

De rol van slimme apparaten bij netcongestie op het laagspanningsnet

Een analyse van flexibiliteitsmogelijkheden, interoperabiliteit en beleidsopties



TNO 2024 R12069 – November 2024

De rol van slimme apparaten bij netcongestie op het laagspanningsnet

Een analyse van flexibiliteitsmogelijkheden,
interoperabiliteit en beleidsopties

Auteurs	Hanna van Sambeek Richard Westerga Wilco Wijbrandi Mente Konsman Isaï Magan Floris Taminiau
Rubricering rapport	TNO Publiek
Aantal pagina's	109 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	2
Programma	Kennis voor energiebeleid
Projecttitel	KVE 2024 Flexanalyse laagspanning
Projectnaam	Prioritering sturen van apparaten in laagspanningsnetten
Projectnummer	060.60584
Met inhoudelijke expertise van	Leo Bakker, Magiel Bruntink, Juan Giraldo Chavarriaga, Michel Emde, Richard Kemp, Jorrit Nutma, Floris Uleman, Olav Vijlbrief

Dit project is gefinancierd als onderdeel van het onderzoeksprogramma Energietransitie Studies onder regie van de directie Klimaat van het DG Energie en Klimaat van het ministerie van KGG met als doel het leveren van kennis voor energiebeleid.

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2024 TNO

Samenvatting

Nederland heeft steeds vaker te maken met krapte op het elektriciteitsnet – zogenoemde netcongestie. Dit rapport onderzoekt de rol van slimme apparaten bij netcongestie in de gebouwde omgeving, door een analyse van flexibiliteit, interoperabiliteit en beleidsopties.

Uit dit onderzoek blijkt dat er in 2030 al sprake kan zijn van netcongestie bij buurten die nog niet verzwaard worden. Door de inzet van energieflexibiliteit en slimme apparaten in deze buurten kan netcongestie in veel gevallen worden voorkomen, maar soms zullen er andere of aanvullende maatregelen nodig zijn.

Het rapport maakt ook inzichtelijk wat er technisch nodig is om de apparaten slim te maken en de flexibiliteit te benutten: een interoperabel en open communicatieprotocol, financiële prikkels en een technisch vangnet. Voor de uitwerking zijn verschillende organisaties aan zet en er moet goed met elkaar worden afgestemd. Daarom is coördinatie vanuit de Rijksoverheid belangrijk.

Het project is uitgevoerd op verzoek van het Ministerie van Klimaat en Groene Groei en gefinancierd met subsidie uit het onderzoeksprogramma Kennis voor energiebeleid.

Aanleiding

Laagspanningsnetten (LS-netten) zijn aangelegd voor 1 tot 1,5 kW gelijktijdige vermogensvraag per aansluiting. Lang was dit genoeg voor kleinverbruikers zoals huishoudens, bedrijven en maatschappelijke instellingen. Echter, door de energietransitie hebben aansluitingen aanzienlijk meer gelijktijdig vermogen nodig – 5 kW (of hoger) – om volledig op elektriciteit te draaien. Ondanks het feit dat netbeheerders maximaal inzetten op verzwaring van netten, zijn er buurten waar verzwaring (nog) niet gepland is en waar bij het uitblijven van maatregelen problemen kunnen gaan ontstaan.

De overbelasting van het elektriciteitsnet is niet constant aanwezig, maar piekt op bepaalde momenten gedurende een dag of gedurende het jaar. Door de inzet van slimme apparaten kan de piek verspreid worden over een langere periode wat netcongestie helpt voorkomen. Slimme apparaten als de norm is onderdeel van het Landelijk Actieprogramma Netcongestie om netcongestie aan te pakken, en aanleiding voor dit onderzoek.

Doel en aanpak

Het hoofddoel van dit onderzoek is tweedelig:

- (1) het kwantificeren van potentiële flexibiliteit van warmtepompen en EV-laders in relatie tot netcongestie, door modellering.
- (2) inzichten in wat er technisch nodig is om de inzet van flexibiliteit van kleinverbruikers mogelijk te maken. Dit is een kwalitatief onderzoek met inzichten en analyses van interne en externe experts.

Daarnaast is een kwalitatief onderzoek gedaan voor andere apparaten dan warmtepompen en EV-laders en een verkenning van congestiemechanismen in het buitenland.

Scope

Krapte op het elektriciteitsnet (netcongestie) komt voor op verschillende spanningsvlakken: hoog-, midden-, en laagspanning, wat ook invloed heeft op elkaar. Zo kan onvoldoende ruimte op het hoogspanningsnet (HS-net) leiden tot beperkingen op onderliggende laagspanningsnetten (LS-netten). Dit onderzoek gaat specifiek in op netcongestie op laagspanningsnetten in de gebouwde omgeving.

Netcongestie kan veroorzaakt worden door tijdelijk te veel opwek van stroom (invoeding op het net) *of* door te veel gebruik van stroom (afname van het net). In het kwantitatieve onderzoek van dit rapport wordt bepaald of netcongestie bij afname van stroom gaat optreden en in hoeverre de inzet van de potentiële flexibiliteit van EV-laders en warmtepompen daar een oplossing voor kan zijn. Dit onderzoek richt zich niet op overbelasting door teveel invoeding van zon-PV.

Simulaties zijn gedaan voor de jaren 2030 en 2035, voor een selectie van buurten die niet voor 2035 worden verzwaard en waar overbelasting dreigt. Dit rapport geeft inzicht in nut en noodzaak van de inzet van flexibiliteit bij kleinverbruikers om overbelasting van het elektriciteitsnet door teveel afname te voorkomen.

Dit rapport onderzoekt het potentieel van flexibiliteit en slimme apparaten als oplossing voor netcongestie. Andere maatregelen - zoals communicatie, gedragsveranderingen, gebruik van batterijen – zijn niet onderdeel van dit onderzoek.

Na het simuleren van de potentiële flexibiliteit zoomt het rapport in op het ontsluiten ervan. We onderzoeken hoe apparaten slim gemaakt kunnen worden door een verkenning van de laatste stand van zaken in binnen- en buitenland rondom de onderwerpen interoperabiliteit, activeringsmechanismen en systeemarchitectuur. Hier is het ontsluiten van flexibiliteit voor verschillende toepassingen onderzocht omdat slimme apparaten niet alleen voordelen hebben voor netcongestie.

De volgende paragrafen gaan in op netcongestie en flexibiliteit, gevolgd door aanbevelingen voor het ontsluiten van de flexibiliteit en de rollen en regie in de uitvoering.

Netcongestie en flexibiliteitsmogelijkheden

Uit dit onderzoek blijkt dat er in 2030 al sprake kan zijn van netcongestie bij buurten die nog niet verzwaard zijn. Door in deze buurten net-intensieve apparaten flexibel te gebruiken, kan netcongestie in veel gevallen worden voorkomen, maar soms zullen er andere of aanvullende maatregelen nodig zijn.

In deze studie zijn voor 20 buurten berekeningen gemaakt van de netbelasting in de zomer en in de winter in het jaar 2030 en 2035, met- en zonder slimme inzet van apparaten. Deze buurten zijn geselecteerd uit de ca. 14.000 buurten in Nederland op basis van een aantal kenmerken, zoals het type woningen en bouwjaar, en buurten waarvoor geldt dat het elektriciteitsnetwerk nog niet verzwaard is. De buurten zijn geselecteerd uit de drie archetypen: *naoorlogse rijtjeshuizen*, *portiekwoningen* en *vrijstaande huizen*. Deze typeringen representeren samen ca. 55% van alle buurten in het land. Het type *rijtjeshuizen* vertegenwoordigt ca. 3300 buurten, het type *portiekwoning* ca. 1000 en het type *vrijstaand* ca. 2600. In eerdere studies (project, 2024) zijn in totaal acht archetypen gedefinieerd, waar naast de genoemde drie ook de *pre-woningwet*, *vooroorlogse woningen*, *corporatiewoningen* en *platteland* onder vallen (bij elkaar 45% van alle buurten in NL), en *weinig bewoning & industrie*.

Er is vooral rekening gehouden met net-intensieve apparaten omdat die veel elektriciteit vragen op hetzelfde moment en in grote aantallen. Dit geldt met name op voor *warmtepompen* en *laadpunten voor elektrische auto's*. Deze apparaten zijn in de berekeningen meegenomen. Naast deze net-intensieve apparaten zijn er meer grote elektriciteitsvragers. Denk bij huishoudens bijvoorbeeld aan de inductiekookplaat en bij horeca en kleine supermarkten aan koelinstallaties. De gelijktijdigheid van de elektriciteitsvraag hiervan is echter een stuk lager dan van de warmtepomp en het laadpunt, of de vraag overlapt minder met momenten waarop het stroomnet zwaar belast wordt. Deze apparaten en het belang voor netcongestie is uitgelegd in een kwalitatieve analyse.

Het uitgangspunt voor de beschikbare flexibiliteit is dat er geen significant comfortverlies is van de consument. Voor warmtepompen en ruimteverwarming betekent dit een maximale temperatuurdaling in huis van 0,8 graden gedurende de congestieperiode¹. Voor EV-laden is de auto bij gewenste vertrektijd geladen met de energie die oorspronkelijk is gevraagd.

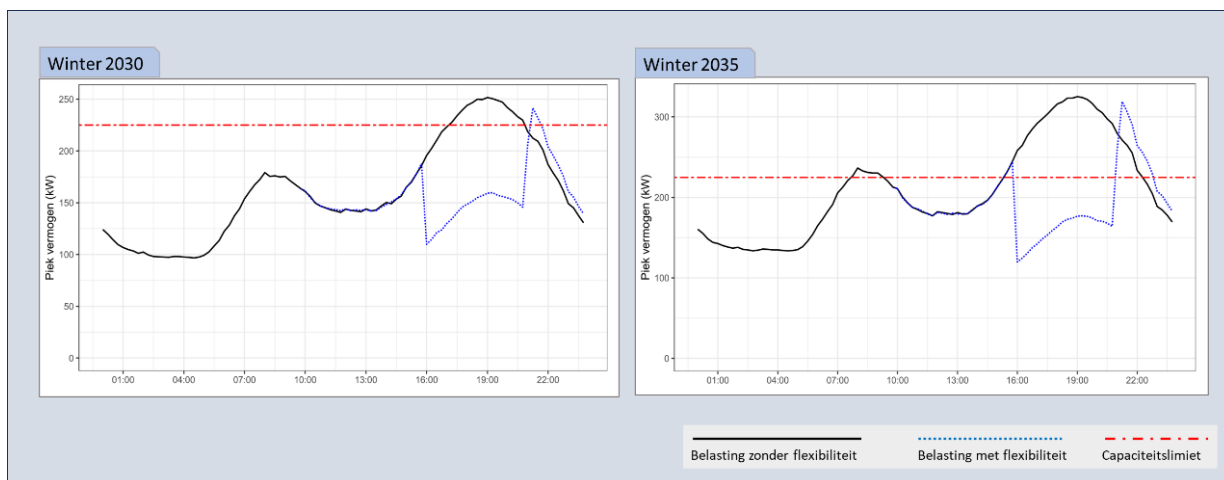
Warmtepompen en laadpunten kunnen flexibiliteit bieden op het laagspanningsnet. Afhankelijk van zomer of winter is het aandeel in de hoeveelheid verwachte flexibiliteit van warmtepompen en laadpunten verschillend. In de zomer leveren vooral de privé- en publieke laadpunten de flexibiliteit (elk ca. 40% van het totaal). In de winter leveren de warmtepompen een significante bijdrage. Uit de berekende set van buurten blijkt dat het aandeel in verwachte flexibiliteit van warmtepompen in de winter ongeveer 60% is en laadpunten 40%. De verhoudingen verschillen per type buurt. Dit onderzoek laat zien dat flexibiliteit van zowel laadpunten als van warmtepompen nodig is.

In de onderzochte buurten, die nog niet verzwaard worden, zijn slimme apparaten al nodig in 2030 en steeds meer nodig in 2035 om overbelasting te voorkomen.

Slimme apparaten zijn in staat om hun vermogensvraag te verlagen of uit te stellen zonder dat het leidt tot te veel nadelige gevolgen voor de gebruiker. Omdat een elektrische auto tijdelijk minder snel oplaadt, hoeft het niet te betekenen dat de auto niet volgeladen is op het gewenste moment. Een warmtepomp die tijdelijk minder warmte afgeeft, leidt niet tot een huis dat meteen te koud is. Het inzetten van deze flexibiliteit kan helpen om afname-netcongestie te verminderen. De resultaten zijn gebaseerd op de aanname dat de gebruiker beperkt comfortverlies ervaart of wil ervaren. Alleen die flexibiliteit is ingezet die rekening houdt met de temperatuur in de woning en met het laden van de elektrische auto volgens de wens van de gebruiker.

Een indruk van de effectiviteit van de beschikbare flexibiliteit in de buurten met voornamelijk vrijstaande huizen is te zien in Tabel 0.1, gebaseerd op berekeningen zoals in het voorbeeld in Figuur 0.1. De grafieken in de figuur laten zien wat de inzet van flexibiliteit kan betekenen in geval van afnamenetcongestie, in dit voorbeeld voor een buurt in de winter in 2030 en 2035. Er is al duidelijk te zien dat de afname (gebruik van elektriciteit) toeneemt van 2030 naar 2035, en daarmee ook netcongestie. Maar ook dat de inzet van flexibiliteit een duidelijk effect heeft in het verminderen van netcongestie. Wanneer deze berekeningen voor verschillende buurten met vrijstaande huizen bij elkaar worden gezet ontstaat een beeld zoals in Tabel 0.1.

¹ Een uur voor en een uur na congestie is de temperatuur hoger dan de ingestelde temperatuur. Tijdens congestie mag de temperatuur maximaal 0,8 graden dalen.

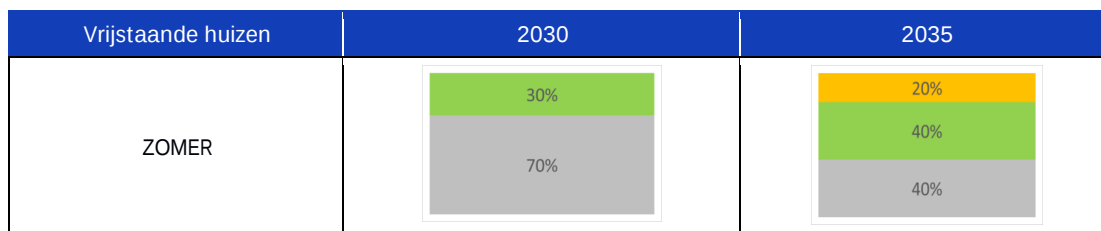


Figuur 0.1: Typisch voorbeeld van netbelasting in een voorbeeld buurt in 2030 (links) en 2035 (rechts), voor een gemiddelde dag in de winter. De zwarte lijn is de belasting zonder de inzet van flexibiliteit, de blauwe lijn is de belasting na de inzet van het maximale potentieel aan flexibiliteit. De mate waarin flexibiliteit nodig is om onder de maximale capaciteit te blijven, de rode lijn, is een indicatie van de effectiviteit van de inzet van flexibiliteit. Er zijn twee pieken te zien, overdag en in de avond. Overdag is het de opwekpiek, afkomstig van zon-PV. 's Avonds is het de afnamepiek van alle elektriciteitsvragers. Voor die afnamepiek is de flexibiliteit ingezet (blauwe lijn), op momenten dat er netcongestie is.

Wanneer alle resultaten van de onderzochte set van buurten naast elkaar worden gezet is de verwachting dat in 2030 in meer dan de helft van de buurten te veel gevraagd wordt van het lokale LS-net, met name in de winterperiode. In het merendeel van de geselecteerde buurten is dan meestal voldoende potentiële flexibiliteit beschikbaar. Richting 2035 is er meer afnamecongestie, in de winter zowel als in de zomer, waarbij er een steeds groter aandeel van de potentiële flexibiliteit nodig is om de afnamecongestie weg te nemen. In 2035 in de winter is bij het type rijtjeswoningen in 33% van de buurten en bij het type vrijstaande woningen in 50% van de buurten sprake van een toestand waarbij meer dan 75% van de potentiële flexibiliteit nodig is om netcongestie te voorkomen. Er is een expertaannname gedaan dat een benutting van de potentiële flexibiliteit boven 75% een uitdaging vormt. De potentiële flexibiliteit wordt beperkt door comfortwensen van de gebruiker, het communicatieprotocol en activeringsmechanismen (hoe moet de flex ingezet worden + prikkel), waardoor de echt benutbare flexibiliteit minder is.

Tabel 0.1: Overzicht van de effectiviteit van de inzet van flexibiliteit in buurten met vrijstaande huizen in winter en zomer voor 2030 en 2035. Deze beelden gelden voor de set van onderzochte buurten en mogen niet zonder meer vertaald worden naar heel Nederland. De betekenis van de kleuren is als volgt: Grijs = geen congestie, Groen = Flexibiliteit is nodig, maar minder dan 50% van het potentieel, Oranje = Flexibiliteit is nodig, maar meer dan 50%, Rood = Flexibiliteit is nodig, meer dan 75% van het technische potentieel.

Vrijstaande huizen	2030	2035
WINTER	20% 30% 10% 40%	50% 10% 30% 10%



Voor de onderzochte set van buurten geldt dat in 2030, maar vooral in 2035 er momenten zijn waar de beschikbare flexibiliteit niet voldoende is om afname-netcongestie te voorkomen. Door het inzetten van flexibiliteit kan de afnamepiek verlaagd worden. Echter, de uitkomst van de analyse van deze buurten is dat afnamecongestie in sommige gevallen niet kan worden voorkomen zonder extra maatregelen. De resultaten zijn gebaseerd op de voorwaarde dat gedurende de congestieperiode de maximale daling op de ingestelde ruimtetemperatuur 0,8 graden is, en dat de buffervaten van de warmtepomp installatie binnen ingestelde grenzen blijven. Voor EV-laden is de voorwaarde dat de auto op de gewenste vertrektijd geladen is met de energie die oorspronkelijk is gevraagd. Wanneer deze voorwaarden deels worden losgelaten zal er in theorie meer flexibiliteit beschikbaar zijn. Bewustwording en communicatie of aanpassing van elektriciteitsvraag met de juiste prikkels kan hierbij helpen. Andere aanvullende maatregelen zijn bijvoorbeeld het tijdelijk bijplaatsen van flexibele productie of opslag, of een terugvalmechanisme om stroomuitval te voorkomen.

Flex ontsluiten om het LS-net beter te benutten

Om in de toekomst een flexibel elektriciteitssysteem te hebben dat kan inspelen op netcongestie en kan meebewegen met schommelingen in elektriciteitsopwekking, is het van belang dat de flexibiliteit van apparaten wordt benut. Om apparaten slim te maken is het noodzakelijk dat er afspraken worden gemaakt over het toepassen van gestandaardiseerde communicatieprotocollen bij bestaande en nieuwe installaties, ondersteund door verdienmodellen voor alle betrokken partijen. Dit onderzoek geeft inzicht in de stappen die gezet moeten worden om de inzet van flexibiliteit van kleinverbruikers mogelijk te maken en de voor- en nadelen van verschillende opties.

Uitgangspunten voor het ontsluiten van flexibiliteit op laagspanningsnetten

Bij het inpassen van energieflexibiliteit in ons energiesysteem hanteren we vanuit de visie van TNO de volgende uitgangspunten:

1. Zoveel mogelijk van de technische energieflexibiliteit benutten door effectieve oplossingen voor interoperabiliteit en activeringsmechanismen.
2. De eindgebruikers moeten controle houden over hun apparaten en over de optimalisatie van de beschikbare energieflexibiliteit, en moeten mee kunnen profiteren van de waarde van de energieflexibiliteit die hun apparaten bieden aan het energiesysteem.
3. Technische lock-ins moeten voorkomen worden. Hierdoor behoudt de eindgebruiker de keuzevrijheid en zijn er minder beperkingen in omzetten van flexpotentieel in benutbare flex.
4. Marktpartijen moeten ruimte houden om te blijven innoveren, zowel qua techniek als proposities.
5. Energieflexibiliteit moet zowel kunnen worden ingezet tegen netcongestie als voor het balanceren van productie en consumptie van (hernieuwbare) elektriciteit.
6. In het ontwikkelen van nieuwe standaarden en mechanismen moet de betrouwbaarheid van het energiesysteem voorop staan.

De weg ernaartoe – aanbevelingen voor het ontsluiten van energieflexibiliteit

Om een flexibel elektriciteitssysteem te realiseren zijn er meerdere ontwikkelingen nodig, met onderlinge afhankelijkheden. Een roadmap kan de realisatie ondersteunen door een groeipad uit te zetten vanuit de huidige situatie, waarbij er bijvoorbeeld gewerkt moet worden met de nu voor handen zijnde interoperabiliteitsoplossingen op apparaten, naar de gewenste eindsituatie met toekomstbestendige oplossingen. Onderstaande aanbevelingen zijn een mogelijk beginpunt van deze roadmap. De aanbevelingen kunnen los van elkaar geïmplementeerd worden, maar creëren synergie wanneer ze tegelijkertijd worden gerealiseerd.

Aanbeveling 1: Zet in op een interoperabel en open communicatieprotocol voor net-intensieve apparaten.

Om energieflexibiliteit te ontsluiten, is een gestandaardiseerd, interoperabel en open protocol nodig voor communicatie tussen slimme apparaten en een EMS (Energie Management Systeem). Dit is een fundament voor opschaling van energieflexibiliteit. Interoperabiliteit voorkomt ook een lock-in en zorgt voor toekomstbestendigheid, zelfs met nieuwe activeringsmechanismen. In een ideaal scenario wordt zo'n standaard pas gekozen wanneer duidelijkheid is over de activeringsmechanismen. Het is echter niet wenselijk om hierop te wachten.

Op dit moment voldoet geen standaard voor het ontsluiten van energieflexibiliteit aan alle voorwaarden. De **S2**-standaard biedt een goede oplossing voor het gebrek aan duidelijkheid over activeringsmechanismen, maar is nog niet breed geïmplementeerd. **EEBus** is bekender, maar is niet in staat snel mee te bewegen met nieuwe activeringsmechanismen. **OCPP** is een goede oplossing voor publiek- en eventueel semipubliek laden van elektrische auto's. **SG Ready** voor warmtepompen heeft een relatief groot marktaandeel, maar is vanwege de eenvoud niet ideaal.

Er is momenteel geen consensus vanuit de markt over de beste oplossing en onvoldoende sturing vanuit de EU. De nationale overheid zal daarom de regie moeten nemen om tot beleid te komen voor een dergelijk protocol. De samenwerking met de markt is wel belangrijk om voor een vlotte implementatie te zorgen.

Aanbeveling 2: Zorg voor een financiële prikkel om congestie op LS-netten te voorkomen.

Een prikkel vanuit de netbeheerders stimuleert eindgebruikers om piekbelasting tijdens netcongestie te verminderen. Dit kan op verschillende manieren vorm krijgen. Het Vlaamse capaciteitstarief is een voorbeeld, waarbij tarieven gebaseerd zijn op piekbelasting. Varianten kunnen tijdsloten of dynamische tarieven op basis van actuele netbelasting omvatten. Nederlandse netbeheerders werken aan een alternatief nettatarief voor kleinverbruikers, verwacht rond 2030. Hoe de verschillende activeringsmechanismen in de aanbevelingen exact ingevuld moeten worden is buiten de scope van dit rapport. Coördinatie tussen slimme apparaten, idealiter via een EMS, is vaak wel nodig.

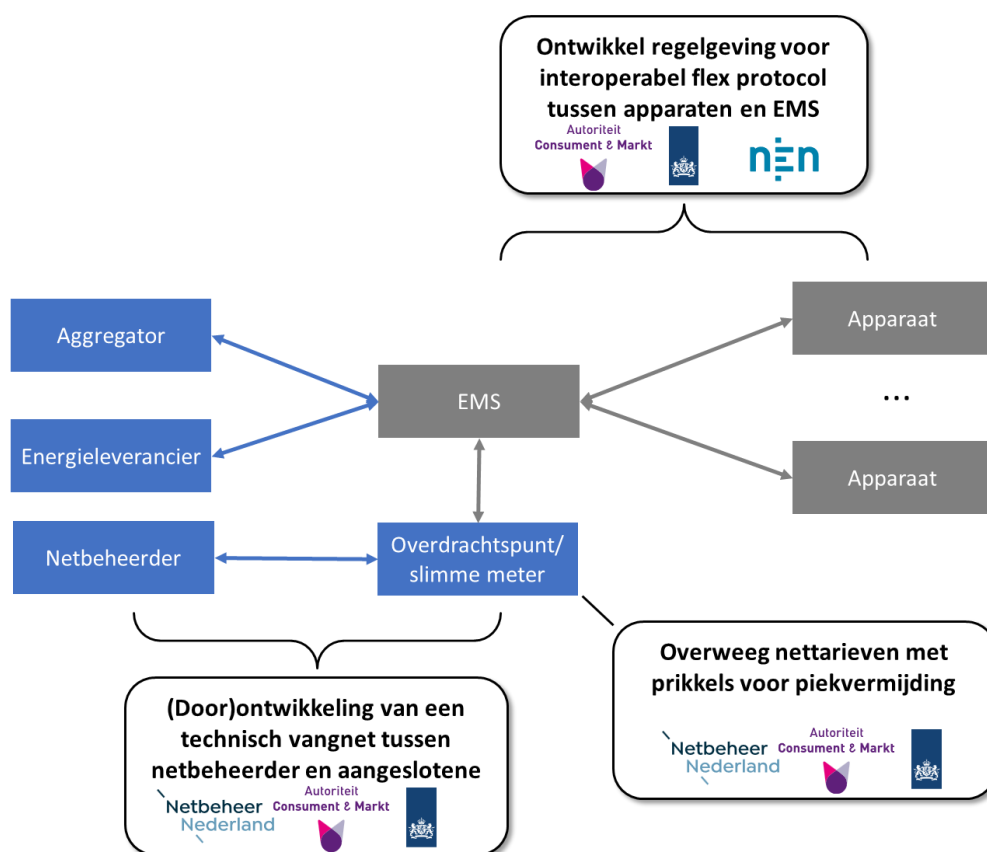
Aanbeveling 3: Zet een technisch vangnet in om stroomuitval te voorkomen voor de gevallen dat er niet genoeg flexibiliteit is.

Om netcongestie op te lossen zal de netbeheerder energieflexibiliteit moeten mobiliseren via marktpartijen en nettatarieven. Er zullen echter ook momenten zijn waarop dat niet voldoende is, of er kan sprake zijn van een technische storing. Een technisch vangnet kan helpen om een overbelasting (stroomstoring) te voorkomen. Daarmee kan de netbeheerder een noodsignaal sturen waarbij, op aansluitingsniveau, capaciteitsbeperkingen worden opgelegd die verplicht zullen moeten worden opgevolgd. Een limiet op aansluitingsniveau zorgt voor keuzevrijheid binnen de beperking. Voor de realisatie zijn stappen nodig:

specificeren van het activeringsmechanisme, opstellen van een toepassingskader en uitwerken van een eventuele compensatie voor de eindgebruiker, rekening houdend met situaties met- en zonder EMS. Netbeheer Nederland heeft in de Werkgroep Technische Oplossingen al een eerste aanzet opgesteld.

Rollen en regie

De verantwoordelijkheid voor bovenstaande aanbevelingen liggen bij verschillende partijen, en samenwerking is nodig in de uitvoering. In Figuur 0.2 zijn de aanbevelingen en rollen afgebeeld op de waardeketen van energieflexibiliteit.



Figuur 0.2: Overzicht energieflexibiliteitsmaatregelen afgebeeld op de energieflexibiliteit waardeketen.

De blauwe rollen en componenten bevinden zich voor de meter (inclusief de slimme meter zelf), terwijl de grijze componenten de coördinatie van energieflexibiliteit in het huishouden voor hun rekening nemen. In het figuur is ook per aanbeveling aangegeven welke partijen hiervoor de regie moeten oppakken. Uiteraard zullen deze partijen ook andere stakeholders, zoals consumenten en apparaatfabrikanten, moeten betrekken bij het uitwerken van de aanbevelingen.

Inzetten op interoperabiliteit van apparaten (aanbeveling 1) is een 'no regret' en zou de hoogste prioriteit moeten hebben. Aanbeveling 2 en 3 kunnen zover als mogelijk parallel hieraan uitgevoerd worden. Een goede interoperabiliteit tussen apparaten en EMS zal er namelijk voor zorgen dat aanbeveling 2 en 3 effectiever geïmplementeerd kunnen worden.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Afkortingen en begrippen	11
1 Inleiding	12
1.1 Achtergrond	12
1.2 Energieflexibiliteit	13
1.3 Vraagstelling	13
1.4 Doel van dit project	14
1.5 Scope en methodologie	14
1.6 Aanpak en leeswijzer	15
2 Flexibiliteit op het laagspanningsnet	16
2.1 Rekenen aan Flexibiliteit	16
2.2 Bijdragen apparaten aan verwachte flexibiliteit: Verwachtingswaarden.....	19
2.3 Mate van congestie en potentieel aan flexibiliteit: Kansberekeningen.....	26
2.4 Kwalitatieve analyse	30
2.5 Conclusies flexibiliteitanalyses	40
3 Interoperabiliteit voor het ontsluiten van energieflexibiliteit op apparaten.....	43
3.1 Energieflexibiliteit in het laagspanningsnet	43
3.2 Bronnen van energieflexibiliteit.....	44
3.3 Toepassingen voor energieflexibiliteit	47
3.4 Het activeringsmechanisme voor energieflexibiliteit	50
3.5 Technische architectuur.....	54
3.6 Verlies van benutbare energieflexibiliteit.....	61
3.7 Standaarden voor het ontsluiten van energieflexibiliteit	64
3.8 Energieflexibiliteit ontsluiten van bestaande apparaten.....	73
3.9 Verdere bronnen.....	73
3.10 Conclusies interoperabiliteit	74
4 Congestiemaatregelen internationaal	76
4.1 Overzicht congestiemaatregelen in het buitenland	76
4.2 Lessons learned	89
5 Visie en aanbevelingen.....	91
5.1 Visie op energieflexibiliteit voor het beter benutten van het laagspanningsnet	91
5.2 Technische randvoorwaarden	92
5.3 Aanbevelingen.....	93
5.4 Algemene adviezen.....	97
Referenties	99
Bijlagen	
Bijlage A: Methodologie Verwachtingswaarden en Kansberekeningen	102
Bijlage B: Bronvermelding kwalitatieve analyse	108

Afkortingen en begrippen

Afkorting	Omschrijving
CoC	Code of Conduct
EEBus	Een verzameling van protocollen voor energieflexibiliteit
EMS	Energy Management System - energiemanagementsysteem
EV	Elektrisch Voertuig – in dit rapport verwijst EV naar elektrische auto's
EZK	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat – sinds juli 2024 Ministerie van Klimaat en Groene Groei
HEMS	Home Energy Management System
HS	Hoogspanning
kW	kiloWatt - vermogen
KGK	Ministerie van Klimaat en Groene Groei
LAN	Landelijke Actieagenda Netcongestie
LAN-LS	Actieagenda Netcongestie op Laagspanningsnetten
LS	Laagspanning
LS-net	Laagspanningsnet
MSR	Middenspanningsruimte. Wordt ook trafo of transformatorhuisje genoemd. Een netstation waar middenspanning wordt omgezet naar laagspanning - 230V. De stroom is daarmee geschikt voor gebruik door huishoudens.
OCP	Open Charge Point Protocol, een protocol voor het opladen van EV's.
OEM	Original Equipment Manufacturer
S2	Een standaard voor energieflexibiliteit
SG-Ready	Smart Grid Ready, een protocol voor energieflexibiliteit
Trafo	Transformator, zie MSR
V2G	Vehicle to Grid
V2H	Vehicle to Home
WP	Warmtepomp
Zon-PV	PV-opwek. Opwek van elektriciteit door zonnepanelen.

Begrip	Omschrijving
Activeringsmechanisme	Een manier om te laten weten hoe energieflexibiliteit ingezet moet worden, in combinatie met een prikkel voor de eindgebruiker
Energieflexibiliteit	De mogelijkheid van een apparaat om zijn energieverbruik of productie op een ander moment plaats te laten vinden.
Comfortwens	Wensen van de gebruiker zoals een opgeladen EV op een bepaald tijdstip of geen merkbare temperatuurverandering in een kamer.
Congestie management	Verwijst in dit onderzoek naar omgaan met congestie op het laagspanningsnet en niet naar de juridische term.
GO-e	MOOI project Elektrificatie Gebouwde Omgeving https://www.projectGO-e.nl/

1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft inzicht in de achtergrond van het project, de onderzoeksvragen en scope. Het sluit af met een leeswijzer.

1.1 Achtergrond

Om in de toekomst flexibiliteit in het elektriciteitssysteem te hebben dat kan inspelen op netcongestie en kan meebewegen met schommelingen in elektriciteitsopwek, is het van belang dat de flexibiliteit van apparaten kan worden benut. Minister Jetten stelde in deze [kamerbrief](#) dat slimme apparaten de norm worden omdat dit *“noodzakelijk is om efficiënt gebruik te maken van het elektriciteitsnet en dus om verduurzaming en woningbouw mogelijk te maken”*.

Recent is bekend geworden dat de regionale netbeheerders grote uitdagingen zien in het voldoen in vraag aan capaciteit op het laagspanningsnet. Laagspanningsnetten zijn aangelegd om aan 1 tot 1,5 kW gelijktijdige vermogensvraag per aansluiting te voldoen. Echter, door de energietransitie hebben aansluitingen aanzienlijk meer (gelijktijdig) vermogen nodig, voor huishoudens 5 kW of zelfs hoger in bepaalde gevallen, om volledig op elektriciteit te draaien. Netbeheerders werken hard aan het verzwaren van LS-netten, uitgaande van een gelijktijdig vermogen van 5kW per aansluiting, zogenaamd ‘all electric proof’. De verwachting is echter dat niet alle buurten verzwaard zijn voor 2035. In januari 2024 is een actieagenda (Landelijk Actieprogramma Netcongestie, 2024) opgesteld met maatregelen om netcongestie op het laagspanningsnet aan te pakken. De acties worden uitgevoerd als onderdeel van het Landelijk Actieprogramma Netcongestie.

Ondanks het feit dat netbeheerders maximaal inzetten op verzwaring van LS-netten zijn er buurten waar verzwaring (nog) niet gepland is en waar problemen gaan ontstaan. In de kamerbrief bij de actieagenda netcongestie laagspanning (Landelijk Actieprogramma Netcongestie, 2024) staat geschreven: “Als er geen maatregelen worden genomen kunnen tot 2030 anderhalf miljoen kleinverbruikers last krijgen, van knipperende lampen en apparatuur die niet goed werkt tot risico op storingen of afschakeling van afnemers.”

De actieagenda in onderdeel van het Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN) – een samenwerking tussen netbeheerders, overheden en marktpartijen. LAN werkt aan drie oplossingsrichtingen: (1) sneller bouwen, (2) beter benutten, en (3) slimmer inzicht. Onder oplossingsrichting 2 valt het vergroten van het potentiële flexibiliteitsaanbod in LS-netten waarbinnen maatregelen staan hoe slimme en aanstuurbare apparaten de norm worden ([hoofdstuk 4.1](#)). Dit rapport is het resultaat van onderzoek naar twee maatregelen uit de actieagenda:

Maatregel 29: “Onderzoek doen naar de potentiële bijdrage van slim aanstuurbare apparaten, waaronder zonnepanelen, laadpalen en warmtepompen aan het efficiënt netgebruik.”

Met de daarbij beschreven impact: “Inzicht in welke mate de verschillende type apparaten flexibiliteit kunnen bieden en kunnen bijdragen aan het voorkomen van congestie.”

En een voorstudie naar maatregel 30:

“Eisen stellen aan interconnectiviteit en interoperabiliteit.”

Met de daarbij beschreven impact:

“Interconnectiviteit zorgt ervoor dat apparaten met elkaar kunnen communiceren.

Interoperabiliteit zorgt ervoor dat gebruik gemaakt kan worden van met elkaar communicerende apparaten.”

1.2 Energieflexibiliteit

Door gebruik te maken van energieflexibiliteit zou verzwaring van het laagspanningsnet uitgesteld of wellicht voorkomen kunnen worden. **Energieflexibiliteit is de mogelijkheid van een apparaat om zijn energieverbruik (of productie) op een ander moment plaats te laten vinden.** Het uitgangspunt is dat de gebruiker minimaal of geen comfortverlies ervaart. Het biedt een manier om beter gebruik te maken van de capaciteit van het elektriciteitsnet, maar kan ook ingezet worden voor ander doeleinden, zie *3.3 Toepassingen Voor energieflexibiliteit*, bij voorbeeld vraag en aanbod in het elektriciteitsnet beter op elkaar af te stemmen, wat uiteindelijk kan leiden tot betere inpassing van hernieuwbare bronnen in het energiesysteem. Energieflexibiliteit voor netcongestie of andere doeleinden staan dus niet los van elkaar, en de analyse van mogelijkheden om flexibiliteit te ontsluiten gaat verder dan alleen netcongestie.

Bij het activeren van flexibiliteit ten behoeve van netcongestie gaan we in deze studie uit van energieflexibiliteit zonder significante impact op het comfort van de eindgebruiker, zie *1.5 Scope* voor de aannames.

1.3 Vraagstelling

Dit rapport geeft antwoord op de volgende hoofdvragen:

- A. Welke apparaten bieden significant flexibiliteit en kunnen daarmee een grote rol spelen in het voorkomen van netcongestie aan de afname-zijde?
 - o Deelvraag A1: Op basis van kwalitatieve analyse: wat zijn de meeste net-intensieve apparaten?
 - o Deelvraag A2: Van de geselecteerde meest net-intensieve apparaten: hoe groot is hun potentie en is dit significant voor het oplossen van afnamenetcongestie in de periode 2030-2035?
- B. Welke eisen aan interconnectiviteit en interoperabiliteit zijn nodig om het flexpotentieel effectief te kunnen ontsluiten?
- C. Welke mogelijkheden zijn er om al geïnstalleerde apparaten aan de eisen voor interconnectiviteit en interoperabiliteit te laten voldoen?
- D. Welke scope en timing van stimulerend of normerend beleid t.a.v. eisen aan interconnectiviteit en interoperabiliteit van apparaten wordt geadviseerd? Op welke apparaten zou eerst de focus moeten liggen?
- E. Welke lessen uit het buitenland voor interconnectiviteit en interoperabiliteit zijn er en wat kunnen we daarvan leren voor Nederlands beleid?

Het resultaat van dit onderzoek geeft inzicht in de prioriteiten en mogelijkheden om beleid te vormen voor slim aanstuurbare apparaten.

1.4 Doel van dit project

Dit rapport concentreert zich op:

- 1) het kwantificeren van de flexibiliteitspotentie van de twee meest net-intensieve **energieconsumerende** apparaten (warmtepompen en EV-laders) waardoor ze kunnen bijdragen aan het voorkomen of oplossen van netcongestie (Hoofdstuk 2) en
- 2) het in kaart brengen van de factoren die het ontsluiten van deze potentiële flexibiliteit op het laagspanningsnet beïnvloeden zoals de interoperabiliteits- en connectiviteit van deze apparaten (Hoofdstuk 3).

Op basis van de bevindingen in Hoofdstuk 2 en Hoofdstuk 3 en lessen uit landen om ons heen (Hoofdstuk 4) doen we aanbevelingen voor beleid gericht op het ontsluiten van deze potentiële flexibiliteit in de periode nu tot 2035.

1.5 Scope en methodologie

In dit rapport ligt de focus op het activeren van energieflexibiliteit om congestie te voorkomen. Energieflexibiliteit kan ook op andere manieren van waarde zijn voor het energiesysteem. Een uitdaging daarbij is dat activeren van energieflexibiliteit voor bijvoorbeeld het in balans houden van vraag- en aanbod ook weer tot congestie kan leiden. Een studie uit het recent uitgevoerde GO-e project (Verhoeven, van der Holst, & Kok, 2024) laat zien dat wanneer consumenten op grote schaal met slimme apparaten reageren op marktprijzen er op nieuwe momenten congestie kan ontstaan. Een gedetailleerde analyse van die ontwikkeling is onderdeel van een andere maatregel in de actieagenda en daarom niet onderdeel van dit project.

Voor de kwantitatieve analyse worden twee verschillende methodieken gebruikt, doorontwikkeld vanuit het project GO-e. Hiermee simuleren we (1) de potentiële flexibiliteit van warmtepompen en EV-laadpunten, en (2) de kans dat congestie optreedt en de kans dat flexibiliteit hiervoor een oplossing kan bieden.

In de scenario's simuleren we het verbruik en flexibiliteit van warmtepompen en EV-laders. Het uitgangspunt voor de beschikbare flexibiliteit is dat er geen significant comfortverlies is van de consument en dat wordt voldaan aan de technische randvoorwaarden. Comfort is een subjectieve waarneming. De randvoorwaarde voor ruimteverwarming is een maximale temperatuurdaling in huis van 0,8 graden gedurende de congestieperiode². Technische voorwaarden voor de warmtepompinstallatie betekent dat de buffervaten niet onder of boven bepaalde temperaturen mogen komen. Voor EV-laden is de auto bij gewenste vertrektijd geladen met de energie die oorspronkelijk is gevraagd.

Hoofdstuk 3. *Interoperabiliteit Voor het ontsluiten van energieflexibiliteit op apparaten* richt zicht uitsluiten op de geautomatiseerde activatie van flex. Dat betekent dat we de "comfortwens" van de eindgebruiker als een gegeven beschouwen.

Buiten scope van dit onderzoek is analyse van prikkels die nodig zijn om flexibel netgebruik te stimuleren (nettarieven, congestiemanagement, sociale prikkels, prijsprikkels) en analyse van en oplossingen voor netcongestie op het midden- en hoogspanningsnet.

² Een uur voor en een uur na congestie is de temperatuur hoger dan de ingestelde temperatuur. Tijdens congestie mag de temperatuur maximaal 0,8 graden dalen. De expertaannname dat dit niet tot (significante) comfortverlies leidt komt uit Project GO-E.

1.6 Aanpak en leeswijzer

Het rapport is opgebouwd zoals volgt:

- In Hoofdstuk 2. *Flexibiliteit Op het laagspanningsnet* analyseren we de theoretische flexibiliteit van EV-laadpunten en warmtepompen door middel van scenario's. De lezer die meer wil weten over de methodologie en de gebruikte tooling verwijzen we naar Bijlage A. In 2.4 wordt ook een kwalitatieve analyse gedaan van andere apparaten en specifieke toepassingen van EV-laden en warmtepompen.
- In Hoofdstuk 3. *Interoperabiliteit Voor het ontsluiten van energieflexibiliteit op apparaten* volgt uitleg en analyse van hoe flexibiliteit werkt, in verschillende apparaten en voor verschillende toepassingen. Activeringsmechanismen, technische architectuur en standaarden worden ook uitgelicht. Dit biedt achtergrondinformatie voor de analyse en aanbevelingen voor het ontsluiten van energieflexibiliteit. Het hoofdstuk is zo geschreven dat het ook goed leesbaar is zonder veel voorkennis.
- Hoofdstuk 4. *Congestiemaatregelen Internationaal* bevat een overzicht en analyse van congestiemaatregelen in verschillende Europese landen en het perspectief van de EU. Ontwikkelingen in het buitenland kunnen van waarde zijn voor de strategische keuzes die genomen moeten worden om netcongestie te verhelpen. Verder worden uit deze analyse conclusies getrokken die relevant kunnen zijn als 'lessons learned' om als verrijking te dienen voor het opstellen van beleid.
- Het rapport sluit af met *Visie En aanbevelingen* in hoofdstuk 5.

2 Flexibiliteit op het laagspanningsnet

Dit hoofdstuk gaat in op de potentiële flexibiliteit van net intensieve apparaten, te weten EV-laadpunten en warmtepompen, en de effectiviteit hiervan op afname netcongestie. De lezer die meer wil weten over de kwantitatieve methodologie en de gebruikte modellen wordt verwezen naar Bijlage A. In sectie 2.4 is daarnaast een kwalitatieve analyse gedaan van apparaten die potentieel flexibiliteit kunnen bieden op het laagspanningsnet, zoals batterijen, huishoudelijke apparaten, elektrificatie van horeca en non-horeca en enkele specifieke toepassingen van EV-laden en warmtepompen.

Kernvragen

De eerste kernvraag in het kwantitatieve deel is te bepalen hoeveel de verschillende apparaten bijdragen aan de maximaal potentiële flexibiliteit. Dit hangt af van de omgeving (bijvoorbeeld in welke buurt in Nederland), het onderliggende netwerk (laagspanning) en de groei van het aantal apparaten in verschillende zichtjaren. De tweede kernvraag gaat over de mate waarin flexibiliteit effectief kan zijn voor het wegnemen van afname netcongestie.

2.1 Rekenen aan Flexibiliteit

Flexibiliteit is voor deze analyse als ‘maximum van het technisch potentieel aan flexibiliteit’ gedefinieerd. Omdat deze term vaak voorkomt in dit hoofdstuk zal dit afgekort worden tot ‘potentiële flexibiliteit’. Dat wil zeggen dat er naar het technisch potentieel is gekeken van de verschillende apparaten waarbij er nog geen rekening is gehouden met de praktisch beschikbare flexibiliteit. In de praktijk zal die lager liggen. Hoofdstuk 3 gaat hier verder op in. Een tweede belangrijk aandachtspunt is dat hier alleen gekeken is naar afnamecongestie. De opwek van zon-PV wordt wel meegenomen in de berekeningen omdat dat mogelijke afnamecongestie kan verlichten.

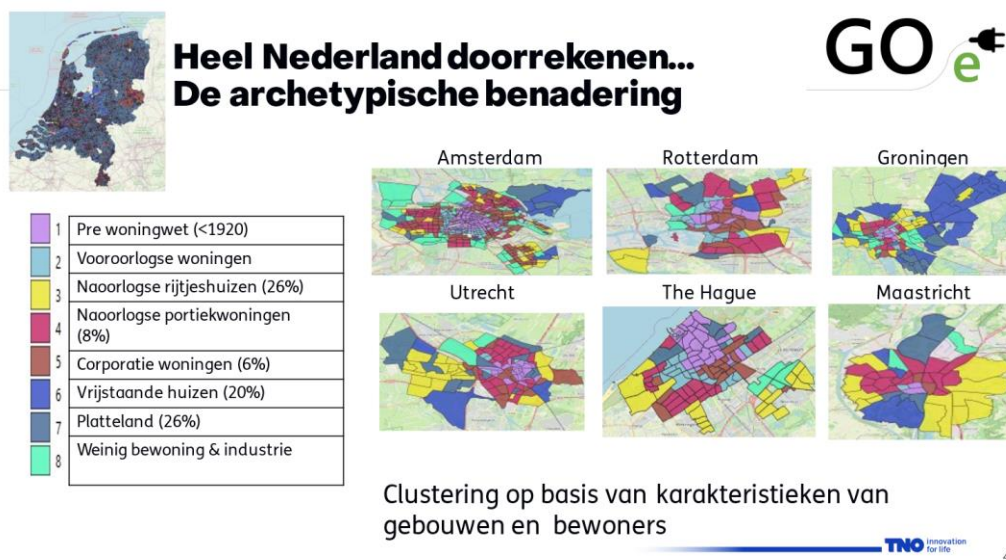
Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van twee verschillende methodieken, voor twee verschillende doelen. Voor het bepalen van de bijdrage van de verschillende apparaten aan de totale flexibiliteit is gebruik gemaakt van een verwachtingswaarde methodiek (FlexMetriek, zie Bijlage A voor de uitleg). Voor het bepalen van de mate van congestie en het potentieel aan flexibiliteit is gebruik gemaakt van een kansberekeningsmethodiek (Convo, zie Bijlage A voor de uitleg). De resultaten van beide aanpakken volgt in de rest van dit hoofdstuk.

De berekening van de potentiële elektrische flexibiliteit is gedaan aan de hand van een representatieve set van buurten in Nederland voor verschillende momenten in de toekomst (2030 en 2035). Bij de selectie van buurten is rekening gehouden met de diversiteit van de buurten in Nederland zodat we een zo goed mogelijk algemeen beeld krijgen. Per geselecteerde buurt wordt op basis van de ingroei van flexibele apparaten (EV-laadpunten, warmtepompen en zon-PV) berekend wat de verwachte waarden zijn van de potentiële flexibiliteit in de laagspanningsnetten van die buurt. Door de combinatie van buurten, apparaten en zichtjaren is een groot aantal scenario's gedefinieerd, waarmee in de rest van dit hoofdstuk is gerekend.

Wat volgt in deze paragraaf is een korte uitleg over de aannames m.b.t. het aantal en type flexibele apparaten in archetypische buurten en de toegepaste rekenmethoden. Voor de uitgebreide beschrijving verwijzen we naar Bijlage A, waar ook de rekenmethoden uitgebreider worden toegelicht.

Buurten, netten en archetypen

Nederland kent meer dan 14.000 (CBS-)buurten die verschillen in samenstelling van soorten woningen en bouwjaren. Het is voor nu ondoenlijk om voor al deze buurten afzonderlijk te rekenen aan flexibiliteitspotentie, maar kan in de toekomst met het digitaliseren van netten en datavoorziening wel mogelijk worden. Om nu toch een goed beeld van de beschikbare flexibiliteit te krijgen van wat er in een buurt mogelijk is, zijn de buurten in Nederland opgedeeld in archetypen van buurten, gebaseerd op bovengrondse kenmerken van de woningen zoals het type woning en bouwjaren, type aansluitingen en meer. Voor meer informatie zie Project GO-e (Project GO-e: Archetypes en archetypering van buurten, 2024). Omdat de elektriciteitsinfrastructuur voor laagspanning een andere indeling (topologie) heeft dan de CBS-buurten zijn voor verschillende geselecteerde archetypische buurten de elektriciteitsnetten in beeld gebracht door de netbeheerders Alliander, Enexis en Stedin.



Voor de keuze van buurten en netten is met name gekeken naar de archetypen 3, 4 en 6, respectievelijk de naoorlogse rijtjeshuizen, naoorlogse portiekwoningen en vrijstaande huizen. Deze archetypen samen dekken meer dan 55% af van alle buurten in Nederland. Op die manieren krijgen we met weinig doorrekeningen aan buurten toch een redelijk algemeen beeld voor een groot deel van de buurten in Nederland.

Het is goed om te weten dat een archetype geen 'gemiddelde' buurt is. De bevindingen op basis van de archetypen aanpak kunnen dan ook niet gebruikt worden om het totaal aan flexibiliteitspotentieel in Nederland te berekenen. Wel kan de flexibiliteitspotentie van een archetypische buurt gebruikt worden om algemene uitspraken te doen bijv. over kansrijkheid van flexbronnen.

Apparaten en ingroei

In de berekening van flexibiliteit is rekening gehouden met niet-flexibele apparaten (in het ‘huishouden’ met een standaard jaarverbruik), en potentieel flexibele apparaten (laadpunten privé en publiek, elektrische en hybride warmtepompen en zon-PV op daken). Van alle apparaten is door de netbeheerders aangegeven wat de verwachte adoptie is in de toekomst in de verschillende buurten in Nederland.

Afnamecongestie en middenspanningsruimtes (MSR)

Van elke netbeheerder zijn gegevens ontvangen van elektriciteitsnetten (netten of netdelen) waarvan verwacht wordt dat er congestie gaat optreden in 2030 of 2035. De gegevens voor deze circa 20 netten, met ieder een paar honderd aansluitingen zijn geanalyseerd. Bij een net geldt dat de aansluitingen allemaal met een enkele transformator (MSR) verbonden zijn, het net is niet vermaasd.

In dit onderzoek ligt de aandacht bij wat er op de MSR gebeurt. Alle vraag en aanbod op alle aansluitingen wordt geaggregeerd naar deze MSR en congestie wordt ook gedefinieerd als overbelasting op deze MSR. In de scenario's wordt de afnamecongestie geanalyseerd, met name de net-intensieve apparaten EV-laadpunten en warmtepompen. Opwekcongestie (door zon-PV) met eventuele voltageproblematiek ligt buiten scope van dit onderzoek. Overbelasting van kabels en zekeringen (de lagere hiërarchie van het net) is ook buiten scope.

Inzet van flexibiliteit in zomer en winter en congestieperiode

In de scenario's is onderscheid gemaakt tussen dagen in de winter en zomer. De keuze van apparaten die potentieel flexibel zijn maakt dat seizoensinvloeden met name tussen deze twee interessant zijn. De interessante momenten voor de inzet van flexibiliteit zijn de momenten van optreden van congestie. Voor het rekenen aan potentiële flexibiliteit is gekozen voor een vaste periode gedurende een dag van 1600h tot 2100h, in stappen van 15 minuten. Deze periode is gebaseerd op een ervaring uit eerder projecten en het advies van Stedin om dan niet je auto te laden. De periode is vrij lang, vijf uur, en is gekozen om een indruk te krijgen wat het betekent als er lang congestie optreedt. In de praktijk zal congestie waarschijnlijk minder lang optreden, en vrijwel zeker niet langer.

Dit alles leidt tot een overzicht van scenario-opties zoals in Tabel 2.1. Op basis van deze tabel zijn de scenario's samengesteld. Waarbij uit elke kolom een optie is gekozen. Bijvoorbeeld (netdeel 1, 2030, zomer, 16-21u) is een bepaalde configuratie van een scenario. In totaal zijn $20 \times 2 \times 2 \times 1 = 80$ simulaties uitgevoerd.

Tabel 2.1: Overzicht van scenario-opties

Ruimtelijk	Jaar (ingroei data)	Seizoen/maand/dag	Inzet van flex
20 laagspanningsnetten, verdeeld over 3 archetypen	2030	Zomer, juli, 15 ^{de} (gemiddelde dag of werkdag)	16:00u-21:00u, per kwartier
	2035	Winter, januari, 15 ^{de} (gemiddelde dag of werkdag)	

Twee methodieken

Voor de berekeningen zijn twee methodieken toegepast. Een uitgebreidere beschrijving is te vinden in Bijlage A. Deze twee methodieken zijn gebruikt om eerst te bepalen wat de verwachte bijdrage is aan potentiële flexibiliteit van de verschillende apparaten in een buurt,

waarbij gebruik is gemaakt van verwachtingswaarden van vermogensvraag van de verschillende apparaten (Methodiek FlexMetriek). Vervolgens is op basis van kansberekeningen bepaald in hoeverre de inzet van flex ook nodig is en zo ja, of het voldoende is (Convo Methodiek).

2.2 Bijdragen apparaten aan verwachte flexibiliteit: Verwachtingswaarden

Op basis van de gedefinieerde scenario's zijn berekeningen uitgevoerd die de verwachtingswaarde van de potentiële flexibiliteit berekenen, volgens de methode toegelicht in Bijlage A. Uit de berekeningen zijn veel detailresultaten te halen, zoals de verwachtingswaarden van belasting per kwartier gedurende de congestieperiode, wat elk apparaat doet, en verschillende clustering van apparaten, tijdstippen, archetypen, en netten. Om een goed beeld te krijgen van de maximaal potentiële flexibiliteit en het aandeel van de verschillende apparaten daarin zijn de detailresultaten van de berekeningen uitgedrukt in een set van metrieken die een goede indicatie geven over de potentiële flexibiliteit. Als volgt:

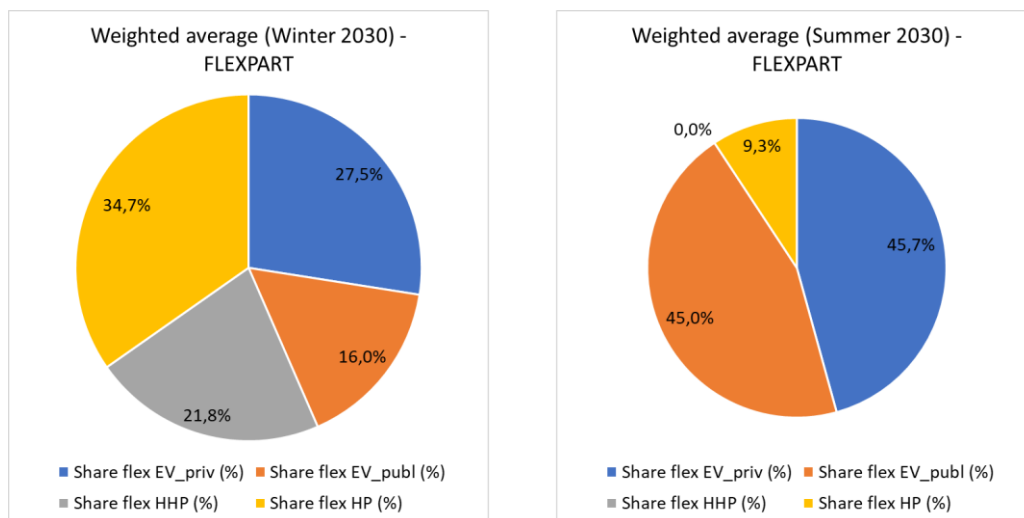
1. **FLEXPART.** Het aandeel van de verschillende apparaten in de potentiële flexibiliteit voor een netdeel in een buurt.
Er is berekend wat de totale verwachte waarde is van potentiële flexibiliteit, en welk aandeel elk apparaat type daarin heeft als percentage [%].
2. **FLEXABS.** De potentiële flexibiliteit van elk individueel apparaat.
Er is berekend wat de verwachte waarde is van de absolute flexibiliteit per individueel apparaat in [kW].
3. **FLEXMSR.** De potentiële flexibiliteit in verhouding tot de transformator capaciteit.
De verwachte waarde van flexibiliteit wordt afgezet tegen de maximale transformator capaciteit, in percentages [%].

De detailberekeningen over potentiële flexibiliteit zijn gedaan voor elk scenario set (zie Tabel 2.1). Voor de gehele congestieperiode zijn deze metrieken berekend en vervolgens op twee manieren geclusterd: 1. over de berekende netten en 2. Over de archetypen. In de volgende paragraaf worden al deze metrieken getoond.

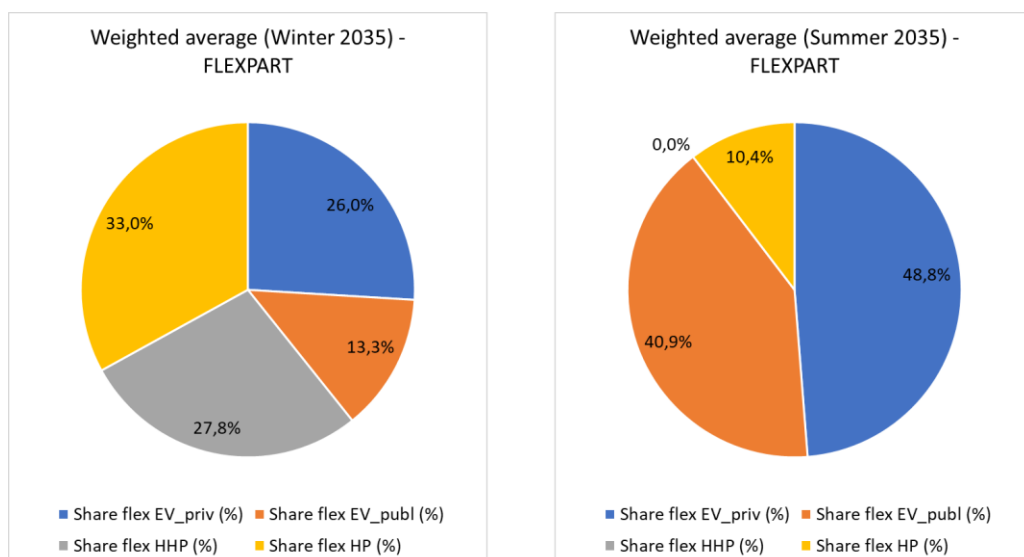
2.2.1 Metrieken geclusterd over alle berekende netten

In deze paragraaf wordt het beeld geschetst van alle netten in de dataset bij elkaar. De berekeningen van alle netten over alle archetypen heen worden weergegeven in de drie metrieken, zoals uitgelegd in de inleiding van H2.2. In de volgende paragraaf worden deze metrieken weergegeven per archetype.

FLEXPART. In vier afbeeldingen zijn de resultaten van de FLEXPART-metriek weergegeven voor de zichtjaren en voor de seizoenen. Het aandeel is gewogen naar grootte van de verschillende netdelen in termen van aansluitingen.



Figuur 2.1: Gewogen aandeel per apparaat type over alle berekende netten in 2030



Figuur 2.2: Gewogen aandeel per apparaat type over alle berekende netten in 2035

Observaties

- Alle apparaattypen leveren een zichtbaar aandeel in beschikbare flex in de winter
- Publieke laadpunten leveren relatief de minste flex in de winter (13%)
- In de winter dragen de elektrische-, hybride warmtepompen en private laadpunten ongeveer evenveel bij (ca ieder 30%)
- In de zomer is er bijna net zoveel relatieve flex van publieke als private laadpunten beschikbaar (de verhouding daartussen in de winter/zomer maakt niet zo veel uit), maar van de warmtepompen een stuk minder.
- Er is geen flex van hybride warmtepompen in de zomer (die staan ook uit)
- Flex van elektrische warmtepompen is aanwezig in de zomer vanwege verwarmen tapwater
- Opvallend is ook het gebrek aan verschil tussen 2030 en 2035 in deze metriek.

Analyse

De verschillen tussen seizoenen zijn als volgt te verklaren: de oorzaak zit met name in de inzet van warmtepompen die in de zomer een stuk lager is dan in de winter, en daarmee ook het aandeel in flexibiliteit. De verschillen, of liever het gebrek aan verschillen, tussen de zichtjaren zijn opvallender. Deze (gewogen) metriek voor alle netten laat zien dat de relatieve bijdrage van de verschillende apparaattypen niet veel verschilt tussen 2030 en 2035. Dit heeft alles te maken met de ingroei (verhoudingen) van de verschillende apparaattypen volgens de scenario's van de netbeheerders die niet veel verschillen over de jaren heen.

FLEXABS. Voor alle berekende netten is de FLEXABS-metriek weergegeven voor winter en zomer in 2030 en 2035.



Figuur 2.3: FLEXABS-metriek in 2030 (links) en 2035 (rechts) voor alle apparaat typen in winter (blauw) en zomer (oranje).

Observaties

- Het ligt in de lijn van verwachting dat de absolute waarde van de gemiddelde flexibiliteit van elk individueel apparaat niet veel zal verschillen tussen de verschillende zichtjaren. De variaties komen vooral door de toename van verschillende warmtepompinstallaties zodat de gemiddelden ook licht variëren. Wat zeker opvalt is de beschikbare flex in de verschillende seizoenen.
- Voor een publiek EV-laadpunt is te verwachten dat er 1000W aan flexibiliteit is gedurende de gehele congestieperiode. Voor een privaat laadpunt ligt dat lager, rond de 800W, maar neemt lichtjes toe naar 2035. Voor elektrische warmtepompen is dat ca 600W in de winter, naar bijna niets in de zomer. Voor hybride warmtepompen is er rond de 1000W in de winter beschikbaar, naar nul in de zomer.

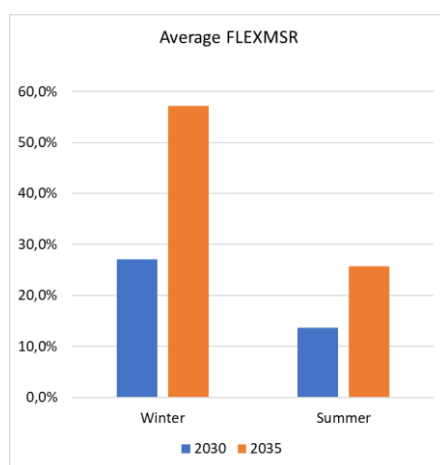
Analyse

Warmtepompen hebben in de zomer geen (hybride) of nauwelijks (elektrisch) flexibiliteit. Dat is logisch omdat ze ook niet gebruikt worden, behalve voor tapwater (dit geldt alleen voor de full elektrische warmtepompen).

Voor elektrische laadpunten is de verwachte flexibiliteit lager dan men zou verwachten. Een 11kW lader zou in theorie 11kW aan flexibiliteit hebben. Waarom dat niet zo is heeft te

maken met een paar zaken: Bij het berekenen van flexibele inzet van laadpunten is rekening gehouden met de eis dat de accu van de auto wel geladen moet zijn aan het einde van de geplande laadsessie. Flexibiliteit is alleen datgene wat geschoven kan worden binnen en buiten de congestieperiode, zonder daarvan af te wijken. Een andere reden is dat niet elk laadpunt altijd op hetzelfde moment laadt. Stel dat de helft van de laadpunten op enig moment gebruikt wordt, dan is de *flexibiliteit per laadpunt* al de helft lager dan wanneer ze allemaal gebruikt zouden worden. De ontwikkelingen in slim laden gaan snel vooruit waardoor in de toekomst mogelijk meer flexibiliteit beschikbaar wordt gesteld door de gebruiker.

FLEXMSR. Over alle netten is berekend wat de gemiddelde verhouding is tussen beschikbare potentiële flexibiliteit en capaciteit van de transformator gedurende de congestieperioden.



Figuur 2.4: Gemiddelde verhouding tussen potentiële flexibiliteit en capaciteit van de transformator

Observaties

- Winter/zomer: In de zomer is het relatieve aandeel van potentiële flexibiliteit ongeveer de helft van wat het is in de winter.
- 2030/2035: In 2035 is de metriek een factor twee groter dan in 2030.

Analyse

Het deel van de flexibiliteit van warmtepompen in de zomer valt nagenoeg weg. Daardoor is in de zomer in totaal minder flexibiliteit beschikbaar. Dat verklaart dit verschil.

Dat deze metriek in 2035 een factor twee groter is heeft te maken met de adoptie van apparaten, die te maken heeft met de ingroei van apparaten, die ongeveer ook een factor twee is tussen 2030 en 2035. Met dezelfde verhouding van relatieve flex (FLEXPART) in 2030 en 2035 betekent dat de totale flex ook ongeveer met diezelfde factor toeneemt.

De berekende percentages van deze metriek laten zien dat er een significant aandeel van de maximale belasting van een MSR aan flexibiliteit aanwezig is. Of dat voldoende is kan een redenering als volgt helpen: Onder de aanname dat het een *gemiddelde* dag is, kan men stellen dat er in de winter van 2035 *gemiddeld* over alle netten uit de rekenset, bij een belasting van 155% van de MSR voldoende potentiële flex (FLEXMSR is ca. 56%) aanwezig is om de belasting naar 100% terug te brengen.

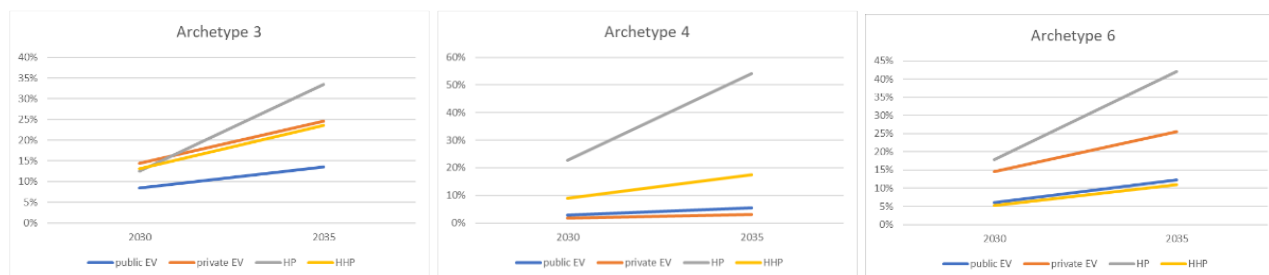
2.2.2 Metrieken per archetype

Een clustering per archetype laat zien wat de verschillen zijn tussen de archetypische buurten, en de netten die daar onderdeel van zijn uitgedrukt in de drie metrieken. Het gaat om de archetypen zoals in Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Kenmerken van archetypen

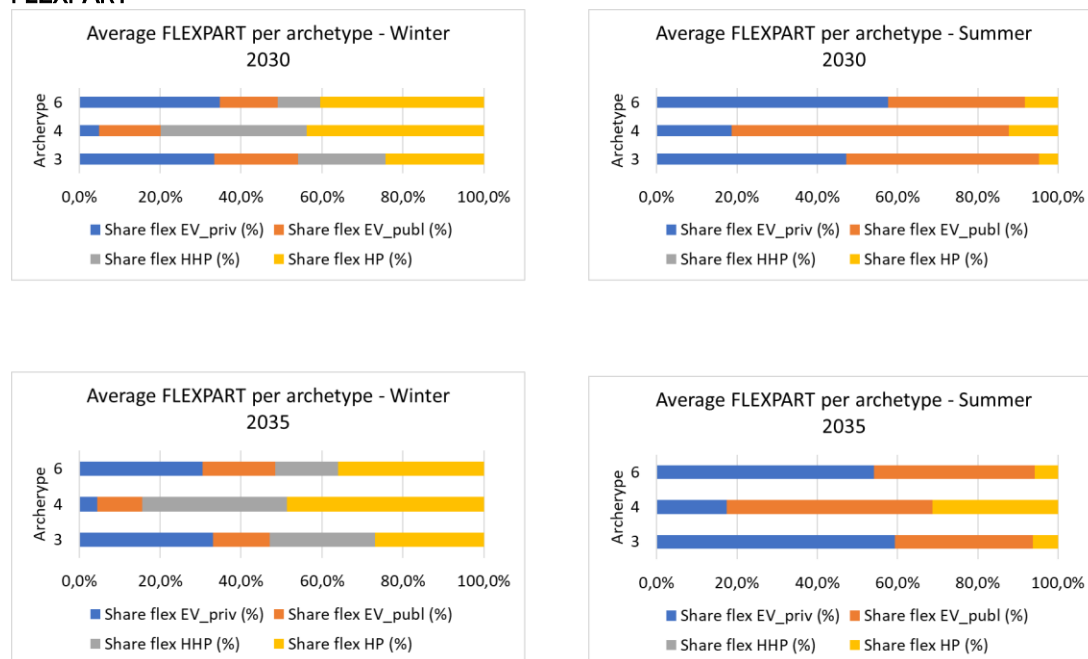
Archetype	Beschrijving	kW per aansluiting (range)	Trafo capaciteit (kVA) (range)	Verstedelijking
3	naoorlogse rijtjeshuizen	~1.7 (1.4-2.3)	~410 (250-630)	midden
4	naoorlogse portiekwoningen	~1.2 (1.1-1.3)	~360 (250-400)	midden/laag
6	vrijstaande huizen	~1.4 (1.3-1.9)	~250 (100-400)	midden/hoog

Een beeld van de verschillende ingroei van apparaattypen is te zien in Figuur 2.5. Deze data zijn afkomstig van de groei en spreidingsdata van de verschillende netbeheerders, gecombineerd per archetypische buurt.



Figuur 2.5: Gemiddelde percentage over alle netten van een bepaald archetypen van adoptie van apparaattypen voor 2030 en 2035, zoals aangegeven door de netbeheerders.

FLEXPART



Observaties

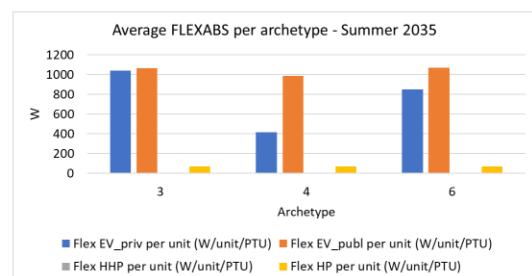
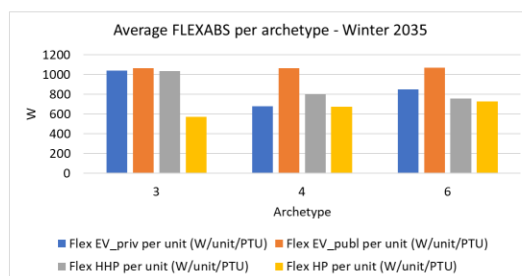
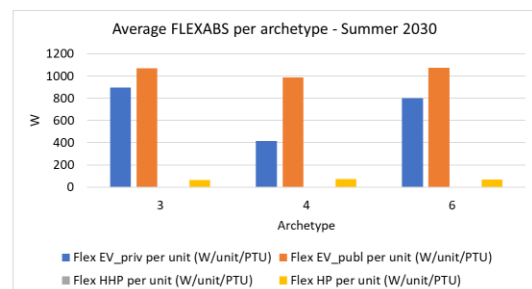
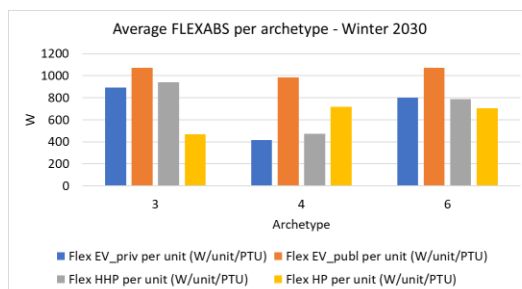
- Wat gelijk opvalt zijn de verschillen tussen archetype 4 (naoorlogse portiekwoningen) en 3 en 6 (naoorlogse rijtjeshuizen en vrijstaande huizen).
- Wat ook gelijk opvalt zijn de overeenkomsten tussen archetype 3 en 6.
- In archetype 4 is het aandeel hybride warmtepompen in deze metriek relatief groter dan voor de andere archetypen.
- Het aandeel van private laadpunten is opvallend laag in archetype 4.
- Het aandeel voor publieke laadpunten is hoger dan voor private laadpunten in archetype 4.

Analyse

Winter en Zomer. Net als bij de globale analyse van metrieken is hier ook weer te zien dat de flexibiliteit in de zomer vooral komt van EV-laadpunten, en slechts een beetje van elektrische warmtepompen.

2030/2035. In de winter zien we niet veel verschillen, hooguit dat het aandeel elektrische warmtepompen in archetype 4 is toegenomen. In de zomer zien we daardoor duidelijker een toename van het aandeel flex van elektrische warmtepompen. Dit is ook relatief groter door een lage penetratie van laadpunten in archetype 4.

FLEXABS per Archetype



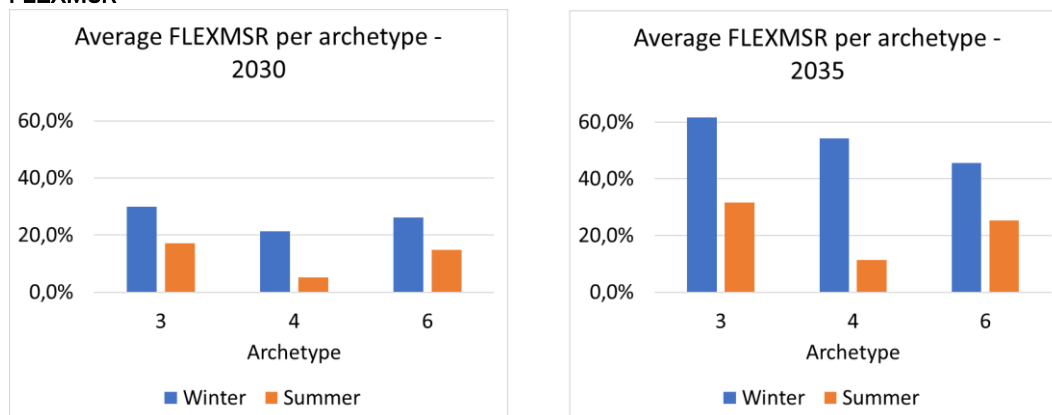
Observaties

- Alle vier grafieken zijn op grote lijnen gelijkvormig, met de uitzonderingen:
 - In archetype 3 zijn de per unit metrieken rond de 1kW, behalve voor elektrische warmtepompen die een stuk lager ligt (400-600W).
 - In archetype 4 neemt de metriek in de winter voor private laadpunten en voor hybride warmtepompen opvallend toe tussen 2030 en 2035
- Ook hier in de zomer komt de flexibiliteit van laadpunten en een beetje van de elektrische warmtepompen.
- Metriek van publieke laadpunten is redelijk constant over de archetypen heen

Analyse

De toename van deze metriek voor een archetype heeft voor een deel te maken met de verschillende dimensionering van de additionele installaties in 2035. Een ander verschil is dat de bezettingsgraad (dus hoeveel apparaten tegelijkertijd aanstaan), toeneemt. Immers deze metriek berekent de flexibiliteit per unit, gebaseerd op de totale flexibiliteit van alle units. Wanneer een deel niet bezet is (of aan staat), zal deze metriek lager uitvallen dan bij een hogere bezetting. Dit geldt met name voor EV-laadpunten.

FLEXMSR



Observaties

- In de winter is er bij archetype 4 deze metriek wat lager dan bij de andere archetypen in 2030. In 2035 liggen die verhoudingen net wat anders, waarbij archetype 6 in de winter de laagste waarde heeft.
- Er is een nagenoeg verdubbeling van de metriek van 2030 naar 2035, zowel voor de zomer als voor de winter.

Analyse

In de zomer is voor alle archetypen de beschikbare flexibiliteit lager dan in de winter. Dit effect is goed te verklaren door de inzet van warmtepompen in de winter in vergelijking met de minimale inzet in de zomer. De verschillen over de archetypen heen laten zich verklaren door de verschillende samenstelling van de apparaten in deze archetypen, wat met name te zien is in de verschillende bijdragen in flexibiliteit van de apparaat type (FLEXPART). Ook speelt mee dat de gemiddelde beschikbare capaciteit per aansluiting voor Archetype 4 het laagst is van alle archetypen. Dat betekent dat de transformator relatief kleiner is ten opzichte van het aantal aansluitingen, wat zou kunnen betekenen dat de flexibiliteit relatief groot zou kunnen zijn. Dat dit niet het geval is betekent dat het aandeel EV's een stuk lager ligt dan in andere archetypen. Dit komt overeen met de analyse van de FLEXPART-metriek voor deze archetypen.

2.2.3 Kanttekeningen Flexmetrieke

- Selectie van netten is beperkt tot 20 stuks. Uitspraken mogen ook alleen in het licht worden gezien van deze specifieke netten, en moeten vooral gezien worden als een eerste orde beeldvorming
- Ingroeidata van de netbeheerders is zeer bepalend voor de uitkomsten. Deze ingroei heeft met vele factoren te maken, ook met recente ontwikkelingen in beleid. Dit is nog niet gereflecteerd in deze datasets.

- Uurprofielen van alle apparaten en niet flexibele energievraag die gebruikt zijn voor de berekeningen zijn gegenereerd door verschillende modellen van TNO en TU/e. De profielen voor full electric warmtepompsystemen gaan uit van installaties die geadviseerd worden maar in de praktijk mogelijk niet altijd op die manier worden geïmplementeerd. Het gevolg is dat de gebruikte flexibiliteit van full-electrics een absoluut maximum is.
- Er is gerekend met gemiddelden, zowel in uitkomsten als brongegevens. Dat betekent dat er geen extreme situaties zijn doorgerekend zoals bijvoorbeeld een dag met zeer lage buitentemperatuur. Het kan dus zijn dat er in de praktijk minder flexibiliteit aanwezig is van warmtepompen in die specifieke situaties. Hoe vaak dat voorkomt en welk effect dat heeft is buiten scope van dit onderzoek.

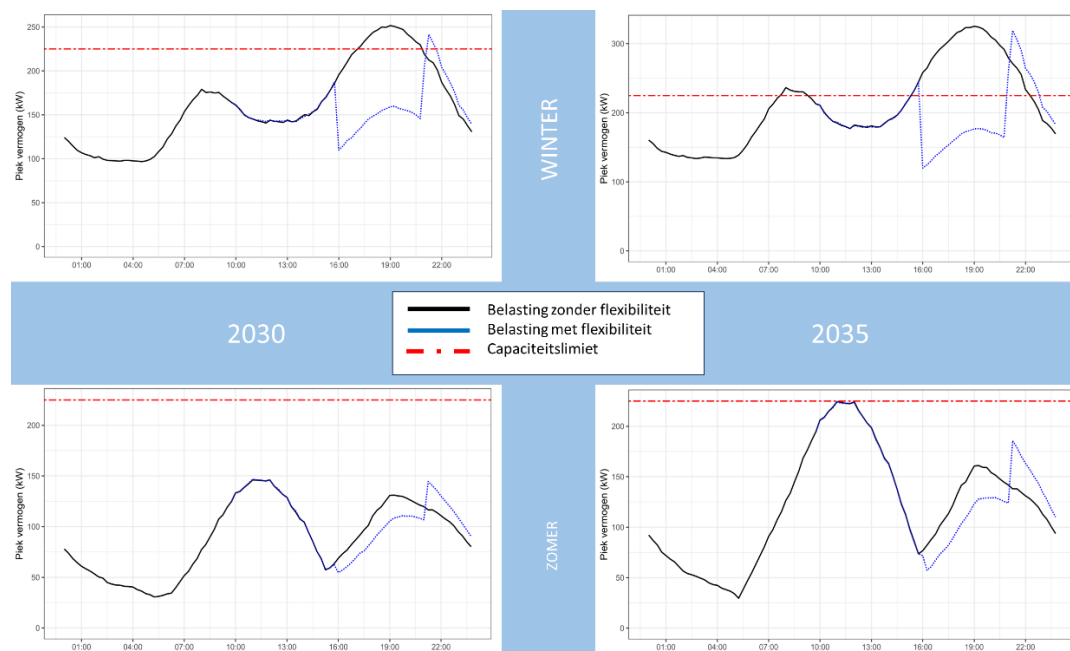
2.3 Mate van congestie en potentieel aan flexibiliteit: Kansberekeningen

Op basis van de kansberekeningsmethodiek (Convo methodiek, zie bijlage A) is voor elk aangeleverd net een berekening uitgevoerd van de belastingen zonder de inzet van flexibiliteit en met flexibiliteit. Hiervoor zijn dezelfde scenario's gebruikt als bij verwachtingswaarden, met dezelfde aannames.

In Figuur 2.6 is een voorbeeld te zien van de typische resultaten. Voor zowel zomer als winter, in 2030 en 2035 zijn de beelden zonder en met inzet van flexibiliteit te zien.

Voor elk van de 20 netten is een kwantitatieve analyse gedaan voor congestie en flexibiliteit waarbij voor elk net platen zijn berekend zoals in genoemd voorbeeld, in totaal 160 berekeningen. Voor elk kwadrant is een korte kwantitatieve analyse gedaan van 'mate van congestie' en 'potentieel van flexibiliteit'. De aggregatie is per Archetype buurt, net zoals in het hoofdstuk over 'Bijdrage van Flexibiliteit'. Voor de analyse zijn de definities van 'voldoende, onvoldoende en kritische' gebruikt om duiding te geven.

In deze platen zijn per kwartier de vermogenswaarden getoond waarbij de kans lager is dan 5% dat de belasting hoger is, de zogenaamde 95-percentiel waarden. De zwarte lijn geeft dan aan voor een heel etmaal, de blauwe lijn geeft dat aan vanaf 10u 's ochtends waarbij de flexibiliteit tussen 16-21u is ingezet. De rode lijn is de maximaal beschikbare capaciteit van de MSR (transformator) in het desbetreffende net. In dit voorbeeld is te zien dat in de winter structureel een afname piek bestaat die loopt van einde middag tot in de avond. Hier is de zwarte lijn hoger dan de rode lijn. In de winter is ook te zien dat de pieken toenemen van 2030-2035. De inzet van flexibiliteit in de winter gaat helpen (in 2030), maar waarschijnlijk niet in 2035, waar een groot deel van de potentiële flexibiliteit nodig is. Dit is in de praktijk waarschijnlijk niet mogelijk.



Figuur 2.6: Congestie en Flexibiliteit vermogenskansen voor een specifiek net, voor zomer en winter in 2030 en 2035. Zwarte lijn is de belasting in het net zonder inzet van flexibiliteit. Blauw is met de inzet van flexibiliteit en rood is de indicatie van de maximale beschikbare capaciteit van het net.

De grafieken laten zien wanneer er sprake is van netcongestie en in hoeverre de inzet van de potentiële flexibiliteit de *afname netcongestie* kan beperken. De zwarte lijn is de belasting zonder de inzet van flexibiliteit, de blauwe lijn is de belasting na de inzet van het maximale potentieel aan flexibiliteit. De mate waarin flexibiliteit nodig is om onder de maximale capaciteit te blijven, de rode lijn, is een indicatie van de effectiviteit van de inzet van flexibiliteit. Vaak is te zien dat er overdag ook een piek is, afkomstig van zon-PV. Deze opwek van zon-PV zal door de huidige omvormers van zonnepanelen al worden uitgeschakeld en is daarom hier buiten scope gelaten, maar is wel meegenomen in de berekeningen voor de inzet van flexibiliteit. De aandacht gaat uit naar de afnamepiek in namiddag en avond. In de winter van 2030 en 2035 is een (groot) deel van de beschikbare flexibiliteit nodig om onder de maximale capaciteit van het laagspanningsnet te blijven zonder aanvullende maatregelen.³ Verder valt op dat de blauwe lijn een piek geeft na het einde van de inzet van flexibiliteit. Dit zal in de praktijk gaan gebeuren als er geen aandacht wordt besteed aan het moment dat ‘iedereen weer mag gaan laden na netcongestie’. Wanneer alle apparaten ineens weer energie vragen, kunnen de pieken juist groter worden dan ze waren en zo voor meer netcongestie zorgen. Met aanvullende mechanismen voor het inzetten van een cluster van apparaten is het wel mogelijk te voorkomen dat deze tegelijkertijd weer energie gaan vragen.

2.3.1 Congestie en flexibiliteit analyse per archetype

Voor dezelfde set aan buurten als in vorige paragrafen zijn berekeningen uitgevoerd op basis van de convolutie methodiek. Met deze methode is in beeld gebracht wat de kansen zijn op netcongestie, en in hoeverre de maximale inzet van potentiële flexibiliteit de afname netcongestie kan beperken.

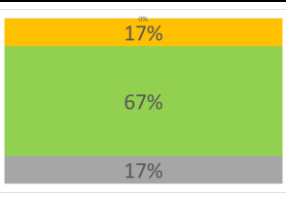
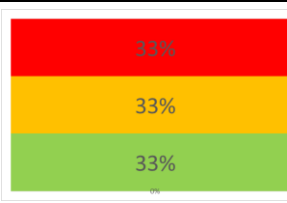
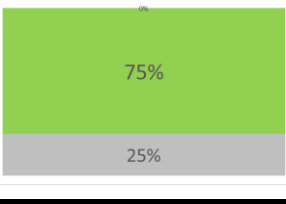
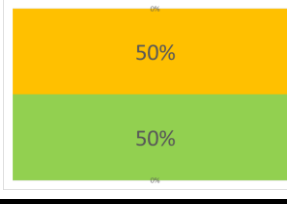
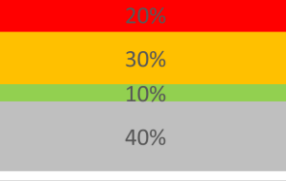
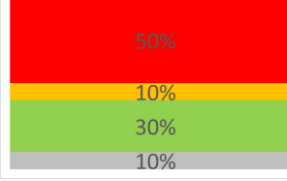
³ In de *Actieagenda netcongestie laagspanningsnetten* (Landelijk Actieprogramma Netcongestie, 2024) worden 58 maatregelen beschreven.

Voor de beoordeling of er wel of niet voldoende flexibiliteit beschikbaar is om congestie weg te werken is de FLEXEFFECT-metrick gedefinieerd, als volgt:

FLEXEFFECT [grijs, groen, oranje, rood]. Wanneer er gesproken wordt over ‘groen’ of ‘oranje’ flexibiliteit heeft dat te maken met hoe de blauwe, zwarte en rode lijn zich tot elkaar verhouden zoals in Figuur 2.6. De classificatie ‘*groen*’ betekent dat de rode lijn (de maximale beschikbare capaciteit) gemiddeld hoger ligt dan een denkbeeldige lijn precies tussen de zwarte (belasting zonder inzet van flexibiliteit) en de blauwe lijn (belasting mét inzet van flexibiliteit). Bijvoorbeeld, bij het kwadrant linksboven in Figuur 2.6 ligt de rode lijn duidelijk hoger dan de blauwe en zwarte en krijgt daarmee de classificatie ‘groen’. In dit geval is er dus veel ruimte tussen de belasting (zowel mét als zonder flexibiliteit) en de maximale beschikbare capaciteit. Ligt die rode lijn lager dan de helft – is er dus weinig beschikbare capaciteit – dan krijgt het de classificatie ‘*oranje*’. Ligt die rode lijn dicht bij de blauwe lijn, dan is de classificatie ‘*rood*’. De belastbaarheid en de belasting liggen dan zeer dicht bij elkaar. De reden voor deze classificatie is dat er hier gerekend wordt met het maximaal technisch potentieel. Wanneer daarvan de helft ook praktisch beschikbaar is op enig moment, en daarmee congestie kan worden weggewerkt lijkt dat voldoende potentie te bieden. Wanneer er meer dan 50% van het theoretisch potentieel nodig is, dan krijgt het hier de classificatie ‘*oranje*’. Komt het boven de 75% dan is het ‘*rood*’. Voor uitleg van hoe de theoretische flexibiliteit wordt beperkt door onder andere communicatieprotocollen, zie 3.6. Er is een expert-aanname gedaan dat een 50% benutting van de potentiële flexibiliteit nog realistisch is, maar percentages daarboven (met name boven 75%) een uitdaging vormen.

Deze classificatie leidt tot het overzicht zoals in Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Flexeffect weergave van de verschillende archetype buurten. Grijs = geen flex nodig, Groen = flex nodig, maar minder dan 50% van potentieel, Oranje = flex is nodig, maar meer dan 50%, Rood = flex nodig, meer dan 75%.

Archetype		2030	2035
Winter	3: naoorlogse rijtjeswoningen		
	4: portiekwoningen		
	6: vrijstaande woningen		

	Archetype	2030	2035
Zomer	3: naoorlogse rijtjeswoningen	17% 83%	33% 67%
	4: portiekwoningen	100%	100%
	6: vrijstaande woningen	30% 70%	20% 40% 40%

In de tabel is te zien dat in 2030 het meerendeel van de geselecteerde buurten de kwalificatie ‘grijs’, ‘groen’ of ‘oranje’ krijgt. In dat geval is er meestal voldoende potentiële flexibiliteit beschikbaar. Toch staat bij het archetype vrijstaande woningen in 20% van de geselecteerde buurten het sein op ‘rood’ in de winter van 2030. In 2035 in de winter is bij het archetype rijtjeswoningen in 33% van de buurten en bij het archetype vrijstaande woningen in 50% van de buurten sprake van een toestand (rood), waarbij meer dan 75% van de potentiële flexibiliteit nodig is om netcongestie te voorkomen.

De tabel laat dit zien voor drie verschillende soorten buurten in Nederland, te weten buurten met vooral naoorlogse rijtjeswoningen, portiekwoningen en vrijstaande huizen, respectievelijk Archetype 3, 4 en 6 in de tabel. Deze archetypen dekken samen ca. 55% van alle buurten in het land af. Archetype 3 vertegenwoordigt ca. 3300 buurten, Archetype 4 ca. 1000 en Archetype 6 ca. 2600. In eerdere studies (project, 2024) zijn in totaal acht archetypen gedefinieerd, waar naast genoemde drie ook de pre-woningwet, vooroorlogse woningen, corporatiewoningen en platteland onder vallen (bij elkaar 45% van alle buurten in NL).

2.3.2 Gevolgtrekkingen mate van congestie en potentieel aan flexibiliteit

De algemene conclusie is dat in deze set van buurten die niet op de planning staan voor verzwaring, in elk archetype congestie gaat optreden in de winter 2035. In sommige buurten in deze set zijn er uitdagingen in het beperken van netcongestie gezien het (te beperkte) potentieel aan flexibiliteit. In de zomer is het beeld wat rooskleuriger, er is alleen in Archetype 6 sprake van een oranje kwalificatie voor een klein deel van de buurten.

Tot 2030 is het algemene beeld dat er, ook weer in de winter, de grootste uitdaging bestaat bij Archetype 3 en 6 om voldoende flexibiliteit aan te boren. Het is echter nog niet code rood, maar het potentieel wat er is moet wel goed benut kunnen worden.

Om congestie te beperken met de inzet van het potentieel van flexibiliteit is het aannemelijk dat er meer dan 50% van het technisch potentieel beschikbaar moet komen in de praktijk in 2030. In sommige netten in 2035 is er waarschijnlijk niet genoeg flexibiliteit beschikbaar, wat aanvullende maatregelen kan vereisen. Een optie om het maximale potentieel te verhogen van de bestaande apparaten kan door de comfort wensen en eisen los te laten (bv de auto is niet opgeladen, of het huis is toch iets meer afgekoeld) waardoor er meer flexibiliteit kan worden aangeboord.

2.3.3 Kanttekeningen kansberekeningen

Bij de kansberekeningen zijn de volgende kanttekeningen te plaatsen

- Dezelfde set aan profielen is gebruikt voor kansberekeningen als voor de flexmetriek berekeningen. Hier gelden dezelfde kanttekeningen.
- Uitspraken over flexibiliteit zijn gedaan over dezelfde congestieperiode als bij de flexmetrieken, van 16-21u. Dit om een vergelijk zo goed mogelijk te kunnen maken. Soms zijn de congestieperioden anders, soms langer of korter, wat zowel een positief als negatief effect kan hebben op de beschikbare flex. De verwachting is niet dat op het niveau waarop hier gerekend wordt dit veel uitmaakt voor de observaties en analyses.
- De waarde van de FLEXEFFECT-metriek is bepaald aan de hand van visuele inspecties van de 80 platen die zijn uitgerekend zoals in Figuur 2.6. Voor de beoordeling is deze visuele inspectie een goede eerste inschatting.

2.4 Kwalitatieve analyse

Dit hoofdstuk beschrijft een kwalitatieve analyse van technologieën die invloed hebben op de aanwezige flexibiliteit in het laagspanningsnet. In deze analyse ligt de nadruk op technologieën die aanwezig (zullen) zijn in een woonwijk. Het gaat dus om huizen, straten, winkels, horeca en andere utiliteiten die aanwezig kunnen zijn in een woonwijk.

De analyse beschrijft telkens technologieën – zoals een thuisbatterij – gezamenlijk met de manier dat die technologie ingezet kan worden. Bijvoorbeeld: *Een thuisbatterij voor zo veel mogelijk zelf-consumptie en onafhankelijkheid van het net*. De manier van een technologie inzetten bepaalt namelijk het gedrag van de gebruiker en daarmee de vorm en grootte van de flexibiliteit die de technologie oplevert. Door concreet de technologie en het doel te benoemen beoogt deze analyse een helder overzicht te geven van flexibiliteit op het laagspanningsnet.

De lijst met geselecteerde technologieën en de vragen zijn opgesteld met behulp van interne expert opinion bij TNO en uitvraag bij EZK. Vervolgens zijn per technologie-groep specifieke experts uitgevraagd en is aanvullende informatie opgehaald uit literatuur. Alle experts en gebruikte bronnen staan in Bijlage B, waardoor deze analyse ook als een overzicht van de bestaande kennis over flexibiliteit op het laagspanningsnet dient.

Hoewel onderstaande tabel probeert zo veel mogelijk informatie overzichtelijk samen te vatten zijn er altijd uitzonderingen of aspecten die nadere uitleg behoeven. Om dit af te vangen is er een groot aantal voetnoten in de tabel te zien, welke allemaal in de lopende tekst bij de relevante technologie toegelicht worden.

Toelichting van de vragen over de technologieën

1. *Wordt de technologie nu al toegepast?*

Hiermee bedoelen we in hoeverre nu al breed gebruik gemaakt wordt van de technologie. Doet nog helemaal niemand het, of zijn er slechts enkele pilots? Dan schrijven we een --. Als ongeveer de helft van de huishoudens in Nederland al gebruik maakt van deze technologie, schrijven we een +-. Als eigenlijk iedereen er al gebruik van maakt schrijven we een ++.

2. *Beïnvloedt de technologie de piekbelasting op het laagspanningsnet?*

Hierbij vragen we uit of de expert in kwestie verwacht dat de technologie, als deze breed toegepast is, de piekbelasting op het laagspanningsnet zal verhogen of verlagen, en of het een beperkte of aanzienlijke bijdrage zal zijn.

3. *Beïnvloedt de technologie het aantal uren congestie op het laagspanningsnet?*

Hierbij vragen we uit of de expert in kwestie verwacht dat de technologie, als deze breed toegepast is, het aantal uren congestie op het laagspanningsnet zal verhogen of verlagen, en of het een beperkte of aanzienlijke bijdrage zal zijn.

4. *Binnen welke tijdsschaal is de flexibiliteit relevant?*

Hiermee vragen we uit over welke tijdschaal verwacht wordt dat elektronen geschoven worden. Zal er binnen een uur eventjes meer stroom afgenomen worden en daarna meteen weer wat minder? Of zal er in de middag meer stroom gebruikt worden zodat dat in de avond niet hoeft?

5. *Kan het vermogen van de technologie gemoduleerd worden?*

Hiermee vragen we uit of de vermogensvraag van de technologie uitgesmeerd kan worden, in plaats van een discrete verplaatsing in de tijd moet hebben. Kan de technologie twee keer zo lang draaien op 50% van het maximale vermogen? Of moet de technologie dan eerst een uur uit staan en dan een uur aan? Als er gemoduleerd kan worden, tot welk percentage van het maximale vermogen kan dat?

6. *Maakt iedereen op hetzelfde moment van de dag gebruik van de technologie?*

Hierbij vragen we hoe hoog de verwachte gelijktijdigheid van de technologie is. Zal iedereen op exact hetzelfde moment haar/zijn auto laden of is dat een beetje uitgespreid over de dag?

7. *In hoeverre is de technologie stuurbaar?*

Kan het gebruik van de technologie verschoven worden? Zo ja, moet een gebruiker dat dan zelf doen (manueel) of gebeurt dat op basis van externe prikkels, zoals zonlicht, dynamische energietarieven of temperatuursensoren?

8. *Wanneer wordt verwacht dat de technologie breed toegepast is?*

Hierbij vragen we uit over hoeveel jaar de expert verwacht dat er een ++ ingevuld zou kunnen worden bij de eerste vraag. Wanneer zal vrijwel iedereen op deze manier gebruik maken van de technologie?

9. *Verandert het flexibel inzetten van de technologie de kosten voor de gebruiker?*

Hierbij vragen we uit op welke manier er een financiële prikkel zit achter het flexibel aansturen van de technologie. Bestaat er al een dergelijke prikkel, en zo nee, hoe zou die er uit kunnen zien?

Thuisbatterijen, elektrische voertuigen en HEMS	1. Wordt de technologie nu al toegepast?	2. Beïnvloed de technologie de piekbelasting op het laagspanningsnet?	3. Beïnvloed de technologie het aantal uren congestie op het laagspanningsnet?	4. Binnen welke tijdschaal is de flexibiliteit relevant?	5. Kan het vermogen van de technologie gemoduleerd worden?	6. Maakt iedereen op hetzelfde moment van de dag gebruik van deze technologie?	7. In hoeverre is de technologie stuurbaar?	8. Wanneer wordt verwacht dat de technologie breed toegepast is?	9. Verandert het flexibel inzetten van de technologie de kosten voor de gebruiker?
	-- Helemaal of vrijwel niet - Heel weinig +- Middelmatig + Heel veel ++ Overal	-- Verhoogt aanzienlijk - Verhoogt beperkt +- Er is geen invloed + Verlaagt beperkt ++ Verlaagt aanzienlijk	-- Verhoogt aanzienlijk - Verhoogt beperkt +- Er is geen invloed + Verlaagt beperkt ++ Verlaagt aanzienlijk	Binnen een uur Binnen een dagdeel Binnen een dag	Nee Deels Compleet	Lage gelijktijdigheid Gemiddelde gelijktijdigheid Hoge gelijktijdigheid	Niet stuurbaar Manueel stuurbaar Autonoom stuurbaar	Nooit Over >20 jaar Over 10-20 jaar Over 5-10 jaar Binnen 5 jaar Nu	Verlaagt kosten Geen verandering Verhoogt kosten
Thuisbatterijen voor peak-shaving en het vermijden van terugleverboetes	-	++	+	Binnen een dagdeel	Compleet	Hoge gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	Over 5 - 10 jaar	Verlaagt kosten ²
Thuisbatterijen voor arbitrage en handelen op de elektricitetsmarkten	-	++ of ¹ -	+ of ¹ -	Binnen een dagdeel	Compleet	Gemiddelde gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	Over 5 - 10 jaar	Verlaagt kosten ²
Thuisbatterijen voor zo veel mogelijk zelf-consumptie en onafhankelijkheid van het net	-	++	+	Binnen een dag	Compleet	Gemiddelde gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	Over 5 - 10 jaar	Verlaagt kosten ²
Elektrische personenwagens die thuis flexibel laden	+-	++	++	Binnen een dagdeel	Compleet ⁴	Hoge gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	Binnen 5 jaar	Verlaagt kosten ⁵
Elektrische personenwagens die op straat/publiek flexibel laden	.. ³	++	+	Binnen een uur	Compleet ⁴	Gemiddelde gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	Binnen 5 jaar	Verlaagt kosten ⁵
Elektrische personenwagens die terugleveren aan woningen	--	+	++	Binnen een dag	Compleet ⁴	Gemiddelde gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	Over 10 - 20 jaar ⁶	Verlaagt kosten
Elektrische personenwagens die terugleveren aan het net	--	+	++	Binnen een dag	Compleet ⁴	Hoge gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	Over 10 - 20 jaar ⁶	Verlaagt kosten
Thuislaadpalen met een standaardinstelling leveren om na de avondpiek te laden	--	++	+	Binnen een dagdeel	N.v.t.	Hoge gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	Binnen 5 jaar	Verlaagt kosten
Home Energy Management Systemen (HEMS) gebruiken voor zoveel mogelijk zelf-consumptie ⁷	-	++	++	Binnen een dag	N.v.t.	Hoge gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	5 - 10 jaar	Verlaagt kosten
Home Energy Management Systemen (HEMS) gebruiken voor congestiemanagement ⁷	--	++	++	Binnen een dag	N.v.t.	Hoge gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	5 - 10 jaar	Verlaagt kosten

Apparatuur bij utiliteiten en vakopleidingen, sauna's, zwembaden, witgoed in huis	1. Wordt de technologie nu al toegepast?	2. Beïnvloed de technologie de piekbelasting op het laagspanningsnet?	3. Beïnvloed de technologie het aantal uren congestie op het laagspanningsnet?	4. Binnen welke tijdschaal is de flexibiliteit relevant?	5. Kan het vermogen van de technologie gemoduleerd worden?	6. Maakt iedereen op hetzelfde moment van de dag gebruik van deze technologie?	7. In hoeverre is de technologie stuurbaar?	8. Wanneer wordt verwacht dat de technologie breed toegepast is?	9. Verandert het flexibel inzetten van de technologie de kosten voor de gebruiker?
	-- Helemaal of vrijwel niet - Heel weinig +- Middelmatig + Heel veel ++ Overal	-- Verhoogt aanzienlijk - Verhoogt beperkt +- Er is geen invloed + Verlaagt beperkt ++ Verlaagt aanzienlijk	-- Verhoogt aanzienlijk - Verhoogt beperkt +- Er is geen invloed + Verlaagt beperkt ++ Verlaagt aanzienlijk	Binnen een uur Binnen een dagdeel Binnen een dag	Nee Deels Compleet	Lage gelijktijdigheid Gemiddelde gelijktijdigheid Hoge gelijktijdigheid	Niet stuurbaar Manueel stuurbaar Autonoom stuurbaar	Nooit Over >20 jaar Over 10-20 jaar Over 5-10 jaar Binnen 5 jaar Nu	Verlaagt kosten Geen verandering Verhoogt kosten
Koel/vriesinstallaties in winkels, cafés en restaurants flexibel aansturen	--	+	+-	Binnen een uur	Waarschijnlijk wel, maar onzeker	Lage gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	Over 10 - 20 jaar ⁹	Geen verandering
Ovens en bak- en braadapparatuur elektrificeren en flexibel aansturen bij horeca	--	++ ⁸	+-	Binnen een uur	Waarschijnlijk wel, maar onzeker	Hoge gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	Over meer dan 20 jaar ⁹	Geen verandering
Ovens en bak- en braadapparatuur elektrificeren en flexibel aansturen bij non-horeca zoals bakkers en supermarkten	--	+	+-	Binnen een uur	Waarschijnlijk wel, maar onzeker	Gemiddelde gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	Over 10 - 20 jaar ⁹	Geen verandering
Elektrische apparatuur bij vakopleidingen flexibel aansturen	--	+-	+-	Binnen een uur	Waarschijnlijk wel, maar onzeker	Lage gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	Nooit ¹⁰	Geen verandering
Sauna's in bijvoorbeeld sportscholen elektrificeren en flexibel aansturen	--	+-	+-	Binnen een uur	Waarschijnlijk wel, maar onzeker	Lage gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	Nooit ¹⁰	Geen verandering
Zwembaden verwarmen met warmtepompen en flexibel aansturen	--	+	+	Binnen en dagdeel	Waarschijnlijk wel, maar onzeker	Lage gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	Over 10 - 20 jaar ¹⁰	Verlaagt kosten ¹¹
Witgoed automatisch laten reageren op eigen opwek	-	+	+-	Binnen een dagdeel	Nee	Gemiddelde gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	Nooit	Verlaagt kosten ¹³
Witgoed automatisch laten reageren op dynamische energietarieven	-	+	+ of ¹² -	Binnen een dagdeel	Nee	Gemiddelde gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	Nooit	Verlaagt kosten ¹³
Koken op inductieplaten	+-	--	+-	Binnen een uur	Nee	Hoge gelijktijdigheid	Manueel stuurbaar	Over 10 - 20 jaar	Verlaagt kosten ¹⁴

Warmtepompen en
warmteopslag

	1. Wordt de technologie nu al toegepast?	2. Beïnvloed de technologie de piekbelasting op het laagspanningsnet?	3. Beïnvloed de technologie het aantal uren congestie op het laagspanningsnet?	4. Binnen welke tijdschaal is de flexibiliteit relevant?	5. Kan het vermogen van de technologie gemoduleerd worden?	6. Maakt iedereen op hetzelfde moment van de dag gebruik van deze technologie?	7. In hoeverre is de technologie stuurbaar?	8. Wanneer wordt verwacht dat de technologie breed toegepast is?	9. Verandert het flexibel inzetten van de technologie de kosten voor de gebruiker?
	-- Helemaal of vrijwel niet - Heel weinig +- Middelmatig + Heel veel ++ Overal	-- Verhoogt aanzienlijk - Verhoogt beperkt +- Er is geen invloed + Verlaagt beperkt ++ Verlaagt aanzienlijk	-- Verhoogt aanzienlijk - Verhoogt beperkt +- Er is geen invloed + Verlaagt beperkt ++ Verlaagt aanzienlijk	Binnen een uur Binnen een dagdeel Binnen een dag	Nee Deels Compleet	Lage gelijktijdigheid Gemiddelde gelijktijdigheid Hoge gelijktijdigheid	Niet stuurbaar Manueel stuurbaar Autonoom stuurbaar	Nooit Over >20 jaar Over 10-20 jaar Over 5-10 jaar Binnen 5 jaar Nu	Verlaagt kosten Geen verandering Verhoogt kosten
All-electric warmtepompen voor het verwarmen van woningen flexibel aansturen	-	+ ¹⁵	+ ¹⁵	Binnen een uur/binnen een dagdeel ¹⁸	Deels (30 - 100%) ¹⁹	Hoge gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar ²⁰	Over 10 - 20 jaar	Verlaagt kosten
All-electric warmtepompen voor het koelen van woningen flexibel aansturen	-	+ ¹⁶	+ -	Binnen een uur/binnen een dagdeel ¹⁸	Nee	Hoge gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar ²⁰	Over 10 - 20 jaar	Geen verandering
Hybride warmtepompen gebruiken voor het verwarmen van woningen	-	- ¹⁷	- ¹⁷	Binnen een uur	Deels (30 - 100%) ¹⁹	Hoge gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar ²⁰	Over 5 - 10 jaar	Verlaagt kosten
Huishoudelijke boilers voor tapwater flexibel aansturen	+ -	+	+	Binnen een dagdeel	Deels	Gemiddelde gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	5-10 jaar	Verlaagt kosten
Warmteopslag via Phase Change Materials (PCM)	-	+	+	Binnen een dag tot weken ²¹	Deels	Gemiddeld gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	5-10 jaar	Verlaagd kosten
Voelbare warmteopslag in water	-	+	+	Binnen een dag tot weken ²¹	Deels	Gemiddeld gelijktijdigheid	Autonoom stuurbaar	5-10 jaar	Verlaagd kosten

Thuisbatterijen worden nog maar heel weinig gebruikt in woonwijken in Nederland. Ten eerste kunnen thuisbatterijen gebruikt worden om de zonnepiek rond het middaguur zo veel mogelijk op te vangen, waardoor teruglevercongestie voorkomen kan worden en de gebruiker (in de toekomst) geen terugleverboete zal hoeven te betalen. Ten tweede kan een thuisbatterij gebruikt worden om te handelen op de onbalansmarkt.

Onderzoek van CE Delft heeft echter laten zien dat ze op bepaalde momenten lokale netcongestie kunnen verergeren en dat er “op dit moment geen rendabele businesscase is voor het opslaan van energie en handel door middel van een dynamisch energiecontract, ook niet met de afschaffing van de salderingsregeling en dubbele energiebelasting”. (CE Delft)

- ¹ Hierbij is belangrijk om te noteren dat signalen van de elektriciteitsmarkt niet per definitie overeenkomen met congestiemomenten. Bij verkeerde prikkels kan een dergelijke batterij negatief bijdragen aan piekbelasting en congestie door te leveren tijdens overschot en af te nemen bij schaarste.
De derde optie is om de batterij in te zetten om zo veel mogelijk zelf-consumptie te behalen en dus zo onafhankelijk mogelijk te zijn van het net. Hoewel de drie doelen waarvoor thuisbatterijen ingezet worden verschillend gebruikersgedrag met zich meebrengen, zal een gebruiker waarschijnlijk haar/zijn batterij voor alle drie de doelen samen inzetten of zal de software waarmee de batterij geleverd wordt hier al op ingesteld zijn.
- ² Het gezamenlijk inzetten van alle drie de doelen zal ook de kosten voor de gebruiker het sterkst verlagen. De voornaamste financiële prikkel die momenteel bestaat voor gebruik van batterijen zijn de dynamische nettarieven.

Elektrische personenwagens zijn sterk in opkomst, en flexibel laden komt steeds vaker voor. Slim laden thuis wordt in 2023 gedaan door 83% van de EV-rijders in volgens de Nationale Laadonderzoek. Aandeel slim laden op publieke laden is aan het stijgen en was in 2023 23%. Programma Slim Laden voor iedereen probeert slim laden verder te stimuleren met het doel dat 60% van laadsessies in 2025 slim zijn. [Slim Laden voor Iedereen | Nationale Agenda Laadinfrastructuur](#)

- ³ Flexibel laden op straat komt steeds vaker voor. Het is getest in pilotprojecten en wordt in 2024-2025 breder uitgerold. Voor Charge Point Operators (CPO's) van publieke laadpalen is het een afweging tussen zo snel mogelijk laden om zo veel mogelijk wagens bij hun laadpaal langs te laten komen, en laden als de prijzen laag zijn. Terugleveren aan woningen (V2H) en terugleveren aan het net (V2G) komt in 2024 nog vrijwel niet voor. Voor V2G is aanpassing in wet- en regelgeving nodig, terwijl V2H makkelijker implementeerbaar is.
Flexibiliteit in het laden van elektrische personenwagens kunnen een aanzienlijke bijdrage leveren aan het verlagen van de piekbelasting en verlagen van het aantal uren congestie op het laagspanningsnet. Onderzoek in het project FlexPower Amsterdam heeft op publieke laadpalen tot 67% reductie in piekbelasting gerealiseerd, met de kanttekening dat niet alle auto's de volle capaciteit hebben kunnen laden gedurende de laadsessie.
- ⁴ Hoewel het laden van elektrische wagens vrijwel compleet modulair is – dat wil zeggen: elektrische auto's kunnen op een fractie van het maximale vermogen opgeladen worden over een langere tijd – kan het wel een stuk efficiënter zijn om op hoge vermogens te laden. In plaats van tien auto's tegelijkertijd op een laadplein te laden op 1 kW kan het dus beter zijn om de auto's achtereenvolgend te laden op vol vermogen. [FlexPower-Rapport.pdf \(elaad.nl\)](#)

- ⁵ Slim laden: momenteel is de prikkel van elektriciteitsprijzen niet altijd overeenkomstig met het voorkomen van congestie. De discussie om ook voor netcongestie een directe financiële prikkel toe te voegen loopt al lange tijd bij netbeheerders. Naar verwachting zal het aansturen op netbewuste prikkels gemakkelijker zijn bij het laden op straat tegenover thuis, maar ook dat kent zijn uitdagingen. 79% van EV-rijders willen graag thuis laden op dynamische stroomtarieven (RVO, 2023).
- ⁶ Het zou nog een lange tijd kunnen duren voordat V2G en V2H breed toegepast zullen zijn. Huidige auto's zijn nog niet in staat terug te leveren, dus eerst zullen mensen nieuwe elektrische auto's moeten kopen. Dynamische energietarieven zijn de voornaamste financiële prikkel voor het bidirectioneel laden van elektrische personenwagens. Het combineren van laadpalen in een Virtual Power Plant wordt gezien als een toekomstig mogelijkheid om bidirectioneel laden te stimuleren en exploiteren. Het potentieel voor V2G is goed beschreven in (Strategy&, 2021).

Home Energy Management Systemen (HEMS) gebruiken voor zelf-consumptie of congestiemanagement gebeurt nog vrijwel niet of helemaal niet.

- ⁷ HEMS leveren op zichzelf geen flexibiliteit, maar sturen potentieel flexibele apparaten in huis aan. Momenteel worden apparaten die potentieel flexibel zijn (zoals bepaald witgoed) steeds vaker geleverd met software die ze potentieel kan aansturen. Om het energiegebruik op niveau van het complete huishouden te optimaliseren zou het wenselijk zijn om een HEMS alle andere apparaten aan te laten sturen. Momenteel zijn alleen de dynamische nettarieven een financiële prikkel voor HEMS, maar in de toekomst kan de netbeheerder huishoudens ook gaan compenseren voor congestiemanagement.

Koel- en vriesinstallaties, bak- en braadapparatuur en ovens bij horeca, supermarkten, winkels en bakkers zullen na elektrificatie op hetzelfde laagspanningsnet aangesloten zijn als de woningen in de woonwijk.

- ⁸ Vooral bij horeca zal elektrificatie leiden tot verhoging van de piekbelasting, gezien de grote gelijktijdigheid. Daardoor heeft flexibel aansturen van de elektrische apparaten in horeca – waar mogelijk – ook een groot potentieel tot vermindering van de piekbelasting. In de praktijk lijkt het verschuiven van gebruik lastig, aangezien klanten graag zo snel mogelijk hun bestelling ontvangen. Hier zou een bedrijfsbatterij een uitkomst kunnen bieden. Bakkers en supermarkten kennen naar verwachting een meer uitgespreid elektriciteitsgebruik waardoor er minder directe invloed is op de piekbelasting.
- ⁹ De termijn waarop het flexibel aansturen van dergelijke apparatuur breed geïmplementeerd zal zijn is sterk afhankelijk van de noodzaak om het laagspanningsnet te ontlasten. Naar verwachting zal deze groep technologieën als één van de laatste aangeroepen worden om te flexibiliseren. Momenteel bestaan er geen directe financiële prikkels om na elektrificatie ook flexibel aan te sturen, maar potentieel hoeven bedrijven een minder grote netaansluiting te contracteren wanneer zij hun apparaten flexibel aansturen, wat kosten spaart.

Het flexibel aansturen van elektrische apparatuur bij vakopleidingen, van elektrisch verwarmen van sauna's in bijvoorbeeld sportscholen en van het verwarmen van zwembaden met warmtepompen vindt nog helemaal niet plaats. De drie bronnen van potentiële flexibiliteit kunnen naar verwachting slechts een beperkte bijdrage leveren aan het verlagen van de piekbelasting of het verminderen van het aantal uren congestie, of zij hebben helemaal geen invloed. Bij elektrische apparatuur bij vakopleidingen lijkt het zeer onwaarschijnlijk dat deze flexibel aangestuurd zullen worden, waarbij dus het gebruik van

apparaten op bepaalde momenten uitgesteld moet worden. Bij sauna's lijkt ten eerste de aanwezige flexibiliteit klein en is ook het deel van de energievraag ten opzichte van de hele wijk klein, waardoor de bijdrage nagenoeg geen invloed zal hebben. Zwembaden, daarentegen, hebben een relatief groot thermisch vermogen dat als warmtebuffer kan dienen, waardoor het flexibel aansturen van het verwarmen al iets meer invloed kan hebben. Desalniettemin is het aantal zwembaden waarschijnlijk niet groot genoeg om aanzienlijke invloed te hebben op het verlagen van de piekbelasting en de urencongestie op het laagspanningsnet.

¹⁰ Net zoals bij elektrische apparatuur bij horeca en non-horeca zal de termijn waarop deze technologieën breed geïmplementeerd zijn afhangen van de noodzaak om het laagspanningsnet te ontlasten. Bij elektrische apparatuur bij vakopleidingen en sauna's in sportscholen zal dit naar verwachting bij specifieke gebruiken kunnen, maar nooit breed geïmplementeerd zijn.

¹¹ Doordat zwembaden een relatief groot warmtereservoir hebben kan het mogelijk zijn om op zonnestroom te verwarmen, waardoor kosten verlaagd worden.

Witgoed in huis flexibel (laten) aansturen gebeurt momenteel nog heel weinig, maar lijkt wel op komst te zijn. Het flexibel potentieel kan nog wel verschillen per soort apparaat. Wärmtepompdrogers hebben weliswaar constant stroom nodig (rond de 600 W), maar vragen vrij weinig vermogen in vergelijking met een wasmachine of vaatwasser, die tot wel 1,5 – 2 kW kunnen vragen tijdens het verwarmen van water op specifieke momenten. Het flexibel aansturen van drogers heeft dus minder invloed op piekbelasting en netcongestie dan flexibel aansturen van vaatwassers en wasmachines.

¹² Er kan nog een klein verschil zitten wanneer het witgoed reageert op eigen opwek of op dynamische energietarieven, aangezien prikkels uit energietarieven niet per se overeenkomen met congestiemomenten, waardoor ook negatieve effecten zouden kunnen optreden.

¹³ De financiële prikkel lijkt momenteel nog verwaarloosbaar klein, maar kan in de toekomst groter worden.

Koken op inductieplaten is geen flexibiliteitstechnologie, maar is wel een steeds meer voorkomend fenomeen dat een negatieve invloed kan hebben op piekbelasting en congestie. Koken kent een zeer hoge gelijktijdigheid en inductieplaten vragen een aanzienlijk vermogen. In het Verenigd Koninkrijk staat dit fenomeen bekend als *TV Pickup*, waarbij grote hoeveelheden mensen tegelijkertijd hun elektrische waterkoker (kettle) aanzetten na het aflopen van een populaire serie op TV of tijdens de rust van een nationale voetbalwedstrijd.

¹⁴ Potentieel kunnen dynamische nettarieven een financiële prikkel bieden voor mensen om eerder of later te koken.

All-electric warmtepompen voor het verwarmen of koelen van woningen flexibel aansturen en hybride warmtepompen leggen een steeds groter beslag op elektriciteitsnet. Dat is logisch, aangezien het verwarmen van woonruimtes relatief veel energie vraagt, en omdat we woningen van het gas af willen krijgen. Mede daarom zetten de partijen Flexible power Alliance Network (FAN), TKI Urban Energy en RVO zich in voor het Open Flexibility Alliance (OFA) met een standaard voor flexibel aanstuurbare warmtepompen. Hiermee kan de negatieve invloed van warmtepompen op het elektriciteitsnet verkleind worden. Het is belangrijk om te noteren dat er veel verschillende soorten warmtepompen zijn, zoals lucht/lucht en lucht/water warmtepompen (voornamelijk voor bestaande woningen en

kleine utiliteit) en water/water en water/lucht warmtepompen (voornamelijk voor nieuwbouw, collectieve systemen en grotere utiliteit). Tot slot zijn er hybride warmtepompen, die zowel op gas als op elektriciteit kunnen verwarmen. Elk soort warmtepomp wordt net op een andere manier ingezet, waardoor de invloed op het elektriciteitsnet ook verschillend is. De Vereniging Warmtepompen schat dat in 2023 ongeveer 150.000 warmtepompen zijn geïnstalleerd. In de bestaande bouw is de verdeling hybride tegenover all-electric ongeveer 50/50. In nieuwbouw worden alleen all-electric warmtepompen geïnstalleerd. Warmtepompen in de utiliteit zijn nog vrijwel niet aanwezig.

- ¹⁵ Hoewel alle soorten warmtepompen elektriciteit gebruiken, en dus invloed hebben op de piekbelasting en netcongestie, hebben bijvoorbeeld lucht/water warmtepompen – vaker in bestaande bouw aanwezig – een veel progressievere vermogensvraag dan water/water warmtepompen, die vaak in nieuwbouw gevonden worden. Dat wil zeggen dat lucht/water warmtepompen bij koud weer of een open raam, wanneer er om verwarming gevraagd wordt, veel hogere vermogens vragen dan water/water warmtepompen, waardoor zij een grotere negatieve invloed kunnen hebben op het laagspanningsnet. Hierdoor is de winst van flexibel aansturen ook verschillend.
- ¹⁶ Het koelen van woningen met all-electric warmtepompen zal vaak voorkomen op momenten dat de zon schijnt, en dat er dus een overschot van duurzame stroom is. Daarmee is het flexibel aansturen van het koelen in veel gevallen niet nodig. Andere momenten, zoals warme avonden met het raam of de balkondeuren open of zomernachten wanneer wel een lage temperatuur gewenst is de slaapkamer, kunnen ervoor zorgen dat koeling wordt gevraagd wanneer er geen duurzame stroom is. Echter zal er op deze momenten waarschijnlijk geen hoge piekvraag of congestie zijn, waardoor het flexibel aansturen van de koelvraag (vrijwel) geen invloed zal hebben op de belasting van het laagspanningsnet. Wél kan de CO₂-intensiteit, en daarmee prijs, van de gebruikte stroom verlaagd worden door het koelen te flexibiliseren.
- ¹⁷ Hybride warmtepompen hebben intrinsiek een flexibiliteit waarbij ze bij hoge stroomprijzen kunnen overschakelen naar gasverbruik. Ze zijn dus niet *elektriciteitsflexibel* en kunnen daarmee geen positieve bijdrage leveren aan het verlagen van piekbelasting of verminderen van netcongestie (vergeleken met de status quo: strikt verwarmen op gas). Wel kan er een beperkte negatieve bijdrage zijn wanneer er bijvoorbeeld een vraagpiek is in de avond, maar de stroomprijzen laag zijn omdat de wind hard waait. Op deze momenten zal de hybride warmtepomp waarschijnlijk elektrisch schakelen en bijdragen aan het verhogen van de piekbelasting en verergeren van congestie. Het flexibel aansturen van het elektrisch element van een hybride warmtepomp zou wel verlichtend kunnen werken, maar naar verwachting zal er simpelweg naar gas geschakeld worden wanneer er warmtevraag is, in plaats van die vraag elektrisch te verplaatsen.
- ¹⁸ De tijdsschaal waarop het elektriciteitsverbruik van een warmtepomp relevant is, is voornamelijk afhankelijk van de isolatiegraad van de woning. Een nieuwbouwwoning met goede isolatie heeft een enorm thermisch vermogen en zal daardoor over een langere periode flexibiliteit kunnen leveren dan een minder goed geïsoleerde woning.
- ¹⁹ Het vermogen van een warmtepomp kan tot ongeveer 30% van het maximale vermogen gemoduleerd worden, en zal ook erg vaak op dit minimum in bedrijf zijn. Alleen bij grote verschillen tussen de gewenste binnentemperatuur en de buitentemperatuur zal de warmtepomp op het maximale vermogen draaien. Voor hybride warmtepompen geldt ongeveer dezelfde reikwijdte van modulatie, maar hebben doorgaans een lager maximaal vermogen, en daarmee ook een lager minimum vermogen.

²⁰ Warmtepompen sturen autonoom aan in de zin dat ze reageren op het setpoint die ingesteld is en de gemeten temperatuur in de woning. Echter, sommige warmtepompen zijn ook in staat om autonoom te reageren op dynamische tarieven, en kunnen daarmee hun negatieve invloed op piekbelasting of netcongestie verminderen, mits de financiële prikkels juist zijn. Zo zou het flexibel aansturen van de warmtepomp kosten kunnen besparen voor de gebruiker.

Huishoudelijke boilers voor tapwater zijn aanwezig bij ongeveer een half miljoen (6%) Nederlandse huishoudens. [TNO 2023] Aansluitvermogen is vaak rond 2kW en de capaciteit van een 100l boiler is circa 7 kWh – maar de flexpotentieel is lager. Anders dan een thuisbatterij heeft een e-boiler een doel: verwarmen van water voor douche en bad. Vooral voor een bad moet er een minimum warmte-inhoud beschikbaar zijn. Water met een temperatuur lager dan 40°C is niet gewenst omdat het te koud is om te douchen. De flexpotentieel is dus het tijdelijk verhogen van het temperatuursetpunt of uitstellen van opwarming na gebruik. Het gebruik van een elektrische boiler met een temperatuur lager dan 60°C vereist extra aandacht in verband met legionella bacteriën zoals een wekelijks hogere temperatuur voor sterilisatie.

E-boilers zijn makkelijk aanstuurbaar. Traditioneel werden ze op nachstroom verwarmd maar kunnen ook werken als een warmtebatterij voor eigen opwek uit zon-PV. Centrale sturing voor de vermogensbalans is in de praktijk getest (Peeeks, Eneco, 2017).

Warm water wordt vooral in de ochtend en avond gebruikt. Door het opwarmen van het water af te stemmen op momenten met veel beschikbare energie biedt veel flexibiliteit zonder comfortverlies. Een bewuste keuze voor een grotere boiler geeft meer flexpotentieel maar neemt meer ruimte in beslag.

Kleine keukenboilers (of close-in boilers) zijn er naar schatting meer dan 1 miljoen van, met een kleine opslagcapaciteit en relatief lage vermogen. De gelijktijdigheid en impact op energieflexibiliteit is daarom laag.

Warmteopslag via Phase Change Materials (PCM) maakt gebruik van materialen die warmte kunnen opslaan en vrijgeven door middel van faseveranderingen, zoals van vast naar vloeibaar en omgekeerd. Deze materialen absorberen of geven warmte af bij een constante temperatuur tijdens de faseverandering

Voelbare warmteopslag in water is buffers met water als opslagmedium om warmte op te slaan tot een temperatuur van 80 tot 110 °C (bij gebruik van drukvaten).

²¹ Door het lage warmteverlies over tijd is de tijdschaal voor flexibiliteit van zowel PCM als voelbare warmteopslag dagen of zelfs weken, mits de opslagvolume groot genoeg is.

2.5 Conclusies flexibiliteitanalyses

Op basis van de kwantitatieve berekeningen zijn de volgende conclusies te trekken over de verwachtingswaarden van flexibiliteit.

Over de bijdrage aan flexibiliteit van de verschillende apparaattypen

- In de zomer is er bijna geen flexibiliteit van warmtepompen te verwachten. Alleen een beetje van de full electric warmtepomp die alleen voor tapwater wordt gebruikt in de zomer.
- In de zomer is nagenoeg alle beschikbare flexibiliteit afkomstig van EV-laadpunten, evenredig verdeeld tussen publiek en private laadpunten.
- Wanneer er in de zomer afnamecongestie is dan is de enige mogelijkheid voor de inzet van flexibiliteit afkomstig van EV-laadpunten. Per laadpunt is ongeveer 800-1100W beschikbaar aan verwachte flexibiliteit. Dit is redelijk onafhankelijk van het jaar (2030, 2035)
- In de winter is er naast flexibiliteit van EV-laadpunten, ook verwachte flexibiliteit van warmtepompen beschikbaar, variërend van 600-1000W per installatie. De verhouding tussen flexibiliteit van de verschillende apparaat typen is sterk afhankelijk van de archetypische buurt, met opvallende verschillen tussen Archetype 4 (naoorlogse rijtjeswoningen) en Archetype 3 en 6, resp. portiekwoningen en vrijstaande huizen).
- Ook al kan in de winter congestie met de flexibiliteit van warmtepompen worden 'opgelost', dat helpt in de zomer niet wanneer er dan afnamecongestie is.
- In Archetype 4 komt de flexibiliteit in de winter met name van warmtepompen. De verwachting is ca. 80% van het totaal. Het lijkt te verwachten dat op momenten van congestie ook met name de flexibiliteit van deze pompen ingezet dient te worden.
- Voor de andere archetypen is de verwachting dat ca. 50% van de verwachte flex van EV-laadpunten komt en ca. 50% van de warmtepompen.
- De combinaties van deze bovenstaande punten geeft aanleiding tot de conclusie dat afhankelijk van de archetypen zowel de flex van warmtepompen (winter) als de flex van EV-laadpunten (zomer en winter) inzetbaar moet zijn.

Warmtepompen en laadpunten doen allemaal mee met het leveren van flexibiliteit

De totale verwachte flexibiliteit van alle apparaten in een buurt kan variëren van [10-60%] van de totale netcapaciteit. Afhankelijk van zomer of winter is het aandeel van de verschillende apparaten in de hoeveelheid verwachte flexibiliteit verschillend. In de zomer leveren de privé- en publieke laadpunten de flexibiliteit (elk ca 40% van het totaal). De warmtepompen doen een stuk minder, ca 20%, en dan alleen van de volledig elektrische warmtepompen. In de winter doen de warmtepompen wel mee, waardoor de verhoudingen anders liggen. Uit de berekende set van buurten blijkt dat het aandeel in verwachte flexibiliteit van warmtepompen in de winter ongeveer 60% is en laadpunten 40%. De verhoudingen verschillen per type buurt. Een buurt waar laadpunten minder hard groeien dan warmtepompen geeft een ander beeld dan buurten met andere verhoudingen.

De verwachte flexibiliteit per apparaat, het gemiddelde over het aantal apparaten van dat type in een buurt, bedraagt 0,6-1kW voor warmtepompen en 0,8-1kW voor laadpunten. Dit zijn gemiddelden over alle laadpunten en warmtepompen in een buurt en reflecteren de *verwachte* flexibiliteit per individueel apparaat in deze groep. Een laadpaal kan bijvoorbeeld 10kW aan flexibiliteit hebben, maar wanneer er nog negen laadpunten zijn die geen flexibiliteit hebben (doordat ze niet in gebruik zijn of niet minder kunnen leveren zonder comfortverlies), is het gemiddelde over deze 10 laadpunten 1kW.

Wanneer flexibiliteit ingezet gaat worden voor netcongestie is dat zowel in de zomer als in de winter nodig. Dat betekent volgens de kwalificaties in Tabel 2.3 dat flexibiliteit van zowel laadpunten als van warmtepompen nodig is.

Over beschikbaarheid van voldoende flexibiliteit

De berekeningen of er voldoende flexibiliteit beschikbaar is, is gedaan met de twee verschillende methodieken: verwachtingswaarden en kansberekeningen. De kansberekeningen geven hier het meest heldere inzicht omdat verwachtingswaarden niets zeggen over de spreiding van vermogensvraag.

De berekeningen zijn gedaan op een selecte set van buurten. Deze buurten zijn geselecteerd aan de hand van een aantal criteria, een daarvan is dat ze niet op de lijst staan van verzwaren. Toch blijkt dat er sprake is van netcongestie op bepaalde momenten in deze set, wat voor een groot deel op te lossen lijkt met de inzet van flexibiliteit, maar niet altijd. Er zijn in de set van buurten voorbeelden dat met de inzet van een heel groot deel van de potentiële flexibiliteit de netcongestie waarschijnlijk niet weg te werken valt. De logische vraag rijst gelijk hoeveel van dit soort buurten tot 2035 in Nederland problemen mogen verwachten. Een directe vertaling van de set van buurten in dit onderzoek naar een algemeen beeld is te kort door de bocht, additioneel onderzoek zal nodig zijn.

Beschikbaarheid flex op basis van verwachtingswaarden (FlexMetriek)

- Wanneer in de winter congestie optreedt dan is de verwachting dat er 20%-40% in 2030 en 40%-60% in 2035 relatief t.o.v. de totale netcapaciteit beschikbaar is aan flexibiliteit gedurende de congestiemomenten. Dit percentage zegt iets over de grootte van de beschikbare flexibiliteit in verhouding tot de absolute capaciteit van het netwerk. Voorbeeld: als er 10MW flex is, en het netwerk heeft een capaciteit van 100MW, dan is deze metriek 10%. In de zomer liggen deze getallen een stuk lager (5-20% en 10-30%).
- De voorzichtige conclusie is dat een verwachte overbelasting die niet hoger is dan deze FLEXMSR-percentages met de inzet van het maximaal potentieel aan flexibiliteit op te lossen zou kunnen zijn. Voorbeeld: stel dat er 20% FLEXMSR is, dan kan een overbelasting van 20% van de trafo terug te regelen zijn naar een acceptabel niveau door de inzet van alle beschikbare flexibiliteit. In de praktijk zal deze maximale verwachte flexibiliteit niet in zijn totaliteit beschikbaar zijn, dus het FLEXMSR-percentage zal naar alle waarschijnlijkheid een stuk hoger moeten zijn om dat percentage overbelasting te counteren.

FLEXMSR geeft daarmee wel een indruk van wat er mogelijk is. Als de FLEXMSR 60% is, dan mag er redelijk wat congestie zijn die kan worden weggewerkt. Is de FLEXMSR 10%, dan is het kritisch. Meer dan waarschijnlijk is er dan niet voldoende flexibiliteit aanwezig wanneer er sprake is van congestie.

Beschikbaarheid van flexibiliteit op basis van kansberekeningen (Convo Methodiek)

- De Convo methodiek laat een beeld zien dat er congestieproblemen ontstaan in 2030 in een deel van de buurten uit de dataset in dit onderzoek.
- In 2035 is het beeld dat dit geldt voor bijna elke buurt in de dataset. In 2030 is dit meestal op te vangen met de inzet van flexibiliteit.
- Om congestie te voorkomen met de inzet van het potentieel van flexibiliteit is het aannemelijk dat er in 2030 soms al meer dan 50% van het technisch potentieel beschikbaar moet komen in de praktijk.

- In sommige netten in 2035 is er waarschijnlijk niet genoeg flexibiliteit beschikbaar. Andere maatregelen zullen dan moeten worden genomen, waarbij het voor de hand ligt dat de comfortwensen moeten worden aangepast (bv de auto is niet opgeladen, of het huis is toch iets meer afgekoeld) zodat er wel genoeg flexibiliteit beschikbaar komt.
- Nader onderzoek over de mate waarin het potentieel aan flexibiliteit ook daadwerkelijk in de praktijk kan worden ingezet kan hier een scherper beeld van maken.

3 Interoperabiliteit voor het ontsluiten van energieflexibiliteit op apparaten

Het vorige hoofdstuk gaf inzichten in de theoretisch maximaal haalbare flexibiliteit, zonder comfortverlies. In dit hoofdstuk gaan we verder in op de technische aspecten van flexibiliteit en wat er nodig is om de flexibiliteit te ontsluiten. We leggen uit hoe flexibiliteit werkt, in verschillende apparaten en voor verschillende toepassingen. Activeringsmechanismen, technische architectuur en standaarden worden ook uitgelicht. Dit biedt achtergrondinformatie voor de analyse en aanbevelingen voor het ontsluiten van energieflexibiliteit. Het hoofdstuk is zo geschreven dat het ook goed leesbaar is zonder veel voorkennis.

3.1 Energieflexibiliteit in het laagspanningsnet

Voor veel apparaten geldt dat zij een bepaalde taak hebben: een warmtepomp moet zorgen voor een warm gebouw en een warme douche, een laadpaal moet ervoor zorgen dat de elektrische auto wordt opgeladen. Echter is niet alle energievraag urgent. De elektrische auto hoeft wellicht nog lang niet weg, en het kan nog even duren tot de volgende douchebeurt. Wat de eindgebruiker van het apparaat verlangt noemen we de comfortwens of comforteis van de eindgebruiker. Dit zou bijvoorbeeld de gewenste kamertemperatuur kunnen zijn of het tijdstip waarop de elektrische auto uiterlijk tot een bepaald percentage opgeladen moet zijn. Wanneer die comfortwens ruim is (de auto hoeft bijvoorbeeld pas morgenochtend weer opgeladen te zijn) is er ook veel vrijheid in het aansturen van het apparaat. Sommige methoden van het ontsluiten van energieflexibiliteit kunnen echter wel een negatieve impact hebben op de beleving van de eindgebruiker. De eindgebruiker moet dan bijvoorbeeld expliciet zijn comfortwens duidelijk maken, waar hij dat vroeger niet hoefde te doen, of de comfortwens van de eindgebruiker wordt simpelweg niet (volledig) gerespecteerd. Hier schuilt uiteraard het gevaar dat de eindgebruiker deze vormen van energieflexibiliteit niet zal accepteren. Sommige apparaten, zoals zonnepanelen en thuisbatterijen, hebben geen directe impact op comfort. Voor de analyse in dit hoofdstuk gaan we ervan uit dat de comfortwens van de eindgebruiker in principe een gegeven is.

Daarnaast kan het inzetten van energieflexibiliteit een negatieve impact hebben op de energie-efficiëntie van apparaten. Door af te wijken van het standaardgedrag kan het zijn dat een apparaat op een minder energie-efficiënte manier zijn werk moet doen. Het kan echter goed zijn dat de waarde van de energieflexibiliteit voor het energiesysteem groter is dan kosten van het extra energiegebruik. Er zijn inmiddels immers veel momenten waarop er ook een overschot is aan hernieuwbaar geproduceerde elektriciteit. Een gevaar voor flexibiliteit die een negatieve impact op energie-efficiëntie heeft is wel dat deze vorm van

flexibiliteit beperkt kan worden door regulering op gebied van prestatieborging. Een ander aandachtspunt is dat als de eindgebruiker niet op een of andere manier gecompenseerd wordt voor het extra energieverbruik, de eindgebruiker deze vorm van flexibilisering niet zal accepteren.

Energieflexibiliteit is een behoorlijk abstract begrip. Het gaat om het verplaatsen van energieproductie of -consumptie in de tijd; iets wat niet op een makkelijke manier universeel te kwantificeren valt. Voor veel apparaten geldt dat energieflexibiliteit een bijproduct is wat ontstaat als er een vorm van overcapaciteit is: bijvoorbeeld een elektrische auto die langer dan noodzakelijk met de lader verbonden is of een omvormer van zonnepanelen die meer elektriciteit produceert dan nodig is. Een warmtepomp die uitstaat omdat er geen warmtevraag is, is bijvoorbeeld niet flexibel, maar een warmtepomp die op volle toeren moet draaien om het gebouw op temperatuur te houden is dat ook niet.

Om een goed beeld te krijgen van wat er nodig is om apparaten stuurbaar te maken, is het belangrijk om een overzicht te hebben over waar die flexibiliteit vandaan komt, waar je het voor kan gebruiken en wat uiteindelijk het mechanisme is waarmee die flexibiliteit geactiveerd kan worden. Hoewel alles uiteindelijk met elkaar vervlochten is, worden deze onderdelen in dit hoofdstuk apart geïntroduceerd.

3.2 Bronnen van energieflexibiliteit

Typische bronnen voor energieflexibiliteit in het laagspanningsnet zijn laadpunten voor elektrische auto's, warmtepompen, witgoed, zonnepanelen en thuisbatterijen. Deze apparaten vind je vaak terug in energiemanagementsystemen of communicatiestandaarden voor energiemanagement. Dat zijn niet per se alle mogelijke bronnen van energieflexibiliteit, maar wel de meest concrete op dit moment. Vaak wordt er gesproken van "the big four", waarbij uit deze opsomming het witgoed niet meegenomen wordt. Hoewel witgoed een herkenbaar en concreet voorbeeld is, is het qua vermogens en energieverbruik minder impactvol dan de andere typen apparaten.

3.2.1 Laadpunten elektrische auto's

Voor laadpunten van elektrische auto's maken we onderscheid tussen drie soorten: publieke laadpunten, private laadpunten die net als publieke laadpunten gekoppeld zijn aan een Charge Point Operator (primair voor het verrekenen van de energiekosten aan bijvoorbeeld de leasemaatschappij) en privé laadpunten (waarbij de kosten niet verrekend worden en dus deel uitmaken van energierekening).

Wanneer de comfortwens van de eindgebruiker bekend is (hoe laat moet de auto hoe vol geladen zijn), samen met de technische eisen (de minimale en maximale laadsnelheid van de auto) kan er in principe een optimale laadplanning gemaakt worden waarbij maximaal rekening wordt gehouden met het energiesysteem. Helaas is de comfortwens van de eindgebruiker in de praktijk meestal niet beschikbaar. Er zijn steeds meer initiatieven die hier functionaliteit voor bieden (bijvoorbeeld in de vorm van een app of een SMS bericht), maar door gebrek aan standaardisatie op dit vlak is deze informatie niet breed toepasbaar. Wat er in zo'n geval gedaan kan worden is het limiteren van de laadsnelheid op bepaalde momenten. Dit is compromis wat de beschikbare flexibiliteit significant beperkt (misschien was er wel gelegenheid om het laden uit te stellen) en het comfort negatief kan beïnvloeden (de auto moet langer laden of is wellicht niet voldoende geladen als hij weer weg moet).

Bij publieke laadpunten speelt mee dat het niet wenselijk is dat mensen onnodig het laadpunt bezet houden. Dit belang staat recht tegenover het belang om zoveel mogelijk flexibiliteit uit de laadsessie te halen: dan wil je graag dat de auto zo lang mogelijk gekoppeld is aan het laadpunt om zoveel mogelijk overcapaciteit in de tijd te creëren.

Er komen ook steeds meer elektrische auto's op de markt die in staat zijn om energie terug te leveren (bidirectioneel laden). Deze mogelijkheid vergroot de flexibiliteitsopties nog meer, zeker als de auto langer op het laadpunt aangesloten is. Om dit effectief in te zetten is het wenselijk dat de comfortwens van de eindgebruiker bekend is, of dat hier op zijn minst goede aannames over te doen zijn.

3.2.2 Warmtepompen

All-electric warmtepompen hebben in principe drie manieren waarop ze flexibel kunnen zijn. Ten eerste kunnen ze (als ze warm tapwater maken) flexibel gebruik maken van de warm tapwater buffer. Typisch standaardgedrag is dat warmtepompen direct de buffer gaan aanvullen als er warm water gebruikt is, om zo te voorkomen dat het warme water op raakt. Je zou echter ook een kleinere voorraad aan kunnen houden, en de voorraad pas aanvullen als dit wenselijk is vanuit het elektriciteitssysteem. Helemaal wanneer de warmwatervraag goed voorspelbaar is kan hier goed gebruik van gemaakt worden. De impact op comfort hiervan is dat er kans is dat er minder warm water beschikbaar is dan gewenst. Er zou geen significante impact op energie-efficiëntie moeten zijn.

Ten tweede kunnen warmtepompen (als ze gebruikt worden om het gebouw te verwarmen of te koelen) ook het gebouw zelf als thermische buffer gebruiken. Een gebouw heeft, afhankelijk van de bouwmaterialen en het warmteafgiftesysteem, een behoorlijke thermische massa. Het warmt niet snel op, maar koelt ook niet snel af. Door op de juiste momenten warmte of kou aan het gebouw toe te voegen kan er redelijk wat flexibiliteit ontstaan. De impact op comfort bestaat er dan uit dat er kleine variaties kunnen ontstaan in de ruimtetemperatuur of die van het afgiftesysteem (bijvoorbeeld de vloer bij vloerverwarming). Aangezien bij deze vorm van flexibiliteit de warmtepomp niet altijd in zijn optimale vermogen kan zitten is hierbij wel een kleine kans op impact op de energie-efficiëntie. Met name bij deze vorm van energieflexibiliteit is het de vraag hoe de eindgebruiker dit ervaart, en of dat invloed heeft op of eindgebruikers dit wel zullen accepteren. Een bewoner kan het koud hebben en dit toeschrijven aan de aansturing van de warmtepomp, terwijl in dit feite niet het geval hoeft te zijn. Bij deze vorm van energieflexibiliteit komt de flexibiliteit niet alleen uit de warmtepomp, maar uit het hele klimaatstelsel, waar de regeling (zoals thermostaten of naregeling) en het warmteafgiftesysteem ook onderdeel van uitmaken.

Ten derde moeten warmtepompen (als ze warm tapwater maken) een wekelijkse thermische desinfectie doen tegen legionella. Aangezien warmtepompen minder efficiënt zijn bij hoge temperaturen hanteren ze in Nederland typisch een temperatuur van 55 graden Celsius voor warm tapwater. Om legionella te voorkomen is echter een temperatuur van 65 graden vereist. Sommige warmtepompen kunnen deze temperatuur niet leveren met de compressor en schakelen hiervoor de bijverwarmer aan (een weerstandsverwarming die minder energie-efficiënt is en in verhouding veel elektrisch vermogen vereist), andere warmtepompen kunnen deze temperatuur wel realiseren met de compressor maar met een lagere energie-efficiëntie. Om toch redelijk energie-efficiënt te zijn, verwarmen warmtepompen daarom de warmwater buffer meestal maar eenmaal per week tot 65 graden. Het moment waarop dit gebeurt kan echter wel wat verschoven worden, zonder significante impact op comfort of energie-efficiëntie. Hierbij moet wel worden opgemerkt

dat er nog geïnnoveerd wordt op dit onderwerp, en legionellapreventie in de toekomst anders zou kunnen worden ingevuld.

Hybride warmtepompen kunnen, naast de genoemde mogelijkheden om warmte te bufferen, ook flexibel zijn door het elektrische gedeelte in vermogen te limiteren of uit te zetten en (extra) warmte te maken uit aardgas. Op die manier kan een significante reductie in het elektrisch vermogen plaatsvinden, die bovendien lang kan worden volgehouden en geen impact heeft op comfort. Het gebruik van deze vorm van flexibiliteit (overschakelen op aardgas) kan echter op gespannen voet staan met regulering rondom prestatieborging waarbij juist het elektrische deel van de hybride warmtepomp zoveel mogelijk gebruikt moet worden. Ook zal de eindgebruiker wellicht financieel gecompenseerd moeten worden voor de hogere kosten van verwarmen met aardgas.

3.2.3 Witgoed

Het aanzetten van wasmachines, drogers en vaatwasser is niet altijd urgent. Veel gebruikers zijn bekend met start-uitstel functionaliteit, waarbij het apparaat pas later aan zijn taak begint. In plaats van aangeven wanneer de gebruiker wil wanneer het apparaat start of klaar moet zijn, zouden ze ook kunnen instellen wanneer ze uiterlijk willen dat het apparaat klaar is. Binnen de door de gebruiker geselecteerde ruimte kan dan het meest geschikte moment gekozen worden om daadwerkelijk aan te gaan. De impact op comfort is dat de gebruiker nu gevraagd wordt om zijn comfortwens iedere keer in te stellen. Een impact op energie-efficiëntie is er niet.

3.2.4 Zonnepanelen

Zonnepanelen produceren elektriciteit voor de eindgebruiker, maar hebben geen directe impact op comfort. Voor veel energiemangement toepassingen is het van belang te weten wat de productie van zonnepanelen is, om het gedrag van andere apparaten daarop af te kunnen stemmen. Omvormers zouden echter ook gevraagd kunnen worden om de hoeveelheid geproduceerde elektriciteit te verminderen, of om volledig te stoppen. Dit betekent uiteraard dat de anders hernieuwbaar geproduceerde elektriciteit verloren gaat. In de praktijk slaan omvormers soms al af als het voltage op het net te hoog wordt, wat grote problemen voor de netbeheerder al grotendeels voorkomt. Als de omvormer vanwege andere redenen gelimiteerd wordt (bijvoorbeeld door de netbeheerder in het geval van aanbod congestie) is het echter de vraag of de eindgebruiker dit begrijpt en zal accepteren. In dat geval zou de eindgebruiker hier idealiter financieel geen nadeel van moeten ondervinden en het zou de eindgebruiker moeten worden uitgelegd dat het voor het energiesysteem beter is om deze energie niet aan het net te leveren.

3.2.5 Thuisbatterijen

Thuisbatterijen kunnen elektriciteit opslaan en later weer afgeven. Een batterij heeft vrijwel altijd als enige functie energieflexibiliteit af te geven. Thuisbatterijen hebben daardoor geen directe impact op comfort. Bij het laden en ontladen van batterijen gaat er echter altijd wat energie verloren. Soms wordt er voor de thuisbatterij gebruik gemaakt van een gecombineerde omvormer met de zonnepanelen, om zo omzetverliezen tussen wisselspanning en gelijkspanning te voorkomen.

3.3 Toepassingen voor energieflexibiliteit

Energieflexibiliteit kan waarde voor het energiesysteem hebben. Het kan echter voor veel verschillende toepassingen worden ingezet. Hoewel dit rapport zich met name richt op congestiemanagement, is het voor de interoperabiliteit voor energieflexibiliteit op apparaten van belang om alle mogelijke toepassingen in overweging te nemen. Het ligt immers voor de hand dat apparaten uiteindelijk maar één interface hebben om aangestuurd te worden, die voor alle mogelijke toepassingen ingezet zou moeten kunnen worden.

3.3.1 Optimalisatie binnen gebouw

Load balancing

Met load balancing wordt het balanceren van verschillende verbruikers in het gebouw bedoeld. Deze term is vooral bekend bij laadpunten voor elektrische auto's, maar kan net zo goed voor andere typen apparaten gebruikt worden.

Iedere netaansluiting heeft een bepaalde capaciteit (voor kleinverbruik is tegenwoordig 3 fasen met ieder 25 ampère voor nieuwe aansluitingen gangbaar). Wanneer in een woning bijvoorbeeld elektrisch gekookt wordt en tegelijkertijd een elektrische auto geladen wordt kan het gevraagde vermogen hoger zijn dan wat de aansluiting kan leveren. Een oplossing is om de aansluiting te verzwaken, maar dit brengt extra maandelijkse kosten met zich mee. Met load balancing wordt de flexibiliteit van een apparaat ingezet om onder de aansluitcapaciteit te blijven. In het voorbeeld zou de elektrische auto automatisch minder snel gaan laden, om zo samen met de kookplaat en andere verbruikers in de woning onder die aansluitcapaciteit te blijven. Het is hierbij belangrijk dat het flexibele apparaat snel kan reageren, aangezien load balancing typisch pas in werking treedt als er op de hoofdaansluiting een grotere vraag gemeten wordt dan de aansluiting aankan. Er moet dus gereageerd worden voordat de hoofdzekering doorbrandt of de installatieautomaat afschakelt.

Zelfconsumptie zonne-energie

Een zonnepanelen installatie produceert elektriciteit. Die elektriciteit kan binnen het gebouw, achter de aansluiting door andere apparaten direct worden verbruikt, of het wordt terug geleverd aan het elektriciteitsnet. Je kan energieflexibiliteit inzetten om de energievraag binnen het gebouw zoveel mogelijk te verplaatsen naar moment dat de zonnepanelen elektriciteit produceren, om zo zoveel mogelijk elektriciteit binnen het gebouw te gebruiken en zo weinig mogelijk terug te leveren.

Zolang de salderingsregeling van kracht is, is er voor woningen geen financiële prikkel om te optimaliseren voor zelfconsumptie. Mensen zouden het echter voor ideologische redenen kunnen doen. Wanneer salderen wordt afgeschaft is er een directe financiële prikkel om te optimaliseren voor zelfconsumptie.

3.3.2 Congestiemanagement

Energie flexibiliteit kan ook ingezet worden om het elektriciteitsnet lokaal te ontlasten bij piekvragen. Hoewel er al concrete oplossingen zijn voor congestiemanagement (zoals bijvoorbeeld energiehandelsplatformen die het middels GOPACS mogelijk maken netcongestie te voorkomen), zijn er op dit moment voor laagspanning vooral nog plannen en experimenten.

Preventieve maatregelen

Zo wordt er gekeken naar preventieve maatregelen als tariefoplossingen en aansluitvoorwaarden (zoals bijvoorbeeld op bepaalde momenten het vermogen van de netaansluiting beperken). Dit zijn maatregelen die gebruikers financieel aanmoedigt om individuele pieken in elektriciteitsvraag of -productie te vermeiden. Hoewel dit er over het algemeen voor zal zorgen dat er minder congestie zal ontstaan, kan hiermee acute congestieproblematiek niet opgelost worden. Het gaat bij congestie immers om de collectieve piek, niet om de individuele piek.

Dynamisch congestiemanagement

Om congestieproblemen daadwerkelijk op te lossen zal er actief moeten worden ingegrepen bij (verwachte) congestie. Dit zou op een directe manier kunnen, maar ook via een markt voor congestiemanagementdiensten. Hierbij koopt een netbeheerder congestiemanagement in bij een partij, die die dienst kan leveren door gebruik te maken van de energieflexibiliteit van een groep apparaten die op dat segment van het net aangesloten zit.

Noodmaatregel bij netcongestie

Door gebruik te maken van energieflexibiliteit of markten voor congestiemanagement maken we ons elektriciteitsnet afhankelijk van systemen die weinig garanties kunnen geven. Energie flexibiliteit hoeft niet altijd beschikbaar te zijn en een markt kan falen. Om toch een stabiel elektriciteitssysteem te kunnen garanderen wordt nagedacht over een vangnet, waarbij de netbeheerder rechtstreeks naar een aansluiting of individueel apparaat een noodsignaal kan sturen. Bij zo'n noodsignaal zou er sprake van kunnen zijn dat de comfortwens van de eindgebruiker niet gerespecteerd kan worden. Het niet activeren van deze flexibiliteit zou in zo'n geval echter tot ergere uitkomsten voor de eindgebruiker kunnen leiden (zoals stroomuitval of boetes).

Autonome regeling

Naast deze vormen van energieflexibiliteit, waarbij er in een bepaalde vorm sturing van buiten het apparaat plaatsvindt, is het ook mogelijk dat apparaten of energiemangement-systemen zelf beter rekening houden met het energiesysteem, bijvoorbeeld door zelf het voltage of de frequentie van het net te meten. Nu bevatten alleen omvormers voor zonnepanelen een (rudimentaire) autonome regeling om af te schakelen als de spanning te hoog wordt. Dit soort regeling kan echter voor meer type apparaten geïmplementeerd worden, en wat verfijnder worden uitgevoerd om abrupte schommelingen te voorkomen.

3.3.3 Balanceren van elektriciteitsnet

Energieflexibiliteit kan ook goed gebruikt worden om de productie en consumptie van elektriciteit beter op elkaar af te stemmen.

Elektriciteit goedkoper inkopen

Energieleveranciers kunnen zelf elektriciteit produceren, maar handelen eigenlijk ook altijd op energiemarkten. Omdat elektriciteit zo lastig op te slaan is kan de prijs van elektriciteit erg fluctueren. Energieleveranciers maken een inschatting van de energievraag en -aanbod van hen klanten, en kopen die energie van tevoren in voor ieder moment op de dag.

Energiemarkten waar energie voor bepaalde momenten op korte termijn verhandeld worden, worden ook wel de spotmarkten genoemd. In Nederland zijn de grote markten de EPEX day-ahead markt, waar elektriciteit een dag van tevoren verhandeld wordt, en een EPEX intraday markt, waar elektriciteit op de dag zelf tot een kwartier voortijd nog verhandeld kan

worden. Middels energieflexibiliteit kan een deel van de energievraag (of aanbod) zo van dure momenten naar goedkopere momenten verplaatst wordt, wat de gemiddeld inkoop-prijs van elektriciteit verlaagt. Hoe groter de fluctuaties in de marktprijzen, des te meer het loont om elektriciteit op het juiste moment te gebruiken.

Op dit moment zakt de prijs vooral bij een groot aanbod van hernieuwbare elektriciteit. Op die manier zorgen marktprijzen er dus voor dat door energieflexibiliteit er verhoudingsge-wijs meer hernieuwbare energie verbruikt kan worden, en dus verhoudingsgewijs ook minder fossiele energie. Een bijkomend effect van op grote schaal energieflexibiliteit gebruiken om energie gunstiger in te kopen, is dat dit de prijsvolatiliteit verlaagt. Aangezien de prijzen vooral dalen als er veel aanbod van hernieuwbare elektriciteit is, heeft dit een gunstig effect op de gemiddelde verkoopprijs van hernieuwbare elektriciteit, wat het investeren in bronnen van hernieuwbare energie aantrekkelijker kan maken.

Balanceringsdiensten leveren

De kleinste resolutie waarop elektriciteit verhandeld wordt op energiemarkten is in blokken van 15 minuten. Maar ook binnen die blokken moet energieproductie en consumptie in ba-lans zijn. Tennet is in Nederland verantwoordelijk om dit te organiseren. Balance Service Pro-viders (BSP's) kunnen Tennet balanceringsdiensten bieden, waarbij ze op korte tijdschalen meer elektriciteit kunnen leveren (of minder afnemen), of andersom. Er zijn verschillende diensten die op verschillende tijdsschalen werken (concreet zijn dit Frequency Containment Reserve (FCR), automated Frequency Restoration Reserve (aFRR) en manual Frequency Restoration Reserve (mFRR)). Afhankelijk van mogelijke reactiesnelheid van een bron van energieflexibiliteit, kan gebundelde energieflexibiliteit van een groot aantal bronnen gebruikt worden om balanceringsdiensten te leveren aan Tennet. Tegenover het leveren van deze diensten staat een financiële vergoeding.

Een aandachtspunt bij het leveren van balanceringsdiensten (met name wanneer dit ge-beurt met flexibiliteit uit het laagspanningsnet) is dat dit niet tot nieuwe congestieproble-men leidt. Het balanceren van het nationale elektriciteitsnet zal immers gepaard gaan met pieken. Deze pieken moet niet lokaal tot nieuwe congestieproblemen leiden.

Portfolio optimalisatie

Energieleveranciers produceren dus zelf energie en verhandelen dit op energiemarkten. Dit gebeurt echter allemaal in de toekomst, op basis van voorspellingen. Een energieleverancier kan een inschattingsfout maken over het verbruik van zijn klanten, of kan een verkeerde voorspelling maken van de productie van bijvoorbeeld zijn eigen windmolens. Wanneer een energieleverancier hier een afwijking in heeft, moet hij de energie virtueel van of aan Tennet kopen of verkopen. Dit gebeurt op basis van de onbalansprijs, die achteraf bepaald wordt. Met name door klanten met zonnepanelen worden energieleveranciers vaak geconfronteerd met hoge onbalanskosten. Met energieflexibiliteit kan een energieleverancier hier echter di-rect op inspelen. Op die manier kan het onbalanskosten voorkomen of de eigen productie beter gebruiken of verhandelen.

3.3.4 Meerdere toepassingen tegelijk

De energieflexibiliteit van een apparaat kan voor verschillende toepassingen tegelijk worden ingezet. Het ligt voor de hand dat uiteindelijk energieflexibiliteit van een apparaat wordt ingezet voor zowel optimalisatie binnen het gebouw, alsook congestiemanagement en ook het balanceren van het elektriciteitsnet. In zo'n geval zal er een prioritering nodig zijn.

Hierbij moeten we ons realiseren dat energieflexibiliteit iets is wat schaars is en waarde heeft. Energieflexibiliteit die wordt ingezet voor een doel is niet meer beschikbaar voor een ander doel. Daarom zou de technologie die ervoor zorgt dat de energieflexibiliteit geactiveerd wordt rekening moeten houden met eventuele andere toepassingen en ervoor moeten zorgen dat het niet te veel activeert, om zo nadelige gevolgen voor ene andere toepassing te beperken.

3.3.5 Evolutie van toepassingen van energieflexibiliteit

Deze toepassingen van energieflexibiliteit zijn het gevolg van hoe we ons energiesysteem in Europa en Nederland hebben ingericht. De manier waarop dit wordt ingericht kan in de toekomst echter veranderen. Zo ontstaan er al nieuwe energie- en balanceringsmarkten, en zijn er ideeën over een meer lokaal ingericht energiesysteem, waarbij individuen ook meer mogelijkheid hebben om hun eigen keuzes te maken over energie delen of het in- en verkopen van energie (bijvoorbeeld aan hun burelen). Ook kunnen er kleinere energienetwerken ontstaan (zogenaamde microgrids, zoals bijvoorbeeld DC netten of netten op bedrijventerreinen), waarbij energieflexibiliteit een belangrijke rol kan spelen om balans te handhaven.

Het is dus goed om je ervan bewust te zijn dat het energiesysteem nog grote veranderingen kan ondergaan, die ook weer impact hebben op hoe energieflexibiliteit ingezet kan worden.

3.4 Het activeringsmechanisme voor energieflexibiliteit

Voor toepassingen van energieflexibiliteit die buiten het gebouw liggen geldt dat er een bepaald *activeringsmechanisme* nodig is. Dit is een mechanisme wat op de een of andere manier aangeeft wat een goed moment is om elektriciteit te gebruiken (of te maken), of wat juist een slecht moment is. Vaak wordt dit direct gecombineerd met een financiële prikkel om goed gedrag te belonen. De redenen om energieflexibiliteit in te zetten kunnen erg complex zijn, en lastig uit te leggen aan de eindgebruiker. Een activeringsmechanisme dient vaak om die complexiteit wat af te schermen voor de eindgebruiker, en er een makkelijk te begrijpen concept van te maken. Zo'n mechanisme kan specifiek ontwikkeld te zijn om energieflexibiliteit automatisch aan te sturen, maar richt zich soms ook op de gebruiker.

In feite is een activeringsmechanisme de set aan spelregels voor de eindgebruiker. Voor de acceptatie van de eindgebruiker is het van belang dat deze spelregels voorspelbaar en makkelijk te begrijpen zijn. Een activeringsmechanisme zou verplicht kunnen zijn, er zou een opt-out mogelijkheid kunnen zijn en hij zou vrijwillig kunnen zijn, waarbij de eindgebruiker gestimuleerd zou kunnen worden om deel te nemen met bijvoorbeeld een financiële beloning.

In Nederland zijn er op dit moment twee bekende mechanismen: het aloude piek- en dalstarief (ook wel dubbeltarief of dag- en nachttarief) en het nieuwere 'dynamische energietarieven'. Het eerste mechanisme (wat in deze tijd met veel zonnepanelen wellicht wat achterhaald is) beloont de eindgebruiker om zijn stroomvraag naar de nacht te verplaatsen. Het tweede mechanisme heeft geeft eindgebruikers per uur een ander energietarief, waardoor beter ingespeeld kan worden op het aanbod van energie.

3.4.1 Soorten activeringsmechanismen

Er zijn vele soorten activeringsmechanismen denkbaar. Wanneer we kijken naar de technische werking van dit soort mechanismen kunnen we een aantal categorieën onderscheiden:

Directe sturing

Bij directe sturing wordt er van buiten het gebouw een signaal gestuurd waarbij een apparaat direct in zijn gedrag beïnvloed wordt. Een voorbeeld hiervan is een “peak demand signal”, die op sommige plekken in de Verenigde Staten gebruikt wordt om airconditioning apparatuur tijdelijk uit te schakelen op momenten van grote elektriciteitsvraag. Deelname aan deze sturing levert een vaste korting per maand op.

Directe sturing vereist een signaal van buiten het gebouw, maar is verder een relatief eenvoudig mechanisme. Het nadeel van zo'n mechanisme is dat er voor de eindgebruiker bij sturing niets meer te kiezen valt. Bij directe sturing is er niet een directe koppeling tussen het technische mechanisme en de (financiële) beloning, dus de aanbieder is vrij zijn eigen propositie voor de eindgebruiker te ontwikkelen.

Statische vermogenslimieten

Ook is het mogelijk om limieten te stellen voor het vermogen wat via de aansluiting kan worden uitgewisseld met het elektriciteitsnet, of voor het vermogen van een individueel apparaat. Deze limieten zouden op bepaalde momenten kunnen veranderen, bijvoorbeeld tijdens de typische avond-piek. Een belangrijke vraag is hoe hierop gehandhaafd wordt, aangezien er bij dit soort limieten geen zekering is die doorbrandt of installatieautomaat die uitschakelt.

Limieten stellen zou ook over meerdere aansluitingen kunnen (een groepscontract). Hierbij moet je bijvoorbeeld met burens binnen gemeenschappelijke limiet blijven. Wanneer iemand zijn limiet niet volledig gebruikt ontstaat er extra ruimte voor anderen. Dit vereist wel een lokaal regelsysteem.

Het stellen van limieten zal gemiddeld genomen een positief effect hebben, maar dit hoeft niet op ieder moment zo te zijn. Een vermogenslimiet activeert niet alle mogelijke energieflexibiliteit. Een limiet kan bijvoorbeeld een rol spelen om congestieproblemen te voorkomen, maar maakt het niet mogelijk om een acuut congestieprobleem ook op te lossen. Bij een limiet op de hoofdaansluiting zou de eindgebruiker zelf kunnen kiezen welke apparaten prioriteit krijgen.

Dynamische vermogenslimieten

Vermogenslimieten zouden ook dynamisch kunnen zijn. In dat geval wordt er van buiten het gebouw (bijvoorbeeld door de netbeheerder) een signaal gestuurd wat de huidige limieten zijn of die in de nabije toekomst zijn. Zo zou de netbeheerder bijvoorbeeld alleen de limieten hoeven te verlagen als er daadwerkelijk op dat moment sprake is van netcongestie.

Met dynamische limieten kan er beter worden ingespeeld op de actuele toestand van het energiesysteem. Ook voor een dynamisch vermogenslimiet geldt dat niet alle mogelijke energieflexibiliteit geactiveerd wordt. Bij een limiet op de hoofdaansluiting zou de eindgebruiker zelf kunnen kiezen welke apparaten prioriteit krijgen.

Statische prikkel

Bij een statische prikkel is er een financiële prikkel die bepaald gedrag beloont, maar waarbij geen communicatie nodig is met het energiesysteem. Een voorbeeld hiervan is het eerdergenoemde Nederlandse piek- en daltarief (waarbij de starttijden van het nieuwe tarief vaststaan), maar bijvoorbeeld ook het capaciteitstarief in Vlaanderen (waar men wordt afgerekend op vermogenspieken, zie voor meer details hoofdstuk 4.1.3). Een apart leverings- en teruglevertarief (wat ontstaat bij het afschaffen van de salderingsregeling) is een statische prikkel die directe consumptie van zelfgeproduceerde zonne-energie beloont. Een statische prikkel is meestal zo ontworpen dat het gemiddeld genomen een positief effect heeft op het energiesysteem.

Een voordeel van een statische prikkel is dat er geen communicatie met buiten het gebouw nodig is. Het nadeel is dan ook dat de huidige staat van het energiesysteem niet meegenomen worden. Hoewel gemiddeld genomen het een positief effect heeft, hoeft dat dus niet op ieder moment zo te zijn. Een statische prikkel kan bijvoorbeeld een rol spelen om congestieproblemen te voorkomen, maar maakt het niet mogelijk om een acuut congestieprobleem ook op te lossen. Omdat het slechts een prikkel is zijn mensen helemaal vrij om hun eigen keuzes te maken; de consequentie kan alleen zijn dat ze meer moeten betalen.

Dynamische prikkel

Bij een dynamische prikkel komt er een actueel signaal van buiten de woning. Hierdoor kan er een financiële prikkel geboden worden die rekening houdt met de staat van het energiesysteem, en kunnen eindgebruikers daarop inspelen. Een typisch voorbeeld hiervan zijn de dynamische tarieven die we in Nederland kennen. Hierdoor wordt energiegebruik gestimuleerd als er meer aanbod is dan vraag, zoals bijvoorbeeld momenten waarop veel hernieuwbare energie geproduceerd wordt.

Een voordeel van een dynamische prikkel is dat er ingespeeld kan worden op de actuele situatie, en zal het gemiddeld genomen een grotere toegevoegde waarde voor het energiesysteem hebben dan een statische prikkel. Net als bij een statische prikkel zijn mensen helemaal vrij om hun eigen keuzes te maken; de consequentie kan alleen zijn dat ze meer moeten betalen. Een groot nadeel van een dynamische prikkel is dat er geen afstemming plaatsvindt tussen deelnemers, wat tot nieuwe problemen kan leiden. Er bestaat een kans dat er (als het mechanisme breed geadopteerd wordt, en bovendien automatisch op gereageerd wordt) er te sterk op de prikkels gereageerd wordt, waardoor er weer nieuwe (congestie)problemen gaan ontstaan. Bovendien kan er bij de overgang van het ene tarief naar het volgende tarief een grote geautomatiseerde reactie plaatsvinden van energieverbruikers en -producenten (bijv. starten met laden, stoppen met laden), wat het balanceren van het elektriciteitsnet op korte termijn lastiger maakt.

Geautomatiseerde afstemming

Bij *geautomatiseerde afstemming* vindt er afstemming plaats over het gebruik van energieflexibiliteit met een entiteit buiten het gebouw. Hierbij wordt meestal gesproken over een Virtual Power Plant (VPP). Hierbij worden alle bronnen van energieflexibiliteit geaggregeerd tot een virtuele en gedistribueerde energiecentrale, waarvan de elektriciteitsvraag- en aanbod nauwkeurig gestuurd kunnen worden, binnen de grenzen die gesteld worden door de apparaten zelf (om zo bijvoorbeeld geen te grote impact te hebben op comfort en energie-efficiëntie). De partij die de energieflexibiliteit bundelt wordt meestal een *aggregator* genoemd. Een VPP kan door de aggregator gebruikt worden om de energieflexibiliteit in te zetten voor vele toepassingen, zoals dynamisch congestiemanagement, beter energie inkopen op energiemarkten, het leveren van balanceringsdiensten of het reduceren van

onbalanskosten. VPP's zijn nu vooral in gebruik voor wat meer industriële bronnen van energieflexibiliteit, maar er zijn ook al producten en diensten beschikbaar die zich richten op kleinverbruikers. In de toekomst zijn meer innovatieve opzetten mogelijk waaronder peer-to-peer.

Een groot voordeel van geautomatiseerde afstemming is dat er vrij directe controle mogelijk is, en dat er goed inzicht is in de beschikbare flexibiliteit. De energieflexibiliteit kan parallel voor verschillende doeleinden ingezet worden, en zelfs dynamisch gealloceerd worden waar het de meeste waarde voor het energiesysteem. Geautomatiseerde afstemming heeft in vergelijking tot de andere activeringsmechanismen in potentie de grootste toegevoegde waarde voor het energiesysteem, en heeft bovendien ook een relatief duidelijke business case. Een nadeel van geautomatiseerde afstemming is dat dit ook direct het meest complexe mechanisme is. Bovendien moet er altijd actuele informatie uitgewisseld worden over de energieflexibiliteit, wat een impact heeft op de privacy van de eindgebruiker. Bij geautomatiseerde afstemming is er niet een directe koppeling tussen het technische mechanisme en de (financiële) beloning, dus de aanbieder is vrij zijn eigen propositie voor de eindgebruiker te ontwikkelen.

3.4.2 Activeringsmechanismen voor congestiemanagement

In het LAN-LS worden drie richtingen onderzocht voor congestiemanagement door de netbeheerder: Een nieuw tariefstelsel, marktgebaseerde congestiemanagement en een vangnet. Op moment van schrijven is er geen duidelijkheid over hoe deze activeringsmechanismen vormgegeven zullen gaan worden.

Een nieuw tariefstelsel is naar alle waarschijnlijkheid een statische prikkel. Dit zou dus betekenen dat het gemiddeld genomen congestieproblemen moet voorkomen, maar dat het niet een middel is om congestieproblemen op te lossen.

Voor marktgebaseerde congestiemanagement worden er twee opties voorzien: individuele proposities en geaggregeerde proposities. Bij individuele proposities gaat het bijvoorbeeld om een bepaalde vorm van sturing, waar een vergoeding tegenover staat. Het marktmechanisme zit er dan in dat deze propositie resulteert in een bepaalde vergoeding of korting, en dat het maar net aan de markt ligt hoeveel gebruikers dit voorstel voor welk bedrag accepteren. Voor geaggregeerde proposities ligt het voor de hand dat spelers middels een Virtual Power Plant congestiemanagementdiensten kunnen aanbieden aan de netbeheerder. Een voordeel van een VPP is dat er vrij precies gestuurd kan worden, dus dat alleen de energieflexibiliteit aangesproken wordt die ook echt nodig is om de congestie te voorkomen, en dat de overige flexibiliteit beschikbaar blijft voor andere toepassingen.

Het vangnet is bedoeld als een uiterste noodmaatregel om ervoor te zorgen dat elektriciteitsnet blijft functioneren. Dit zal waarschijnlijk een vorm van directe sturing zijn. De andere vormen van congestiemanagement zijn inherent niet altijd betrouwbaar, dus het is verstandig om een vangnet in te stellen voordat ons elektriciteitsnet op bepaalde plekken afhankelijk wordt gemaakt van andere mechanismen voor congestiemanagement. Er zouden duidelijke regels moeten zijn over in welke gevallen het vangnet geactiveerd zou mogen worden. Het vangnet zou zelden ingezet moeten worden, en alleen als het probleem echt urgent is, dus impact op comfort en energie-efficiëntie zouden hier een onderschikte rol kunnen spelen.

Voor een nieuw tariefstelsel en marktgebaseerde congestiemanagement geldt dat er een financiële prikkel is om deel te nemen. Voor een vangnet geldt dit echter niet per definitie. Een vorm van verplichting zou hier wellicht effectiever zijn om te waarborgen dat een vangnet effectief is.

3.4.3 Meerdere activeringsmechanismen tegelijk

Het ligt voor de hand dat er uiteindelijk meerdere activeringsmechanismen naast elkaar bestaan, die de energieflexibiliteit van hetzelfde apparaat inzetten; bijvoorbeeld door congestiemanagement te combineren met het balanceren van het elektriciteitsnet. Zonder duidelijke prioritering bestaat hier een risico dat deze mechanismen tegen elkaar moeten gaan opbieden. Hoewel op deze manier marktwerking ervoor zorgt dat energieflexibiliteit wordt ingezet voor het doel wat op dat moment de meeste waarde heeft, leidt dat mogelijk niet altijd tot een gewenste situatie.

Wanneer bijvoorbeeld zowel de netbeheerder als de energieleverancier met dynamische energietarieven zouden werken, dan zou de eindgebruiker deze tarieven bij elkaar optellen en daarop moeten optimaliseren. Dan zou de netbeheerder bij congestie een hoog tarief kunnen hanteren, maar als het tarief van de energieleverancier op dat moment maar laag genoeg is gaat het apparaat dan toch veel stroom gebruiken. Er zijn meerdere manieren om te voorkomen dat de tarieven tegen elkaar inwerken. Er kan bijvoorbeeld voor gekozen worden om de combinatie van dynamische energie- en nettarieven te verbieden. Dit heeft echter alleen zin wanneer dynamische nettarieven vrijwillig zijn. Een andere optie is om de leverancier te verplichten het dynamische nettarief niet tegen te spreken, de leverancier mag de prikkel dan alleen vergroten.

3.4.4 Evolutie van activeringsmechanismen

Activeringsmechanismen voor energieflexibiliteit moet het toepassen van energieflexibiliteit voor een eindgebruiker praktisch toepasbaar maken. We hebben eerder al geconcludeerd dat het voor de hand ligt dat er nog veel gaat veranderen in de toepassingen voor energieflexibiliteit. Dat betekent dus dat de activeringsmechanismen zullen moeten volgen. Daarnaast is ook te verwachten dat technologische ontwikkelingen nog een grote impact op de activeringsmechanismen zullen hebben, zoals bijvoorbeeld intelligentere sturing op basis van AI.

Daarnaast hebben de mechanismen eigenschappen die ze niet geschikt maken voor iedereen. Bij dynamische tarieven wordt de eindgebruiker bijvoorbeeld blootgesteld aan de marktrisico's van de energiemarkten, en bij een VPP kan potentieel privacygevoelige informatie gedeeld worden. Het ligt dus in de lijn der verwachting dat er in de toekomst meerdere activeringsmechanismen naast elkaar blijven bestaan.

3.5 Technische architectuur

In dit hoofdstuk kijken we naar wat er op apparaten moet gebeuren om grootschalige congestiemanagement in het laagspanningsnet mogelijk te maken. Hiervoor zijn ook een aantal aspecten van de technische architectuur van belang.

3.5.1 Soorten interacties

Om apparaten stuurbaar te maken zullen ze moeten kunnen communiceren. Hierbij maken we onderscheid tussen verschillende soorten van communicatie.

We spreken van **interconnectiviteit** als een apparaat is in staat te communiceren met externe systemen. Welk doel die communicatie heeft wordt hierbij niet benoemd. Zo zou het kunnen zijn dat een apparaat wel kan communiceren, maar niet geschikt is voor energie flexibiliteit. Een voorbeeld hiervan is dat veel omvormers voor zonnepalen hun verbruik kunnen rapporteren om de eindgebruiker inzicht te geven in de opwek, maar data over opwek niet beschikbaar stellen voor betere inzet van energieflexibiliteit.

We spreken van **interoperabiliteit** als technische systemen met elkaar kunnen communiceren, elkaar begrijpen en samenwerken om een bepaald doel te behalen. Interoperabiliteit zegt echter niets over hoe makkelijk het is om een van de communicerende systemen voor een andere te vervangen. Twee interoperabele systemen kunnen een data-uitwisseling hebben die zo uniek is voor die systemen, dat het onmogelijk is om diezelfde interoperabiliteit te gebruiken voor een systeem wat op een andere manier gebouwd is.

Composability is een term die iets zegt hoe makkelijk het is om verschillende soorten typen systemen aan elkaar te koppelen of voor elkaar uit te kunnen wisselen. Een term uit de software engineering die hiervoor gebruikt wordt is *loose coupling*: een systeem wat zo losjes aan andere systemen gekoppeld is dat hij vrij weinig weet heeft van hoe het andere systeem werkt. De truc is hier meestal om de data uitwisseling te beperken tot wat er moet gebeuren, en niet in te gaan op hoe dat moet gebeuren. Op die manier creëer je ruimte om de taak op een geheel andere manier uit te voeren. Composability is als het ware een hoger doel dan interoperabiliteit.

Vroeger hadden computers bijvoorbeeld een aparte printer-poort: een interoperabele interface die specifiek ontworpen was voor het aansturen van printers. Tegenwoordig wordt USB gebruikt: een interface die veel meer doelen kan dienen en daardoor meer composable is.

3.5.2 Energy Management System (EMS)

Een belangrijke keus is of er gebruik wordt gemaakt van een Energy Management System (EMS).

In principe kan een netbeheerder, energieleverancier of aggregator rechtstreeks signalen sturen naar een apparaat. Hierbij komt het activeringsmechanisme rechtstreeks bij het apparaat terecht. Zo zijn er bijvoorbeeld thuisbatterijen en warmtepompen die rechtstreeks bij de energieleverancier de dynamische tarieven ophalen. Ook zou een netbeheerder prima een signaal rechtstreeks naar het apparaat kunnen sturen om netcongestie te voorkomen.

Het kan alleen wat lastiger worden wanneer er zich meerdere flexibele apparaten achter de netaansluiting bevinden. Voor veel toepassingen van energieflexibiliteit is het bijvoorbeeld wenselijk dat er dan coördinatie plaatsvindt tussen de apparaten. Zo bestaat er bijvoorbeeld een risico dat wanneer een laadpaal, warmtepomp en thuisbatterij allemaal optimaliseren voor dynamische tarieven, ze allemaal op het goedkoopste moment gaan verbruiken en de stoppen eruit vliegen.

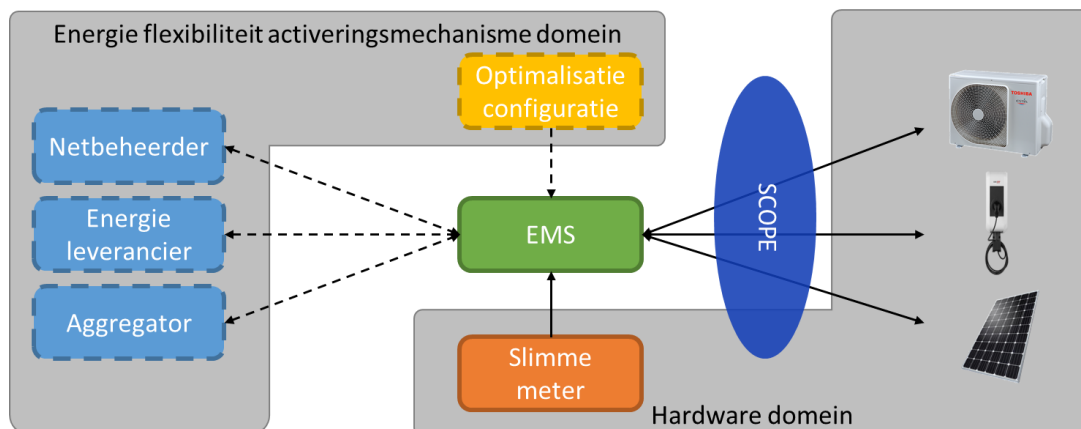
Apparaten die aan load balancing doen hebben nu meestal een koppeling met de slimme meter of bemeten zelf de hoofdaansluiting. Ze stemmen hun gedrag af op de rest van de apparaten op de aansluiting. Hierbij doen ze de aanname dat zij het enige apparaat zijn die dit doet. Wanneer je bijvoorbeeld een laadpaal en een thuisbatterij zou hebben die beide de hoofdaansluiting bemeten en hun gedrag daarop aan passen krijg je rare effecten: beide

apparaten proberen hun gedrag aan te passen op basis van dezelfde meting, gaan tegelijk compenseren, waardoor je een te grote reactie krijgt en direct weer de andere kant op gecorrigeerd moet worden. Hierdoor zou de batterij bijvoorbeeld snel kunnen gaan wisselen tussen laden en ontladen, wat tot onnodige energieverliezen en slijtage zou gaan leiden.

Om dit soort zaken netjes te coördineren kan er, voor de netaansluiting, een centraal Energy Management System (EMS) gebruikt worden. Een EMS voor een woning wordt vaak een Home Energy Management System (HEMS) genoemd, en een EMS voor utiliteitsbouw wordt vaak een Building Energy Management System (BEMS) genoemd. Het EMS vertegenwoordigt tegenover de buitenwereld als het ware de netaansluiting, in plaats van de individuele apparaten. Het EMS heeft een coördinerende rol tussen de verschillende flexibele apparaten. Het zou bijvoorbeeld de prioriteiten van de verschillende apparaten kunnen afwegen, door bij productie van zonne-energie er eerst voor te kiezen om de elektrische auto te laden, en pas wanneer dat voltooid is, de thuisbatterij op te laden. Het EMS kan dus ook een instrument voor de eindgebruiker zijn om zijn voorkeuren qua prioriteiten tot uitvoer te brengen. Het EMS is ook de plek waar lokale optimalisatie van energieflexibiliteit kan plaatsvinden, zoals bijvoorbeeld load balancing of optimaliseren voor zelfconsumptie van zonne-energie. Soms wordt er onder een EMS meer functionaliteit verstaan (zoals bijvoorbeeld inzicht geven in energiegebruik). Voor de context van dit rapport gaan we er echter vanuit dat het EMS hoofdzakelijk de energieflexibiliteit aanstuurt.

Een EMS zou ook een bepaalde handelingsvrijheid voor de eindgebruiker kunnen creëren. Wanneer bijvoorbeeld de netbeheerder het technische vangnet activeert en rechtstreeks een vermogenslimiet naar de warmtepomp stuurt, dan zal de warmtepomp terugschakelen wat tot comfortverlies kan leiden. Wanneer de netbeheerder echter een vermogenslimiet voor de gehele aansluiting naar een EMS zou sturen, kan het EMS binnen deze grenzen nog zaken op elkaar afstemmen. Zo zou hij bijvoorbeeld energie uit de accu van de elektrische auto kunnen halen, om zo toch de warmtepomp volledig aan te laten en binnen de door de netbeheerder gestelde vermogensgrenzen kunnen blijven.

Figuur geeft een schematisch overzicht van het EMS en de systemen waar het mee communiceert. Wanneer een EMS wordt gebruikt voor een statisch activeringsmechanisme heeft het enkel configuratie over dit activeringsmechanisme nodig. Wanneer er gebruik wordt gemaakt van een dynamisch activeringsmechanisme moet het EMS met de netbeheerder, energieleverancier of aggregator communiceren. Voor veel toepassingen van energieflexibiliteit is het ook nodig om de hoofdaansluiting te bemeten, om zo te kunnen achterhalen wat de niet-aanstuurbare apparaten doen. Daarnaast communiceert het EMS met de energie-flexibele apparaten.



Figuur 3.1: Schematisch overzicht van het EMS en de systemen waar het mee communiceert

Een bijkomend voordeel van een EMS is dat dit een logisch ontkoppelpunt is tussen de technologie binnen en buiten het gebouw. De verantwoordelijkheden en innovatiecycli van deze technologieën kunnen erg verschillen. Apparaten zijn primair gericht op comfort voor de eindgebruiker terwijl activatiemechanismen het elektriciteitsnet zo goed mogelijk proberen te ondersteunen. Daarnaast hebben apparaten een lange levensduur waarbinnen nieuwe activatiemechanismen zullen ontstaan. Wanneer de techniek voor en achter de meter te veel verstrengeld raakt, zal er minder slagkracht zijn voor nieuwe innovaties. De rol van ontkoppelpunt zou echter ook door een eenvoudiger component vervuld kunnen worden, zoals bijvoorbeeld de Duitse Steuerbox (zie hoofdstuk 4.1.1 voor meer details).

Voor publieke laadpunten voor elektrische auto's is er nog een andere optie: die zijn altijd verbonden met een Charge Point Operator (CPO). Deze verbinding wordt bijvoorbeeld gebruikt voor de afhandeling van de betaling van de laadsessies, maar ook om het laadpunten op afstand te kunnen monitoren of de software te updaten. Dit communicatiekanaal kan ook dienen om energieflexibiliteit te activeren.

3.5.3 Waar welke verantwoordelijkheid

Om energieflexibiliteit in te zetten moeten er in principe twee dingen bij elkaar komen. Aan de ene kant hebben we de flexibiliteit, die gedefinieerd wordt door de comfortwens van de eindgebruiker en de technische rondvoorwaarden van het apparaat, en aan de andere kant hebben we toepassingen voor energieflexibiliteit en/of de activeringsmechanismen. Met deze twee zaken kan een algoritme in principe de optimale allocatie van de energieflexibiliteit bepalen. Een belangrijke vraag is echter waar dit plaatsvindt. Bij het gebruik van een EMS zijn hier drie opties voor:

- **In het apparaat**
Wanneer het activeringsmechanisme in het apparaat wordt verwerkt is het niet mogelijk om te coördineren tussen verschillende apparaten. Hiermee is een EMS eigenlijk meer een communicatie facilitator, die ervoor zorgt dat de juiste informatie bij de apparaten terecht komt zodat die zelf hun eigen keuzes kunnen maken. Het voordeel hiervan is dat het apparaat het beste besef heeft van wat precies de flexibiliteit is, en hierdoor ook de beste optimalisatie voor dat apparaat zou kunnen doen. Het gebrek aan coördinatie is wel problematisch voor verschillende toepassingen van energieflexibiliteit.
- **Gedeeltelijk in het EMS en het apparaat**
Hierbij ligt het zwaartepunt van de optimalisatie in het apparaat, maar heeft het EMS een coördinerende rol. Ook hier geldt het voordeel dat het apparaat het beste

beeld heeft van de beschikbare energieflexibiliteit, maar dit betekent ook dat het EMS een minder goed beeld heeft van de onderlinge prioriteiten, waardoor het de coördinatie minder goed kan doen.

- **In het EMS**

Hierbij informeren de apparaten het EMS over de beschikbare energieflexibiliteit, die hier een integrale optimalisatie op kan doen. Aangezien bij deze optie het EMS het beste beeld heeft van de situatie, kan hij de beste coördinatie doen. Een ander belangrijk voordeel is dat het apparaat niet weet, en niet hoeft te weten, wat voor optimalisatie er gedaan wordt. Dit betekent dat het apparaat in principe voor iedere toepassing of activeringsmechanisme gebruikt kan worden, zolang het maar aan het juiste EMS gekoppeld wordt. Deze rolverdeling past ook het beste bij de verantwoordelijkheden van de componenten: Het apparaat is verantwoordelijk voor de techniek van het apparaat en het comfort, het energiemanagementsysteem gaat over energiemanagement. Als het EMS en het apparaat door verschillende partijen ontwikkeld worden, sluit de rolverdeling automatisch ook het beste aan bij de expertise van die partij.

Deze afwegingen hebben ook veel te maken met wie waarover de controle krijgt. Fabrikanten van apparaten zijn uiteindelijk verantwoordelijk voor de veiligheid van hun apparaten, het comfort van de eindgebruiker, de energie-efficiëntie en dat het apparaat niet bovenmatig slijt. Het is dus heel logisch dat ze terughoudend zijn om controle van hun apparaten uit handen te geven aan een extern systeem. Aan de andere kant willen EMS partijen juist zoveel mogelijk controle over het apparaat. Zij willen immers de maximale waarde creëren met de energieflexibiliteit van het apparaat, zowel voor de eindgebruiker als voor het energiesysteem. En hoe meer controle zij hebben over het apparaat, hoe beter zij dat in principe kunnen doen.

Het communicatieprotocol tussen het EMS en het apparaat definieert als het ware de spelregels van de samenwerking tussen deze systemen. Het protocol definieert dus ook waar welke beslissingen worden genomen. Het streven van een protocol zou moeten zijn dat het enerzijds de autonomie van het apparaat respecteert, en anderzijds de vrijgegeven energieflexibiliteit zo volledig mogelijk doorgeeft aan het energiemanagementsysteem.

3.5.4 Deployment van systemen

De technologieketen om energieflexibiliteit automatisch in te zetten ten behoeve van het energiesysteem bestaat uit verschillende systemen die met elkaar kunnen communiceren. Een belangrijke vraag voor de technologische invulling is echter waar die systemen zich fysiek bevinden en hoe die communicatie verloopt. Hoewel deze keuzes geen invloed hoeven te hebben over functionele aspecten zoals de hoeveelheid energieflexibiliteit die benut kan worden, heeft dit wel invloed op niet-functionele aspecten als betrouwbaarheid, kosten en aanpasbaarheid.

Voor een EMS geldt dat deze zich op drie plekken kan bevinden:

- **Lokaal (in het gebouw)**

Hierbij denken we meestal aan een kleine computer (“een kastje”) in de meterkast of nabij een fysiek apparaat. De beslis-logica bevindt zich op dit EMS, en het EMS kan fysiek verbonden worden aan bijvoorbeeld de slimme meter (via de P1 poort) of apparaten die alleen over een fysieke interface beschikken (zoals Modbus RTU of SG Ready). Eventueel zou een lokaal EMS zelf nog dingen kunnen meten, zoals bijvoorbeeld de netfrequentie. Het voordeel van een lokaal EMS is dat je niet afhankelijk bent van een (soms onbetrouwbaar) communicatiekanaal, mogelijk

privacygevoelige data niet met externe partijen gedeeld hoeft te worden. Een nadeel is dat extra hardware altijd kosten met zich meebrengt, stroom verbruikt, het op den duur vervangen moet worden en dat het lastiger kan zijn om software op afstand te onderhouden. Uiteraard kan een lokaal EMS wel via een extern communicatiekanaal communiceren over een energieflexibiliteit activeringsmechanisme, maar bij communicatiestoring zou een deel van de functionaliteit (bijvoorbeeld load balancing) kunnen blijven functioneren.

- **In de cloud**

Bij een EMS in de cloud hebben we het over een EMS-dienst die via internet benaderbaar is. Dit betekent dat het alleen aan apparaten en meters gekoppeld kan worden die ook via internet benaderbaar zijn. Voordelen van een cloud-EMS is dat het over het algemeen makkelijker te beheren en onderhouden, dat de kosten lager zijn en dat het voor de gebruiker makkelijker te benaderen is (bijvoorbeeld via een website of app). Nadeel is dat het niet werkt als er een internetstoring is of een centrale storing bij de EMS-dienst zelf, en dat mogelijk privacygevoelige informatie met externe partijen gedeeld wordt.

- **Hybride**

Bij een hybride oplossing worden beide opties gecombineerd. Hierbij kan dus verschillen hoeveel van de logica lokaal of in de cloud zit. Zo zou je bijvoorbeeld een cloud-EMS kunnen hebben die alleen een stuk hardware heeft om met apparaten te koppelen die alleen een fysieke interface hebben, of juist een lokaal EMS dat de cloud alleen gebruikt voor de gebruikersinterface.

Een EMS is een stuk software wat fysiek op verschillende plekken uitgevoerd kan worden. Een apparaat is daarentegen altijd lokaal. Dat wil echter niet zeggen dat het EMS ook altijd rechtsreeks lokaal verbinding kan maken met het apparaat. De fabrikant kan er voor kiezen om de interface of API van het apparaat op verschillende manieren aan te bieden:

- **Lokale interface**

Bij een lokale interface kan het apparaat binnen het gebouw aangestuurd worden. Dit kan een fysieke, bekabelde interface zijn, een draadloze interface of bijvoorbeeld een interface die werkt via het thuisnetwerk van de eindgebruiker.

- **Via internet benaderbaar**

Ook zou het zo kunnen zijn dat het apparaat gekoppeld kan worden aan het internet, en het dus ook rechtstreeks vanaf het internet (zonder tussenkomst van andere diensten) aan te sturen is.

- **Via cloud platform fabrikant**

Ook zou het kunnen zijn dat de fabrikant een onlinedienst heeft waarmee het apparaat benaderd kan worden. De fabrikant heeft dan weer zijn eigen communicatiekanaal naar het apparaat, wat vervolgens via een gesloten protocol plaats zou kunnen vinden. Dit communicatiekanaal zou kunnen verlopen via de internetverbinding van de eindgebruiker, of via een eigen (doorgaans meer betrouwbare) draadloze internetverbinding.

Met name de laatste optie lijkt nu populair te worden. Veel apparaten zijn vanwege andere redenen al verbonden met een systeem van de fabrikant. Bijvoorbeeld vanwege een app of website waarin de productie van de zonnepanelen inzichtelijk wordt gemaakt, een app waarbij je een notificatie ontvangt als de wasmachine klaar is of een systeem wat het klimaatsysteem van een appartementencomplex monitort voor de verhuurder. Als er al een route is naar de fabrikant, en die fabrikant kan op die manier metingen van het apparaat ontvangen en stuursignalen terugsturen, dan kan die fabrikant in principe vanuit de cloud omgeving een protocol implementeren voor het aansturen van energieflexibiliteit. Hierbij kan dus meegelift worden op een bestaande infrastructuur, wat een erg kostenefficiënte oplossing is.

Een OEM⁴ expert schatte de ontwikkeltijd die nodig is om een protocol volwassen te implementeren in een commercieel beschikbaar product bij een lokale interface (al dan niet via internet benaderbaar) rond die drie jaar, terwijl dit bij een bestaand cloud platform van een fabrikant dichterbij een jaar lag.

Wanneer energieflexibiliteit ontsloten wordt via een cloud platform van de fabrikant, betekent het dus dat je voor het ontsluiten van energieflexibiliteit afhankelijk bent van deze fabrikant en zijn dienst. Er is een risico dat deze dienst niet beschikbaar blijft voor de gehele levensduur van het apparaat. Zo zou de fabrikant bijvoorbeeld failliet kunnen gaan, of simpelweg kunnen besluiten de ondersteuning na een aantal jaar te staken. Dit zou uiteraard niet wenselijk zijn. Het energiesysteem kan afhankelijk worden van energieflexibiliteit, en het niet kunnen ontsluiten van energieflexibiliteit zou tot extra kosten kunnen leiden voor de eindgebruiker. Idealiter zou op een of andere manier gegarandeerd moeten worden dat de dienst voor het ontsluiten van energieflexibiliteit gedurende de levensduur van het apparaat beschikbaar blijft.

Voordelen lokaal	Voordelen cloud
Niet afhankelijk van eigen internetverbinding of dienst (minder gevoelig voor externe storingen)	Geen kosten lokale hardware
Privacygevoelige data blijven binnen gebouw	Geen energieverbruik lokale hardware
Kan koppelen aan apparaten die uitsluitend over een lokale interface beschikken	Relatief makkelijk te ontwikkelen, onderhouden, aan te passen of uit te breiden
Niet afhankelijk van dienst (blijft ook werken als de leverancier failliet gaat of stopt met ondersteuning)	Kan in sommige gevallen meeliften op bestaande connectiviteit
Minder vatbaar voor cyberaanvallen via internet	

Voor congestiemanagement wordt een technisch vangnet voorzien voor noodgevallen, wanneer een andere vorm van congestiemanagement niet (goed) functioneert. Bij zo'n noodstelsel moet goed nagedacht worden tegen welke risico's zo'n stelsel moet beschermen. Een risico wat een vangnet zou kunnen mitigeren, is een (grootschalige) communicatiestoring waardoor andere vormen van congestiemanagement niet beschikbaar zijn. Dit risico zou alleen effectief gemitigeerd kunnen worden wanneer het vangnet een ander communicatiesysteem gebruikt dan de andere vormen van congestiemanagement, bijvoorbeeld de communicatie-infrastructuur van de netbeheerder. Met andere woorden: als congestiemanagement primair via internet zou werken, zou een vangnet dat juist niet moeten doen. Dit heeft ook impact op hoe de communicatie naar het apparaat kan verlopen. Als dat uiteindelijk alsnog afhankelijk is van een internetverbinding is er weinig gewonnen als het technische vangnet niet via het internet werkt. Een optie zou zijn bij om een via het internet verbonden apparaat ook een lokale, specifiek voor het technische vangnet ontwikkelde interface te eisen.

3.5.5 Cybersecurity

In dit rapport worden vooral de functionele aspecten rondom interoperabiliteit beschouwd. Een gerelateerd onderwerp, wat echter wel zeer relevant is voor de technische keten voor het benutten van energieflexibiliteit is cyber security. Ieder technisch instrument wat

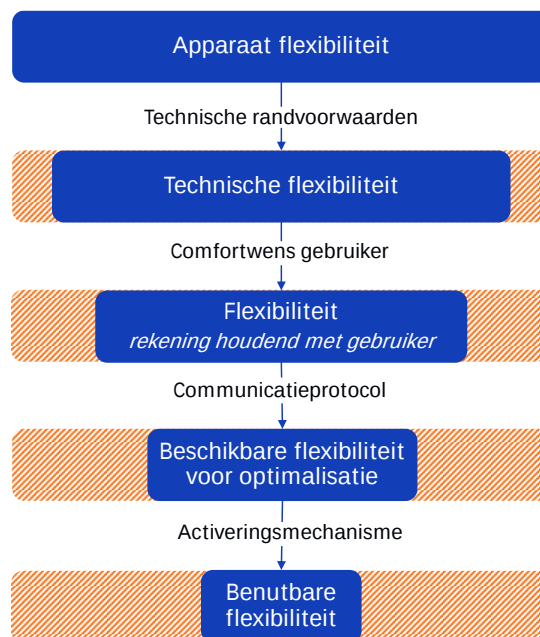
⁴ Original Equipment Manufacturer – een bedrijf dat onderdelen, subsystemen of complete producten ontwerpt en produceert die andere fabrikanten vervolgens gebruiken als onderdeel van hun product, in dit geval voor warmtepompen, laadpalen, witgoed en zonnepanelen.

uitgerold wordt om het net op bepaalde moment te ontlasten, kan in theorie door kwaadwillenden misbruikt worden om het net extra te belasten, met alle gevolgen van dien. Ieder onderdeel van de technische keten voor het activeren van energieflexibiliteit is hier een mogelijk doelwit; dus ook de protocollen voor het ontsluiten van energieflexibiliteit op slimme apparaten. Dit rapport kijkt echter met name naar de functionele aspecten van protocollen, en zal niet in detail ingaan op de specifieke cybersecuritymaatregelen die in deze protocollen genomen worden.

3.6 Verlies van benutbare energieflexibiliteit

In hoofdstuk 2 wordt middels simulatie inzicht gegeven in wat energieflexibiliteit kan betekenen voor het oplossen van netcongestie. Het is echter maar de vraag of deze resultaten in de praktijk gerealiseerd kunnen worden. Bij de simulaties wordt uitgegaan van een *theoretische flexibiliteit* - het maximaal in een ideale situatie. Er wordt van uitgegaan dat alle informatie over het energie flexibele apparaat en de netcongestie vooraf beschikbaar is, en dat er volledige controle over het apparaat is, zolang maar voldaan wordt aan de comfortwensen van de eindgebruiker. De vraag is echter of deze hoeveelheid energieflexibiliteit in de praktijk wel geleverd kan worden. In de praktijk zijn er ook technische beperkingen van het apparaat, en er is een energieflexibiliteit activeringsmechanisme, en een communicatieprotocol en het apparaat zelf wat de energieflexibiliteit daadwerkelijk beschikbaar moet stellen. Al deze stappen kunnen potentieel een negatief effect hebben op de hoeveelheid beschikbare energieflexibiliteit, en kunnen daardoor dus ook minder toegevoegde waarde voor het energiesysteem bieden. De keuze voor een activeringsmechanisme en een communicatieprotocol zijn dus van grote invloed op wat energieflexibiliteit voor ons energiesysteem kan betekenen.

Op dit moment is er weinig duidelijk over hoe wij in de toekomst omgaan met energieflexibiliteit. Er zijn vele toepassingen van energieflexibiliteit mogelijk, en talloze manieren denkbaar om energieflexibiliteit te activeren. Ook voor congestiemanagement zijn er op dit moment nog veel opties denkbaar. Dit maakt het op dit moment erg lastig om iets te zeggen over hoeveel flexibiliteit er verloren gaat, aangezien dat helemaal afhangt van wat het doel met die flexibiliteit is. Meer gedetailleerde simulaties, waarin ook een activeringsmechanisme en protocol gekozen en meegenomen wordt, zou hier meer inzicht in kunnen geven. Dit valt echter buiten de scope van dit onderzoek. We kunnen echter wel een aantal zaken toelichten die invloed hebben op de toegevoegde waarde van de energieflexibiliteit.



Figuur 3.2: Illustratief voorbeeld van hoe verschillende stappen invloed kunnen hebben op de uiteindelijk benutbare energieflexibiliteit (blauw) in verhouding tot de flexibiliteit van het apparaat zelf (gearceerd). Zaak is zo min mogelijk flexibiliteit te verliezen bij elke stap om zoveel mogelijk benutbare flexibiliteit over te houden.

Geschiktheid voor toepassingen van energieflexibiliteit

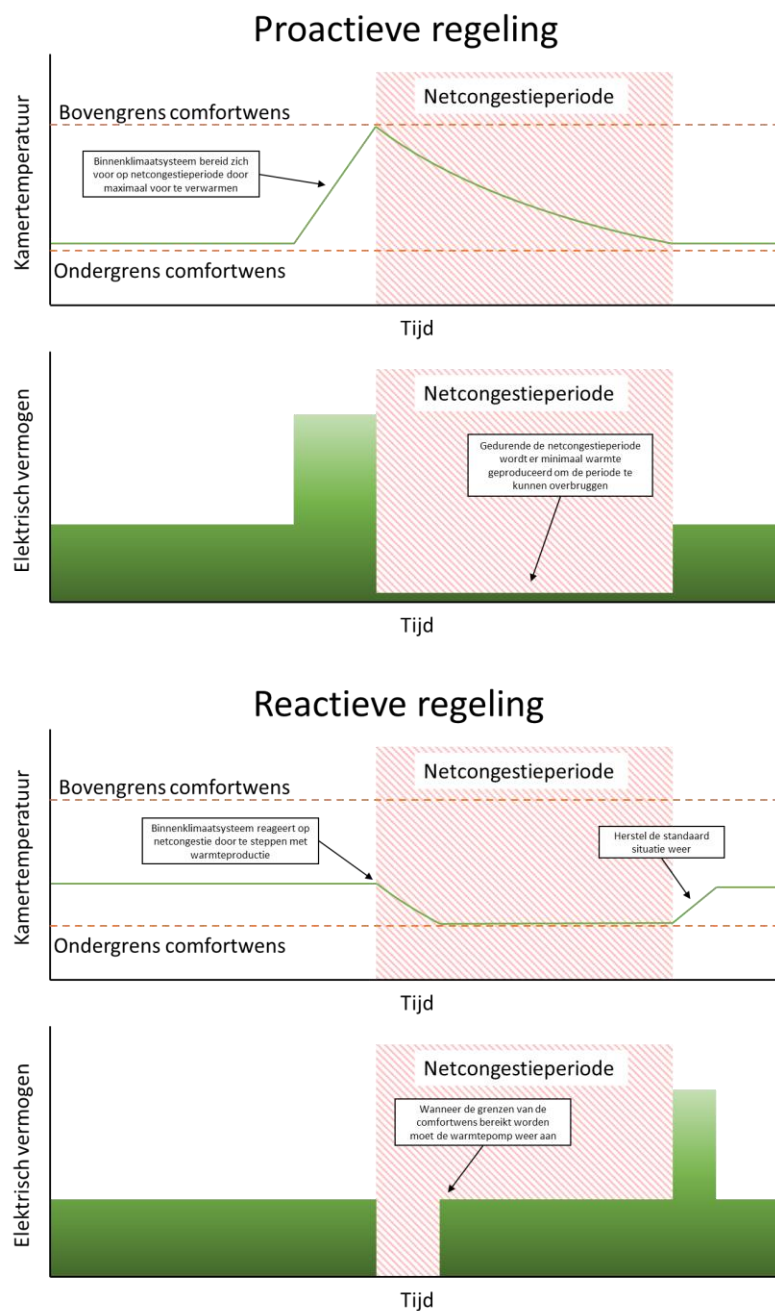
Verschiedende toepassingen vereisen verschillende eigenschappen van de energieflexibiliteit. Zo is het voor bijvoorbeeld load balancing of het leveren van balanceringsdiensten belangrijk dat er snel gereageerd kan worden, en is het voor marktgebaseerde congestiemanagement en handel op energie markten belangrijk dat de beschikbare energieflexibiliteit van tevoren goed in te schatten en op het moment zelf precies te sturen is.

Om te beginnen maakt dit bepaalde apparaten meer of minder geschikt voor bepaalde toepassingen. Zo zijn warmtepompen bijvoorbeeld niet goed in staat om snel te reageren, maar kunnen laadpunten voor elektrische auto's en thuisbatterijen dit wel. Maar ook het protocol heeft grote impact op voor welke toepassingen voor energieflexibiliteit het geschikt is. Een protocol wat niet geschikt is voor snelle communicatie maakt een apparaat wat wel snel kan reageren alsnog ongeschikt voor load balancing of het leveren van balanceringsdiensten. Met name op het vlak van voorspelbaarheid en precieze controle zit er veel verschil tussen protocollen.

Daarnaast speelt nog mee dat er in de toekomst waarschijnlijk meerdere toepassingen van energieflexibiliteit tegelijkertijd meegenomen zullen worden. Zo is het mogelijk dat er binnen het gebouw aan load balancing wordt gedaan, dat er vanuit de netbeheerder sturing voor congestiemanagement wordt gedaan en dat er vanuit de energieleverancier sturing voor het beter balanceren van vraag en aanbod wordt gedaan. Om rekening te kunnen houden met al deze belangen is het noodzakelijk om gedetailleerd te kunnen sturen. Je wilt niet meer energieflexibiliteit voor een bepaalde toepassing in zetten dan nodig, want wat je te veel inzet gaat ten koste van de andere belangen.

Reactief vs. proactief

Een ander aspect wat van invloed is op de hoeveelheid benutbare energieflexibiliteit is in hoeverre het systeem in staat is te anticiperen op gebeurtenissen. Als je bijvoorbeeld weet dat er tussen 6 en 7 uur 's avonds netcongestie voorspeld wordt, dan zou je voor 6 uur graag het gebouw zoveel mogelijk me de warmtepomp voorverwarmd willen hebben, en de elektrische auto en thuisbatterij volledig opgeladen willen hebben, om tussen 6 en 7 uur zo min mogelijk elektriciteit nodig te hebben. Om dit te bewerkstelligen moet wel de hele keten van apparaat tot activeringsmechanisme tot apparaat de mogelijkheid hebben om proactief te sturen.



Figuur 3.3: Tekst

Figuur 3.4: Illustratief voorbeeld van hoe proactieve regeling beter in staat is netcongestie te voorkomen

Sturing van apparaat

De beschikbare energieflexibiliteit wordt in principe gedefinieerd door de comfortwens van de eindgebruiker en de technische randvoorwaarden van het apparaat zelf. Maar uiteindelijk bepaalt het apparaat hoeveel energieflexibiliteit het beschikbaar stelt. En daar kan een hoop verschil in zitten.

Ten eerste is het vaak niet duidelijk wat de comfortwens is. Bij het laden van elektrische auto's zou je voor het optimaal bepalen van de beschikbare energieflexibiliteit willen weten wanneer de auto weg is en hoe vol hij dan moet zijn. Maar die informatie is in de praktijk simpelweg vaak niet beschikbaar. In dat geval moeten er aannames en/of voorspellingen worden gemaakt. En om de kans op een teleurgestelde eindgebruiker zo klein mogelijk te houden zullen de aannames vaak erg conservatief zijn, wat een negatieve impact heeft op de benutbare energieflexibiliteit.

Daarnaast speelt de controle-logica van een apparaat een grote rol. Warmtepompen hebben bijvoorbeeld vaak al een behoorlijk complexe aansturing, waarbij vele timing aspecten spelen. Om dan ook nog eens het onderste uit de kan te halen voor energieflexibiliteit vereist nog meer complexiteit. Een relatief simpele strategie zou kunnen zijn om de doeltemperatuur van de warm tapwater buffer een paar graden te verhogen als er veel elektriciteit beschikbaar is. Maar een vrij complexe strategie is om een voorspelling te maken van warmwatervraag en de warmtevraag van het gebouw (waarbij zaken als buitentemperatuur, zoninstraling via de ramen en ventilatie een grote rol spelen), om zo alle mogelijke buffercapaciteit in te zetten voor een maximale hoeveelheid energieflexibiliteit. Het ontwikkelen van zo'n complexe controlelogica vereist een investering van de fabrikant. Zolang het echter onduidelijk voor de consument is wat de toegevoegde waarde van complexe aansturing van een apparaat is, zal een fabrikant niet snel genegen zijn deze investering te doen.

3.7 Standaarden voor het ontsluiten van energieflexibiliteit

Om congestiemanagement, of wat voor toepassing van energieflexibiliteit dan ook, mogelijk te maken zal het apparaat in ieder geval een protocol moeten ondersteunen voor externe aansturing. Gelukkig bestaan er al verschillende standaarden die hierin voorzien al heeft geen van deze standaarden zo'n groot marktaandeel weten te veroveren dat hiermee het interoperabiliteitsvraagstuk is ingevuld. In dit gedeelte van het rapport beschouwd we de bestaande standaarden. Wat op dit moment echter lastig maakt om de geschiktheid van deze standaarden voor congestiemanagement te beoordelen, is dat er op dit moment nog veel onduidelijk is over hoe congestiemanagement in Nederland technisch zal gaan werken. Pas wanneer er duidelijkheid is over hoe het activeringsmechanisme werkt kan echt goed gekeken worden welke standaard hier het beste bij aansluit.

3.7.1 Het belang van standaardisatie

Op dit moment zijn er al redelijk veel apparaten beïnvloedbaar, bijvoorbeeld via een eigen API die via internet benaderd kan worden of door gebruik te maken van een Modbus interface. Het nadeel hiervan is echter dat ieder model zijn eigen vorm van aansturing heeft, en vanuit een EMS dus ook aparte implementatie vereist. Alle bestaande apparaten

ondersteunen vanuit een EMS is op dit moment simpelweg niet praktisch te realiseren, aangezien dit te veel ontwikkelcapaciteit zou vragen van een ontwikkelaar. Het gevolg hiervan is dat EMS-systemen op de markt in de praktijk maar werken met een beperkte set van specifieke modellen van apparaten. Hierdoor ontstaat een *lock-in*: de eindgebruiker is niet vrij zijn hun eigen EMS en energie flexibele apparaten te kiezen. Als hun energieleverancier met een bepaalde EMS-oplossing werkt kunnen ze daar wel apparaten bijkomen, maar daarna kunnen ze niet meer overstappen naar een andere energieleverancier met een ander EMS, en de EMS-functionaliteit van die nieuwe energieleverancier kunnen gebruiken.

Wanneer energieflexibele apparaten allemaal dezelfde communicatiestandaard zouden gebruiken zou het voor ontwikkelaars van EMS-systemen veel makkelijker zijn om alle energie flexibele apparaten te ondersteunen. Dan is de eindgebruiker vrij om zijn eigen EMS en apparaten te kiezen, zonder de EMS-functionaliteit te missen. Op die manier ontstaat een *level playing field* voor ontwikkelaars van EMS-systemen en apparaten, zodat ze eerlijk met elkaar concurreren en kunnen blijven innoveren. Vanuit dit oogpunt kunnen we stellen: hoe minder standaarden hoe beter.

Het aantal standaarden

Maar is het daarvoor noodzakelijk dat daarvoor een standaard gekozen wordt? In de *home automation* wereld speelt bijvoorbeeld een vergelijkbaar probleem. Er zijn verschillende protocollen voor het communiceren met bijvoorbeeld slimme lampen, schakelaars, sensoren en slimme gordijnen. En toch kunnen de home automation platformen met veel verschillende producten kunnen communiceren. Ondersteuning voor een bepaald protocol kan vaak toegevoegd worden middels een plug-in, die door iedereen ontwikkeld kunnen worden. Bij home automation lijkt de diversiteit aan protocollen niet tot een sterke lock-in geleid te hebben.

Home automation verschilt echter van energieflexibiliteit. Bij home automation gaat het meestal over redelijk eenvoudige interacties: een lamp aanzetten, een gemeten temperatuur doorgeven of de radio aanzetten. Hoewel protocollen qua techniek erg kunnen verschillen, zijn ze qua functionaliteit niet heel verschillend. Er zijn namelijk niet heel veel manieren waarop een lamp aan of uit gezet kan worden.

Bij energieflexibiliteit is dit anders. Energieflexibiliteit is een abstract begrip, wat vele verschijningsvormen kent en voor vele doelen toegepast kan worden. Het is niet eenvoudig om daar handen en voeten aan te geven; hier is wel wat creativiteit voor nodig. Verschillende groepen mensen zullen met verschillende oplossingen komen afhankelijk van wat hun uitgangspunten zijn en wat hun prioriteiten zijn. Afhankelijk van waar ze vinden dat welke verantwoordelijkheid moet liggen. De verschillende protocollen voor energiemanagement hebben vaak een hele andere benadering, omdat ze in den beginne ook een ander probleem proberen op te lossen. Dit maakt dat het ene protocol heel geschikt is voor de ene toepassing voor energieflexibiliteit, maar minder geschikt voor de andere. EMS-systemen hebben name behoefte aan een eenduidige benadering van energieflexibiliteit.

3.7.2 Standaarden voor energieflexibiliteit

In dit rapport beschouwen we vier standaarden in detail: SG Ready, OCPP, EEBus en S2. Deze protocollen zijn gekozen omdat ze open zijn (ze zijn door iedereen te implementeren) en zich expliciet richten op het ontsluiten van energieflexibiliteit uit apparaten (al hebben sommige protocollen een bredere scope).

Daarnaast kijken verschillende fabrikanten met interesse naar Matter, een protocol voor home automation. Matter heeft op dit moment beperkte functionaliteit voor slim laden, maar heeft ook plannen om functionaliteit voor warmtepompen en omvormers voor zonnepanelen toe te voegen. Wegens de beperkte informatie die op dit moment over energieflexibiliteit toepassingen van Matter bekend is, is Matter niet meegenomen in dit onderzoek.

Type apparaat	Ocpp	SG Ready	EEBus	S2
Laadpunt elektrische auto	Ja, mits gekoppeld met CPO	Nee	Ja	Ja
Omvormer zonnepanelen	Nee	Nee	Ja	Ja
Warmtepomp	Nee	Ja	Ja	Ja
Elektrische boiler	Nee	Ja	Ja	Ja
Thuisbatterij	Nee	Nee	Ja	Ja
Witgoed	Nee	Nee	Ja	Ja

3.7.2.1 SG Ready

SG Ready (kort voor Smart Grid Ready) is in 2012 geïntroduceerd door de Duitse warmtepompen vereniging (Bundesverband Wärmepumpe, BWP). SG Ready richt zich op volledige elektrische en hybride warmtepompen (die voor ruimteverwarming en eventueel warm tapwater zorgen) en warmtepompboilers (die alleen warm tapwater verzorgen). SG Ready is nooit verplicht geweest, maar slimme sturing is in Duitsland een voorwaarde voor het verkrijgen van subsidie op warmtepompen, waar SG Ready een invulling van is. SG Ready is op veel modellen warmtepompen beschikbaar (zie de SG Ready databank (Bundesverband Wärmepumpe e.V., n.d.) voor een overzicht), al dan niet via een apart bij te kopen module.

Technische werking

SG Ready is een relatief eenvoudige interface. Het aansturen van de warmtepomp gebeurt via twee potentiaalvrije contacten. Om middels SG Ready aan te sturen moet er dus een fysieke verbinding met het apparaat gemaakt worden. Door de eenvoudige opzet biedt deze interface geen voorzieningen op het gebied van cyber security. Dit betekent echter ook dat er om gebruik te maken van SG Ready altijd extra hardware nodig is.

Via SG Ready kan een van vier modes geactiveerd worden:

1. Het apparaat mag niet aan
2. Het apparaat kan zich normaal gedragen
3. Het apparaat wordt aangemoedigd aan te gaan
4. Het apparaat moet aan (met nog een aparte optie om ook de doeltemperatuur van het tapwater te verhogen)

SG Ready houdt niet direct rekening met comfortwensen, slijtage of energie-efficiëntie, maar heeft wel een paar algemene regels om het stuurgedrag binnen de perken te houden. Zo mag het apparaat bijvoorbeeld maximaal driemaal per dag uitgezet worden met een totaal van twee uur per dag. Uiteindelijk ligt de verantwoordelijkheid voor gebruikscomfort bij het energiemanagementsysteem.

Een groot nadeel van SG Ready is dat het energy management system geen informatie krijgt van het apparaat. Zo kan je wel het signaal sturen dat het apparaat uit moet, maar het EMS heeft geen idee of het apparaat überhaupt aan stond. Dit maakt SG Ready ongeschikt voor geavanceerdere sturing, zoals bijvoorbeeld handel in energie of het combineren van verschillende toepassingen voor energieflexibiliteit. Dit probleem zou echter ondervangen kunnen worden door aparte sensoren (zoals temperatuursensoren en energiemeters) te installeren, maar het gevolg hiervan is natuurlijk weer dat het idee van een standaard verloren gaat; ieder EMS is dan weer afhankelijk van zijn eigen sensoren. Bovendien moeten deze sensoren aangeschaft en geïnstalleerd worden. Samen met de hardware voor het EMS of een gateway wat sowieso nodig is en de eventuele SG Ready module voor het apparaat dit tot een relatief dure oplossing maakt om een apparaat goed aan te kunnen sturen via SG Ready.

3.7.2.2 OCPP

Het Open Charge Point Protocol (OCPP) is een door de industrie ondersteunde de facto standaard voor communicatie tussen een laadpunt voor elektrische auto's en het back-end systeem van Charge Point Operator (CPO). Dit back-end systeem wordt ook wel het Charge Station Management System (CSMS) genoemd. OCPP wordt dus toegepast voor publieke laadpunten en privé-laadpunten die gekoppeld zijn aan het systeem van een CPO. OCPP ondersteunt verschillende functionaliteiten voor het beheren van laadpunten; energiemangement is hier een optioneel onderdeel van. Dit laatste wordt in deze context *smart charging* genoemd.

De standaard is oorspronkelijk ontwikkeld door Stichting ElaadNL en wordt inmiddels beheerd door de Open Charge Alliance (OCA). De Open Charge Alliance biedt een test- en certificeringsprogramma en -tool aan en organiseert Interoperabiliteitstests. OCPP wordt wereldwijd toegepast en inmiddels gemandateerd in verschillende landen, waaronder Korea en de Verenigde Staten.

In juni 2024 is de IEC de Fast Track-procedure gestart om OCPP een internationale IEC-standaard te laten worden. OCA zal OCPP blijven onderhouden en verder ontwikkelen en alle toekomstige versies ter 'as-is'-goedkeuring voorleggen aan IEC met behulp van dezelfde Fast Track-procedure. Het verwachte IEC-nummer voor OCPP is IEC 63584.

Technische werking

OCPP ondersteunt verschillende vormen van smart charging. Zo kunnen via OCPP-vermogenslimieten verstuurd worden naar individuele laadpunten, maar ook naar een *local controller* die ervoor zorgt dat een groep laadpunten (bijvoorbeeld in een parkeergarage) gezamenlijk binnen bepaalde vermogenslimieten blijft. Deze limieten kunnen voor bepaalde tijden vooraf geconfigureerd worden, maar ook vanuit het CSMS aangepast worden. OCPP biedt ondersteuning voor bidirectioneel laden, wat betekent dat via OCPP ook laadsessies aangestuurd kunnen worden waarbij energie wordt terug geleverd aan het net (of het gebouw).

Een nadeel van OCPP is dat het CSMS geen zicht heeft op andere apparaten die achter de netaansluiting zitten. Bij publieke laadpunten zijn die er meestal ook niet, maar bij laadpunten bij kantoren, appartementencomplexen of woningen weldegelijk. Daarom is in de OCPP standaard goed rekening gehouden met scenario's waarin een laadpunt of local controller zelf communiceert met een EMS. OCPP biedt hier zelf geen functionaliteit voor; het laat het vrij met welk protocol dit gebeurt.

3.7.2.3 EEBus (SPINE)

EEBus is een van oorsprong Duitse samenwerking tussen fabrikanten, waar inmiddels ook Duitse netbeheerders bij aangesloten zijn. EEBus is in 2012 opgericht. EEBus richt zich op E-mobility, Heating, Ventilation and Airconditioning (HVAC), omvormers voor zonnepanelen en thuisbatterijen en witgoed. EEBus beperkt zich niet tot communicatie tussen apparaat en EMS, ondersteunt bijvoorbeeld ook (in)directe communicatie vanuit de netbeheerder of energieleverancier. Delen van EEBus zijn opgenomen in de officiële Europese standaard EN 50631. Daarnaast zijn delen van EEBus zijn opgenomen in de SAREF4ENER ontologie, die gestandaardiseerd is bij ETSI. Ook is EEBus opgenomen in de eerste versie van Europese Code of Conduct for Energy Smart Appliances (zie hoofdstuk 4.1.6 voor meer details).

Delen van EEBus zijn ook opgenomen in het Duitse paragraaf 14a (zie hoofdstuk 4.1.1 voor meer details) als optie voor het stuurbaar maken van warmtepompen, naast de KNX standaard. Sinds 1 januari 2024 is het in Duitsland verplicht voor nieuwe warmtepompen om hieraan te voldoen, waardoor EEBus een brede ondersteuning onder warmtepompen geniet.

Technische werking

EEBus heeft de datamodellen en interacties losgekoppeld van het transportprotocol. Het gedeelte wat de datamodellen en interacties beschrijft heet SPINE. Voor het transportprotocol heeft EEBus SHIP ontwikkeld, wat een manier is voor apparaten en EMS'en om binnen het gebouw of via internet elkaar te vinden en met elkaar te communiceren. EEBus maakt echter een beweging richting SPINE-IoT, wat een efficiëntere manier van communiceren is, maar uitsluitend via internet werkt. EEBus stelt geen eisen aan hoe er uiteindelijk met het apparaat gecommuniceerd wordt (zoals bijvoorbeeld vanuit de cloud met een gesloten protocol), dus leveranciers zijn hier vrij hun eigen oplossing te kiezen.

EEBus werkt op basis van verschillende *use cases*: een concrete functionaliteit die gespecificeerd wordt en het protocol. Een voorbeeld van zo'n use case is het limiteren van het laadvermogen van een laadpunt voor elektrische auto's, of het optimaliseren van een warmtepomp voor dynamische tarieven. Daarnaast zijn er ook use cases die niet direct betrekking hebben op energieflexibiliteit, zoals het versturen van metingen of het monitoren van een systeem. De use cases kunnen erg van elkaar verschillen, en kunnen bijvoorbeeld andere keuzes maken over op welk abstractieniveau ze zitten en waar ze welke verantwoordelijkheid beleggen (zie hoofdstuk 3.5.3 voor meer details).

EEBus is in feite dus niet één protocol, maar een verzameling van vele kleine protocollen die use cases genoemd worden. Als een EMS en een apparaat beide EEBus gebruiken wil dat dus niet zeggen dat ze ook per se samen kunnen werken; dat kunnen ze alleen als ze ook beide dezelfde EEBus use cases geïmplementeerd hebben. Dit maakt het protocol niet *plug and play*. Voor verschillende typen apparaten zijn wel “standaardpakketten” use cases gedefinieerd. Verschillende use cases kunnen tegelijkertijd gebruikt worden. Zo kan bijvoorbeeld het optimaliseren op dynamische tarieven gebruikt worden naast vermogenslimieten. Het is dan aan het apparaat om die twee dingen te combineren. De use case aanpak is relatief eenvoudig te implementeren voor apparaatfabrikanten, aangezien het apparaat slechts de use cases hoeft te implementeren die voor dat apparaattype relevant zijn. Voor een EMS wat met verschillende typen apparaten wil samenwerken betekent het echter wel dat die een groot aantal use cases moet implementeren.

Om een voorbeeld te geven: Voor warmtepompen en laadpunten voor elektrische auto's gebruikt EEBus voor de aansturing twee use cases: Power limitation en de IncentiveTable

(EEBus, n.d.). Via Power limitation kan een apparaat voor een bepaald moment een bepaalde vermogensgrens worden opgelegd, bijvoorbeeld voor congestiemanagement. Dit zou eventueel een negatief effect op comfort of energie-efficiëntie kunnen hebben. De IncentiveTable is een datastructuur die gebruikt kan worden voor de combinatie van dynamische tarieven en het voorspellen van zelfgeproduceerde energie. Het apparaat bepaalt zelf hoe het hierop optimaliseert, en geeft een profiel terug van het verwachte gedrag. Op basis hiervan zou het EMS bijvoorbeeld de voorspelde overgebleven zelfgeproduceerde zonne-energie weer aan een ander apparaat kunnen toewijzen. Het EMS heeft geen besef van de behoefte van de verschillende apparaten, dus deze verdeling van zonne-energie is waarschijnlijk niet optimaal. Aangezien het apparaat volledig vrij is om zijn eigen gedrag te bepalen kan het goed rekening houden met de comfortwensen en energie-efficiëntie, en kan het hier zijn eigen afwegingen in maken. Een consequentie van deze keus is dat niet gespecificeerd wordt hoe een apparaat flexibel moet zijn. Het apparaat hoeft dus niet “zijn best te doen” om zoveel mogelijk energieflexibiliteit beschikbaar te stellen. Voor deze use case kiest EEBus er dus voor om de optimalisatie gedeeltelijk in het apparaat en gedeeltelijk in het EMS te doen.

Het voordeel van de use case aanpak is het erg concreet is, en daardoor relatief makkelijk te begrijpen. Het nadeel is echter dat deze aanpak weinig flexibel is. Zo kan de IncentiveTable goed gebruikt worden voor optimalisatie voor zelfconsumptie en het optimaliseren voor dynamische tarieven, maar kan het erg slecht gebruikt worden voor andere toepassingen en mechanismen zoals de aansturing middels een Virtual Power Plant. Wanneer er nieuwe behoeften ontstaan kunnen er echter altijd nieuwe use cases gedefinieerd kunnen worden. Dit vereist wel een nieuw standaardisatietraject wat enige tijd in beslag neemt, en moet dan ook in apparaten en EMS-systemen geïmplementeerd worden. Bestaande apparaten zouden via een software of firmware update aangepast kunnen worden. De vraag is echter hoelang fabrikanten bereid zijn dit te blijven doen, ook als het producttype het einde van zijn levensduur bereikt heeft, maar nog steeds bij veel mensen thuis staat.

3.7.2.4 S2 (EN 50491-12-2)

S2 is de korte, populaire naam voor de Europese EN 50491-12-2 standaard en refereert naar de S2 interfacedefinitie in de Europese smart-grid architectuur die ontwikkeld is onder mandaat M/490 van de Europese Commissie. Deze standaard vindt zijn oorsprong in de door TNO ontwikkelde Energy Flexibility Interface (EFI). EFI was het resultaat van jarenlang experimenteren en verbeteren. In het standaardisatietraject is het protocol samen met industriepartijen doorontwikkeld tot de S2 standaard, die in 2022 gepubliceerd is. S2 richt zich op de communicatie tussen een EMS en *alle* typen energie flexibele apparaten in de gebouwde omgeving. S2 richt zich uitsluitend op energieflexibiliteit en ondersteunt dus geen andere functionaliteiten (zoals bijvoorbeeld monitoring, energie inzicht of het verrekenen van laadsessies). S2 kent op moment van schrijven nog geen commercieel beschikbare producten die het ondersteunen, al wordt daar wel aan gewerkt. S2 is volledig opgenomen in de SAREF4ENER ontologie, die gestandaardiseerd is bij ETSI. S2 is in verschillende EU en nationale projecten succesvol gebruikt en wordt geadviseerd in verschillende rapporten van bijvoorbeeld TKI Urban Energy. Ook is bekend gemaakt dat S2 wordt opgenomen in toekomstige versies van de Europese Code of Conduct for Energy Smart Appliances. Ook wordt S2 door KNX gebruikt als de oplossing voor energieflexibiliteit.

De rol van TNO bij S2

S2 vindt zijn oorsprong bij TNO, TNO heeft een rol gespeeld bij de standaardisatie en is nog altijd aanjager van adoptie van S2. In dit rapport zal S2 objectief beschouwd worden. TNO heeft geen directe commerciële belangen bij het succes van S2.

Technische werking

De S2 standaard definieert alleen datamodellen, interacties en verantwoordelijkheden. Het idee is dat er voor verschillende situaties verschillende transportprotocollen gebruikt kunnen worden. Op dit moment is er een S2 variant voor het KNX-protocol en een vrij verkrijgbare voor communicatie binnen het gebouw en/of via internet. Die laatste variant is op moment van schrijven nog geen definitieve specificatie beschikbaar. S2 stelt geen eisen aan hoe er uiteindelijk met het apparaat gecommuniceerd wordt, dus leveranciers zijn hier vrij hun eigen oplossing te kiezen.

Wat erg lastig aan het hele interoperabiliteit vraagstuk is dat we nog niet precies weten waar energieflexibiliteit voor toegepast gaat worden en hoe het activeringsmechanisme precies werkt. Juist dit probleem probeert S2 te adresseren. S2 onderscheidt zich van andere protocollen door zo min mogelijk aannames te doen over hoe het energie flexibele apparaat werkt, en waar de energieflexibiliteit voor wordt toegepast of wat voor activeringsmechanisme er gebruikt wordt. S2 hanteert hiervoor een strikte scheiding van verantwoordelijkheden: het apparaat gaat over *hoe* hij zich kan gedragen, het EMS gaat over *waarom* een bepaald gedrag gewenst is. Het werken zonder te weten waar de energieflexibiliteit voor gebruikt wordt, is mogelijk doordat S2 niet het activeringsmechanisme of het apparaat beschrijft, maar hoe het apparaat zich zou kunnen gedragen op het gebied van energieconsumptie of -productie. Via S2 maakt een apparaat als het ware een soort menukaart met alle mogelijke manieren waarop het zich kan gedragen. Het EMS kan op basis van zijn eigen voorkeuren vervolgens aangeven welk gedrag zijn voorkeur heeft. Het apparaat houdt volledige controle over zijn gedrag, aangezien het zelf bepaalt wat het op de menukaart zet. Een consequentie van deze keus is dat niet gespecificeerd wordt hoe een apparaat flexibel moet zijn. Het apparaat hoeft dus niet “zijn best te doen” om zoveel mogelijk energieflexibiliteit beschikbaar te stellen. S2 gaat er in principe vanuit dat er bij het beschikbaar stellen van energieflexibiliteit altijd de comfortwens van de eindgebruiker gerespecteerd wordt, maar kent wel een *nood modus* waarin de comfortwens van de gebruiker niet gerespecteerd hoeft te worden (die bijvoorbeeld bij een technisch vangnet gebruikt zou kunnen worden).

Waar andere protocollen het activeringsmechanisme onderdeel maken van het protocol, verplaatst S2 die verantwoordelijkheid naar het EMS. Het idee hierachter is dat een EMS voornamelijk software is, en dat die relatief makkelijk aan te passen of te vervangen is. Om nieuwe use cases te ondersteunen hoeft alleen het EMS aangepast te worden; het protocol en het apparaat blijven ongewijzigd. Op die manier is S2 een meer toekomstvast oplossing. S2 omarmt hiermee het idee van composability: Met S2 is het mogelijk om iedere combinatie van compatible apparaat en EMS samen te laten werken voor het specifieke doel wat dat EMS probeert te realiseren.

In de S2 architectuur wordt een apparaat vertegenwoordigd door een logische component dat de *Resource Manager* heet. S2 laat vrij waar de Resource Manager zich fysiek bevindt, maar ook wie hem ontwikkelt. Wanneer een apparaat via een ander protocol aan te sturen is, waar het activeringsmechanisme ook bij het EMS wordt belegd, kan iedereen in principe een Resource Manager ontwikkelen die de vertaling naar S2 maakt. Zo is er bijvoorbeeld een koppeling ontwikkeld die voor witgoed EEBus vertaalt naar S2. Hoeveel energieflexibiliteit er beschikbaar is via S2 hangt uiteraard wel af van de mogelijkheden die het andere protocol biedt.

Een nadeel van S2 is dat het, met name voor mensen zonder ICT-achtergrond, wat lastiger te begrijpen is. S2 is redelijk abstract. Het beschrijft bijvoorbeeld niet hoe je optimaliseert

voor dynamische tarieven, aangezien dat in de software van het EMS moet gebeuren. S2 beschrijft slechts de tools waarmee dit mogelijk gemaakt wordt. In de S2 specificatie zal je dus niet teruglezen hoe een concreet apparaat in S2 uitgedrukt moet worden of hoe een bepaalde optimalisatie gedaan moet worden. Tegelijkertijd opent dit veel mogelijkheden voor EMS-fabrikanten om op dat vlak te innoveren en te concurreren.

Omdat verschillende apparaten op een hele andere manier energie flexibel kunnen zijn kent S2 vijf verschillende *Control Types* om met die energieflexibiliteit om te gaan. De Control Types zijn gebaseerd op verschillende principes, maar binnen een Control Type is er voor de fabrikant veel vrijheid om uit te drukken hoe het apparaat flexibel is. Een apparaat hoeft typisch maar één van die Control Types te implementeren. Een EMS wat alle type apparaten wil kunnen aansturen moet alle vijf de Control Types implementeren. Het is niet de bedoeling dat er in de toekomst nog meer Control Types bijkomen.

3.7.2.5 Samenvatting

Die vier behandelde standaarden hebben ieder een andere aanpak en filosofie. SG Ready en OCPP richten zich duidelijk op één type apparaat, en hebben ook een specifieke communicatieroute. OCPP heeft duidelijk zijn eigen doelgroep: laadpalen die met en CPO verbonden zijn. Dat zal een groot deel van de energieflexibiliteit op het laagspanningsnet vertegenwoordigen, en zou een geschikte route kunnen zijn voor bijvoorbeeld een vangnet. OCPP is echter niet in staat te dienen als protocol tussen een EMS en laadpaal.

EEBus en S2 positioneren zich als echt protocol voor de communicatie tussen EMS en verschillende energie flexibele apparaten. Beide protocollen beogen alle type energie-flexibele apparaten te ondersteunen. Achter beide protocollen zit wel een hele verschillende filosofie. Waar EEBus vooral heel concreet probeert te blijven door een aantal specifieke use cases te specificeren, probeert S2 veel generieke te zijn en op die manier alle mogelijke use cases te ondersteunen. Dit is een belangrijk voordeel, aangezien er op dit moment nog erg weinig bekend is over hoe alle activeringsmechanismen exact gaan werken. Door de keuze van het activeringsmechanisme niet in het protocol te stoppen, maar te verplaatsen naar de implementatie van het EMS, ontkoppelt S2 de afhankelijkheid van het protocol naar deze keuze. Beide protocollen zijn flexibel wat betreft deployment.

SG Ready en OCPP hebben op dit moment een groot marktaandeel. Ook EEBus groeit op dat vlak gestaag, geholpen door de Duitse paragraaf 14a. S2 loopt hierin nog achter; op dit moment zijn er nog geen volwassen S2 implementaties op de markt.

Tabel 3.1: Vergelijking standaarden voor energieflexibiliteit

Protocol	Omgang comfortwens	Communicatie lokaal of via cloud?	Waar vindt optimalisatie plaats?	Ondersteuning nieuwe toepassingen	Plug and play?
SG Ready	Niet gegarandeerd, enkel vuistregels	Lokaal	In EMS	Niet mogelijk	Ja
OCPP	Niet gegarandeerd	Cloud	n.v.t.	Kan eventueel in toekomstige versies, vereist aanpassingen in implementatie	Nee

Protocol	Omgang comfortwens	Communicatie lokaal of via cloud?	Waar vindt optimalisatie plaats?	Ondersteuning nieuwe toepassingen	Plug and play?
EEBus	Verschilt per use case	Lokaal of cloud	Gedeeld EMS en apparaat	Na specificatie nieuwe use cases en aanpassingen in apparaat en EMS	Nee
S2	Apparaat verantwoordelijk voor comfort	Lokaal of cloud	In EMS	Ja, na aanpassing EMS	Ja

3.7.2.6 Geschiktheid voor congestiemanagement

Het LAN-LS beschrijft drie vormen van congestiemanagement: Een technisch vangnet, marktgebaseerde congestiemanagement en tariefoplossingen en aansluitvoorwaarden. Hoe deze activeringsmechanismen technisch gaan werken is op dit moment echter nog onbekend. Dit maakt het lastig uitspraken te doen over de geschiktheid van de genoemde protocollen voor de verschillende vormen van congestiemanagement. We kunnen wel een aantal observaties doen:

SG Ready is een relatief simplistisch protocol, wat een negatieve impact kan hebben op comfort. De eenvoud maakt het lastig om geavanceerde sturing te doen, wat het minder geschikt (maar niet per se ongeschikt) maakt voor marktgebaseerde congestiemanagement en tariefoplossingen en aansluitvoorwaarden. Ook maakt SG Ready het lastig meerdere toepassingen voor energieflexibiliteit te combineren. Voor een vangnet lijkt het minder een bezwaar, maar dan moet rekening gehouden worden met de randvoorwaarden die SG Ready stelt voor het activeren van de energieflexibiliteit.

OCPP biedt controle over een significant deel van energieflexibiliteit op het laagspanningsnet: laadpunten voor elektrische auto's die met een CPO verbonden zijn. OCPP is echter niet geschikt voor de koppeling tussen het laadpunt en een EMS, wat voor niet-publieke laadpunten waarschijnlijk op termijn wel wenselijk is. Een EMS kan immers de energievraag van verschillende apparaten coördineren. Voor publieke laadpunten zou OCPP een belangrijke rol kunnen spelen bij een vangnet, marktgebaseerd congestiemanagement en tariefoplossingen en aansluitvoorwaarden. Hoe geschikt het daarvoor is hangt af van de invulling van die mechanismen.

EEBus biedt op dit moment voor verschillende typen apparaten een power limitation use case aan voor congestiemanagement doeleinden, ook is er een use case waarmee tarieven naar apparaten gestuurd kunnen worden.. Afhankelijk van de technische invulling, zou dit goed kunnen passen bij het technisch vangnet en bepaalde vormen marktgebaseerde congestiemanagement. De filosofie van EEBus is dat het protocol in de toekomst altijd uitgebreid kan worden met andere use cases, en op die manier ook geschikt is te maken voor andere methoden voor congestiemanagement.

Het belangrijkste argument voor **S2** is nu juist dat het een oplossing probeert te bieden voor het probleem dat er nog geen duidelijkheid is over hoe congestiemanagement precies gaat werken. S2 probeert daar geen aannames over te doen en laat het aan de EMS-implementatie. S2 past daarom waarschijnlijk goed bij alle vormen van congestiemanagement. De prijs die daarvoor betaald wordt is dat S2 wat abstracter is dan

de alternatieven, wat het voor mensen zonder ICT-achtergrond iets lastiger te begrijpen maakt. Ook is bij S2 een EMS altijd vereist; S2 is bijvoorbeeld niet geschikt voor rechtstreekse sturing vanuit een netbeheerder.

3.8 Energieflexibiliteit ontsluiten van bestaande apparaten

Wanneer er een dominante standaard voor het ontsluiten van energieflexibiliteit ontstaat zou het natuurlijk wenselijk zijn dat bestaande apparaten hier ook geschikt voor gemaakt kunnen worden. Op die manier kunnen die apparaten ook opgenomen worden in het EMS-ecosysteem. Dit zou in een aantal gevallen praktisch te realiseren zijn:

- Een aantal fabrikanten van net-intensieve apparaten hebben ook hun eigen EMS-systeem ontwikkeld, wat via een gesloten protocol met het apparaat communiceert. Hierbij heeft de eindgebruiker te maken met een lock-in, maar via deze EMS-systemen zouden activeringsmechanismen voor congestiemanagement wel ondersteund kunnen worden.
- Er zouden adapters ontwikkeld kunnen worden voor bestaande protocollen, zoals bijvoorbeeld Modbus interfaces of SG Ready. De hoeveelheid energieflexibiliteit die beschikbaar wordt gesteld wordt in dat geval wel beperkt door de bestaande interface. Hier komt per model apparaat veel werk bij kijken, wat het lastig maakt dit op te schalen. Dit is overigens wat veel onafhankelijke EMS-systemen op dit moment doen.
- Apparaten die met een cloud platform van de fabrikant verbonden zijn, en via die route actuele informatie kunnen delen en aangestuurd kunnen worden, zouden nog geschikt gemaakt kunnen worden door het protocol in het cloud platform van de fabrikant te implementeren. Er zijn ook fabrikanten die al via open, maar fabrikant-specifieke API's (die over het algemeen via internet werken) al bepaalde energiemangement functionaliteiten beschikbaar maken. Hierbij is er geen sprake van een lock-in, maar maakt het door de diversiteit van API's wel lastig om op te schalen.
- Slimme apparaten die over voldoende rekenkracht beschikken en met het internet verbonden zijn zouden achteraf middels firmware updates nieuwe ondersteuning kunnen krijgen.

Bij het ontwerp van nieuwe apparaten zou rekening gehouden kunnen worden met het achteraf kunnen toevoegen van ondersteuning voor een bepaald protocol. Het lijkt echter effectiever om zo snel mogelijk duidelijkheid te verschaffen over welk protocol het meest gewenst is.

3.9 Verdere bronnen

Onderstaande rapporten waren waardevolle input voor dit hoofdstuk en kunnen aanbevolen worden voor verdere verdieping.

- “In twee stappen naar flexibele aanstuurbare warmtepompen” (Open Flexibility Alliance, n.d.)
- “In-home energy flexibility protocols” (TKI Urban Energy, ElaadNL, n.d.)
- “Kansen voor energiemangement in de woning” (ElaadNL, FAN, n.d.)
- “Smart Charging synergies” (NKL, Enervalis, 2021)

3.10 Conclusies interoperabiliteit

Om ervoor te zorgen dat net-intensieve apparaten kunnen bijdragen aan het voorkomen of oplossen van netcongestie op het laagspanningsnet zullen ze extern beïnvloedbaar moeten zijn via een technische interface. Met andere woorden: er moet een oplossing komen voor de interoperabiliteit voor de energieflexibiliteit van deze apparaten; er moet dus een keus gemaakt worden (bijvoorbeeld via regulering) voor een communicatiestandaard die door zoveel mogelijk apparaten ondersteund moet worden. Als hier geen duidelijke keuzes in gemaakt worden zal het praktisch en economisch niet haalbaar zijn om deze energieflexibiliteit op grote schaal te benutten, en bestaat het gevaar dat de eindgebruiker in zijn keuzevrijheid beperkt wordt door technische lock-ins, wat op zijn beurt weer de marktwerking verzwakt en innovatie afremt.

Om hier een goede keuze in te maken moet er verder gekeken worden dan alleen congestiemanagement. Energieflexibiliteit kan immers voor vele toepassingen worden gebruikt, en dat zou idealiter via dezelfde interoperabiliteitsoplossing moeten werken. Ook zou die energieflexibiliteit via verschillende *activeringsmechanismen* vanuit het elektriciteitssysteem geactiveerd kunnen worden. Hierbij moet erkend worden dat het op dit moment nog niet bekend is hoe al die toepassingen en mechanismen precies gaan werken.

Op dit moment zijn er verschillende interoperabiliteitsoplossingen in de markt, die geen van allen aansluit bij alle wensen en breed geadopteerd is. Deze oplossingen maken echter ook een keuzes over andere relevante aspecten:

- Energieflexibiliteit staat vrijwel altijd op gespannen voet met het comfort van de eindgebruiker en de energie-efficiëntie van het apparaat. Verschillende interoperabiliteitsoplossingen gaan hier anders mee om. Ook zal wetgeving rondom prestatieborging van warmtepompen een drempel kunnen zijn voor het optimaal inzetten van energie flexibiliteit.
- Apparaten kunnen direct vanuit de netbeheerder, energieleverancier of aggregator aangestuurd worden, maar dit zou ook kunnen via een voor de aansluiting centraal Energy Management Systeem (EMS). Dit laatste is uiteindelijk de voorkeusoplossing: Een EMS kan het gedrag van meerdere slimme apparaten op elkaar afstemmen, het is een plek waar de eindgebruiker zijn voorkeuren kan aangeven, het stelt de eindgebruiker in staat om ook lokale optimalisatie van energieflexibiliteit te doen en het is een logisch ontkoppelpunt voor techniek voor en achter de meter.
- Een EMS en slim apparaat hebben verschillende belangen, en willen beiden zoveel mogelijk de controle over het apparaat. Interoperabiliteitsoplossingen maken keuzes in waar welke verantwoordelijkheid ligt, wat implicaties heeft op hoeveel energieflexibiliteit er uiteindelijk daadwerkelijk benut kan worden en hoe makkelijk het systeem kan worden aangepast op nieuwe situaties, om zo ruimte te houden voor innovaties.
- De aansturing van het apparaat en het EMS zouden zowel fysiek lokaal plaatsvinden, maar ook via het internet verlopen. Beide opties zijn mogelijk, maar dit heeft wel impact op zaken als kosten, privacy, gevoeligheid voor grootschalige storing en de afhankelijkheid van een dienst van de fabrikant.

Keuzes die gemaakt worden voor interoperabiliteitsoplossingen op het apparaat of het activeringsmechanismen hebben een grote impact op hoeveel energieflexibiliteit er uiteindelijk daadwerkelijk benut kan worden. Zo zit er een groot verschil tussen het opleggen van een vermogenslimiet wat wellicht helemaal geen impact voor het apparaat heeft, en het optimaal inplannen van het energiegedrag van een slim apparaat. Het feit dat energieflexibiliteit zoveel vormen heeft en voor zoveel toepassingen gebruikt kan worden maakt het lastig te kwantificeren wat exact de impact is van deze keuzes. Hier zou echter

wel onderzoek naar gedaan moeten worden om hier goed onderbouwde keuzes in te maken. Ook zou er voor de consument duidelijkheid moeten komen hoeveel energieflexibiliteit (en wat daarmee de waarde is voor de eindgebruiker) verschillende apparaten kunnen leveren.

De S2 standaard biedt een goede oplossing voor het gebrek aan duidelijkheid over activeringsmechanismen, maar is nog niet breed toegepast in de markt. EEBus is wat dat betreft volwassener, maar niet in staat snel mee te bewegen met nieuwe activeringsmechanismen. OCPP is een goede oplossing voor publiek en eventueel semipubliek laden van elektrische auto's. SG Ready voor warmtepompen is vanwege de eenvoud niet ideaal, maar gezien het relatief grote marktaandeel op korte termijn wel zeer relevant.

4 Congestiemaatregelen internationaal

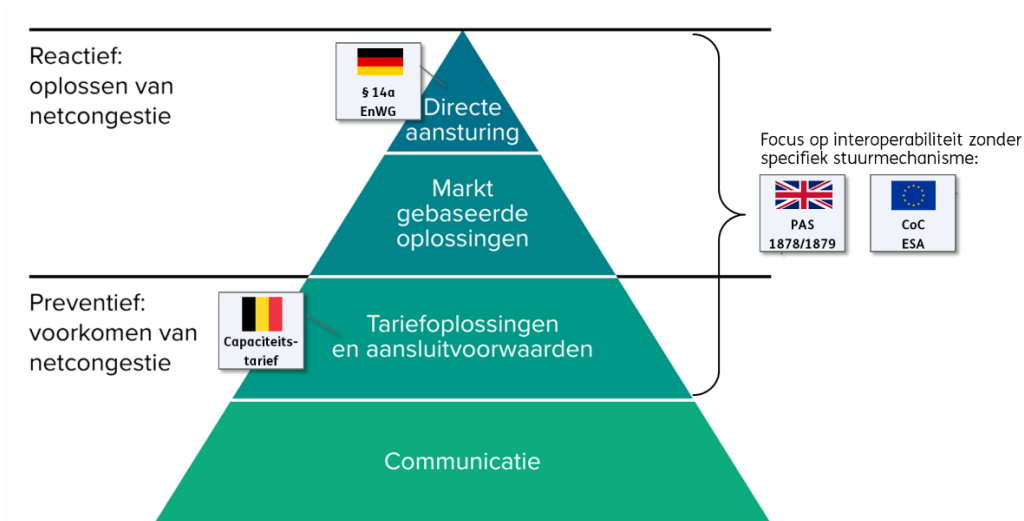
Nederland staat niet alleen in de uitdagingen rondom netcongestie. Ontwikkelingen in het buitenland kunnen van waarde zijn voor de strategische keuzes die genomen moeten worden om netcongestie te verhelpen. Dit hoofdstuk bevat een analyse van dergelijke ontwikkelingen in verschillende Europese landen en het perspectief van de EU. Verder worden uit deze analyse conclusies getrokken die relevant kunnen zijn als ‘lessons learned’ om als verrijking te dienen voor het opstellen van beleid.

4.1 Overzicht congestiemaatregelen in het buitenland

Voor dit overzicht zijn de volgende landen en congestiemaatregelen geselecteerd:

- **Duitsland:** In Duitsland is per 1 januari 2024 de zogenaamde § 14a van de Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) van kracht geworden.
- **Verenigd Koninkrijk:** Vanuit het Verenigd Koninkrijk worden de “Publicly Available Specifications” 1878 en 1879 in dit onderzoek meegenomen.
- **België:** België kent een mechanisme waarbij aangeslotenen betalen voor hun piekverbruik: het capaciteitstarief.
- **Frankrijk:** In Frankrijk zijn nog geen concrete congestiemaatregelen op het laagspanningsnet ingevoerd. De congestieproblemen op laagspanningsniveau lijken hier ook minder ernstig te zijn dan in de eerdergenoemde landen. Het net is daar al historisch aangelegd voor verwarming op elektriciteit.
- **EU:** Naast de bovengenoemde landen is er ook gekeken naar het “Code of Conduct for Energy Smart Appliances” initiatief van de Europese Unie.

Wat opvalt is dat er in de ons omringende landen grote verschillen zijn in de gekozen aanpak. Dit wordt geïllustreerd door deze aanpakken te plotten op het schema dat in de “Actieagenda netcongestie laagspanningsnetten” (Landelijk Actieprogramma Netcongestie, 2024) wordt gehanteerd (zie Figuur 4.1). In dit schema wordt een schaal gebruikt die van preventieve/vrijwillige maatregelen naar ingrijpende/dwingende maatregelen loopt.



Figuur 4.1: Mapping van internationale initiatieven op de “LAN LS piramide”.

- Het capaciteitstarief in België is een duidelijk voorbeeld van een congestiemechanisme in de “Tariefoplossingen en aansluitvoorwaarden” laag. De PAS 1878/1879 en de Europese “Code of Conduct for Energy Smart Appliances” zijn daarentegen niet op een specifieke laag in dit schema gericht, maar proberen een generieke oplossing voor interoperabiliteit van flexibele apparaten te bieden die voor meerdere lagen toepasbaar is. De Duitse § 14a, ten slotte, is een maatregel waarmee directe aansturing door de netbeheerder wordt gerealiseerd.

In de volgende secties worden de landen en hun congestiemaatregelen in meer detail onder de loep genomen.

4.1.1 Duitsland

In Duitsland is paragraaf 14a van de Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) per 1 januari 2024 van kracht geworden (Bundesnetzagentur, 2023). § 14a schrijft een direct aansturingsmechanisme voor waarbij de netbeheerder in geval van nood (ter voorkoming van een black-out) een curtailment-sigitaal naar aangeslotenen kan sturen. Aangeslotenen moeten dit signaal opvolgen wanneer zij gebruik maken van één of meerdere van de volgende types apparaten: thuislader voor EV, warmtepomp, airconditioning en batterijopslag. Daarbij moet het piekvermogen van zo’n apparaat boven 4,2 kW uitkomen; kleinere installaties vallen niet onder § 14a.

4.1.1.1 Initiatiefnemers

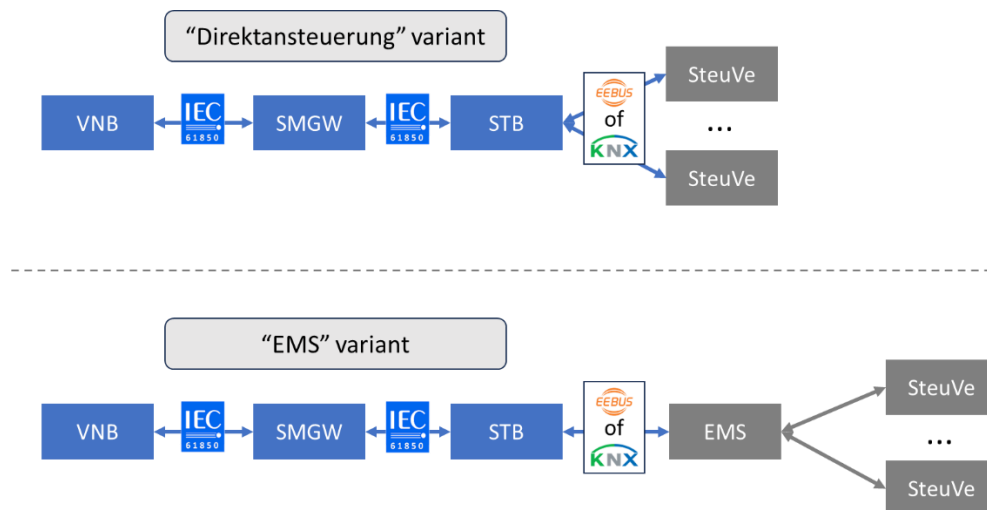
Een eerste versie van § 14a is in 2011 opgenomen in de Duitse energiewet. De huidige versie is in 2022 tot stand gekomen, waarop de wetgever de Duitse toezichthouder (BundesNetzAgentur) opdracht heeft gegeven om dit nader uit te werken in praktische regelgeving.

De BundesNetzAgentur heeft hier in 2022 uitgangspunten voor opgesteld die het startpunt vormden voor discussies met stakeholders uit het energiedomein. Aan de hand van deze discussies zijn er de nodige aanpassingen gedaan die hebben geleid tot de huidige regelgeving voor § 14a.

Daarnaast heeft het Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (VDE FNN) de technische vastlegging van de berichten voor de communicatie met apparaten voor zijn rekening genomen (Bundesnetzagentur, 2023).

4.1.1.2 Stuurmechanisme

Er worden twee varianten van het § 14a stuurmechanisme onderscheiden. Deze zijn weergegeven in Figuur 4.2



Figuur 4.2: De twee varianten van § 14a

De volgende entiteiten worden in de figuur gebruikt:

- **VNB.** Verteilnetzbetreiber. Dit is de regionale netbeheerder.
- **SMGW.** Smart Meter Gateway. Dit is de communicatie module van de Duitse slimme meter infrastructuur. Deze wordt gebruikt om metingen door te geven, maar kan ook stuursignalen van de netbeheerder ontvangen.
- **STB.** Steuerbox. De FNN Steuerbox is een gestandaardiseerde module die stuursignalen van de SMGW omzet naar signalen die door apparaten kunnen worden begrepen.
- **EMS.** Energy Management System. Een EMS coördineert het energiemangement voor meerdere apparaten tegelijkertijd.
- **SteuVe.** Steuerbare Verbrauchseinrichtung. Dit is een apparaat waarvan het verbruik gedimd kan worden.

Voor beide varianten geldt dat de netbeheerder een curtailment signaal naar de SMGW van de aangeslotene stuurt, dat vervolgens wordt doorgezet naar de Steuerbox. Voor de communicatie tot aan de Steuerbox wordt gebruik gemaakt van de IEC 61850 standaard.

Vanaf de Steuerbox is er een belangrijk verschil tussen de “Direktansteuerung” en de “EMS” variant.

“Direktansteuerung” variant

Bij deze variant communiceert de Steuerbox rechtstreeks met één of meerdere aanstuurbare apparaten. Voor de communicatie tussen de Steuerbox en de apparaten kan gekozen worden voor EEBUS of KNX.

Wanneer een aangeslotene voor deze variant kiest, betekent dat dat alle apparaten die onder 14a vallen worden beperkt tot 4,2 kW in het geval van een curtailment signaal. Het is dus niet mogelijk om curtailment van een apparaat te voorkomen door dit bijvoorbeeld te compenseren met PV opwek.

“EMS” variant

Bij de “EMS” variant praat de Steuerbox niet rechtstreeks met aanstuurbare apparaten, maar met een Energy Management System. De communicatie tussen de Steuerbox en het EMS verloopt ook hier via het EEBUS of het KNX-protocol. Het EMS geeft vervolgens stuursignalen door aan de apparaten.

Daar waar de “Direktansteuerung” variant eisen oplegt aan het maximale verbruik per apparaat, wordt er bij de “EMS” variant gekeken naar het totaal toegestane vermogen op het niveau van de netaansluiting. Hierbij mogen de beperkingen bij elkaar opgeteld worden. Voor het eerste apparaat mag de volledige 4,2 kW gerekend worden, terwijl extra apparaten slechts gedeeltelijk meegeteld mogen worden. Hiervoor wordt een factor gehanteerd die kleiner wordt naarmate het aantal apparaten (dat onder § 14a valt) groter is.

Wanneer er bijvoorbeeld 3 aanstuurbare apparaten zijn, mag voor het eerste apparaat 4,2 kW gerekend worden, terwijl er voor de overige 2 apparaten een factor van 0,75 gehanteerd wordt. Het totaal toegestaan vermogen op de netaansluiting wordt hiermee:

$$4,2 \text{ kW} + 2 \times 0,75 \times 4,2 \text{ kW} = 10,5 \text{ kW}$$

Het voordeel van een beperking voor de gehele aansluiting is dat de aangeslotene nu zelf kan bepalen hoe de beperking over de beschikbare apparaten verdeeld moet worden. Zo kan nu wel PV opwek worden gebruikt om het extra verbruik van andere apparaten te compenseren.

Financiële compensatie

De aangeslotene heeft de keuze tussen twee vormen van financiële compensatie. De eerste optie bestaat uit een korting op de aansluittarieven die in de praktijk ergens tussen de € 100 en € 200 per jaar ligt. De tweede optie is een korting van 60% op het energietarief. Een voorwaarde voor deze laatste optie is dat alle apparaten die onder § 14a vallen apart bemeten moeten worden.

4.1.1.3 Status

§ 14a is per 1 januari 2024 van kracht geworden. Dit betekent dat alle aangeslotenen, met apparaten die na die datum zijn aangeschaft en onder de regeling vallen, aan § 14a moeten voldoen.

Voor netbeheerders geldt de verplichting om iedere nieuwe aanvraag voor een aansluiting die aan § 14a voldoet, te accepteren.

4.1.1.4 Observaties

Met betrekking tot § 14a valt het volgende op:

- De regie voor het invoeren van dit stuurmechanisme lag bij de wetgever en de toezichthouder. Bij de uitwerking van de regeling heeft de toezichthouder de stakeholders uit het energiedomein nauw betrokken.

- Binnen § 14a wordt een duidelijk onderscheid gemaakt tussen wat er voor en achter de meter gebeurt. Voor de communicatie tussen de netbeheerder en aangeslotene wordt gebruik gemaakt van IEC 61850, terwijl de communicatie met de apparaten op EEBUS of KNX is gebaseerd. Hierbij gaat het overigens om een kleine subset van EEBUS⁵ en KNX-berichten.
- Het inrichten van de regelgeving is een traject dat meerdere jaren in beslag neemt. § 14a is al vanaf 2011 onderdeel van de Duitse energiewet, maar de uitwerking is de laatste jaren in een stroomversnelling geraakt.
- Duitsland kent een geavanceerde (en ook complexe) slimme meter infrastructuur die het mogelijk maakt om niet alleen metingen te ontvangen, maar ook berichten (zoals een curtailment signaal) naar aangeslotenen te kunnen sturen.
- De begrenzing van 4,2 kW per apparaat lijkt aan de ruime kant. Deze grens is gekozen om de impact op het comfort zo minimaal mogelijk te laten zijn. Zo kunnen warmtepompen binnen deze grens vaak prima functioneren, al moeten ze het dan wel zonder bijverwarming stellen. Ook kunnen EV's met deze limiet per uur voor zo'n 25 km aan actieradius bij laden.

4.1.1.5 Vertaling naar NL

De werkgroep “Technisch Vangnet” van Netbeheer Nederland is bezig om de uitgangspunten voor directe sturing door de netbeheerder neer te zetten. In Nederland is het sturen van stuursignalen naar slimme meters, zoals dit in Duitsland gebeurt, echter niet zondermeer mogelijk.

Er zijn workarounds mogelijk, zoals het gebruik maken van een vrij tekstveld om een bericht van de netbeheerder naar de slimme meter te sturen dat vervolgens op de P1 poort beschikbaar komt. Dit tekstveld zou gebruikt kunnen worden om een vermogensgrens te communiceren. De bandbreedte voor communicatie met de slimme meter is echter beperkt waardoor het momenteel nog onduidelijk is of deze optie schaalbaar en betrouwbaar is. Een andere optie zou zijn om het sturen van een vermogensgrens via internet te laten verlopen. Dit zijn voorbeelden van opties die bij de uitwerking van een technisch instrument voor een vangnet verder onderzocht zouden moeten worden.

Om het Duitse stuurmechanisme nog beter te kunnen plaatsen in de Nederlandse context, is in Tabel 4.1 een lijst gemaakt met LAN LS maatregelen die raakvlakken hebben met § 14a

Tabel 4.1: Overeenkomsten tussen het beleid in Duitsland en voorgestelde maatregelen in LAN LS

LAN LS Maatregelcode	Beschrijving	Overeenkomst
30	Eisen stellen aan interconnectiviteit en interoperabiliteit	In § 14a worden eisen gesteld aan de communicatie met de aanstuurbare apparaten.
32	Aansluiten bij EU-verplichting dat nieuw te installeren warmtepompen slim aanstuurbaar moeten zijn (Ecodesign) ⁶	Een warmtepomp is één van de apparaten die volgens § 14a aanstuurbaar moeten zijn.

⁵ Bij EEBUS gaat het om de volgende 4 use cases: Limitation of Power Consumption, Limitation of Power Production, Monitoring of Power Consumption en Monitoring of Grid Connection Point.

⁶ In deze LAN LS maatregel wordt gesteld dat nieuwe warmtepompen verplicht “slim” aanstuurbaar moeten zijn. Vanuit de EU is er echter (nog) geen sprake van een verplichting.

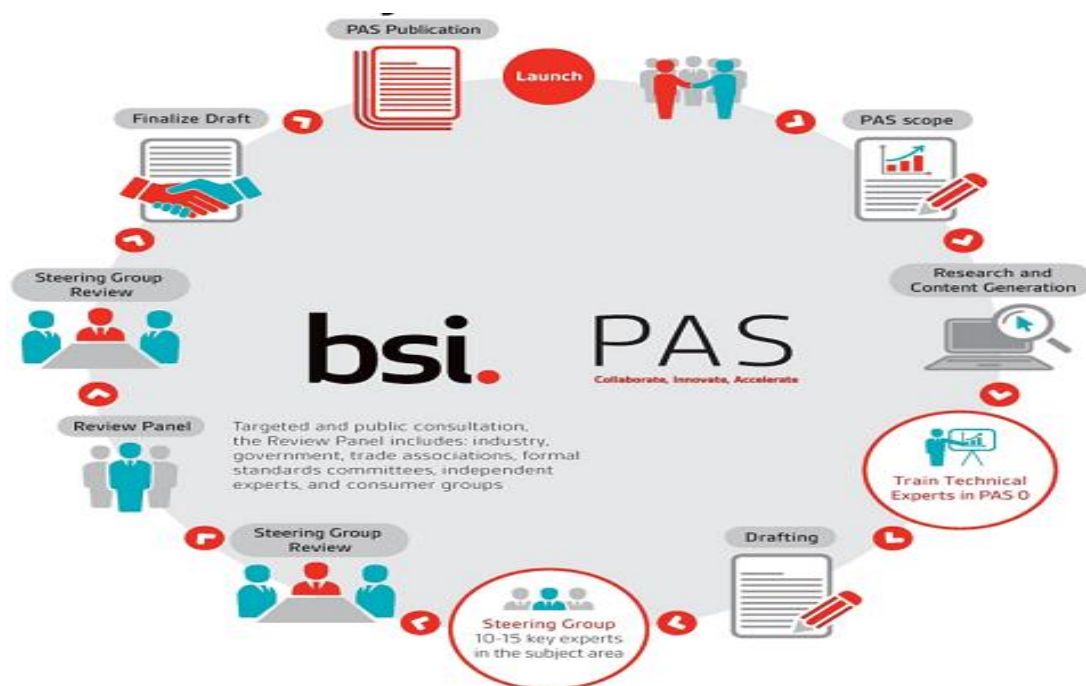
LAN LS Maatregelcode	Beschrijving	Overeenkomst
33	Indien noodzakelijk, eerder nationale verplichting t.a.v. standaard vereisten software slim aanstuurbare warmte pompen o.b.v. reeds bestaande EU Code of Conduct	In Duitsland heeft men met § 14a gekozen voor een nationale verplichting. Deze komt deels overeen met de EU CoC als het gaat om het gebruik van EEBUS-berichten. In § 14a kan echter ook van KNX-gebruik gemaakt worden voor communicatie met apparaten. Deze laatste optie is (nog) niet compatibel met de CoC. Overigens vallen warmte pompen met een piekvermogen < 4,2 kW niet onder § 14a.
34	Indien noodzakelijk, additionele nationale verplichting t.a.v. productspecifieke vereisten slim aanstuurbare warmtepompen, bijvoorbeeld t.a.v. hardware, rekening houdend met EU level-playing-field.	In sommige gevallen zullen onder § 14a warmte pompen ook apart bemeten moeten worden.
36	Onderzoek naar rol thuis- en buurtbatterijen bij voorkomen congestie in laagspanningsnet	Thuisbatterijen vallen onder § 14a.
47	Onderzoek wijziging congestiemanagementregels voor congestie in laagspanningsnetten. Uit te werken vragen zijn: - Hoe onderbouwt de netbeheerder dat er congestie is? - Welke grenzen gelden er voor de inzet van congestiemanagement? - Wanneer is marktgebaseerd congestiemanagement mogelijk en wanneer is niet-marktgebaseerd congestiemanagement nodig? - Welke vergoeding geldt voor niet-marktgebaseerd congestiemanagement?	De regels over wanneer de netbeheerder § 14a mag inzetten voor directe sturing moeten nog nader worden uitgewerkt. Dit is ook één van de redenen dat § 14a nog niet actief door de netbeheerders wordt ingezet. De vergoeding voor de aangeslotene is voor § 14a al wel uitgewerkt.
50	Onderzoek de inzet van verplicht congestiemanagement als noodmaatregel	§ 14a is een duidelijk voorbeeld van een noodmaatregel en is met ingang vanaf 1 januari 2024 al verplicht in Duitsland.

4.1.2 Verenigd Koninkrijk

Het meest relevante beleid omtrent netcongestie in het Verenigd Koninkrijk (VK) is een samenvoeging van de Publicly Available Specifications (PAS) 1878 (BSI, 2021) en PAS 1879 (BSI, 2021). Deze specificaties dienen als standaarden en richtlijnen voor de interoperabiliteit tussen apparaten (Department for Energy Security & Net Zero, 2024). Met deze standaarden wordt de toepassing van demand side response (DSR) bevorderd, wat behulpzaam kan zijn in het leveren van flexibiliteit op het laagspanningsnet.

4.1.2.1 Initiatiefnemers

De PAS 1878 en PAS 1879 zijn opgezet vanuit het nationale ‘Smart Systems and Flexibility Plan 2021’. Hierin wordt een collectie van maatregelen beschreven die genomen kunnen worden om de hoeveelheid flexibiliteit op het laagspanningsnet te vergroten (Department for Energy Security and Net Zero; Ofgem; Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2021). De overheid is hierbij gebaat bij samenwerking met industriële partijen om de ontwikkeling en adoptie van energy smart appliances (ESA's) te stimuleren. Specifiek voor de PAS 1878 en PAS 1879 zijn de initiatiefnemers de nationale overheid (‘Department for Energy Security and Net Zero’) in samenwerking met de British Standardisation Institute (BSI). De BSI is hierbij voornamelijk inhoudelijk betrokken bij de standaardisatie van de interoperabiliteit tussen ESA's (BSI, 2021). De toezichthouder is het nationale ‘Office of Gas and Electricity Markets’ (OFGEM). De betrokkenheid van de BSI bij de standaardisatie van een vroege versie van de S2 diende als inspiratie voor de vormgeving van de PAS 1878 en PAS 1879, met name de werking van het stuurmechanisme (BSI, 2021). Hierbuiten is er uitvoerig gebruik gemaakt van stuurgroepen waarin deskundigen binnen de industrie, overheid, brancheorganisaties en consumentengroepen ieder bijdrage leveren (Schade, 2023). Een overzicht van het proces waarin stuurgroepen een bijdrage leveren aan het opstellen van de PAS 1878 en PAS 1879 is te vinden in Figuur 4.3.

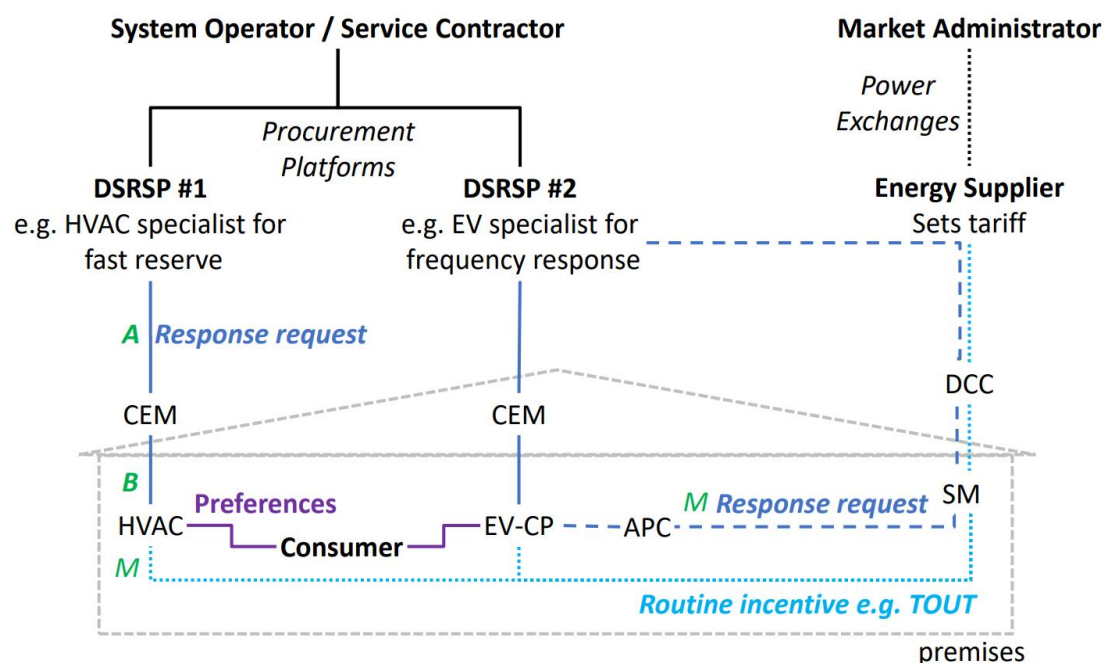


Figuur 4.3: Tekst. Overzicht van de ontwikkeling van de PAS 1878 en PAS 1879 via stuurgroepen [106].

4.1.2.2 Stuurmechanisme

Het stuurmechanisme wordt gekarakteriseerd door communicatie via signalen tussen de demand side response service provider (DSRSP), de consumer energy manager (CEM) en de ESA (BSI, 2021). De DSRSP is een dienstverlener die energiemanagementdiensten verleent aan netbeheerders. De CEM is een entiteit, fysiek of digitaal, die de informatie tussen de DSRSP en de ESA vertaalt en verstrekt. De ESA is in deze context in staat om zijn elektriciteitsconsumptie aan te passen aan de hand van signalen die ontvangen worden vanuit de DSRSP via de CEM. Er bestaat hierbij ook de invloed vanuit de consument, waar er de mogelijkheid is voor een handmatige overschrijding van een strategie bepaald vanuit de

DSRSP. Binnen de hiërarchie van de voorgestelde DSR-operatie staat deze handmatige overschrijding boven andere signalen. Een schematisch overzicht van de werking van het stuurmechanisme is te vinden in Figuur 4.4.



Figuur 4.4: Schematisch overzicht van het stuurmechanisme zoals uitgelijnd in de PAS 1878 en PAS 1879 (Schade, 2023).

Wat opvalt aan de PAS 1878/1879 is de zeer beperkte rol voor een HEMS. Ondanks dat de naam anders doet vermoeden, coördineert de CEM (Consumer Energy Manager) de inzet van energie flexibiliteit niet over meerdere apparaten, zoals een HEMS dat wel zou doen. De CEM ontsluit enkel de flexibiliteit van één ESA voor één DSRP. De berichten zoals die in de PAS 1878 zijn gespecificeerd richten zich dan ook alleen op de communicatie tussen een CEM en een DSRP. De communicatie van een ESA of CEM met een HEMS valt buiten de scope van PAS 1878/1879.

4.1.2.3 Status

In de ontwikkeling van de PAS 1878 en PAS 1879 is er onder andere gebruik gemaakt van stuurgroepen. Zoals eerder vermeld bestonden deze stuurgroepen vaak uit experts binnen de industrie, overheid en kennisinstituten. Verder is binnen de ontwikkeling van deze standaarden niet alleen interoperabiliteit een belangrijk aspect. Overige afwegingen hebben betrekking op dataprivacy, netwerkstabiliteit en cyber-security. Vanaf 2026 moeten alle ESA's in het VK voldoen aan de veiligheidseisen die opgesteld zijn in ETSI EN 303 645 (Department for Energy Security & Net Zero, 2024). Dit is een verzameling van voorschriften die streven naar het beveiligen van Internet-of-Things (IoT) voor consumenten (ETSI, sd). De interoperabiliteitseisen vanuit de PAS 1878 en PAS 1879 worden vervolgens vanaf 2028 gehanteerd, waarna ESA's hieraan moeten voldoen om verkocht te mogen worden in het VK (Department for Energy Security & Net Zero, 2024).

4.1.2.4 Observaties

Met betrekking tot PAS 1878/1879 valt het volgende op:

De regie voor het ontwikkelen van de PAS lag bij de wetgever, de toezichthouder en het Britse standaardisatie instituut. Bij de ontwikkeling zijn ook de stakeholders uit het energiedomein nauw betrokken.

De PAS 1878/1879 richt zich niet alleen op congestiemanagement, maar op een breed scala aan activeringsmechanismen voor energie flexibiliteit, waaronder bijvoorbeeld ook balanceringsdiensten.

Flexibiliteit wordt voornamelijk gemodelleerd met behulp van vermogensprofielen, dit is voor complexere apparaten niet de meeste efficiënte manier om flexibiliteit te ontsluiten. Er is binnen de PAS nauwelijks aandacht voor de coördinatie van energieflexibiliteit van verschillende apparaten in een huishouden door een HEMS. Energieflexibiliteit van een apparaat wordt één op één doorgezet naar een Demand Side Response Service Provider (DSRSP). Zo kan de flexibiliteit van een warmtepomp worden aangestuurd door DSRSP A, terwijl DSRSP B tegelijkertijd de flexibiliteit van de EV aanstuurt. Hiermee is er dus geen duidelijke ontkoppeling tussen de oplossing/technologie die voor en achter de slimme meter wordt toegepast.

4.1.2.5 Vertaling naar NL

Er bestaan overeenkomsten tussen het opgestelde beleid in het VK en verschillende voorgestelde maatregelen in het document LAN LS. Deze overeenkomsten zijn toegelicht in Tabel 4.1. Hieruit blijkt dat de interoperabiliteitseisen zodanig alomvattend zijn dat er verschillende strategieën mogelijk gemaakt kunnen worden om netcongestie problematiek te benaderen.

Tabel 4.2: Overeenkomsten tussen het beleid in het VK en voorgestelde maatregelen in LAN LS

LAN LS Maatregelcode	Beschrijving	Overeenkomst
30	Eisen stellen aan interconnectiviteit en interoperabiliteit	Deze eisen volgen ook uit de PAS richtlijnen en kunnen vervolgens in de toekomst gebruikt worden voor specifiek beleid
32	Aansluiten bij EU-verplichting dat nieuw te installeren warmtepompen slim aanstuurbaar moeten zijn (Ecodesign)	Zelfde als voor maatregelcode 30, gezien warmtepompen gezien worden als ESA's en de richtlijnen op alle ESA's toepasbaar zijn
36	Onderzoek naar rol thuis- en buurtbatterijen bij voorkomen congestie in laagspanningsnet	Met het instellen van standaard interoperabiliteitseisen voor ESA's valt de collectie apparaten die hieronder vallen uit te breiden met toekomstige collectieve systemen als buurtbatterijen

4.1.3 België

In België heeft men gekozen voor een congestiemanagementoplossing op basis van het capaciteitstarief (VREG, 2023). In Nederland is het capaciteitstarief een vast bedrag dat alleen afhankelijk is van de grootte van de netaansluiting. In België is het capaciteitstarief sinds 2023 gebaseerd op het piekverbruik van huishoudens. Per kilowatt piekvermogen moet

op jaarbasis zo'n € 40 betaald worden (VREG, 2024). Op deze manier worden aangeslotenen gemotiveerd om het elektriciteitsnet minder zwaar te belasten.

4.1.3.1 Initiatiefnemers

De regelgeving rondom het capaciteitstarief is uitgewerkt door de Vlaamse Regulator van de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG). Het capaciteitstarief is per 1 januari 2023 ingegaan.

4.1.3.2 Stuurmechanisme

De slimme meter houdt voor elk kwartier het gemiddelde vermogen bij. Voor elke maand wordt vastgesteld wat het hoogste kwartiervermogen is geweest. Mocht het piekvermogen lager liggen dan 2,5 kW dan wordt er toch een minimum piek van 2,5 kW gehanteerd.

Het piekvermogen over een jaar wordt bepaald door het gemiddelde van de 12-maandelijke piekvermogens te berekenen. Per kilowatt vermogen moet vervolgens een tarief van ongeveer € 40 betaald worden.

Dit tarief vormt een incentive voor het (slim) aansturen van apparaten om de vermogenspiek zo laag mogelijk te houden. Er wordt echter geen specifiek technologie of standaard voorgeschreven voor de aansturing van apparaten achter de meter.

4.1.3.3 Status

Het capaciteitstarief zoals hierboven beschreven is sinds 1 januari 2023 van kracht.

Uit onderzoek van Fluvius (Fluvius, 2024) waarbij data van 2022 en 2023 met elkaar is vergeleken, blijkt dat Vlaamse huishoudens het net 8,3% efficiënter zijn gaan gebruiken. Voor huishoudens met een groot verbruik geldt zelfs een efficiëntieverbetering van 13,6%. Fluvius geeft aan dat het nog te vroeg is om deze resultaten volledig toe te schrijven aan de invoering van het capaciteitstarief, maar het is duidelijk dat het impact heeft.

4.1.3.4 Vertaling naar NL

Technisch gezien is de invoering van het capaciteitstarief zoals dit in België wordt gehanteerd alleen afhankelijk van de slimme meter. De Nederlandse slimme meters leveren alle gegevens die nodig zijn om het capaciteitstarief te kunnen berekenen.

Mogelijk zou het capaciteitstarief kunnen profiteren van het invoeren van begeleidende standaarden/technologie voor het aansturen van slimme apparaten. Op deze manier wordt er aan de aangeslotene meer handelingsperspectief geboden, zonder het risico van vendor lock-in.

Om het Belgische capaciteitstarief nog beter te kunnen plaatsen in de Nederlandse context, is in Tabel 4.3 een lijst gemaakt met LAN LS maatregelen die hier raakvlakken mee hebben.

Tabel 4.3: Overeenkomsten tussen het beleid in België en voorgestelde maatregelen in LAN LS

LAN LS Maatregelcode	Beschrijving	Overeenkomst
42	Duidelijkheid schetsen over het juridische kader t.a.v. het betalingsvraagstuk. Te beantwoorden vraag: Wanneer en onder welke voorwaarden mag via (aansluit)voorwaarden vooraf gestuurd worden op bepaald netgebruik om overbelasting van het net te voorkomen?	Het Vlaamse capaciteitstarief maakt geen onderscheid over wanneer de piek veroorzaakt wordt. Het tarief geldt altijd. Er wordt wel gekeken of er meer gedifferentieerd moet gaan worden naar het tijdstip van de piek.
45	Onderzoek naar het effect van dynamische leveringsprijzen op netcongestie in het laagspanningsnet. De scope van het onderzoek wordt nog nader bepaald.	In het hierboven aangehaalde onderzoek van Fluvius is ook gekeken naar dit effect. Mogelijk kunnen de uitkomsten van dit onderzoek mee worden genomen.
46	Voorstel wijzigen tariefstructuur van kleinverbruikers op netcongestie LS (gebaseerd op uitkomsten onderzoek). Door betrokken partijen wordt op basis van het onderzoek van Berenschot afgewogen welke bijdrage het wijzigen van de tariefstructuur kan hebben op netcongestie.	Het onderzoek van Fluvius laat zien wat de eerste effecten zijn van de invoering van het .

4.1.4 Frankrijk

4.1.5 capaciteitstarief

In Frankrijk is er nog geen noemenswaardig beleid wat zich specifiek richt op netcongestie in de context van het laagspanningsnet. Een reden daartoe is de omvang van het probleem, netcongestie speelt momenteel niet een grote rol in de kosten van de Réseau de Transport d'Électricité (RTE), de Franse TSO (RTE, 2019). De RTE geeft in de laatste versie van het gepubliceerde 10-jaarlijkse ontwikkelingsplan echter aan momenteel meer te sturen op pilotprogramma's. Onder andere het in kaart brengen van mogelijke toekomstige netcongestieproblemen speelt hierbij een grote rol (RTE, 2019) (RTE, sd).

Alhoewel congestieproblematiek (nog) geen grote rol speelt in het Franse laagspanningsnet is er al wel veel ervaring met het leveren van flexibiliteit door kleine assets. Deze flexibiliteit wordt vooral ingezet ten behoeve van balancering. Er zijn al veel aggregators actief met commerciële proposities voor consumenten. Dit maakt het waarschijnlijk makkelijker om in de toekomst flexibiliteit in het laagspanningsnet ook voor eventuele congestie problemen te ontsluiten.

4.1.5.1 Initiatiefnemers

De afwezigheid van noemenswaardig beleid betekent dat hier geen initiatiefnemers geïdentificeerd kunnen worden.

4.1.5.2 Stuurmechanisme

De afwezigheid van noemenswaardig beleid betekent dat hier geen concrete stuurmechanismen geïdentificeerd kunnen worden.

4.1.5.3 Status

Zoals eerder vermeld stuurt de RTE momenteel op inzet van pilotprogramma's. Voorbeelden hiervan zijn compensatieregelingen voor het ter beschikking stellen van capaciteit in de vorm van batterijsystemen, het op afstand besturen van een collectie batterijen op bijvoorbeeld buurniveau en smart grids (Colthorpe, 2021). Voor het laagspanningsnet is de status momenteel nog het identificeren van buurten waar er dusdanig veel congestie is dat er additionele stappen genomen moeten worden. Bevindingen hierover zijn momenteel nog niet beschikbaar.

4.1.5.4 Vertaling naar NL

De overeenkomsten van ideeën die mogelijk toegepast zullen worden in Frankrijk naar concrete acties in het LAN LS document zijn te vinden in Tabel 4.2. Over het algemeen richten de hiervoor genoemde pilotprogramma's zich voornamelijk op de inzet van elektriciteitsopslag door middel van batterijsystemen. De overlap tussen maatregelen in LAN LS en deze pilotprogramma's zijn vanwege deze focus voornamelijk te vinden in interoperabiliteit en het aansturen van betreffende batterijsystemen.

Tabel 4.4: Overeenkomsten tussen het beleid in Frankrijk en voorgestelde maatregelen in LAN LS

LAN LS Maatregelcode	Beschrijving	Overeenkomst
30	Eisen stellen aan interconnectiviteit en interoperabiliteit	De inzet van batterijsystemen op de voorgestelde schaal van de pilotprogramma's vereist interconnectiviteitseisen
31	Uitwerken plan bidirectioneel laden	Relevant voor elektriciteitsopslag op woning- en/of buurniveau
36	Onderzoek naar rol thuis- en buurtbatterijen bij voorkomen congestie in laagspanningsnet	Een significant deel van de pilotprogramma's richt zich op deze maatregel

4.1.6 Europese Unie

Binnen de EU wordt er gewerkt aan de "Code of Conduct for Energy Smart Appliances" (CoC ESA) (JRC Smart Electricity Systems, sd). Het doel van deze vrijwillige gedragscode is om de interoperabiliteit van slimme apparaten te bevorderen. Versie 1.0 van de CoC is op 23 april 2024 gepresenteerd op de Hannover Messe.

4.1.6.1 Initiatiefnemers

Vanuit de EU hebben DG ENER en het Joint Research Center Smart Electricity Systems (JRC SES) in 2022 het initiatief genomen om te komen tot een vrijwillige gedragscode die de interoperabiliteit van aanstuurbare apparaten moet bevorderen.

4.1.6.2 Stuurmechanisme

De doelstelling van de CoC is om de interoperabiliteit van aanstuurbare apparaten in algemene zin te verbeteren en richt zich daarbij dus niet op één specifiek stuurmechanisme.

De scope van de CoC dekt de volgende apparaten af: witgoed en HVAC-systemen inclusief de bereiding van warm water. Wanneer een apparaat de CoC implementeert, zal dit ook kenbaar gemaakt worden op het energie label.

De CoC definieert een aantal use cases die door de apparaten ondersteund moeten worden:

- Flexible start
- Monitoring of Power Consumption
- Limitation of Power Consumption
- Incentive Table based Power Consumption Management
- Manual operation

De huidige (1.0) versie van de CoC is volledig gebaseerd op EEBUS. De EEBUS-berichten zijn gemapped op concepten uit de SAREF-ontologie (TNO, sd). Volgens de filosofie van de CoC kunnen andere protocollen dan EEBUS-onderdeel van de CoC worden wanneer zij op dezelfde SAREF-concepten gemapped kunnen worden.

4.1.6.3 Status

Versie 1.0 van de CoC is op 23 april 2024 gepresenteerd. Op het moment van introductie was de CoC door 10 apparaat fabrikanten ondertekend. Veel van deze fabrikanten hadden al een EEBUS-implementatie.

De roadmap voor de CoC bevat op dit moment twee voorziene herzieningen. Voor versie 1.1 worden andere protocollen toegevoegd, waaronder S2. Voor versie 2.0 wordt voorzien dat ook het EMS in de architectuur meegenomen wordt.

4.1.6.4 Observaties

Met betrekking tot de CoC valt het volgende op:

- De CoC is een vrijwillige gedragscode en geen verplichting en daarmee mogelijk te vrijblijvend. Individuele landen gaan in een aantal gevallen al verder dan de CoC door verplichtingen op te leggen.
- De scope en functionaliteit van de CoC zijn beperkt. De CoC gaat alleen over witgoed (niet de meest relevante categorie apparaten voor energieflexibiliteit) en HVAC-systemen. Andere belangrijke apparaten zoals EV, PV en batterijen zijn (nog) geen onderdeel van de CoC. Deze laatstgenoemde apparaten vallen ook niet onder de verantwoordelijkheid van DG ENER. Dit maakt dat het niet alleen technisch, maar ook politiek gezien, niet triviaal is om de scope van de CoC uit te breiden zodat deze alle relevante apparaten omvat.
- Er ontbreekt een duidelijke architectuur. De CoC zou interoperabiliteit tussen apparaten en (H)EMS-systemen moeten bewerkstelligen. De focus ligt echter volledig op de apparaten; de rol en de verantwoordelijken van een (H)EMS worden nergens in de CoC beschreven.
- De CoC aanpak is gebaseerd op EEBUS use cases. In de huidige versie is het aantal use cases nog beperkt, maar dit aantal zal naar alle waarschijnlijkheid verder worden uitgebreid in volgende versies. Hiermee zal het steeds uitdagender worden om interoperabiliteit te realiseren. Het is dan immers niet meer voldoende om aan beide kanten hetzelfde protocol te spreken, maar beide kanten zullen daarna ook nog moeten vaststellen of de geïmplementeerde use cases wel compatibel zijn met elkaar.

4.1.6.5 Vertaling naar NL

Door de beperkte scope en het vrijwillige karakter, biedt de CoC (voorlopig nog) onvoldoende sturing vanuit de EU. Tegelijkertijd is het wel zeer wenselijk dat er in de nabije toekomst

relevante regelgeving op EU-niveau komt voor de interoperabiliteit van aanstuurbare apparaten en (H)EMS-systemen. Nederland zou zich actief in kunnen zetten om EU-regelgeving op dit gebied dichterbij te brengen.

Om de EU CoC nog beter te kunnen plaatsen in de Nederlandse context, is in Tabel 4.5 een lijst gemaakt met LAN LS maatregelen die hier raakvlakken mee hebben.

Tabel 4.5: Overeenkomsten tussen het beleid in de EU en voorgestelde maatregelen in LAN LS

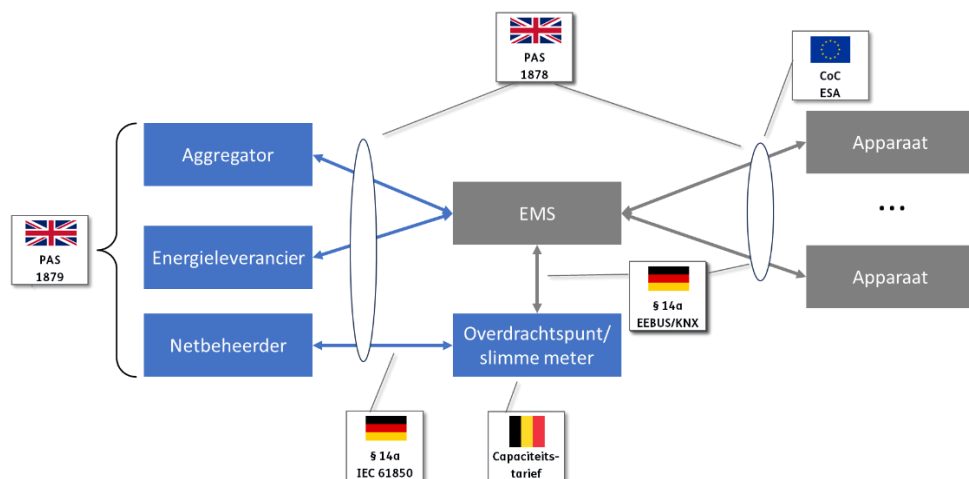
LAN LS Maatregelcode	Beschrijving	Overeenkomst
30	Eisen stellen aan interconnectiviteit en interoperabiliteit	Dit is wel de insteek van de CoC, maar door de beperkte scope en het vrijwillige karakter biedt dit niet voldoende sturing op dit vlak.
32	Aansluiten bij EU-verplichting dat nieuw te installeren warmte pompen slim aanstuurbaar moeten zijn (Ecodesign)	Warmte pompen vallen wel onder de scope van de CoC, maar de CoC heeft geen verplichtend karakter.

4.2 Lessons learned

Uit het overzicht van de buitenlandse initiatieven zijn de volgende “lessons learned” te destilleren:

- Er is (voorlopig) nog onvoldoende sturing vanuit de EU. De zeer beperkte scope en het vrijwillige karakter van de “Code of Conduct for Energy Smart Appliances” maken dat individuele lidstaten eigen maatregelen zullen moeten nemen. Dit is een ongewenste situatie, omdat bijvoorbeeld veel apparaat fabrikanten hun afzetmarkt niet op nationaal, maar op Europees niveau hebben. Het is dan ook van belang om alsnog aan te dringen op meer sturing/regelgeving vanuit de EU in de nabije toekomst.
- In de ons omringende landen zijn duidelijke keuzes gemaakt die grotendeels al gerealiseerd zijn. Nederland bevindt zich daarentegen nog in de onderzoeksfase m.b.t. de te nemen maatregelen op het laagspanningsnet.
- Naast initiatieven die zich specifiek richten op congestiemanagement zijn er ook initiatieven die een bredere focus hebben, zoals de PAS 1878/1879 in het Verenigd Koninkrijk.
- In de onderzochte landen is er sprake van een duidelijke regie; hierbij spelen de toezichthouders/marktautoriteiten een belangrijke voortrekkersrol. Dit wordt vaak aangevuld met betrokken ministeries, nationale standaardisatie organisaties en stakeholders uit het energiedomein.
- De ontwikkeling van de onderzochte mechanismen heeft, zonder uitzondering, meerdere jaren in beslag genomen. Niet alleen moeten mechanismen technisch worden uitgewerkt, er zijn ook allerlei juridische en regelgeving aspecten die vormgegeven moeten worden. Ook de noodzakelijke afstemming met betrokken stakeholders kost de nodige tijd. Wanneer een mechanisme helemaal is uitgewerkt/gespecificeerd, volgt nog een implementatie fase. Tot slot zal er ook duidelijk gecommuniceerd moeten worden over hoe het mechanisme werkt en waarom het nodig is.
- Mechanismen uit het buitenland zijn niet altijd zondermeer te vertalen naar de Nederlandse situatie. Bijvoorbeeld door verschillen in de slimme meter infrastructuur.

- Er zijn grote verschillen tussen de onderzochte mechanismen in de ons omringende landen. Dit blijkt ook uit de mapping van de mechanismen op de “LAN LS piramide” waarbij alle lagen afgedekt worden (zie Figuur 4.1). Het is dus niet mogelijk om één magische maatregel aan te wijzen waarmee congestieproblemen tot het verleden behoren; er zal een compleet stelsel aan mechanismen moeten worden opgetuigd. Gezien de significante doorlooptijd voor het uitwerken en implementeren van één enkel mechanisme, lijkt het verstandig om de verschillende mechanismen zoveel mogelijk parallel aan elkaar uit te werken.
- In de meeste onderzochte landen is er een duidelijke ontkoppeling van oplossingen voor en achter de meter. Dit wordt geïllustreerd door Figuur 4.5.



Figuur 4.5: Mapping van technologieën en protocollen voor (blauw) en achter de slimme meter (grijs)

- Zo maakt § 14a in Duitsland voor de meter gebruik van een heel ander protocol (IEC 61850) dan achter de meter (EEBUS of KNX). De CoC richt zich exclusief op de communicatie met apparaten achter de meter en specificeert niet wat er voor de meter zou moet gebeuren. Het capaciteitstarief in België richt zich juist op het overdrachtpunt zelf, zonder nadere oplossingen voor en/of achter de meter af te dwingen.
- De uitzondering wordt gevormd door het Verenigd Koninkrijk dat met de PAS 1878 dezelfde oplossing voor en achter de slimme meter specificeert, waarbij er geen rol is voor de HEMS. Coördinatie van energie flexibiliteit over meerdere apparaten in een huishouden is via de PAS 1878 dan ook nauwelijks mogelijk.

De les die hieruit geleerd kan worden, is dat een oplossing achter de meter onafhankelijk van het mechanisme voor de meter uitgewerkt moet worden en vice versa. De technologie die aan de zijde van de apparaten gebruikt gaat worden moet 1) voldoende generiek zijn om verschillende toepassingen te kunnen ondersteunen (bv. congestiemanagement en tariefoptimalisatie), 2) coördinatie over meerdere apparaten heen mogelijk maken en 3) toekomstvast zijn zodat een apparaat gedurende zijn levensduur (15 tot 20 jaar) niet continu van updates hoeft te worden voorzien.

5 Visie en aanbevelingen

Uit dit onderzoek blijkt dat er in 2030 al sprake kan zijn van afname netcongestie in de niet-verzwaarde buurten. Net intensieve apparaten zoals warmtepompen en EV-laders kunnen bijdragen aan het voorkomen van netcongestie door deze slimmer te maken. De bestaande capaciteit van het laagspanningsnet kan dan beter worden benut. Wanneer apparaten slimmer zijn is het ook mogelijk ze te laten meebewegen met (prij)schommelingen van elektriciteit, zodat niet alleen de capaciteit van het net beter wordt benut, maar dat ook de beschikbare, vaak duurzame, energie beter wordt benut. Hiervoor is het nodig dat er afspraken worden gemaakt over het standaardiseren van slimme apparaten, ondersteund door verdienmodellen voor alle betrokken partijen.

In dit rapport is onderzocht of en hoeveel afname congestie in strikt geselecteerde buurten⁷ kan optreden in 2030 en 2035 en in hoeverre inzet van de potentiële flexibiliteit van apparaten een oplossing kan zijn. Daarnaast is onderzocht hoe deze apparaten slimmer gemaakt kunnen worden, door de laatste stand van zaken in binnen- en buitenland rondom de onderwerpen interoperabiliteit, activeringsmechanismen en systeemarchitectuur te verkennen.

In dit hoofdstuk brengen we de kennis van voorgaande hoofdstukken en ervaringen van onze experts bij elkaar in een visie voor het beter benutten van het laagspanningsnet, de technische randvoorwaarden voor slimme apparaten, en aanbevelingen voor implementatie.

5.1 Visie op energieflexibiliteit voor het beter benutten van het laagspanningsnet

Om het elektriciteitsnet beter te benutten moeten we naar een situatie waarbij net-intensieve apparaten zoveel mogelijk rekening houden met het elektriciteitsnet. Er zijn meerdere manieren waarop dit kan worden ingevuld die verschillende consequenties hebben voor het energiesysteem, de eindgebruiker en de betrokken commerciële partijen. Bij het inpassen van energieflexibiliteit in ons energiesysteem zijn de volgende uitgangspunten van belang:

- 1. Zoveel mogelijk van de technische energieflexibiliteit benutten door effectieve oplossingen voor interoperabiliteit en activeringsmechanismen.**
Keuzes voor interoperabiliteitsoplossingen en activeringsmechanismen hebben veel impact op hoeveel energieflexibiliteit er daadwerkelijke benut kan worden. Bij het kiezen van deze oplossingen zou de effectiviteit hiervan een centrale rol moeten spelen.
- 2. De eindgebruikers moeten controle houden over hun apparaten en de optimalisatie van de beschikbare energieflexibiliteit, en moeten mee kunnen profiteren van de waarde van de energieflexibiliteit die hun apparaten bieden aan het energiesysteem.**
Energieflexibiliteit heeft waarde voor het energiesysteem. Voor de acceptatie bij

⁷ Strikt geselecteerde buurten zijn buurten die niet worden verzwaard tot 2035, voornamelijk bestaan uit huishoudens en vallen onder verschillende typeringen zoals vrijstaande huizen, rijtjeshuizen e.d.

eindgebruikers is het wenselijk dat de eindgebruiker zelf keuzes kan maken over het gedrag van hun apparaten, dat ze gemotiveerd worden om energieflexibiliteit beschikbaar te stellen en dat ze gecompenseerd wordt als dit tot minder comfort leidt.

3. **Technische lock-ins moeten voorkomen worden. Hierdoor behoudt de eindgebruiker de keuzevrijheid en zijn er minder beperkingen in het omzetten van flexpotentieel in benutbare flex.**

De eindgebruiker moet de keuzevrijheid voor energieleverancier of -aggregator, en optimalisatie van energieflexibiliteit en -apparaat behouden. Technische lock-ins kunnen gezonde marktwerking in de weg staan en zijn maatschappelijk gezien niet wenselijk voor de eindgebruiker. Het kan er ook toe leiden dat minder van de beschikbare flex benut kan worden, doordat verschillende apparaten niet optimaal met elkaar integreren.

4. **Marktpartijen moeten ruimte houden om te blijven innoveren, zowel qua techniek als proposities.**

De markt voor het inzetten van energieflexibiliteit moet zich nog ontwikkelen en er zullen nieuwe technologieën ontwikkeld worden. Wanneer technische lock-ins het uitrollen van nieuwe technieken en proposities in de weg staan, kan er geen goede marktwerking plaatsvinden.

5. **Energieflexibiliteit moet zowel kunnen worden ingezet voor netcongestie als voor het balanceren van productie en consumptie van (hernieuwbare) elektriciteit.**

Hoewel het inzetten van energieflexibiliteit voor het voorkomen van netcongestie in het laagspanningsnet het meest urgent lijkt, biedt het ook een grote kans om te helpen bij het balanceren van productie- en consumptie van elektriciteit, en op die manier beter in te spelen op het aanbod van hernieuwbare energie.

6. **In het ontwikkelen van nieuwe standaarden en mechanismen moet de betrouwbaarheid van het energiesysteem voorop staan.**

Wanneer het elektriciteitssysteem deels afhankelijk wordt van energieflexibiliteit moet het flex-ecosysteem ook betrouwbaar ontworpen worden. Dat betekent dat veiligheidsmechanismen voor verschillende situaties ontwikkeld moeten worden en dat het systeem zoveel mogelijk bestand moet zijn tegen misbruik door kwaadwillende.

5.2 Technische randvoorwaarden

Om de markt in staat te stellen producten en diensten te ontwikkelen die aan de uitgangspunten van deze visie voldoen, zijn de volgende drie randvoorwaarden het belangrijkste:

1. **Meerdere activeringsmechanismen voor energieflexibiliteit moeten naast elkaar kunnen bestaan**

Een activeringsmechanisme is een manier om te laten weten hoe energieflexibiliteit ingezet moet worden, in combinatie met een prikkel voor de eindgebruiker. Voor de betrouwbaarheid van het energiesysteem zijn er verschillende activeringsmechanismen nodig voor verschillende situaties. Zo zou er voor normale situaties gebruik gemaakt kunnen worden van tariefinstrumenten of marktgebaseerde congestiemanagement-mechanismen. Wanneer dat niet afdoende is, zou een technisch vangnet geactiveerd moeten kunnen worden om afschakelen (via een afschakelplan) of uitval te voorkomen. Ook kan autonome sturing van apparaten een rol spelen. Activeringsmechanismen kunnen specifiek voor het balanceren van het net of voor congestiemanagement zijn, maar er kunnen ook gecombineerde activeringsmechanismen ontstaan. Daarnaast kunnen activeringsmechanismen variëren in complexiteit, de hoeveelheid

energieflexibiliteit die daadwerkelijk ingezet kan worden, de impact op privacy, of gecombineerd kunnen gaan met een andere propositie. Niet iedere eindgebruiker zal hierin dezelfde voorkeuren hebben. Ook kunnen technologische innovaties tot nieuwe activeringsmechanismen leiden.

2. **Energy Management Systemen (EMS) moeten breed geadopteerd worden**

Voor veel van de mogelijke activeringsmechanismen geldt dat wanneer er verschillende typen apparaten achter een netaansluiting zit, er tussen de apparaten gecoördineerd moet worden. Een voor de netaansluiting centraal EMS is hier de voorkeursoplossing. Bovendien stelt een EMS de gebruiker in staat eigen voorkeuren qua prioriteiten tussen apparaten in te stellen, en kan het optimalisaties achter de netaansluiting uitvoeren (zoals load balancing of zelfconsumptie van zonne-energie). Bovendien is het een goed ontkoppelpunt van technologie voor- en achter de meter.

3. **Er moet een breed geadopteerde open standaard voor het ontsluiten van energieflexibiliteit op apparaten komen**

Een grote barrière voor grootschalige adoptie van EMS-systemen en de keuzevrijheid van de eindgebruiker is dat er op dit moment geen breed geadopteerde standaarden zijn voor het ontsluiten van energieflexibiliteit van apparaten. Het is voor EMS-ontwikkelaars op dit moment te veel werk om ieder apparaat te ondersteunen. Bovendien zijn de huidige interfaces vaak niet ontwikkeld om optimaal energieflexibiliteit te ontsluiten, als die functionaliteit al ondersteund wordt. Ook zijn er fabrikanten die liever werken aan een gesloten ecosysteem, waarbij hun apparaten uitsluitend werken met hun eigen EMS. Om in een situatie te komen waarin ieder EMS met vrijwel ieder apparaat kan samenwerken, zou er een breed geadopteerde standaard voor interoperabiliteit van apparaten moeten zijn die in zo veel mogelijk situaties te gebruiken is.

5.3 Aanbevelingen

Om de bovenstaande visie voor energieflexibiliteit op het laagspanningsnet te realiseren zijn er meerdere ontwikkelingen nodig, met onderlinge afhankelijkheden. De realisatie van de visie kan ondersteunt worden door een *roadmap* waarbij een groeipad wordt uitgezet van de huidige situatie. Er moet bijvoorbeeld gewerkt worden met de nu voor handen zijnde interoperabiliteitsoplossingen op apparaten, richting de gewenste eindsituatie met toekomstbestendige oplossingen. Hierdoor worden mijlpalen, tijdslijnen, verantwoordelijkheden en keuzes duidelijk die nodig zijn om flexibiliteit te ontsluiten.

Hieronder worden drie aanbevelingen gegeven om de weg naar de eindvisie in gang te zetten. Deze drie aanbevelingen kunnen in principe los van elkaar geïmplementeerd worden, maar vullen elkaar vooral goed aan wanneer ze tegelijkertijd worden gerealiseerd.

5.3.1 **Aanbeveling 1: Zet in op een interoperabel en open communicatieprotocol voor net-intensieve apparaten.**

Om energieflexibiliteit ten behoeve van netcongestie op grotere schaal te ontsluiten is interoperabiliteit essentieel. Om een *vendor lock-in* te voorkomen is een open communicatiestandaard voor het apparaat nodig. In een ideaal scenario wordt zo'n standaard pas gekozen wanneer duidelijkheid is over de activeringsmechanismen. Het is echter niet wenselijk om daarop te wachten. Tijdens de levensduur van een slim apparaat (10 tot 20 jaar) zullen er ook nieuwe activeringsmechanismen geïntroduceerd worden die bij

de uitrol van het apparaat nog niet bekend waren; ook voor andere toepassingen dan congestiemanagement. Dit betekent dat de manier waarop energieflexibiliteit van apparaten ontsloten wordt ook **toekomstvast** moet zijn. Een belangrijk aandachtspunt is of een standaard niet bepaalde keuzes maakt die erin resulteren dat er uiteindelijk minder energieflexibiliteit benut kan worden.

Om aan bovenstaande eisen te voldoen is een gestandaardiseerd, interoperabel en open protocol voor het ontsluiten van energieflexibiliteit nodig voor de communicatie tussen slimme apparaten en een EMS. Vanuit de markt is er geen consensus over wat hiervoor de beste oplossing is. Ook vanuit de EU is er onvoldoende sturing op dit vlak. De nationale overheid zal daarom de regie moeten nemen om tot beleid te komen voor een dergelijk protocol.

Op dit moment is er nog niet een enkele standaard voor het ontsluiten van energieflexibiliteit die aan alle voorwaarden voldoet. De S2 standaard biedt een goede oplossing voor het gebrek aan duidelijkheid over activeringsmechanismen, maar is nog niet breed geadopteerd door de markt. EEBus is wat dat betreft volwassener, maar niet in staat snel mee te bewegen met nieuwe activeringsmechanismen. OCPP is een goede oplossing voor publiek en eventueel semipubliek laden van elektrische auto's. SG Ready voor warmtepompen is vanwege de eenvoud niet ideaal, maar gezien het relatief grote marktaandeel op korte termijn wel zeer relevant.

Voordelen van een standard communicatieprotocol is dat het een gelijk speelveld creëert tussen marktpartijen – groot of klein, jong of oud. Voor de klant voorkomt het een technische lock-in – keuzemogelijkheden zijn groter in welke apparaten je wel of niet kan aanschaffen.

- Met de juiste oplossingen is meer innovatie in de toekomst mogelijk, door bijvoorbeeld een lock-in voor een bepaald activeringsmechanisme te voorkomen.
- Kan nu voorkomen dat er straks flexibiliteit verloren gaat.
- Hoe eerder dit geregeld is hoe langer je er plezier van hebt (apparaten blijven 10 tot 20 jaar staan).

Interoperabiliteit en een standaard communicatieprotocol lossen niet automatisch netcongestie op. Daarvoor zijn meer stappen nodig, zoals een activeringsmechanisme. Interoperabiliteit kan er wel voor zorgen dat congestiemaatregelen een grotere impact hebben en sneller te implementeren zijn.

5.3.2 Aanbeveling 2: Zorg voor een financiële prikkel om congestie op LS-netten te voorkomen.

In dit scenario wordt een prikkel in de nettarieven ingebouwd om eindgebruikers te stimuleren om zo min mogelijk piekbelasting ten tijde van netcongestie te creëren. Een voorbeeld hiervan is het Vlaamse capaciteitstarief waarbij gebruikers een nettarief moeten betalen dat is gebaseerd op de hoogte van de pieken die ze veroorzaken. Hierbij wordt niet gekeken naar het moment waarop de piekbelasting plaatsvindt. Uiteraard is er ook een variant denkbaar waarbij er gedifferentieerd wordt naar bepaalde tijdsloten. Een andere mogelijkheid zijn dynamische nettarieven die gebaseerd zijn op de actuele netbelasting.

Netbeheerders in Nederland zijn momenteel bezig met een voorstel voor een alternatief nettatarief voor kleinverbruikers dat naar verwachting rond 2030 wordt geïmplementeerd.⁸

Voor veel mogelijke prikkels geldt dat er coördinatie tussen slimme apparaten achter de aansluiting nodig is, waar een EMS de beste optie voor is. Een prikkel voor congestie-management stimuleert de markt voor EMS-systemen door ze op deze manier een nieuwe business case te geven. Voor EMS-marktpartijen en productontwikkelaars is een stabiel mechanisme belangrijk om ze met oplossingen te laten komen.

Een prikkel voor congestiemanagement belooft eindgebruikers die een bijdrage leveren aan het voorkomen of oplossen van netcongestie. De acceptatie zal daarmee waarschijnlijk hoger liggen dan bij een vangnet. Het nadeel is dat deze oplossing niet in *alle* gevallen congestie en overbelasting kan voorkomen. Het biedt ook geen bescherming tegen tijdelijk of onverwachte netcongestie. Een vangnet en een congestieprikkel richten zich op verschillende aspecten van het probleem en versterken elkaar als ze allebei worden toegepast – door het toepassen van een congestieprikkel zal het vangnet naar verwachting minder vaak moeten ingrijpen.

Bij het invoeren van slechts een *congestieprikkel* en geen andere maatregelen voor beter benutten van flexibiliteit kan waarde van flex voor andere toepassingen onbenut blijven. Een aandachtspunt is het risico op een recht-toe-recht-aan oplossing, wat het toevoegen van EMS of andere mechanismen later lastig maakt.

5.3.3 Aanbeveling 3: Zet een technisch vangnet in om stroomuitval te voorkomen voor de gevallen dat er niet genoeg flexibiliteit is.

Om netcongestie op te lossen zal de netbeheerder energieflexibiliteit moeten mobiliseren via marktpartijen en nettarieven. Er zullen echter ook momenten zijn waarop dat niet voldoende is, of er kan sprake zijn van een technische storing. Een technisch vangnet kan helpen om een overbelasting (stroomstoring) te voorkomen. Daarmee kan de netbeheerder een noodsignaal sturen waarbij, op aansluitingsniveau, capaciteitsbeperkingen worden opgelegd die verplicht zullen moeten worden opgevolgd. Een limiet op aansluitingsniveau zorgt voor keuzevrijheid binnen de beperking.

Voor de realisatie zijn stappen nodig: specificeren van het activeringsmechanisme, opstellen van een toepassingskader en uitwerken van een prikkel/beloning voor de eindgebruiker, rekening houdend met situaties met- en zonder EMS. Netbeheer Nederland heeft in de Werkgroep Technische Oplossingen al een eerste aanzet opgesteld.

In Duitsland is sinds 2024 een wet van kracht die een technisch vangnet mogelijk maakt. Door een direct aansturingsmechanisme kan de netbeheerder in geval van nood (ter voorkoming van een stroomstoring oftewel stroomuitval) een signaal met een limiet (*curtailment*) naar aangeslotenen sturen. Aangeslotenen moeten dit signaal opvolgen wanneer zij gebruik maken van één of meerdere van de volgende types apparaten: thuislader voor EV, warmtepomp, airconditioning en batterijopslag. Daarbij moet het piekvermogen van zo'n apparaat boven 4,2 kW uitkomen; kleinere installaties vallen niet onder de wet.

⁸ Berenschot heeft in opdracht van Netbeheer Nederland een verkenning naar een alternatief nettatariefstelsel kleinverbruik uitgevoerd (<https://www.netbeheernederland.nl/artikelen/persbericht/huishoudens-kunnen-netbeheerkosten-besparen-door-slimmer-gebruik-van-het>) 21 oktober 2024.

Voordelen van een technisch vangnet zijn:

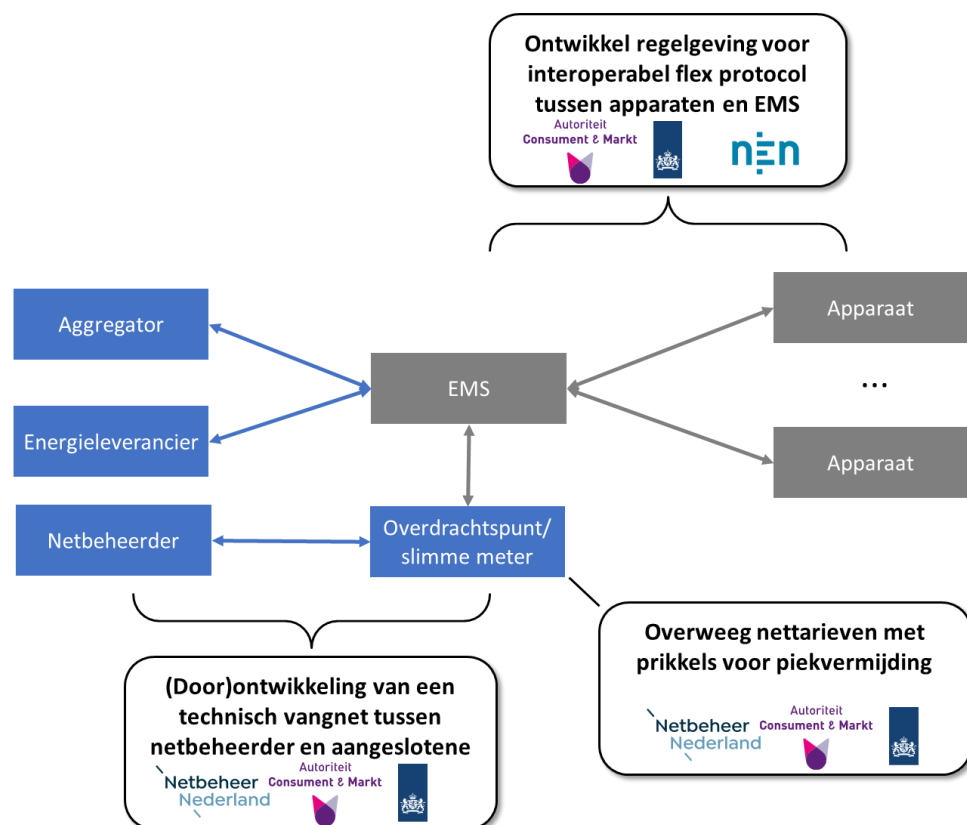
- In congestiegebieden is een vangnet de uiterste mogelijkheid om een stroomstoring te voorkomen.
- Een vangnet werkt ook als andere mechanismen voor congestiemanagement niet voldoende zijn of bij storingen daarvan.
- Uit berekening is gebleken dat in sommige scenario's alle flex binnen comfortgrens niet toereikend is, dus dan is een vangnet met impact op comfort noodzakelijk.
- Relatief simpel en dus snel relatief snel te realiseren.
- Niet afhankelijk van onvolwassen EMS-markt.
- Heeft alleen bij activatie impact op eindgebruiker.

Nadelen van een technisch vangnet is dat het concept door eindgebruikers kan worden gezien als een beperking en dus niet aantrekkelijk. In de uitrol van een vangnet kan bewustwording en communicatie helpen bij acceptatie.

Bij het invoeren van slechts een *vangnet* en geen andere maatregelen voor beter benutten van flexibiliteit kan waarde van flex voor andere toepassingen onbenut blijven. Een aandachtspunt is het risico op een recht-toe-recht-aan oplossing, wat het toevoegen van EMS of andere mechanismen later lastig maakt.

5.3.4 Rollen en regie

Een overzicht van bovenstaande aanbevelingen waarbij deze zijn afgebeeld op de waardeketen van energieflexibiliteit is geïllustreerd in Figuur 5.1.



Figuur 5.1: Overzicht energieflexibiliteit maatregelen afgebeeld op de energieflexibiliteit waardeketen

De blauwe rollen en componenten bevinden zich voor de meter (inclusief de slimme meter zelf), terwijl de grijze componenten de coördinatie van energieflexibiliteit in het huishouden voor hun rekening nemen. In de figuur is ook per aanbeveling aangegeven welke partijen hiervoor de regie moeten oppakken. Uiteraard zullen deze partijen ook andere stakeholders, zoals consumenten en apparaat fabrikanten, moeten betrekken bij het uitwerken van de aanbevelingen.

Inzetten op interoperabiliteit van apparaten (aanbeveling 1) zou de hoogste prioriteit moeten hebben. Aanbeveling 2 en 3 kunnen zover als mogelijk parallel hieraan uitgevoerd worden. Een goede interoperabiliteit tussen apparaten en EMS zal er namelijk voor zorgen dat aanbeveling 2 en 3 effectiever geïmplementeerd kunnen worden.

5.4 Algemene adviezen

Naast de specifieke aanbevelingen zijn er ook een aantal algemene adviezen die over meerdere aanbevelingen heen van toepassing zijn.

- Maak een duidelijke ontkoppeling tussen de techniek voor- en achter de meter. De verantwoordelijkheden en innovatiecycli van apparaten en activatiemechanismen verschillen sterk van elkaar. Wanneer de techniek voor- en achter de meter te veel verstrengeld raakt, zal er minder slagkracht zijn voor nieuwe innovaties.
- Hoewel EMS-systemen in de visie een centrale rol spelen, is de markt op dit moment nog relatief onvolwassen. Veel EMS-ontwikkelaars zitten nog in de startupfase, en hun producten doen nog maar weinig met congestiemanagement. EMS-partijen zouden zich moeten organiseren in een branchevereniging en meer betrokken moeten worden bij de besluitvorming rondom congestiemanagement.
- Houd in alle gevallen rekening met een toekomstig EMS. Wanneer een huishouden meerdere slimme en flexibele apparaten heeft, zal een EMS veel meerwaarde bieden bij het coördineren van die energieflexibiliteit. In de komende jaren zullen er echter nog veel huishoudens zijn waarbij het aantal flexibele apparaten beperkt is tot één. In die situatie is de meerwaarde voor een EMS zeer beperkt, maar moet er wel een duidelijk groeipad zijn waarbij het EMS later alsnog makkelijk ingepast kan worden.
- Kijk bij alle technische keuzes goed naar de uiteindelijk benutbare energieflexibiliteit. Keuzes voor protocollen en activatiemechanismen hebben grote invloed op hoeveel van de potentieel beschikbare flexibiliteit ook daadwerkelijk benut kan worden, en daarmee de waarde van die energieflexibiliteit voor het laagspanningsnet en de eindgebruiker.
- Kijk goed naar het samenspel van verschillende activeringsmechanismen, en houd rekening met de impact van het ene mechanisme op het andere. Sommige activeringsmechanismen dragen bij aan de stabiliteit van het energiesysteem, maar kunnen ook nieuwe pieken veroorzaken (bijv. dynamische tarieven of handel op balanceringsmarkten). Een mechanisme voor congestiemanagement zou die pieken moeten dempen waar ze congestie veroorzaken, maar eindgebruikers ook niet onnodig moeten ontmoedigen om op andere momenten bij te dragen aan de stabiliteit van het energiesysteem. De vraag is of het wenselijk is dat er een systeem ontstaat waarbij de netbeheerders moeten opbieden tegen andere toepassingen van energieflexibiliteit.
- Werk het technisch instrument en de bijpassende toepassingskaders parallel aan elkaar uit. Activeringsmechanismen bestaan vaak uit een combinatie van een technisch instrument (bijv. keuzeprotocollen, cybersecurity) en een

toepassingskader (bijv. onder welke voorwaarden mag het instrument worden ingezet, wat zijn de juridische kaders, welke incentives worden gehanteerd). Veel van de vraagstukken op beide gebieden kunnen onafhankelijk van elkaar worden uitgewerkt, waardoor de ontwikkeling van een activeringsmechanisme versneld kan worden.

- Er zijn nu nog grote nationale verschillen in aanpak op het gebied van wet- en regelgeving, activeringsmechanismen en technologie. Het is van belang om in te zetten op meer harmonisatie op Europees niveau, zeker ook omdat fabrikanten van apparaten die energie flexibiliteit leveren op een Europese (of zelfs globale) markt opereren.

Referenties

- Bundesnetzagentur. (2023, november 11). *Bundesnetzagentur - 14a - BK6-22-300*. Opgeroepen op juni 3, 2024, van https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/1_GZ/BK6-GZ/2022/BK6-22-300/BK6-22-300_Beschluss.html?nn=993170
- BSI. (2021, augustus). *Energy Smart Appliances standards programme – PAS 1878 and PAS 1879 development stage - Roadmap for PAS implementation and next steps*. Opgeroepen op juni 3, 2024, van https://www.bsigroup.com/globalassets/localfiles/en-gb/energy-smart-appliances-programme/esa-programme-roadmap-for-pas-implementation-and-next-steps_august-21.pdf
- BSI. (2021). *PAS 1878:2021 Energy Smart Appliances Systems* | BSI. Opgeroepen op juni 3, 2024, van <https://www.bsigroup.com/en-GB/insights-and-media/insights/brochures/pas-1878-energy-smart-appliances-system-functionality-and-architecture/>
- BSI. (2021). *PAS 1879:2021 Energy Smart Appliances DSR* | BSI. Opgeroepen op juni 3, 2024, van <https://www.bsigroup.com/en-GB/insights-and-media/insights/brochures/pas-1879-energy-smart-appliances-demand-side-response-operation/>
- Bundesverband Wärmepumpe e.V. (sd). *SG Ready-Datenbank*. Opgeroepen op Augustus 2024, van <https://www.waermepumpe.de/normen-technik/sg-ready/sg-ready-datenbank/>
- CE Delft. (sd). *Thuisbatterijen in de energietransitie*. Opgeroepen op 8 25, 2024, van https://ce.nl/wp-content/uploads/2023/11/CE_Delft_220408_Thuisbatterijen-in-de-energietransitie_Def.pdf
- Colthorpe, A. (2021, januari 20). *French grid operator could award flexibility payments to batteries to ease congestion*. Opgeroepen op juni 3, 2024, van <https://www.energy-storage.news/french-grid-operator-could-award-flexibility-payments-to-batteries-to-ease-congestion/>
- Department for Energy Security & Net Zero. (2024, april). *Smart Secure Electricity Systems Programme: Energy Smart Appliances - Consultation on how government will ensure the appropriate regulation of energy smart appliances*. Opgeroepen op juni 3, 2024, van <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6659f0147b792fff71a8601/smart-secure-electricity-systems-2024-energy-smart-appliances-consultation.pdf>
- Department for Energy Security and Net Zero; Ofgem; Department for Business, Energy & Industrial Strategy. (2021, juli 20). *Transitioning to a net zero energy system: smart systems and flexibility plan 2021*. Opgeroepen op juni 3, 2024, van <https://www.gov.uk/government/publications/transitioning-to-a-net-zero-energy-system-smart-systems-and-flexibility-plan-2021>
- EEBus. (sd). *EEBus specifications (gratis beschikbaar na registratie)*. Opgeroepen op 06 24, 2024, van <https://www.eebus.org/media-downloads/>
- ElaadNL, FAN. (sd). *Kansen voor energie management in de woning*. Opgehaald van file:///C:/Users/wijbrandiwe/Downloads/De-Kansen-voor-Energiemanagement-in-de-Woning-ElaadNL-FAN-December-2022-Versie-V1.2-002-3.pdf
- ETSI. (sd). *ETSI - Consumer IoT security*. Opgeroepen op juni 3, 2024, van <https://www.etsi.org/technologies/consumer-iot-security>

- Fluvius. (2024, februari 20). *Vlaamse gezinnen gebruiken elektriciteitsnet 8,3 procent efficiënter dan een jaar geleden*. Opgeroepen op juni 3, 2024, van <https://pers.fluvius.be/vlaamse-gezinnen-gebruiken-elektriciteitsnet-83-procent-efficiënter-dan-een-jaar-geleden>
- Jetten, R.A.A. (2024, januari 22). *Rijksoverheid*. Opgeroepen op 2024, van <https://open.overheid.nl/documenten/c831d7ee-9b26-4932-acbc-5a8aa7869c11/file>
- JRC Smart Electricity Systems. (sd). *Code of Conduct for Energy Smart Appliances*. Opgeroepen op juni 3, 2024, van <https://ses.jrc.ec.europa.eu/development-of-policy-proposals-for-energy-smart-appliances>
- Landelijk Actieprogramma Netcongestie. (2024, 01 22). *Actieagenda netcongestie laagspanning*. Opgeroepen op 06 21, 2024, van <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2024/01/22/bijlage-1-actieagenda-netcongestie-laagspanningsnetten>
- NKL, Enervalis. (2021, November). *Smart Charging Synergies*. Opgehaald van https://topsectorenergie.nl/documents/126/DEF_Smart_Charging_synergies_02122021.pdf
- Open Flexibility Alliance. (sd). *In twee stappen naar flexibel aanstuurbare warmtepompen*. Opgehaald van <https://topsectorenergie.nl/nl/kennisbank/in-twee-stappen-naar-flexibel-aanstuurbare-warmtepompen/>
- Phase2Phase. (sd). Opgehaald van <https://phase2phase.com/>
- Project GO-e: Archetypes en archetyping van buurten. (2024). Opgeroepen op 08 25, 2024, van <https://www.projectgo-e.nl/archetypes-en-archetyping-van-buurten/>
- project, G.-E. (2024). *GO-E project website*. (GO-E) Opgehaald van <https://www.projectgo-e.nl/>
- RTE. (2019). *Schéma décennal de développement du réseau - ÉDITION 2019*. Opgeroepen op juni 3, 2024, van <https://assets.rte-france.com/prod/public/2020-07/Sch%C3%A9ma%20d%C3%A9cennal%20de%20d%C3%A9veloppement%20de%20r%C3%A9seau%202019%20-%20Synth%C3%A8se.pdf>
- RTE. (sd). *Flexibilités: valorisez vos services pour la gestion des congestions réseau*. Opgeroepen op juni 3, 2024, van <https://www.services-rte.com/fr/decouvrez-nos-offres-de-services/flexibilites-valorisez-vos-services-pour-la-gestion-des-congestions-reseau.html>
- RTE. (sd). *Visualiser les contraintes de transit prévisionnelles dans les S3REnR*. Opgeroepen op juni 3, 2024, van <https://www.services-rte.com/fr/decouvrez-nos-offres-de-services/visualiser-les-contraintes-de-transit-previsionnelles-dans-les-s3renr.html>
- RVO. (2023, 9 7). *Samenvatting Nationaal Laadonderzoek 2023*. Opgeroepen op 10 17, 2024, van <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2023-09/RVO%20Nationaal%20Laadonderzoek%207-9-23.pdf>
- Schade, L. (2023, juni). *Energy Smart Appliances Standards for Demand Side Response - PAS 1878 and 1879 standards and the Interoperable Demand Side Response (IDSR) programme*. Opgeroepen op juni 3, 2024, van https://www.openadr.org/assets/London23/11%20Laura_OpenADR%20conference%2006-06-23%20LS.pdf
- Strategy&. (2021, 9). *V2G - waarde en weg voorwaarts*. Opgeroepen op 10 17, 2024, van <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-f997136c-6917-4bbd-a2f0-5933f3067f67/pdf>
- TKI Urban Energy, ElaadNL. (sd). *In-home energy flexibility protocols*. Opgehaald van <https://elaad.nl/wp-content/uploads/downloads/In-Home-Energy-Flexibility-Protocols-TKI-Urban-Energy-v1-20200630.pdf>
- TNO. (sd). *SAREF4ENER Ontology Documentation*. Opgeroepen op juni 3, 2024, van <https://ontology.tno.nl/saref4ener/>

- VDE. (2024, januari 16). *Für eine erfolgreiche Umsetzung von § 14a EnWG: Veröffentlichung von drei VDE FNN Impulsen*. Opgeroepen op juni 3, 2024, van <https://www.vde.com/de/fnn/aktuelles/2024-01-16-impuls-mud>
- Verhoeven, G., van der Holst, B., & Kok, K. (2024, 6 25). *Een Vergelijkingsstudie naar Instrumenten voor Congestiemanagement in de Gebouwde Omgeving*. Opgeroepen op 8 25, 2024, van https://www.projectgo-e.nl/wp-content/uploads/2024/06/GO-e_WP33B_rapport_V1_25062024-1.pdf
- VREG. (2023). *Nieuwe nettarieven sinds 2023*. Opgeroepen op juni 3, 2023, van <https://www.vreg.be/nl/nieuwe-nettarieven>
- VREG. (2024). *ELEKTRICITEIT - Tarieflijst periodieke distributienettarieven 2024 - Afname*. Opgeroepen op juni 3, 2024, van https://www.vreg.be/sites/default/files/Distributienettarieven_2024/Periodieke_netta-rievan/standaardprijs_tarieven_ls_klanten_2024.pdf

Bijlage A

Methodologie Verwachtingswaarden en Kansberekeningen

In deze bijlage wordt de methode van rekenen met verwachtingswaarden toegelicht (FlexMetriek van TNO), en een korte toelichting gegeven over het rekenen met kansbelastingen gebaseerd op de methodiek in het voorgaande GO-E project, de Convo methodiek van TNO.

De verwachtingswaarden aanpak wordt vooral gebruikt om de verwachte waarden van belasting en flexibiliteit te berekenen. Daaruit kunnen een aantal metrieken worden gehaald (Zie toelichting verderop dit hoofdstuk). Met de kansbelastingen aanpak (Convo) kan meer gezegd worden over de effectiviteit van flexibiliteit gedurende momenten van congestie.

A.1 Rekenen met Verwachtingswaarden

De aanpak van berekeningen kent een aantal stappen, die na uitleg over de rekenkern en het gebruik van profielen, bij langs worden gegaan:

1. Configuratie van buurten
2. Congestiemomenten vaststellen
3. Simuleren gedrag van apparaten in de buurt
4. Berekenen van metrieken

De rekenkern

De rekenkern bestaat uit de FlexMetric Tool (FMT) waarvan de basis is gelegd in het GO-e project en in dit project is doorontwikkeld. De FMT rekent *verwachtingswaarden* uit van de belasting (zonder en met flex) op de MSR voor elk relevante tijdstap (PTU). In dit geval in tijdstappen van 1 uur. Deze tool wordt ingezet om zowel de belasting zonder flex alsook mét flex te bepalen. De tool maakt hiervoor gebruik van honderden uurlijkse jaarprofielen van de apparaattypen (warmtepompen, EV-laadpunten) om een statistisch beeld te creëren van belastingen waaruit de verwachtingswaarden worden bepaald. Door te werken met verwachtingswaarden is de belasting van combinaties van verschillende type apparaten eenvoudig uit te rekenen (deze mag je bij elkaar optellen). Naast uurprofielen wordt ook gebruik gemaakt van statistische profielen op basis van Gaussian Mixture modellen. Bijvoorbeeld voor het deel inflexibele vraag van het huishouden het standaardjaarverbruik van verschillende huistypen. Deze GM-modellen zijn bepaald door het bedrijf Phase2phase die deze toepast in hun eigen GAIA-tool die ook door netbeheerders wordt gebruikt netimpact berekeningen te doen. Uit deze GM-modellen kan eenvoudig de verwachtingswaarde worden berekend die de FMTTool nodig heeft voor de berekeningen in combinatie met de andere profielen.

Rekenen met profielen

Voor het rekenen wordt gebruik gemaakt van uurlijkse jaarprofielen van de verschillende apparaattypen zonder flexibiliteit en met flexibiliteit. De flexprofielen geven het profiel dat ontstaat wanneer alle potentieel beschikbare flex zou worden ingezet op een bepaald moment en gedurende een bepaalde tijd. Die hoeveelheid flexibiliteit hangt af van het moment waarop de congestie plaatsvindt (die bepaald hoeveel flexibiliteit er is), maar ook van hoelang de congestie gaat duren (dat bepaalt over welke periode de beschikbare flexibiliteit “uitgesmeerd” moet worden. Binnen dit project wordt alleen naar flexibiliteit gekeken die de consumptie van apparaten vermindert. Omdat we naar situaties in de toekomst kijken kan geen historische (bijvoorbeeld) gemeten data gebruikt worden. De profielen voor de flexibele apparaten zijn gegenereerd via modelberekeningen.

Behalve voor EV en zon-PV zijn de profielen gegenereerd voor verschillende gebouwtypen en bouwjaren (op basis van RVO voorbeeldwoningen).

Hybride warmtepomp profielen.

TNO-unit MBE heeft voor elk relevant RVO woningtype uurlijkse jaarprofielen gegenereerd voor het elektriciteitsverbruik. Voor het bepalen van de flexprofielen: Aangenomen wordt dat 100% van de belasting flexibel is (elektrisch gezien). Het elektrische deel van de pomp wordt uitgezet, de gasketel neemt het over.

Full-electric warmtepomp profielen.

TU/e heeft in het GO-e project voor elk relevant RVO woningtype uurprofielen gegenereerd voor de niet flexibele situatie en voor talloze momenten van congestie en congestieduur de flexprofielen gegenereerd op basis van de in GO-e ontwikkelde methodiek.

EV-laadpunten privé.

TU/e is gevraagd voor verschillende gebieden in NL hun ALBATROSS-model [REF] in te zetten voor het bepalen van vervoersbewegingen. Met een speciaal AnyLogic model [REF], ook van de TU/e en aangepast door TNO voor dit doeleinde, worden op basis hiervan laadsessies en laadprofielen berekend voor specifieke postcode-4 (PC4) gebieden. Deze laadprofielen en -sessies zijn vervolgens gebruikt om flex profielen te berekenen, ook weer gebaseerd op de methodiek ontwikkeld in het GO-e project [REF]. [REFERENTIES WORDEN NOG TOEGEVOEGD]

EV-laadpunten publiek.

Voor EV-profielen van publieke laadpunten wordt gebruik gemaakt van de generator van ElaadNL, [Charging Session Data Analysis \(elaad.io\)](https://elaad.io), waar ook smart charging in de vorm van laadvermogen-beperkingen op de laadpaal kunnen worden opgelegd om de flex profielen te genereren. Er is rekening gehouden met de verschillende instelmogelijkheden van het portaal voor het genereren van (flex)profielen zoals verstedelijking en de congestieperioden waarin het laadvermogen van de laadpunten naar een maximum van 4kW is ingesteld. Dit laatste op advies van ElaadNL.

A.2 Data van de netbeheerders

Van de netbeheerders is de volgende data gevraagd

Op basis van de buurt archetypen (GO-E), een representatieve set van netten in deze buurten met de volgende wensen:

- A. Buurten krijgen waarschijnlijk last van congestie de komende jaren
- B. Buurten staan nog niet op de lijst voor verzwaren

- C. Netten zijn niet vermaasd (een enkele MSR bedient voldoende aansluitingen)
- D. Ingroeidata van de apparaten voor verschillende zichtjaren: 2025, 2030, 2035
- E. MSR-belastingprofielen voor de zichtjaren, liefst in termen van verwachtingswaarden
- F. Congestieperioden
- G. Aannames en data van gebruikte apparaatprofielen.

A.3 Configuratie van buurten en netten

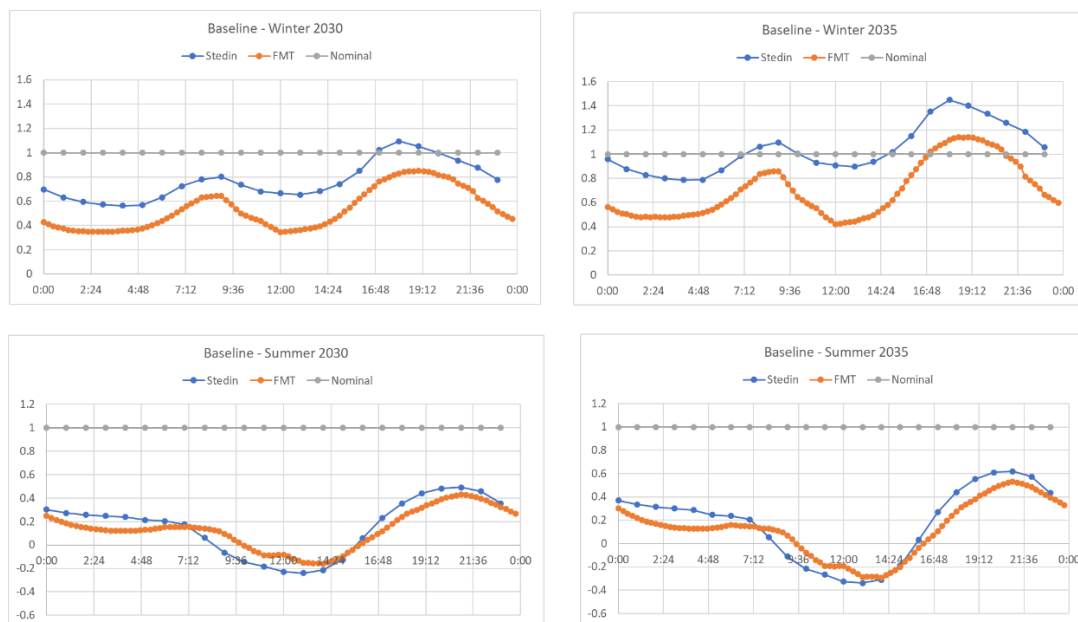
De selectie van buurten en netten (door de netbeheerder aangeleverd) wordt geconfigureerd met de volgende gegevens:

- Apparaten. De ingroei is afhankelijk van het zichtjaar (2030, 2035) voor de EV-laadpunten, warmtepompen in geïnstalleerd zon-PV
- Gebouwtypen. Per buurt is bepaald wat de gebouwvoorraad is, en welke BAG gegevens, woningtypen met bouwjaren, bij de buurt horen
- Schaling van gegevens naar het deelnet. Een net is vaak een onderdeel van een buurt. Alle data worden geschaald naar het aantal aansluitingen van het net
- Profieldata van apparaten voor situatie zonder en met flexibiliteit: basislast (standaard jaarverbruik op basis van woningtype), zon-PV op basis van gegenereerde zon instralingsdata), EV-laadpunten (privé en publiek, met ruimtelijke variaties in PC4 gebied en verstedelijkingsfactor), warmtepomp (full electric en hybride, op basis van woningtype)

A.4 Bepalen congestiemomenten

Met de FMTool kunnen de verwachtingswaarden berekend worden van de netbelasting zonder inzet van flexibiliteit. Dit zijn de gemiddelde waarden voor de belasting per PTU. Voor een aantal netten is dat gedaan om de vergelijking te kunnen maken met de aangeleverde data van de netbeheerders van desbetreffende net. Deze 'validatie' betref alleen de vormen van de belastingen omdat hier verwachtingswaarden (FMTool) en door de netbeheerder uitgereken data (gemiddelden, 95 percentiel of maximum, variërend per netbeheerder) met elkaar worden vergeleken.

Een voorbeeld van een net is in onderstaande figuur aangegeven, waarbij de verwachtingswaarden goed overeenkomen met de vorm van de data van de netbeheerder en data van de FMTool.



Aangezien het niet goed mogelijk was om uit de data van netbeheerders de gewenste congestieperioden te halen is hiervoor een alternatief gekozen in de vorm van een vaste periode waar de flexibiliteit gaat worden ingezet. Deze perioden zijn empirisch vastgesteld op basis van analyses van de data van netbeheerders en expert judgement, o.a. gebaseerd op eerdere ervaringen uit het GO-e project.

Er is gekozen voor een congestieperiode van *16h-21h in stappen van 15 minuten* op een dag in zowel zomer als winter.

A.5 Simulatie verwachtingswaarden

Voor een buurt, geconfigureerd zoals beschreven wordt voor de congestieperiode het effect van de inzet van flexibiliteit bepaald. Voor elk PTU in die periode worden de verwachtingswaarden van de inzet van flex in kaart gebracht voor:

- Full electric warmtepompen
- Hybride warmtepompen
- EV publieke laadpunten
- EV private laadpunten.

A.6 Berekenen metrieken verwachtingswaarden

Van de hele set aan buurten wordt vervolgens gemiddeld/geclusterd per archetype (per RNB) voor de gehele congestieperiode de volgende Metrieken vastgesteld:

1. **FLEXPART.** Het aandeel van de verschillende apparaten in de potentiële flexibiliteit. Er is berekend hoeveel de verwachte waarde is van potentiële flexibiliteit, en welk aandeel elk apparaat type daarin heeft.
2. **FLEXABS.** De potentiële flexibiliteit van elk apparaat. Er is berekend wat de absolute verwachte waarde is van de flexibiliteit per apparaat

3. **FLEXMSR.** De potentiële flex in verhouding tot de MSR-capaciteit
De verwachte waarde van flexibiliteit wordt afgezet tegen de maximale MSR-capaciteit. Stel er is 50kW aan potentiële flex, de MSR is 250kVA, dan is die verhouding 20% (kW en kVA vergelijken is niet helemaal ok maar hier wel)

A.7 Rekenen met kansen: Convolutie methode

In het project GO-e (project, 2024) is gerekend met kansen in plaats van verwachtingswaarden. Waar de verwachtingswaarden een goede indruk geven van de verwachte waarde van flexibiliteit, kan het rekenen met kansen meer inzicht geven in de daadwerkelijke bijdrage van flexibiliteit aan het oplossen van congestieproblemen.

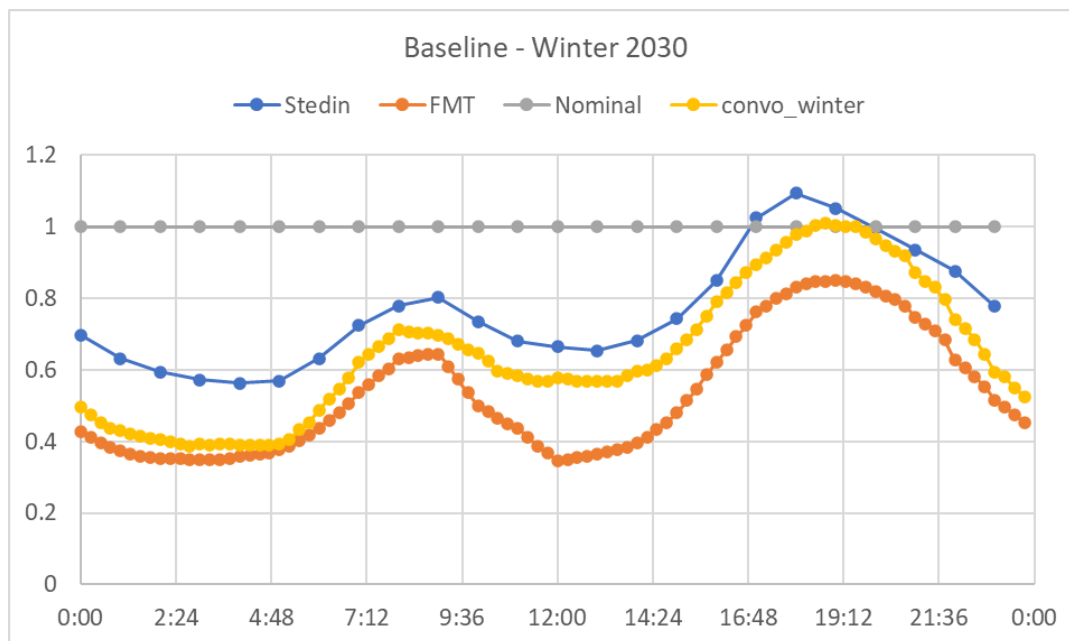
In het GO-e project is, net als hier, gerekend aan archetypische buurten. Deze buurten zijn geconfigureerd met warmtepompen en EV-laadpunten en zon-PV op daken. In dat project is geen onderverdeling meer gemaakt naar privé of publiek laden of hybride en full elektrische warmtepompen.

De methodiek is gebaseerd op de rekenkern in het GAIA-tool (Phase2Phase, n.d.), die ook gebruikt wordt door de netbeheerders om een statisch beeld te krijgen van belasting op netwerk en transformatoren, voltages en dergelijke. Dit werkt als volgt:

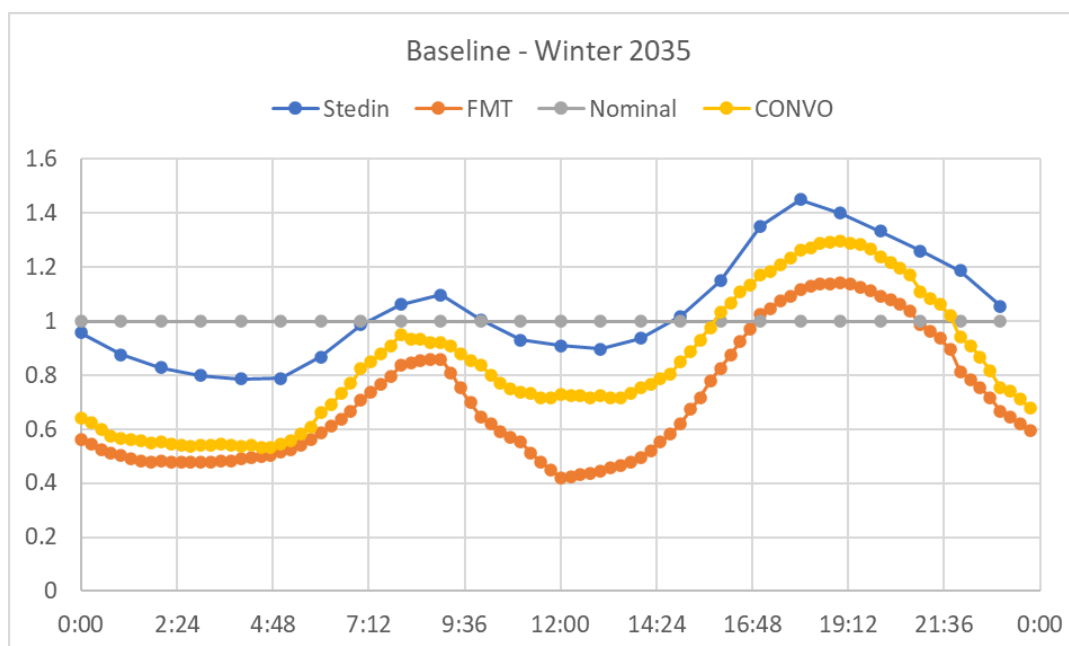
1. Neem een netdeel met daarin een enkele transformator, MSR (middenspanningsruimte). Een netdeel is onderdeel van een archetypische buurt en bevat enkele honderden aansluitingen.
2. Configureer deze met de niet flexibele verbruikers (van de huishoudens) en flexibele apparaten; warmtepompen, laadpunten en zon PV-installaties
3. Bepaal van elk apparaattype de kansverdeling van vermogens voor elk kwartier. Gebruik hiervoor de profielen van deze apparaattypen voor zowel niet flexibele inzet als flexibele inzet. Hiervoor worden aparte rekenmodellen en strategieën gebruikt.
4. Combineer deze kansverdelingen (convoluties in het geval van de CONVO-tool van TNO) om een kansverdeling op de MSR te bepalen voor wanneer de apparaten niet flexibel zijn. Analyseer de kansverdeling op de MSR om de '95 percentiel' te bepalen. Wanneer deze 95 percentiel boven de maximale capaciteit van de MSR is, spreekt men van congestie.
5. Identiek aan stap 4, maar dan met inzet van flexibiliteit voor congestiemomenten.
6. Analyseer de verschillen tussen stap 4 en 5.

Wanneer een typisch net wordt doorerekend met deze aanpak en de resultaten worden vergeleken met de andere rekenmethoden is een beeld te zien zoals in Figuur A.1 en Figuur A.2.

De data van de netbeheerder (blauw) is het meest pessimistisch, de gele lijn toont de p95 waarden van de Convo-methodiek van TNO en de oranje de verwachtingswaarden methodiek van TNO. Beiden zijn wat optimistischer dan de berekeningen van de netbeheerder, maar de patronen zijn vergelijkbaar voor dit net. Vervolgonderzoeken zijn nodig om de verschillen te verklaren. Een eerste vaststelling is dat de uitgangspunten over het gedrag van de apparaten verschillen en dat er verschillende grootheden zijn uitgedrukt in de grafieken. Dat geldt in ieder geval de verwachtingswaarden (flexmetrieke) en de p95 waarden (convoluties). De verschillen in die grafieken zijn hierdoor direct te verklaren.



Figuur A.1: Vergelijk van Netbeheer data (blauw), Flexmetriek aanpak (rood) en Convolutiemethodiek (oranje) voor een voorbeeldbuurt in de winter van 2030.



Figuur A.2: Vergelijk van Netbeheer data (blauw), Flexmetriek aanpak (rood) en Convolutiemethodiek (oranje) voor een voorbeeld buurt, in de winter van 2035

Op basis van deze methodiek kunnen dan de p95 waarden van belastingen zonder flexibiliteit (zoals in de figuur) en met de inzet van flexibiliteit worden berekend.

Bijlage B

Bronvermelding kwalitatieve analyse

Bronvermelding kwalitatieve analyse	Expert opinion	Bronnen
Thuisbatterijen voor peak-shaving/uitgestelde levering voor congestievermindering en vermijden van terugleverboetes	Floris Uleman (TNO-ETS)	• CE Delft, 2023. Thuisbatterijen in de energietransitie • CE Delft, 2023. Thuis- en buurtbatterijen
Thuisbatterijen voor arbitrage/handelen op de elektriciteitsmarkt	Floris Uleman (TNO-ETS)	
Thuisbatterijen voor zo veel mogelijk zelf-consumptie en onafhankelijkheid van het net	Floris Uleman (TNO-ETS)	
Elektrische personenwagens die thuis flexibel laden	Charlotte Smit (TNO-ETS) Hanna van Sambeek (TNO-ETS)	• Elaadnl, 2023. Onderzoek naar laadprofielen geeft inzicht in belasting stroomnet door laden elektrische auto's en effect van slim laden • FLEET-project, 2023. Slim laden met flexibele nettarieven in Utrecht. • ElaadNL, 2021/2022. Flexpower3 • ElaadNL 2023. Potentie van V2V laden op laadpleinen • PW voor ElaadNL, 2017. Smart Charging van elektrische voertuigen • PwC voor ElaadNL, 2017. Fiscale barrières voor Smart Charging. • Strategy&, 2021. V2G – waarde en weg voorwaarts • TNO, 2022. Verlagen van lokale impact laden elektrisch vervoer: de waarde en haalbaarheid van potentiële oplossingen • TNO, 2022. Laden elektrische auto's vergt meer samenwerking en regie • PBL, 2022. Elektrisch rijden personenauto's en logistiek: trends en impact op het elektriciteitssysteem
Elektrische personenwagens die op straat/publiek flexibel laden	Charlotte Smit (TNO-ETS) Hanna van Sambeek (TNO-ETS)	
Elektrische personenwagens die terugleveren aan woningen	Charlotte Smit (TNO-ETS) Hanna van Sambeek (TNO-ETS)	
Elektrische personenwagens die terugleveren aan het net	Charlotte Smit (TNO-ETS) Hanna van Sambeek (TNO-ETS)	
Thuislaadpalen met een standaardinstelling leveren om na de avondpiek te laden	Charlotte Smit (TNO-ETS) Hanna van Sambeek (TNO-ETS)	
Koel/vriesinstallaties in winkels en horeca flexibel aansturen	Jorrit Bakker (TNO-ETS)	• BlueTerra, 2024. Slimme regeling sleutel tot elektrificatie horeca • Gemeente Den Haag, 2021. Vlammen zonder vuur • DGMR, 2021. Routekaart horeca – aanpak en tussenstand
Ovens en bak- en braadapparatuur elektrificeren en flexibel aansturen bij horeca	Jorrit Bakker (TNO-ETS)	
Ovens en bak- en braadapparatuur elektrificeren en flexibel aansturen bij non-horeca zoals bakkers	Jorrit Bakker (TNO-ETS)	
Elektrische apparatuur bij vakopleidingen (bijvoorbeeld MBO) flexibel aansturen	Jorrit Bakker (TNO-ETS)	
Sauna's in bijvoorbeeld sportscholen elektrificeren en flexibel aansturen	Jorrit Bakker (TNO-ETS)	
Zwembaden verwarmen met warmtepompen en flexibel aansturen	Jorrit Bakker (TNO-ETS)	
Witgoed automatisch laten reageren op eigen opwek	Jorrit Nutma (TNO-ACE)	
Witgoed automatisch laten reageren op dynamische energietarieven	Jorrit Nutma (TNO-ACE)	
Koken op inductieplaten	Jorrit Nutma (TNO-ACE)	
Home Energy Management Systemen (HEMS) gebruiken voor zoveel mogelijk zelf-consumptie (11)	Jorrit Nutma (TNO-ACE)	

Bronvermelding kwalitatieve analyse	Expert opinion	Bronnen
Home Energy Management Systemen (HEMS) gebruiken voor congestiemanagement (11)	Jorrit Nutma (TNO-ACE)	
All-electric warmtepompen voor het verwarmen van woningen	Andries van Wijhe (TNO-MBE)	- Technolution, Business Development Holland & Silentric, 2024. In twee stappen naar flexibel aanstuurbare warmtepompen. - Verenging Warmtepompen, 2024. Groei warmtepompen stagneert
All-electric warmtepompen voor het koelen van woningen	Andries van Wijhe (TNO-MBE)	
Hybride warmtepompen voor het verwarmen van woningen	Andries van Wijhe (TNO-MBE)	
Huishoudelijke boilers voor tapwater flexibel aansturen	Richard Kemp (TNO-MBE) Rob Kotte (TNO-MBE)	TNO 2023 - Flexibiliteit in het elektriciteitssysteem
Warmteopslag via Phase Change Materials (PCM)	Richard Kemp (TNO-MBE) Rob Kotte (TNO-MBE)	
Voelbare warmteopslag in water	Richard Kemp (TNO-MBE) Rob Kotte (TNO-MBE)	

Energy & Materials TransitionEnergy & Materials Transition

Radarweg 60
1043 NT Amsterdam
www.tno.nl