vertoont. Denk aan de introductie van de warmtepompwasdroger, wassen bij lagere temperatuur (20 °C) en aan de toepassing van zeolieten in vaatwassers. Anderzijds betekent dit dat het potentieel voor vraagsturing hiermee afneemt.

Wanneer in een wijk alle woningen tegelijkertijd op hetzelfde signaal reageren, dan kunnen zich problemen voordoen. Er zal intelligentie moeten worden ontwikkeld om te grote veranderingen in de netbelasting te voorkomen. Dit is onderwerp van onderzoek in het kader van de ontwikkeling van de Powermatcher.⁴⁵

Andere belemmeringen voor deze ontwikkeling liggen in de sfeer van privacy en beveiliging. Duidelijk is dat vergaande automatisering noodzakelijk is en dit maakt dit soort systemen kwetsbaar.

⁴⁵ Powermatcher. Geraadpleegd op 2 december 2015. van <http://www.powermatcher.net/>

STUREN ENERGIEVERBRUIKENDE APPARATUUR

| | |
|----------------------|---|
| Potentieel | Uitgaande van een gemiddeld schakelbaar vermogen van 500 Watt per huishouden is het landelijk vermogen 3500 MW |
| Tijdschaal | Variërend van enkele minuten tot uren |
| Beschikbaarheid | De beschikbaarheid wordt bepaald door de invoering van goedkope en betrouwbare technologie en door de bereidheid van de eindgebruiker om gedrag aan te passen. Dit laatste zal vooral afhankelijk zijn van prijsprikkels. Sturing kan bijdragen in het afvlakken van pieken (hier speelt bestaande gelijktijdigheid, maar ook voor het opvullen dalen in het vraagpatroon). |
| Waarde eindgebruiker | Wordt volledig bepaald door tariefstructuur. Van groot belang is dat de eindgebruiker geen negatieve waarde ervaart vanwege beperkingen in gebruik/aanpassing gedrag. |
| Waarde systeem | Biedt hoge mate van flexibiliteit. Draagt bij aan opheffen congestie in de wijk. Draagt bij aan balancering op landelijk niveau. |
| Kansen | Past volledig in beleid energieneutrale gebouwde omgeving |
| Belemmeringen | Prijs, gebruiksgemak Privacy en veiligheid Gebrek aan standaardisatie/open source |
| TRL | 8-9 Alle componenten zijn beschikbaar op de markt. |
| Opmerkingen | Biedt kansen voor partijen die energiediensten aanbieden. Zij hebben belang bij doorontwikkelen van reeds beschikbare technologie. |

6.4.2 Warmtepompen in combinatie met opslag

We kennen al de WKO-systemen, veelvuldig toegepast in de utiliteit, maar ook in de woningbouw. Hierbij worden warmte en koude opgeslagen in aquifers. Dit soort systemen wordt momenteel nog niet gestuurd op de prijs of het aanbod van elektriciteit. Gezien de traagheid van dit soort systemen liggen hier goede mogelijkheden. Er is in Nederland ook een ontwikkeling gaande om op wijkniveau warmte op te slaan in de vorm van warmwater in een gesloten vat.⁴⁶ Warmte kan ook op andere manieren worden opgeslagen: in de gebouwmassa, als latente warmte (phase change materials) en op thermo-chemische wijze. Er zijn al vloerverwarmingssystemen op de markt in combinatie met pcm's. Ook bestaan er bouwmaterialen verkrijgbaar waarin pcm's zijn verwerkt. Hiermee kan de thermische massa worden verhoogd en daarmee de thermische traagheid van gebouwen. Dit maakt het mogelijk om warmtepompen flexibel in te zetten (let wel flexibel inzetten betekent niet noodzakelijkerwijs meer start stops). Daarnaast zijn er nog ontwikkelingen gaande om de warmtevoorziening in huis te decentraliseren. Dit kan omdat de benodigde apparatuur steeds compacter wordt. Tegelijkertijd biedt dit de mogelijkheid om energie te besparen, door alleen die vertrekken te verwarmen waar iemand aanwezig is. TKI Energo heeft inmiddels ingezet op de ontwikkeling van de 'warmtebatterij' (zie kader).

⁴⁶ Ecovat, *Thermisch energie opslagsysteem. Geraadpleegd op 10 december 2014.* <http://www.ecovat.eu/>

Kansen

Gezien de enorme vraag naar warmte bestaat er een groot potentieel voor warmteopslag. Tegelijkertijd voorziet de Dutch Heat Pump Association een forse toename van de toepassing van warmtepompen in de woningbouw (doelstelling 500.000 warmtepompen in 2020.⁴⁷ Warmtepompen in combinatie met opslagsystemen bieden een enorme flexibiliteit. Zeker wanneer compacte opslagsystemen ter beschikking komen kunnen al snel op kosteneffectieve wijze vele uren worden overbrugd, waardoor de warmtepomp vrijwel onafhankelijk van de momentane warmtevraag kan worden ingezet. De warmtepomp kan klein gedimensioneerd worden (pieken in de warmtevraag kunnen immers worden opgevangen vanuit de opslag) en wanneer de warmtepomp wordt ingezet kan deze op vollast draaien.

Belemmeringen

Warmtepompsystemen dienen te worden gecombineerd met lagetemperatuurafgiftesystemen, zoals vloerverwarming. Dit kan in de bestaande bouw een belemmering vormen. Daarnaast vergt de productie van warmtapwater bij dit soort systemen een belangrijk aandachtspunt. Tegelijk liggen hier kansen voor de ontwikkeling van nieuwe warmteafgiftesystemen, zoals LT-radiatoren.

| ELEKTRISCHE WARMTEPOMP I.C.M. WARMTE OPSLAG | |
|--|--|
| Potentieel | Afhankelijk van penetratie EWP Uitgaande van 500.000 warmtepompen ordegrrootte 500 MWw |
| Tijdschaal | Variërend van enkele uren tot enkele dagen |
| Beschikbaarheid | Gegeven traagheid van thermische systeem is de beschikbaarheid groot. Zowel opschalen als afregelen is mogelijk. Beschikbaarheid wordt beperkt door lengte stookseizoen, tenzij warmtepomp ook wordt gebruikt voor koudelevering |
| Waarde eindgebruiker | Dit soort systemen levert veel comfort. Het stelt de eindgebruiker in staat in te spelen op de behoefte aan flexibiliteit, zonder verlies aan comfort. |
| Waarde systeem | Biedt hoge mate van flexibiliteit. Draagt bij aan opheffen congestie in de wijk. Draagt bij aan balancering op landelijk niveau |
| Kansen | Past volledig in beleid energieneutrale gebouwde omgeving |
| Belemmeringen | Kostprijs warmtepompsystemen Vereist lagetemperatuur warmte-afgiftesysteem en goede isolatiegraad, dit beide kent relatief omvangrijke kosten. Door de energiebelasting is een GJ elektriciteit veel duurder dan een GJ gas, wat het kostenplaatje minder gunstig maakt. Kennisiniveau bij installatiebranche is vaak nog onvoldoende |
| TRL | Warmtepomp 9 Opslag 4-5 Systeem 7 |
| Opmerkingen | Biedt grote kansen voor Nederlandse industrie gegeven kennis en infrastructuur |

⁴⁷ Wagener P., Mosterd D., *Warmtepompen en economie*. 2013. Harderwijk Dutch Heatpump Association. van <http://www.dhpa-online.nl/wp-content/uploads/2013/09/Warmtepompen.economie.pdf>

Internationale ontwikkelingen warmte-opties

In Europa komt 47% van de finale energievraag voor rekening van de warmte- en koude voorziening (de elektriciteitssector voor 21% en de transportsector voor 32%).⁴⁸ Hoewel warmte- en koude in de discussie over de energievoorziening vaak niet de aandacht krijgen die zij verdienen, wordt er wereldwijd veel onderzoek en ontwikkeling gedaan naar duurzame verwarming en koeling. Meer en meer staan ook de integratie van elektriciteitsvoorziening enerzijds en warmte- en koude voorziening anderzijds op de agenda. Technisch gezien speelt hier de warmtepomp een belangrijke rol, op systeemniveau krijgt ook het onderwerp flexibiliteit meer aandacht. Zo is er binnen het warmtepompprogramma van de IEA nu een annex 42 'Heat pumps and smart grids'.⁴⁹

Denemarken

In Denemarken is er jarenlang een actief beleid gevoerd en geïmplementeerd op het gebied van warmtenetten. Het betreft hier veelal grootschalige warmtenetten op basis van grootschalige aardgas- of biomassa warmtekrachtcentrales. Deze centrales spelen nu een belangrijke rol in de balancering van vraag en aanbod doordat zij overschotten van windenergie kunnen opslaan middels in eerste instantie elektrische boilers.⁵⁰ Het betreft hier een grootschalige optie, maar het geeft wel de potentie weer die warmte heeft als opslagmedium voor wind- en zonne-energie. Zie verder paragraaf 6.3.3.

Duitsland

In Duitsland is het aandeel wind en zon de afgelopen jaren fors toegenomen. Mede hierdoor en de 'atomausstieg' is er veel aandacht voor thermische en elektrische opslagsystemen. De overheid heeft enkele honderden miljoenen euro's ter beschikking gesteld voor research op het gebied van energie-opslag. Ook compacte thermische opslag krijgt de nodige aandacht. Zo worden thermochemische systemen ontwikkeld voor opslag op huishoudelijk niveau.

Zuid Europa

In Zuid-Europese landen worden vele thermische zonne-energiesystemen toegepast. Daar zien we ook fundamenteel onderzoek naar seizoensopslag voor huishoudens.

Warmtebatterij ⁶

Dit is een combinatie van warmtepomp en korte termijn thermische opslag. Hiermee kan op duurzame wijze warmte worden opgewekt. De thermische opslag biedt mogelijkheden om de warmtepomp flexibel in te zetten, afhankelijk van het aanbod van (duurzame) elektriciteit. Het systeem kan worden uitgebreid met een PV of een PVT systeem, waarmee duurzame elektriciteit en warmte kunnen worden opgewekt. De componenten voor de ontwikkeling van een warmtebatterij zijn binnen bereik, al zal er nog veel ontwikkeling nodig zijn om te komen tot geoptimaliseerde systemen voor specifieke toepassingen, die technisch inpasbaar zijn en economisch voldoende aantrekkelijk.

Eerste berekeningen tonen aan dat de combinatie van een laag vermogen warmtepomp (1 a 2 kW) gecombineerd met een opslag voor de warmtevraag voor ruimteverwarming van een a twee weken (0,3 GJ) theoretische tot behoorlijke energiekostenbesparingen kan leiden en dat zeker in combinatie met PV een vrijwel duurzame energievoorziening kan worden gerealiseerd.

⁶ TKI-energo, Warmtebatterij. 2014. Geraadpleegd op 12 december 2014. van <http://topsectorenergie.nl/project/energiebesparing-gebouwde-omgeving/>

⁴⁸ Strategic research priorities for solar thermal technology, European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling (RHC), Dec 2012

⁴⁹ Delta, IEA HPP Annex 42: Heat Pumps in Smart Grids. 2014. IEA Heat Pump Programme. Geraadpleegd op 8 Januari 2015. van <http://web.ornl.gov/sci/ees/etsd/btrc/usnt/countryReports/NETHERLANDS.pdf>

⁵⁰ International Energy Agency, The Power of Transformation, Wind, Sun and the economics of flexible power systems. 2014. Geraadpleegd op 8 januari 2015. van <http://www.iea.org/textbase/hpsum/givar2014sum.pdf>

Hybride Warmtepomp

Hybride warmtepompen maken gebruik van twee verwarmingstechnieken. Een elektrische warmtepomp levert met als hernieuwbare energiebron (bodem, buitenlucht of ventilatielucht) het merendeel (ca. 80%) van de jaarlijkse energievraag voor ruimteverwarming met een hoog rendement, daarnaast levert de CV ketel warm tapwater en waar nodig piekvermogen voor ruimteverwarming tijdens koude dagen in de winter.⁷

7 Warmtevisie Gasunie

6.4.3 Hybride warmtepompen

De DHPA voorziet op korte termijn een aanzienlijke groei van de toepassing van de hybride warmtepomp. Dit is een combinatie van een elektrische warmtepomp met een HR-gasketel. Voor het grootste deel van het jaar wordt voor de volume aan warmte dan de efficiënte warmtepomp gebruikt, terwijl tijdens een extreme warmtevraag de goedkope gasketel wordt gebruikt met weinig volume en veel capaciteit. Hybride warmtepompen bieden wellicht flexibiliteit, door het kunnen schakelen tussen gas en elektriciteit, maar hier ligt wel nog een ontwikkelings-optie, want dit is nog niet de bedrijfsmodus die momenteel wordt voorzien.

Kansen

Van al het gas dat we in Nederland gebruiken gaat ongeveer een kwart naar de Nederlandse huishoudens. Door gebruik van warmtepompen kan het gasverbruik sterk afnemen. Verder stelt een hybride warmtepomp minder hoge eisen aan de isolatiegraad en het warmteafgiftesysteem van de woning (vervanging van radiatoren door vloerverwarming is niet noodzakelijk) waardoor het makkelijker inpasbaar wordt in bestaande bouw. Daarnaast kan het relatief dure warmtepomp gedeelte kleiner worden uitgevoerd, waardoor de financiële drempel bij vervanging van een oude HR ketel door een hybride warmtepomp lager ligt dan de overstap naar een 100% elektrische warmtepomp.

Iedere gasgestookte installatie kan in principe op elk gewenst moment worden uitgebreid met een warmtepomp. Het theoretische potentieel is dus erg groot. Gezien het feit dat het extra ruimtebeslag beperkt en de installatie relatief eenvoudig is ook het technisch potentieel groot.

Belemmeringen

Door het gebruik van de hybride warmtepomp gaat het gasvolume van huishoudens significant naar beneden⁵¹, en dus ook de emissies, maar de gasinfrastructuur wordt hierdoor wel in stand gehouden. Op lange termijn zal dit hoge kosten met zich meebrengen. Op de korte termijn is het geen probleem omdat de infrastructuur er nu toch al ligt.

Ook al is het ruimtebeslag beperkt in bestaande woningen is dit toch vaak een issue. Bovendien zal zorgvuldige installatie zijn vereist om klachten op het gebied van geluid en trilling te voorkomen.

⁵¹ Afhankelijk van de omvang van de warmtevraag van de woning, en daarmee de inzet van de warmtepomp (bèta-factor), kan er een gasbesparing zijn van 30-60%. Naarmate de woning zuiniger is, kan de warmtepomp een groter deel van de warmtevraag voor ruimteverwarming dekken. Dit is in een zuinige woning echter nog maar 60% van de totale warmtevraag. De overige warmte wordt gebruikt voor warm tapwater en dat wordt met de HR-brander uit de hybride gedaan.

HYBRIDE WARMTEPOMP

| | |
|----------------------|---|
| Potentieel | Ca. 150.000 installaties tot 2020. ⁸ Dit betekent dat uitgaande van een elektrisch vermogen van 1 kWe een theoretisch schakelbaar vermogen van maximaal 150 MW |
| Tijdschaal | Variërend van enkele uren tot enkele dagen |
| Beschikbaarheid | Optimaal omdat overschakelen op aardgas te alle tijde mogelijk is |
| Waarde eindgebruiker | Volledig bepaald door tariefstructuur |
| Waarde systeem | Biedt hoge mate van flexibiliteit. Draagt bij aan opheffen congestie in de wijk. Draagt bij aan balancing op landelijk niveau |
| Kansen | Inpassing in bestaande bouw relatief eenvoudig. Het is een zeer mooi apparaat om moeilijk isoleerbare te elektrificeren met aardgas voor de piek/backup, en dus goed voor het milieu. Bespaart significant op investeringskosten t.o.v. een 100% elektrische warmtepomp |
| Belemmeringen | De gasinfrastructuur wordt hierdoor in stand gehouden wat op de lange termijn vervangingsinvesteringen met zich mee zal brengen. De hybride warmtepomp van varianten zijn nog niet schakelbaar tussen gas en elektriciteit. Een groot aantal starts en stops van de warmtepomp is momenteel nog niet goed voor de levensduur, hybride warmtepompsystemen momenteel ontwikkeld voor relatief vlak profiel. Door de energiebelasting is een GJ elektriciteit veel duurder dan een GJ gas, wat het kostenplaatje minder gunstig maakt, zeker als het rendement van het warmtepompdeel minder gunstig is door een afgiftesysteem van middelbare temperatuur. |
| TRL | Warmtepomp 8 |
| Opmerkingen | Biedt kansen voor Nederlandse industrie gegeven kennis en infrastructuur |

⁸ P. Wagener, D. Mosterd, *Warmtepompen en economie*. 2013. Harderwijk Dutch Heatpump Association.

6.4.4 Decentrale opwekking

Zon PV

In Nederland bedroeg het geïnstalleerde vermogen zon PV eind 2012 345 MWp (ca. 19 Wattp per inwoner). Eind 2013 was dit verdubbeld tot 700 MWp. De schattingen voor de groei van het vermogen van zon PV lopen ver uiteen, mogelijk is er in 2014 500 MWp bijgekomen.⁵² Duidelijk is dat er hier een significant potentieel ligt en met name de ontwikkelingen in Duitsland laten zien hoe snel het kan gaan (hier was eind 2012 al 400 Wattp per inwoner opgesteld). Zeker gezien de technologische ontwikkeling (denk aan folies), toenemende efficiency van Zon PV en het feit dat de kostprijs naar verwachting nog sterk zal dalen is het waarschijnlijk dat in Nederland het vermogen sterk zal toenemen. ECN stelt dat de kosten nog met een factor 3 zullen afnemen, de efficiency met een factor 3 zal toenemen en het volume met een factor 100 zal toenemen. PBL stelt dat in 2020 het opgestelde vermogen reeds 4 GWp zal bedragen.

Er zijn de volgende opties om Zon PV te beïnvloeden:

- Aftoppen door begrenzing omvormer.
Dit is geen flexibiliteitsoptie, maar draagt wel bij aan de inpassing van PV-vermogen.
Door begrenzing van de omvormer worden pieken voorkomen, terwijl de jaarrond productie niet significant wordt verminderd. Er ontstaat als het ware een vlakker productiepatroon. Dit is van grote invloed op de belasting van lokale netten.

⁵² Solarmagazine. Geraadpleegd op 15 december 2014. van <http://solarmagazine.nl/>

- Bewuste keuze oriëntatie.
Op wijkniveau is denkbaar dat in energiecoöperaties waarin onderling energie wordt uitgewisseld de oriëntatie van PV-systemen bewust wordt afgestemd, waardoor een vlakker patroon over de dag ontstaat.
- Afschakelen.
In Duitsland kunnen huishoudens in overleg met de netbeheerder kiezen voor of het begrenzen van de omvormer, of het toestaan dat de netbeheerder een beperkt aantal keer per jaar de PV-installatie afschakelt.

Wind

Er wordt voortdurend gewerkt aan de ontwikkeling van kleine windturbines en andere opties voor de benutting van windenergie in de gebouwde omgeving. Echter de windsnelheden op lage hoogtes zijn laag, dus de opbrengst en elektrische capaciteiten zijn gering. De vraag is of kleine windturbines een wezenlijke rol gaan spelen in Nederland. Gezien de dichte bebouwing enerzijds en het potentieel voor grote windparken anderzijds is het de vraag of het opgestelde elektrische vermogen aan mini-turbines significante ooit op systeemniveau relevant zal zijn. Aan de andere kant zal er zeker een beperkt aantal huishoudens zijn die geïnteresseerd is in de toepassing van deze techniek.

Micro-WKK

Vanwege de afnemende vraag naar warmte zijn alleen systemen met een hoog elektrisch rendement interessant. De investeringskosten moeten ook laag zijn gezien de concurrentie van bijvoorbeeld zon-PV. Enig potentieel is denkbaar bij micro-WKK types, die ook bij een zeer geringe warmtevraag van bijvoorbeeld bijna-energie-neutrale woningen werken, waardoor de restwarmte van bijv. een brandstofcel goed gebruikt kan worden. Dan kan met een relatief goed totaalrendement energie worden benut. Micro-WKK met bewegende (stirling) motoren zijn niet aangeslagen in verband met de kosten, inpassing en geluid. Ten aanzien van toekomstbeelden met veel CO₂-reductie speelt nog de lokale emissie. Waterstofdistributie is geen realistisch scenario, inzet van aardgas geeft lokale CO₂ emissies.

| DECENTRALE OPWEKKING: ZON PV | |
|-------------------------------------|---|
| Potentieel | Zon PV zal wezenlijk bijdragen aan het potentieel voor decentrale opwekking, mogelijk oplopend tot meerdere duizenden MWp. |
| Tijdschaal | Afschakeling en afregelen kan instantaan. |
| Beschikbaarheid | Sterk afhankelijk van tariefstructuur. Zolang de salderingsregeling van kracht is zal de eindgebruiker niet bereid zijn te schakelen. Prijsprikkels en regulering zijn hier bepalend. |
| Waarde eindgebruiker | Zie hierboven |
| Waarde systeem | Zeker wanneer PV-systemen worden gecombineerd met opslagsystemen en wanneer uitwisseling in de wijk wordt gefaciliteerd kan lokale congestie worden vermeden. |
| Kansen | Kostprijzdaling en integratie in bouwelementen (gevels, glas, dakbedekking) vergroten de toepassingsmogelijkheden. Combinatie met accu's van elektrisch vervoer of anderszins verhoogt de mogelijkheden om in te spelen op vraag en aanbod. Hetzelfde geldt voor combinatie met een 'geelektificeerde' warmte- en koudevoorziening. |
| Belemmeringen | De waarde voor de eindgebruiker wordt volledig bepaald door de 'spelregels', met name tariefstructuren. |
| TRL | 7-9 Het betreft hier vooral verdergaande marktintroductie van systemen die internationaal reeds beschikbaar zijn. |
| Opmerkingen | Gezien het significante potentieel en het effect op de lokale infrastructuur verdient de verdere integratie van PV grote aandacht, zowel op huishoudniveau als op wijkniveau. |

6.4.5 Energie-uitwisseling op wijkniveau

Er is in Nederland, maar ook in de landen om ons heen een duidelijke trend waarneembaar op het gebied van 'burgerinitiatieven'. Overheden staan vaak nog onwennig tegenover dit soort initiatieven, maar zien wel dat dit soort initiatieven kunnen bijdragen aan revitalisering van wijken. Energie is vaak een drijvende factor en de energietransitie wordt bevorderd door deze initiatieven. Er zijn ook ontwikkelingen op andere gebieden, denk aan stadslandbouw, zorg, veiligheid etc., die elkaar kunnen versterken. In Duitsland zijn vele zogenaamde baugruppen ontstaan, alleen al in Berlijn zijn er zo'n 150, waar veelal veel aandacht bestaat voor duurzame energie-oplossingen. Daarnaast zien we zowel in Denemarken, Duitsland en Oostenrijk diverse eilanden en dorpen die hun eigen energievoorziening organiseren, vaak met als doel om autark te worden. Bekende voorbeelden zijn:

- Samsø Denemarken,⁵³ Hier is zelfs een energie academie opgezet
- Feldheim, Duitsland ⁵⁴

In Nederland kennen we ook dit soort initiatieven. Diverse coöperaties zijn de laatste jaren, met een duidelijk streven naar autarkie, zoals op Texel. Door inzet van het energiemanagement systeem 'KIEM!' worden huishoudens geholpen om hun energieverbruik af te stemmen op de beschikbaarheid van duurzame energie. Ook het Hoogkerk (power-matching city) is een voorbeeld van een project waar dit soort systemen wordt beproefd.

⁵³ Samsø Denemarken. Geraadpleegd op 7 januari 2015. van <http://www.visitsamsoe.dk>

⁵⁴ Feldheim. Geraadpleegd op 7 januari 2015. van http://www.energieplus.nl/het_wonder_van_feldheim

In Nederland hebben we een lange traditie van realisatie van een optimale energie-infrastructuur. Deze kennis zouden we ook kunnen aanwenden om middels uitwisseling van energie op wijkniveau, systemen te realiseren die lage investeringskosten met zich meebrengen voor de infrastructuur en die weinig of geen onbalans creëren. De componenten die hiervoor zijn benodigd zijn vrijwel allemaal op de markt beschikbaar. De toegevoegde waarde moet vooral worden gezocht in systeemontwikkeling, organisatie en beheer. Vanuit de Green Deal 'Smart Energy Cities' waaraan een viertal TKI's uit de Topsector Energie meewerken, wordt inmiddels aan nieuwe energieconcepten gewerkt.⁵⁵

Kansen

Uitwisseling van energie op gebiedsniveau maakt het mogelijk de energievoorziening van woningen te optimaliseren. De voor flexibiliteit benodigde opslagsystemen kunnen kosteneffectiever worden gerealiseerd op wijkniveau.

Belemmeringen

Collectieve installaties voor de levering van warmte en/of koude bestaan er in verschillende vormen. Met de invoering van de warmtewet blijkt dat duurzame systemen worden belemmerd door de vereiste tariefstructuren. Uitwisseling van elektriciteit wordt belemmerd door wet- en regelgeving en fiscale aspecten (energiebelasting). De in het kader van het Energie-akkoord ingevoerd 'postcoderoos' blijkt in de praktijk moeilijk uitvoerbaar.

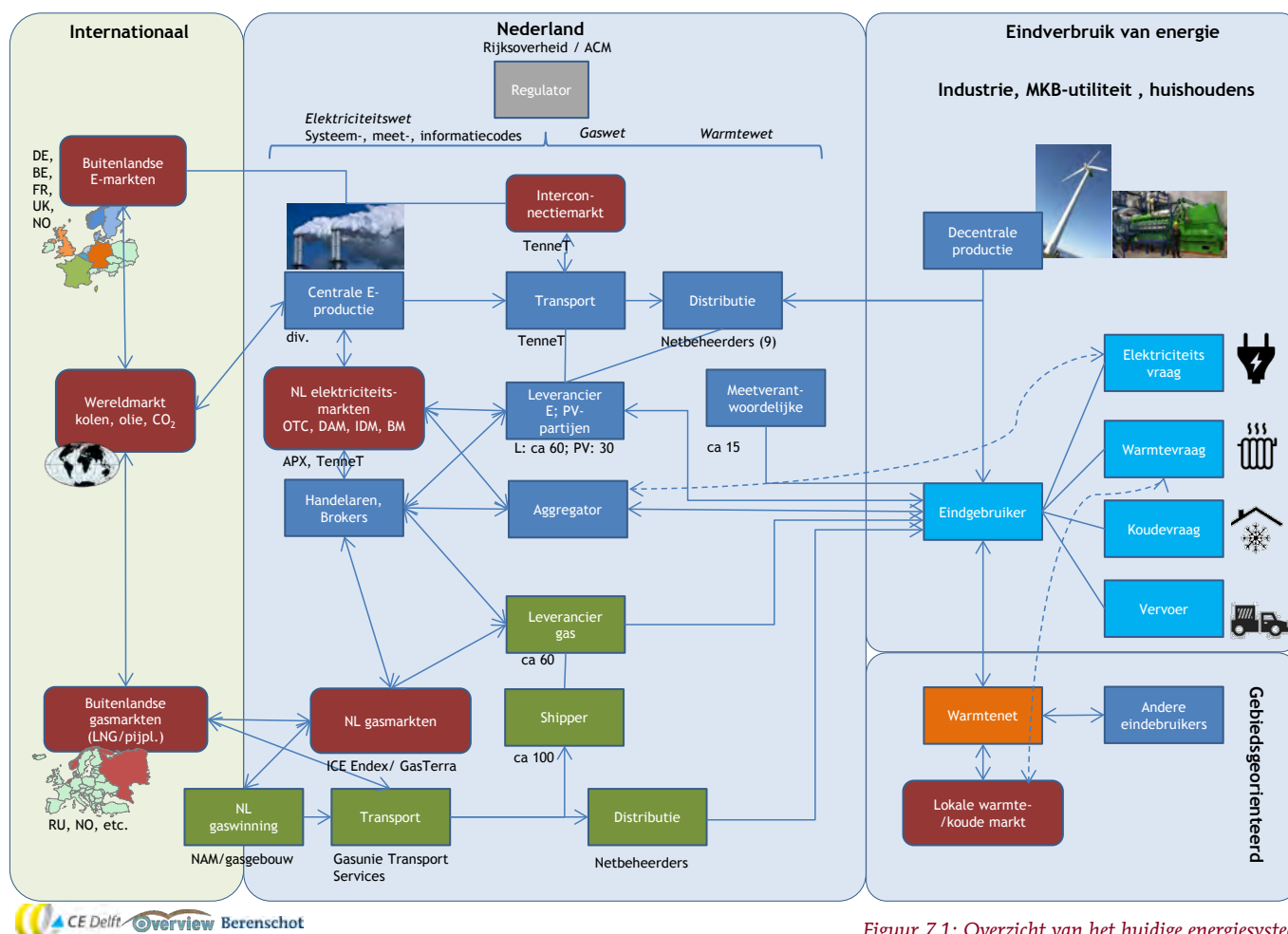
| ENERGIE UITWISSELING OP WIJKNIVEAU | |
|---|---|
| Potentieel | Moeilijk te kwantificeren. Op lange termijn een substantieel potentieel. |
| Tijdschaal | Lange termijn Wanneer wijken vrijwel autark worden, leggen zij geen beslag op het systeem. Hiermee dient rekening te worden gehouden in de LT planning van centraal vermogen. |
| Beschikbaarheid | |
| Waarde eindgebruiker | De waarde voor de eindgebruiker ligt zowel in materiele aspecten (lage kostprijs energie en zekerheid over kosten op langere termijn), maar vooral ook in immateriële aspecten: het gevoel van onafhankelijkheid en wezenlijke bijdrage aan milieu. |
| Waarde systeem | |
| Kansen | Optimalisatie op wijkniveau |
| Belemmeringen | Wet- en regelgeving Organisatie: participatie van alle bewoners. |
| TRL | 7-9 |
| Opmerkingen | |

⁵⁵ Green Deal: Smart Energy Cities. 2014. Geraadpleegd op 8 januari 2015. van <http://tki-switch2smartgrids.nl/wp-content/uploads/2013/12/Uitvraag-kwartiermaker-GD-SmEC.pdf>

7. Systemintegratie

In de 'Toelichting op het thema Systemintegratie van de TKI's Energie' is beargumenteerd dat het 'traditionele' systeem de energietransitie waarschijnlijk niet of in onvoldoende mate kan faciliteren, of althans niet op een wijze die duurzaamheid, betrouwbaarheid en betaalbaarheid kan combineren.

Figuur 7.1 geeft een beeld van het huidige energiesysteem, met als focus elektriciteit, gas en warmte. In deze figuur zijn de belangrijkste handelsplaatsen (deelmarkten) rood ingekleurd, de overige blokken geven belangrijke actoren weer. De pijlen illustreren de belangrijkste directe interacties en koppelingen, het kan gaan om fysieke stroom van energie maar ook om handel, gegevensuitwisseling en dergelijke.



Figuur 7.1: Overzicht van het huidige energiesysteem

Duidelijk is dat het energiesysteem niet meer als een eenvoudige en lineaire waardeketen kan worden gezien. Wanneer we ons realiseren hoezeer het energiesysteem momenteel door snelle ontwikkelingen aan de kant van centrale en decentrale elektriciteitsproductie in de eindgebruikerssectoren aan het veranderen is, wordt duidelijk dat er aanpassingen noodzakelijk zijn in:

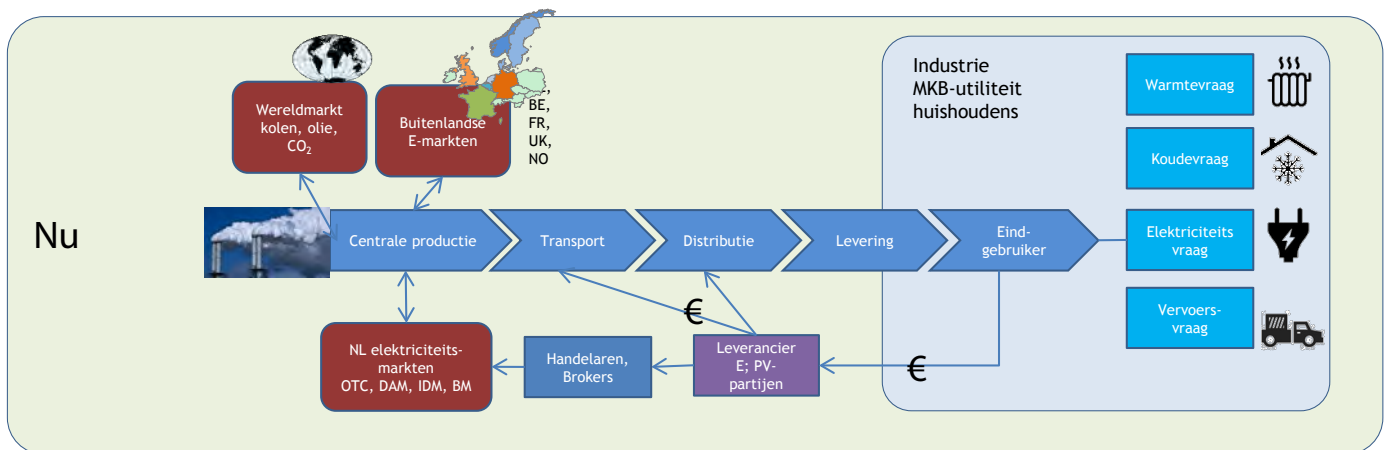
1. De organisatie van de energielevering;
2. De verdienmodellen en tariefstructuren;
3. De regulering;
4. De technologie.

In dit hoofdstuk geven we, gezien vanuit het belang van de eindgebruikers, de belangrijkste gewenste wijzigingen in het systeem weer en de bijdrage die de eerder geïnventariseerde kansrijke opties hierin spelen. Zo krijgen we een eerste beeld van de roadmap waarin de ontwikkeling van de kansrijke opties globaal wordt uitgewerkt. Het moge duidelijk zijn dat er een sterke relatie bestaat tussen organisatie, regulering, verdienmodellen en technologie. Deze onderwerpen zullen dan ook altijd in samenhang moeten worden gezien.

7.1 Organisatie

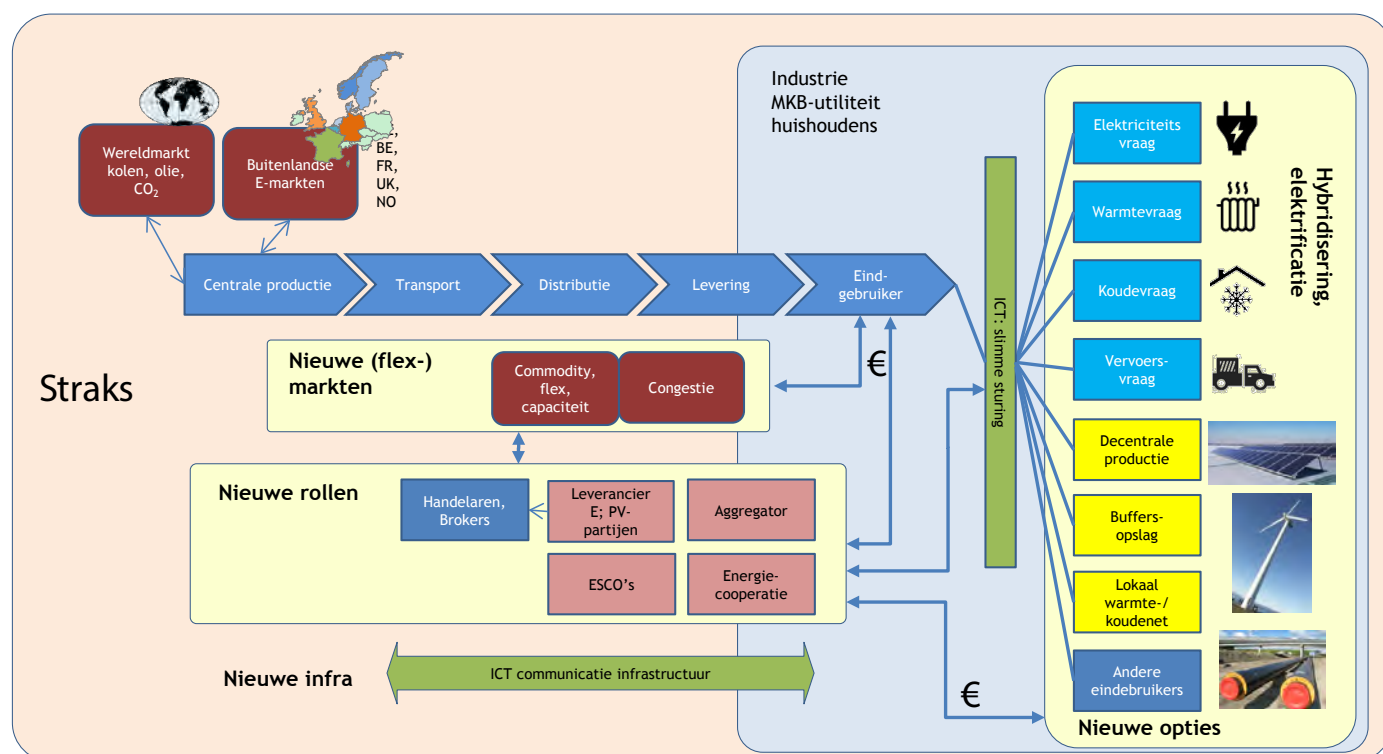
Voor de eindgebruiker is energie een middel om in bepaalde behoeften te voorzien. Het is geen ‘core business’. Het is van belang dat energie betaalbaar is, de voorziening betrouwbaar is en optimaal bijdraagt aan comfort en andere behoeften.

Figuur 7.2 toont de energiewaardeketen zoals die momenteel ongeveer bestaat voor elektriciteit, gezien vanuit de eindgebruiker. De eindgebruiker heeft een elektriciteitsvraag, en deze wordt vervuld door centraal aangestuurde opwekking. De gebruiker zelf neemt (doorgaans) niet actief deel aan de vele markttransacties die ervoor zorgen dat zijn elektriciteitsvraag wordt vervuld en in balans is. Dit is de taak van de programmaverantwoordelijke partijen, de leveranciers, en de handel op de markten.



Figuur 7.2: Overzicht van de huidige energiewaardeketen

Als eindgebruikers een actieve rol gaan vervullen in de toekomstige energievoorziening, zoals weergegeven in figuur 7.3, dan ontstaat er ruimte voor de invulling van nieuwe rollen. Nieuwe technische opties, elektrificatie en hybridiseren van energievraag creëert activiteit van eindgebruikstoepassingen op nieuwe markten. De energiewaardeketen wordt hierdoor complexer, met meer heen-en-weer koppelingen, dit alles gefaciliteerd door ICT en slimme sturingsmodules.



Figuur 7.3: Actieve rol van eindgebruikers in het energiesysteem.

Wanneer eindgebruikers zwaarder worden afgerekend op hun aandeel in de onbalans (lees het beslag op flexibiliteit) neemt voor hen de complexiteit toe en zal de inkoop en het gebruik van energie meer aandacht vereisen (energiemanagement en nieuwe infra). Flexibiliteit kan door eindgebruikers worden geleverd door middel van inzet van decentrale opwekking, vraagsturing en opslagsystemen. Het is waarschijnlijk dat er nieuwe spelers op de markt komen die diensten zullen aanbieden om deze flexibiliteit optimaal te exploiteren.

Gezien de ontwikkeling van technologie en maatschappelijke ontwikkelingen (participatiemaatschappij) is de verwachting dat er met name voor huishoudens en kleinere bedrijven en bedrijventerreinen meer samenwerking zal plaatshebben in energiecoöperaties en andere organisatievormen en dat er meer en meer verregaand zelfvoorzienende eenheden zullen ontstaan. Er zullen nieuwe partijen in de markt komen die dergelijke coöperaties opzetten en de bedrijfsvoering ervan organiseren.

Kansrijke opties

In een energiesysteem dat voor de eindgebruiker een toenemende complexiteit vertoont, zullen behoeften ontstaan voor nieuwe energiediensten, waarbij de eindgebruiker enerzijds meer keuzemogelijkheden aangereikt krijgt (bijvoorbeeld verschillende gradaties en beloningen om zijn flexibiliteit te benutten) en anderzijds qua praktische benutting daarvan in vergaande mate wordt ontzorgd. Dit vereist een vergaande mate van informatie-uitwisseling en automatisering van energie-management, waarin zowel productie-eenheden als energiegebruiksapparatuur op afstand kunnen worden aangestuurd. Standaardisatie van dataprotocolen is een belangrijke voorwaarde voor het ontstaan van kosteneffectieve oplossingen.

Warmte- en koude gerelateerde opties zullen in veel gevallen leiden tot de totstandkoming van oplossingen op gebiedsniveau.

7.2 Verdienmodellen en tariefstructuren

De waarde van flexibiliteit die ontsloten kan worden, kan worden gezien voor de eindgebruiker zelf en in een systeemcontext. Voor de eindgebruiker zelf hangt deze waarde samen met in hoeverre aan zijn/haar behoeften wordt voldaan. Dat kan financieel zijn, zeker belangrijk voor bijvoorbeeld de meer bedrijfsmatige energiegebruikers (prosumers), maar er spelen ook hele andere incentives, afhankelijk van het consumenttype. Het is goed denkbaar dat de waarde van aspecten zoals een eigen energiesysteem, immateriële aspecten zoals het gevoel het juiste te doen, voor individuele huishoudens belangrijker zijn dan de materiële aspecten. Deze aspecten zijn aan bod gekomen in hoofdstuk 5.

De waarde voor het systeem is veel directer te kwantificeren. Als de eindgebruikerssectoren significant flexibeler kunnen worden in hun elektriciteitsvraag dan kunnen ze een belangrijke bijdrage leveren aan het stimuleren van de doorgroei van het opgestelde vermogen aan windenergie.

In een Green Paper van het Duitse Ministerie van Economie⁵⁶ wordt gesteld dat er voldoende potentieel is aan flexibiliteit in de verschillende vormen (productie, vraag, opslag en infrastructuur). Het is vooral zaak om middels de juiste tariefstructuren de concurrentie tussen de opties te bevorderen en aan te sturen op inzet van de meest kosteneffectieve opties. Dit kan het beste met directe prijsprikkels.

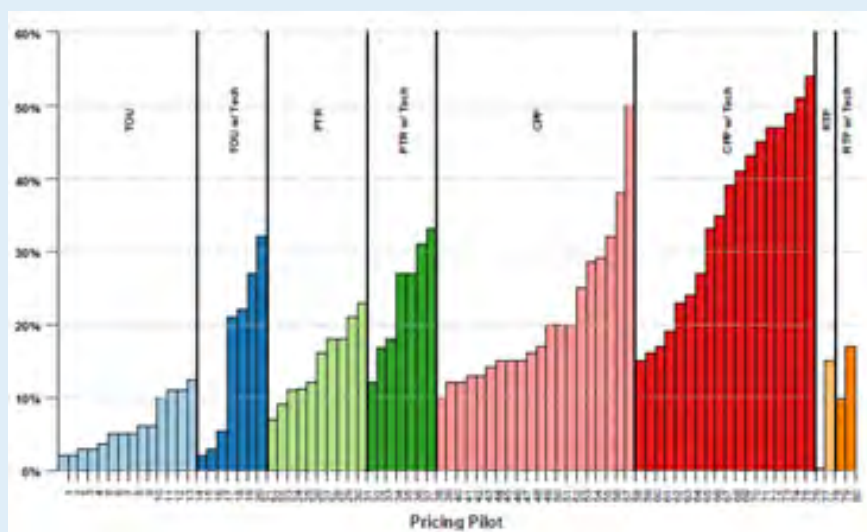
Voor wat betreft flexibiliteit is duidelijk dat het momenteel in de huishoudelijke en MKB-sector voor wat betreft profielbemeterde klanten ontbreekt aan enige incentives. Deze klanten mogen op dit moment niet eens uurlijks beprijsd worden (ook niet wanneer ze dat willen) en kunnen dus ook niet reageren op de variaties van zonne- en windenergie. Slimme meters staan daardoor grotendeels werkeloos. De netkosten worden gesocialiseerd en de salderingsregeling werkt alsoen incentive om onbalans te bevorderen. Terwijl we van alles roepen over slimme netten, is in de praktijk alles rond de eindverbruiker vormgegeven om hem dom te houden.

⁵⁶ BMWi, *An Electricity Market for Germany's Energy Transition, Discussion Paper of the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.*

Adequate prijsprikkels zijn een essentiële voorwaarde om gedragsverandering te bewerkstelligen. Stuursignalen zijn denkbaar vanuit de netbeheerder (om congestie te voorkomen) en vanuit de stroommarkt (real time pricing). Maar bovenal is nodig dat de wetgeving zodanig verandert dat de gebruiker die dat wil, een uurlijkse prijs kan krijgen op basis van het verbruik op zijn slimme meter.

Er zijn diverse prijsprikkels denkbaar: In de 'MKBA intelligente netten' voor EZ (CE Delft en KEMA) zijn op grond van literatuuranalyse piekreductiepercentages van verschillende soorten prijssystematieken bepaald, deze lopen uiteen van 4% reductie voor huishoudens bij TOU tot en met 30% bij Critical Peak Pricing bij bedrijven en industrieën.⁹

Praktijkdata uit de USA onderbouwt deze percentages, zie de figuur.



In de V.S. is veel informatie ontsloten via de website smartgrid.gov. Een recente studie die in gaat op het gemeten effect van verschillende dynamische prijssystemen is van NRECA & CRN, 2013.¹⁰ Deze studie geeft vraagreductie-percentages (verticale as) die naar voren zijn gekomen in een groot aantal pilots (horizontale as) met prijssystemen. Als er in de figuur staat "w/Tech", dan is er een technologie om automatisch te sturen. Gemiddelde reductie: Time of use pricing zonder techniek 2- 10%. Time of use pricing met techniek: 2-30%. Real time pricing: geringer maar beperkte ervaring.

⁹ CE Delft, DNV GL, Maatschappelijke kosten/baten analyse intelligente netten, Delft, 2012.

¹⁰ NRECA & CRN, Demand Response & Critical Peak Pricing Testing the Theoretical Basis for DR. 2013 Geraadpleegd op 17 december 2014. van http://www.nreca.coop/wp-content/uploads/2014/01/NRECA_DOE_DR_CPP_a.pdf

Kansrijke opties

Voor wat betreft huishoudens en utiliteit geldt dat wanneer prijsprikkels worden geïntroduceerd, tegelijkertijd de mogelijkheden moeten worden geboden om te kunnen reageren op dergelijke prikkels. Vraagsturing is voor deze sectoren een belangrijke optie. Hier zien we internationaal al belangrijke ontwikkelingen met betrekking tot de apparatuur waarvan het gebruik in de tijd kan worden verschoven, maar dat is vooral in landen met elektrische verwarming en airconditioning. Om ook in Nederland succesvol te zijn met vraagsturing, is de aansturing op duurzame energie en decentrale productie-eenheden voor deze sectoren van belang. Wil dit werkelijk een kans maken, dan moeten ook nieuwe systemen die de aard van het verbruik beïnvloeden een grote bijdrage leveren zoals (hybride)warmtepompen, die meer flexibiliteit hebben, en het selectief en stuurbaar opladen van de elektrische en plug-in hybride auto.

7.3 Wet- en regelgeving

De huidige wet- en regelgeving is volledig geënt op de klassieke top-down energievoorziening. Op dit moment zijn er vele belemmeringen voor de energietransitie. Dit speelt uiteraard ook in andere landen.

In Duitsland is een position paper uitgewerkt door Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW).⁵⁷ Hierin wordt aangetoond dat om de energietransitie in het gewenste tempo te kunnen doorvoeren een structurele verandering nodig is van wet- en regelgeving en inrichting van markten. Dit wordt ook gesteld in het eerder genoemde Green Paper. Toekomstige wet- en regelgeving zal beter moeten aansluiten op de in toenemende mate gedecentraliseerde energievoorziening en voldoende houvast moeten bieden voor zowel aanbieders van nieuwe diensten als voor partijen die inzetten op ontwikkeling van nieuwe technologie.

Een van de steeds terugkerende discussiepunten is de organisatie van de markt: is een capaciteitsmarkt noodzakelijk en bevorderlijk voor de energietransitie of is een 'energy-only' markt de beste oplossing? De oplossing is nog niet duidelijk. In Nederland leeft de discussie nu niet zeer sterk omdat in een energy-only markt zeer veel productiecapaciteit is neergezet. In omringende landen wordt wel voor capaciteitsmechanismes gekozen. Als men voor capaciteitsvergoedingen kiest dan dient men te kiezen voor een vormgeving van het instrument dat goed te combineren is met een verdere doorgroei van het decentrale potentieel en hernieuwbare energie, zodat de beloning niet op capaciteit gericht is, maar op flexibiliteit waarbij dit ook non-discriminatoire is naar alle verbruikers en technieken, zodat (geaggregeerde) demand response volwaardig meedoet.

Voor netbeheerders speelt dat, gezien regulatoire afschrijvingstermijnen, investeren in fysieke capaciteitsvergroting in leidingen en kabels, goedkoper is en een ander risicoprofiel kent dan investeren in verslimming, waaronder ICT-systemen, handelsplatformen en aansturingsopties.

De gekozen oplossingsrichting zal vorm moeten worden gegeven in passende wet- en regelgeving en zal grote effecten hebben op de organisatie van de sector. De eindgebruikers kunnen inspelen op toekomstige ontwikkelingen door hun energiegebruik aan te passen.

⁵⁷ Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, *Der Weg zu neuen marktlichen Strukturen für das Gelingen der Energiewenden*. 2013. Berlin. Geraadpleegd op 12 december 2014. van [https://bdew.de/internet.nsf/id/20130927-pi-bdew-legt-neuer-bundesregierung-branchenloesung-zur-weiterentwicklung-des-energiemarktes/\\$file/130918_PG-Marktdesign_Abschlusspapier.pdf](https://bdew.de/internet.nsf/id/20130927-pi-bdew-legt-neuer-bundesregierung-branchenloesung-zur-weiterentwicklung-des-energiemarktes/$file/130918_PG-Marktdesign_Abschlusspapier.pdf)

7.4 Technologie

Technologische ontwikkelingen vormen enerzijds een driver voor verandering van de energiesector. Denk aan het beschikbaar komen van betaalbare PV-systemen. Anderzijds worden technologische ontwikkelingen gedreven door marktprikkels. Denk bijvoorbeeld aan de toepassing van ijsopslag in de Amerikaanse utiliteit. Door capaciteitstarieven werd het voor vele gebruikers van airconditioning interessant om koude op te slaan. Daarnaast zijn er nog cross-overs. Zo heeft de ontwikkeling van elektrisch vervoer een groot effect op de ontwikkeling van betaalbare accu's.

De inzet van flexibiliteitsopties begint bij het beschikbaar komen van informatie over het aanbod en de vraag naar energie. ICT heeft daarom een steeds belangrijkere rol in de energiesector, het is alleen nu nog niet duidelijk hoe we het gehele softwareplatform van de energiesector moeten gaan zien.

Een praktische bedreiging is dat ICT systemen doorgaans een lagere betrouwbaarheid en kortere levensduur kennen in vergelijking met energiesystemen. Er zullen oplossingen moeten worden gezocht waarbij een toenemend gebruik van ICT niet leidt tot een afname van de betrouwbaarheid. betrouwbaarheid heeft een aantal dimensies, waarbij de veiligheid voor hackers en buitenlandse invloeden er een van is.

Kansrijke opties

Energiebesparing blijkt nog altijd een belangrijke optie om de vraag gedurende de piek te reduceren. Hoewel strikt genomen geen flexibiliteitsoptie is energiebesparing in veel gevallen een kosteneffectieve optie om energiekosten te reduceren, want het vermindert de avond-piekbelasting op de netten, en draagt bij aan een hogere mate van autonomie.

Daarnaast zijn ontwikkelingen zoals gestandaardiseerde protocollen (powermatcher) agent-technologie e.d. kansrijk.



8. Aanbevelingen voor de Nederlandse Topsector: aanzet tot roadmap

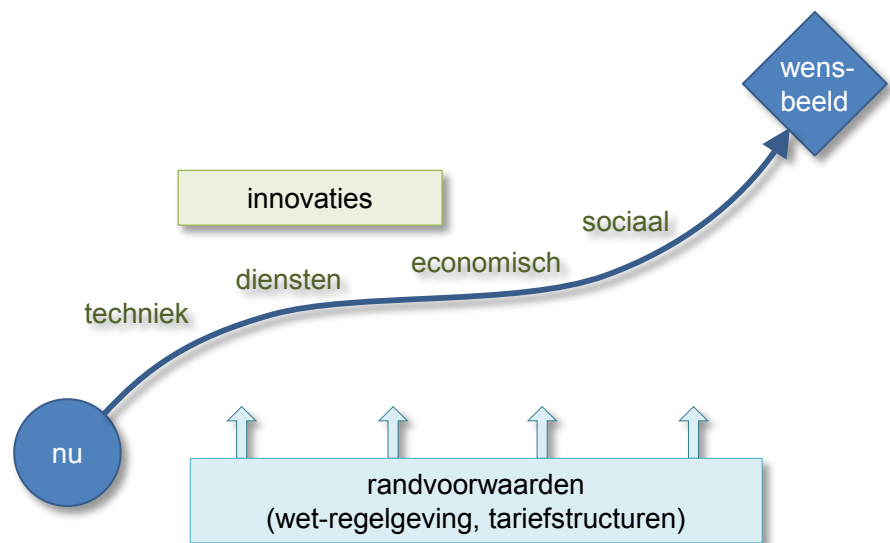
De benutting van flexibiliteit aan de kant van de eindgebruiker biedt een enorm potentieel. De betrokkenheid van de eindgebruiker in het energiesysteem zal in de toekomst immers helpen om vraag op aanbod af te stemmen op een manier die leverings- en voorzieningszekerheid, betaalbaarheid en duurzaamheid vergroot. Bij het gebruik van energie komen diverse infrastructuren en waardeketens samen, wat betekent dat op deze plek in de keten ruimte is voor de invulling van bestaande en nieuwe technologieën die de vraagflexibiliteit van de eindgebruiker vergroten. De eindgebruiker zelf speelt hier een grote rol in: zijn gedrag is zelfs bepalend voor de mate waarin flexibiliteit succesvol kan worden benut. In dit onderzoek stond de veranderende rol van de eindgebruiker in relatie tot systeemintegratie dan ook centraal. Via verschillende invalshoeken zijn de belangrijkste factoren die invloed hebben op het gedrag van de energieconsument onderzocht, met het oog op mogelijkheden om de eindgebruiker een actievere rol in de energiewaardeketen te laten vervullen. Verschillende innovaties die bijdragen aan het vergroten van flexibiliteit van energiegebruik zijn hierbij aan het licht gekomen.

Het beïnvloeden van gedrag van energieconsumenten speelt een sleutelrol bij de benutting van flexibiliteit van eindgebruikers. In dit onderzoek zijn dan ook de verschillende factoren in kaart gebracht die het gedrag van Decision Making Units in de industrie, het MKB en huishoudens verklaren. Zo wordt in Hoofdstuk 5 bijvoorbeeld beschreven dat de industriële heavy user voornamelijk geprikkeld door bedrijfseconomische factoren die een investeringsbeslissing rendabel maken, terwijl een huishouden zich vooral laat leiden door zijn perceptie op kosten en baten, gemak en de esthetiek van een product. Nieuwe dienstenleveranciers zullen hier dus op in moeten spelen om flexibiliteit aan de kant van de eindgebruiker te ontsluiten, bijvoorbeeld door de eindgebruiker kennis en inzicht in zijn/haar energiegebruik te verschaffen met zo min mogelijk involvement van de eindgebruiker zelf.

Ons energiesysteem kan niet meer als een lineaire waardeketen worden gezien. De koppeling tussen centrale en decentrale elektriciteitsproductie in combinatie met de toenemende complexiteit op de markt zorgt ervoor dat de inrichting van ons systeem in de toekomst niet meer volstaat. Aanpassingen in de organisatie van de sector, verdienmodellen en tariefstructuren, regulering en technologie zijn noodzakelijk om het functioneren van de ‘open energiediensten economie’ van de toekomst te laten slagen. Alleen wanneer deze aspecten in samenhang worden bekeken, zou flexibiliteit van de kant van de eindgebruiker optimaal kunnen worden benut.

8.1 De benutting van kansrijke opties

In hoofdstuk 6 van dit rapport zijn per eindgebruikerssegment de meest kansrijke opties in kaart gebracht waarmee de eindgebruiker een actievere rol kan spelen in het toekomstige energiesysteem. Deze opties zijn deels technologisch van aard, maar raken in grote mate ook organisatorische en sociaal-economische elementen. Voor elk van deze opties zijn kansen ten aanzien van vraagflexibiliteit benoemd, alsmede de belemmeringen die de ontwikkeling van de optie momenteel in de weg staan. Deze belemmeringen doen zich voor op technologisch terrein, maar voor een groot deel ook op economisch, organisatorisch, maatschappelijk, politiek en juridisch terrein. De knelpunten zullen moeten worden omgebogen om ervoor te zorgen dat de kansen die de flexibilitieopties kunnen bieden worden benut.



Figuur 8.1: Benodigde innovaties om tot het wensbeeld te komen

De innovaties op de verschillende terreinen die nodig zijn om tot het wensbeeld te komen waarin de eindgebruiker een belangrijke rol in ons energiesysteem vervult zijn onderhevig aan een set randvoorwaarden. Ook deze randvoorwaarden, zoals wet- en regelgeving en tariefstructuren, zullen moeten worden onderzocht om de verschillende innovaties een slagingskans te bieden.

8.2 Suggesties aan de Topsector Energie

De benoeming van verschillende knelpunten die de benutting van flexibiliteit van eindgebruikers in de weg staan leidt automatisch ook tot acties die nodig zijn om deze knelpunten weg te nemen. Dit onderzoek eindigt dan ook met enkele suggesties aan de Topsector Energie die de actieve betrokkenheid van de eindgebruiker in de komende jaren zullen stimuleren. Met deze suggesties doen wij een eerste aanzet tot de *Roadmap Vraagflexibiliteit*, waarin de knelpunten van kansrijke opties zijn vertaald in ontwikkelingsbehoeften voor de Nederlandse Topsector.

In tabel 8.1 wordt de eerste aanzet tot de *Roadmap Vraagflexibiliteit* weergegeven, waarin zowel acties die te maken hebben met de ontwikkeling van flexibiliteitsopties als de acties die samenhangen met de randvoorwaarden worden benoemd die in de komende jaren nodig zijn om flexibiliteit in ons toekomstige energiesysteem te creëren en te benutten. Ook de eventuele internationale samenwerkingsmogelijkheden zijn hierbij aangegeven. Deze acties zijn geclusterd per eindgebruikerssegment, waarbij de segmenten MKB/utiliteitsbouw en huishoudens zijn samengevoegd vanwege de grote overlap in knelpunten en bijbehorende actiepunten. Ook de kansrijke opties waarop de suggesties van toepassing zijn worden in deze tabel benoemd.

De suggesties die voortvloeien uit dit onderzoek dienen verder te worden uitgewerkt in de definitieve *Roadmap Vraagflexibiliteit*, om de R&D agenda voor de Topsector Energie vast te stellen.

| EIND- GEBRUIKER SEGMENT | DOEL WAT IS HET DOEL OP MIDDEL- LANGE TERMIJN (5-10 JAAR)? | ACTIES KORTE TERMIJN ACTIES (1-3 JAAR): WAT MOET VÓÓR 2020 GEBEUREN OM HET DOEL TE BEREIKEN? | VAN TOEPASSING OP KANSRIJKE OPTIES | |
|---|---|--|---|---|
| Industrie | De industriële eindgebruiker houdt zich actief bezig met flexibiliteit en speelt slim in op het marktaanbod. Het afstemmen van vraag- en aanbod wordt zo goed mogelijk gefaciliteerd door de markt. | Vergroten van energiekennis en openstellen voor flexibiliteitsmogelijkheden | Power to Products Power to Cold Power to Heat | |
| | | Onderzoeken van mogelijkheden tot contractinnovaties om flexibiliteitsopties te vergroten (m.b.t. netwerkkosten/overschrijden piekvraag) | Power to Products Power to Cold Power to Heat | |
| | | Belangrijkste voorbeelden in gang zetten | Power to products | |
| | | Aangaan van partnershiprelaties tussen klant en leverancier Energie als dienst Win-win, ken uw DMU! | Power to Products Power to Cold Power to Heat | |
| | Er zijn bewezen voorbeelden die uitwijzen dat de industriële eindgebruiker baat heeft bij het investeren in flexibiliteitsopties. De eerste financiële drempels zijn hierbij weggenomen. | Opstellen van aantrekkelijke business cases en uitvoeren van pilots (Demonstratieprojecten) | Power to Products Power to Cold Power to Heat | |
| | | Investeren in ontwikkeling van hybride stoomketels | Power to Heat | |
| | | Onderzoeken hoe tarifiering (waaronder voor de transportkosten en ODE) flexibiliteitsopties kunnen ondersteunen in plaats van in de weg te staan | Power to Products Power to Cold Power to Heat | |
| | | Meefinancieren van risicovolle investeringen met grote socio-economische waarde | Power to Products Power to Cold Power to Heat | |
| | | Verschillende industriële partijen werken met elkaar samen om de energiesymbiose en afstemming van vraag en aanbod te vergroten. | Bevorderen van regionale samenwerking | Power to Products Power to Cold Power to Heat |
| | | | Maken flexkaart NL | Power to Products Power to Cold Power to Heat |
| Meer redundante initiatieven inzetten Ook tweede en derde volger belonen | Power to Products Power to Cold Power to Heat | | | |
| Industrie en MKB/ utiliteitsbouw | Koudeopslag wordt gebruikt om het elektrische energieverbruik van de industrie en MKB terug te dringen tijdens piekuren | Verbreiden en versnellen van vergunningstrajecten voor het realiseren van WKO | Power to Cold | |

**INNOVATIE-
DIMENSIE
TECHNIEK
DIENSTEN
MARKT
SOCIAAL**

 WIE? = HOOFDVERANTW.
 = MEDEVERANTWOORDELIJK

| OVERHEID | NETBEHEERDERS | TENNET | ENERGIE- BEDRIJVEN | ADVIES-/ONDERZ. | FINANCIERS | FABRIKANTEN TECHN | DIENSTENLEVE- RANC. | EINDGEBRUIKER | BETROKKEN TKI'S |
|----------|---------------|--------|-----------------------|-----------------|------------|----------------------|------------------------|---------------|-----------------|
|----------|---------------|--------|-----------------------|-----------------|------------|----------------------|------------------------|---------------|-----------------|

| | | | | | | | | | |
|------------------|--|--|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|--|--------------------------|------|
| Sociaal Markt | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input type="checkbox"/> | ISPT |
|------------------|--|--|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|--|--------------------------|------|

| | | | | | | | | | |
|-------|--------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|--|--|--|------|
| Markt | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | ISPT |
|-------|--------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|--|--|--|------|

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--------------------------|--|--|--|--|-------------------------------------|------|
| | | | <input type="checkbox"/> | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | ISPT |
|--|--|--|--------------------------|--|--|--|--|-------------------------------------|------|

| | | | | | | | | | |
|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--|-------------------------------------|--|--|-------------------------------------|------|
| Dienst | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | ISPT |
|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--|-------------------------------------|--|--|-------------------------------------|------|

| | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|--------------------------|-----------|
| Techniek Markt | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input type="checkbox"/> | ISPT S2SG |
|-------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|--------------------------|-----------|

| | | | | | | | | | |
|----------|-------------------------------------|--|--|-------------------------------------|--|--------------------------|--|-------------------------------------|------|
| Techniek | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | ISPT |
|----------|-------------------------------------|--|--|-------------------------------------|--|--------------------------|--|-------------------------------------|------|

| | | | | | | | | | |
|---------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|--|-------------------------------------|--|
| Sociaal | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | |
|---------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|--|-------------------------------------|--|

| | | | | | | | | | |
|-------------------|--------------------------|-------------------------------------|--|--|-------------------------------------|--|--|--|---|
| Diensten Markt | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | ? |
|-------------------|--------------------------|-------------------------------------|--|--|-------------------------------------|--|--|--|---|

| | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|--|--|--------------------------|-------------------------------------|------|
| Diensten Markt | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | ISPT |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|--|--|--------------------------|-------------------------------------|------|

| | | | | | | | | | |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--|--|--|-------------------------------------|---------------------------|
| Diensten | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | ISPT Switch2SmartGrids |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--|--|--|-------------------------------------|---------------------------|

| | | | | | | | | | |
|---------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|--|--|-------------------------------------|------|
| Sociaal | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | ISPT |
|---------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|--|--|-------------------------------------|------|

| | | | | | | | | | |
|---------|--------------------------|-------------------------------------|--|--|--|--|--|--|---------------------------|
| Sociaal | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | EnerGO?Switch2SmartGrids? |
|---------|--------------------------|-------------------------------------|--|--|--|--|--|--|---------------------------|

| EIND- GEBRUIKER SEGMENT | DOEL WAT IS HET DOEL OP MIDDEL- LANGE TERMIJN (5-10 JAAR)? | ACTIES KORTE TERMIJN ACTIES (1-3 JAAR): WAT MOET VÓÓR 2020 GEBEUREN OM HET DOEL TE BEREIKEN? | VAN TOEPASSING OP KANSRIJKE OPTIES |
|--|--|--|---|
| MKB/ utiliteitsbouw en Huishoudens | De eindgebruiker wordt actief ontzorgd bij zijn energieverbruik. Dienstverleners nemen de consument bij de hand. | Vergoten van zichtbaarheid energiebesparing en creëren van incentives voor de eindgebruiker | Energiebesparing |
| | | Meer DMU onderzoek om gedrag te beïnvloeden | Alle opties |
| | | Van energie naar comfort dienstverlening | Energiebesparing |
| | | Herziening van warmtewet: eisen tariefstelling minder rigide, levenscyclus maatgevend | Warmte/koude gerelateerde opties, gebiedsgerichte opties |
| Randvoorwaarden t.a.v. wet- en regelgeving zijn versoepeld om flexibiliteit van de eindgebruiker te vergroten en de juiste incentives te bieden. | | APX openstellen voor niet-programmaverantwoordelijke partijen | Alle opties |
| | | Energiebelasting opnieuw inrichten op basis van onderlinge uitwisseling en collectieve systemen | Alle opties |
| | | Interventie met incentives bij DMU's waar eigenaar geen gebruiker is | Alle opties |
| | | Herziening salderingsregeling ter bevordering van opslagincentives eindgebruiker, waarbij de salderingsgrens in stapjes wordt verlaagd | Decentrale opwekking, Elektrische opslag/elektrisch vervoer |
| | | Opt-in real time pricing op basis van slimme meter (als gebruiker daarom vraagt) | Alle opties |
| Warmtepompsystemen zijn doorontwikkeld en functioneren optimaal | | R&D: warmtepompsystemen in combinatie met lage temperatuur warmteafgifte | Warmte/koude gerelateerde opties |
| | | Doorontwikkelen van ICT stuur-systemen (open source) voor subsystemen oa witgoed | Sturen van energieverbruikende apparatuur |
| ICT vervult een belangrijke rol in de sturing van apparatuur en zorgt voor balancerings van het netwerk. | | Vergroten netintelligentie (ICT-systemen) ter voorkoming van netbelasting | Sturen van energieverbruikende apparatuur, decentrale opwekking, elektrische opslag/elektrisch vervoer |
| | | Opzetten en stimuleren proeftuinen ter bevordering van burgerinitiatieven Ook tweede en derde volger belonen | Gebiedsgerichte opties |
| Installateurs zijn deskundige partners | | Opleiden installatiebranche in technologieën van de toekomst en nieuwe rol als dienstverleners hybride energievraagstukken | Warmte/koude gerelateerde opties Sturen van energieverbruikende apparatuur, decentrale opwekking, elektrische opslag/elektrisch vervoer |

Tabel 8.1: Aanzet tot de Roadmap Vraagflexibiliteit

| INNOVATIE- DIMENSIE TECHNIEK DIENSTEN MARKT SOCIAAL | WIE? <input type="checkbox"/> = HOOFDVERANTW. <input checked="" type="checkbox"/> = MEDEVERANTWOORDELIJK | | | | | | | | BETROKKEN TKI'S | |
|--|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| | OVERHEID | NETBEHEERDERS | TENNET | ENERGIE- BEDRIJVEN | ADVIES-/ONDERZ. | FINANCIERS | FABRIKANTEN TECHN | DIENSTENLEVE- RANC. | | EINDGEBRUIKER |
| Diensten | | | | <input type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | EnerGO Switch2SmartGrids |
| Sociaal | <input type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | Switch2SmartGrids Systeem Integratie / STEM |
| Diensten | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Diensten | <input type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Markt Sociaal | <input type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Switch2SmartGrids |
| Sociaal | <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | |
| Sociaal | <input type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Markt | <input type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | EnerGO Solar Energy Switch2SmartGrids |
| Markt | <input type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | Switch2SmartGrids |
| Techniek | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | | | EnerGO |
| Techniek Diensten | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | EnerGO Switch2SmartGrids |
| Techniek | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | | | Switch2SmartGrids |
| Diensten Sociaal | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | EnerGO Solar Energy |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | EnerGO |



Bronnenlijst

- Agora Energiewende (2014). Power-to-Heat zur Integration von ansonsten abgeregeltem Strom aus Erneuerbaren Energien.
- Ajzen, I. (1985). The Theory of Planned Behavior. *Organizational behavior and human decision processes* 50, 179-211.
- BMWi (2014). An Electricity Market for Germany's Energy Transition, Discussion Paper of the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (2013). Der Weg zu neuen marktlichen Strukturen für das Gelingen der Energiewenden. 2013. Berlin. G Beschikbaar op: [https://bdew.de/internet.nsf/id/20130927-pi-bdew-legt-neuer-bundesregierung-branchenloesung-zur-weiterentwicklung-des-energiemarktes/\\$file/130918_PG-Marktdesign_Abschlusspapier.pdf](https://bdew.de/internet.nsf/id/20130927-pi-bdew-legt-neuer-bundesregierung-branchenloesung-zur-weiterentwicklung-des-energiemarktes/$file/130918_PG-Marktdesign_Abschlusspapier.pdf)
- Cambridge Architectural Research, Loughborough University and Element Energy (2013). Further Analysis of the Household Electricity Survey, Early Findings: Demand Side Management. Beschikbaar op: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/275483/early_findings_revised.pdf
- Centraal Bureau voor de Statistiek (2013). Finaal energetisch verbruik van elektriciteit en aardgas tussen eindgebruikssegmenten . Exportwaarde: CBS Statline, Het energieverbruik voorwarmte afgeleid uit de Energiebalans, 2009.
- Centraal Bureau voor de Statistiek (2013), ICT, kennis en economie. Exportwaarde: CBS Statline, In- en uitvoer; aantal bedrijven en waarde naar omvang en activiteit, 2009.
- Centraal Bureau voor de Statistiek (2013), ICT, kennis en economie. Exportwaarde: CBS Statline, In- en uitvoer; aantal bedrijven en waarde naar omvang en activiteit, 2009.
- CE Delft, DNV GL (2012). Maatschappelijke kosten/baten analyse intelligente netten, Delft, 2012.
- CE Delft (2014). Match van vraag en aanbod. Denktank vernieuwing energiemarkt, bijlage 2. Beschikbaar op: http://www.ce.nl/ce/notities_denktank/824
- CE Delft, DNV GL (2014). Toekomst warmtekrachtkoppeling en warmtevoorziening industrie en glastuinbouw. Delft, oktober 2014. Beschikbaar op: http://www.ce.nl/publicatie/toekomst_warmtekrachtkoppeling_en_warmtevoorziening_industrie_en_glastuinbouw/1542

- CE Delft & DNV GL (2014). Toekomst WKK en warmtevoorziening industrie en glastuinbouw. Delft, oktober 2014.
- CE Delft (2006): Zachte instrumenten voor energiebesparing. Beschikbaar op: (<http://www.ce.nl/publicatie/energiebesparingsgedrag/472>)
- Delta, IEA HPP Annex 42: Heat Pumps in Smart Grids (2014). IEA Heat Pump Programme. Beschikbaar op: <http://web.ornl.gov/sci/ees/etsd/btrc/usnt/countryReports/NETHERLANDS.pdf>
- Dutch Heat Pump Association, Statusrapportage Warmtepompen (2014). Beschikbaar op: <http://www.dhpa-online.nl/wp-content/uploads/2011/03/Statusrapportage-Warmtepompen-2014-11-11.pdf>
- Duurzame Brandstofvisie met LEF (juni 2014). Beschikbaar op: <http://www.energieakkoordser.nl/nieuws/brandstofvisie.aspx>
- DWA. Inventarisatie kansen Power to Storage Zuid-Nederland. Beschikbaar op: http://www.dwa.nl/?detail_id=12227&father=7
- ECN (2014). Verbetering referentiebeeld utiliteitssector. Petten, 2014. Beschikbaar op: <https://www.ecn.nl/publicaties/ECN-E--13-069>
- Ecovat. Thermisch energie opslagsysteem. Beschikbaar op: <http://www.ecovat.eu/>
- Energie-Nederland, Energietrends 2014. Beschikbaar op: <http://www.energie-nederland.nl/wp-content/uploads/2013/04/EnergieTrends2014.pdf>
- Enernoc: Leggett a platt makes enernoc part of its national manufacturing operations. Beschikbaar op: <http://www.enernoc.com/our-resources/case-studies/leggett-a-platt-makes-enernocpart-of-its-national-manufacturing-operations>
- ENTSO-E (2014). The Ten-Year Network Development Plan and Regional Investment Plans. Beschikbaar op: <https://www.entsoe.eu/Documents/TYNDP%20documents/TYNDP%202014/141031%20TYNDP%202014%20Report.pdf>
- European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling (2012). Strategic research priorities for solar thermal technology.
- Feldheim (januari 2015). Het wonder van Feldheim/ Beschikbaar op: http://www.energieplus.nl/het_wonder_van_feldheim
- IEA (2014). The Power of Transformation, Wind, Sun and the economics of flexible power systems. 2014. Beschikbaar op: <http://www.iea.org/textbase/npsum/givar2014sum.pdf>
- KWA (maart 2015). Graaddagen en koeldagen. Beschikbaar op: <http://www.kwa.nl/content/graaddagen-en-koeldagen>
- Laborelec (2013). Presentatie 'Vraagsturing bij koelhuizen'.
- Miele. Programma en prijsoverzicht Miele inbouwapparaten. Beschikbaar op: http://www.miele.nl/media/domestic_nl/media/files/download/Programma-en-prijsoverzicht-Miele-inbouwapparaten-januari-2015.pdf
- Movares (2014). Demand response - kansenverkenning onder enkele MJA sectoren.
- Palmer J., Nicola T., Kane T., (2013). Further Analysis of the Household Electricity Survey: Early Findings: Demand side management. 2013, Cambridge. Beschikbaar op: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/275483/early_findings_revised.pdf
- Nedap, Powerrouter. Beschikbaar op: <http://www.powerrouter.com/nl/>

-
- NRECA & CRN (2013). Demand Response & Critical Peak Pricing Testing the Theoretical Basis for DR. Beschikbaar op: http://www.nreca.coop/wp-content/uploads/2014/01/NRECA_DOE_DR_CPP_a.pdf
 - PBL – Planbureau voor de Leefomgeving & DNV GL (2014). Het potentieel van zonnestroom in de gebouwde omgeving van Nederland. Beschikbaar op: http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2014-dnv-gl-het-potentieel-van-zonnestroom-in-de-gebouwde-omgeving-van-nederland_01400.pdf
 - Powermatcher. Beschikbaar op: <http://www.powermatcher.net/>
 - Rogers, E. (2003). Diffusion of Innovations, 5th edition.
 - Samso Denemarken (januari 2015). Beschikbaar op: <http://www.visitsamsoe.dk>
 - SCE, Case study Railex. Beschikbaar op: https://www.sce.com/wps/wcm/connect/109348ba-7680-43f6-839f-6b7651b583ff/CaseStudy_Railex_AA.pdf?MOD=AJPERES
 - Sluis, S.M. van der, Night Wind (2009). Opslag van elektriciteit in koel- en vrieshuizen. TNO Bouw en Ondergrond, Delft. 2009.
 - Sociaal-Economische Raad, Energieakkoord voor duurzame groei (2013). Beschikbaar op: http://www.energieakkoordser.nl/~media/files/internet/publicaties/overige/2010_2019/2013/energieakkoord-duurzame-groei/energieakkoord-duurzame-groei.ashx
 - Solarmagazine (december 2014). Beschikbaar op: <http://solarmagazine.nl/>
 - TKI-energo (2014). Warmtebatterij. Beschikbaar op: <http://topsectorenergie.nl/project/energiebesparing-gebouwde-omgeving/>
 - TKISwitch2SmartGrids (2014). Green Deal: Smart Energy Cities. Beschikbaar op: <http://tki-switch2smartgrids.nl/wp-content/uploads/2013/12/Uitvraag-kwartiermaker-GD-SmEC.pdf>
 - Wagener P., Mosterd D., (2013). Warmtepompen en economie. Harderwijk Dutch Heatpump Association. Beschikbaar op: <http://www.dhpa-online.nl/wp-content/uploads/2013/09/Warmtepompen.economie.pdf>
 - Warmtenetwerk, Power-to-Cold voor Carlsberg. Beschikbaar op: <http://www.warmtenetwerk.nl/home/nieuws/warmtenetwerk-nieuws-september-2/>
 - Welle, A van der., Dijkstra, S (2012). Optimale interactie tussen marktpartijen en netbeheerders in de transitie naar smart grids, 29 februari 2012.



Bijlagen

Bijlage 1

| SCENARIO | EENHEID | WKK HOOG DUURZAAM | ENTSO-E VISIE 3 | ENTSO-E VISIE 4+ | ENTSO-E VISIE 4+ - |
|---|-----------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Gas | €/GJ | 8,8 | 9 | 9 | 9 |
| Kolen | €/GJ | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 |
| CO ₂ -prijs | €/ton CO ₂ | 24,8 | 24,8 | 24,8 | 24,8 |
| Aandeel wind en zon in Nederland WOL= wind op land WOZ= wind op zee | GW | 20: WOL 8 WOZ 9 Zon 12 | 20: WOL 6 WOZ 6 Zon 8 | 28: WOL 6 WOZ 13 Zon 9 | 28: WOL 6 WOZ 13 Zon 9 |
| Aandeel wind en zon in omliggende landen | Idem | " + 33% t.o.v. basis | ENTSO-E | ENTSO-E | ENTSO-E |
| Extra interconnectie meegenomen? | n.v.t | Ja | Ja | Ja | Ja |
| Productiepark WKK = warmte kracht koppeling | GW | 15 GW gas WKK all-flex | 27 GW gas WKK must-run | 27 GW gas WKK must-run | 20 GW gas WKK must-run |
| Gemiddelde prijs | EUR/MWh | € 53,21 | € 38,87 | € 23,81 | € 37,47 |

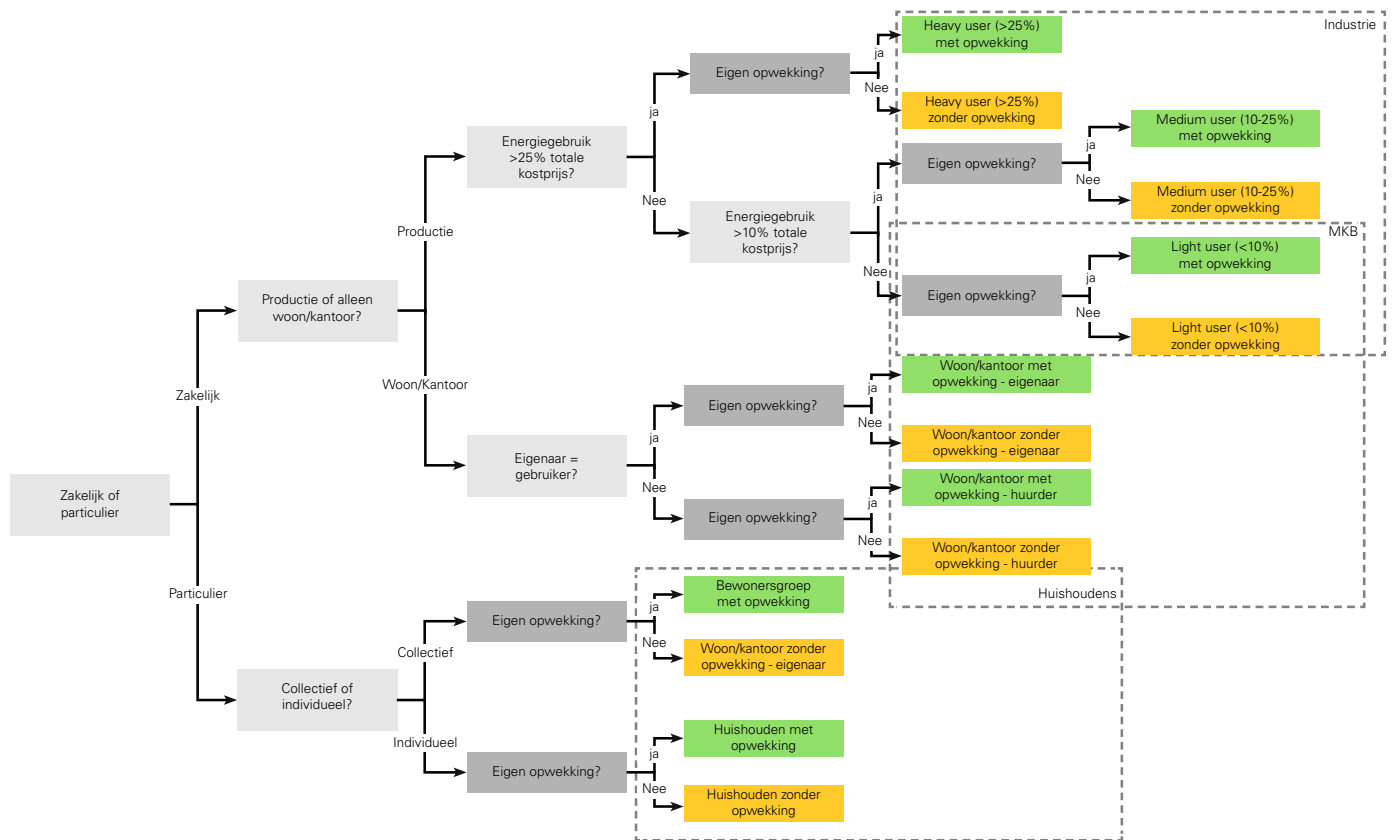
Belangrijkste uitgangspunten scenario's Bron: DNV-GL Scenario's Visio en WKK

Bijlage 2

Scoren flexopties (assessment on scale) sorted by Mean
 Criterion "Relevantie". 37 items.
 Scale: 1-10. Abstentions permitted. List of items randomized.

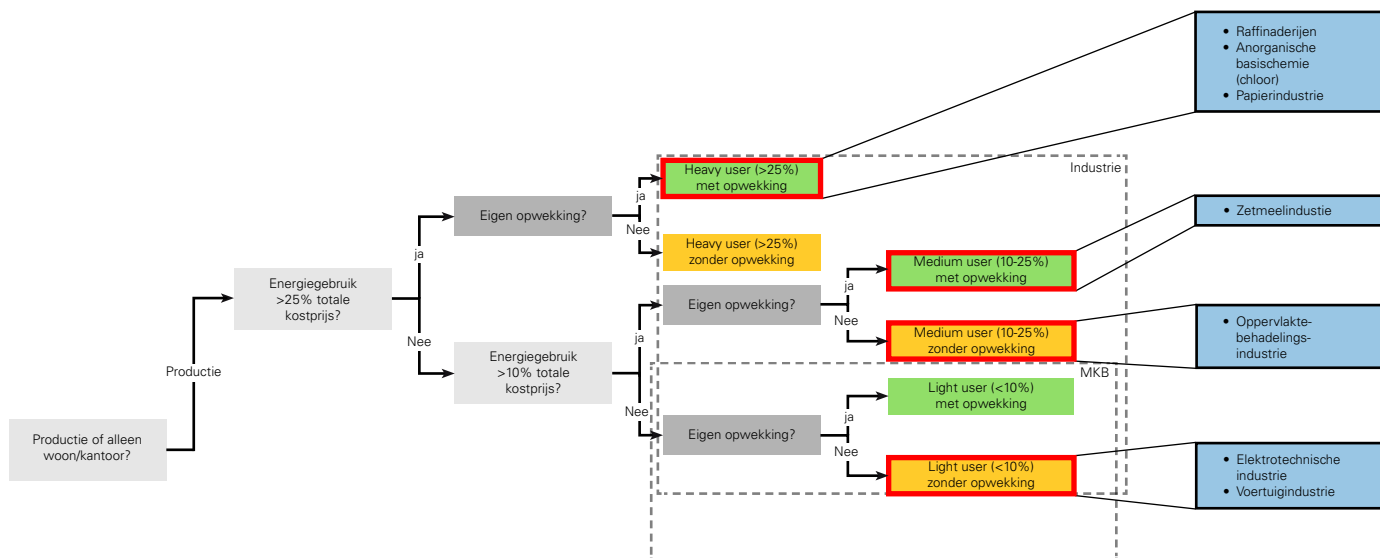
| Item | Folder | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | ∅ | SD | n | Relevant |
|---|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|------|------|----|-----------|
| HP stoomhercompressie (multi stage) | Verwarmen | | | | | 1 | | 1 | 2 | 4 | 4 | 8,67 | 0,16 | 12 | Hoog |
| Elektrische stoomketel (HT) | Verwarmen | | | | 1 | | | 2 | 2 | 6 | 5 | 8,63 | 0,17 | 16 | Hoog |
| 2H: Hete lucht droging, sproeidrogen | Verwarmen | | | | | 2 | | 2 | 4 | 3 | | 8,11 | 0,08 | 9 | Hoog |
| Elektrische boiler LT | Verwarmen | 1 | | 1 | | | 1 | 4 | 3 | 4 | 3 | 7,69 | 0,3 | 13 | Hoog |
| Warmtepomp LT + thermische opslag | Verwarmen | | | 1 | | | | 4 | 4 | 2 | 2 | 7,57 | 0,2 | 14 | Hoog |
| LP Multi-effect MDR | Verwarmen | 1 | | | | 1 | | 4 | 1 | 1 | 1 | 7,13 | 0,3 | 8 | Hoog |
| stoom-elektrische aandrijving combinatie (bumpless transfer) | Aandrijving | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 6,79 | 0,31 | 14 | Hoog |
| HT warmtepomp, 100 °C | Verwarmen | 2 | | | | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 2 | 6,75 | 0,32 | 12 | Hoog |
| Koelmachines koel/vrieshuizen | Verwarmen | 2 | | 1 | | | 4 | 4 | 1 | 2 | | 6,71 | 0,32 | 14 | Hoog |
| Warmtepomp LT + fuel switch | Koelen | 1 | 1 | 1 | | 1 | | 2 | 8 | | | 6,69 | 0,24 | 13 | Hoog |
| flexibele naverwarming op hoge temperaturen als alternatief voor direct ζ | Verwarmen | 1 | 1 | 3 | | | 2 | 3 | 1 | 2 | | 6,55 | 0,33 | 11 | Hoog |
| Compressie andere gassen + drukopslag/liq. | Aandrijving | | 1 | | | | 1 | | 4 | 1 | 2 | 6,5 | 0,32 | 12 | Gemiddeld |
| combinatie van koelen en verwarmen | Koelen | 2 | 1 | 2 | | 1 | | 4 | 3 | 1 | | 6,29 | 0,33 | 14 | Gemiddeld |
| HT warmtepomp, 150 °C thermo-akoestisch | Verwarmen | | 1 | 2 | 1 | 1 | | 2 | 4 | 2 | | 6,23 | 0,27 | 13 | Gemiddeld |
| H2 elektrolyse + nageschakelde reacties | Procestoepassing | 1 | 2 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 6,08 | 0,34 | 12 | Gemiddeld |
| Perslucht + drukopslag | Aandrijving | 1 | | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 5,92 | 0,27 | 11 | Gemiddeld |
| Omzetting NaCl tot NaOH, Cl2 en H2 | Procestoepassing | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | | 2 | 1 | 1 | 2 | 5,82 | 0,35 | 12 | Gemiddeld |
| Vliegwiel opslag; wordt ing in de USA gebruikt voor de snelle balanshandh | Aandrijving | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | | 3 | 1 | 2 | | 5,67 | 0,27 | 12 | Gemiddeld |
| CAES | Elektrische opslag | 1 | 1 | 2 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 2 | 5,6 | 0,36 | 10 | Gemiddeld |
| Vliegwielen | Elektrische opslag | 1 | 1 | 2 | 1 | | 1 | 2 | 2 | 2 | | 5,58 | 0,3 | 12 | Gemiddeld |
| Koelmachines koudnet/industrie/ utiliteit | Koelen | 2 | | 2 | 1 | | 1 | 2 | 4 | 1 | | 5,58 | 0,32 | 12 | Gemiddeld |
| Opslagstroom voelbare warmte | Thermische opslag | 2 | | 2 | 2 | | | 1 | 1 | 2 | 1 | 5,36 | 0,35 | 11 | Gemiddeld |
| Opslaan tussenproducten, halfabrikaten | Procestoepassing | 4 | | 1 | | 1 | | 1 | 2 | 1 | 2 | 5,25 | 0,4 | 12 | Gemiddeld |
| PCM thermische opslag | Thermische opslag | 2 | | 3 | 1 | | 2 | 1 | 1 | 2 | | 5,17 | 0,34 | 12 | Gemiddeld |
| Vlamboogtechnologie (acetyleen, etc.) | Procestoepassing | 2 | | 2 | 1 | | | 2 | 1 | 1 | | 4,89 | 0,34 | 9 | Beperkt |
| Pompen + opvoervat. | Aandrijving | 2 | 4 | | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | | | 4,85 | 0,28 | 13 | Beperkt |
| Accu's, batterijen (elektrochemisch) | Elektrische opslag | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4,69 | 0,3 | 13 | Beperkt |
| Oppervlaktebehandeling staal | Procestoepassing | 2 | | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 4,4 | 0,24 | 10 | Beperkt |
| Chemische verbinding (ab/adsorptie) | Thermische opslag | 2 | 1 | 3 | 2 | | 3 | 1 | 1 | 1 | | 4,38 | 0,29 | 13 | Beperkt |
| Flowbatterijen (NaS etc.) | Elektrische opslag | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 4,27 | 0,31 | 11 | Beperkt |
| Chem./metallurgisch: elektrostaal, SiO2 | Procestoepassing | 4 | 2 | | | | | 1 | | | 2 | 4,11 | 0,4 | 9 | Beperkt |
| Ventilatie HVAC | Aandrijving | 2 | 3 | 1 | 2 | | 3 | 2 | | | | 3,92 | 0,24 | 13 | Beperkt |
| Zinkelektrolyse ZnO tot Zn | Procestoepassing | 3 | | 2 | | 1 | | | 2 | | | 3,75 | 0,31 | 8 | Beperkt |
| Reductie van Al2O3 tot aluminium | Procestoepassing | 3 | | 4 | | | | | 1 | 1 | | 3,56 | 0,31 | 9 | Beperkt |
| Reversibele HT- H2 elektrolyse | Procestoepassing | 1 | 1 | 5 | 1 | 1 | | 1 | | | | 3,4 | 0,17 | 10 | Beperkt |
| IR-straling (verwarming) | Straling | 3 | 1 | 3 | | | 1 | 1 | | | | 3 | 0,23 | 9 | Beperkt |
| UV-straling (productie van ozon; desinfectie) | Straling | 3 | 1 | 3 | | | | 1 | | | | 2,63 | 0,21 | 8 | Beperkt |

Bijlage 3. Classificatie DMU's

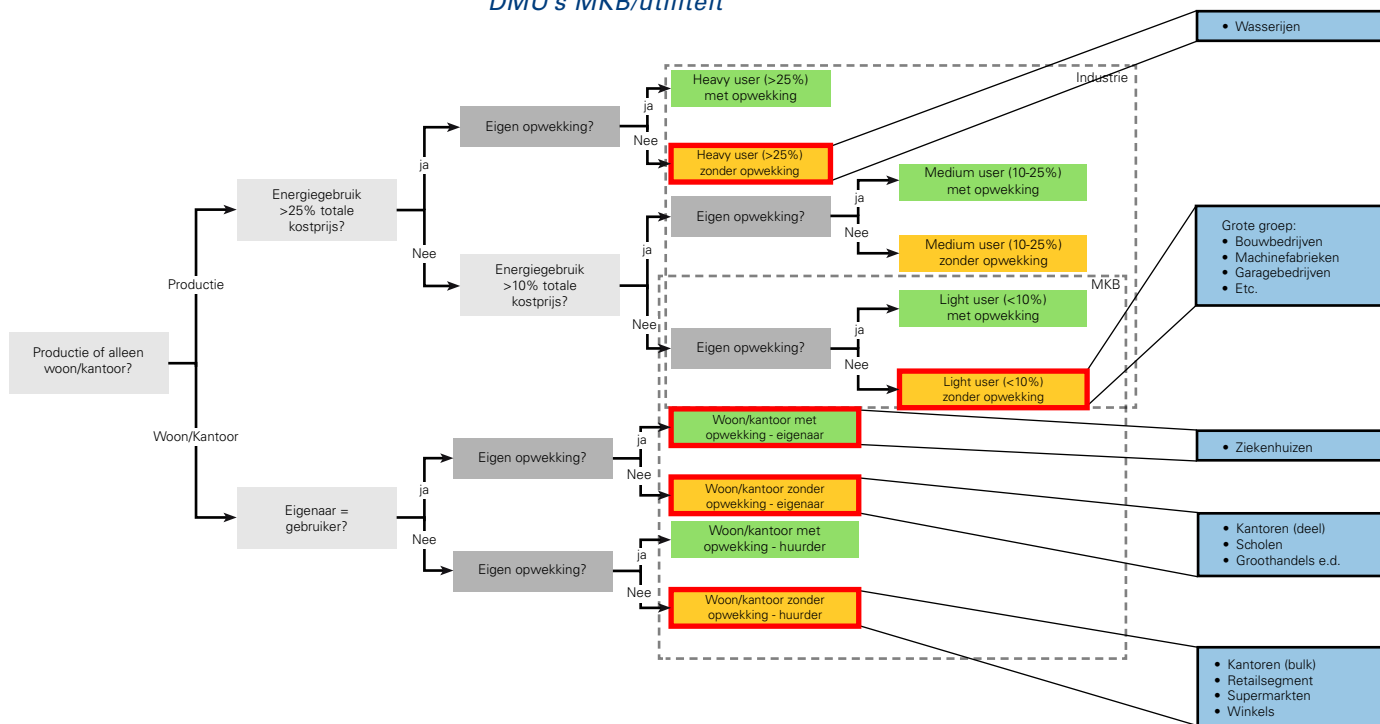


- Verschillende DMU's hechten op andere manier waarde aan beslissingsfactoren.
- Deze waarden bepalen het investeringsgedrag van partijen in de industrie, MKB en huishoudens.
- Factoren als eigenaarschap en eigen opwekking spelen hierbij een rol.

DMU's industrie



DMU's MKB/utiliteit



Bijlage 4

| Versorger | Ort | Kesselart | el. Leistung [MW] | Inbetriebnahme |
|------------------------------|--------------------|---------------|-------------------|-----------------|
| Alte Bestandsanlagen* | | | | |
| EnBW | | | ca. 160 | |
| Vattenfall | Hamburg | | ? | |
| E.ON | | | ? | |
| RWE | | | ? | |
| Neue PtH-Projekte** | | | | |
| Stadtwerte Tübingen | Tübingen | Elektrokessel | 5 | geplant |
| EEW Energy from Waste | Premnitz | EHK | 20 | ca. August 2014 |
| Stadtwerte Nürnberg | Nürnberg | EHK | 50 | ca. August 2014 |
| Infraserv Höchst | Frankfurt (Höchst) | EHK | 40 | April 2014 |
| VV Saarbrücken | Saarbrücken | EHK | 10 | In Betrieb |
| Stadtwerte Schwerin | Schwerin | Elektrokessel | 15 | In Betrieb |
| E.ON Ruhrenergie (Shamrock) | Herne (NRW) | EHK | 60 | In Betrieb |
| Stadtwerte München | München (HKW Süd) | Elektrokessel | 10 | In Betrieb |
| Stadtwerte Lemgo | Lemgo | Elektrokessel | 5 | In Betrieb |
| Stadtwerte Flensburg | Flensburg | EHK | 30 | In Betrieb |
| SUMME - Anzahl 9 | | | 225 | |

Duitsland, bron: Agora Energiewende, 2014.

| Versorger | el. Leistung [MW] | Spannungsebene [kV] | Inbetriebnahme |
|--------------------------------|-------------------|---------------------|----------------|
| AffaldVarme Århus | 80 | 150 | 2015 |
| Brønderslev Forsyning | 20 | 10 | 2012 |
| Ribe Fjernvarme | 10 | 15 | 2012 |
| Brøndum A/S | 0,1 | 0,4 | 2012 |
| Karstensens Skibsværft | 0,1 | 0,7 | 2012 |
| Jerslev Kraftvarme | 2,4 | 0,4 | 2012 |
| Bravida Danmark A/S Tilst | 0,1 | 0,4 | 2012 |
| Christiansfeld Fjernvarme | 3,0 | 0,4 | 2012 |
| Nr. Broby Varmeværk | 1,5 | 0,4 | 2012 |
| Brørup | 10,0 | 10,5 | 2012 |
| Egtved Varmeværk | 4,0 | 0,7 | 2012 |
| Hjallerup Fjernvarme | 6,0 | 10,5 | 2012 |
| Smørum Kraftvarmefværk | 10,0 | 10,5 | 2012 |
| Strandby Varmefværk | 10,0 | 10,5 | 2012 |
| Augustenborg Fjernvarme | 8,0 | 10,5 | 2011 |
| Bredsten-Balle Kraftvarmefværk | 2,9 | 0,7 | 2011 |
| Brædstrup Fjernvarme | 10,0 | 10,5 | 2011 |
| E.ON Danmark, Præstø | 4,4 | 0,7 | 2011 |
| E.ON-Frederiksbund | 10,0 | 10,5 | 2011 |
| Gartneriet, Madsenø | 10,0 | 10,5 | 2011 |
| Hanstholm Varmefværk | 10,0 | 10,5 | 2011 |
| Nykøbing Mors | 6,0 | 10,5 | 2011 |
| Outrup Varmefværk | 1,1 | 0,7 | 2011 |
| Snedsted | 6,0 | 10,5 | 2011 |
| Videbæk Energiforsyning | 10,0 | 10,5 | 2011 |
| Vøjens Fjernvarme | 10,0 | 15 | 2011 |
| Vorupør Kraftvarme | 11,0 | 0,4 | 2011 |
| Aulum Fjernvarme | 10,0 | 10,5 | 2010 |
| Brovst Fjernvarme | 10,0 | 10,5 | 2010 |
| Helstinge Fjernvarme | 10,0 | 10,5 | 2010 |
| Hvide Sande | 10,0 | 10,5 | 2010 |
| Nørre Snede | 4,5 | 0,7 | 2010 |
| Ringkøbing Fjernvarmefværk | 12,0 | 10,5 | 2010 |
| Sæby Varmefværk | 12,0 | 10,5 | 2010 |
| Vildbjerg Varmefværk | 12,0 | 10,5 | 2010 |
| Østervraa Varmefværk | 3,0 | 0,7 | 2010 |
| Hornum Fjernvarme | 1,0 | 0,4 | 2009 |
| Struer Forsyning | 0,9 | 0,4 | 2009 |
| Danfoss Redan | 0,2 | 0,4 | 2008 |
| Grindsted El & Varmeforsyning | 18,0 | 10,5 | 2008 |
| Hindsholm Kraftvarmefværk | 3,0 | 0,4 | 2008 |
| Skagen Varmefværk | 10,0 | 10,5 | 2008 |
| Energi Fyn - Assens | 16,0 | 10,5 | 2007 |
| Energi Fyn - Kratholm | 16,0 | 10,5 | 2006 |
| SUMME - Anzahl 44 | 405,2 | | |

Denemarken, bron: Agora Energiewende, 2014.

Berenschot Groep B.V.
Europalaan 40, 3526 KS Utrecht
Postbus 8039, 3503 RA Utrecht
T 030 2 916 916
E contact@berenschot.nl
www.berenschot.nl

Berenschot is een onafhankelijk organisatieadviesbureau met 350 medewerkers wereldwijd. Al ruim 75 jaar verrassen wij onze opdrachtgevers in de publieke en private sector met slimme en nieuwe inzichten. We verwerven ze en maken ze toepasbaar. Dit door innovatie te koppelen aan creativiteit. Steeds opnieuw. Klanten kiezen voor Berenschot omdat onze adviezen hen op een voorsprong zetten.

Ons bureau zit vol inspirerende en eigenwijze individuen die allen dezelfde passie delen: organiseren. Ingewikkelde vraagstukken omzetten in werkbare constructies. Door ons brede werkerterrein en onze brede expertise kunnen opdrachtgevers ons inschakelen voor uiteenlopende opdrachten. En zijn we in staat om met multidisciplinaire teams alle aspecten van een vraagstuk aan te pakken.

Berenschot is aangesloten bij de E-I Consulting Group, een Europees samenwerkingsverband van toonaangevende bureaus. Daarnaast is Berenschot lid van de Raad voor Organisatie-Adviesbureaus (ROA) en hanteert de ROA-gedragscode.