



Eindverslag **SMARTCOVA**

31 maart 2018
Documentversie 1.0
Project TESH114010

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

DOCUMENTINFORMATIE

Titel: Eindverslag
Klant: TKI Urban Energy
Auteur(s): Andre Bosschaart, Dirk-Jan Peters, Winifred Roggekamp, Wilbert Prinssen
Versie: 1.1
Datum: 1 mei 2018
File: Concept openbare eindrapportage SMARTCOVA v0.10.docx
Project: SMARTCOVA
Projectnummer: TESH114010

Dit rapport is gemaakt door consortium SMARTCOVA

Penvoerder: Technolution BV

Burgemeester Jamessingel 1
P.O. Box 2013
2800 BD GOUDA
The Netherlands
T +31(0)182 59 40 00
E info@technolution.eu
I www.technolution.eu

© SMARTCOVA

Informatie uit dit rapport mag niet worden gedupliceerd en / of worden gepubliceerd in welke vorm dan ook, zonder van tevoren door SMARTCOVA gegeven schriftelijke toestemming.

INHOUD

1	INLEIDING SMARTCOVA.....	3
1.1	Energieflexibiliteit uit commercieel vastgoed ontsluiten	3
1.1.1	Waarom flexibiliteit uit vastgoed?.....	3
1.1.2	Waarom SMARTCOVA?.....	4
1.2	Een innovatieproject van vastgoedobject tot energiemarkt	5
1.2.1	Gezamenlijke gefaseerde aanpak.....	5
1.2.2	Tussentijdse wijziging samenstelling consortium: SMARTCOVA 2.0.....	6
1.3	Doel en opbouw van dit rapport.....	6
2	BUSINESS ANALYSE	7
2.1	Potentiële energieflexibiliteit in vastgoed	7
2.2	Potentiële marktwaarde flexibiliteit	10
2.2.1	De energiemarkt	10
2.2.2	Business case	14
3	ARCHITECTUUR EN DEMONSTRATOR	16
3.1	Modulaire open architectuur.....	16
3.1.1	Standaardinterface	16
3.1.2	Standaardmanier van flexibeliteituitwisseling	16
3.1.3	Gekozen architectuur.....	17
3.2	Opzet en architectuur proefopstelling.....	18
3.2.1	Te realiseren functionaliteit SMARTCOVA 2.0.....	18
3.2.2	Gekozen architectuur SMARTCOVA 2.0	18
3.2.3	Gerealiseerd dashboard SMARTCOVA 2.0	20
4	EVALUATIE DEMONSTRATOR EN LESSONS LEARNED.....	21
4.1	Technische haalbaarheid.....	21
4.1.1	Gebruik verlichting	21
4.1.2	Gebruik warmtepomp.....	21
4.1.3	Gebruik EV.....	21
4.1.4	Gebruik LoRaWAN.....	22
4.1.5	Gebruik bevochtiger en luchtbehandeling	22
4.1.6	Koppeling met PZEM en Gemini windpark.....	22

1 INLEIDING SMARTCOVA

1.1 Energieflexibiliteit uit commercieel vastgoed ontsluiten

1.1.1 Waarom flexibiliteit uit vastgoed?

SMARTCOVA staat voor 'Smart Commercieel Vastgoed'. SMARTCOVA is een programma dat is gestart door PZEM (voorheen DELTA), Van Dorp Installaties, Technolution, TNO en Alliander. Het doel van SMARTCOVA is het onderzoeken en wegnemen van barrières voor het ontsluiten van energieverbruiksflexibiliteit uit commercieel vastgoed als nieuwe bron.

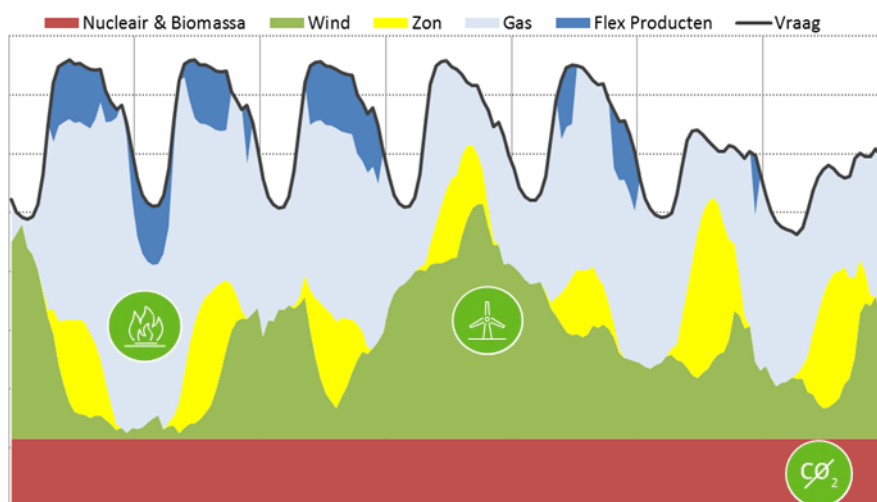
Een groeiende behoefte aan flexibiliteit

In Nederland groeit het aandeel van zonne- en windenergie in de totale energieproductie voortdurend. Deze toename van duurzame, decentrale energieopwekking leidt tot een groeiende vraag naar flexibiliteit, om twee redenen:

1) Behoud van vermogensbalans: van oudsher volgt de opwekking de vraag naar energie. Met zonne- en windenergie kan dit niet. De groei van zonne- en windenergie leidt tot meer en meer regelacties. Daarom is er behoefte aan flexibele vraag die de opwekking van energie kan volgen.

2) Voorkomen netverzwaring: netten worden altijd uitgelegd voor de hoogste piek, zelfs als die maar kort optreedt. Door nieuwe vraag en lokale productie stijgt deze piek, waardoor het net flink uitgebreid moet worden.

Ondanks de groeiende vraag naar flexibiliteit daalt het aanbod. De sterke groei van zonne- en windenergie leidt tot een dalende stroomprijs op de landelijke markt. Hierdoor daalt de omzet van conventionele centrales, met als gevolg dat producenten centrales sluiten. Hiermee valt een grote bron van flexibiliteit aan de aanbodzijde weg. Door het grote aanbod van zonne- en windenergie wordt de inzet van conventionele centrales bovendien minder voorspelbaar. Ook aan de vraagzijde vermindert de flexibiliteit door het verdwijnen van grote industrieën als Aldel en Therphos. Figuur 1 geeft een voorbeeld van een toekomstige week in Nederland, waarbij aan de vraag wordt voldaan door verschillende bronnen. Met name de flexibele bronnen en gascentrales moeten de grillige opwekking van zonne- en windenergie opvangen.

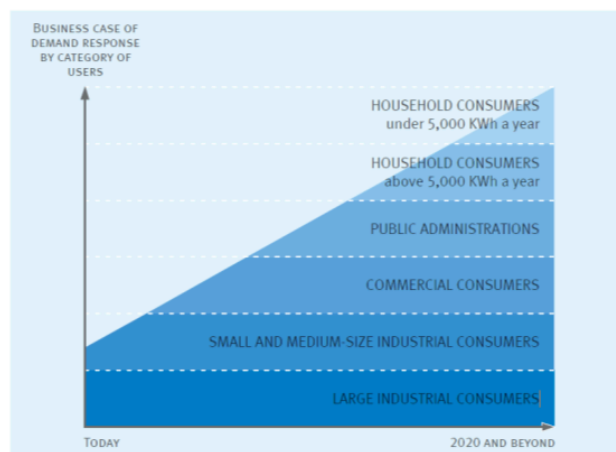


Figuur 1: voorbeeld vraag versus productie

Terwijl het aandeel van de grote industrie in Nederland afneemt, is de capaciteit voor energieflexibiliteit in de kleine tot middelgrote industrie grotendeels bereikt. Het gevolg is een groeiende behoefte aan flexibiliteit uit nieuwe bronnen.

Vastgoed als veelbelovende bron van flexibiliteit

Uit onderzoek van brancheorganisatie Eurelectric¹ blijkt dat zakelijke gebruikers, na industriële gebruikers, economisch gezien de meest aantrekkelijke bron voor flexibiliteit zijn (zie Figuur 2). De flexibiliteit van de zakelijke gebruikers is met name beschikbaar in het vastgoed: de kantoorgebouwen.



Figuur 3: Model berekening flexibiliteit en economische waarde

Het ontsluiten van de energieflexibiliteit van vastgoed is om de volgende redenen kansrijk:

- 1) **Omvang:** kantoorgebouwen lijken een aanzienlijk deel (20%) van hun energievraag flexibel te kunnen inplannen zonder comfortverlies. Het totale volume aan commercieel vastgoed in Nederland vormt daardoor potentieel een groot reservoir van flexibiliteit.
- 2) **Organisatorische toegankelijkheid:** de meeste kantoorgebouwen worden beheerd door een beperkt aantal partijen die – net als de meeste vastgoedgebruikers – professioneel kunnen deelnemen in energiemarkten. Hierdoor lijkt snelle opschaling haalbaar wanneer de businesscase is aangetoond.
- 3) **Technische toegankelijkheid en uniformiteit:** veel energieverbruikende apparaten in vastgoed worden al op afstand bestuurd via gebouwbeheersystemen (in tegenstelling tot huishoudelijke apparaten) en lijken qua aansturing op elkaar (in tegenstelling tot industriële apparatuur).

1.1.2 Waarom SMARTCOVA?

Commercieel vastgoed heeft dus de eigenschappen die nodig zijn om de flexibiliteit van de Nederlandse energiemarkt te vergroten. Er is echter nog veel onderzoek nodig voordat dit potentieel kan worden aangesproken. Voor een maximale participatie vanuit de zakelijke energiegebruikers is het bovendien noodzakelijk om voldoende draagvlak te creëren. Een goed businessmodel is hierbij onontbeerlijk.

Er is op dit moment nog onvoldoende inzicht in de potentie van commercieel vastgoed. Ook de technologie om de apparatuur in deze gebouwen direct aan te sturen is nog niet beschikbaar.

¹ Eurelectric views on Demand-Side Participation, 2014

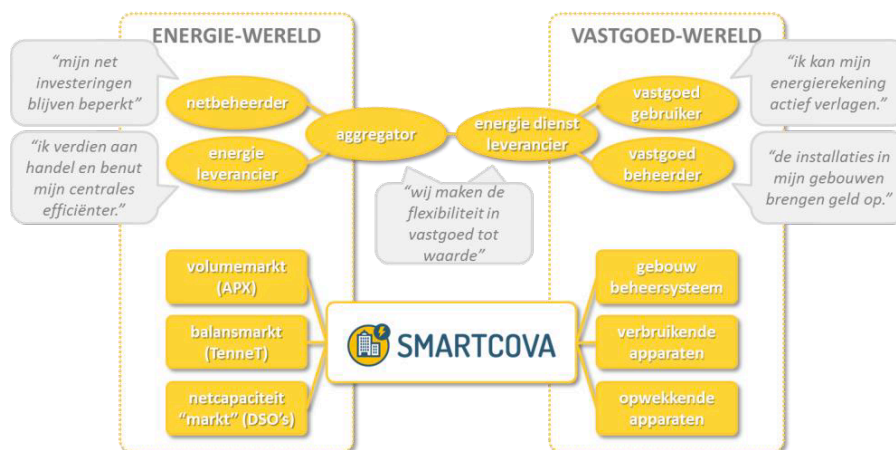
Het gaat om grote aantallen klanten met elk een beperkt vermogen. Maatwerk is daarom erg kostbaar en moet vermeden worden. Pas als de stuurbaarheid van installaties op een min of meer uniforme manier geregeld is, kan de markt initiatieven ontwikkelen.

SMARTCOVA pakt drie barrières aan die de ontsluiting momenteel tegenhouden:

1. Energie en vastgoed zijn sterk gescheiden werelden met weinig verbindende partijen.
2. Dienstverleners die kunnen verbinden zien nog geen duidelijk businessmodel.
3. De vereiste technische integratie is bij gebrek aan uniformiteit complex en kostbaar.

Doelstelling: inzichtelijk maken vastgoed als bron voor flexibiliteit in de energiemarkt

SMARTCOVA richt zich op het inzichtelijk maken van de potentiële energieflexibiliteit van commercieel vastgoed, en onderzoekt de technologische mogelijkheden om dit potentieel te kunnen ontsluiten. In het kort: SMARTCOVA onderzoekt de connectie tussen de werelden van Energie en Vastgoed.



Figuur 4: Connectie tussen energie en vastgoed

1.2 Een innovatieproject van vastgoedobject tot energiemarkt

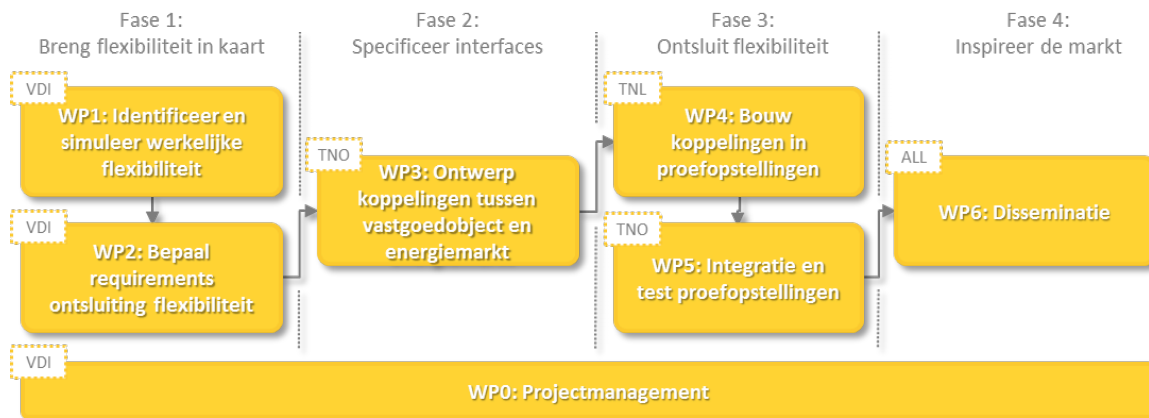
1.2.1 Gezamenlijke gefaseerde aanpak

Het consortium is in 2015 gestart op basis van de volgende aanpak:

- **Samenwerking** van partijen uit beide werelden in het consortium – PZEM (voorheen DELTA) als grote trader op de energiemarkt, Van Dorp Installaties als beheerder van technische installaties in vastgoed, Technolution als technologisch innovator, TNO als kennisinstituut en Alliander als energienetbeheerder – ondersteund door een brede klankbordgroep met stakeholders uit beide werelden.
- **Fase 1: Breng flexibiliteit in kaart.** In fase 1 is de werkelijke energieflexibiliteit binnen vastgoed geïnventariseerd (werkpakket 1). Vervolgens is gekwantificeerd wat deze flexibiliteit op verschillende energiemarkten waard is (werkpakket 2). Uit de meest hoopvolle combinaties van flexibiliteit en markt volgen requirements voor een proefopstelling.
- **Fase 2: Specificieer interfaces.** In fase 2 wordt vastgesteld (werkpakket 3) hoe de interfaces tussen energiemarkt en kantoorgebouwen er uit zouden moeten zien: een *virtuele gebouwstekker*. Maximale uniformiteit en toepasbaarheid zijn cruciaal. Daarom wordt gebruik gemaakt van bestaande denkkaders en standaarden (zoals EFI, zie pagina 16.).

- **Fase 3: Ontsluit flexibiliteit.** In fase 3 is een demonstrator van de virtuele gebouwstekker in een proefopstelling opgesteld (werkpakket 4) en beproefd (werkpakket 5).
- **Fase 4: Inspireer de markt.** In fase 4 worden de resultaten van het project gedeeld met marktpartijen om zinnige koppelingen tussen vastgoed en markten te stimuleren.

Figuur 3 vat de aanpak van SMARTCOVA samen.



Figuur 5: Fasering en werkpakketten SMARTCOVA

1.2.2 Tussentijdse wijziging samenstelling consortium: SMARTCOVA 2.0

Eind 2016 hebben Alliander en TNO het consortium verlaten. PZEM, Van Dorp Installaties en Technolution hebben daarop de onderzoekswerkzaamheden in een pragmatische, doelgerichte vorm voortgezet. In 2017 hebben deze partijen SMARTCOVA succesvol afgerond.

1.3 Doel en opbouw van dit rapport

Dit eindverslag heeft als doel de resultaten van het project SMARTCOVA met geïnteresseerde marktpartijen te delen (werkpakket 6). Hiertoe is de volgende opbouw gehanteerd (in lijn met de bovengenoemde fasering):

- In hoofdstuk 2 is de business-analyse beschreven met in vastgoed geïdentificeerde flexibiliteit (werkpakket 1) en vaststelling van potentiële financiële waarde (werkpakket 2).
- In hoofdstuk 3 is de architectuur (werkpakket 3) en de inrichting van de demonstrator (werkpakket 4) beschreven.
- In hoofdstuk 4 worden evaluatie en lessons learned gedeeld (werkpakket 5).

2 BUSINESS ANALYSE

2.1 Potentiële energieflexibiliteit in vastgoed

In commercieel vastgoed is potentiële flexibiliteit op het gebied van elektriciteitsgebruik aanwezig. Deze flexibiliteit is afhankelijk van een groot aantal factoren. Grofweg kunnen 7 factoren worden onderscheiden. In Tabel 1 zijn de factoren weergegeven met daarbij een voorbeeld van verschillende variabelen.

Tabel 1: Factoren en bijbehorende variabelen op gebied van potentiële flexibiliteit

Nr.	Factor	Variabelen
1.	Weersinvloeden	Locatie, temperatuur, zoninstraling, vochtigheid, enz.
2.	Gebouwgegevens	Oppervlakte, isolerend vermogen (Rc-waarde), warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde), zontoetredingsfactor (ZTA), leeftijd, kierdichtheid, enz.
3.	Opwekkinginstallatie	Warmtepomp, ketel, buffervat, vermogens, bodemenergie, enz.
4.	Afgifte-installatie	Radiatoren, vloerverwarming, enz.
5.	Gebruik	Gebruikstijden, verlichting, apparatuur, comforteisen, enz.
6.	Elektrische opwekkers	Zonnepanelen, zonneboiler, energiedak, warmtekrachtkoppeling, enz.
7.	Niet-gebouwgebonden elektriciteitsgebruik	Laadpalen elektrische auto's, apparatuur, enz.

De SMARTCOVA-deelnemers hebben de verschillende factoren onderzocht op potentiële flexibiliteit. Veel van deze factoren hebben invloed op het comfort in het gebouw, zoals weersinvloed, gebouwgegevens, opwekkingsinstallatie, afgifte-installatie en elektriciteitsgebruik. Om een inschatting te kunnen maken van het effect van de flexibiliteit op het comfort is een simulatiemodel opgezet in Vabi Elements². Voor dit simulatiemodel is het gebouw van Van Dorp Zoetermeer gebruikt.

Er zijn simulaties gedaan van verschillende situaties. De simulaties geven inzicht in het effect van de verschillende variabelen op het comfort. Een voorbeeld van een variabele is de stand-by tijd van een installatie. In verschillende simulaties wordt de installatie uitgeschakeld en na een bepaalde periode weer ingeschakeld. Bijvoorbeeld een verwarmingsinstallatie die één uur wordt uitgeschakeld en daarna weer twee uur actief is. Met behulp van het simulatiemodel worden de gevolgen op het comfort ingeschat.

Middels het simulatiemodel is het potentieel van de verschillende variabelen op hoofdlijnen in kaart gebracht. Zo heeft vloerverwarming bijvoorbeeld een veel grotere potentiële flexibiliteit dan luchtverwarming (bijvoorbeeld inductie-units). Wanneer in een gebouw gebruik gemaakt wordt van een warmtepomp is de flexibiliteit groter dan bij een ketel.

Uit het simulatiemodel blijkt dat er beperkte flexibiliteit is op de volgende gebieden:

- Luchtbehandeling: risico's hierbij zijn hoge CO₂-niveaus en onaangename geuren
- Inductie units: te snelle regeling, daardoor snel invloed op het comfort
- Ventilator convectoren: te snelle regeling en risico op slechte luchtverdeling
- Luchtverwarmers: te snelle regeling

² Vabi Elements is een bekend software product voor het rekenen aan gebouwprestaties, waaronder die op het gebied van klimaat en energiegebruik, zie <https://www.vabi.nl/producten/vabi-elements/>.

- Horecakoeling: risico op bederf
- Datacenter inclusief koeling: risico's op uitval bedrijfskritische systemen
- Liften

Opmerking:

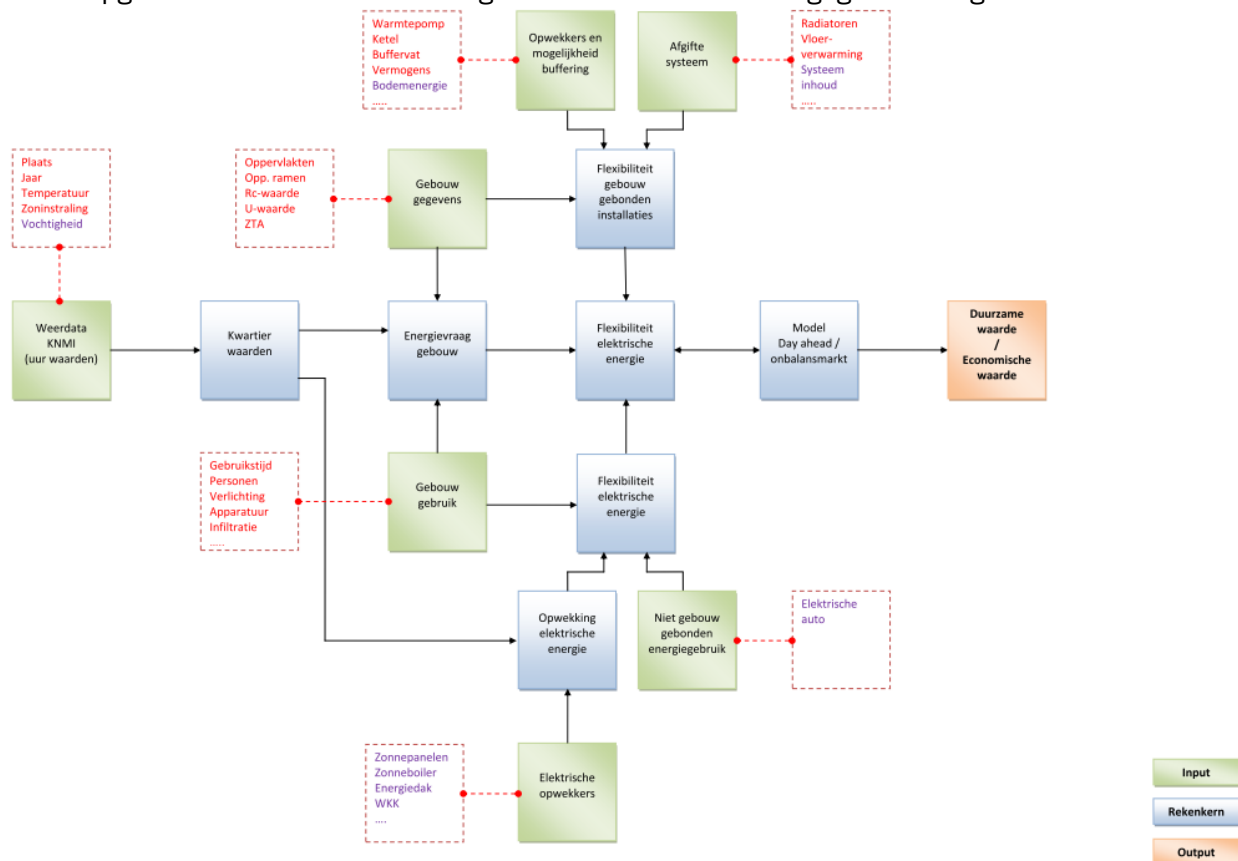
Naar bevochtiging is nog geen onderzoek gedaan.

De simulaties laten zien dat de volgende gebouwelementen een substantiële flexibiliteit kunnen leveren:

- Ketelverwarming
- Warmtebuffervat
- Warmtepomp
- Lage-temperatuurverwarming (LT)
- Hoge-temperatuurkoeling (HT)
- Laadpalen voor elektrische voertuigen
- Gebouwverlichting
- Opritverwarming

Met name verwarmingsapparatuur met een trage warmteafgifte, zoals buffervaten en warmtepompen, is bij uitstek geschikt voor SMARTCOVA. Het uitzetten van de warmtepomp in een gebouw hoeft geen nadelig effect te hebben op het gebouwklimaat, zeker naarmate een ruime buffer beschikbaar is.

Om een inschatting te kunnen maken van de werkelijke flexibiliteit van een gebouw is een model opgezet. De schematische weergave van dit model is weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6: Model berekening flexibiliteit en economische waarde

In het model zijn de verschillende factoren en hun onderlinge relaties uiteengezet. Hierbij worden de factoren ingevoerd als variabelen (groene blokken). In de rekenkern (blauw) wordt de waarde (oranje) van de flexibiliteit van de verschillende variabelen berekend. Dit resulteert in de flexibiliteit van het gebouw. Deze flexibiliteit van het gebouw wordt gebruikt als input voor de rekenkern van de day ahead/onbalans markt. Dit resulteert in de economische waarde van het SMARTCOVA systeem (output).

Om een inschatting te maken van de mogelijke flexibiliteit van verschillende gebouwen zijn allereerst globale getallen en uitgangspunten gebruikt. Deze parameters zijn vervolgens toegepast op een concrete praktijksituatie: de installaties die aanwezig zijn in het gebouw van Technolution. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 7: Potentiële elektrische flexibiliteit en een inschatting van de financiële waarde. Deze invulling van het model is een eerste inventarisatie voor de businesscase van SMARTCOVA. Omdat voor deze simulatie veel aannames zijn gedaan, is bij de uitvoer gekozen voor een bandbreedte met een boven- en ondergrens.

Smartcova Flexibiliteit						
Onderdeel	Indicatie gebruik [kWh/m2/jaar]	Gebruik component [kWh/m2/jaar]	Maximaal gebruik [W/m2]	Max gebruik component [W/m2]	Inschatting financiële besparing [%]	Inschatting besparing [euro/m2/jaar]
Warmtepomp [90% van totaal energiebehoefte]	41 - 162	12 - 47	22 - 71	6,5 - 20	6 - 12	0,06 - 0,18
Koelmachine	12,6 - 31,5	3,6 - 9	39 - 88	11 - 25	8 - 14	0,01 - 0,03
Ventilatie	9,6 - 16	9,6 - 16	2,8 - 5	2,8 - 5	4 - 12	0,05 - 0,17
Bevochtiging	? - ?	? - ?	? - ?	? - ?	? - ?	? - ?
EV laden (per paal)	1,5 - 1,5	1,5 - 1,5	3,4 - 3,4	3,4 - 3,4	13 - 13%	0,0088 - 0,0088
Verlichting	15,4 - 54	15,4 - 54	7 - 12	7 - 12	? - ?	0,01 - 0,02
Lift	? - ?	? - ?	? - ?	? - ?	? - ?	? - ?
Oprit verwarming	? - ?	? - ?	4,5 - 4,5	4,5 - 4,5	? - ?	0,0028 - 0,0028
Totaal						0,14 0 0,41
Andere onderdelen:						
Pompen	-	-	-	-	-	-
Brandmeldcentrale	-	-	-	-	-	-
Servers	-	-	-	-	-	-
Telefooncentrale	-	-	-	-	-	-
Regeltechniek	-	-	-	-	-	-

Figuur 7: Potentiële elektrische flexibiliteit en een inschatting van de financiële waarde

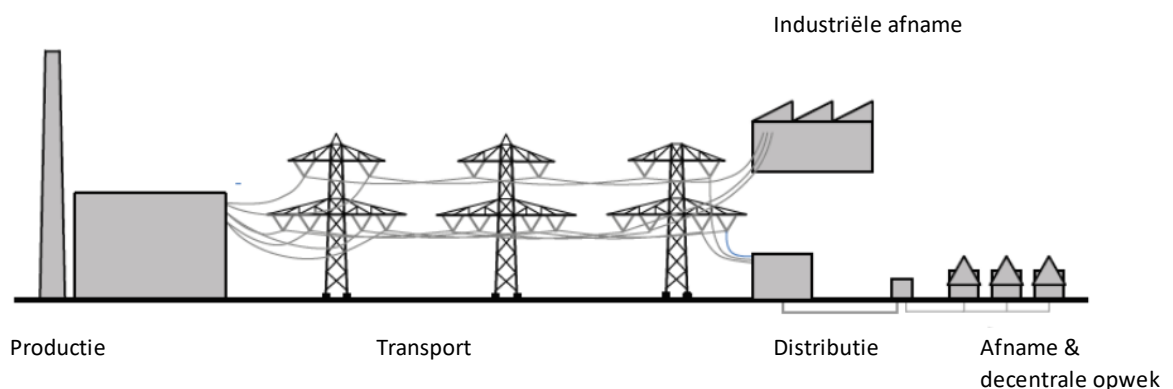
2.2 Potentiële marktwaarde flexibiliteit

In hoofdstuk 2.1 is bepaald welke vermogensflexibiliteit in kW ontsloten kan worden in een representatief commercieel vastgoedobject. Dit is gedaan voor de belangrijkste energieverbruikende apparaten. Van elk van deze apparaten zijn vervolgens de randvoorwaarden bepaald en is een inschatting gegeven van de besparing. In deze paragraaf wordt de waarde van de vermogensflexibiliteit verder onderbouwd

2.2.1 De energiemarkt

Flexibiliteit bestaat in vele verschillende vormen en tijdvakken. In Figuur 8 is het elektriciteitssysteem weergegeven, samen met de belangrijkste marktrollen en de verschillende vormen van flexibiliteit. De schematische weergave maakt duidelijk dat het containerbegrip 'Flexibiliteit' in de elektriciteitsmarkt tot veel spraakverwarring kan leiden. Het is dan ook belangrijk om de bedoelde vorm van Flexibiliteit duidelijk te benoemen.

marktrol	flexibiliteitsvorm	marktrol	flexibiliteitsvorm	marktrol	flexibiliteitsvorm
PV partij	lange termijn balancering	TSO markt	primaire reserve	DSO markt	(<i>timeshifting/location swap</i>)
	day ahead balancering		regelvermogen		DSO product
	intraday balancering		reserve & noodvermogen	spanningskwaliteit	
	real-time balancering	black/brown start	blindvermogen	blindvermogen	
	Ex post balancering	TSO product	Congestie management		
			spanningskwaliteit		



Figuur 8: overzicht elektriciteitssysteem

PV = Programmaverantwoordelijke

TSO = Transmission System Operator, verantwoordelijk voor het transport van energie

DSO = Distribution System Operator, verantwoordelijk voor de distributie van energie

Voor de business case van SMARTCOVA hebben wij ons gericht op de markttoegang via bestaande marktkanalen dus via de PV-partij en TSO. Op dit moment hebben DSO's nog geen indicatie van te verwachten marktorganisatie en waarde voor de flexibiliteit van vastgoed³.

Voor de PV-partij hebben wij ons gefocust op day ahead, intraday balancering en real-time balancering. Voor de TSO hebben wij alleen gekeken naar primaire reserve en regelvermogen.

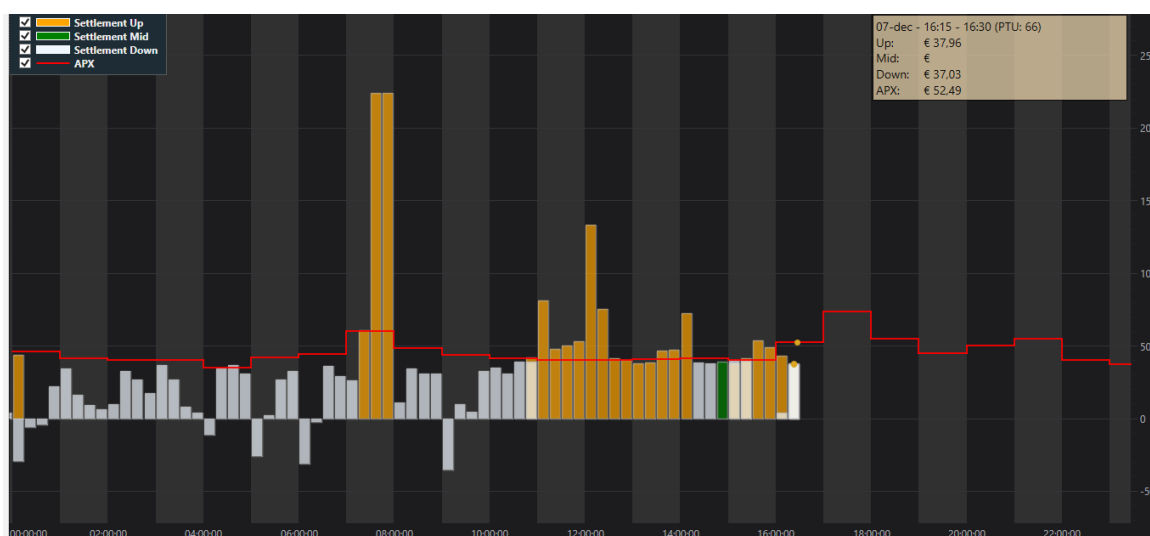
³ Mede door het uitstappen van Alliander was hiervoor onvoldoende expertise in het consortium aanwezig.

De **day ahead markt** wordt georganiseerd door een veilingproces. Op de markt komen vraag en aanbod van elektriciteit of gas bij elkaar waardoor een prijs op een transparante wijze tot stand komt. Het veilingproces vindt één keer per dag plaats. Marktparticipanten (producenten en afnemers van energie) dienen hun orders in voor 12:00. Vervolgens bepaalt de Europese energie-exchange EPEX SPOT de vraag- en aanbodcurves en hun intersectie per uur. De resultaten (de *market clearing prices*) worden gepubliceerd om 12:40. Alle partijen weten nu de in- en verkoopprijzen per uur voor de volgende dag. De day ahead markt is ideaal om gebruik te maken van verschillende prijzen per uur, met name in situaties waar de inzet van een apparaat vooraf kan worden ingepland.

Intraday balancing. De Europese netbeheerder TenneT hanteert een systeem voor balansverantwoordelijkheid om de vraag naar en het aanbod van elektriciteit in evenwicht te houden. Hiertoe worden vraag en aanbod vooraf, per programmatijdeenheid van een kwartier (PTE) vastgesteld. Een PV-partij geeft day ahead aan TenneT de positie per PTE door met alle importen/exporten en alle gesaldeerde transacties met andere marktpartijen en beurzen, het zogenaamde E-programma. De totaalpositie per PTE vertegenwoordigt het nettoresultaat van de prognose van productie en afname.

TenneT verrekent onbalansposities per PTE. Als een PV-partij tijdens een PTE meer afneemt of minder produceert dan gepland, dan moet deze partij de prijs ‘onbalans betrekken’ betalen. Als een partij te weinig afneemt of meer produceert dan gepland, betaalt deze partij de prijs ‘onbalans leveren’. In het algemeen geldt dat de prijs voor betrekken hoger is dan de EPEX-uurprijs en de prijs voor leveren lager. Maar dit kan per kwartier anders zijn. TenneT geeft per minuut een indicatie af van de onbalansprijs. Een dag later wordt de werkelijke prijs vastgesteld. De indicatie per minuut is wel een goede voorspelling voor de werkelijke prijs.

Figuur 9 geeft de APX⁴- en onbalansprijzen van 7 december 2017. De rode lijn laat de APX-prijzen zien, de balkjes per kwartier de onbalansprijzen. Als een balkje grijs is, was er een overschot in NL. Als het oranje is, dan was er een tekort. Groen betekent dat er in die PTE geen overschot of tekort was. Het laatste witte balkje geeft de ‘huidige’ onbalanssituatie weer. Hierop zou geregeld kunnen worden.



Figuur 10: voorbeeld APX en onbalansprijzen 7 december 17

⁴ Amsterdam Power Exchange, zie https://nl.wikipedia.org/wiki/APX_Group.

Flexibiliteit van apparaten kan gebruikt worden om het eigen portfolio tijdens de dag te balanceren, bijvoorbeeld als een voorspelling is gewijzigd. In dit geval kan de inzet van een apparaat van te voren te gepland worden, waardoor het risico op onbalans wordt verkleind. Het is ook mogelijk om op basis van de prijsindicatie van TenneT actief mee te regelen en dus apparaten in te zetten. In dit geval is de afname/opwek niet vooraf te plannen.

Naast het feit dat programmaverantwoordelijke partijen als doel hebben om hun portfolio's te balanceren door het betrekken en leveren van megawatturen, heeft TenneT ook andere mogelijkheden om het net in balans te houden. TenneT roept echter af op vermogen. Wanneer dit gebeurt, moet er snel worden geregeld.

Primaire reserve gebruikt TenneT voor automatisch frequentieherstel in de EU. Om dit product aan te mogen bieden bij TenneT is een raamwerkcontract nodig en een prekwificatie.. De verrekening vindt plaats op basis van een weekveiling per MW. Er vindt geen verrekening plaats voor energie.

Regelvermogen wordt door TenneT gebruikt om een omvangrijke onbalans en de waarschijnlijk veroorzaakte frequentiefout binnen vijftien minuten te herstellen. Voor regelvermogen moet een apparaat een realtime verbinding hebben met de systemen van TenneT en een reactietijd van maximaal dertig seconden bij activering. Voor regelvermogen worden biedingen gestuurd naar TenneT. Als TenneT een bieding afroept dan wordt minimaal deze prijs vergoed. Het aanbieden van regelvermogen geeft meer zekerheid in de opbrengsten dan actief meeregelen op het onbalanssignaal.

Op basis van de verschillende producten is in de volgende tabel per apparaat aangegeven op welke markt deze toegepast kan worden.

Tabel 2: mogelijke markttoepassing van verschillende apparaten.

Technology	Primaire reserve	Regelvermogen	Intraday balancering	Day ahead balancering	Opmerkingen
Warmtepomp / Koeling	×	×	✓	×	Is met name geschikt om een kwartier uit te zetten. Kan dus gebruikt worden in de intraday balancering.
Verlichting	×	✓	✓	×	Is geschikt voor regelvermogen vanwege snelle reactietijd en kan zowel op- als afregelen. Niet altijd beschikbaar vanwege kantoortijden.
EV	×	×	✓	✓	Batterijen zijn met name geschikt voor primaire reserve. Per kantoor is het volume echter klein, hierdoor zijn voor een kantoor laadpalen met name geschikt om load shifting toe te passen, dus in te zetten in day ahead en intraday balancering.
Opritverwarming	×	×	✓	×	Zou gebruikt kunnen worden als extra vraag bij negatieve onbalansprijzen.
Ventilatie	×	×	×	×	Met name potentie in minder afname. Flexibiliteit is gering.
Bevochtiging	×	×	×	×	Deze is goed te gebruiken voor de flexibiliteit, zeker in combinatie met een warmtewiel. Echter een groot gedeelte van de gebouwen heeft geen stoombevochtiger, daarom niet meegenomen in SMARTcova.
Koelkast / vriezer	×	×	✓	×	Zeer laag vermogen, met kans op risico van bederven, kan korstonding ingezet worden.
Lift	×	×	×	×	Deze zouden stil gezet kunnen worden om de vraag te beperken. Heeft te veel effect op het comfort.

2.2.2 Business case

Op basis van de verschillende toepassingen is per apparaat een inschatting gemaakt van de mogelijke opbrengsten voor het gebouw van Technolution (zie Figuur 11). Voor ieder apparaat is een backtest gedaan op basis van APX en onbalansdata van 2015 (de berekeningen zijn gedurende 2016 uitgevoerd). Voor ventilatie en verlichting zijn bandbreedtes berekend, omdat voor deze apparaten een bandbreedte gebruikt kan worden.

Potentiele besparing gebouw Technolution:

Gegevens:

- 8550 m²
- Bouwjaar > 2010
- 8 EV laadpalen
- Wärmtepomp en koeling

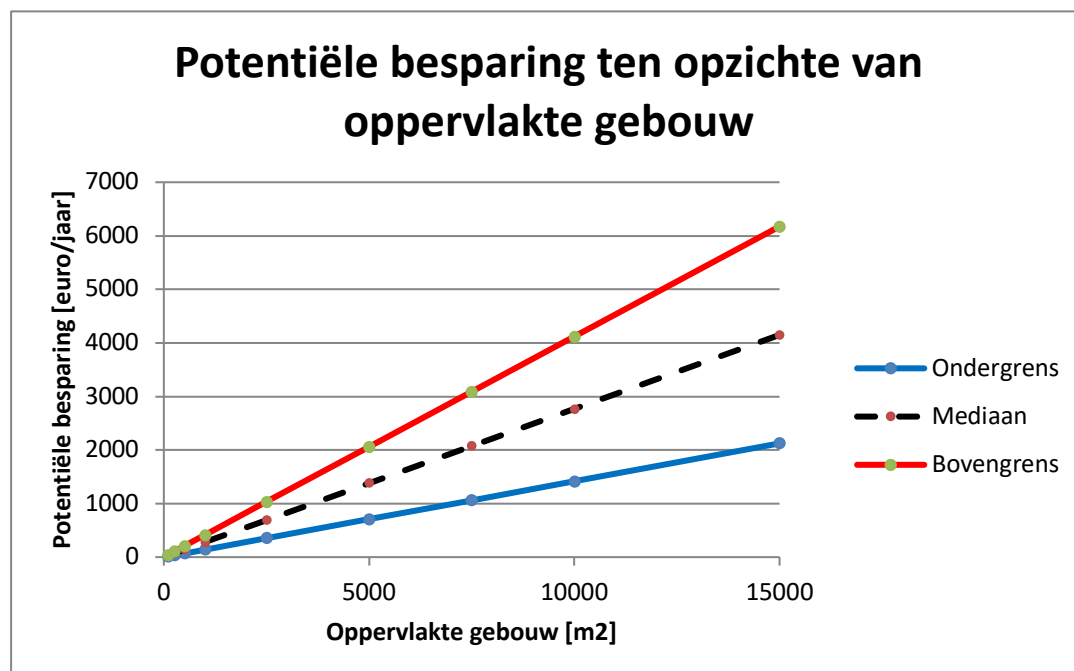
Uitkomsten:

	Besparing ondergrens [euro/jaar]	Mediaan [euro/jaar]	Besparing bovengrens [euro/jaar]
Wärmtepomp	513	513	513
Koelmachine	85,5	85,5	85,5
Ventilatie	427,5	940,5	1453,5
EV laden (per paal)	75,24	75,24	75,24
Verlichting	85,5	128,25	171
Oprit verwarming	25	25	25
Totaal:	1211	1767	2323



Figuur 11: Mogelijke besparing Technolution gebouw.

Op basis van de opbrengsten van het Technolution gebouw zijn de opbrengsten in Figuur 7 gegenereerd. Uiteindelijk heeft zich dit vertaald in onderstaande Figuur 12, waarin een bandbreedte van potentiële opbrengsten is afgezet tegen vierkante meters van een gebouw.



Figuur 12: Potentiële besparing ten opzichte van oppervlakte gebouw

Op basis van de Technolution case is er een potentiële besparing van ongeveer € 0,11 / m². Het commerciële vastgoed in Nederland heeft een totale oppervlakte van ongeveer 50 miljoen vierkante meter. Dat is 6000 keer de oppervlakte van het Technolution gebouw. Uiteindelijk kan er een besparing van ongeveer 5 miljoen euro / jaar worden gerealiseerd ten opzichte van de huidige energierekening. Dit is echter zonder investeringen. Investeringen dienen dus zeer laag te zijn om een totale positieve businesscase op basis van flexibiliteit te krijgen.

Op basis van de beschikbare en realistisch ingeschatte baten vanuit de energiemarkten (PV-verantwoordelijke, TSO) is de businesscase daarmee niet positief. Alleen wanneer ook de besparingen op netverzwaring mee worden genomen, kan dit beeld potentieel wijzigen.

3 ARCHITECTUUR EN DEMONSTRATOR

3.1 Modulaire open architectuur

Het project SMARTCOVA is bedoeld om een grote hoeveelheid verschillende bedrijfspanden aan energiehandelaren te koppelen. In een dergelijk systeem kun je er niet van uitgaan dat ieder bedrijf de zelfde apparaten heeft en op dezelfde manier flexibiliteit kan bieden. Om al die verschillende panden te kunnen integreren in één ecosysteem, kiezen we voor een standaardinterface en een standaardmanier om flexibiliteit uit te wisselen.

3.1.1 Standaardinterface

Voor de communicatie tussen het bedrijfspand en de energiehandelaar kiezen we primair voor een bestaande standaard: het op IP gebaseerde communicatieprotocol van PowerMatcher, het *smart grid*-concept dat door TNO is ontwikkeld⁵.

Naast deze uitwisseling zijn er nog twee andere interfaces: user management en technical management. Beide zullen op HTTP / WEB worden gebaseerd. Wanneer het SMARTCOVA-systeem groeit, moeten deze interfaces worden heroverwogen.

Behalve deze technologische koppelingen zullen de partijen ook afspraken moeten maken over de prijs voor de flexibiliteit en het comfortniveau. Deze afspraken en tarieven worden vastgelegd in een contractuele 'koppeling'.

3.1.2 Standaardmanier van flexibiliteitswisseling

De verschillende apparaten ontsluiten flexibiliteit op verschillende manieren. Bepaalde apparaten kunnen hun energiebehoefte verschuiven in de tijd. Andere apparaten kunnen energie bufferen. Daarnaast zijn er apparaat-specifieke beperkingen waar rekening mee moet worden gehouden, zoals de minimale uit- of aan-tijd van een apparaat.

Er is door TNO een abstractielaag ontwikkeld: de Energy Flexibility Interface (EFI). Het beheer van deze abstractielaag ligt bij het FAN (Flexiblepower Alliance Network). De EFI wordt binnen SMARTCOVA gehanteerd en kent vier verschillende type apparaten:

Inflexible – Geen daadwerkelijke flexibiliteit, maar meetbaar en (soms) voorspelbaar. Voorbeelden: PV-panelen en het meeste niet-gebouwgebonden verbruik in van huishoudens

Time shiftable – Energie-verbruikende processen die in de tijd verschoven kunnen worden. Voorbeelden: Wasmachines, vaatwassers.

Storage – Flexibel in productie en/of gebruik, maar begrensd door een buffer. Voorbeelden: Diepvriesapparaten, warmtepompen, batterijen, elektrische auto's (EV).

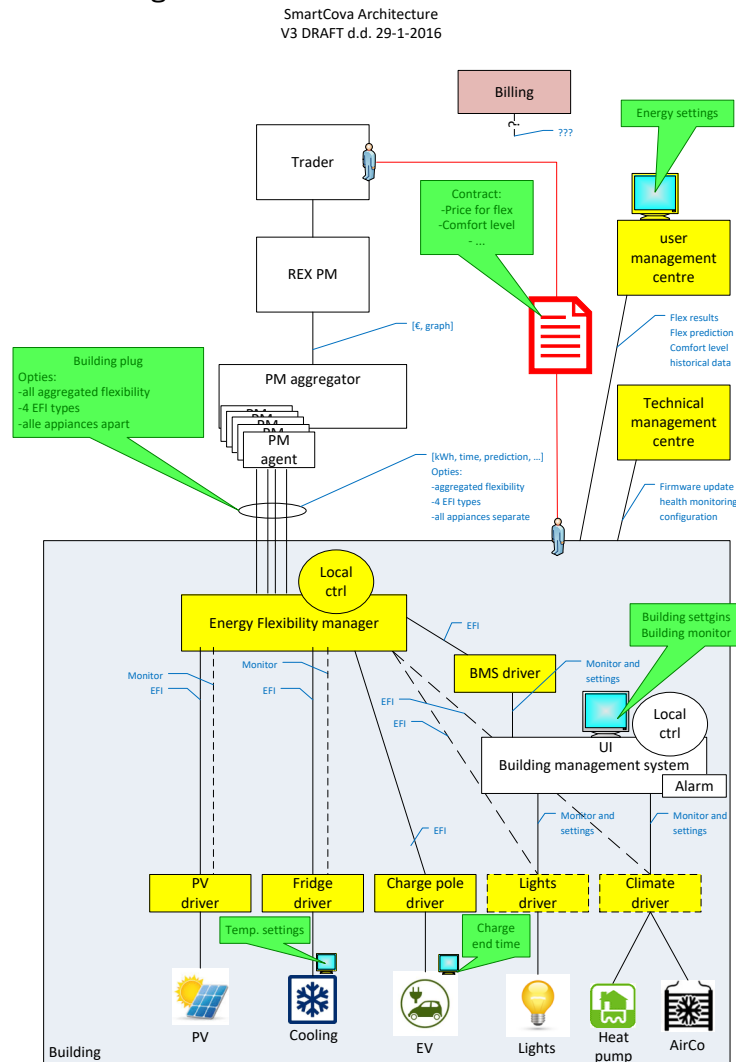
Output Adjustable – Flexibel in productie en/of gebruik en niet begrensd door een buffer. Voorbeelden: Generatoren, dimbare verlichting, opritverwarming.

De flexibiliteit van alle apparatuur die participeert in SMARTCOVA, wordt omgevormd naar één van de EFI-typen. Met de PowerMatcher aggregator wordt de flexibiliteit geaggregeerd en aangeboden aan de energiehandelaar.

⁵ Voor meer info zie: <https://www.tno.nl/en/focus-areas/energy/roadmaps/sustainable-energy/smart-energy-system-solutions/powermatcher/>. NB: na uitstappen TNO is er voor een directe stuurinterface met PZEM gekozen.

3.1.3 Gekozen architectuur

Vanuit het bovenstaande is gekozen voor de onderstaande architectuur:



Figuur 13: Overzicht gekozen conceptuele architectuur SMARTCOVA

De flexibiliteit vanuit de verschillende apparaten wordt in de *Energy Flexibility Manager (EFM)* verzameld en doorgestuurd als een PowerMatcher agent naar de PM aggregator. Via het REX-platform wordt dit doorgegeven naar de energiehandelaar⁶.

Voor ieder apparaat is een driver beschikbaar. Deze zorgt voor het omzetten van de specifieke flexibiliteit naar de EFI-abstractie. Sommige apparaten kunnen niet rechtstreeks worden benaderd, maar zullen via het gebouwbeheersysteem (GBS; Building Management System in de afbeelding) moeten worden ontsloten. In de toekomst, wanneer systemen zoals SMARTCOVA gemeengoed worden, zullen de apparaten en het GBS zelf EFI-berichten kunnen versturen. De drivers zijn dan geïntegreerd in de apparaten.

Afspraken over de prijs en het comfortniveau worden niet via het technische systeem gemaakt, maar door middel van contractonderhandelingen.

⁶ NB: dit was de oorspronkelijke PowerMatcher gebaseerde architectuur, deze is gewijzigd in SMARTCOVA2.0.

3.2 Opzet en architectuur proefopstelling

Zoals eerder vermeld, hebben twee van de partners na heroverweging besloten om het SMARTCOVA-consortium te verlaten. De overige deelnemers hebben hierop besloten om de doelstellingen van SMARTCOVA toch gestand te doen door de praktische haalbaarheid van SMARTCOVA aan te tonen met een demonstrator waarin de wisselende productie van hernieuwbare energiebronnen wordt gecompenseerd met flexibiliteit uit de kantoorpanden.

3.2.1 Te realiseren functionaliteit SMARTCOVA 2.0

Het hoofddoel van SMARTCOVA 2.0 is het regelen van het energiegebruik op basis van de mismatch tussen de day-ahead voorspelling en het actueel opgewekte vermogen van een windpark. De verwachte energie, die door het windpark wordt opgewekt, wordt verkocht op de EPEX spot markt. Als er een voorspelfout wordt gemaakt, dan ontstaat er een onbalans. Deze onbalans wordt gecompenseerd door conventionele centrales op of af te regelen, dan wel door energie in te kopen bij of te verkopen aan de concurrent. Doordat in de toekomst conventionele centrales niet altijd produceren, zie Figuur 1, is het gunstig als de kantoorgebouwen hun energievraag kunnen afstemmen op deze voorspelfouten van windproductie.

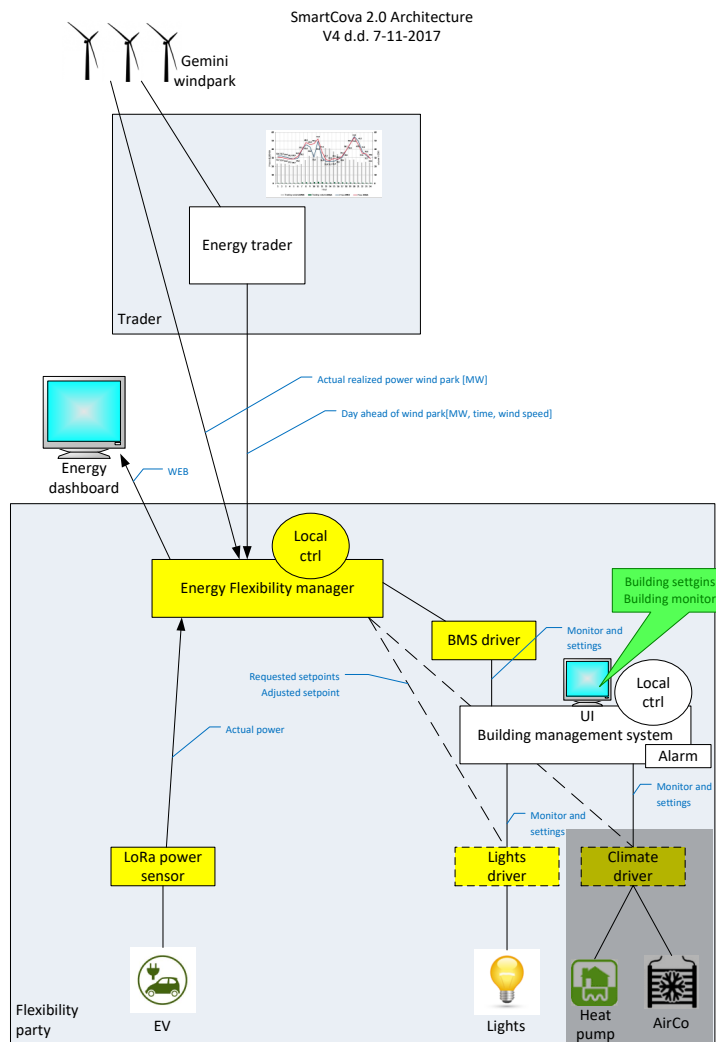
Vergeleken met het ontwerp van SMARTCOVA 1.0 zijn alle onderdelen verwijderd die aanwezig waren om het systeem op grote schaal te kunnen uitrollen. Zo zijn de PowerMatcher, die op kleine schaal minder goed werkt, en de EFI verwijderd. De regeling is volledig lokaal gerealiseerd waardoor geen terugkoppeling naar de energiehandelaar nodig is. Het systeem in het gebouw ontvangt van de energiehandelaar alle benodigde informatie vanuit het windpark (day-ahead en gerealiseerde actuele waarde van het vermogen). Voor de proef is de online opwek van het windpark Gemini gebruikt die op Internet wordt gepubliceerd. Voor de verwachte opwek is een voorspelling gemaakt door PZEM.

De benodigde flexibiliteit wordt gerealiseerd door het aanpassen van de lichtsetting en het uitlezen van de EV-laadpalen. Wanneer er te veel energie wordt geproduceerd (meer dan in de day-ahead is voorspeld) gaat het licht harder branden en worden de laadpalen ingeschakeld. Andersom werkt dit op vergelijkbare wijze: Wanneer er te weinig energie wordt geproduceerd, gaat het licht zachter branden en worden de laadpalen uitgeschakeld. In de proef hebben we niet alle verlichting in het hele gebouw aangestuurd, maar slechts enkele ruimtes. De waarde die we in het dashboard plaatsen is gebaseerd op het aantal ruimtes waar deze flexibiliteit gerealiseerd zou kunnen worden (gem. 50 ruimtes in het gebouw).

Om een idee te krijgen van wat het in Nederland zou kunnen betekenen, hebben we de waarden in de grafiek in het dashboard aangepast alsof we dit zouden kunnen realiseren in 10.000 kantoorgebouwen.

3.2.2 Gekozen architectuur SMARTCOVA 2.0

De architectuur die voor SMARTCOVA 2.0 is gerealiseerd, is gebaseerd op het oorspronkelijke ontwerp van SMARTCOVA 1.0. In hoofdlijnen is het plaatje gelijk. Hiermee zorgen we er voor dat het eventueel later weer opschalen van SMARTCOVA mogelijk is, zodra er specifieke dienstleveranciers, apparaatleveranciers, gebouweigenaren willen aansluiten. De koppelvlakken voor een effectieve inpassing liggen daarvoor al op de best passende plaats..



Figuur 14: Overzicht gekozen architectuur SMARTCOVA demonstrator

De drivers voor de apparaten zijn nog aanwezig. Deze zetten de informatie echter niet meer om naar de EFI-abstractie, maar zorgen er alleen voor dat de informatie van de apparaten bij de Energy Flexibility Manager (EFM) terecht komt. Informatie over het windpark komt rechtstreeks in de EFM binnen en wordt daar verwerkt. De resultaten zijn te zien op het energy dashboard.

3.2.3 Gerealiseerd dashboard SMARTCOVA 2.0

Het energy dashboard van SMARTCOVA 2.0 ziet er als volgt uit:



Figuur 15: Overzicht dashboard SMARTCOVA demonstrator

In de grafiek linksboven worden de day-ahead voorspelling en de actuele opwek van het windpark getoond. De day-ahead (geel) is voor de gehele dag ingevuld, terwijl de actuele waarden (blauw) zijn gevuld tot 'nu'. De grafiek linksonder geeft de gerealiseerde flexibiliteit weer. De blauwe lijn is het verschil tussen de day-ahead voorspelling en de actuele waarde. In deze grafiek toont de groene de gerealiseerde flexibiliteit door middel van de verlichting. De bruine lijn toont de flexibiliteit die is gerealiseerd met de EV-laadpalen.

Midden boven is de actuele opwek van het windpark te zien, met daaronder de regeling van onder meer het licht vanuit het gebouwbeheersysteem van Technolution. Rechtsboven staan de totaalwaarden.

4 EVALUATIE DEMONSTRATOR EN LESSONS LEARNED

4.1 Technische haalbaarheid

Hoewel niet alle technische concepten en ideeën uit het oorspronkelijke voorstel zijn uitgewerkt, heeft de bijgestelde aanpak van SMARTCOVA 2.0 toch waardevolle technische informatie en ervaringsgegevens opgeleverd. De volgende paragrafen beschrijven de zaken waar we tijdens de realisatie van SMARTCOVA 2.0 tegen aan zijn gelopen.

4.1.1 Gebruik verlichting

Het is relatief eenvoudig om flexibiliteit te realiseren met de verlichting van een kantoorgebouw. Een voorwaarde is wel dat de verlichting wordt gereguleerd door het gebouwbeheersysteem. Binnen het gebouw van Technolution was hier in voorzien en door de toepassing van vrij traploos dimbare LED-armaturen goed inpasbaar..

Er gelden wel beperkingen vanuit gebruikerscomfort bij het aanpassen van de lichtsterkte. Vanuit het niveau dat de gebruiker heeft ingesteld, kan de sterkte maximaal 10% naar boven en beneden worden geregeld zonder gevolgen voor het comfort. Het naar beneden regelen levert besparing op en is sowieso nuttig. Naar boven regelen is alleen nuttig als het extra energiegebruik minder kost dan het oplevert om te compenseren voor het te veel aan groene energie. Technisch is het dus geen probleem, maar er zitten wel meer kanten aan het gebruik van verlichting als flexibiliteitsbron.

4.1.2 Gebruik warmtepomp

De ultieme bron van flexibiliteit in het Technolution-gebouw is de warmtepomp. Een warmtepomp gebruikt veel energie en heeft buffers om de energie in tijd te verschuiven. Dit zijn niet alleen de buffers in de warmtepompinstallatie zelf. Ook het gebouw zelf kan als buffer fungeren. Een goed geïsoleerd gebouw als dat van Technolution koelt niet snel af.

Binnen deze proef hebben we de warmtepomp echter niet kunnen gebruiken. De voornaamste oorzaak hiervan ligt in het feit dat warmtepompen nog maar relatief kort worden toegepast door installateurs. De beschikbare kennis en ervaring is daardoor onvoldoende om de gevolgen te kunnen inschatten van dynamische aansturing van de warmtepomp. De installateurs houden zich voornamelijk aan de fabrieksvoorwaarden voor installatie en gebruik en zijn niet bereid om te experimenteren.

Daarnaast zijn er beperkingen die het gebruik van de flexibiliteit in de weg staan. In- en uitschakelen van de pomp moet worden vermeden en de pomp heeft een minimale verplichte looptijd. De verwachting is dat deze eisen in de nabije toekomst zullen veranderen. Ook de fabrikanten van de warmtepompen gaan hier meer op inspelen. Overigens is het toepassen van gemoduleerde pompen juist een belemmering voor de flexibiliteit, omdat de modulaties zijn gericht op een zo vlak mogelijk energieverbruik. De conclusie is dat het gebruik van warmtepompen als bron van flexibiliteit nog verder dient te worden ontwikkeld.

4.1.3 Gebruik EV

Het gebruik van de EV-laadpaal als flexibiliteitsbron is technisch goed realiseerbaar. Het in- en uitschakelen van het laden is relatief eenvoudig aan te sturen en het opladen van een elektrische auto kost over het algemeen veel energie en biedt dus veel flexibiliteit. Er is echter sprake van een gebruikerscomponent die complexer is, namelijk: de gebruiker heeft verwachtingen over de tijd die het kost om zijn auto op te laden. Wanneer een werknemer de hele dag op kantoor blijft, is er op dit punt voldoende flexibiliteit. Maar een klant die voor een

overleg van één uur aanwezig is, wil de accu's van zijn auto zo vol mogelijk laden binnen dat uur.

De verwachtingen van gebruikers kunnen worden afgehandeld met user interfaces waarmee de gebruiker kan aangeven wanneer hij/zij wil vertrekken en hoe vol de auto dan moet zijn. Dit viel echter buiten het kader van deze proef. Wel is het gebruik van de laadpaal meegenomen in de proef waarbij we dan in de praktijk niet regelen, maar binnen de SMARTCOVA 2.0 software wel doen alsof we dat zouden kunnen doen. Hiermee hebben we wel het inzicht, maar niet de extra complexiteit van de interactie met de gebruikers en de voertuigen.

4.1.4 Gebruik LoRaWAN

Omdat de laadpalen in de parkeergarage staan, is LoRaWAN als communicatiemiddel voor het communiceren van de energiestromen gekozen. LoRaWAN is een betrouwbare vorm van energiezuinige radiocommunicatie over lange afstanden, die ook goed functioneert in bebouwde omgevingen. We zien veel mogelijkheden voor de toepassing van dit protocol binnen gebouwautomatisering en energiemanagement.

4.1.5 Gebruik bevochtiger en luchtbehandeling

De luchtbevochtigingsinstallatie en de pompen van de luchtbehandeling zijn grote energiegebruikers in kantoorgebouwen, ook in het gebouw van Technolution. Beide hebben echter direct gevolgen voor het comfort van de gebruikers bij het aanpassen van het energiegebruik voor flexibiliteit. De luchtbevochtiger is een direct en snel werkend systeem zonder buffer, waardoor gebruikers bij aanpassingen snel last krijgen van te droge lucht. De luchtbehandeling is goed te regelen, maar de installatie is zo afgesteld dat met deze luchtstroom geen geruis of gepiep ontstaat door de luchtstroom. Bij het veranderen van de luchtstroom ontstaan al snel hinderlijke geluiden voor de gebruikers. Om deze reden is er voor gekozen om luchtbevochtiging en -behandeling niet mee te nemen in de flexibiliteit.

4.1.6 Koppeling met PZEM en Gemini windpark

De koppeling met PZEM voor het ophalen van de day-ahead voorspelling van het windpark was eenvoudig en goed realiseerbaar. Er is voor gekozen om files in een sftp omgeving af te zetten. De software in het gebouw leest deze file in en gebruikt deze voor haar berekeningen.

Voor het ophalen van de actuele waarden van het Gemini windpark was helaas geen interface beschikbaar. Het Gemini windpark was geen partner in het project, waardoor het ook niet mogelijk bleek om voor de proef snel een interface te realiseren. Aangezien de gerealiseerde waarden wel op internet worden gepubliceerd, is er voor gekozen om deze van de Gemini-website te halen. Deze methode draagt een risico met zich mee. De Gemini-website kan bijvoorbeeld veranderen, waardoor de waarden niet meer op deze manier kunnen worden opgehaald. Het systeem werkt dan vanaf dat moment niet meer. Voor deze proef is dat een geaccepteerd risico. Bij een definitieve versie zal een meer betrouwbare interface moeten worden afgesproken met de eigenaar van het Gemini windpark.