Flexibele inzet warmtepompen voor een duurzaam energiesysteem

FLEXIBLEPOWER ALLIANCE NETWORK

TKI URBAN ENERGY
Topsector Energie

accenture

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van het Flexiblepower Alliance Network (FAN) en TKI Urban Energy

Colofon

Deze opdracht is uitgevoerd door Accenture in opdracht van Flexible power Alliance Network en TKI Urban Energy.

Flexible power Alliance Network (FAN), opgericht in 2013, wil flexibilisering van het energiesysteem stimuleren. FAN wil een open en eerlijk energiesysteem mogelijk maken, waarin overschotten en tekorten van duurzame energie door middel van flexibiliteit in energievraag- en aanbod worden opgevangen. FAN streeft naar een maximale benutting en ontsluiting van flexibiliteit in het energiesysteem door gebruik van open standaarden. Tarieven, regelgeving en markten kunnen en moeten de flexibiliteit van energievraag en -aanbod stimuleren. FAN heeft als doel om een breed draagvlak te creëren in Europa voor haar gedachtegoed, waarin een open standaard voor flexibiliteit, vrije toegang tot de markt, ontsluiting van zoveel mogelijk potentiële flexbronnen en keuzevrijheid van de eindgebruiker centraal staan.

Als FAN werken we graag samen met eindgebruikers, marktpartijen en overheid met als doel een flexibel, duurzaam energiesysteem te realiseren. We richten onze pijlen daarbij met name op eindverbruikers die tot nu toe weinig flexibiliteit leveren. Bent u geïnteresseerd om samen te werken met FAN? Neem dan contact met ons op.

Wilt u n.a.v. deze rapportage in contact komen met FAN of Accenture, neem dan contact op met:
Alexander Savelkoul
06 54 94 01 47
Bestuurslid FAN
alexander.savelkoul@enpuls.nl
https://flexible-energy.eu/

TKI Urban Energy is een onderdeel van de Topsector Energie. De organisatie stimuleert bedrijven, kennisinstellingen, maatschappelijke organisaties en overheden om samen te werken op het gebied van energie-innovaties. TKI Urban Energy bevordert onderzoek naar energie-innovaties voor een snelle transitie naar een duurzaam, betrouwbaar en betaalbaar energiesysteem in de gebouwde omgeving en de infrastructuur door initiatieven financieel te steunen, betrokken partijen bij elkaar te brengen en kennis te delen. Hiermee versterkt zij de economische concurrentiekracht van betrokken Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen.

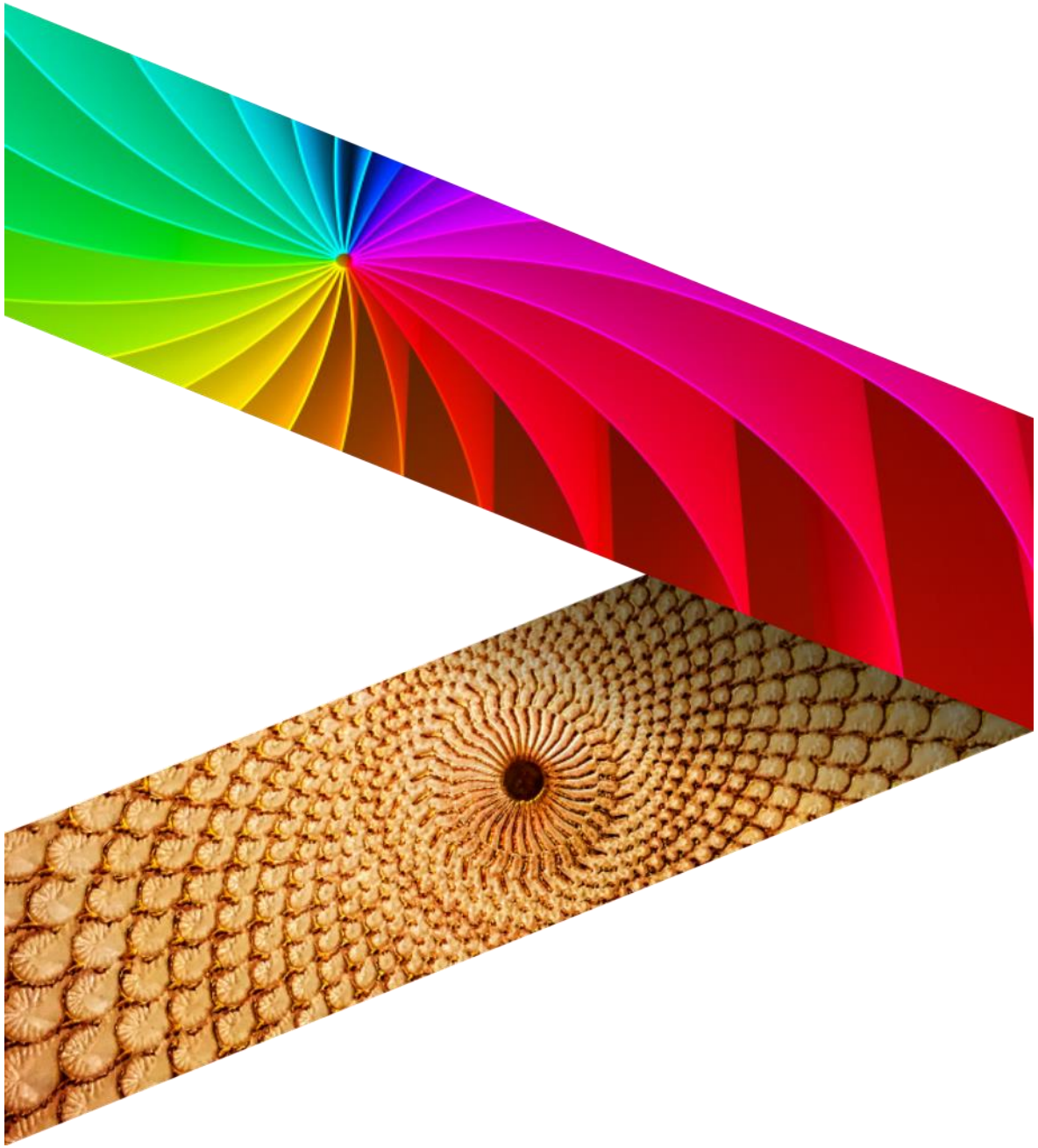
Heeft u innovatieve ambities op het gebied van energie-flexibiliteit? Mogelijk kan TKI Urban Energy u ondersteunen bij uw ambities. De medewerkers van TKI Urban Energy staan klaar om uw ideeën te toetsen en u te helpen bij het vinden van samenwerkingspartners en het opzetten van een consortium

Wilt u n.a.v. deze rapportage in contact komen met TKI Urban Energy of Accenture, neem dan contact op met:
Maarten de Vries
Programmamanager Smart Energy Systems
06 168 364 90
maarten@tki-urbanenergy.nl
www.tki-urbanenergy.nl

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Dankwoord

Dit rapport is tot stand gekomen door 17 interviews met experts en 3 klankbordgroep-sessies om een zo breed mogelijk beeld op te halen. Graag willen we de klankbordgroep en experts bedanken voor de waardevolle bijdrage aan dit rapport. In het speciaal gaat onze dank uit naar de klankbordgroepleden: Enexis, Enpuls, Enshared, FAN, Itho Daalderop, Recoy, Stedin, Technolution, TenneT, TKI Urban Energy en Vereniging Warmtepompen.

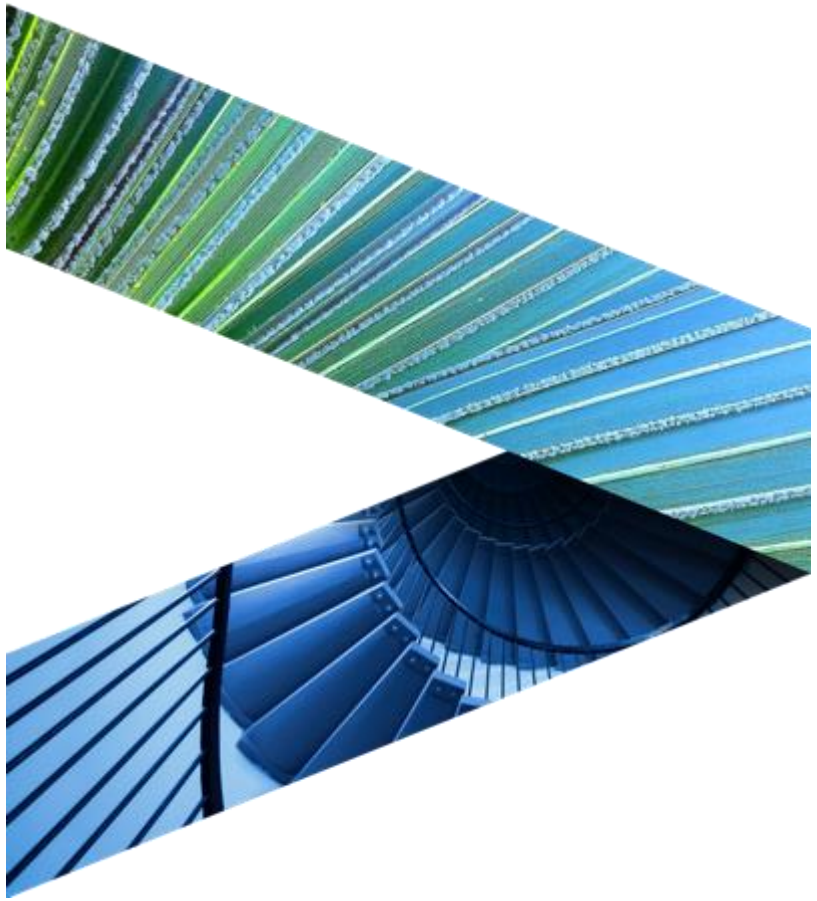


Together, Greater Than Ever.

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Inhoudsopgave

- Managementsamenvatting
- Inleiding en context
- Inzet warmtepompen
- Waardeketen
- Businesscase – baten
- Businesscase – kosten
- Integrale businesscase & roadmap
- Bronnenlijst



Management-samenvatting

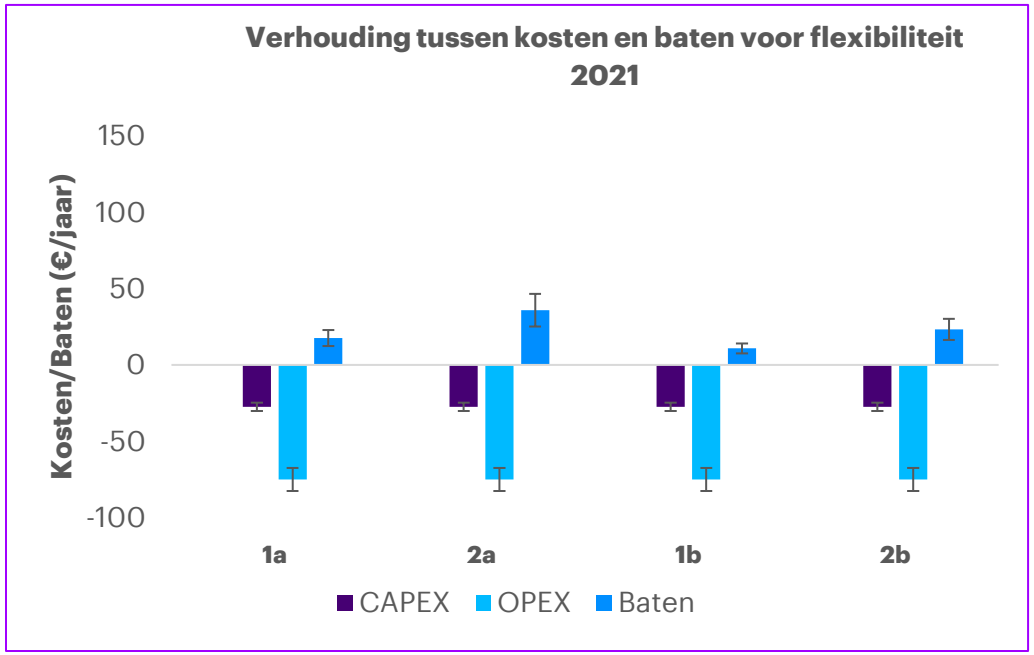
Managementsamenvatting

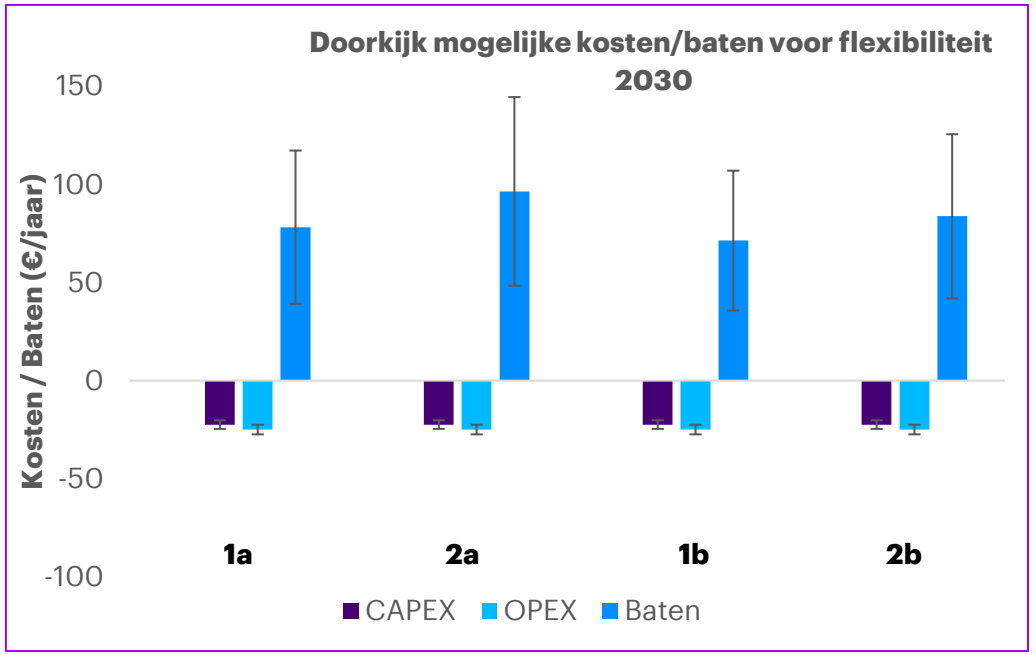
Businesscase warmtepompen voor flexibiliteit

Momenteel is er nog geen schaalbare businesscase om warmtepompen in te zetten ten behoeve van flexibiliteit. De waardeketen is voor gebruikers complex en bestaat uit een groot aantal componenten. Standaardisatie ontbreekt vooralsnog. Fabrikanten maken connectiviteit van de warmtepomp mogelijk, maar dit brengt additionele kosten met zich mee. Ondanks dat de businesscase nu niet in balans is, kunnen warmtepompen wel een belangrijke bijdrage leveren aan balancering van vraag en aanbod van elektriciteit en het voorkomen van netcongestie.

In de toekomst kan een schaalbare businesscase ontstaan, door enerzijds de kosten omlaag te brengen en anderzijds door een verwachte stijging in de baten. Lagere kosten kunnen bereikt worden door het verminderen van het aantal componenten en standaardisatie in de waardeketen. Aan de kant van de baten wordt verwacht dat de prijzen voor flexibiliteit zullen stijgen door toenemende volatiliteit op het elektriciteitsnet. Ook zullen nieuwe waardebronnen ontstaan, door het afschaffen van saldering en het invoeren van prijsprikkels door regionale netbeheerders.

FAN kan een belangrijke rol spelen in het verbeteren van de businesscase van de inzet van warmtepompen ten behoeve van flexibiliteit. FAN kan het initiatief nemen om met een werkgroep toe te werken naar standaardisatie. Aan de batenkant ligt de focus op een lobby op prijsprikkels en het verschaffen van duidelijkheid van toekomstige waardebronnen aan marktpartijen. Tot slot kan FAN, als onafhankelijke marktpartij, een rol spelen in het delen van uitkomsten van studies en pilots.





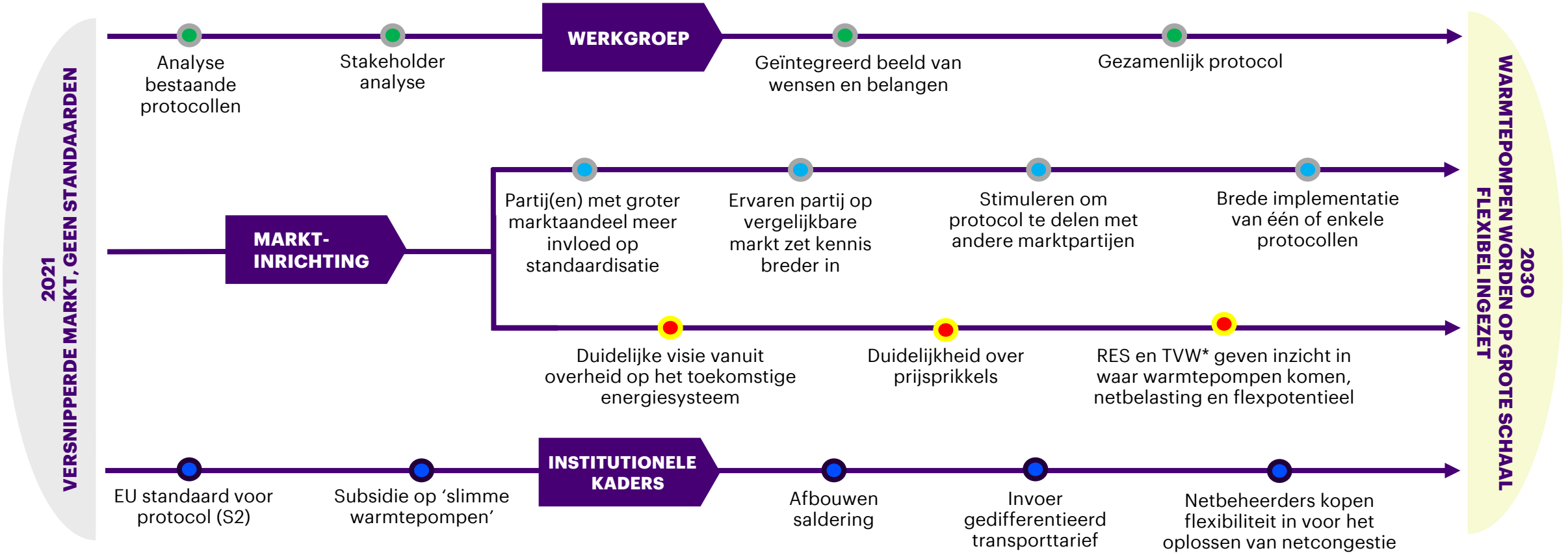
1a	Nieuwbouw	AWP
1b	Bestaand	HWP
2a	Nieuwbouw	AWP
2b	Bestaand	HWP

HWP = Hybride warmtepomp
AWP = All-electric warmtepomp

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

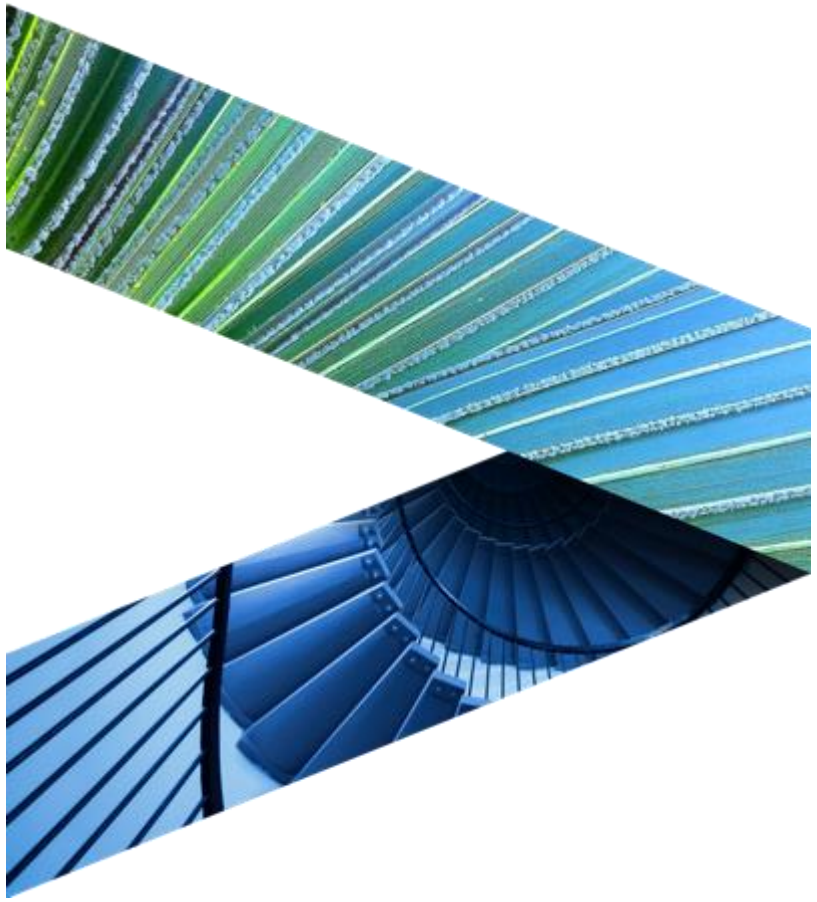
Managementsamenvatting
Stimuli voor een schaalbare business case

In de aanloop naar de ambitie 2030 zijn er verschillende krachtvelden van invloed op het bereiken van grootschalige flexibele inzet van warmtepompen. In de markt is het gebruikelijk om in een werkgroep samen te werken aan standaardisatie. In deze werkgroep nemen alle partijen uit de waardeketen plaats, zo is bijvoorbeeld het Open Charge Point Protocol (OCCP) voor laadpunten ontwikkeld. Het krachtveld "Marktinrichting" splitst in een stroom waar een koopkrachtige partij(en) veel invloed heeft op een marktstandaard, en een stroom waarbij een marktstandaard autonoom ontstaat. Tot slot hebben institutionele kaders invloed op de standaardisatie en (snelheid van) implementatie.
Deze krachtvelden bestaan niet los van elkaar en beïnvloeden elkaar.



* RES= Regionale Energie Strategie; TVW= TransitieVisie Warmte

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

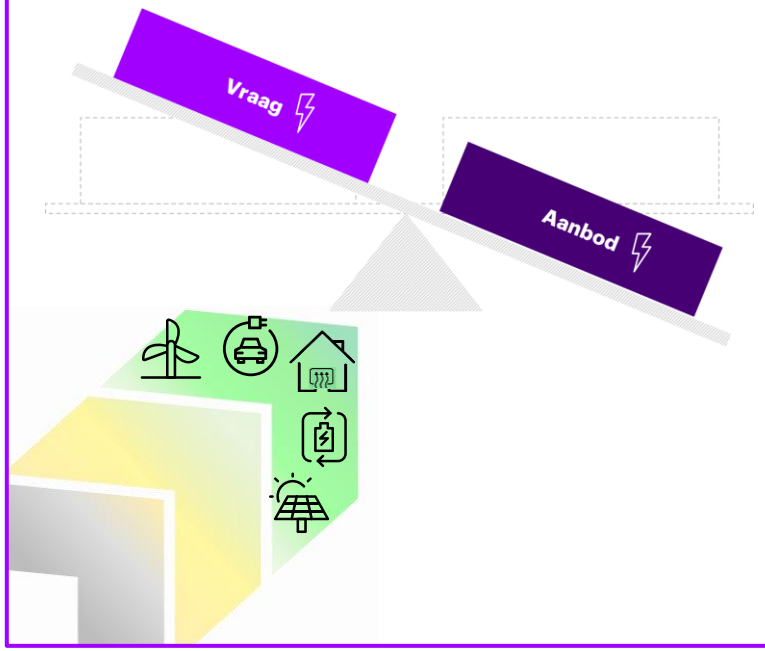


Inleiding en context

Inleiding en context

Situatie

De energietransitie leidt tot elektrificatie van het eindgebruik en een volatiel aanbod door een toename van zonne- en windenergie. Het afstemmen van vraag en aanbod wordt daardoor ingewikkelder en op sommige plekken ontstaat netcongestie. Flexibiliteit kan ingezet worden voor balanshandhaving van vraag en aanbod en het voorkomen van netcongestie. Warmtepompen dragen bij aan de elektrificatie van de gebouwde omgeving, maar kunnen óók flexibiliteit bieden door de in- & uitschakeltijden te verschuiven of te variëren in elektrisch vermogen (all-electric warmtepompen) of tijdens piekmomenten van energiedrager te wisselen (hybride warmtepompen).



Complicatie

Ontsluiting van flexibiliteit met behulp van warmtepompen staat in de kinderschoenen. Terwijl de flexmarkt bij grootverbruikers met grote volumes volwassen is, zijn de lokale flexmarkten en aanbod van geaggregeerde volumes nog in ontwikkeling. Er is bijvoorbeeld nog geen marktstandaard voor de flexibele aansturing van apparaten. De baten voor ontsluiting van flexibiliteit met warmtepompen zijn klein en versnipperd. De partijen die kosten maken om flexibiliteit mogelijk te maken, hebben nog onvoldoende prikkels om dit te regelen.

Flexibiliteitsmarkt onvolwassen en complex

Geen standaardisatie

Versnipperde markt

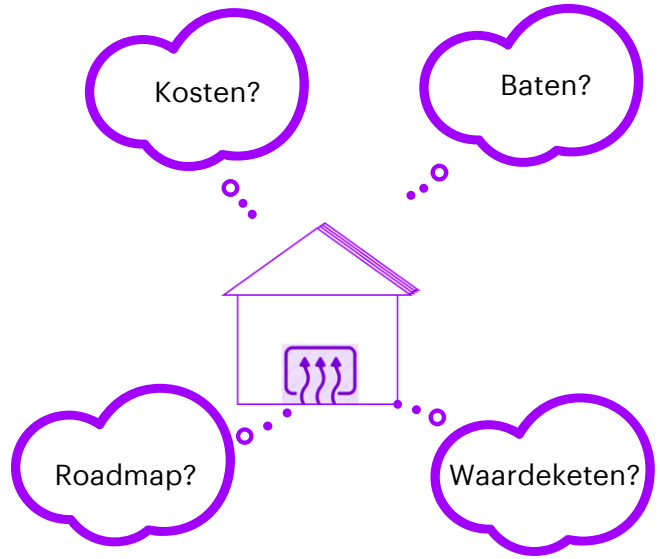
Scheve kosten/baten verhouding

Doelstellingen

I. De waardeketen van warmtepompen voor ontsluiting van flexibiliteit in kaart brengen.

II. De kosten en baten inzichtelijk maken voor het ontsluiten van flexibiliteit van warmtepompen vanuit het perspectief van de gebruiker, installateur, en energieleverancier/aggregator.

III. Identificeren van een roadmap die leidt tot concrete vervolgstappen voor FAN en TKI Urban Energy om te kunnen sturen op het verbeteren van de businesscase.

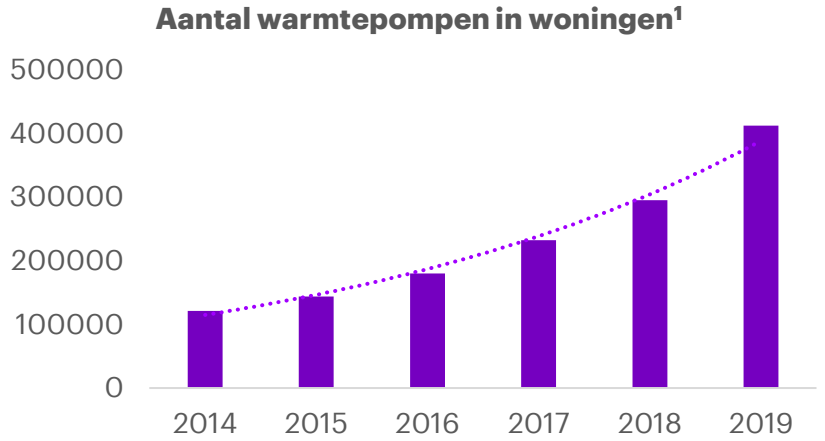


Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Relevantie onderzoek

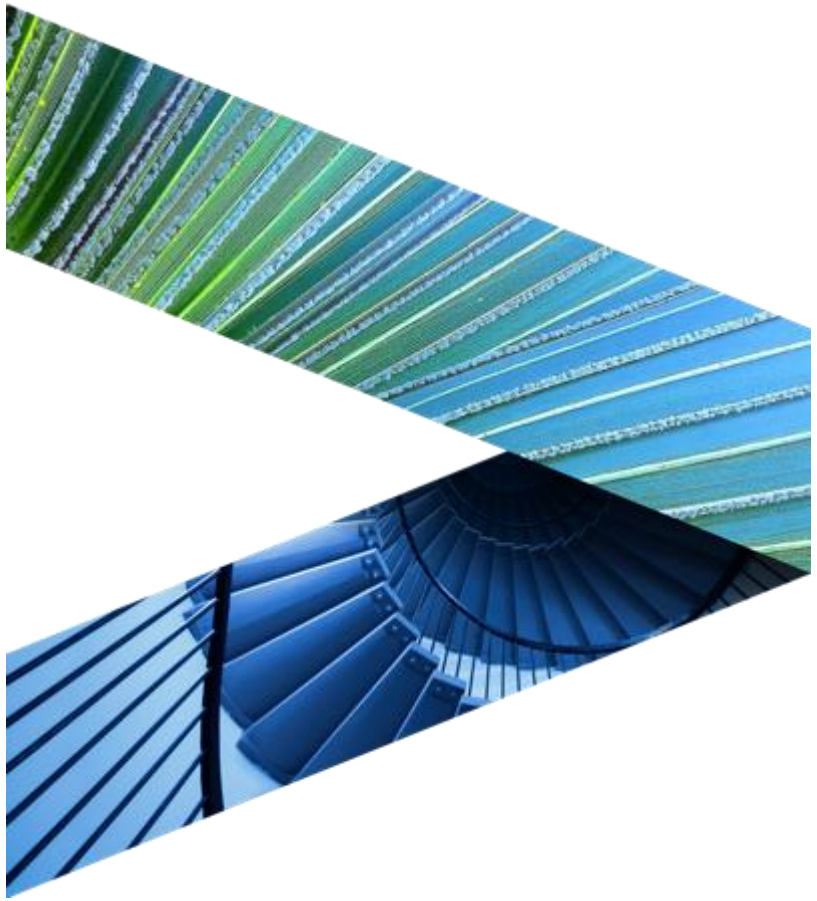
Waarom dit onderzoek?
Het aantal warmtepompen in woningen is in Nederland de afgelopen jaren exponentieel gestegen. In 2019 heeft 5% van het totaal aantal woningen een warmtepomp. Dit leidt tot een toename van het elektriciteits-verbruik, waardoor netcongestie kan ontstaan. Vooral op koude winterdagen is veel elektrisch vermogen nodig, terwijl het elektriciteitsnet in bestaande wijken daar vaak nog niet geschikt voor is. Dit komt doordat hier altijd aardgas werd gebruikt voor het verwarmen van de gebouwde omgeving. Naast een toename van het elektriciteitsverbruik komt er steeds meer duurzame elektriciteit uit zonne- en windenergie. Deze groei zal zich naar verwachting richting 2030 exponentieel doorzetten. Dit aanbod is erg volatiel in vergelijking met conventionele centrales. Flexibiliteit biedt de mogelijkheid om vraag en aanbod van elektriciteit in de toekomst beter op elkaar af te stemmen. Zou kan het elektriciteitsverbruik van warmtepompen gevarieerd worden op basis van fluctuaties in het aanbod van elektriciteit. Het ontsluiten van flexibiliteit met warmtepompen is nu nog niet ingeregeld. In 2018 is slechts 10% van de warmtepompen in woningen direct verbonden met het internet[3], een voorwaarde om de warmtepomp flexibel in te zetten. Dit lage percentage wordt veroorzaakt door de extra kosten die de eindgebruiker moet maken om de warmtepomp ‘slim’ te maken, terwijl er nu nog geen businesscase is voor het ontsluiten van flexibiliteit met warmtepompen. Echter is het van belang om ook naar de maatschappelijke kosten en baten te kijken. De energietransitie heeft invloed op de betrouwbaarheid en betaalbaarheid van het energiesysteem. Flexibiliteit is essentieel om een betrouwbaar, betaalbaar, duurzaam en rechtvaardig energiesysteem te waarborgen in de toekomst. Uit onderzoek blijkt dat voor warmtepompen zonder flexibiliteit 3-4 back-up gascentrales nodig zijn tot 2030. Door warmtepompen slim te maken zijn deze back-up gascentrales niet nodig.

Doel & Scope
In dit onderzoek is de businesscase voor het ontsluiten van flexibiliteit met warmtepompen in woningen in kaart gebracht, gevolgd door een roadmap om tot een schaalbare business case te komen. Dit onderzoek is alleen gericht op woningen en niet op utiliteit/industrie. Zowel all-electric als hybride warmtepompen zijn in scope. De scope lag bij deze studie uitsluitend op de warmtebehoefte van woningen. Koelen is niet meegenomen. Ook al kan dit op termijn de business case sterk verbeteren. De onzekerheid over de marktontwikkelingen van koeling met warmtepompen is te onzeker om die in deze studie mee te nemen. Tot slot gaan we er in dit rapport van uit dat het leveren van flexibiliteit met een warmtepomp binnen de grenzen blijft van de garantie van de fabrikant en daardoor geen invloed heeft op de levensduur van de compressor. Negatieve impact op de kosten of baten door beperkingen in de technologie zijn hiermee out of scope van dit onderzoek. Alle cijfers in dit rapport zijn gebaseerd op warmtepompen, algemene principes over de werking van flexmarkten en de waardeketen voor het ontsluiten van flexibiliteit zijn breder toepasbaar op andere residentiële assets voor flexibiliteit.



Totaal aantal woningen met warmtepomp 2019[1]	Totaal aantal woningen 2019[2]	%
412 113	7 891 786	5%

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.



Inzet warmtepompen

Inzet warmtepompen voor flexibiliteit

INZET WARMTEPOMPEN

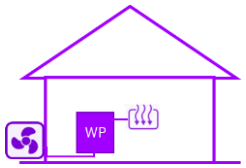
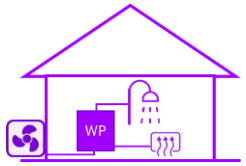
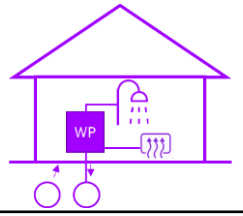
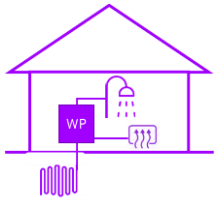
Warmtepompen kunnen ingezet worden ten behoeve van flexibiliteit in het elektriciteitsnet. De hoeveelheid beschikbare elektriciteit dat flexibel ingezet kan worden hangt van verschillende factoren af. De werking en type van een warmtepomp hebben invloed op de hoeveelheid elektriciteit dat benodigd is om de warmtepomp te laten draaien. Daarnaast hebben ook het type woning en grootte van het huishouden invloed op de benodigde elektriciteit. Echter kan niet alle elektriciteit dat benodigd is ingezet worden voor flexibiliteit, omdat er op bepaalde momenten dat de warmtepomp wel draait er geen flexibiliteit nodig is of omdat de warmtepomp niet in staat is op dat moment flexibiliteit te leveren.

In dit hoofdstuk is eerst de werking van warmtepompen en de types toegelicht. Vervolgens is het marktaandeel warmtepompen, de verhouding van warmtepompen ten opzichte van andere decentrale flexbronnen, en pilots behandeld. De benodigde elektriciteit per type woning en huishouden is uitgerekend waar vervolgens is toegewerkt naar het flexibiliteitspotentieel.

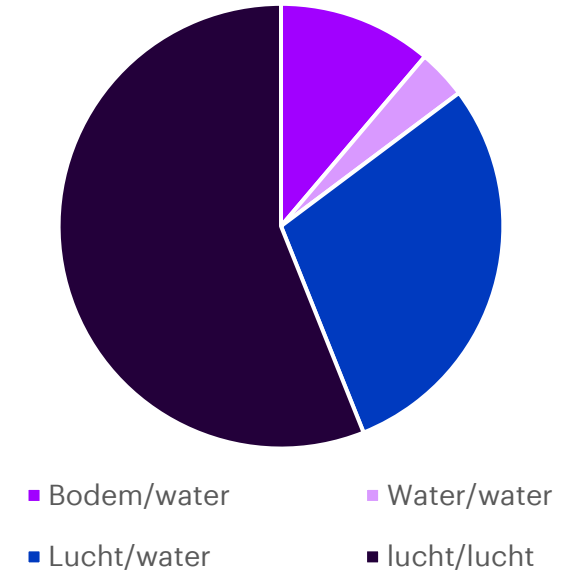
Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Warmtepompen - werking

Warmtepompen onttrekken warmte uit de omgeving en gebruiken dit om een woning te verwarmen. Een warmtepomp gebruikt elektriciteit om dit warmteonttrekkings-proces uit te voeren. Afhankelijk van de prestatiecoëfficient – Coefficient of Performance (COP) – kan een warmtepomp meer of minder thermische warmte leveren met een vergelijkbare hoeveelheid elektriciteitsverbruik. Hoe hoger de COP, hoe minder elektriciteit verbruikt wordt voor het leveren van een bepaalde hoeveelheid warmte. Ter illustratie gebruikt een warmtepomp 1 $kW_{elektrisch}$ om 3-5 $kW_{thermisch}$ te maken. De werking van een warmtepomp is afhankelijk van de warmtebron (bodem, water of lucht) en het afgiftesysteem in de woning (water of lucht). Dit resulteert in vier verschillende warmtepompen: lucht/lucht, lucht/water, water/water en bodem/water.

Lucht/lucht	Warmte wordt onttrokken uit de buitenlucht en overgedragen aan een koudemiddel dat vervolgens warmte afgeeft aan de binnenlucht. Deze warme lucht verwarmt de ruimte in de woning.	
Lucht/water	Warmte wordt uit de lucht onttrokken en overgedragen aan een koudemiddel, dat vervolgens warmte overdraagt aan het afgiftesysteem van de woning en/of aan de sanitaire warm watervoorziening.	
Water/water	Warmte wordt onttrokken uit grondwater door middel van 2 putten. De pomp haalt warmte omhoog uit de ene put en het afgekoelde grondwater wordt via de andere put in de grond teruggepompt.	
Bodem/water	Warmte wordt onttrokken uit de bodem via een buizensysteem en overgedragen aan een vloeistof in de buizen. De warmte wordt vervolgens via een warmtewisselaar afgegeven aan het verwarmingscircuit.	

Aantal warmtepompen in woningen (2019[1])



Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Warmtepompen

Hybride warmtepompen
Een hybride warmtepomp is een combinatie van een elektrische warmtepomp en een CV-ketel. Dit is interessant voor het verwarmen van bestaande woningen die matig geïsoleerd zijn. Op piekmomenten kan de warmtepomp overschakelen naar aardgas en zo flexibiliteit bieden. Hybride warmtepompen kunnen op twee manieren werken:
1) bivalent-alternatief – de warmtepomp levert tot een bepaalde buitentemperatuur alle warmte en schakelt daarna compleet over naar de CV-ketel die op gas draait ;
2) bivalent-parallel - bij lagere temperaturen werkt de warmtepomp eerst samen met een gasketel tot de buitentemperatuur nog verder zakt en schakelt dan compleet over naar aardgas.
Het bereiden van warm tapwater wordt in beide gevallen door de CV-ketel gedaan.
Het afgiftesysteem voor hybride warmtepompen is lucht/lucht of lucht/water.

All-electric warmtepompen
Een all-electric warmtepomp verwarmt het huis en zorgt voor warm water, waardoor een gasaansluiting voor verwarming niet meer nodig is. Een belangrijke voorwaarde is zeer goede isolatie. Woningen na 2000 zijn hier zonder aanpassingen voor geschikt. Woningen van voor 2000 zullen eerst verdergaand geïsoleerd moeten worden. Deze variant is niet meegenomen in het rapport omdat dit minder vaak voorkomt. Naast een warmtepomp is een boiler voor de sanitaire watervoorziening nodig zodat er voldoende warm tapwater is. Door het elektrisch vermogen van een warmtepomp aan te passen, biedt een warmtepomp flexibiliteit. Het CV-circuit kan uitgebreid worden met een buffertank om het uit- en aanschakelen van een warmtepomp te beperken. All-electric warmtepompen kunnen zonder (monovalent) of met (mono-energetisch) ondersteuning van elektrische bijverwarming het huis verwarmen. Het afgiftesysteem voor all-electric warmtepompen kan lucht/lucht, lucht/water, water/water of grond/water zijn.

Lucht/Lucht

Geen buitenunit nodig	Mechanische ventilatie verplicht
Airco in de zomer	Niet in aanmerking voor ISDE-subsidie
	Beperkt thermisch vermogen
	Aanvullende verwarmingsinstallaties nodig

Water/Water

Hoog rendement	Zeer goede isolatie nodig
Maakt geen geluid	Hoge aanschafprijs
Koelen in de zomer	Ruimte in tuin voor boringen in bodem

Lucht/Water

Aansluiten op bestaande centrale verwarmings-systeem	Zeer goede isolatie nodig
	Buitenunit maakt wat geluid

Grond/Water

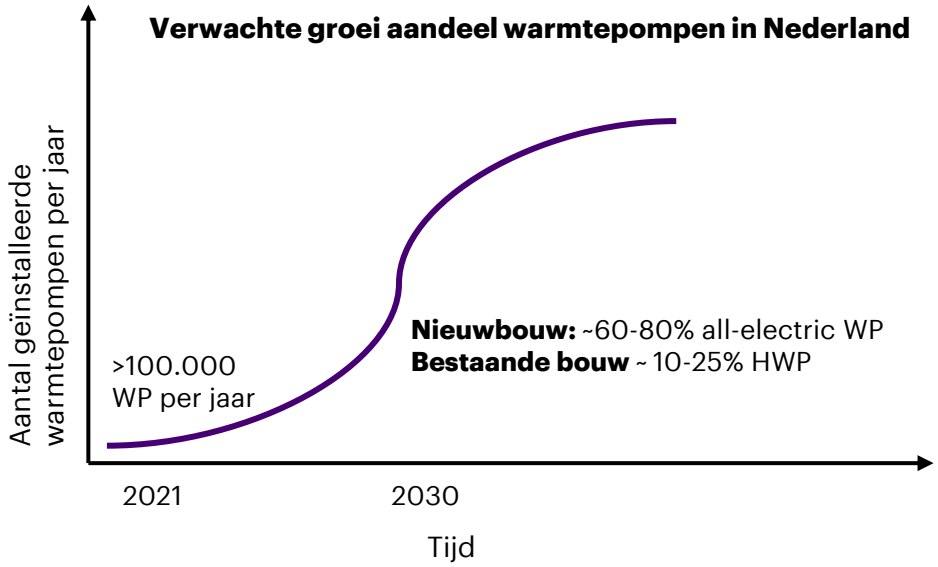
Hoog rendement	Zeer goede isolatie nodig
Maakt geen geluid	Hoge aanschafprijs
Passief koelen	Eisen voor geschikte tuin

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Marktaandeel warmtepompen

Het klimaatakkoord bevat verschillende maatregelen om de CO_2-uitstoot van de gebouwde omgeving richting 2050 sterk te verminderen, waaronder 'van het aardgas af'. Hierbij moeten alle woningen in 2050 aardgasvrij zijn. Duurzame verwarmingsopties, zoals warmtepompen en warmtenetten, zullen hierdoor richting 2030 toenemen. Naar verwachting zullen stadscentra voornamelijk warmtenetten krijgen en buitenwijken en buitengebied warmtepompen. Voor hoogbouw en appartementen zijn andere duurzame alternatieven interessanter dan warmtepompen.

Uit expertinterviews kwam naar voren dat in 2030 hybride warmtepompen met name in bestaande bouw (~10-25%) zal voorkomen en all-electric warmtepompen (~60-80%) in nieuwbouw. Voor all-electric warmtepompen zijn aanvullende maatregelen nodig die ingrijpender zijn voor de bestaande bouw.



Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Verhouding warmtepompen ten opzichte van andere decentrale flexbronnen

Hoe verhoudt een warmtepomp zich tot andere decentrale flexbronnen?

Er zijn verschillende decentrale assets die flexibiliteit kunnen bieden. Waardebronnen voor flexibiliteit vragen verschillende eigenschappen, zoals responstijd en capaciteit. Afhankelijk van deze eigenschappen zijn bepaalde assets meer of minder geschikt voor inzet op bepaalde waardebronnen.

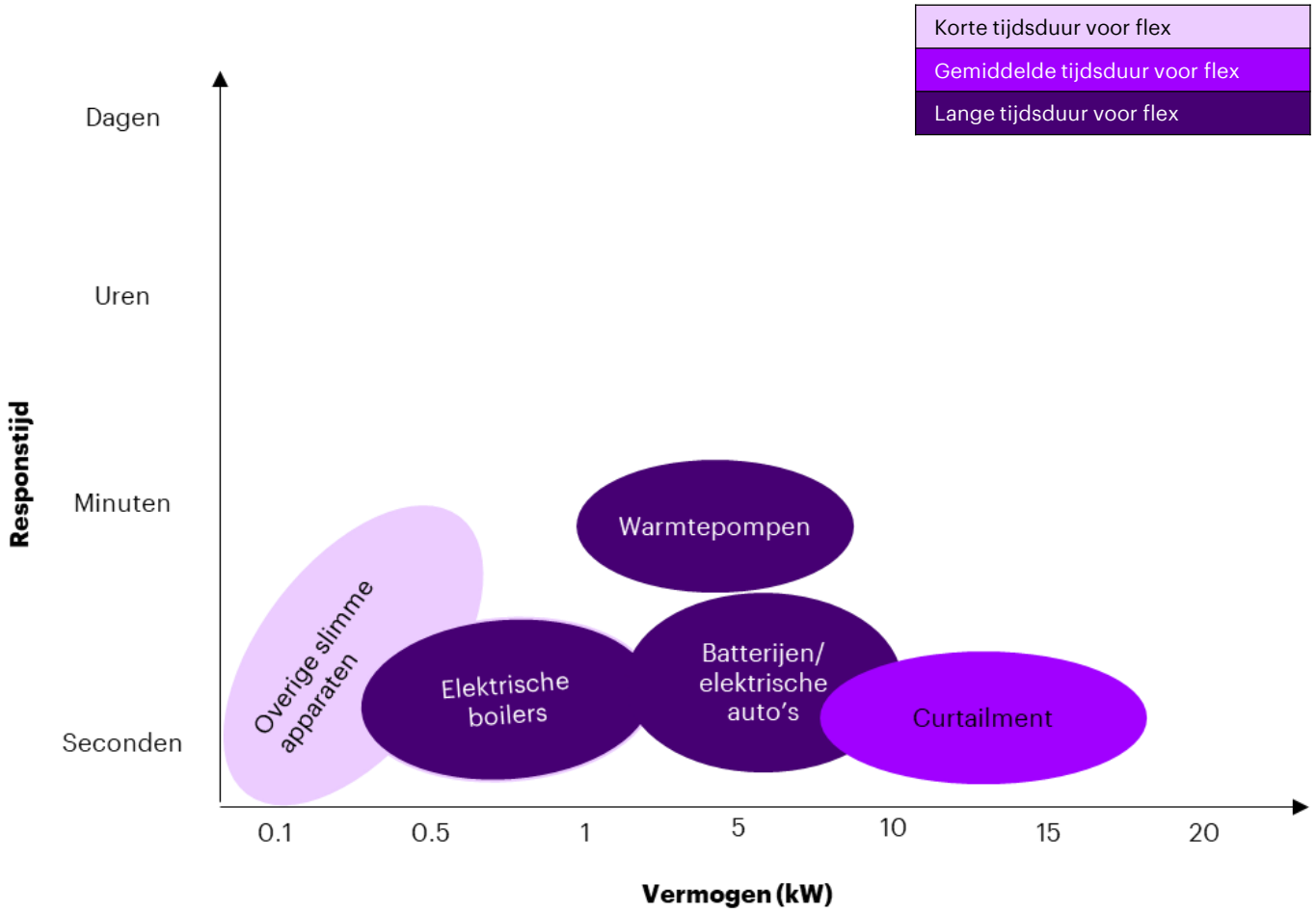
Zonnepanelen kunnen direct afgeschakeld worden op momenten dat er pieken op het elektriciteitsnet zijn. De energiecapaciteit van zonnepanelen in piekmomenten is het hoogst in vergelijking met andere flexbronnen en kan daardoor direct een groot verschil maken.

Batterijen en elektrische auto's hebben een snellere responstijd en meer energiecapaciteit beschikbaar dan warmtepompen.

Elektrische boilers hebben een snellere reactietijd dan warmtepompen, maar minder energiecapaciteit.

Tot slot zijn er nog overige slimme apparaten, bijvoorbeeld een slimme wasmachine of vaatwasser, die ook snel kunnen reageren maar een kleine energiecapaciteit hebben ten opzichte van warmtepompen.

Elektrische auto's en warmtepompen worden als meest kansrijke flexbronnen uit de gebouwde omgeving gezien.[4]



Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Pilots met warmtepompen en flexibiliteit

Smart & Grid Interactive Office Buildings
Onderzoek naar een zelflerend, autonoom sturend meet- en regelsysteem dat gericht is op het actief en realtime sturen van installaties voor het optimaliseren van energie efficiëntie en comfort in kantoorgebouwen.[16]

Encore
Project dat is gestart in januari 2019 om het gebruik van warmtepompen in de industrie te vergroten. [19]

Couperus Smart Grid
Onderzoek met 288 woningen naar hoeveel flexibiliteit gecreëerd kon worden met warmte-pompen waarbij het comfort van bewoners wordt behouden: inschakelen warmtepomp kon 6-8 uur uitgesteld worden (2015).[22]

Smart Energy Platform for Home Appliances
Project om het werkingsprincipe aan te tonen van de geaggregeerde aansturing van huishoudelijke assets, waaronder warmtepompen, voor het leveren van flexibiliteit in het elektriciteitsnet.[17]

Standard Grids Smart Homes
Driejarig onderzoek (2015-2018) naar een Home Energy Management Systeem (HEMS) voor huishoudens waardoor het net zo min mogelijk wordt belast. Een veldonderzoek met 16 huishoudens heeft plaatsgevonden. [20]

Unicorn
Onderzoek om de positie van lokale energiecoöperaties te versterken, met name de TU/e campus als zelfregulerend microgrid (2020). Focus ligt op het verbeteren van de monitoring.[23]

Loenen Energie
Energiecoöperatie om Loenen duurzaam te maken. Momenteel zijn 7 warmtepompen geïnstalleerd met een Smart Grid Ready Interface.[18]

Jouw Energie Moment
Pilot met 38 huishoudens in Breda waarbij warmtepomp slim aangestuurd werd om piekbelasting in het elektriciteitsnet te voorkomen (2014). [21]

Flex E-homes
Pilot met 50 flex e-homes met een additionele technische monitorings- en sturingsset-up waardoor het mogelijk wordt om het e-home beter te monitoren en te gaan sturen op diverse parameters waaronder het inzetten van warmtepompen op de flexmarkten.[24]

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Inzet warmtepompen – benodigde elektriciteit

Grootte huishouden		
	Grootte watervat	**Aardgasverbruik voor warm water**
-	150 L	150-190 m^3
-	200 L	190-230 m^3
>	300 L	230-270 m^3

Hoeveel elektriciteit heeft een warmtepomp nodig?
De hoeveelheid flexibiliteit die een warmtepomp beschikbaar heeft, is afhankelijk van het totale elektriciteitsverbruik van de warmtepomp. Het elektriciteitsverbruik wordt berekend aan de hand van de:

- Warmtebehoefte in huis;
- Warmwaterbehoefte; en
- Wekelijkse bacteriële desinfectie ten behoeve van het voorkomen van legionella.

De warmtebehoefte in huis wordt bepaald door het type woning. In dit onderzoek is onderscheid gemaakt tussen nieuwbouw en bestaande rijwoningen en vrijstaande woningen. Nieuwbouw woningen zijn voorzien van een all-electric warmtepomp en bestaande woningen met een hybride warmtepomp. De grootte van een huishouden bepaalt hoeveel warm water per dag nodig is. Voor all-electric warmtepompen in nieuwbouw huizen is dit uitgedrukt in de grootte van het watervat en voor hybride warmtepompen is dit uitgedrukt in het aardgasverbruik voor warm water. Bij warm watervaten moet wekelijks de temperatuur van het water verhoogd worden naar minstens 60°C om legionella te voorkomen.

In onderstaande tabel zijn de drie onderdelen samengevoegd om het totale elektriciteits-verbruik weer te geven per type woning (minimaal en maximaal). Bij hybride warmtepompen is onderscheid gemaakt tussen de verhouding aardgas en elektriciteit (20-80% of 33-67%). Bij all-electric warmtepompen is onderscheid gemaakt tussen monovalent en mono-energetisch voor het minimale en maximale elektriciteitsverbruik. Voor nieuwbouw woningen zijn drie opties van elektriciteitsverbruik weergeven afhankelijk van het grootte van het watervat. Sinds warm tapwater in bestaande huizen met hybride warmtepompen wordt voorzien door een HR CV-ketel is er een optie weergegeven.

		Elektriciteitsverbruik min (kWh/jaar)			Elektriciteitsverbruik max (kWh/jaar)		
Rijwoning	Nieuwbouw	1300	1350	1440	1800	1850	1940
	Bestaand	900			1080		
Vrijstaande woning	Nieuwbouw	2930	2980	3070	4140	4180	4280
	Bestaand	1940			2330		

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

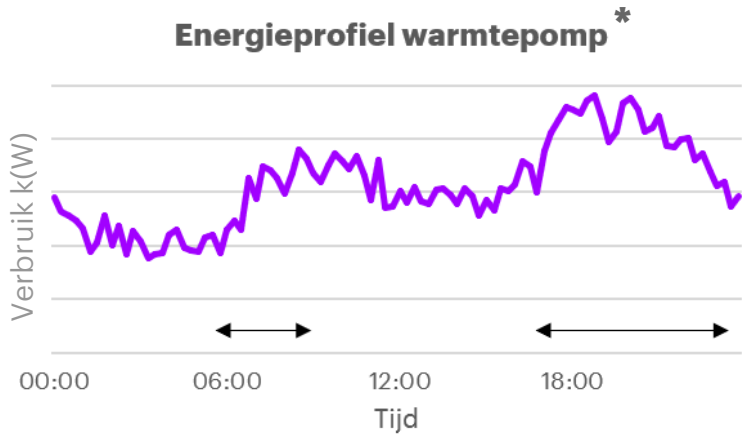
Inzet warmtepompen – afhankelijkheden flexibiliteit

Hoeveel flexibiliteit heeft een warmtepomp beschikbaar?
Het gedeelte dat van het totale elektriciteitsverbruik van een warmtepomp flexibel ingezet kan worden, hangt onder andere af van het:
1. Verbruiksprofiel van warmtepompen en mate dat dit beïnvloed kan worden;
2. Seizoen;

1. Het verbruiksprofiel van warmtepompen en mogelijkheid tot beïnvloeding
Uit de Installatiemotor van BDH blijkt dat 40% van het dagverbruik van warmtepompen plaatsvindt op piekmomenten (tussen 6:00-9:00 uur en 17:00-22:00 uur). Deze pieken vallen samen met de piekbelasting op het elektriciteitsnet. Afhankelijk van de mate van isolatie varieert het verbruiksprofiel. Hoe beter geïsoleerd een huis, hoe lager de pieken zullen zijn. Eveneens is het warmteverlies in een geïsoleerde woning lager, wat meer mogelijkheden biedt om het energieverbruik te verschuiven.

2. Het seizoen
Hoe kouder de buitentemperatuur, hoe meer draaiuren de warmtepomp zal maken. Het aantal graaddagen is bepaald per type woning om de hoeveelheid benodigde elektriciteit voor de warmtebehoefte in huis per seizoen in kaart te brengen. Hoe beter geïsoleerd de woning is, hoe lager de buitentemperatuur kan zijn voordat de warmtepomp aangaat. In de zomer is het aantal graaddagen nagenoeg 0 voor het verwarmen van het huis. Het inzetten van warmtepompen voor het koelen van het huis is in dit rapport niet meegenomen. In de tabel is de verhouding weergeven van het benodigde elektriciteitsverbruik in de winter en het tussenseizoen voor het verwarmen van het huis.

Om de daadwerkelijke hoeveelheid flexibiliteit te berekenen moet ook rekening worden gehouden met de verschillende opties voor flexibiliteit. Dit is op de volgende pagina toegelicht.



	Winter	Tussenseizoen
Rijwoning bestaand	82%	17%
Rijwoning nieuwbouw	61%	39%
Vrijstaande woning bestaand	79%	21%
Vrijstaande woning nieuwbouw	86%	14%

* Dit is op basis van het uitlezen van de slimme meter en daardoor vervuild met het verbruik van andere elektrische apparaten.

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Flexibiliteit – potentieel van een warmtepomp

Hoeveel flexibiliteit heeft een warmtepomp beschikbaar?
Er zijn twee opties om flexibiliteit te leveren met een warmtepomp:
1. Piekverschuiving of –reductie (A), en;
2. Op – en afregelen (B&C).

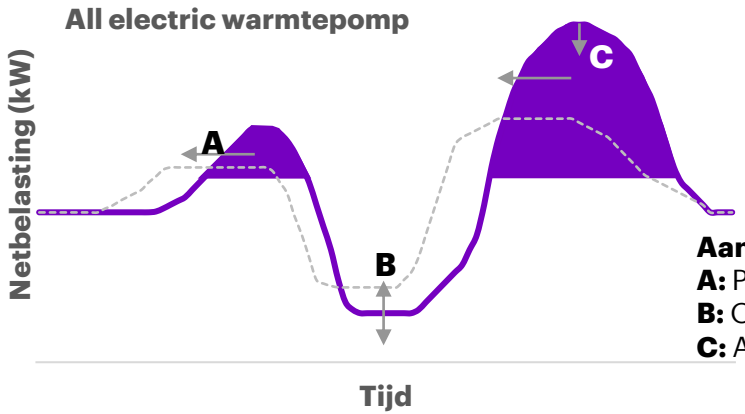
<u>Piekverschuiving of - reductie</u>

- Het netbelastingprofiel van een warmtepomp vertoont een kleine piek in de ochtend en een kleine piek in de middag. Deze zijn in de figuren rechts groter weergegeven ten behoeve van verduidelijking van het concept.
  All-electric warmtepompen in nieuwbouwwoningen kunnen de elektriciteitspieken verschuiven door het huis voor te verwarmen. Uit beschikbare profielen blijkt dat **40%** van het totale verbruik binnen de pieken valt.[5] Dit verbruik is niet volledig flexibel in te zetten: we nemen aan dat in de winter **40%** en in het tussenseizoen **60%** van de elektriciteitsvraag in piekmomenten flexibel is in te zetten.[6]
- We nemen aan dat piekverschuiving voor hybride warmtepompen geen optie is, omdat deze met name in bestaande bouw worden toegepast waar het warmteverlies groter is. Warmtepompen kunnen in de pieken wel volledig overschakelen op aardgas – we noemen dit piekreductie. Dit betekent dat een warmtepomp tijdens piekmomenten draait, oftewel elektriciteit verbruikt, en de elektriciteitsprijzen hoog zijn, dan schakelt de warmtepomp over naar aardgas. Er is rekening gehouden met de verhouding aardgas en elektriciteit die een hybride warmtepomp standaard heeft.

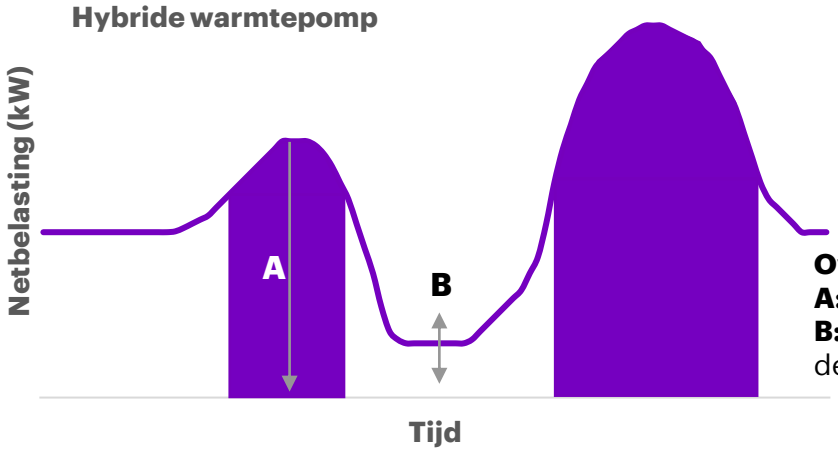
<u>Op- en afregelen</u>

Warmtepompen kunnen binnen comfort van de gebruiker spelen met de temperatuur van de ruimte en de warmwatervoorziening. Buiten de piekuren kan de temperatuur van de ruimte binnen comfort (ruimte 0,5°C en water 5°C) verhoogd en verlaagd worden. Binnen de piekuren kan de temperatuur alleen verlaagd worden. Er is aangenomen dat voor deze temperatuurvariatie 15% van het elektriciteitsverbruik ingezet kan worden.[6]

- All-electric warmtepompen kunnen op- en afregelen buiten de pieken én afregelen binnen de pieken.
- Hybride warmtepompen kunnen alleen op- en afregelen buiten de pieken, omdat binnen de piek al is overgeschakeld op aardgas. Hybride warmtepompen kunnen alleen de ruimtetemperatuur variëren. Warm water wordt altijd door de HR CV-ketel gedaan.



Aan- en uitschakelen elektriciteit
A: Piekverschuiving
B: Op- en afregelen buiten de piek
C: Afregelen binnen de piek



Overschakelen op aardgas
A: Piekreductie
B: Op- en afregelen buiten de piek

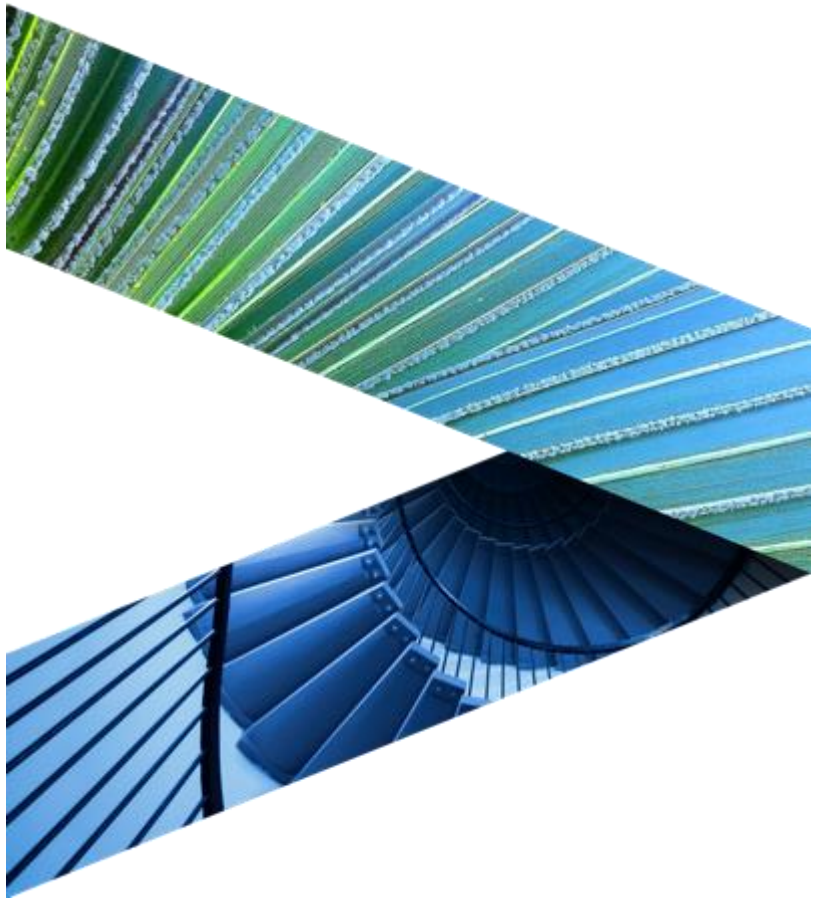
Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Inzet warmtepompen – beschikbare flexibiliteit

Hoeveel flexibiliteit heeft een warmtepomp beschikbaar?
In onderstaande tabel is het totaal aantal beschikbare kWh dat een warmtepomp per jaar in kan zetten voor flexibiliteit weergeven. De range beschikbare flexibiliteit bij hybride warmtepompen is afhankelijk van de verhouding aardgas/elektriciteit (20%/80% of 33%/67%). De range beschikbare flexibiliteit bij all-electric warmtepompen is afhankelijk van de werking – monovalent of mono-energetisch – en van de grootte van het watervat voor de sanitaire warmwatervoorziening.

		Type warmtepomp	A: Piekverschuiving/ piekreductie (kWh/jaar)	B: Opschakelen (kWh/jaar)	B+C: Afschakelen (kWh/jaar)
Beschikbare flexibiliteit door te spelen met de benodigde elektriciteit om aan de thermische warmtevraag te voldoen	Rijwoning bestaand	Hybride	Reductie: 360-430	55-65	55-65
	Rijwoning nieuwbouw	All-electric	Verschuiving: 220-320	100-150	170-250
	Vrijstaande woning bestaand	Hybride	Reductie: 770-930	120-140	120-140
	Vrijstaande woning nieuwbouw	All-electric	Verschuiving: 480-680	250-360	420-600
Beschikbare flexibiliteit door te spelen met de benodigde elektriciteit om de warmwatervoorziening en bacteriële desinfectie te voldoen	150 L watervat	All-electric	-	10	20
	200 L watervat	All-electric	-	15	30
	300 L watervat	All-electric	-	25	40

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.



Waardeketen

Ontsluiting van flexibiliteit met warmtepompen Waarom?

STANDAARDISATIE

FAN en TKI Urban Energy pleiten voor het gebruik van open standaarden/protocollen voor flexibele aansturing van warmtepompen en andere apparaten, zoals elektrische auto's en zonnepanelen. Hierdoor ontstaat interoperabiliteit en kunnen verschillende types en merken warmtepompen en andere 'slimme' apparaten eenvoudig op elkaar afgestemd worden en flexibiliteit bieden. Interoperabiliteit zorgt ervoor dat huishoudens kunnen wisselen tussen partijen die flexibiliteitsdiensten aanbieden waardoor een lock-in wordt voorkomen. Standaarden dragen op deze manier bij aan schaalvergroting en herbruikbaarheid van protocollen.[7]

De verwachting is dat het aantal warmtepompen de komende jaren flink zal toenemen en daarmee de elektriciteitsvraag om te voldoen aan de warmtevoorziening van huishoudens. Door warmtepompen flexibel in te zetten kan het elektriciteitsverbruik van warmtepompen beter afgestemd worden op het elektriciteitsaanbod dat steeds meer volatiliteit krijgt. Sinds 2019 moeten warmtepompen verbonden zijn met het internet, direct of via een slimme thermostaat.[3] Echter is dit nog niet geïntegreerd om warmtepompen slim te besturen waardoor optimale afstemming van de energiehuishouding niet mogelijk is.
In dit rapport zijn de verschillende opties voor het ontsluiten van flexibiliteit en connectiviteitstechnologieën in kaart gebracht.

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

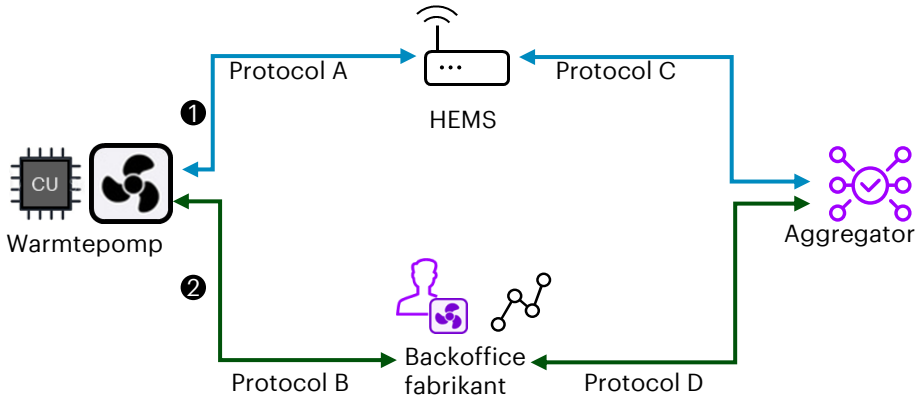
Ontsluiting van flexibiliteit met warmtepompen

Opties om flexibiliteit te ontsluiten
Voor de ontsluiting van flexibiliteit moeten warmtepompen verbonden zijn, zodat ze aangestuurd kunnen worden om op- of af te schakelen. Hiervoor is informatie vanuit een aggregator nodig om te weten welke prijsprikkels er zijn.

Er zijn twee routes waarop flexibiliteit met warmtepompen ontsloten kan worden. Het is gewenst om deze flexibiliteitsopties met een protocol te doen, zodat de verbinding gestandaardiseerd is.

1. Een Home Energy Management Systeem (HEMS) of slimme thermostaat stuurt de control unit van de warmtepomp aan op basis van feedback vanuit de warmtepomp. De HEMS of slimme thermostaat is ook verbonden met de aggregator om de juiste prijsprikkels te ontvangen. Protocol A is weergegeven om de verbinding tussen de warmtepomp en HEMS te standaardiseren en protocol C voor de verbinding tussen de HEMS en aggregator. Via deze route is integraal energiemanagement van de gehele woning mogelijk waarbij naast warmtepompen ook andere apparaten flexibel aangestuurd kunnen worden.
2. Een verbinding tussen de warmtepomp en backoffice van de fabrikant zorgt dat de warmtepomp aangestuurd kan worden. De backoffice van de fabrikant staat vervolgens in verbinding met een aggregator. Protocol B geeft de gestandaardiseerde verbinding weer tussen warmtepomp en backoffice fabrikant en protocol C tussen de backoffice en aggregator.

Op de volgende pagina zijn beide opties verder toegelicht. In beide opties worden warmtepompen niet direct aangestuurd door bijvoorbeeld een aggregator of netbeheerder, maar wordt er bemiddeld door een HEMS of backoffice van een fabrikant.



Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Flexibiliteitsopties warmtepompen

Optie 1: Warmtepomp <> Home Energy Management Systeem <> Leverancier/aggregator
Er zijn verschillende mogelijkheden, maar de meest bekende manier om flexibiliteit te ontsluiten is via de Smart Grid Ready (SGR) interface. Dit is een relatief eenvoudige interface waarmee de compressor van de warmtepomp aan- en uitgeschakeld kan worden. De SGR interface is een fysiek component met beperkte flexibiliteitsopties en daardoor een tijdelijke optie. Een Resource Manager is nodig om de acties van de SGR interface om te zetten in berichten die een HEMS kan begrijpen. De implicaties van SGRI vertaalt een Resource Manager in generieke S2 berichten voor de HEMS.[8] Er zijn verschillende mogelijkheden voor de positionering van de Resource Manager:

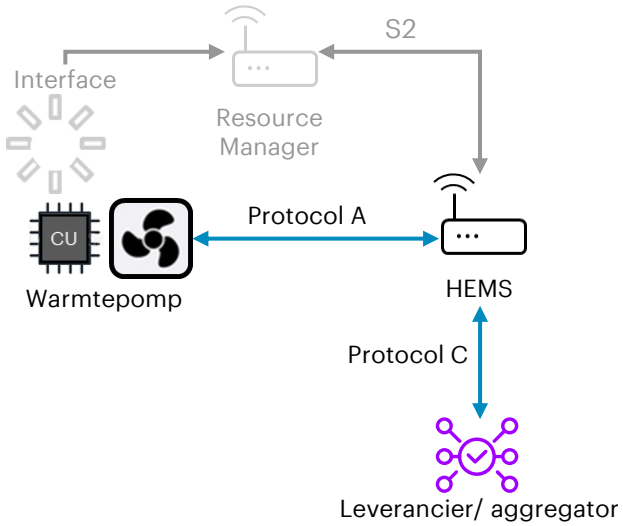
1. Resource Manager is onderdeel van HEMS;
2. Resource Manager is onderdeel van warmtepomp;
3. Resource Manager is losstaand component tussen HEMS en warmtepomp; en
4. Resource Manager is in de cloud.

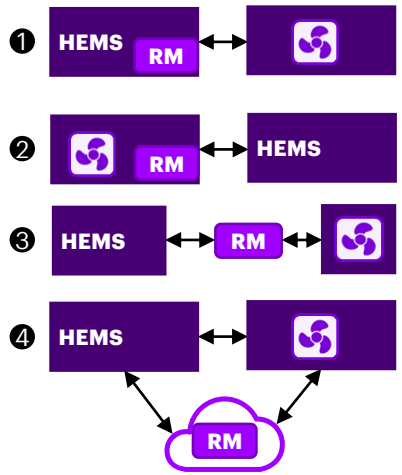
Momenteel is de Resource Manager een losstaand component, maar de verwachting is dat dit in de warmtepomp of HEMS opgenomen wordt om het aantal componenten te reduceren en zo de businesscase te verbeteren.[7] Ontsluiting van flexibiliteit met warmtepompen via optie 1 kan versneld worden wanneer huishoudens beschikken over meerdere slimme apparaten die flexibiliteit kunnen bieden en een significante verandering in de tariefstructuur.

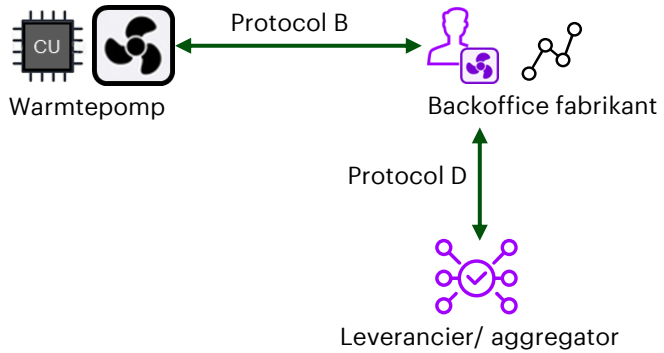
Optie 2: Warmtepomp <> Backoffice fabrikant <> Leverancier/ aggregator
Op de korte termijn zal voornamelijk flexibiliteit ontsloten worden via optie 2, omdat protocol B al bestaat. Daarnaast vindt de ontsluiting van flexibiliteit van elektrisch vervoer op een vergelijkbare manier plaats.
Er zijn drie varianten voor het leveren van flexdiensten via deze route:

1. Installateur installeert alleen en service loopt via backoffice van fabrikant;
2. Installateur installeert en levert service door gebruik te maken van backoffice fabrikant; en
3. Installateur installeert en levert service vanuit eigen platform dat verbinding maakt met warmtepomp van fabrikant.

De verwachting is dat varianten 1 en 2 het meest voorkomen op de korte termijn omdat backoffice van de fabrikant er momenteel al is.

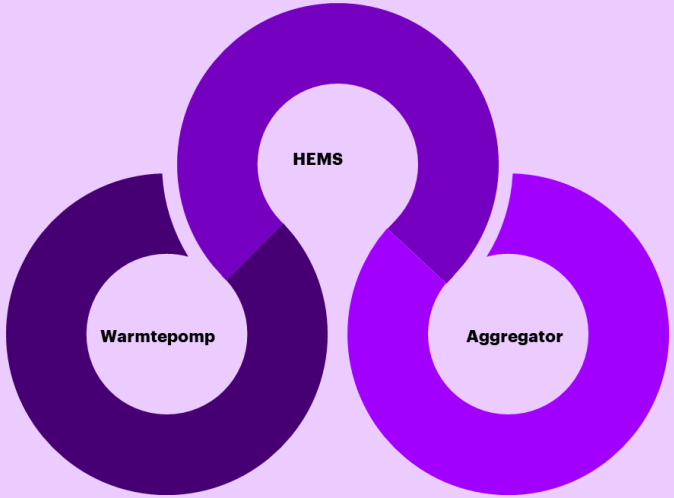






Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Optie 1



Voordelen optie 1

- Optimale afstemming mogelijk want HEMS heeft totaal overzicht van verbruik, weet de mogelijkheden voor flexibiliteit van de apparaten in huis en de incentives om te optimaliseren.
- Groei van slimme thermostaten in de woningmarkt, die zich mogelijk ontwikkelt tot HEMS.

Nadelen optie 1

- Fabrikant heeft geen grip hoe warmtepomp wordt ingezet voor flexibiliteit.
- Additionele fysieke componenten nodig om flexibiliteit via optie 1 te ontsluiten.
- Significante verandering van tariefstructuur nodig om optie 1 te versnellen.
- Uitdaging om protocol A te standaardiseren door versnipperde markt en concurrentiepositie bedrijven.

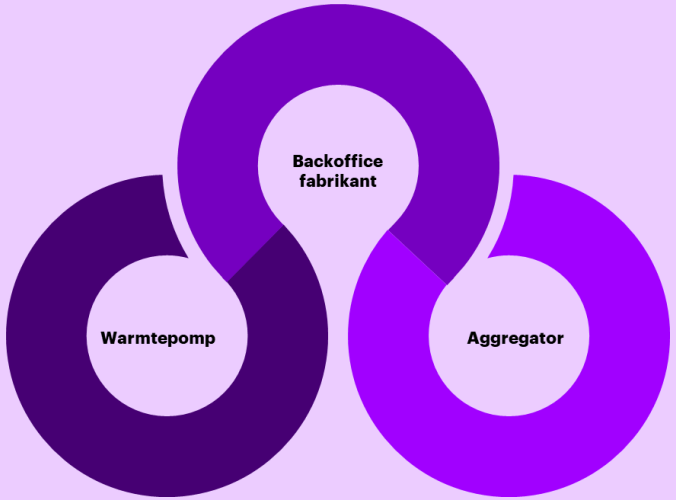
Voordelen optie 2

- Fabrikant houdt grip op levensduur van warmtepomp.
- Dataverbinding/connectie tussen warmtepomp en backoffice fabrikant bestaat al om onderhoudskosten te verlagen.
- EV en warmtepompen zullen de grootste flexibiliteit leveren voor huishoudens. Bij elektrisch vervoer wordt flexibiliteit op een vergelijkbare manier ontsloten.
- Mogelijkheid voor fabrikanten om een Virtual Power Plant op te zetten.

Nadelen optie 2

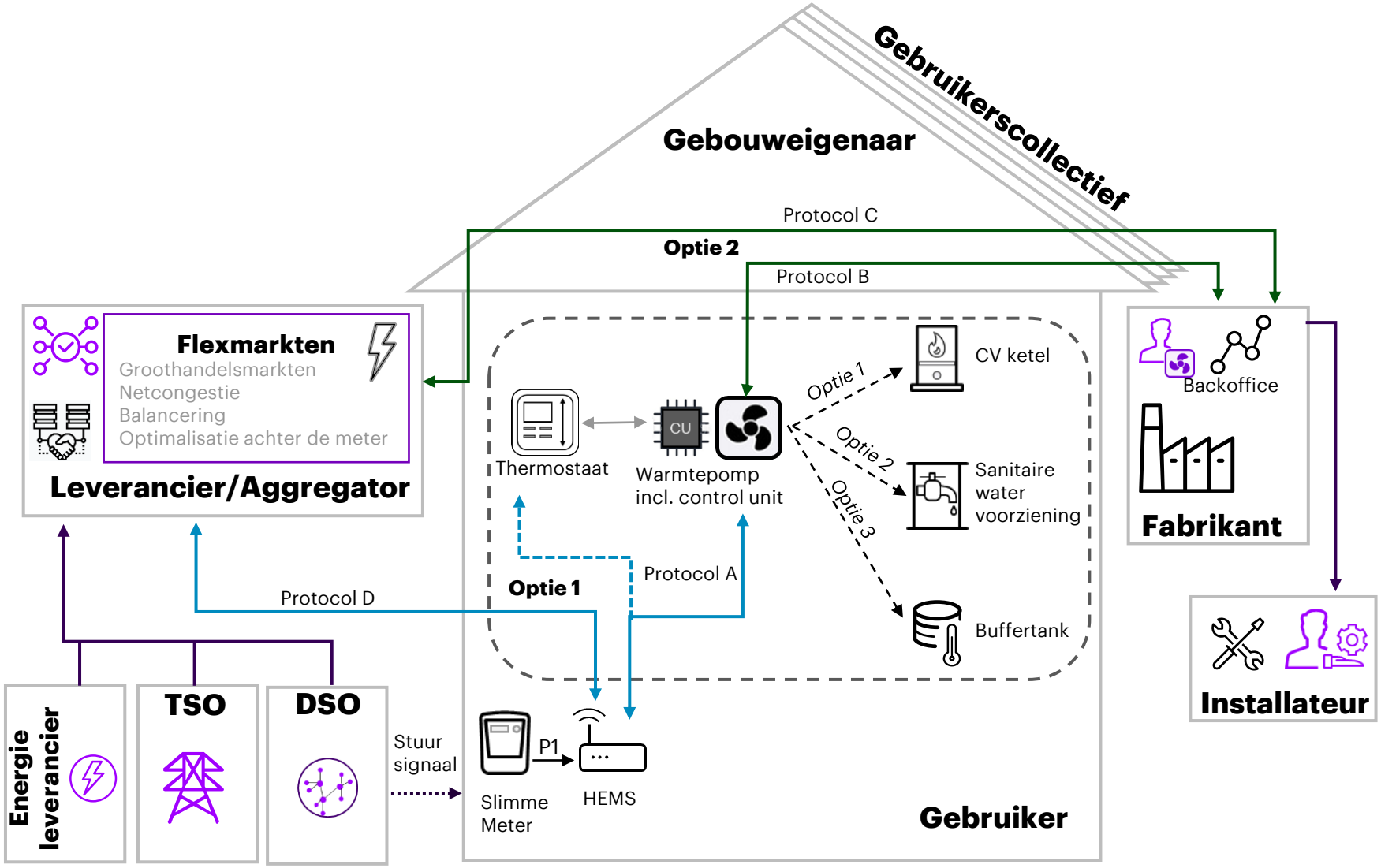
- Integrale aansturing van verschillende apparaten in huis niet mogelijk.
- Optie 2 belemmert optie 1.
- Wisselende verwachtingen tussen fabrikanten om backoffice en communicatie met aggregator voor flexibiliteit te verzorgen.
- Lastig om netcongestie en optimalisatie eigen verbruik te regelen.

Optie 2



Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Ontsluiting van flexibiliteit met warmtepompen

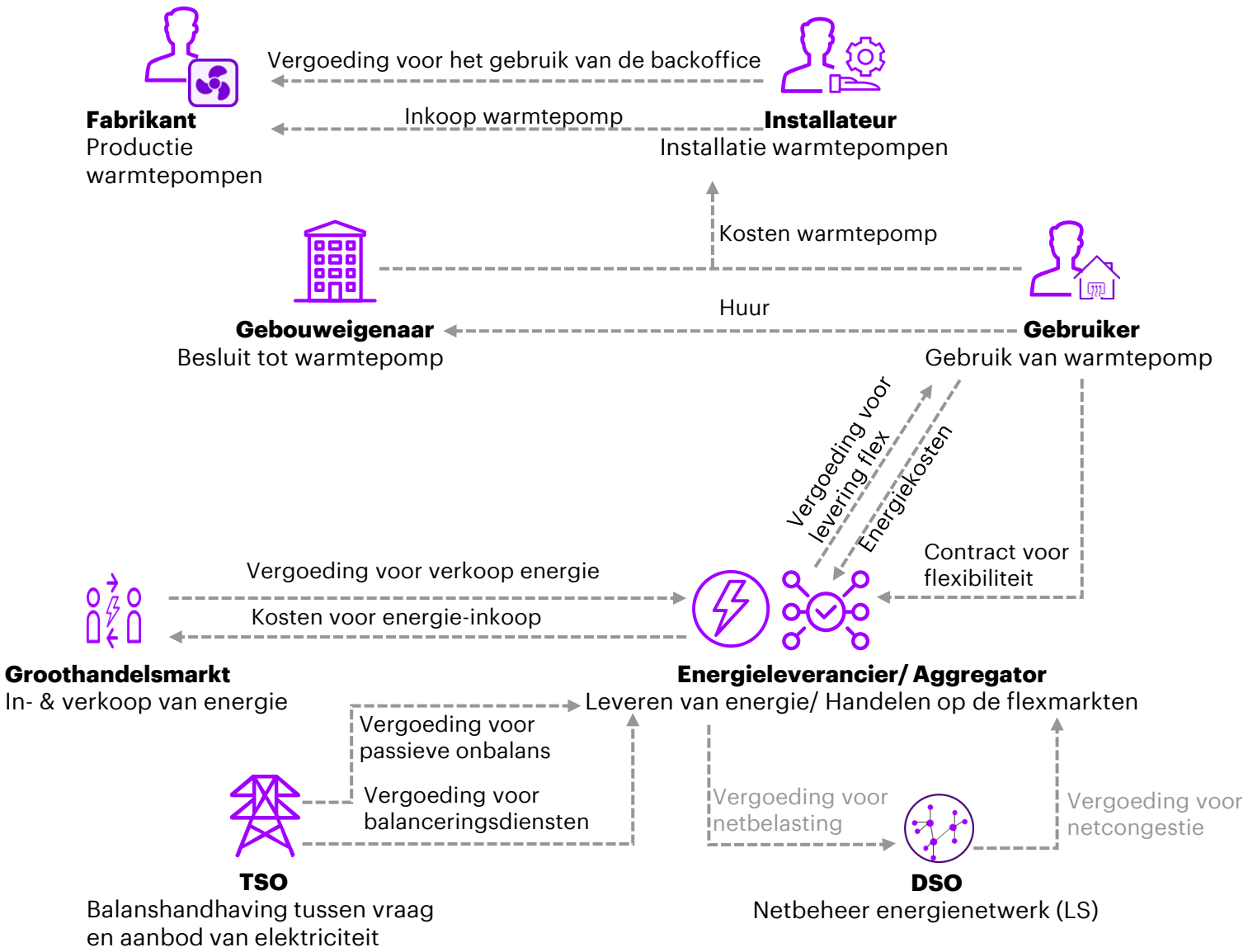


- Voor een particulier is het lastig om zelf de flexibiliteit aan te bieden op de verschillende flexmarkten en is het capaciteit te laag. Daarom is een energieleverancier/aggregator nodig om een **collectief** van flexibiliteit te optimaliseren op de verschillende flexmarkten.
- Verschillende opties zijn mogelijk voor warmtepompen:
  - Optie 1: hybride warmtepomp (met CV ketel)
  - Optie 2: All-electric warmtepomp met boiler voor sanitaire watervoorziening.
  - Optie 3: All-electric warmtepomp met buffertank voor uitbreiding van het CV circuit.

  Gebruikers sturen via de **thermostaat** de warmtepomp aan.
- **Installateurs** gebruiken de backoffice van fabrikanten voor **serviceverlening** rondom beheer en onderhoud (white-label). De backoffice van **fabrikante**n kunnen warmtepompen aansturen, net zoals gebeurt bij laadpalen van elektrisch vervoer.
- **Energieleveranciers**, **TSO** en **DSO's** geven signalen aan **aggregators** om het energieverbruik te verhogen of verlagen.
- In de toekomst hebben DSO's mogelijk verschillende directe **stuursignaalopties** om netcongestie te voorkomen:
  - Zacht stuursignaal met variabel transporttarief;
  - Hard stuursignaal (noodingreep) wanneer marktwerking netcongestie niet kan voorkomen

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Financiële waardeketen

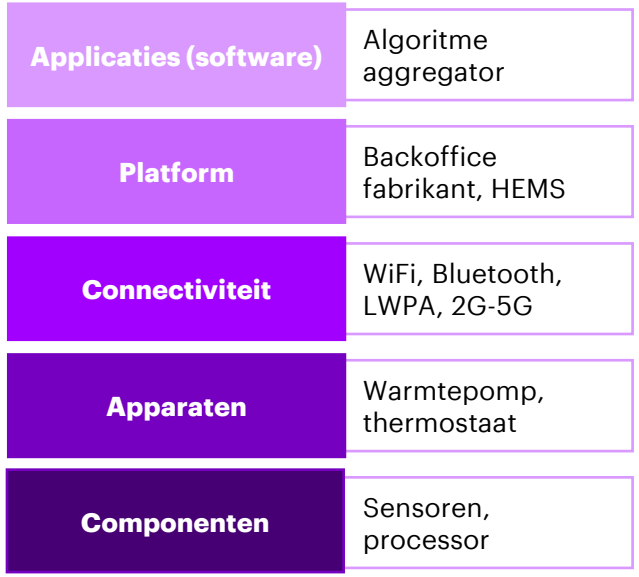


- Een **fabrikant** produceert warmtepompen.
- Een **installateur** koopt warmtepompen in en installeert dit bij **gebouweigenaren**. Data vanuit de backoffice van de fabrikant wordt gebruikt voor service rondom beheer en onderhoud.
- Een **gebruiker** betaalt energiekosten aan zijn energieleverancier, waar de aansluit-kosten van zijn **DSO** in verrekend zijn.
- Een **energieleverancier** of **aggregator** vervult een financiële sleutelrol in de waardeketen. Deze partij ontvangt vergoedingen vanuit de **TSO** en mogelijk in de toekomst een vergoeding voor netcongestie van DSO's als apparatuur, zoals warmtepompen, slim worden ingezet. Dit kan via vergoeding voor flexibiliteit doorberekend worden aan de gebruiker.
- Het is mogelijk dat een **aggregator** en leverancier twee aparte partijen zijn. De aggregator ontvangt dan een vergoeding van de leverancier om flexibiliteit optimaal in te zetten op de verschillende flexmarkten. Het is ook mogelijk dat een aggregator direct een contract aangaat met de gebruiker.
- Tussen de **handelplatforms** en de energie-leverancier/aggregator lopen geldstromen voor de in- en verkoop van energie.
- Een gedifferentieerd transporttarief en vergoeding voor netcongestie is er nu nog niet, maar verwachting is dat richting 2030 dit wel van toepassing is.

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Connectiviteit

Voor het ontsluiten van flexibiliteit zijn er verschillende hoofdonderdelen nodig: componenten, apparaten, connectiviteit, platform en applicaties. We focussen ons specifiek op de connectiviteit.Voor het ontsluiten van flexibiliteit moeten warmtepompen verbonden zijn met de backoffice of HEMS om informatie uit te wisselen van de warmtepomp en flexmarkten. Er zijn veel verschillende opties om deze connectiviteit mogelijk te maken. Het selecteren van de juiste connectiviteitstechnologie kan invloed hebben op het succes voor het ontsluiten van flexibiliteit met warmtepompen. Op de korte termijn kan een bepaalde keuze leiden tot hogere kosten of matige resultaten en op de lange termijn de schaalbaarheid belemmeren als het aantal apparaten toeneemt of onvoldoende toekomstbestendig zijn om de lange levenscycli van warmtepompen te ondersteunen. Om de meest geschikte connectiviteitstechnologie te bepalen moet rekening gehouden worden met verschillende vereisten. De onderstreepte criteria zijn meegenomen om de geschikte opties voor connectiviteit in de gebouwde omgeving te bepalen.



Hoofdonderdelen voor het ontsluiten van flexibiliteit met warmtepompen.

Technisch	Commercieel	Ecosysteem
• **Dekking** (binnen en buiten) bepaalt waar apparaten kunnen worden ingezet en aangesloten • **Energie-efficiëntie** heeft invloed op de levensduur van de batterij en de onderhoudscyclus • **Gegevenssnelheid** beperkt welke services geleverd kunnen worden • **Mobiliteit** betreft de mate waarin bewegingen over grotere gebieden kunnen worden opgevangen • **Positionering** is het vermogen van een technologie om nauwkeurig de positie van een aangesloten apparaat te bepalen • **Latentie** betreft vertraging in overdracht en bepaalt daarmee of tijdgevoelige services kunnen worden geleverd • **Apparaatdichtheid** geeft het aantal apparaten aan dat het network binnen een bepaald gebied kan verwerken	• **TCO (totale eigendomskosten)** bepalen economische haalbaarheid van de implementatie en exploitatie van het apparaat • **Betrouwbaarheid** zorgt ervoor dat er met een zekere mate van garantie een continue verbinding met het apparaat kan worden gemaakt • **Beveiliging** beschermt de privacy en integriteit van de gebruikers • **Schaalbaarheid** bepaalt de flexibiliteit voor groei van het aantal verbonden apparaten	• **Toekomstbestendigheid** zorgt ervoor dat de strategische investering in IoT op de lange termijn economisch en technologisch duurzaam is • **Wereldwijd bereik en interoperabiliteit** brengen eenvoud en efficiëntie bij internationale IoT implementaties

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Opties connectiviteitstechnologieën

MOBIELE DATA (TRADITIONEEL)

Vorm van mobiel internet voor breed gebiedsnetwerk. Deze technologieën zijn oorspronkelijk ontworpen voor zakelijke spraak- en datadiensten.

Deze technologieën gaan ‘over de top’, oftewel buiten het klantnetwerk om.

2G, 3G, 4G en 5G

LOKAAL GEBIEDSNETWERK (LAN) OP KORTE AFSTAND

Een netwerk dat apparaten in een lokaal, beperkt gebied met elkaar verbindt zodat ze met elkaar kunnen communiceren

Het klantnetwerk kan gebruikt worden.

WiFi, ZigBee en Bluetooth

LAAG VERMOGEN BREED GEBIED (LPWA)

Deze technologieën hebben een laag vermogen en breed bereik waarbij er twee categorieën zijn: 1) eigen LPWA die werken op spectrum zonder vergunning; 2) Mobiele LPWA die opereren op gelicentieerd spectrum.

Deze technologieën gaan ‘over de top’, oftewel buiten het klantnetwerk om.

Eigen LPWA: Sigfox en LoRa
Mobiele LPWA: NB-IoT en LTE-M

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

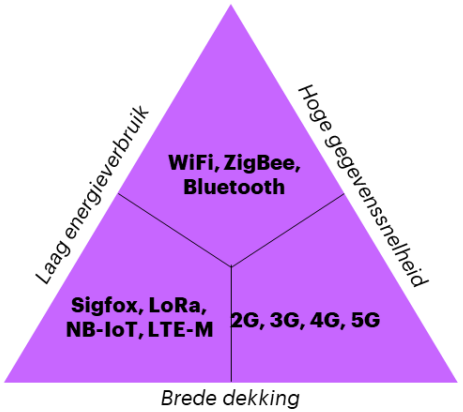
Opties connectiviteit in de gebouwde omgeving

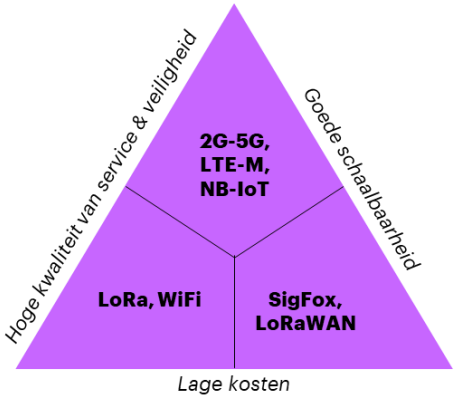
Karakteristieken communicatie warmtepomp
Een connectiviteitstechnologie faciliteert de communicatie tussen een warmtepomp en HEMS of backoffice van de fabrikant. Deze communicatie heeft een aantal karakteristieken, wat meegenomen moet worden met de keuze welke connectiviteitstechnologie geschikt is:

- Het gaat om kleine pakketjes data die uitgewisseld worden;
- Een warmtepomp kan niet continu aan- en afgeschakeld worden, waardoor er gedurende de dag regelmatig informatie uitgewisseld wordt, maar niet doorgaand
- Het is niet wettelijk vastgelegd waar de binnenopstelling van warmtepompen moet staan. Een warmtepomp kan bijvoorbeeld in de kelder of op zolder staan. Ook op deze plekken moet de warmtepomp verbinding kunnen maken met het internet;
- Het is gewenst dat een warmtepomp over het algemeen verbonden is, echter heeft dit geen kritieke impact als dit een keer niet het geval is. Er kan dan even geen flexibiliteit ontsloten worden. De baten door warmtepompen in te zetten op flexmarkten is momenteel beperkt waardoor de kosten voor connectiviteit zo de voorkeur uitgaat om kosten voor connectiviteit zo veel mogelijk te beperken.
- Warmtepompen gemiddeld 15-20 jaar mee, dit betekent dat een connectiviteitstechnologie ook deze levensduur moet hebben om onnodige tussetijdse aanpassingskosten te voorkomen.

Afwegingen connectiviteit warmtepomp
Er zijn veel verschillende opties voor connectiviteit in de gebouwde omgeving. Om een keuze te maken welke optie geschikt is voor warmtepompen moeten nog een aantal andere afwegingen meegenomen worden. Er moet bijvoorbeeld een keuze gemaakt worden of het gewenst is om het netwerk van het huishouden te gebruiken voor het inregelen van de connectiviteit van warmtepompen of dat dit buiten het klantnetwerk om wordt gedaan, oftewel ‘over de top’. De korte afstand LAN opties (WiFi, ZigBee en Bluetooth) gaan over het klantnetwerk, terwijl de andere connectiviteitsopties over de top gaan. Daarnaast moet de connectiviteitsoptie beschikbaar zijn in het desbetreffende gebied waar de warmtepomp staat. Het benodigde kennisvniveau om de connectiviteit te ontsluiten is ook belangrijk om mee te nemen. Wanneer men al gewend is aan een bepaalde connectiviteitsoptie en de implementatie van de connectiviteit eenvoudig is - ‘plug and play’ – zodat hier geen extra kosten voor nodig zijn. Wanneer hiervoor een gespecialiseerde monteur moet langskomen, nemen de kosten snel toe.

Karakteristieken connectiviteitstechnologieën
Afhankelijk van de categorie van de connectiviteitsopties zijn er verschillende karakteristieken. LPWA (Sigfox, LoRa, NB-IoT en LTE-M) heeft een laag energieverbruik en brede dekking, maar is de gegevenssnelheid lager. Korte afstandsopties (WiFi, ZigBee, Bluetooth) hebben juist een hoge gegevenssnelheid en laag energieverbruik, maar een beperkte dekking buitenshuis. Mobiele netwerken (2G-5G, LTE-M en NB-IoT) zijn goed schaalbaar, hebben een hoge kwaliteit van service en veiligheid, en een brede dekking, maar zijn de kosten hoger. Specifiek bij de traditionele mobiele netwerken (2G-5G) is de gegevenssnelheid hoog, maar daarbij ook het energieverbruik. Ondanks dat privé netwerken (LoRa, WiFi) of openbaar netwerken (SigFox, LoRaWAN) lage kosten hebben, verschillen ze in de kwaliteit van service & veiligheid en de mate van schaalbaarheid.





Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Eigenschappen connectiviteitstechnologieën

	Mobiele data				Short range			Mobiele LPWA		Eigen LPWA	
	2G	3G	4G	5G	WiFi	ZigBee	Bluetooth	LTE-M	NB-IoT	Sigfox	LoRa
Dekking: radiobereik apparaat buitenshuis											
Dekking binnenshuis											
Energie-efficiëntie											
Gegevenssnelheid: upload											
Gegevenssnelheid: download											
TCO: module kosten											
TCO: abonnementskosten	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja/Nee
TCO: implementatie- en onderhoudskosten											
Betrouwbaarheid											
Veiligheid											
Toekomstbestendigheid											

Geschikt
Gemiddeld
Ongeschikt

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Geschikte connectiviteitsopties warmtepompen

Mobiele data (traditioneel)
Binnen deze categorie is 5G het meest geschikt.

Korte afstandsopties (LAN)
Binnen deze categorie is WiFi het meest geschikt.

Mobiele LPWA
Binnen deze categorie is LTE-M het meest geschikt.

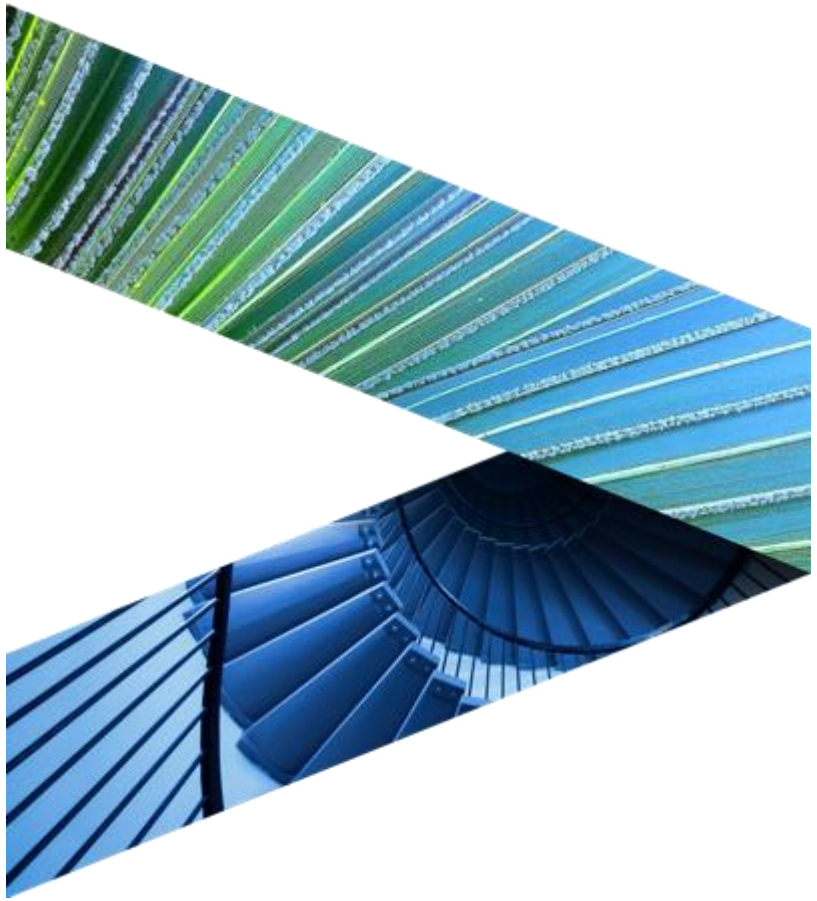
Eigen LPWA
Binnen deze categorie is LoRA het meest geschikt.

Geschikte connectiviteitsopties om warmtepompen flexibel in te zetten
Per hoofdcategorie van connectiviteitstechnologieën is de meest geschikte optie in kaart gebracht voor warmtepompen. Afhankelijk van de wensen van klanten zullen fabrikanten een keuze maken welke connectiviteitsoptie hun warmtepompen zullen ondersteunen.

De opties 5G en LTE-M scoren erg goed op dekking, betrouwbaarheid, veiligheid en toekomstbestendigheid, maar minder op kosten doordat er meerkosten zijn voor de mobiele verbinding. Dit komt de businesscase van flexibiliteit met warmtepompen niet ten goede. WiFi en LoRa scoren beter op kosten, maar minder op betrouwbaarheid, gegevenssnelheid en toekomstbestendigheid. Huishoudens zijn gewend aan WiFi wat de acceptatie makkelijker maakt, terwijl dit bij 5G juist meer in de kinderschoenen staat. Een andere mogelijkheid is om de bestaande infrastructuur van WiFi te gebruiken waarbij telecomproviders een bandbreedte reserveren en beschikbaar stellen voor flexibiliteit waardoor afhankelijkheden in het veranderen van wachtwoorden en resetten router niet voor beperkingen zorgen.

Momenteel is te zien dat fabrikanten verschillende opties doorvoeren omdat het nog onzeker is welke optie uiteindelijk de voorkeur krijgt. Door de verschillende afwegingen zijn er meer geschikte opties voor connectiviteit, waarbij uiteindelijk steeds meer gefocust zal worden op een beperkt aantal opties voor connectiviteit met warmtepompen. Hierbij kunnen de connectiviteitopties van andere apparaten in huis invloed hebben welke optie uiteindelijk voor warmtepompen het meest gebruikt zal worden.

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.



Businesscase Baten

Baten voor flexibiliteit met warmtepompen Waardebronnen

DE WAARDE VAN FLEXIBILITEIT

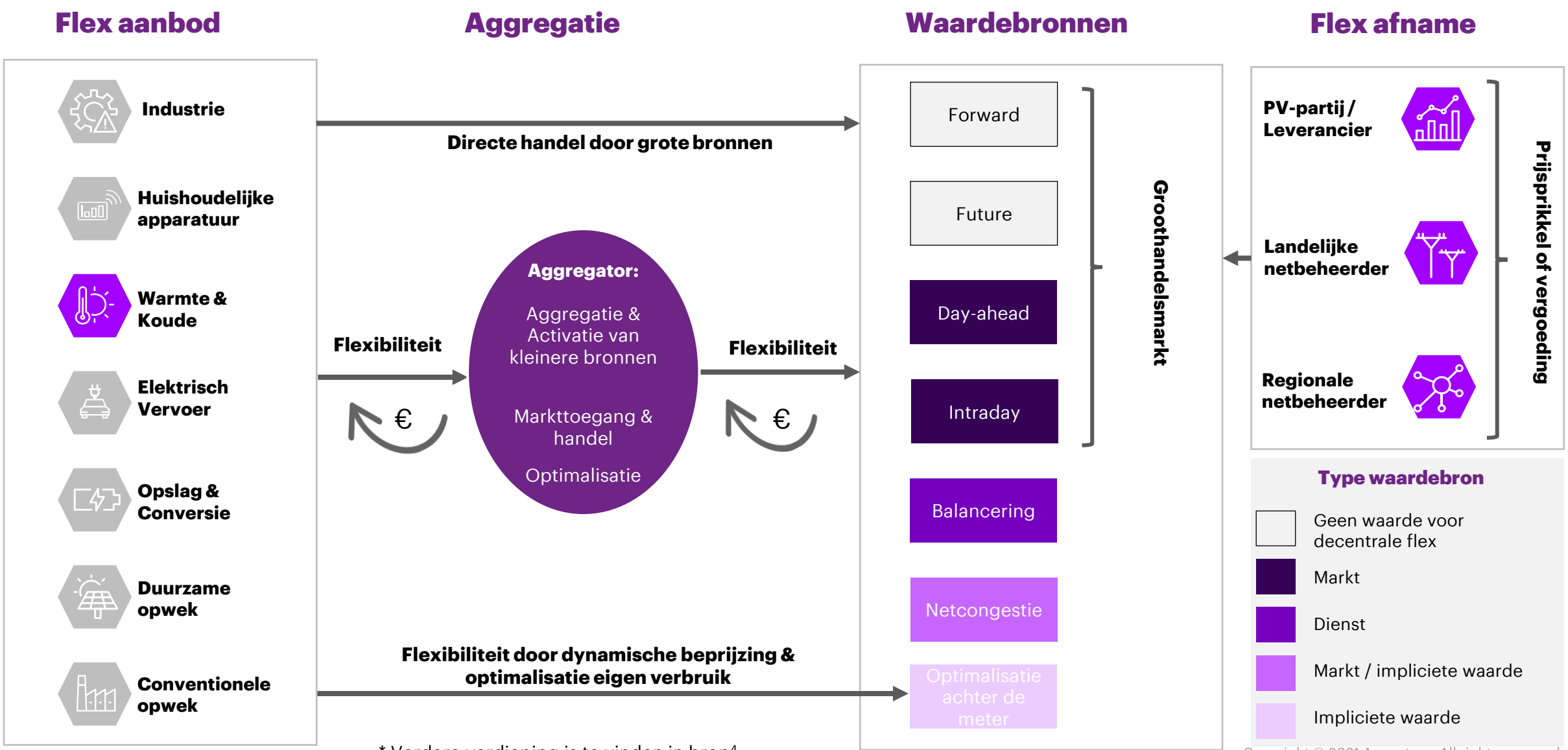
Flexibiliteit in de energiemarkt verwijst naar de mogelijkheid van een energiesysteem om te reageren op veranderingen in vraag naar en opwek van elektriciteit. Flexibiliteit heeft waarde om twee redenen: vraag en aanbod van elektriciteit moeten op elk moment in de tijd aan elkaar gelijk zijn en het elektriciteitsnet heeft een eindige transportcapaciteit. Bovendien kan flexibiliteit voor gebruikers ingezet worden via optimalisatie achter de meter.

Er zijn verschillende partijen in de markt die de nadelige effecten van te weinig flexibiliteit zullen merken. Een programmaverantwoordelijke is verantwoordelijk voor de balans in haar eigen portfolio. De landelijke netbeheerder is verantwoordelijk voor balanshandhaving op systeemniveau. Tot slot beheren landelijke en lokale netbeheerders assets met een beperkte transportcapaciteit: flexibiliteit kan een oplossing bieden totdat de bestaande assets verzwaard worden.

Op basis van deze behoeften wordt een vergoeding of prijsprikkel geboden voor het leveren van flexibiliteit. In dit hoofdstuk wordt uiteengezet op welke waardebronnen – in de vorm van vergoedingen of prijsprikkels – een warmtepomp kan worden ingezet. Voor elk van de waardebronnen wordt een inschatting gegeven van de ordegroote van de waarde van flexibiliteit per warmtepomp per jaar.

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Waardebronnen voor flexibiliteit (I)

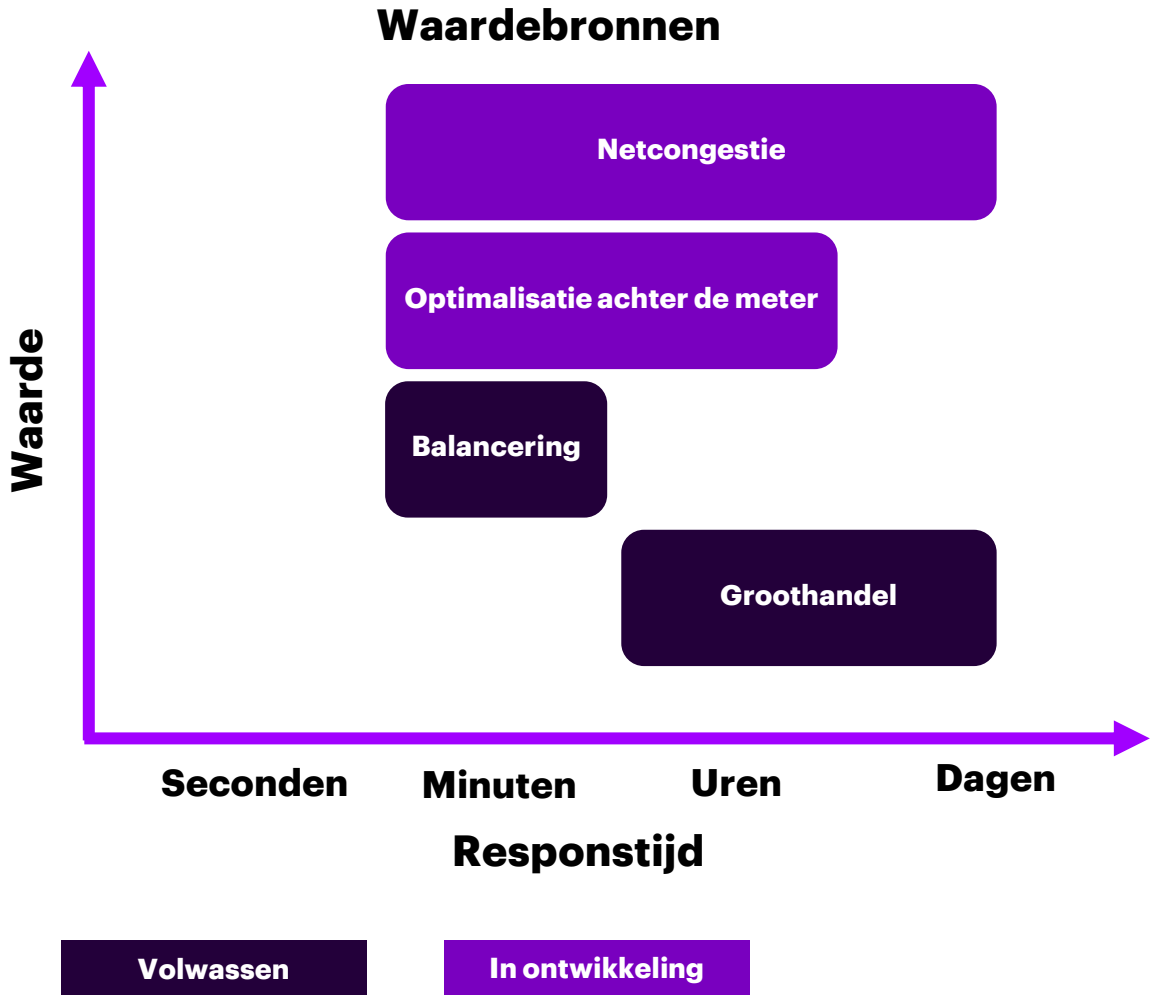


* Verdere verdieping is te vinden in bron[4]

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Waardebronnen voor flexibiliteit (II)

De flexibiliteit die met warmtepompen geleverd kan worden kan op verschillende waardebronnen worden ingezet.



Waardebronnen voor flexibiliteit

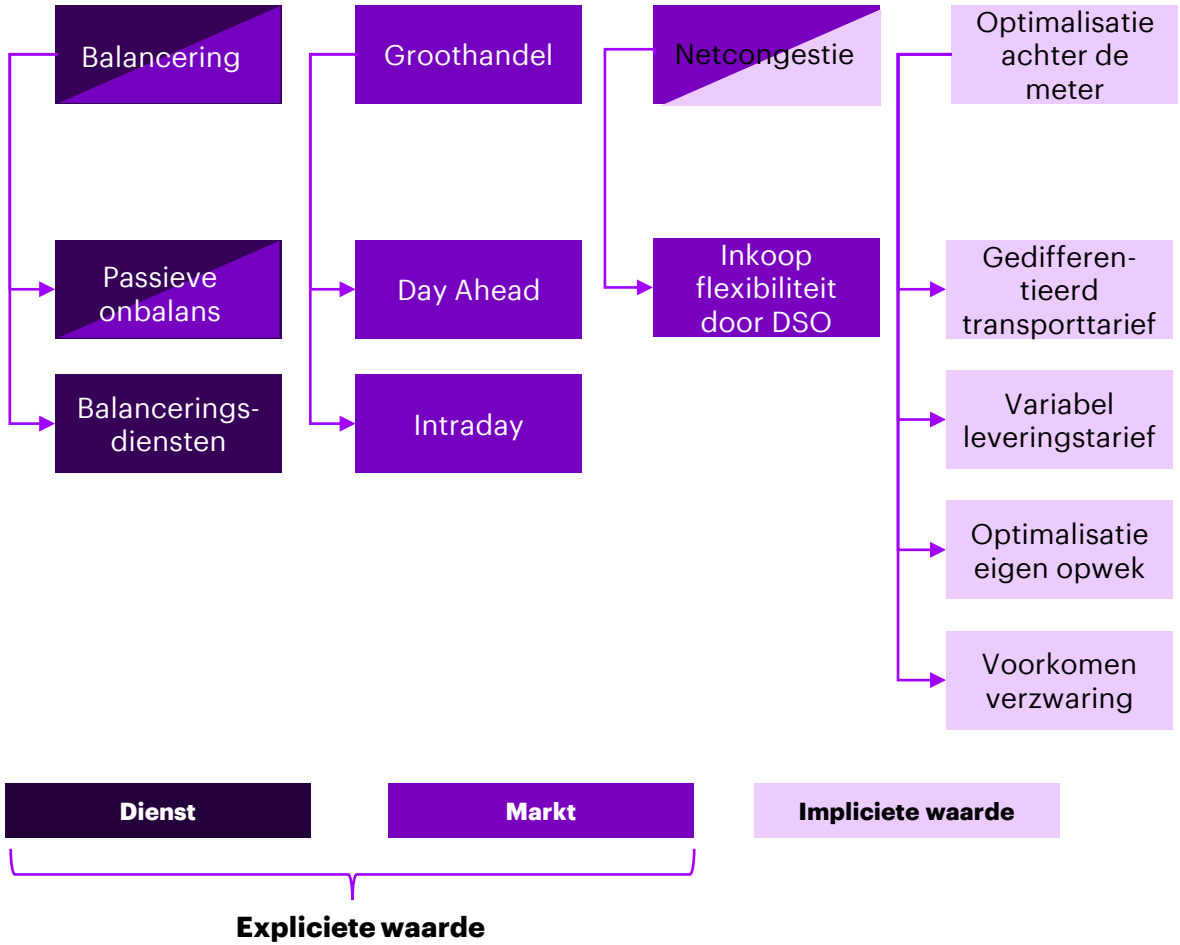
Wat zijn waardebronnen voor flexibiliteit?
Flexibiliteit in energieverbruik betekent dat het aanbod van of de vraag naar elektriciteit in de tijd verschoven kan worden. Deze flexibiliteit kan op verschillende waardebronnen worden ingezet. Warmtepompen kunnen op basis van prijsprikkels uit deze waardebronnen het elektriciteitsverbruik verhogen of verlagen.

Participatie
Inspelen op de verschillende markten kan plaatsvinden middels een aggregator (expliciete flexibiliteit). De aggregator stuurt een pool van assets aan en verschaft toegang tot markten & diensten. De flexibele energievraag kan ook worden gestimuleerd via financiële prikkels, zoals variabele transport- en leveringstarieven, of het vermijden van hogere kosten door te optimaliseren op eigen opwek (impliciete flexibiliteit). Voor impliciete flexibiliteit is tussenkomst van een aggregator niet noodzakelijk.

Ontwikkelingen
De groothandelsmarkten en balanceringsmarkten bestaan al geruime tijd. Deze markten zullen wel veranderen in volume, prijsstelling en deelnemers. Optimalisatie van het eigen verbruik is technisch mogelijk, maar door de afwezigheid van prijsprikkels wordt dit nog in zeer beperkte mate toegepast. Tot slot is de markt voor netcongestie een nieuw te ontwikkelen markt. De markten voor flexibiliteit zullen in de toekomst door twee tegengestelde krachten gevormd worden: enerzijds zal meer volatiliteit in aanbod van elektriciteit door meer duurzame opwek het volume van de markt vergroten en de prijzen omhoog drijven. Tegelijkertijd zal een groeiend aanbod van flexibiliteit de prijzen drukken.

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Waardebronnen voor flexibiliteit (III)



Inzet warmtepompen
Door het thermisch vermogen van warmtepompen te variëren, of een pool van warmtepompen aan- en uit te schakelen, kan op elk moment in de tijd het gevraagde elektrisch vermogen gevarieerd worden. Deze flexibiliteit in elektriciteitsafname kan op verschillende wijzen ingezet worden om de waarde te verzilveren.

Markten, diensten en impliciete waarde
Flexibiliteit kan verhandeld worden op commerciële markten. Een bestaande markt is de groothandelsmarkt. Een te ontwikkelen markt is de markt voor netcongestie. Daarnaast kan flexibiliteit als balanceringsdienst worden aangeboden aan TenneT, waarbij het elektrisch vermogen van de warmtepomp wordt aangepast op basis van een stuursignaal.
Een laatste methode om de waarde van flex te verzilveren is impliciet, middels sturing op optimalisatie achter de meter. Daarbinnen zijn verschillende mogelijkheden in verschillende stadia van volwassenheid. Een gedifferentieerd transporttarief wordt door netbeheerders voorzien maar is nog niet geïmplementeerd voor kleinverbruik. Ook het afschaffen van saldering is nog niet doorgevoerd en staat momenteel ter discussie.

Methodiek
De beschreven waardebronnen zijn zijn in verschillende stadia van volwassenheid. De waarde van de proposities in 2021 is gebaseerd op beschikbare literatuur. Om een inschatting te maken van de waarde in 2030 is daarnaast gebruik gemaakt van zeventien expertinterviews.

* Het variabel leveringstarief wordt bepaald door de waarde op de groothandelsmarkten voor flexibiliteit.

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Balancering

Context
Het aanbod van elektriciteit en de afname van elektriciteit moeten op elk moment in de tijd aan elkaar gelijk zijn. Programmaverantwoordelijken leveren dagelijks aan TenneT een E-programma aan voor de volgende dag. Dit E-programma geeft het opwek- of afnameprofiel aan van alle klanten in het portfolio weer. Op basis hiervan maakt TenneT de balans op voor de volgende dag en schakelt indien nodig opwek op of af. Afwijkingen van de forecast veroorzaken onbalans. Dit wordt door TenneT opgelost middels de passieve onbalansmarkt en de balanceringsdiensten.

Passieve onbalansmarkt
Afwijken van het E-programma kan in twee richtingen:
1. Met de afwijking wordt de onbalans op systeemniveau versterkt, en;
2. Met de afwijking wordt de onbalans op systeemniveau verkleind.

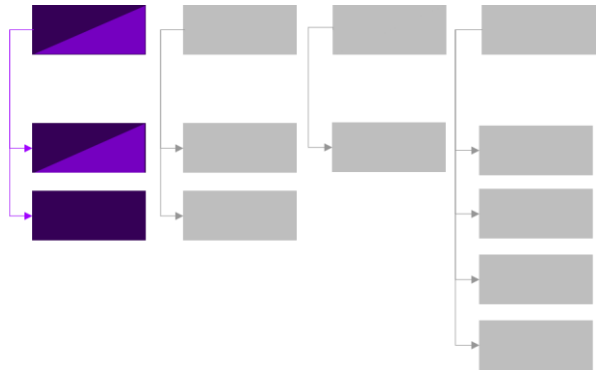
TenneT stimuleert situatie 2 middels prijsprikkels.

Balanceringsdiensten
Voor het oplossen van de resulterende onbalans neemt TenneT diensten af bij partijen die elektrisch vermogen actief op- en af kunnen regelen. Hiervoor betaalt TenneT zowel een beschikbaarheids- als inzetvergoeding, maar indien een gecontracteerde partij niet kan leveren, wordt een boete doorberekend.

Markt	Reactietijd
Primaire reserve (FCR)	0-30sec
Secundaire reserve (aFRR)	5min
Tertiaire reserve (mFRR)	15min

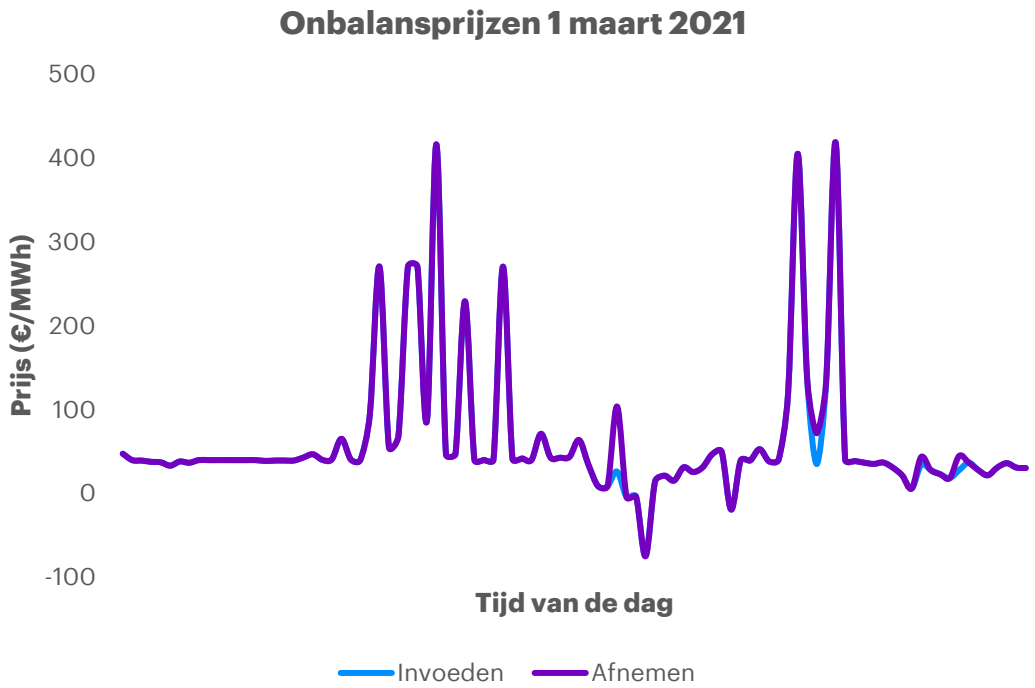
Technische haalbaarheid
Warmtepompen kunnen niet voldoen aan de reactietijd die voor de balanceringsdiensten gevraagd wordt. De compressor maakt snel op- en afschakelen onmogelijk. Bovendien worden de balanceringsdiensten actief aangeboden: het niet kunnen leveren van de beloofde flexibiliteit heeft hoge boetes tot gevolg. In dit rapport wordt er om deze twee redenen vanuit gegaan dat warmtepompen niet worden ingezet op de balanceringsdiensten, maar alleen worden ingezet voor het leveren van passieve onbalans.

Karakteristieken		
	Maturiteit	Hoog
	Waarde	Gemiddeld
	Volume	Gemiddeld
	Afnemer	TSO
	Aggregator	Ja



Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Passieve onbalans



Markt	kWh/jaar	% PTEs met gunstige prijs	Besparing* (€/MWh)	Verdiensten – theoretisch maximum (€/jaar)
Afschakelen	400 – 1300	28	54	5-20
Opschakelen	55 – 360	69	22	1-5

Waarde

- De netbelasting van een warmtepomp kan gedurende de dag variëren door de ruimtetemperatuur en de warmwatertemperatuur binnen het comfort van de gebruiker aan te passen. Ook kan een deel van de piekbelasting verschoven worden. Tot slot kan binnen de piek alleen afgeschakeld worden: om de piek niet te verhogen wordt alleen buiten de piek opgeschakeld.
- De besparing wordt berekend aan de hand van de 'benchmark' – het alternatief is dat de elektriciteit die in het rekenvoorbeeld op de passieve onbalansmarkt wordt ingezet, middels een vast bilateraal contract is ingekocht, of op de day-ahead markt. In deze studie wordt de gemiddelde day-ahead markt als benchmark gebruikt.[9]
- Bij afschakelen (invoeden) is het gunstig wanneer de prijs voor invoeden op de passieve onbalansmarkt hoger ligt dan de prijs op de day-ahead markt. Dit geldt voor 28% van de PTEs (Programma Tijds Eenheden).
- Bij opschakelen (afnemen) is het gunstig wanneer de prijs voor afnemen op de passieve onbalansmarkt lager ligt dan de prijs op de day-ahead markt. Dit geldt voor 69% van de PTEs.
- Op basis hiervan kan door een warmtepomp op de passieve onbalansmarkt in te zetten, 14-42€/jaar worden bespaard met opschakelen en 8-24€/jaar met afschakelen.

* De besparing is berekend door alle prijzen die lager of hoger liggen dan de day-ahead prijs te middelen.

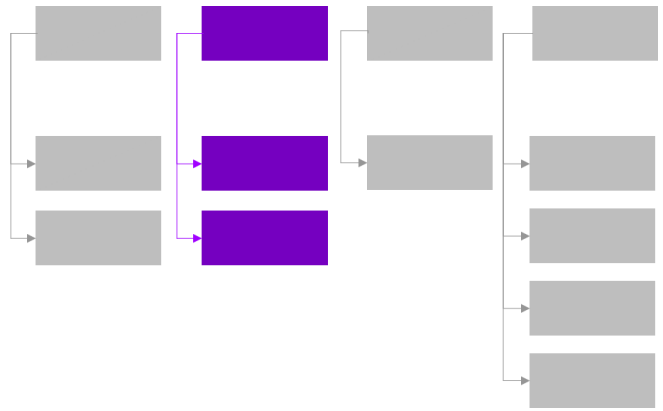
Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Groothandelsmarkten – context en volume

Wat zijn groothandelsmarkten?
De groothandelsmarkt is een commerciële markt voor het verhandelen van eenheden elektriciteit. Participanten kopen of verkopen elektriciteit op basis van behoefte in hun portfolio, of verhandelen elektriciteit op momenten dat prijzen hoog zijn en verkopen deze op momenten dat prijzen laag zijn.
De groothandelsmarkt bestaat uit twee varianten: de day-ahead en de intraday markt. Op de day-ahead markt wordt elektriciteit één dag voor de daadwerkelijke levering verhandeld. Op de intraday markt wordt elektriciteit binnen de dag van levering verhandeld om het portfolio van de participanten te optimaliseren, op basis van nieuwe informatie over afname of opwek.[10]

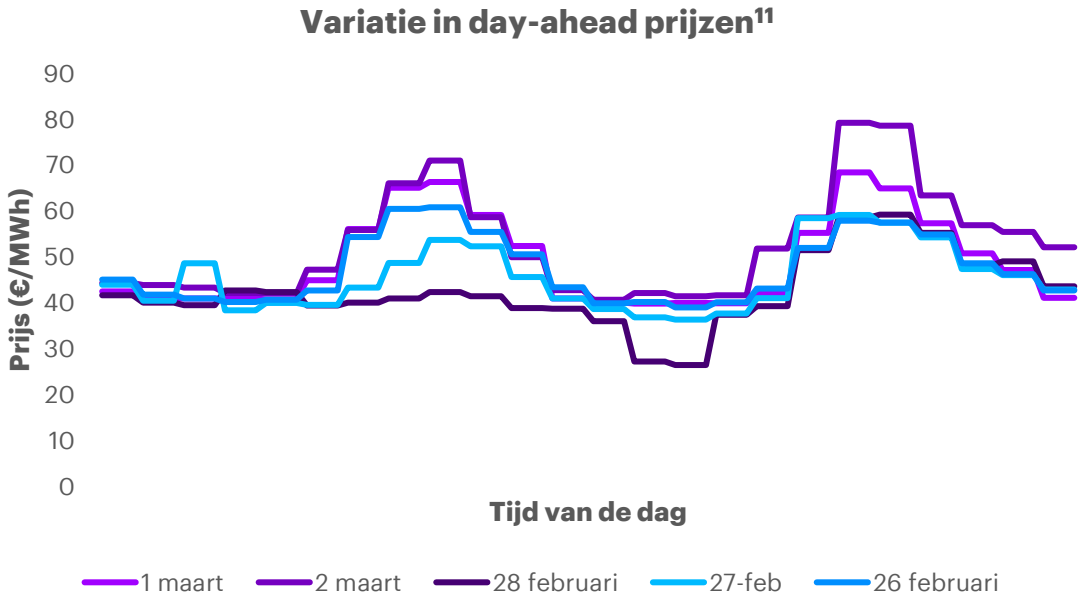
Volume
Op de groothandelsmarkt, met name de day-ahead markt, wordt op dit moment het meeste elektriciteit verhandeld: het aanbod van elektriciteit op de day-ahead markt bedraagt 3GW[4] en op de intraday markt 0.4 GW.[4] Het volume van de intraday markt in Nederland is nu nog klein, maar zal naar verwachting groeien wanneer de volatiliteit door zon en wind toeneemt.[10]

Karakteristieken	
Maturiteit	Hoog
Waarde	Laag
Volume	Hoog[4]
Afnemer	Leveranciers, handelaren, producenten, consumenten[4]
Aggregator	Ja



Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Groothandelsmarkten - waarde



Waarde

- Een hybride warmtepomp kan in piekmomenten volledig overschakelen van elektriciteit naar aardgas. Een elektrische warmtepomp zal de piekvraag verschuiven.
- We nemen aan dat 40% van de netbelasting van de warmtepomp in piekmomenten valt.[6]
- Dit betekent dat minimaal 200kWh/jaar (monovalente all-electric warmtepomp in een nieuwbouw rijwoning) en maximaal 900kWh/jaar (hybride warmtepomp in een bestaande vrijstaande woning) ingezet kan worden als flexibel elektrisch vermogen.
- De warmtepomp draait in plaats van op deze piekmomenten op dalmomenten met een prijsverschil van 32€/MWh.
- De besparing in elektriciteitskosten komt hiermee maximaal uit op 5-30 euro per warmtepomp per jaar.

Markt	kWh/jaar	Piekprijs (€/MWh)[4]	Dalprijs (€/MWh)[4]	Verdiensten – theoretisch maximum (€/jaar)
Day-ahead	200-900*	60	28	5 – 30
Intraday	200-900	60	28	5 - 30

* De bovenkant van de bandbreedte betreft de inzet met hybride warmtepompen. Hier is het verschil in prijs tussen aardgas en elektriciteit nog niet in doorberekend.

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Netcongestie

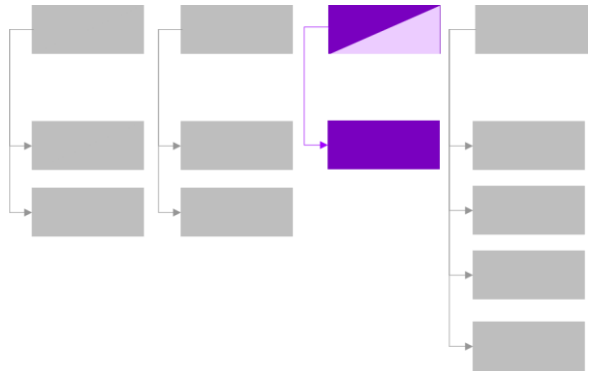
Wat is netcongestie?
Netcongestie doet zich voor wanneer assets in het elektriciteitsnet de gevraagde elektriciteit niet meer kunnen transporteren doordat het elektrisch vermogen dat over deze assets kan gaan gemaximaliseerd is. Netcongestie kan zich voordoen op hoog,- midden- en laagspanningsniveau. Op hoogspanningsniveau is een bestaande markt ingericht ('redispatching') waar grote assets worden ingezet. Op midden- en laagspanningsniveau ontplooien DSO's daarvoor de eerste activiteiten.

Oplossingen
De structurele oplossing voor netcongestie is verzwaring van het elektriciteitsnet. Omdat verzwaring van het elektriciteitsnet onderhavig is aan lange doorlooptijden[25], worden op de kortere termijn twee oplossingen voorzien:
a. Netbeheerders kopen flexibiliteit in. Dit kan via een marktplatform, marktuitvraag of gereguleerde processen, en;
b. Netbeheerders sturen middels transporttarieven. Dit wordt behandeld onder 'optimalisatie achter de meter'.

Volume
De markt voor netcongestie op lagere netvlakken heeft een lokaal karakter. Echter, om te voorkomen dat onbalans wordt veroorzaakt op systeemniveau, wordt elke actie in een congestiegebied gecombineerd met een tegengestelde actie elders in Nederland. Om mee te doen aan deze markt hoef je je dus niet in het congestiegebied te bevinden. Een markt voor het oplossen van netcongestie op lage netvlakken is in ontwikkeling. Het mogelijke volume van deze markt is nog moeilijk in te schatten en hangt met name af van de snelheid van realisatie van verzwaring en uitbreiding van het net. Vanwege het tijdelijke karakter, wordt het volume van de totale markt als klein ingeschat. Een markt voor netcongestie op hogere netvlakken bestaat al. Verzwaringen op dat niveau zijn duurder en hebben een langere doorlooptijd. Concurrentie met grotere flexbronnen zoals grote batterijen, elektrolyzers, industriële assets e.d. maken de inzet van warmtepompen onwaarschijnlijk.

Waarde
Wanneer netcongestie zich voordoet, is de verwachting dat de waarde voor flexibiliteit hoog zal zijn, omdat:
a. Het niet oplossen van netcongestie uitval van het elektriciteitsnet tot gevolg zal hebben, en;
b. Het aanbod van stuurbare assets in het congestiegebied zelf vaak beperkt is door de beperkte schaal.
Op basis hiervan kunnen we stellen dat de financiële waarde voor het oplossen van netcongestie hoger zal liggen dan die voor balancering. Omdat er nu geen richtlijnen zijn voor de ordegrootte van deze waarde en het volume van de markt klein zal zijn, wordt netcongestie in dit rapport niet doorberekend.

Karakteristieken		
	Maturiteit	Laag
	Waarde	Zeer Hoog
	Volume	Klein
	Afnemer	DSO
	Aggregator	Ja



Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

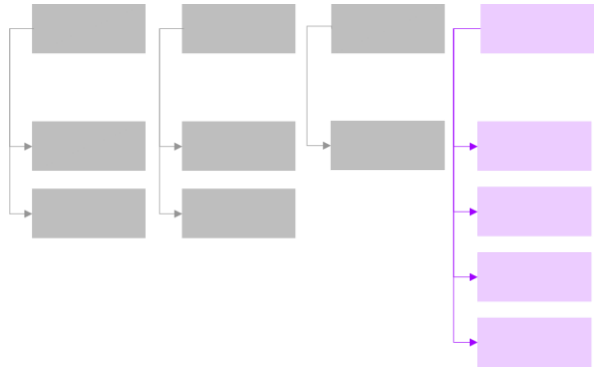
Optimalisatie achter de meter (I)

Wat is optimalisatie achter de meter?
Optimalisatie achter de meter houdt in dat opwek & afname binnen het gebouw van de gebruiker op elkaar worden afgestemd, en/of dat wordt geoptimaliseerd op basis van prijsprikkels die aan de eindgebruiker worden doorbelast.
Optimalisatie achter de meter bestaat uit vier varianten: Gedifferentieerd transporttarief, optimalisatie eigen opwek, gedifferentieerd leveringstarief, voorkomen van verzwaring.
In dit rapport worden optimalisatie eigen opwek en gedifferentieerd transporttarief meegenomen als potentiële waardebronnen voor de flexibele inzet van warmtepompen. Bij een gedifferentieerde leveringstarief, ontvangt de gebruiker van de energieleverancier een variabel kWh-tarief op basis waarvan apparaten slim aangestuurd kunnen worden. Dit gedifferentieerde tarief is een direct resultaat van handel op de passieve onbalans- en groothandelsmarkten. Daarom wordt deze waarde in dit rapport niet separaat doorberekend. Apparaten met een groot flexibel vermogen, zoals laadpunten voor elektrische auto's, kunnen worden ingezet om verzwaring van de aansluiting te voorkomen. Omdat het vermogen van een warmtepomp in vergelijking met dergelijke assets relatief laag is, nemen we deze waardebron voor warmtepompen niet mee.

Karakteristieken		
	Maturiteit	Laag
	Waarde	Hoog
	Volume	Hoog
	Afnemer	Gebruiker
	Aggregator	Mogelijk

Gedifferentieerd transporttarief
Het ligt in de lijn der verwachting dat netbeheerders zullen gaan werken met een gedifferentieerd transporttarief. De huidige denkrichting bij de netbeheerders is om dit niet dynamisch in te richten – dus geen afrekening op basis van exacte piekbelasting, maar om te gaan werken met een indeling in een aantal klassen. Hierbij blijft de fysieke aansluitwaarde van de netaansluiting behouden, maar betaalt de gebruiker minder voor gebruik van een lager percentage van de aansluiting. In dit rapport schatten we de toekomstige waarde van het gedifferentieerd transporttarief in aan de hand van de volgende bandbreedte:

Klasse	Transporttarief (€/jaar)
Huidig gemiddeld transporttarief[26]	241,85
Hoog – volledige benutting	350
Laag – minimale benutting	150



Door de inzet van een warmtepomp met gemiddeld vermogen wordt $4kW_{th}$ vermogen aan de aansluiting van de gebruiker toegevoegd. Dit vertaalt zich, afhankelijk van de COP, in $0,75\text{-}1,5kW_{el}$ netbelasting. Dit kan opschaling naar een hogere bandbreedte veroorzaken. Om gebruik te maken van het gedifferentieerd transporttarief, moeten de pieken altijd gereduceerd worden: 40% van het verbruik van de warmtepomp valt binnen de piek, waarvan wederom in het slechtste geval (het winterseizoen) 40% flexibel ingezet kan worden. Dit betekent dat de netbelasting verlaagd kan worden met 0,4*0,4*0,75kW = 0,12kW tot 0,4*0,4*1,5kW = 0,24kW. We nemen aan dat dit niet voldoende is om een volledige bandbreedte omlaag te gaan. Echter kunnen huishoudens die net boven de bandbreedtegrens vallen, warmtepompen met een groter elektrisch vermogen hebben, en over andere flexbronnen beschikken, wel een bandbreedte omlaag gaan. Op deze manier bespaart het huishouden geld door de netbelasting van de warmtepomp (en andere flexbronnen) te verlagen.

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

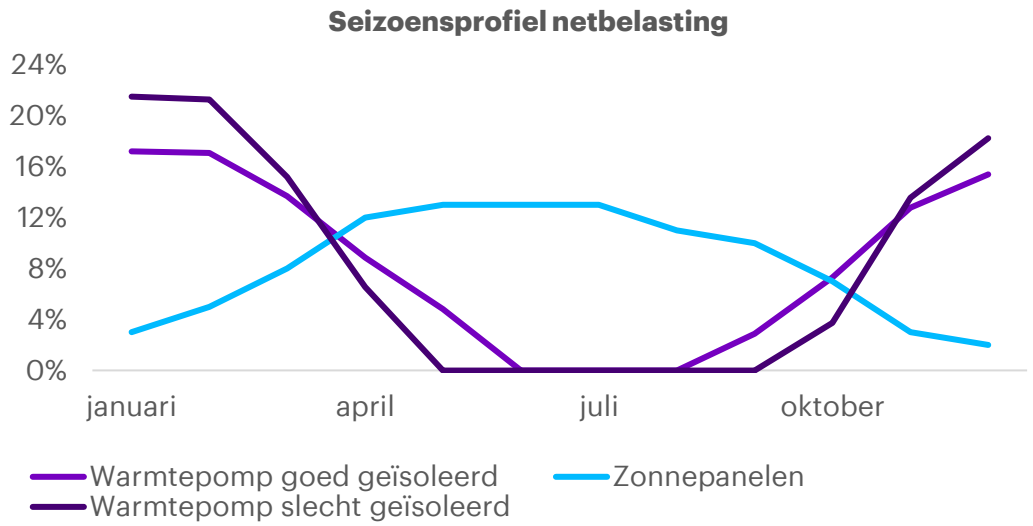
Optimalisatie achter de meter (II)

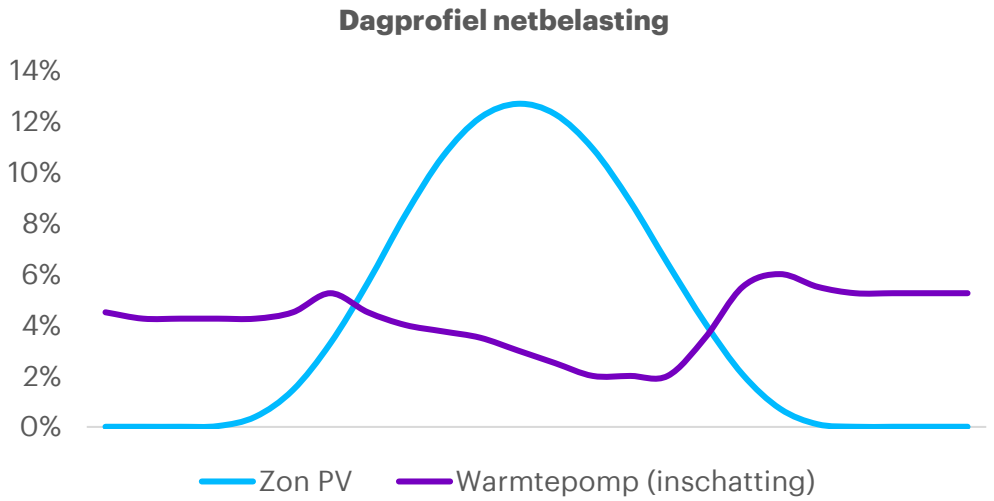
Optimalisatie eigen opwek – 2021 vs. 2030
Optimalisatie eigen opwek voor residentiele bebouwing betreft het afstemmen van de opwek door zonnepanelen op het gebruik van de warmtepomp. Het profiel van energiebelasting door opwek middels zonnepanelen vormt een mismatch met de netbelasting door de warmtepomp voor ruimteverwarming. We nemen hierbij aan dat de warmtepomp niet voor koeling wordt ingezet. Deze mismatch is zowel seizoensgebonden als binnen de dag:

Seizoen	Netbelasting voor ruimteverwarming (%)		
	WP tussenwoning nieuwbouw	WP tussenwoning bestaande bouw	Zonnepanelen[12]
Zomer	0	0	37
Winter	61	86	21
Tussenseizoen	39	14	42

Moment van de dag	Netbelasting voor ruimteverwarming (%)	
	Warmtepomp	Zonnepanelen[13]
Piek[a]	40	17
Buiten Piek	60	83

Vanwege de mismatch in netbelastingprofielen van zonnepanelen en warmtepompen voor ruimteverwarming, zit de grootste waarde voor afstemming op eigen opwek in het verschuiven van tapwaterverwarming. Het afschaffen van de salderingsregeling is noodzakelijk om deze waarde te verzilveren. Het wetsvoorstel dat hiervoor is ingediend, is recentelijk ter discussie gesteld.[14] Indien de regeling wordt voortgezet zoals in het wetsvoorstel gepland, kan een gebruiker hier in 2030 maximaal 25-45€/jaar mee besparen.[b]





a. Piek: 06:00-09:00 en 17:00-22:00
b. Minimale besparing gebaseerd op een tapwatervat van 150L en maximale waarde op een tapwatervat van 300L. Uitgangspunt is dat tapwaterverwarming zonder optimalisatie 's nachts wordt gedaan wanneer geen opwek door zonnepanelen plaatsvindt.

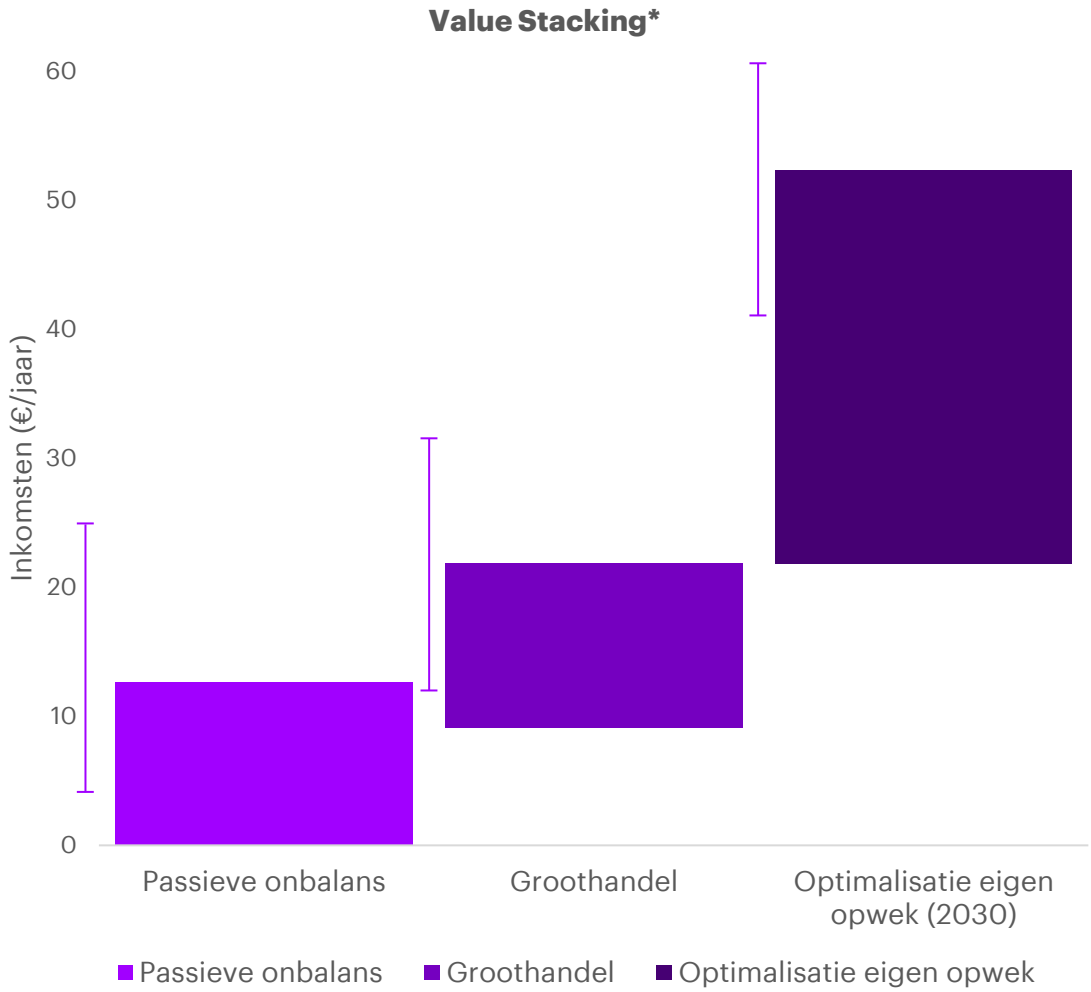
Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Value stacking en economisch potentieel

Value Stacking
Value stacking betekent dat de inzet van de flexibiliteit van een warmtepomp op verschillende waardebronnen wordt gecombineerd om zo de inkomsten te maximaliseren. Value Stacking wordt door middel van slimme algoritmes geborgd door aggregators: zij combineren verschillende assets op verschillende waardebronnen.
Je kan je flexibiliteit maar één keer inzetten: daarom kan je de inkomsten uit de verschillende waardebronnen niet zomaar combineren.
In dit rapport gaan we uit van het volgende:

- Piekverschuiving en op- en afschakelen binnen de comforttemperatuur wordt ingezet op de passieve onbalansmarkt.
- Piekverschuiving kan ook worden ingezet op de groothandelsmarkt. We nemen aan dat 28% van de piekverschuiving ten gelde wordt gemaakt op de passieve onbalansmarkt en 72% op de groothandelsmarkt. Dit komt overeen met het aantal tijdseenheden waarop de waarde voor de passieve onbalansmarkt groter is dan het verschil tussen de piek- en dalprijs op de groothandelsmarkt.
- Tot slot gaan we er vanuit dat het verschuiven op basis van opwek uit zon PV overeen komt met lage prijzen voor passieve onbalans en groothandel. Hiermee is deze waarde dus volledig op te tellen bij de inkomsten uit passieve onbalans en groothandel.

Technisch vs. economisch potentieel
De waarden voor de verschillende markten zijn de theoretisch maximaal haalbare waarden. Deze waarden gaan er vanuit dat wanneer de prijzen van de verschillende waardebronnen gunstig zijn, de warmtepomp dit potentieel altijd volledig kan benutten.
Literatuur over en ervaring met het daadwerkelijke economisch potentieel zijn beperkt. Daarom is voor alle waarden een grote bandbreedte naar de onderzijde opgenomen.



* Inkomsten zijn gemiddeld over verschillende woningtypen en all-electric en hybride warmtepompen.

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

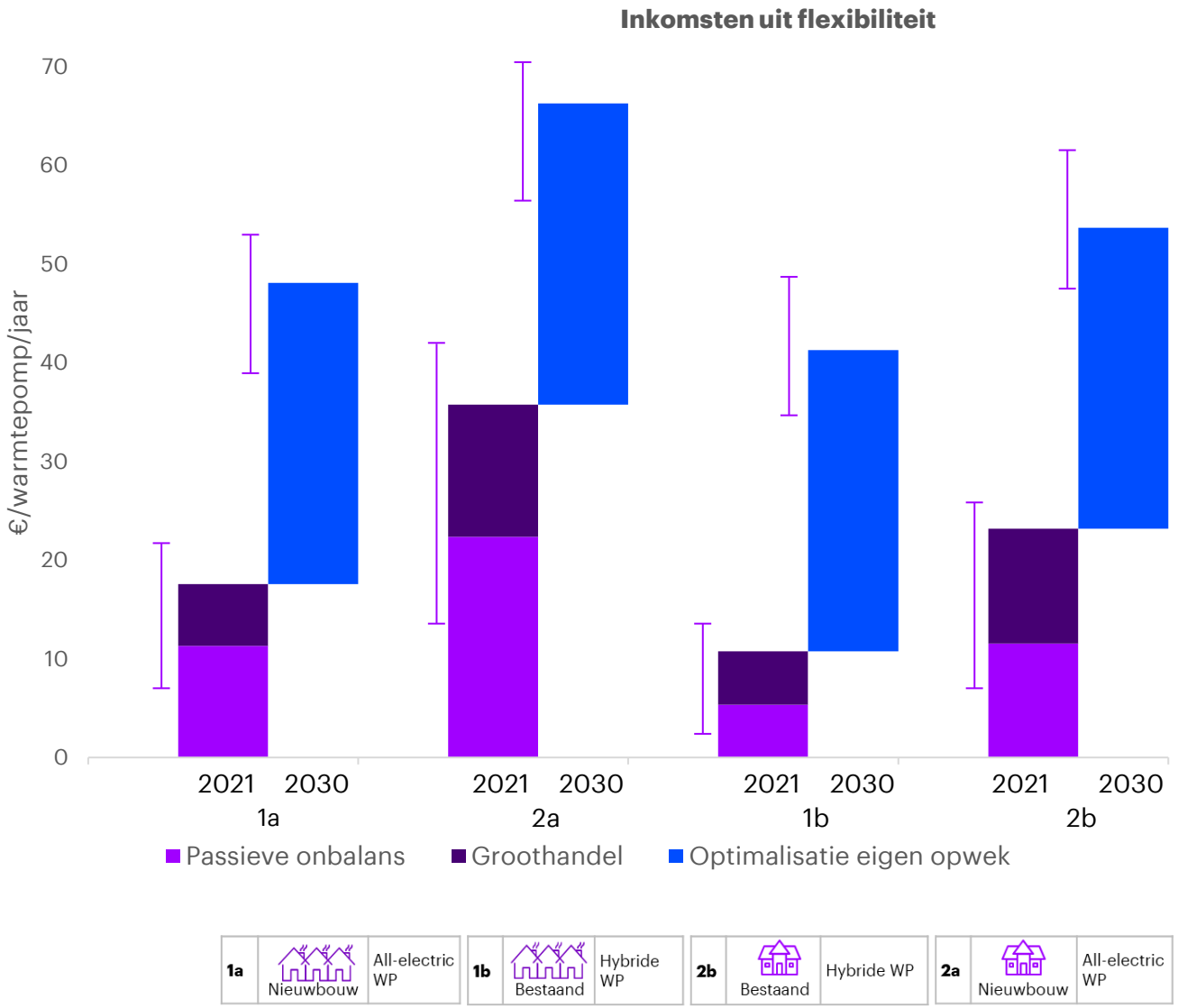
Baten per woningtype

De totale mogelijke inkomsten uit flexibiliteit met een warmtepomp op jaarbasis zijn rechts weergegeven.
De mogelijke inkomsten zijn sterk afhankelijk van het woningtype.

De inkomsten voor woningtypen 1b en 2b vallen lager uit dan voor woningtypen 1a en 2a. Woningtypen 1b en 2b beschikken over een hybride warmtepomp. In de zomer- en het tussenseizoen heeft een warmtepomp een hoge COP. De vergoeding voor flexibiliteit weegt in die seizoenen niet op tegen het verschil in aardgas- en elektriciteitskosten per kWh_{th} geleverde warmte.
Gemiddeld zijn er jaarlijks 50 vorstdagen waarbij een hybride warmtepomp alleen op aardgas draait[1]. Hiermee blijft slechts 59% van het jaar over om beschikbare piekcapaciteit in te zetten ten behoeve van flexibiliteit.

De bandbreedte in de getoonde waarden wordt veroorzaakt door mogelijke verschillen in samenstelling van het huishouden.
De getoonde waarden geven het gemiddelde van het maximale technische potentieel voor verschillende samenstellingen van het huishouden. Het economisch potentieel – hoe vaak vallen de prijzen gunstig uit binnen de mogelijkheid van de gebruiker om flexibiliteit te bieden en hoe vaak 'overruled' te gebruiker de inzet van flexibiliteit ten behoeve van comfort – is hier niet in meegenomen. De bandbreedte naar de onderkant is daarom groter dan naar de bovenkant.

Richting 2030 zullen twee krachten invloed uitoefenen op de prijsontwikkeling voor flexibiliteit: enerzijds zal toenemende volatiliteit op de energiemarkt prijzen opdrijven, anderzijds zal een groter aanbod voor flexibiliteit de prijzen drukken. De verwachting in de markt is dat de prijzen netto zullen stijgen, maar gezien de grote onzekerheid is er in dit rapport geen kwantificatie gemaakt. De additionele baten in 2030 zijn gebaseerd op het huidige wetsvoorstel voor het afschaffen van saldering.

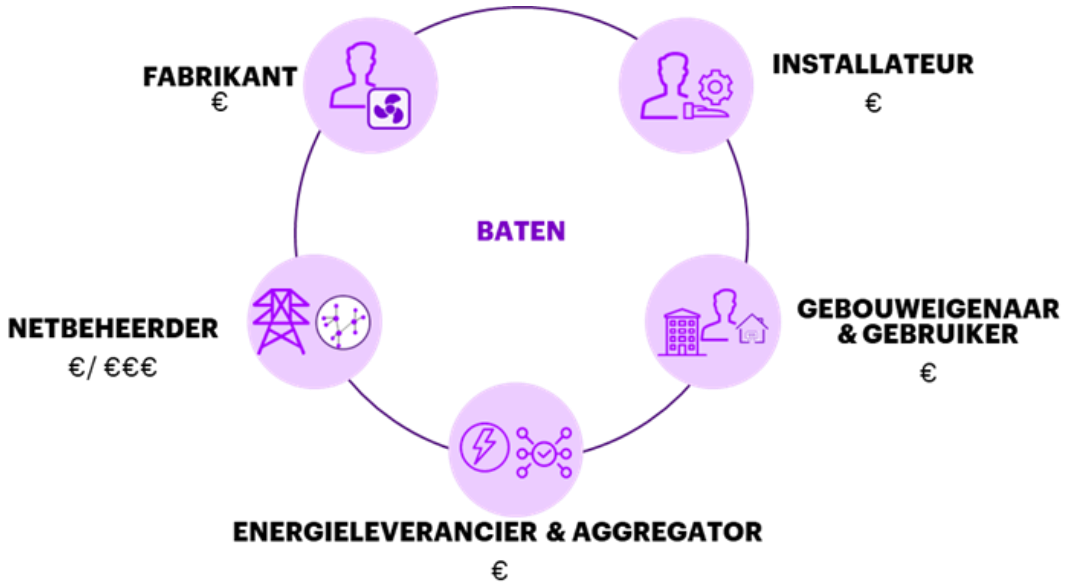


Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

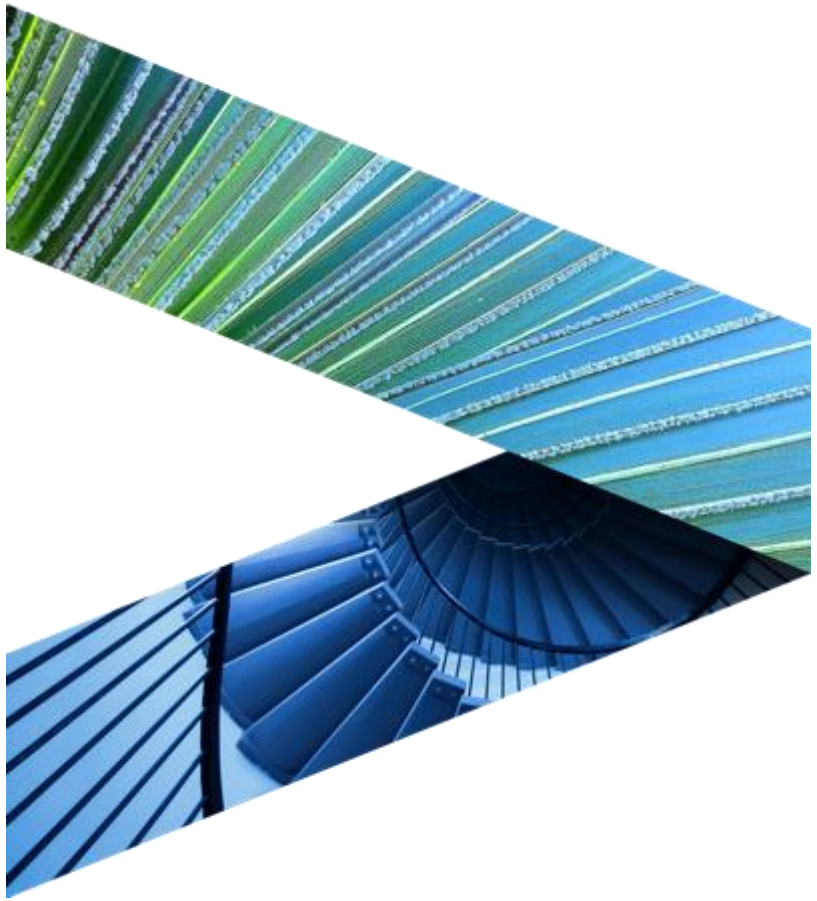
Overzicht baten per actor

Baten per actor
In onderstaand overzicht zijn de baten per actor benoemd. Daarnaast is een relatieve inschatting gemaakt van de hoogte van de baten per actor.

Actor	Baten
Fabrikant	• Vergoeding voor warmtepompen en het inregelen van connectiviteit • Vergoeding van gebruiker voor gebruik backoffice • Vergoeding van installateur voor gebruik backoffice
Installateur	• Vergoeding van de gebruiker voor het installaleren van slimme warmtepompen en het verbinden ervan door gebruiker
Gebouweigenaar & Gebruiker	• Besparing op energierekening • Vergoeding van energieleverancier/aggregator voor het leveren van flexibiliteit
Energieleverancier & aggregator	• Percentage van de inkomsten uit de flexmarkten door warmtepompen flexibel in te zetten
Netbeheerders	• Besparingen op systeemintegratiekosten



Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.



Businesscase Kosten

Kosten van warmtepompen & flexibiliteit

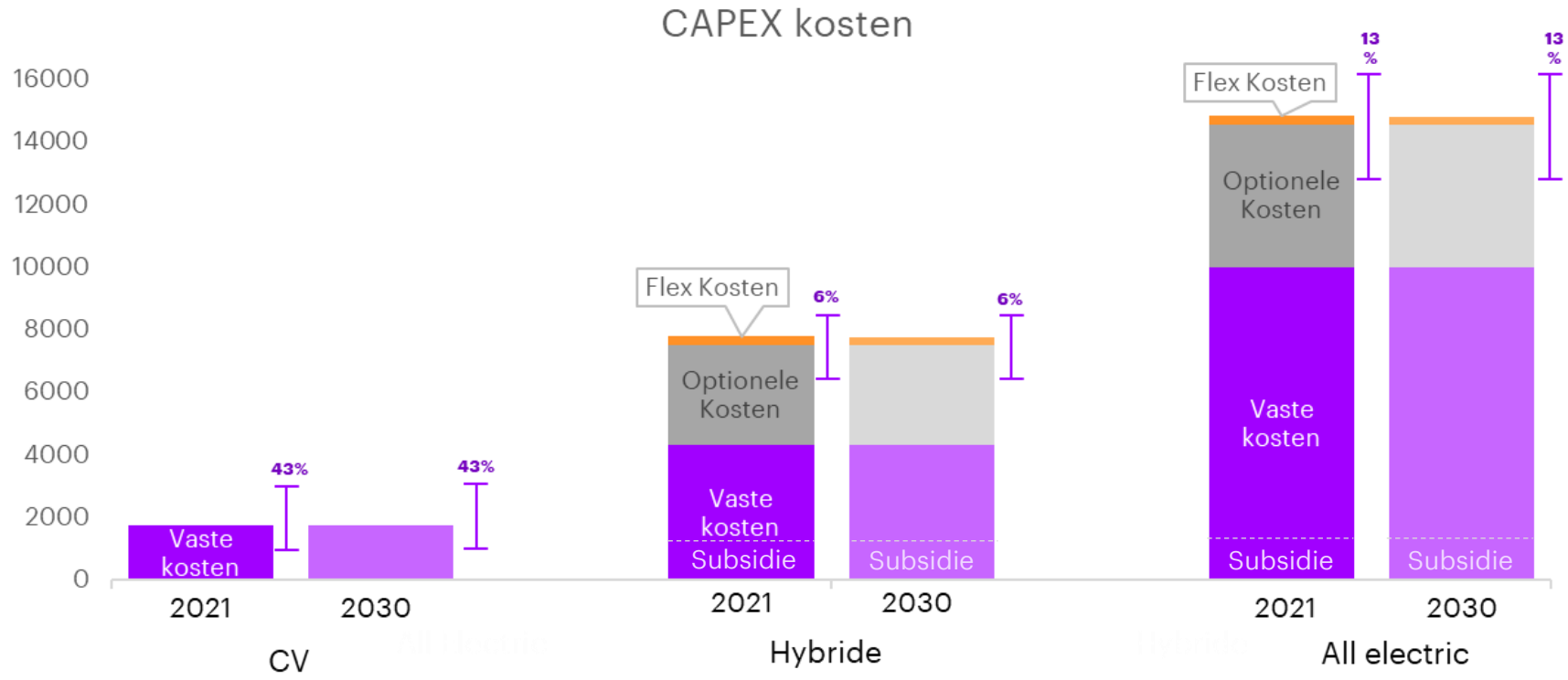
DE KOSTEN VAN WARMTEPOMPEN EN FLEXIBILITEIT

Om flexibiliteit met warmtepompen mogelijk te maken moeten investeringen gemaakt worden. In dit hoofdstuk is gekeken naar de totale investering van een verwarmingssysteem (HR CV-ketel, hyrbide en all-electric warmtepompen). Er is onderscheid gemaakt tussen de investering voor het warmtesysteem zelf en de meerinvestering voor het ontsluiten van flexibiliteit. Hieruit blijkt dat de relatieve kosten voor het ontsluiten van flexibiliteit laag zijn ten opzichte van de totale investering in het verwarmingssysteem. Tot slot is een relatieve inschatting gemaakt van de kosten per actor.

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Kostenoverzicht – CAPEX

Kosten gebruiker - CAPEX
De kosten voor gebruikers zijn onderverdeeld in CAPEX en OPEX om warmtepompen aan te schaffen en in te zetten voor de ontsluiting van flexibiliteit. Rechts zijn de CAPEX kosten weergegeven voor de traditionele verwarmingsoptie in de gebouwde omgeving – een HR CV-ketel – en voor hybride en all-electric warmtepompen. De vaste kosten bestaan uit de aanschafkosten van de verwarmingsoptie en de kosten voor het ontsluiten van flexibiliteit. De meerinvestering voor ontsluiting van flexibiliteit is afhankelijk of de warmtepomp via de backoffice van de fabrikant of via de HEMS communiceert. Voor ontsluiting van flexibiliteit via de HEMS zijn aanvullende kosten nodig voor het aanschaffen van een HEMS en SGRI. Voor ontsluiting van flexibiliteit via de backoffice van de fabrikant hoeven geen additionele investeringen gemaakt worden. Verder zijn er optionele kosten bij warmtepompen, afhankelijk van de woning (mate van isolatie, wel/geen gasaansluiting), wensen gebruiker en eisen per warmtepomp.



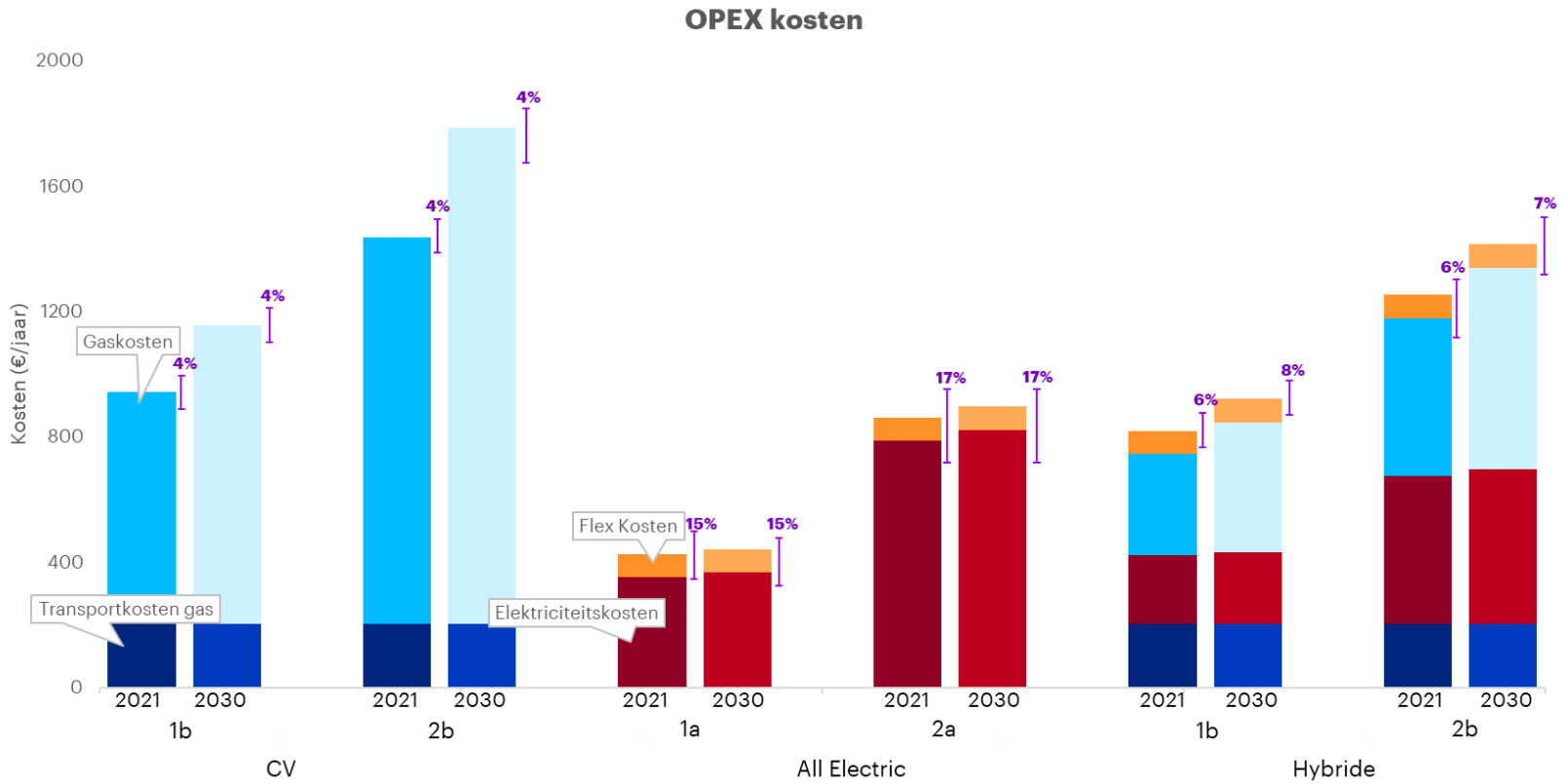
1a	Nieuwbouw	All-electric WP	1b	Bestaand	Hybride WP	2b	Bestaand	Hybride WP	2a	Nieuwbouw	All-electric WP

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Kostenoverzicht – OPEX

Kosten gebruiker – OPEX

De OPEX kosten voor de gebruiker bestaan uit de elektriciteits- en eventueel gaskosten, de kosten om gebruik te maken van het elektriciteits- en gasnet (transportkosten) en de abonnementskosten voor de protocollen. De elektriciteits- en gaskosten zijn afhankelijk van het type woning en de grootte van het huishouden. Het overzicht van de OPEX kosten per verwarmingsoptie – HR CV-ketel, hybride- en all-electric warmtepompen is aan de rechterkant weergegeven.



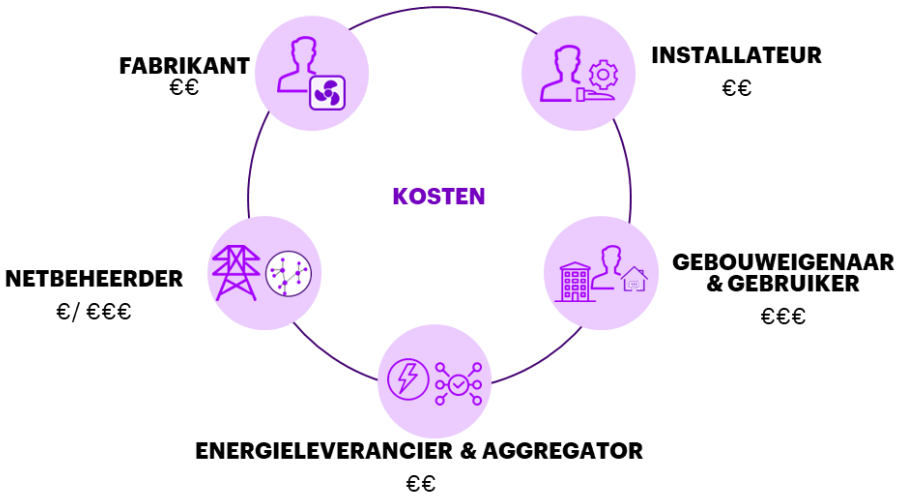
1a	Nieuwbouw	All-electric WP	1b	Bestaand	Hybride WP	2b	Bestaand	Hybride WP	2a	Nieuwbouw	All-electric WP
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Overzicht kosten per actor

Kosten per actor
De kosten per actor bestaan uit eenmalige investeringskosten en terugkerende kosten. In onderstaand overzicht zijn de kosten per actor benoemd. Daarnaast is een relatieve inschatting gemaakt van de hoogte van de kosten per actor.

Actor	Kosten
Fabrikant	• Software – ontwikkeling & onderhoud van backoffice en protocol • Hardware – warmtepomp 'slim' maken door het toevoegen van connecitiviteitstechnologieën aan warmtepompen
Installateur	• Kosten om gebruik te maken van backoffice fabrikant • Extra training om kennis te vergroten over het verbinden van slimme warmtepompen
Gebouweigenaar & Gebruiker	• Eenmalige investeringen voor het aanschaffen van een warmtepomp en eventueel aanpassingen aan het warmteafgiftesysteem. • Aanschaf van HEMS en SGRI als flexibiliteit met warmtepompen ontsloten wordt via de HEMS. • Terugkerende kosten voor het gebruik van verschillende protocollen en afhankelijk van de connectiviteitstechnologie aanvullende abonnementskosten. • Maandelijkse elektriciteits- en eventueel gaskosten afhankelijk van het type warmtepomp
Energieleverancier & aggregator	• Software – ontwikkeling/ aanpassing van platform en protocol zodat warmtepompen als flexibele asset toegevoegd kunnen worden • Kosten om variabele elektriciteitstarieven in te voeren
Netbeheerders	• De kosten van netbeheerders zijn afhankelijk van de benodigde verzwaringen van het elektriciteitsnet en mate waarin congestie gaat optreden. Wanneer er veel congestie optreedt zullen de kosten voor netbeheerders hoog zijn en vinden veel verzwaringen plaats. Wanneer dit niet het geval is, vallen de kosten voor netbeheerders mee



Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Scenario’s kostenreductie

Partijen delen open ervaringen met verschillende protocollen en werken toe naar één standaard.

Het verminderen van het aantal componenten in de keten voor het ontsluiten van flexibiliteit verlaagt de kosten en de complexiteit voor de gebruiker en aggregator.

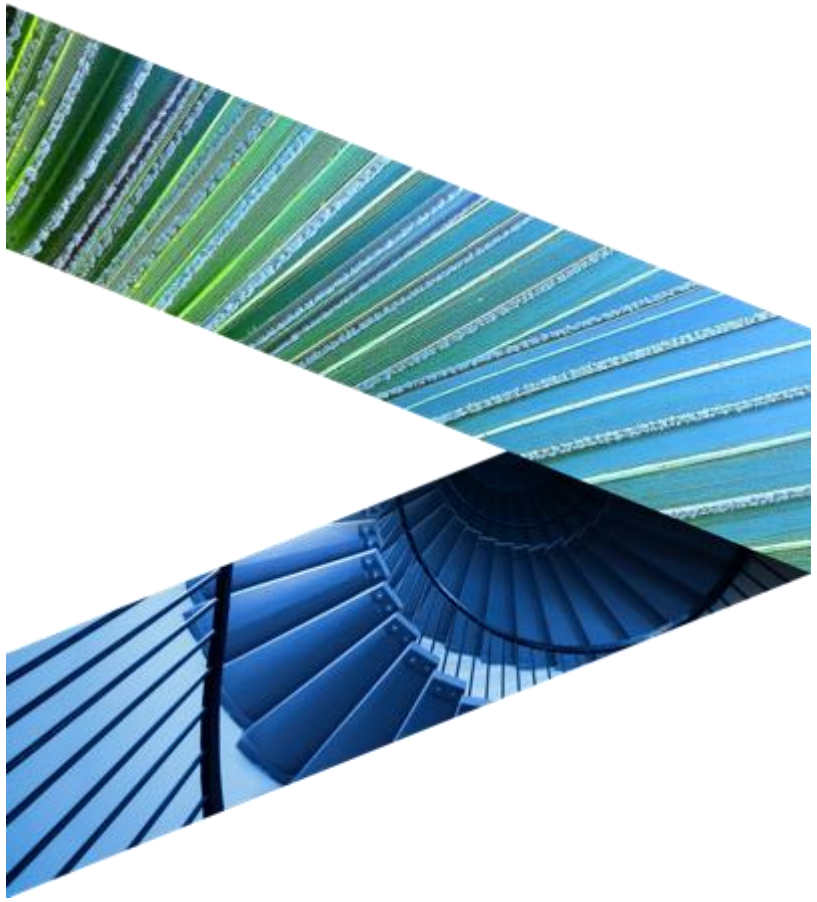
Het regelen van de energiehuis-houding van de gebruiker door één partij leidt tot meer standaardisatie, minder componenten en het volledig ontzorgen van de gebruiker.

Door schaalgrootte nemen de kosten van de warmtepomp en interface af. Daarnaast worden de kosten gereduceerd wanneer de interface gelijk in de warmtepomp wordt geïnstalleerd.

Kostenreductie

Op dit moment is de businesscase voor het ontsluiten van flexibiliteit met warmtepompen moeilijk rond te rekenen. Vergoedingen voor flexibiliteit zullen naar verwachting stijgen, maar tegelijkertijd is het belangrijk om te kijken naar de mogelijkheid voor kostenverlaging.

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.



Integrale Businesscase & roadmap

Een schaalbare businesscase Hoe komen we daar?

ROADMAP OM TOT EEN SCHAALBARE BUSINESSCASE TE KOMEN

Op dit moment is het lastig om de businesscase voor de inzet van warmtepompen rond te rekenen. Aan de ene kant is kostenreductie noodzakelijk: het verlagen van de complexiteit van de waardeketen en gestandaardiseerde protocollen zullen de kosten voor de ontsluiting van flexibiliteit verlagen.

Aan de andere kant is het voor fabrikanten belangrijk om duidelijkheid te krijgen over toekomstige prijsprikkels voor flexibiliteit, om nu te investeren in de technologie die nodig is om flexibiliteit te ontsluiten.

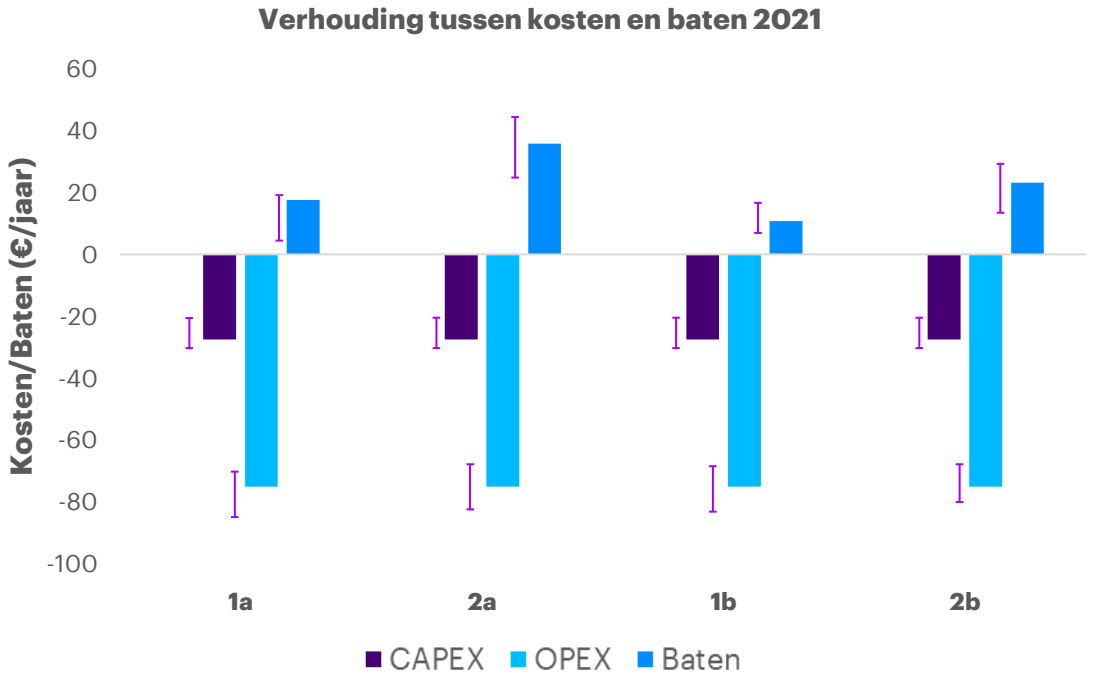
In dit hoofdstuk worden de verschillende krachtenvelden die invloed hebben op het ontwikkelingspad naar een schaalbare businesscase behandelt. Hierbij wordt specifiek ingezoomd op de activiteiten die FAN in gang kan zetten om de ontwikkeling van een schaalbare businesscase te versnellen.

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Integrale businesscase – huidige situatie

Verhouding tussen kosten en baten
De verhouding tussen kosten en baten voor het leveren van flexibiliteit met warmtepompen is aan de rechterzijde weergegeven. Op de linker as staan de jaarlijkse OPEX en baten, de rechter as geeft de CAPEX weer (afschrijving over 10 jaar). Aanschaf- en periodieke kosten voor de warmtepomp zelf zijn hier niet in meegenomen. De CAPEX betreft een eenmalige investering en omvat de installatie van een HEMS en de Smart Grid Ready Interface (ontsluitingsoptie 1). Indien de ontsluitingsoptie voor flexibiliteit via het backoffice van de fabrikant loopt (ontsluitingsroute 2), is deze kostenpost niet van toepassing. De OPEX bestaat uit een fee van 30-50€/jaar voor communicatie tussen het HEMS en de warmtepomp (ontsluitingsoptie 1) of tussen de warmtepomp het backoffice van de fabrikant (ontsluitingsoptie 2) en een fee van 35€/jaar voor de communicatie tussen het HEMS/het backoffice van de fabrikant en de aggregator.
Dit schetst een negatief beeld over de kosten/baten verhouding. Hier dienen twee zaken in overweging genomen te worden:

1. Deze kosten/baten verhouding gaat er vanuit dat de warmtepomp de enige flexibele asset van de gebruiker is en de kosten van de HEMS dus alleen aan de warmtepomp worden toegeschreven. Daarnaast wordt aangenomen dat de communicatie met het backoffice van de fabrikant alleen ten dienste staat van het leveren van flexibiliteit, terwijl deze ook wordt ingezet om kosten te besparen op onderhoud van de warmtepomp. De communicatiekosten tussen de HEMS/het backoffice van de fabrikant en de aggregator worden in dit rekenvoorbeeld doorbelast aan de eindgebruiker. Tot slot is de mogelijkheid om met de warmtepomp te koelen niet doorberekend. Dit zal de verdiensten van met name optimalisatie achter de meter verbeteren.
2. Deze kosten-/batenverhouding is geschetst voor 2021. Richting 2030 is de verwachting dat verschillende invloeden de business case zullen verbeteren:
    1. Door toenemende volatiliteit op het elektriciteitsnet wordt verwacht dat de vergoeding voor flexibiliteit zal stijgen;
    2. Er zullen waardebronnen bij komen, in de vorm van een commerciële markt voor netcongestie en het afschaffen van saldering, en;
    3. Standaardisatie en versimpeling in de waardeketen voor flexibiliteit kunnen de maandelijkse bijdrage voor de ontsluiting voor flexibiliteit verlagen.



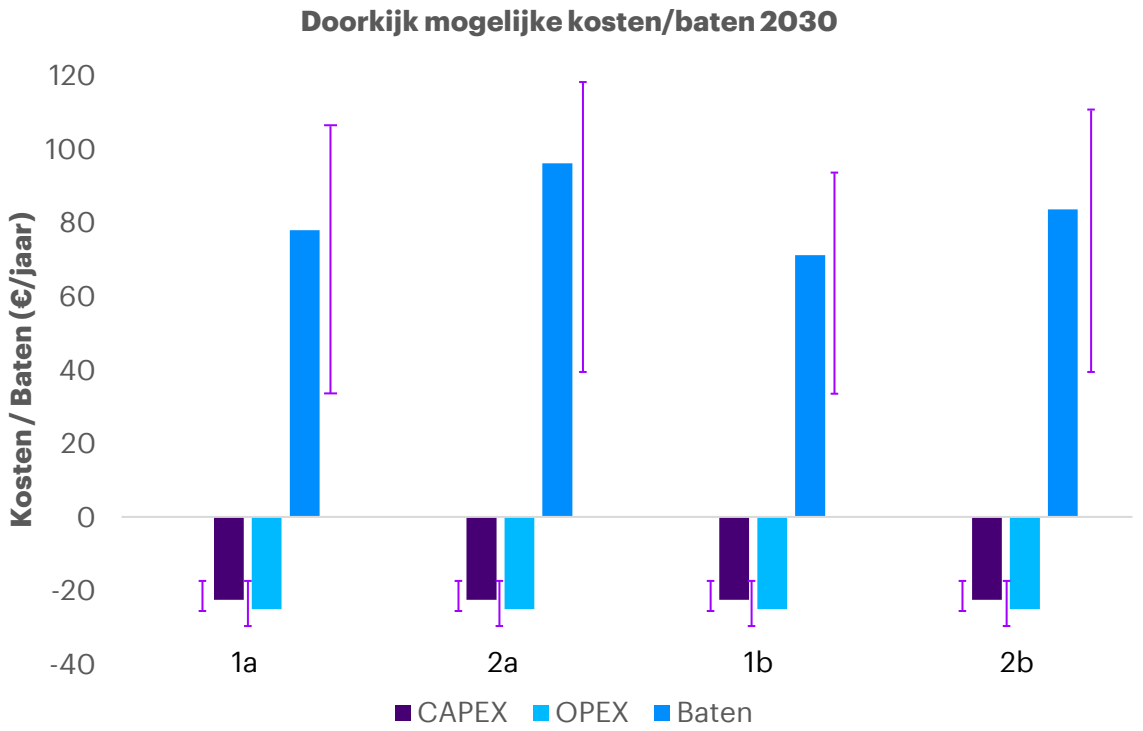
1a	Nieuwbouw	All-electric WP	1b	Bestaand	Hybride WP	2b	Bestaand	Hybride WP	2a	Nieuwbouw	All-electric WP
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Integrale businesscase – doorkijk 2030

Ontwikkeling kosten & baten
De kosten- & batenverhouding kan zich in de komende jaren zo ontwikkelen dat er een positieve businesscase ontstaat. In het opzetten van de grafiek aan de rechterzijde zijn de volgende zaken aangenomen:

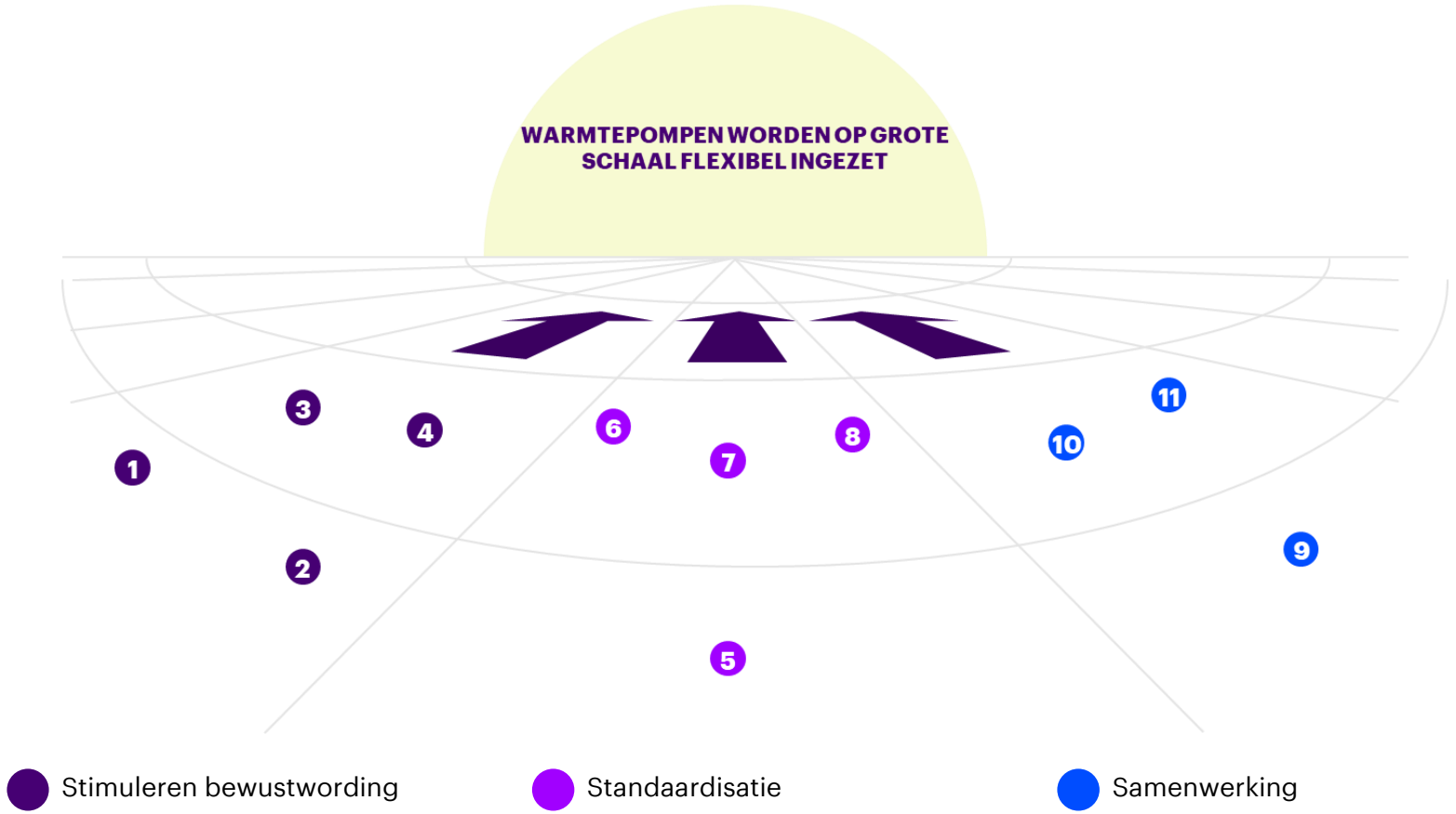
1. De CAPEX investering in assets voor het leveren van flexibiliteit wordt in 10 jaar afgeschreven.
2. De OPEX kosten worden niet alleen toegeschreven aan de warmtepomp, maar aan drie assets in totaal die flexibel ingezet kunnen worden, bijvoorbeeld een elektrische auto en zonnepanelen. Hier is niet in meegenomen dat communicatie tussen de warmtepomp en de backoffice van de fabrikant zich ook terugbetaalt in lagere onderhoudskosten voor de warmtepomp (ontsluitingsroute 2). In dat geval kan een deel van de OPEX kosten volledig worden weggestreept.
3. In de opzet van de baten nemen we aan dat:
    1. Het afschaffen van de salderingsregeling volgens het huidig wetsvoorstel wordt doorgezet, en;
    2. De warmtepomp een bijdrage kan leveren aan een lager gedifferentieerd transporttarief. Hiervoor is aangenomen dat het flexibel inzetten van meerdere assets samen een besparing van 100€/jaar kan realiseren. Hiervoor is 30€/jaar toegekend aan de warmtepomp, wat volgens de huidige plannen neerkomt op een reductie van ongeveer 1kW.
4. De businesscase kan mogelijk nog positiever uitvallen. De volgende zaken zijn niet gekwantificeerd in dit rapport:
    1. De inkoop van flexibiliteit door netbeheerders voor het oplossen van netcongestie, en;
    2. Een stijging in de prijzen voor flexibiliteit op alle markten en diensten door toenemende volatiliteit in de markt.
    3. De mogelijkheid om te koelen met een warmtepomp. Hierdoor zal optimalisatie eigen opwek sterk verbeteren.
    4. Een daling in de CAPEX en OPEX kosten door standaardisatie, schaalvoordelen, en versimpeling in de waardeketen.



1a	Nieuwbouw	All-electric WP	1b	Bestaand	Hybride WP	2b	Bestaand	Hybride WP	2a	Nieuwbouw	All-electric WP
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Ambitie 2030

Om te zorgen dat de ambitie 2030 – het op grote schaal flexibel inzetten van warmtepompen – moet op drie niveaus gezocht worden naar verbetering: stimuleren bewustwording, standaardisatie en samenwerking. In de figuur zijn per verbeterniveau sub-ambities uitgewerkt. De buitenste schil geeft de subambities weer die het snelst plaatsvinden.



1. Marktpartijen zijn zich bewust van onderlinge wensen en uitdagingen.

2. Algemene bewustwording bij koplopers oftewel “early adopters” over de noodzaak van decentrale flexibiliteit in de energietransitie is bereikt.

3. Eenduidig beeld binnen de overheid, netbeheerders en markt op het energielandschap van de toekomst en hoe energievraag en -aanbod op elkaar afgestemd kunnen worden middels prijsprikkels en verplichtingen.

4. Algemene bewustwording bij gros van de consumenten en installateurs over noodzaak van decentrale flexibiliteit in de energietransitie is bereikt.

5. Elke warmtepomp is slim en kan gebruikt worden voor flexibiliteit.

6. Connectiviteit is gebruiksvriendelijk, plug & play en lage kosten.

7. Verbinding tussen warmtepomp, HEMS en andere flexibele apparaten is gestandaardiseerd.

8. Richtlijnen vanuit de aggregator worden toegepast voor communicatie tussen leverancier/ aggregator en HEMS of backoffice fabrikant.

9. Marktpartijen in de waardeketen zijn open om onderling kennis te delen.

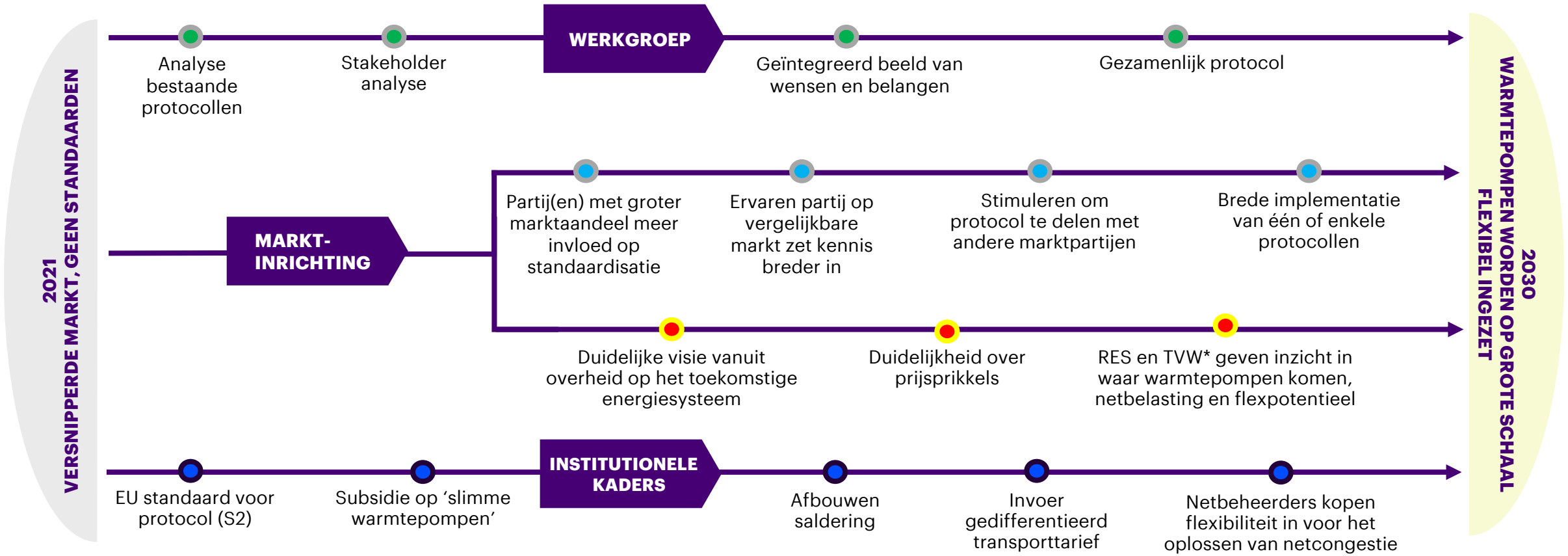
10. Consumenten kunnen in een open markt kiezen uit verschillende partijen die flexibele assets en slimme energiediensten aanbieden.

11. Het uitnutten van flexibiliteit uit assets kenmerkt zich door interoperabiliteit en er is geen sprake van lock-in .

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Krachtvelden
Stimuli voor een schaalbare business case

In de aanloop naar de ambitie 2030 zijn er verschillende krachtvelden van invloed op het bereiken van grootschalige flexibele inzet van warmtepompen. In de markt is het gebruikelijk om in een werkgroep samen te werken aan standaardisatie. In deze werkgroep nemen alle partijen uit de waardeketen plaats, zo is bijvoorbeeld het Open Charge Point Protocol (OCCP) voor laadpunten ontwikkeld. Het krachtveld "Marktinrichting" splitst in een stroom waar een koopkrachtige partij(en) veel invloed heeft op een marktstandaard, en een stroom waarbij een markstandaard autonoom ontstaat. Tot slot hebben institutionele kaders invloed op de standaardisatie en (snelheid van) implementatie.
Deze krachtvelden bestaan niet los van elkaar en beïnvloeden elkaar.



* RES= Regionale Energie Strategie; TVW= TransitieVisie Warmte

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Acties FAN

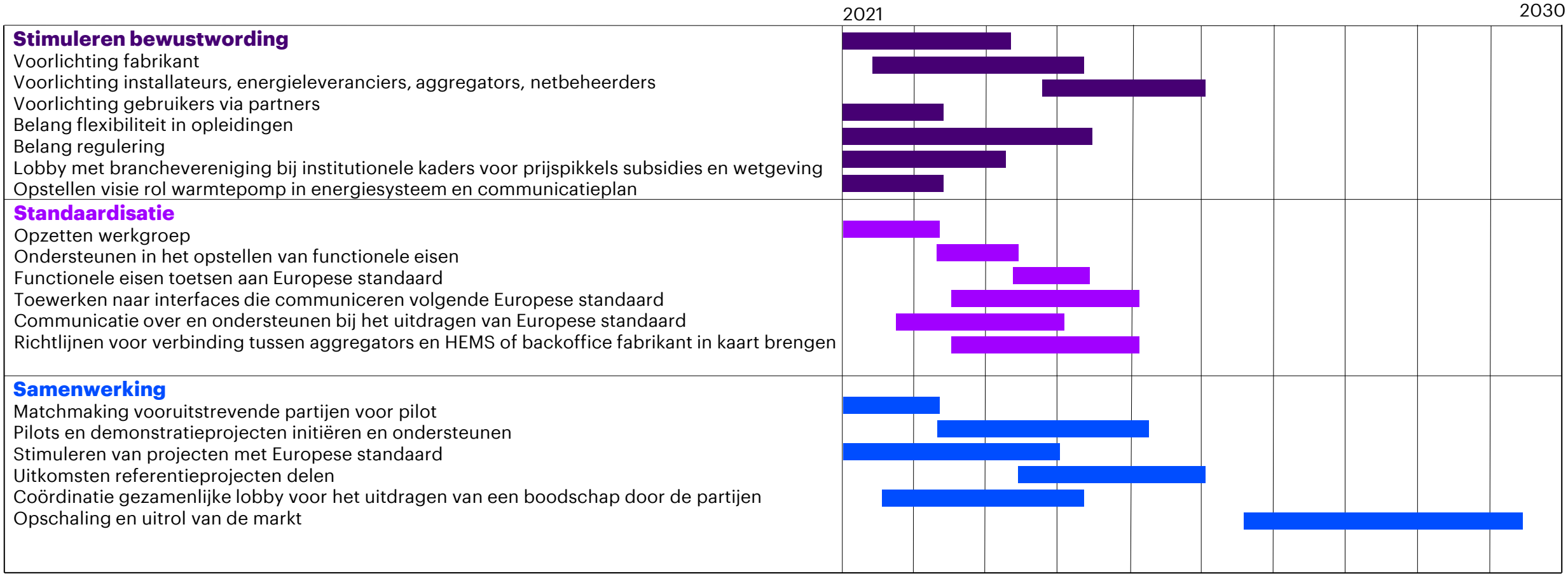
FAN streeft naar een maximale benutting en ontsluiting van flexibiliteit in het energiesysteem door open standaarden. TKI Urban Energy stimuleert bedrijven, kennisinstellingen, maatschappelijke organisaties en overheden om samen te werken op het gebied van energie-innovaties. Onder leiding van FAN en met ondersteuning van TKI Urban Energy zal gewerkt worden aan het versnellen van de 2030 ambitie door verschillende concrete acties te nemen binnen de verbeterniveaus en krachtvelden. In onderstaande tabel zijn de verbeterniveaus uitgezet op de x-as en de krachtvelden op de y-as. Voor elk snijpunt zijn concrete acties gedefinieerd voor de FAN.

	Stimuleren bewustwording	**Standaardisatie**	**Samenwerking**	
Werkgroep	• Duidelijk voorlichting geven om bewustwording te creëren bij partijen in de warmtepomp waardeketen. • Belang duidelijk maken bij brancheorganisaties om flexibiliteit een standaard onderdeel te laten worden van opleiding installateurs.	• Het ondersteunen van de werkgroep in het opstellen van functionele eisen. Nadat functionele eisen zijn vastgesteld, dit toetsen aan Europese Standaard. • Toewerken naar interfaces die kunnen communiceren volgens de Europese Standaard.	• Matchmaking met vooruitstrevende partijen voor een groot pilot- of demonstratieproject, bijvoorbeeld met een energieleverancier die kwartier- of uurprijzen doorrekend, een aggregator en een woningcoöperatie. • Pilots en demonstratieprojecten initiëren en ondersteunen	Blueprinting: beschrijving wat elke stakeholder zou moeten doen om warmtepompen op grote schaal flexibel in te zetten. Communicatie: opstellen communicatieplan
Institutionele kaders	• Belang van regulering voor flexibiliteit warmtepompen kenbaar maken. • Lobby gezamenlijk met brancheverenigingen voor: - prijsprikkels flexibiliteit; - subsidies en wetgeving om flexibiliteit bij warmtepompen te stimuleren.	• Communicatie en ondersteunen bij het uitdragen van de Europese Standaard die wordt vastgesteld.	• Coördinatie gezamenlijke lobby waarbij één boodschap door de partijen in de waardeketen wordt uitgedragen.	
Marktinrichting	• Aandacht blijven vragen op visie warmtepompen • Visie op rol warmtepomp in energiesysteem opstellen en uitdragen richting alle stakeholders	• Richtlijnen voor verbinding tussen aggregators en HEMS of backoffice fabrikant in kaart brengen.	• Uitkomsten referentieprojecten delen.	

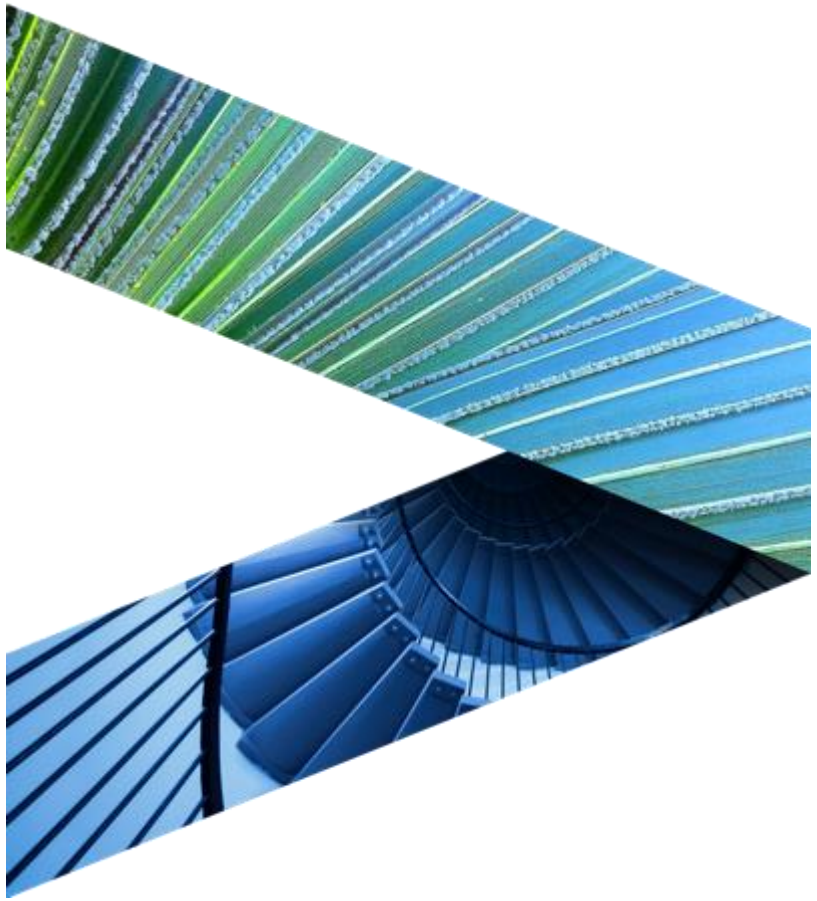
Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Roadmap FAN

Onderstaand is de roadmap voor de FAN weergegeven. De concrete acties voor de FAN zijn uitgezet over de tijd. Binnen elk verbeterniveau starten acties op de korte termijn waarbij met name het opstellen van een visie van de rol van warmtepompen in het energiesysteem en een communicatieplan om dit uit te dragen naar alle marktpartijen erg belangrijk is. Daarnaast is het opzetten van een werkgroep essentieel om de standaardisatie te versnellen. Verder is matchmaking van vooruitstrevende partijen voor het starten van een pilot van belang om de samenwerking te bevorderen.



Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.



Bronnenlijst

Bronnen (I)

#	Bron
1	https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82380NED/table
2	https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81955NED/table?fromstatweb
3	https://flexible-energy.eu/flex-monitor/
4	DNV GL, TNO & TKI Urban Energy, Flexibiliteit in de gebouwde omgeving: wegwijzer voor ondernemers (2021).
5	BDH, Installatiemonitor – Praktijkprestaties van warmtepompen in Nederland (2020).
6	TenneT, Flexibiliteit en Warmte in de Gebouwde Omgeving – Analyse van kansen en randvoorwaarden voor systeemintegratie van duurzame warmte in de gebouwde omgeving (2021).
7	RVO & TKI Urban Energy, In-home energy flexibility protocols (2020)
8	TNO, Unlocking flexibility of hybrid heat pumps (2019).
9	Verrekenprijzen TenneT, periode 01-02-2020 t/m 01-02-2021, https://www.tennet.org/bedrijfsvoering/ExporteerData.aspx
10	https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/Publications/Technical_Publications/Dutch/2017_TenneT_Market_Review.pdf
11	Recoy – Sjoerd Wittkampf
12	Milieu Centraal https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/zonnepanelen/hoe-werken-zonnepanelen/
13	KNMI: https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie
14	https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2020/10/08/wetsvoorstel-afbouw-salderingsregeling-naar-de-kamer
15	https://www.buienradar.nl/nederland/weerbericht/blog/winters-woordenboek-183c7c
16	https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/smart-grid-interactive-office-buildings-00033276
17	https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/smart-energy-platform-for-home-appliances-00031757
18	https://loenenenergie.nl/loenen-energie-neutraal/van-het-gas-af/
19	https://ispt.eu/projects/encore/
20	https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/standard-grids-smart-homes-een-ideale-combinatie-00018993

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.

Bronnen (II)

#	Bron
21	https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/4017300/391573280458537.pdf
22	https://www.rvo.nl/sites/default/files/2015/09/5339-IPIN-FS-Couperus%20%5Bweb%5D.pdf
23	https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/university-campus-operating-as-a-self-regulated-network-00031584
24	https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/flex-e-homes-00033427
25	https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/OTE_Rapport_Afwegingskader_verzwaren_tenzij_128.pdf
26	https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/84672NED?q=elektriciteit

Copyright © 2021 Accenture. All rights reserved.