

# ROBUST

Robuust duurzaam elektriciteitssysteem door  
regionale flexibiliteit

## Openbare Eindrapportage ROBUST

*Update juni 2026*

*Universiteit Utrecht, Utrecht Sustainability Institute*

*m.m.v. Stedin, Smart Solar Charging BV, Enervalis, Edmij, Stichting  
ElaadNL, TU Delft, Hogeschool Utrecht, Gemeente Utrecht, Gemeente  
Arnhem, Qbuzz*

*Projectnummer MOOI32014*

## ROBUST - Robuust duurzaam elektriciteitssysteem door regionale flexibiliteit

Projectnummer MOOI32014

Dit project is uitgevoerd met Topsector Energie subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. De specifieke subsidie voor dit project betreft MOOI-subsidie ronde 2020.

Na goedkeuring van RVO is dit rapport te downloaden op [www.tki-robust.nl](http://www.tki-robust.nl).

## Inhoudsopgave

Samenvatting .....	5
Executive Summary (English) .....	7
1 Inleiding, uitgangspunten en doelstellingen.....	9
1.1 Doelstellingen.....	9
1.2 Projectstructuur en -aanpak.....	10
1.3 Uitgangspunten en probleemstelling.....	11
1.4 Samenwerkende partijen.....	13
2 Principeontwerp en programma van eisen (Resultaat 1).....	18
2.1 Definitie modelstructuur voor modellering van het flexsysteem .....	18
2.2 Definitie en programma van eisen flexsysteem.....	19
3 Proof-of-principle voor flexsysteem op wijkniveau voor verduurzaming bestaande woonwijken (Resultaat 2).....	21
3.1 Onderzoek potentieel flexaanbod en flexvraag.....	23
3.2 Onderzoek niet-technologische aspecten (gebruikersaspecten en -beïnvloeding; implicaties beleid en regelgeving).....	27
3.3 Extrapolatie naar stadsregioniveau.....	30
4 Proof-of-principle voor flexsysteem op wijkniveau voor duurzame nieuwe woonwijken (Resultaat 3).....	35
4.1 Onderzoek potentieel flexaanbod in nieuwbouwwijken .....	35
4.2 Onderzoek flexsysteem nieuwbouwwijken op niet-technologische aspecten (gebruikersonderzoek en -beïnvloeding; implicaties beleid en regelgeving).....	38
4.3 Extrapolatie naar stadsregioniveau en validatie aan programma van eisen.....	39
5 Onderzoek flexsysteem op wijkniveau voor duurzame werklocaties (Resultaat 4) .....	40
5.1 Onderzoek mogelijk flexaanbod en -vraag in werklocaties .....	40
5.1.1 Utrecht Science Park .....	40
5.1.2 Triodos Bank.....	43
5.2 Onderzoek op niet-technologische aspecten.....	44
5.3 Extrapolatie naar stadsregioniveau.....	44
6 Onderzoek flexsysteem voor stadsmobiliteit & stadsdistributie (Resultaat 5).....	45
6.1 Onderzoek mogelijk flexaanbod stadsmobiliteit / distributie.....	45

	3
6.1.1 QBuzz laadremise .....	45
6.1.2 Stedin onderhoudsbusjes .....	47
6.2 Onderzoek flexsysteem stadsmobiliteit / distributie op niet-technologische aspecten.....	49
6.2.1 Qbuzz.....	49
6.2.2 Stedin onderhoudsbusjes .....	49
6.3 Extrapolatie naar stadsregioniveau.....	50
7 Proof-of-principle van integraal flexsysteem-ontwerp op stadsregioniveau (Resultaat 6)	51
7.1 Synthese tot integraal flexsysteemontwerp en analyse flexsysteem .....	51
7.2 Uitwerking modelbasis.....	52
7.3 Verdere uitwerking flexibiliteitspotentieel.....	52
7.3.1 Kwantificeren van flexibiliteit.....	53
7.3.2 Piekbelasting van een vloot EV-laders bij verschillende tariefstellingen .....	54
7.3.3 Impact nieuwe nettarijfstelsels.....	55
7.3.4 Verminderen van onzekerheden in aansturing slim laden.....	56
7.3.5 Impact van de aanlooptijd van een flexvraag.....	58
7.3.6 Impact van bi-directioneel laden .....	61
7.3.7 Onderzoek en test aan GOPACS-redispach.....	63
7.3.8 Analyse laadkosten en CO2-impact slim en bidirectioneel laden.....	64
7.3.9 ElaadNL Testlab .....	66
7.4 Potentieel voor de stad.....	67
7.5 Validatie aan programma van eisen op de systeemplagen van de piramide.....	67
8 Integraal flexsysteem op stadsregio vertaald naar handelingsperspectief van de probleem-eigenaren (Resultaat 7).....	68
8.1 Vertaling resultaten naar handelingsperspectief voor DSO's en TSO (afnemers flexibiliteitsdiensten).....	68
8.2 Vertaling resultaten naar handelingsperspectief op de vier flexsysteemplagen voor aggregatoren en aanbieders flexibiliteitsdiensten.....	68
8.3 Vertaling resultaten naar handelingsperspectief op de vier flexsysteemplagen voor overheden (beleid en regelgeving) .....	69
8.4 Vertaling resultaten naar handelingsperspectief op de vier flexsysteemplagen voor eigenaren en eindgebruikers (acceptatie, dataveiligheid).....	69

9	Borging kennis en kwaliteit (Resultaat 8).....	71
9.1	Kennisverspreiding intern en extern .....	71
9.2	Borging projectkwaliteit in termen van samenwerking, resultaten, planning en budget.....	73
9.2.1	Behaalde resultaten per mijlpaal .....	73
9.2.2	Knelpunten.....	73
9.2.3	Perspectief voor toepassing .....	73
10	Bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling .....	75
10.1	MMIP5 Deelpr. 5.2 Flexibiliteit van/voor energiesysteem in de gebouwde omgeving.....	75
10.2	MMIP5 Deelpr. 5.3 Systeemontwerp voor elektriciteitssysteem in de gebouwde omgeving.....	75
10.3	MMIP5 Deelpr. 5.4 Lokale flexibiliteit ten behoeve van het totale elektriciteitssysteem.....	75
10.4	Bijdrage aan andere Missies.....	75
11	Spin-off binnen en buiten de sector.....	77
11.1	Binnen de sector .....	77
11.2	Buiten de sector .....	78
12	Overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn.....	79
	Annex 1: Publicatielijst.....	80
	Wetenschappelijke publicaties gerelateerd aan ROBUST.....	80
	Publicaties in vakbladen .....	84
	Theses.....	84
	Anders.....	86
	Webinars.....	87
	Awards .....	91
	Media-aandacht gerelateerd aan ROBUST.....	91
	Annex 2: Toetsing flexibiliteitssysteem aan programma van eisen principeoplossing .....	95

## Samenvatting

In deze openbare eindrapportage wordt een overzicht gegeven van de resultaten van het project ROBUST dat heeft gelopen in de MOOI-onderzoeksregeling. Het project is gestart op 1 april 2021 en geëindigd op 20 september 2025.

Door de sterke groei van decentrale duurzame elektriciteitsopwekking, van gasloze energievoorziening van woningen en gebouwen en van elektrisch vervoer is het elektriciteitssysteem in Nederland voor unieke uitdagingen komen te staan. Het ROBUST-onderzoek heeft zich gericht op lokale oplossingen voor de toenemende lokale congestieproblemen in stadsregio's, in samenhang gezien met de toenemende volatiliteit in de landelijke energiemarkten. Netwerken van slim en bi-directioneel ladende auto's aangevuld met stationaire batterijen en andere decentrale flexbronnen bieden een snelgroeiend flexibilitespotentieel dat kan uitgroeien tot een integraal, stadsregiobreed flexibilititeitssysteem. ROBUST heeft onderzocht hoe die flexibilititeit nieuwe kansen kan bieden als alternatief voor netverzwaring. En hoe slim en bi-directioneel ladende auto's en andere flexbronnen zodanig kunnen worden aangestuurd dat ze lokale congestieproblemen helpen reduceren en tegelijkertijd flexibilititeit leveren aan de nationale balansmarkten. De belangrijkste bronnen van flexibilititeit die in dit project zijn onderzocht zijn het slim laden en het bi-directionele gebruik van elektrische (deel)auto's. Hiervan wordt een groot potentieel verwacht in de komende jaren, en het onderzoek heeft zich erop gericht om de impact daarvan op netflexibilititeit en met name netcongestie te onderbouwen en onderzoeken. Daarnaast is er aandacht geweest voor stationaire batterijen, slimme aansturing van zonnepanelen en warmtepompen.

Een toenemend aantal stadsregio's in Nederland kampt met de uitdaging om grote wijken te voorzien van robuuste energiesystemen die hun wijken gasloos of gasarm maken. En die gerepliceerd kunnen worden op andere locaties en uiteindelijk opgeschaald tot stadsregioniveau. De stadregio Utrecht is actieve stakeholder geweest en vormde in dit project de belangrijkste onderzoeklocatie voor geïntegreerde flexibilititeit op wijk- en stadsregioniveau. In najaar 2025 zijn in Eindhoven de eerste V2G-deelauto's geplaatst. Andere stadsregio's zoals Arnhem, Amsterdam en Rotterdam tonen toenemende interesse in en betrokkenheid bij het activeren van gedistribueerde flexibilititeit. De projectresultaten zijn in het kort:

1. Analyse van de potentie van grootschalige inzet van slim ladende en V2G-(deel)auto's voor netflexibilititeit, inclusief grootschalige tests met dynamisch netbewust laden en bidirectioneel laden;
2. Analyses en ontwikkeling van de potentie van slim en bi-directioneel ladende auto's in samenhang met andere flexmaatregelen in nieuwbouwwijken, werklocaties en voor stedelijke mobiliteit en distributie;
3. Analyses van de mogelijkheden voor inpassing van de flexibilititeit in het netbeheer en knelpunten daarin: congestiemanagement, nettarieven, onbalansmarkten.

4. Proof-of-principle van wijkflexibiliteitssysteem getest in onderzoek aan de functies wonen, werken en mobiliteit.

Er is een aanzienlijk potentieel voor flexibiliteit vanuit slim en bi-directioneel laden van elektrische auto's. Nu bi-directioneel laden opschaalbaar is geworden door de implementatie van protocollen en standaarden die dat ondersteunen (ISO15118-20, OCPP, OCPI), zoals in de nieuwe Renault 5, komt dat potentieel in beeld. Voor die opschaling zijn nog wel verdere ontwikkelingen nodig, zoals opschaling van diensten voor bi-directioneel laden van particuliere EV's, leaseauto's en bedrijfswagens, betere mogelijkheden voor inzet van slim en bi-directioneel laden in 'smart grids' voor woonwijken en werklocaties en verbetering van de dubbele energiebelasting die nu nog voor V2G geldt.

De gerealiseerde producten en diensten voor grootschalige toepassing zijn:

1. Smart Solar Charging / We Drive Solar heeft samen met MyWheels een wereldwijd unieke vloot van 50 Renault 5 deelauto's gerealiseerd die bi-directioneel laden. Opschaling heeft al plaatsgevonden naar meer dan 300 medio 2026. Deze partijen hebben de ambitie om snel verder op te schalen naar duizenden deelauto's.
2. Renault en We Drive Solar hebben in de eerste helft van 2026 een V2G-thuislaadservice voor particulieren op de markt gebracht.
3. We Drive Solar en Stedin hebben in juni 2026 een Capaciteitssturingscontract ondertekend waarin afspraken zijn gemaakt over congestiemanagement vanuit de bidirectionele laadpalen van We Drive Solar en de bidirectionele auto's van Renault.
4. Stedin en GOPACS plannen om in 2026 een faciliteit te lanceren om vanuit groepen slim en V2G ladende auto's (en andere kleine, gedistribueerde flexbronnen) betaalde congestiebidings op GOPACS te kunnen aanbieden. Eerste tests met levering van congestiemanagement vanuit de bidirectioneel ladende Renault 5 deelauto's hebben bemoedigende resultaten geleverd.
5. Een modelbasis t.b.v. flexsystemen voor de deelfuncties wonen, werken en mobiliteit, en voor ontwikkeling van integrale flexsystemen op stadsregioniveau;
6. Laadalgoritmes voor dynamisch Netbewust Laden op basis van OpenADR, wat betekent dat netbeheerders de restcapaciteit kunnen communiceren en niet met vuistregels hoeven te werken, en voor nieuwe nettariëfsystemen, voor slim en bi-directioneel laden van groepen V2G (deel)auto's;
7. Meerjarige datasets die kunnen helpen om de consumptie van duurzame opwek en de financieringsmogelijkheden voor V2G te vergroten.

De projectresultaten zijn verspreid in webinars, een aantal wetenschappelijke en maatschappelijke publicaties, projectfilms, de projectwebsite en vier Whitepapers die het handelingsperspectief schetsen voor de belangrijkste groepen stakeholders.

## Executive Summary (English)

This public final report provides an overview of the results of the project ROBUST. The project ran in the innovation facility MOOI of the Netherlands Ministry of Economic Affairs, commenced on 1 April 2021 and concluded on 20 September 2025.

The rapid growth of decentralised sustainable electricity generation, the transition to gas-free buildings, and the rise of electric transportation have introduced new challenges for the Dutch electricity system. The ROBUST study examined local solutions to increasing congestion in urban regions, alongside growing volatility in national energy markets. Networks of smart and bidirectionally charging cars, supplemented by stationary batteries and other decentralised flexible sources, offer a rapidly expanding flexibility potential that could evolve into an integrated, region-wide flexibility system. The study explored how this flexibility could serve as an alternative to traditional grid reinforcement, and how smart and bidirectional charging of vehicles and other flexible resources can help mitigate local congestion while simultaneously providing ancillary grid services and participating in energy markets.

The primary sources of flexibility examined in this project are smart charging and bidirectional operation of electric (shared) cars, both expected to have substantial impact in the coming years. Additional attention was given to smart and bidirectional charging of other urban transport vehicles (vans and buses), stationary batteries, intelligent control of solar PV, and heat pumps.

An increasing number of urban regions in the Netherlands are seeking to equip large neighbourhoods with robust energy systems capable of enabling gas-free or gas-efficient operation. Such systems can be replicated at other locations and eventually scaled to the urban-region level. The metropolitan region of Utrecht has been an active partner and served as the main research location for neighbourhood- and city-scale flexibility in this project. Other metropolitan areas—such as Arnhem, Eindhoven, Amsterdam, and Rotterdam, are also showing growing interest and commitment to activating distributed flexibility. The project's key outcomes include:

1. Analysis of the potential for large-scale deployment of smart charging and V2G (shared) cars to provide flexibility services to the grid, including large scale tests of dynamic 'grid-conscious charging' and bidirectional charging;
2. Analysis and development of smart and bidirectional charging in combination with other flexibility measures in new residential districts, workplaces, and urban mobility and distribution settings;
3. Analysis of opportunities for integrating flexibility into grid management and capacity management, congestion management, grid tariffs, and imbalance markets;

4. Proof-of-principle demonstration of a flexibility system for living, working, and mobility functions.

There is clear and substantial flexibility potential through smart and bidirectional charging of electric vehicles. With bidirectional charging becoming scalable—supported by emerging protocols and standards (ISO 15118-20, OCPP, OCPI) and enabled by vehicles such as the new Renault 5—this potential is increasingly visible. Scaling up, however, requires further development, including service models for bidirectional charging of private EV's, leased and company vehicles, improved deployment of smart and bidirectional charging in smart grids for residential and workplace environments, and adjustments to the double energy tax currently applied to V2G.

The project has delivered the following products and services for large-scale application:

1. Smart Solar Charging developed together with MyWheels a globally unique fleet of 50 Renault 5 shared Evs in operation with bidirectional charging. This has been upscaled to over 300 shared Evs by June 2026 and with plans to scale up further to thousands of V2G vehicles by 2030;
2. Renault and We Drive Solar have introduced a V2G home charging service for private individuals in the first half of 2026;
3. Stedin and We Drive Solar have jointly signed a Capacity Control Contract that enables WDS to actively contribute to congestion management from bidirectional cars and chargers;
4. Stedin and GOPACS are planning to launch a facility in 2026 that will enable groups of smart and V2G charging cars (and other small, distributed flexible sources) to offer paid congestion bids on GOPACS. First bidirectional tests have led to encouraging results.
5. A model for flexible systems supporting the combined functions of living, working, and mobility, enabling the development of integrated flexibility systems at the metropolitan scale;
6. Charging algorithms for Grid-Aware Charging and for new grid tariff structures, enabling intelligent and bidirectional control of groups of V2G (shared) cars, reacting to OpenADR signals from the grid operators to deliver dynamic congestion management;
7. Multi-year datasets supporting the broader adoption of sustainable energy and offering new financing mechanisms for Vehicle-to-Grid (V2G) applications.

The project results have been disseminated through webinars, multiple scientific and societal publications, project videos, the project website, and four white papers outlining the action perspectives for key stakeholder groups.

# 1 Inleiding, uitgangspunten en doelstellingen

Deze openbare eindrapportage geeft een overzicht van de resultaten van het MOOI-project ROBUST dat heeft gelopen van 1 april 2021 tot 20 september 2025.

## 1.1 Doelstellingen

Door de sterke groei van decentrale duurzame elektriciteitsopwekking, gasloze gebieden en elektrisch vervoer is het elektriciteitssysteem in Nederland voor unieke uitdagingen komen te staan. Het ROBUST-onderzoek richt zich op de toenemende lokale congestieproblemen in stadsregio's in samenhang gezien met de toenemende volatiliteit in de landelijke energiemarkten. Netwerken van slim en bi-directioneel ladende auto's aangevuld met stationaire batterijen en andere decentrale flexbronnen bieden een snelgroeiend flexibiliteitspotentieel dat kan uitgroeien tot een integraal stedelijk flexibiliteitssysteem. Een belangrijke vraag is wat de optimale verhouding is tussen netverzwaring enerzijds en de inzet van dit integrale flexibiliteitssysteem anderzijds. En hoe de flexbronnen en bijbehorende spelers door energiemarktontwerp, financiële prikkels en andere factoren zodanig kunnen worden aangestuurd dat ze lokale congestieproblemen helpen reduceren en tegelijkertijd flexibiliteit leveren via de balansmarkten, energiemarkten en andere flexibiliteitsdiensten.

Kernproblemen van het onderzoek van ROBUST waren:

1. Er is een grote noodzaak tot netverzwaring op distributieniveau én op transportniveau. Verzwaring is kostbaar en stuit op beperkingen in capaciteit (personeel, planning).
2. Het is aantrekkelijk om flexibiliteit in te zetten voor landelijke doelen (diensten voor TSO en economische optimalisatie op day-ahead- en onbalansmarkten) maar dat kan conflicteren met de benodigde capaciteit en technische eisen voor congestie-management op distributieniveau.

Dit project heeft deze knelpunten aangepakt door een flexibiliteitssysteem te onderzoeken gebaseerd op lokale flexbronnen, en dat te ontwikkelen tot een robuust energiesysteem op stadsregioniveau dat - waar en wanneer dat nodig is - enerzijds flexibiliteit levert aan het landelijke net t.b.v. balanshandhaving, en anderzijds helpt lokale congestie en onderhouds- en verzwaringkosten te reduceren. Dit flexibiliteitssysteem draagt bij aan de transitie naar volledig duurzame opwek en duurzame mobiliteit met minimale maatschappelijke investeringen.

De belangrijkste bronnen van flexibiliteit die in dit project zijn onderzocht zijn het slim laden en het bi-directionele gebruik van elektrische (deel)auto's. Hiervan wordt een groot

potentieel verwacht in de komende jaren. Daarnaast was er aandacht voor stationaire batterijen, slimme aansturing van zonnepanelen en warmtepompen.

Een toenemend aantal stadsregio's in Nederland kampt met de uitdaging – benoemd in hun Regionale Energie Strategieën – om grote wijken te voorzien van robuuste energiesystemen die hun wijken gasloos of gasarm maken. En die gerepliceerd kunnen worden op andere locaties en uiteindelijk opgeschaald tot stadsregioniveau. De stadregio Utrecht is actieve stakeholder en vormt in dit project de belangrijkste onderzoeklocatie voor geïntegreerde flexibiliteit op wijk- en stadsregioniveau. In Eindhoven zijn najaar 2025 de eerste bidirectionele deelauto's in gebruik genomen. Andere stadsregio's zoals Arnhem, Amsterdam en Rotterdam tonen toenemende betrokkenheid bij het activeren van gedistribueerde flexibiliteit ten behoeve van congestiemanagement.

## 1.2 Projectstructuur en -aanpak

ROBUST is gestructureerd in 8 Resultaten:

Resultaat 1: Principeontwerp en programma van eisen

Resultaat 2: Proof-of-principle flexsysteem op wijkniveau voor verduurzaming bestaande woonwijken

Resultaat 3: Proof-of-principle flexsysteem op wijkniveau voor duurzame nieuwe woonwijken

Resultaat 4: Proof-of-principle flexsysteem op wijkniveau voor duurzame werklocaties

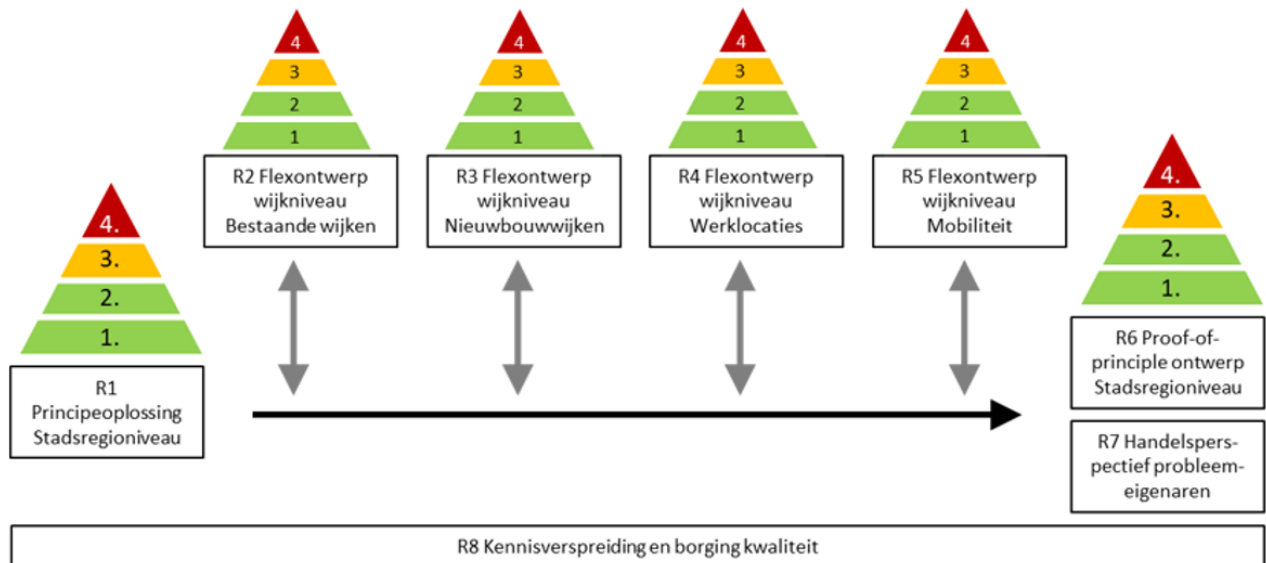
Resultaat 5: Proof-of-principle flexsysteem voor stadsmobiliteit & stadsdistributie

Resultaat 6: Proof-of-principle integraal flexsysteem-ontwerp op stadsregioniveau

Resultaat 7: Integraal flexsysteem op stadsregio vertaald naar handelingsperspectief van de probleemeigenaren

Resultaat 8: Borging kennis en kwaliteit

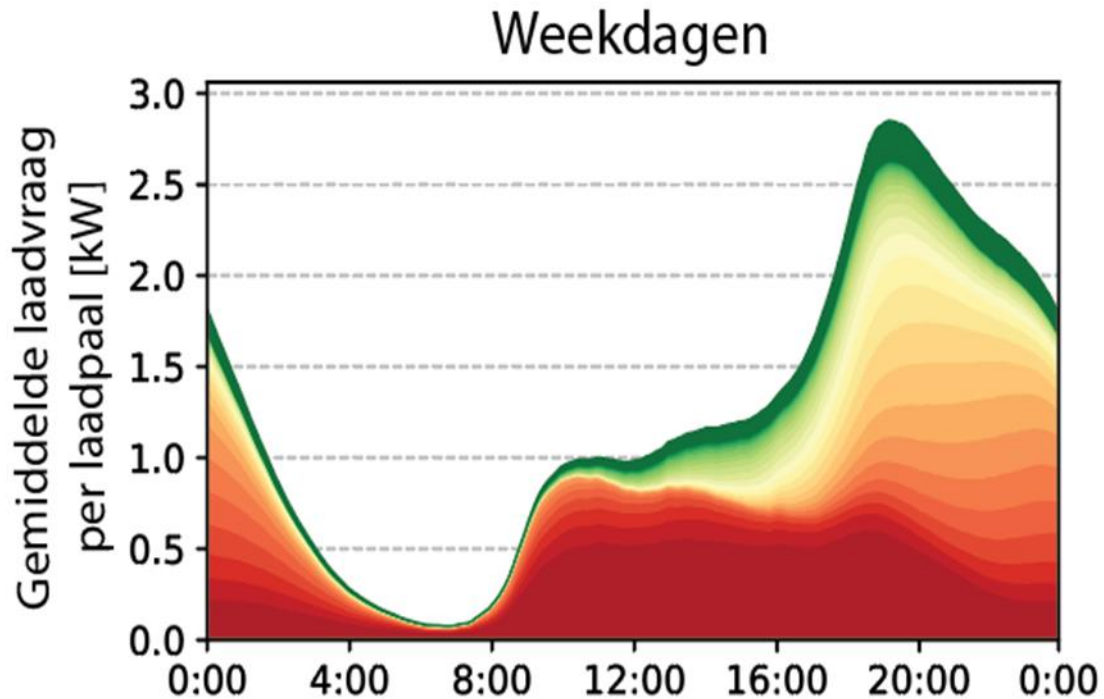
In Figuur 1 is de structuur gevisualiseerd. De gekleurde piramides verwijzen daarbij naar de flexibiliteits-piramide zoals later uitgelegd in Figuur 5.



Figuur 1 Structuur van het project ROBUST. R1 is Resultaat 1 (zie de tekst) enzovoorts.

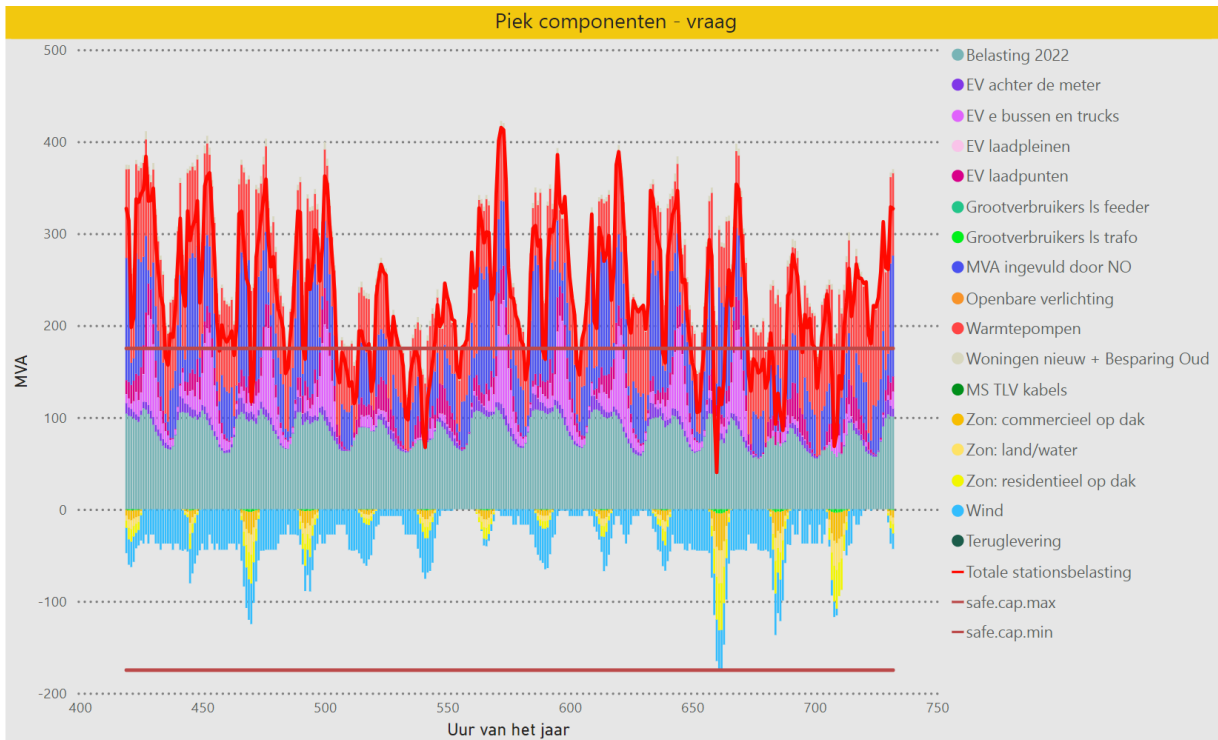
### 1.3 Uitgangspunten en probleemstelling

Elektrische auto's kunnen de congestieproblematiek aanzienlijk verergeren, maar bieden ook een oplossing. Analyse van gebruikersdata van slim ladende publieke laadpunten voor elektrische auto's in Utrecht (zie Figuur 2) bevestigt dat elektrische auto's een aanzienlijke extra belasting op het elektriciteitsnetwerk veroorzaken. De belasting treedt vooral op in de namiddag en avond, wanneer de belasting op het net al het hoogst is. Maar de kleuren in de figuur geven aan dat een groot deel van die belasting probleemloos een aantal uren kan worden verschoven. Dit betreft bijvoorbeeld auto's die 's avonds aan de laadpaal worden gezet, maar de volgende ochtend pas vol hoeven zijn. Dus als auto's slim kunnen laden, kan de netbelasting van het laden op congestiemomenten in principe goed worden weggenomen.



*Figuur 2 Laden van elektrische auto's kan tot netcongestie leiden, omdat dat vooral 's avonds gebeurt. Maar de extra elektriciteitsvraag voor het laden is voor een groot deel flexibel (de met groen/geel/oranje aangegeven delen) en zou zonder probleem op later tijdstip kunnen plaatsvinden.*

In onderstaande figuur, opgesteld door Stedin, is te zien hoe in 2050 als gevolg van de toegenomen inzet vooral het laden van elektrische voertuigen, maar ook van zonnepanelen en warmtepompen congestie wordt verwacht. Dat betreft een aanzienlijk deel van de onderstations in het verzorgingsgebied. In deze figuur gaat het standaardscenario uit van ongecontroleerd laden. De onderzoeksvraag is in welke mate door slim en bi-directioneel laden de congestiepieken pieken kunnen worden weggenomen of verkleind.



Figuur 3 Analyse door Stedin van de netbelasting van een netstation in 2050. De rode en paarse pieken laten de grote bijdrage van het laden van elektrische voertuigen (EV) zien.

## 1.4 Samenwerkende partijen

Het ROBUST-projectteam is opgebouwd uit de volgende consortiumpartners:

### *Universiteit Utrecht / Faculteit Geowetenschappen – Copernicus Institute*

Het Copernicus Instituut voor Duurzame Ontwikkeling is penvoerder van ROBUST geweest. Het instituut voert als onderdeel van de UU/Faculteit Geowetenschappen onderzoek en onderwijs uit op het gebied van de transitie naar een duurzame samenleving, i.s.m. het bedrijfsleven en maatschappelijke partners. Pathways to Sustainability is één van de strategische thema's van de UU. Het Copernicus Instituut werkt hierin samen met maatschappelijke partners. Centraal in het onderzoek staan analyse op systeemniveau van duurzame energiesystemen, energiedragers en technologieën (zon, wind, EV's, batterijen), governance en circulariteit.

### *Universiteit Utrecht / Faculteit Geowetenschappen – Sociale Geografie en Planologie*

Sociale Geografie en Planologie voerde als onderdeel van de UU/Faculteit geowetenschappen onderzoek en onderwijs uit op het gebied van mobiliteitsgedrag en autobezit relevant voor de transitie naar duurzame mobiliteit en de rol van elektrische voertuigen in duurzame lokale energiesystemen. Onderzoek naar ontwikkelingen in stedelijke mobiliteit en bereikbaarheid, en bijdragen aan de maatschappelijk opgave op dat gebied, is een kerntaak van SGPL. Transitie naar elektrisch vervoer en deelvervoer zijn hiervan een belangrijke component.

*Universiteit Utrecht / Faculteit Sociale Wetenschappen – Interdisciplinaire Sociale Wetenschap*

De onderzoeksgroep ISW houdt zich met name bezig met sociale ongelijkheid, gedragsinvloeden en het informeren, ontwikkelen en evalueren van sociaal beleid en andere interventies. Duurzaamheidsgedragingen en transities zijn een speerpunt. De onderzoeksgroep wil een bijdrage leveren aan duurzaamheidonderzoek, een strategische prioriteit van Universiteit Utrecht, door het versterken van het sociaalwetenschappelijke perspectief op theorie, onderzoek, beleid en praktijk rondom duurzaamheid. De groep heeft onderzoek naar gedrag- en gedragsverandering uitgevoerd ten behoeve van onderzoek naar gebruikersacceptatie en het ontwikkelen van tools voor gedragsbeïnvloeding, met name voor de functies wonen en werken.

*Universiteit Utrecht / Faculteit Recht, Organisatie, Bestuur en Economie*

De Faculteit Recht, Organisatie, Bestuur en Economie heeft onderzoek uitgevoerd naar het energiesysteem, de fysieke leefomgeving en het economisch recht. Het CvE-UU ontwikkelt een wetenschappelijke basis voor het energiebeleid en de gewenste energiewetgeving. In het onderzoek staat de wisselwerking tussen beleidsdoelstellingen en regelgeving in relatie tot technische of economische ontwikkelingen centraal.

*Stedin Netbeheer BV*

Verschillende organisaties (de DSO en marktpartijen) hebben belangen rond het inzetten van flexibiliteit van o.a. elektrische auto's. Door in dit project samen te werken kreeg Stedin inzichten hoe de verschillende belangen elkaar beïnvloeden en welke afspraken je moet maken om eventuele tegenstrijdige belangen op te lossen.

*Smart Solar Charging BV*

Smart Solar Charging (zusterbedrijf van We Drive Solar en LomboXnet) heeft een wereldwijd unieke expertise en infrastructuur – het Utrechts Bi-directioneel Ecosysteem – opgebouwd op het gebied van bi-directioneel laden i.c.m. duurzame opwekking. Deze vloot slim ladende laadpalen én de vloot bi-directionele deelauto's waren onderzoeksobject voor grootschalige tests van dit energiesysteem van de toekomst. Het industrieel onderzoek in ROBUST betekent een belangrijke onderbouwing voor de ontwikkeling van nieuwe producten en diensten: Snelle opschaling van bi-directionele deelauto's met bi-directionele laadpalen van SSC en de introductie van een bidirectionele thuislaad-dienst.

*Enervalis NV*

Enervalis ontwikkelde met de Smartpower Suite een backbone voor de sturing van slimme microgrids, op basis van zelflerende algoritmes, Internet of Things en Artificiële Intelligentie. Enervalis vermarkt oplossingen naar verschillende partijen om hun energiekostprijs of energie-inkomsten te optimaliseren op basis van verschillende prijzen, diensten aangeboden in de elektriciteitsmarkt en beperkingen binnen aansluitingen. Binnen

ROBUST ontwikkelde Enervalis zijn energiecontrole-oplossing voor slim en bi-directioneel laden van deelauto's verder en draagt bij aan de haalbaarheidsstudies en pilotprojecten.

#### *E.D.Mij B.V.*

Edmij verlaagt stroomkosten van Nederlandse bedrijven door dynamische prijzen en slimme aansturing van hun installaties. Klanten verdienen zo geld aan het balanceren van het stroomnet en het voorkomen van netcongestie. Edmij is stroomleverancier, Balance Responsible Party (BRP), Balance Service Provider (BSP) en Congestion Service Provider (CSP). Als CSP heeft Edmij ruime ervaring met GOPACS, het platform waarmee netbeheerders flexibel vermogen inzetten om netcongestie te voorkomen. Binnen ROBUST heeft Edmij als CSP een test voor kleinverbruik uitgevoerd op GOPACS en bijgedragen aan de doorontwikkeling van het platform voor bidirectioneel laden. Zo kan ook elektrisch vervoer bijdragen aan het voorkomen van netcongestie.

#### *ElaadNL*

Verschillende organisaties (de DSO's en marktpartijen) hebben belangen rond het inzetten van flexibiliteit van o.a. elektrische auto's. ElaadNL is het kennis- en innovatiecentrum dat zich bezighoudt met het slim en duurzaam opladen van elektrische voertuigen en het beschikt over een groot testlab. Hiermee kunnen in een geïsoleerde omgeving voertuigen en laadinfra getest worden. Door de samenwerkingen in dit project kreeg ElaadNL de inzichten hoe verschillende belangen elkaar beïnvloeden en welke afspraken er gemaakt moeten worden om eventuele tegenstrijdige belangen op te lossen.

#### *Utrecht Sustainability Institute*

Als innovatie-intermediair faciliteren en ondersteunt USI onafhankelijk onderzoek en ontwikkeling op het gebied van duurzaamheid, en tevens kennisoverdracht, kennisdeling en advisering. USI heeft opgetreden als gedelegeerd projectleider en kennisintegrator in dit project.

#### *Technische Universiteit Delft / Faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica*

De TU Delft werkt aan het oplossen van mondiale uitdagingen door nieuwe generaties maatschappelijk verantwoordelijke ingenieurs op te leiden en de grenzen van de technische wetenschappen te verleggen. De kernactiviteiten zijn het aanbieden van onderwijs en doen van onderzoek, dat laatste in samenwerking met nationale en internationale partners. De energietransitie is een strategische onderzoeksrichting van de TU Delft. Het energieonderzoek komt samen in het Delft Energy Initiative, met daarin o.a. de instituten PowerWeb en Urban Energy. Het project is ook direct gerelateerd aan de opleidingen Electrical Engineering (BSc en MSc) en de TU MSc opleiding Sustainable Energy Technology (SET).

#### *Hogeschool Utrecht / Centre of Expertise Smart Sustainable Cities*

Hogeschool Utrecht (HU) werkt met hoogwaardig beroepsonderwijs en onderzoek aan innovatie en het opleiden van (aankomende) professionals. De HU wil via onderzoek onderwijs van hoge kwaliteit bieden en aansluiten bij actuele innovatievraagstukken. De ambitie is om niet alleen onderdeel maar ook regisseur van veranderingen te zijn (Ambitieplan HU in 2026). Met ROBUST had de HU de mogelijkheid om concreet bij te dragen aan energie-innovaties die op korte termijn toegepast worden in de gebouwde omgeving. ROBUST heeft bijgedragen aan de inhoudelijke profilering van de HU, waarbij duurzaamheid en digitalisering zwaartepunten zijn voor onderzoek, onderwijs en het “eigen bedrijf”. Het Centre of Expertise Smart Sustainable Cities (CoE) is een gezamenlijk initiatief van bedrijven, kennisinstellingen en lokale overheid, gericht op het realiseren van een duurzame stad, met slim gebruik van (digitale) technologie en participatie van de bewoner/gebruiker, met energietransitie in de gebouwde omgeving als een belangrijk thema. ROBUST heeft deze samenwerking versterkt.

### *Qbuzz*

Busbedrijf Qbuzz heeft onderzocht hoe haar busremises, waar ondertussen grote aantallen elektrische bussen laden, kunnen bijdragen aan netstabiliteit, met als focus het testen de inzet van een second-life stationaire batterij op een busremise.

### *Gemeente Utrecht (partner zonder budget)*

De huidige energie-infrastructuur in Utrecht zal gedurende de energietransitie behoorlijke aanpassingen ondergaan, bijvoorbeeld het verzwaren van het elektriciteitsnet i.v.m. meer elektrisch vervoer en elektrificatie van de warmtevraag in de gebouwde omgeving. Dit heeft consequenties voor de openbare ruimte, bijvoorbeeld het plaatsen van additionele bovengrondse infrastructuur zoals distributiestations en veel graafwerkzaamheden. De gemeente heeft daarom aan het project bijgedragen vanuit haar belang bij innovatieve oplossingen die de aanpassingen in het net en hiermee de impact op de openbare ruimte zo veel mogelijk beperken.

### *Gemeente Arnhem (partner zonder budget)*

Ook in Arnhem is het bi-directioneel laden van elektrische auto's in opkomst. Gemeente Arnhem heeft bijgedragen vanuit haar belang in het verenigen van innovatie en duurzame ontwikkeling naar een klimaatneutraal energiesysteem, en is mogelijk één van de gemeenten waar bi-directioneel laden verder kan opschalen.

### *Panels*

Naast de samenwerking tussen de consortiumpartners heeft ROBUST een panel ingesteld waarin experts, gebruikers en MOOI-zusterprojecten feedback hebben gegeven op (tussen-)resultaten en inzichten, meegedacht hebben met de Handelingsperspectieven (zie R7 hieronder) en de projectimpact en kennisverspreiding hebben versterkt. Vertegenwoordigd waren:

- Gebruikers: a.s.r., Arnhem Craneveer, Arnhem GroenWest, MRP / Cartesiusdriehoek, Provincie Utrecht, UU Vastgoed & Campus, Triodos Bank en Woningcorporatie Bo-Ex Utrecht.
- Experts: European Network Cyber Security Network, Liander, Qbuzz, TenneT, Time Shift en TKI Dinalog.
- Zusterprojecten: [TROEF](#), [SmoothEMS met Gridshield](#), CPB en [B4B](#).

Tenslotte is er regelmatig uitwisseling van resultaten geweest met het Europese project [SCALE](#), en is het tariefexperiment dat is gedaan in het TKI-project [FLEET](#) voortgezet in ROBUST maar dan gericht op verdieping van inzichten over netbewust laden.

## 2 Principeontwerp en programma van eisen (Resultaat 1)

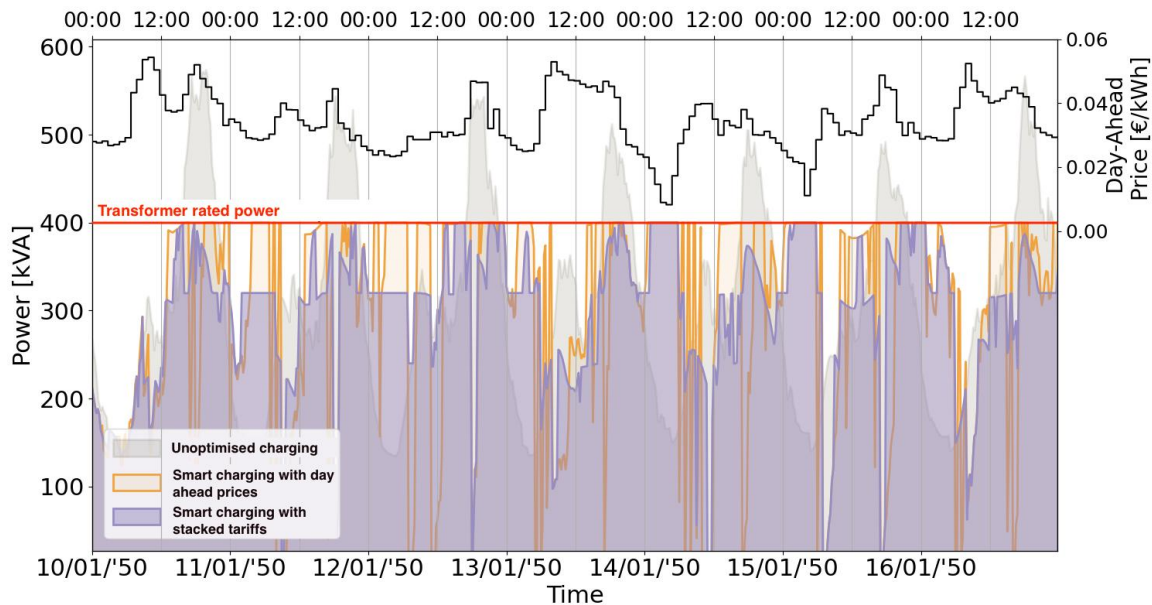
Resultaat 1 binnen ROBUST is uitgevoerd in 2021 en 2022 en had als doel het principeontwerp vast te stellen, het programma van eisen waaraan het uiteindelijke proof-of-principle flexsysteem aan zou moeten voldoen, en de onderzoeksactiviteiten voor te bereiden. De belangrijkste resultaten zijn:

### 2.1 Definitie modelstructuur voor modellering van het flexsysteem

Het onderzoek is gestart met het opstellen van een recap van relevante literatuur en onderzoek. Tevens is een overzicht opgesteld van de relevante kaders voor de principeoplossing van ROBUST, vanuit onder meer beleid, fiscale regelgeving, markten en handelssystemen. Deze documenten hebben gediend als input voor de latere ontwikkeling van de principeoplossing en voor het invullen van de concrete scenario's waaraan werd gerekend.

De modelleringsopgave is geanalyseerd en een modelstructuur gedefinieerd in een modelplandocument dat is uitgewerkt in Resultaten 2 t/m 6. Eerste analyses zijn uitgevoerd van de impact van EV-flexibiliteit op het laagspanningsnet, mogelijkheden voor netoptimalisatie, de economische en milieuvoordelen van flexibiliteitsvergroting en de gevoeligheid voor cyber-aanvallen van elektriciteitsnetten met grote hoeveelheden laadpalen en andere flex-assets.

Eerste berekeningen in deze projectfase leidden tot inzicht in de effecten van slim laden zowel op generieke laag- en middenspanningsnetten als op het net in woonwijken met een hoge penetratie V2G-laadpalen. Figuur 4 geeft daarvan een voorbeeld. Te zien is hoe de totale belasting van een LS-transformator leidt tot verwachte overbelasting (lichtgrijze vlakken boven de rode lijn die de transformatorcapaciteit weergeeft) en kan worden vermeden wanneer slim laden op basis van day-aheadprijzen (gele lijn) of gestapelde tarieven (donkergrijze vlakken) wordt toegepast.



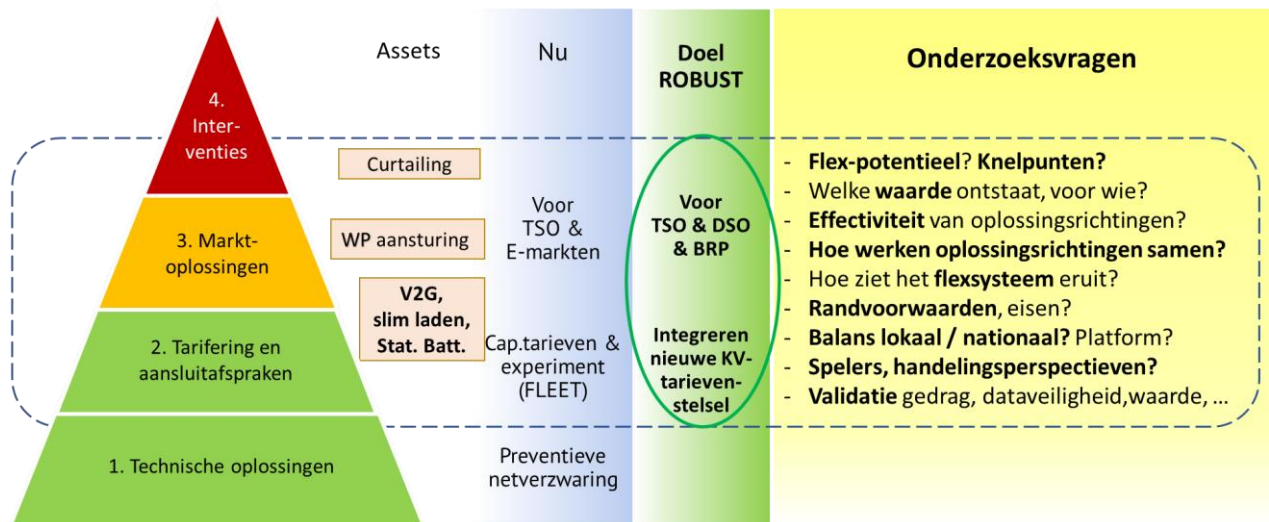
Figuur 4 Simulatie van de belasting op een LS-transformator in een scenario voor een week in 2050.

Stedin heeft in samenwerking met UU, USI, TU Delft, ABB, SSC, ElaadNL en Edmij een analyse van de digitale veiligheid van de beoogde principeoplossing opgesteld. De resultaten daarvan zijn verwerkt in de verdere ontwikkeling van de principeoplossing en in 2025 gepubliceerd in IEEE Access [13].

## 2.2 Definitie en programma van eisen flexsysteem

De potentie van slim laden voor het beheersen van lokale netcongestie is geanalyseerd; de grootte van die potentiële impact was voor netbeheerder Stedin reden om het ROBUST-flexsysteem te beproeven als middel om te komen tot een betere benutting van de elektriciteitsnetten.

Een outline-beschrijving van het beoogde flexsysteem is opgesteld, die als uitgangspunt heeft gediend voor verdere uitwerking. Het beoogde flexsysteem is beschreven als een combinatie van interventies op het niveau van tariefstelling / aansluitafspraken, marktoplossingen en (indien noodzakelijk) dwingende ingrepen. In Figuur 5 is de principeoplossing grafisch weergegeven langs de vier lagen van de piramide van oplossingen voor congestiemanagement die door ROBUST maar ook door netbeheerders wordt gehanteerd. De aanpak richt zich op het beter in balans brengen van de inzet van flexibiliteitsmaatregelen tussen de energiemarkten en het verminderen of voorkomen van lokale congestie. De focus daarbij ligt op een combinatie van oplossingen op het gebied van tarifiering, marktoplossingen en (indien nodig) directe interventies, en op slim en V2G laden van elektrische auto's, stationaire batterijen, slimme aansturing van warmtepompen en curtailing van zonne-opwek en/of warmtepompen. Een Programma van Eisen voor het beoogde flexsysteem is opgesteld, eveneens als basis voor de verdere ontwikkelingen.



Figuur 5 Grafische weergave van de principeoplossing en de onderzoeksvragen, geordend langs de systeemplagen van de flexibiliteitspiramide die vaker wordt gebruikt door netbeheerders.

### 3 Proof-of-principle voor flexsysteem op wijkniveau voor verduurzaming bestaande woonwijken (Resultaat 2)

Het doel van Resultaat 2 was om een pilot en onderzoek te doen in het “Utrechts Bi-directioneel Ecosysteem” van de principeoplossing van het flexsysteem dat in Resultaat 1 is ontworpen, bestaande uit interventies op de systeemlagen van tariefstelling, marktplatform voor lokale congestie en eventuele directe interventies.

In Utrecht is de afgelopen jaren een wereldwijd unieke proeftuin ontstaan voor slim en bi-directioneel laden van elektrische auto's: het Utrechts Bi-directioneel Ecosysteem, met ondertussen 700 bi-directionele laadpalen die elektrische auto's kunnen laden maar ook ontladen en met ongeveer 400 elektrische deelauto's die slim laden en, sinds voorjaar 2025, honderden Renault bi-directionele deelauto's die daadwerkelijk bi-directioneel laden.



*Figuur 6 Flexibiliteitsassets in de stad Utrecht. Sinds voorjaar 2025 zijn er 50 bi-directionele deelauto's in bedrijf, ondertussen is dat opgeschaald naar meer dan 300.*

Allereerst hebben SSC en UU proeven gedaan met bi-directioneel laden van enkele prototype-versies van de Renault Zoe. Vervolgens heeft SSC 25 bi-directionele Hyundai IONIQ5 elektrische auto's als deelauto in gebruik genomen. Daadwerkelijk bi-directioneel inzetten van die auto's is uiteindelijk beperkt gebleven tot tests, vanwege compatibiliteitsproblemen.

In het voorjaar van 2025 heeft SSC in samenwerking met deelautobedrijf MyWheels, gemeente Utrecht en ElaadNL bi-directioneel laden gerealiseerd met de Renault 5. Dit is wereldwijd de eerste bi-directionele productie-auto die de recente open protocollen

ISO15118-20 en OCPP2 ondersteunt. Op 4 juli 2025 is bi-directioneel bedrijf van de eerste 50 Renault 5 deelauto's grootschalig gelanceerd<sup>1</sup> en sindsdien zijn de auto's daadwerkelijk bi-directioneel in bedrijf, met sturing gebaseerd op de day-aheadmarkt. Ze ontladen dus op momenten met hoge elektriciteitsprijzen en laden bij lage prijzen. Dit resulteert meestal al in netvriendelijk laadgedrag. Additionele sturing op basis van signalen van de netbeheerder (zoals binnen ROBUST is getest voor regulier slim laden) is in ontwikkeling.



*Figuur 7 In voorjaar 2025 zijn de eerste V2G Renault 5 deelauto's geplaatst door We Drive Solar en MyWheels in Utrecht. Links: testen van de nieuwe WDS-laadpaalcontroller bij het Renault Technocentre in Parijs; midden: vervanging van de controllers in de laadpalen door nieuwe versie die de nieuwe protocollen en cybeveiligheidseisen ondersteunt; rechts: eerste Renault 5 ingezet als MyWheels deelauto op V2G laadpaal.*

Opschaling is al gaande; per medio 2026 is het aantal bi-directionele deelauto's al gegroeid tot over de 300. Bovendien heeft Stedin met We Drive Solar een capaciteitssturingcontract afgesloten op basis van bi-directioneel laden en wordt de mogelijkheid om redispatch-orders vanuit bi-directioneel ladende auto's te bieden op het congestiemanagementplatform GOPACS ontwikkeld en getest (zie ook R6 hieronder). WDS en MyWheels zullen per 2026 dynamisch Netbewust Laden op basis van OpenADR gaan uitvoeren, wat betekent dat netbeheerders de restcapaciteit kunnen communiceren en niet met vuistregels (kW per laadpaal) hoeven te werken.

<sup>1</sup> Zie bijvoorbeeld <https://www.renault.nl/utrecht-energized.html>



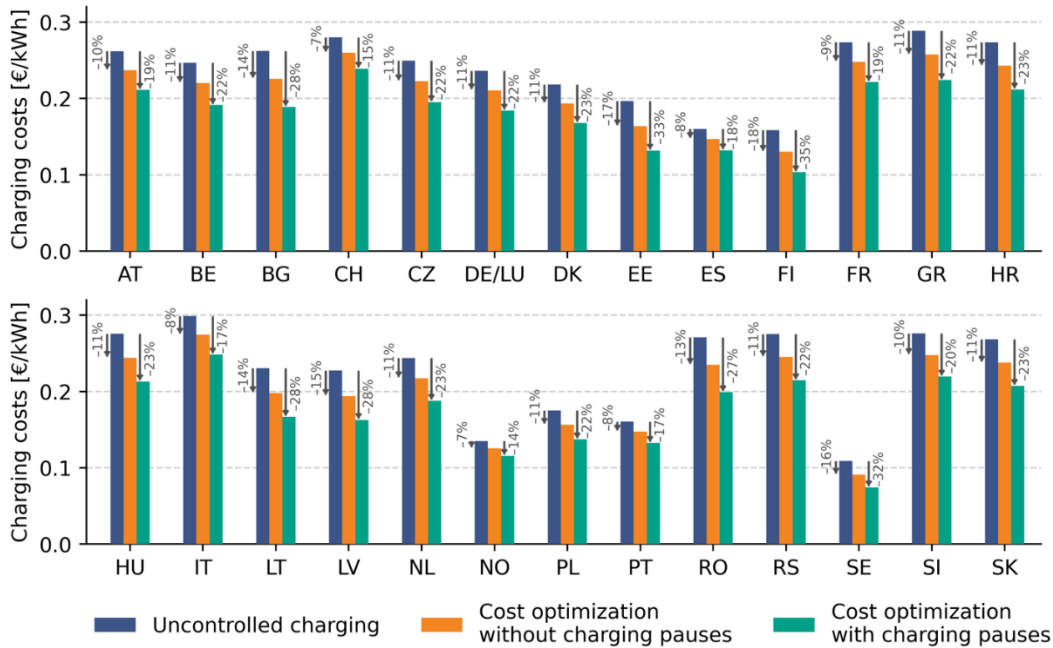
*Figuur 8 Op 4 juni 2025 hebben Renault, Mywheels, We Drive Solar en gemeente Utrecht met het evenement Utrecht Energized de aftrap gegeven voor bi-directioneel bedrijf van 50 Renault 5 deelauto's.*

### 3.1 Onderzoek potentieel flexaanbod en flexvraag

ROBUST heeft het flexaanbod geanalyseerd dat slim en bi-directioneel ladende auto's kunnen genereren, en de aansluiting daarvan op de flexvraag.

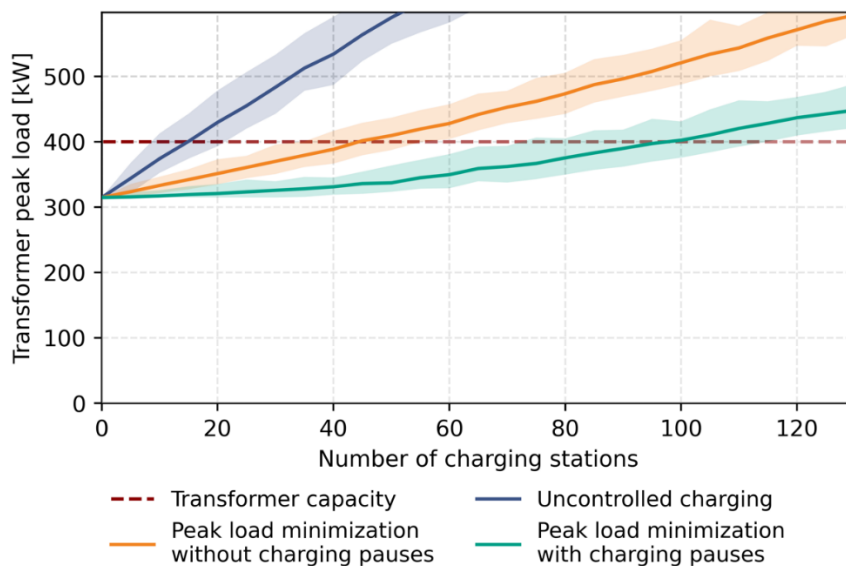
Uit eerdere projecten (o.a. FLEET) was gebleken dat het flexpotentieel van slim laden van EV's flink beperkt kan worden omdat sommige EV's niet uitgesteld kunnen laden. Met de standaard-laadprotocollen (IEC61851) treedt bij sommige modellen EV's het probleem op dat ze niet goed reageren op het tijdelijk terugbrengen van de laadstroom naar nul Ampère: ze moeten nadat ze zijn ingeplugd met minimaal 6 ampère (soms zelfs nog meer) laden om te voorkomen dat de laadsessie afbreekt en de auto niet meer reageert op laadsignalen. Omdat er – zolang de accu niet vol is – dus geladen moet worden op momenten dat dit niet wenselijk is (momenten met netcongestie of hoge energieprijzen), wordt de effectiviteit van slim laden belemmerd.

In ROBUST is hier een uitgebreide analyse naar uitgevoerd. Hieruit kwam naar voren dat de effectiviteit van verschillende toepassingen van slim laden ongeveer gehalveerd wordt door deze beperking, afhankelijk van de wijze waarop de laadpaaloperator (CPO) omgaat met de beperking. Zo blijkt dat het kostenvoordeel bij slim laden op basis van dynamische tarieven ongeveer tweemaal zo groot is als er uitgesteld kan worden geladen, zoals blijkt uit Figuur 9.



Figuur 9 Analyse van laadkosten voor verschillende landen met ongestuurd laden, slim laden zonder uitgesteld laden en slim laden met uitgesteld laden. De analyse is uitgevoerd op basis van laadsessies met slimme laders van SSC/WDS.

Daarnaast is het aantal laadpalen dat geplaatst kan worden in een laagspanningsnet voordat er congestie optreedt ongeveer tweemaal zo groot, zoals blijkt uit Figuur 10. Deze inzichten gaan ervan uit dat de eindgebruiker van de EV ten alle tijden voorzien wordt in zijn energiebehoefte en dus niet minder laadt.

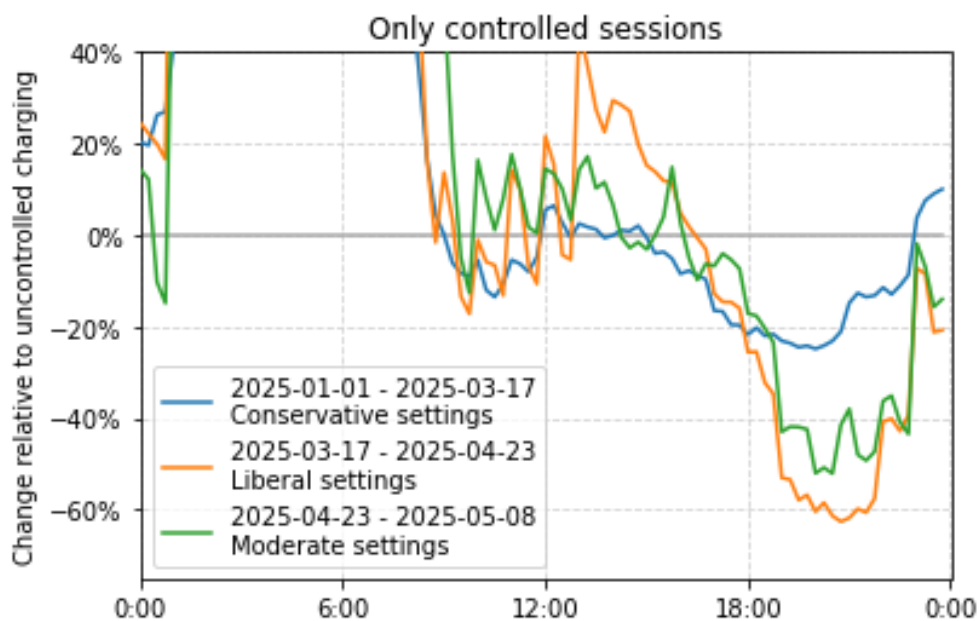


Figuur 10 Piekbelasting van een transformator voor een verschillend aantal laadpalen en voor ongestuurd laden, slim laden zonder uitgesteld laden en slim laden met uitgesteld laden.

## Laadexperiment slim en gepauzeerd laden

In een laadexperiment met circa 400 slim ladende laadpunten van We Drive Solar is geleidelijk steeds verdergaand geëxperimenteerd met gepauzeerd laden en dynamisch netbewust laden. Enervalis had in het sturingssysteem een testroutine ingebouwd. Het systeem herkende incidentele gebruikers (anoniem aan hun laadpas-ID) en stelde die in eerste instantie vrij van het gepauzeerd laden. Bij terugkerende gebruikers werd eerst de auto automatisch door het systeem enkele malen getest of deze goed omgaat met gepauzeerd laden alvorens het gepauzeerd laden voor die auto wordt ingevoerd. Het op deze manier invoeren van gepauzeerd laden vergroot de effectiviteit van slim laden om de laadpiek te reduceren (zie Figuur 11), met de garantie dat de gebruiker hiervan geen hinder ondervindt.

Vervolgens zijn in het experiment stapsgewijs de parameters in het sturingssysteem aangescherpt die bepalen wanneer een auto wordt gezien als een terugkerende lader en wat de verwachte laadbehoefte is. Dat heeft geleid tot duidelijke verdere verlaging van de laadpieken in de namiddag en vroege avond. Toen gedurende korte tijd bijna alle auto's die niet voor de eerste keer laadden werden onderworpen aan gepauzeerd laden, bleek de laadpiek in de avonduren met meer dan 50% verlaagd te kunnen worden (de oranje lijn in Figuur 11). Op dat moment nam het aantal klachten van gebruikers echter sterk toe waarna het regime weer is versoepeld.

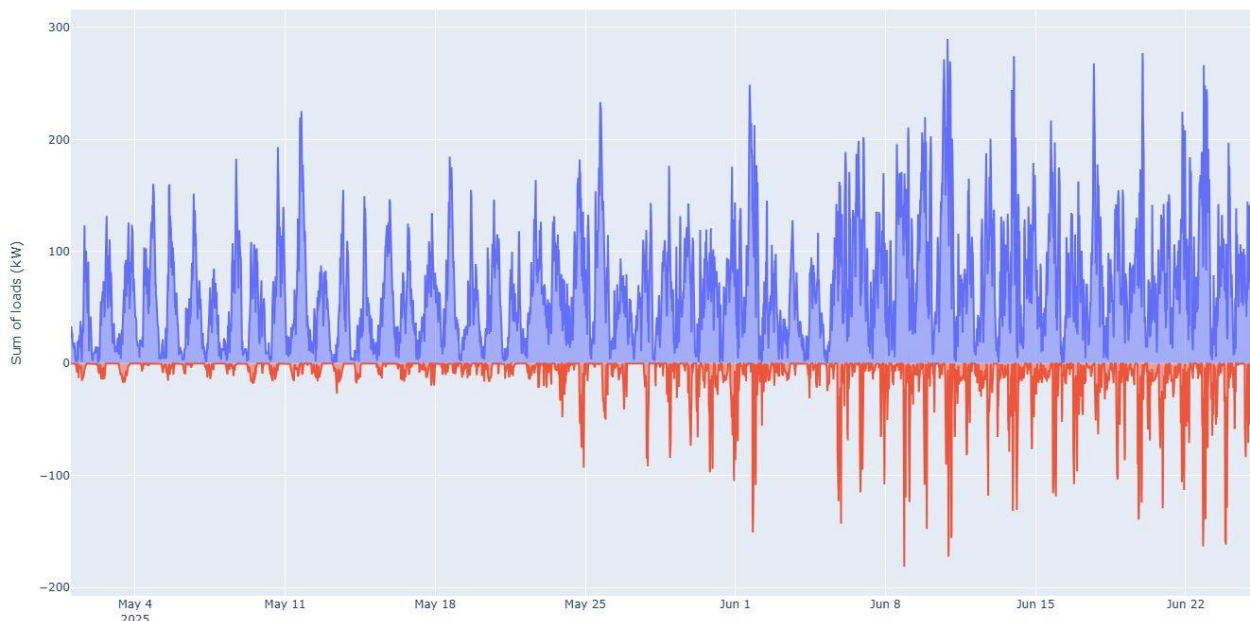


*Figuur 11 Bij verschillende instellingen van het sturingssysteem voor uitgesteld laden treden verschillende reducties op in de piekbelasting in de avonduren. Blauwe lijn: het systeem sluit een groot aantal auto's uit van gepauzeerd laden omdat die mogelijk daar niet goed mee om gaan (of de verwachte laadduur niet goed voorspeld kon worden). Groene lijn: met minder uitsluitingen van auto's van gepauzeerd laden treedt een grotere reductie van de piekbelasting op. Gele lijn: wanneer alle auto's gepauzeerd kunnen worden geladen is de verlaging het grootst (maar er traden klachten op van eindgebruikers dat sommige auto's niet correct werden geladen. Op basis van metingen van de vloot slimme laadpalen van WDS/SSC.*

### Analyse piekreductiepotentieel van bi-directionele deelauto's

De 50 bi-directionele Renault 5 deelauto's die sinds voorjaar 2025 in bedrijf zijn bij SSC en MyWheels leveren onderzoeksdata waarop door ElaadNL eerste analyses zijn gedaan. In Figuur 12 is een gecombineerd laadprofiel te zien van de 50 bi-directionele auto's, waarbij de rode pieken teruggeleverde energie aangeven.

De analyse levert de indicatie op dat de 50 Renault 5 deelauto's gezamenlijk gemiddeld goed zijn voor een terugleververmogen rond de 200kW, uiteraard naast het bedrijf als deelauto. Het betreft hier analyse van data van deelauto's die worden gestuurd op de day-aheadmarkt, nog niet expliciet op congestiemanagement of balanceringsdiensten. Dit resultaat ligt in dezelfde orde van grootte als het berekeningsresultaat gepresenteerd in 3.3. Verwacht kan worden dat bij opschaling van de aantallen bi-directioneel ladende deelauto's, het potentieel voor teruglevering lineair per auto zal toenemen. Voor andere regimes (bijvoorbeeld een particuliere auto) zullen de verhoudingen anders liggen.

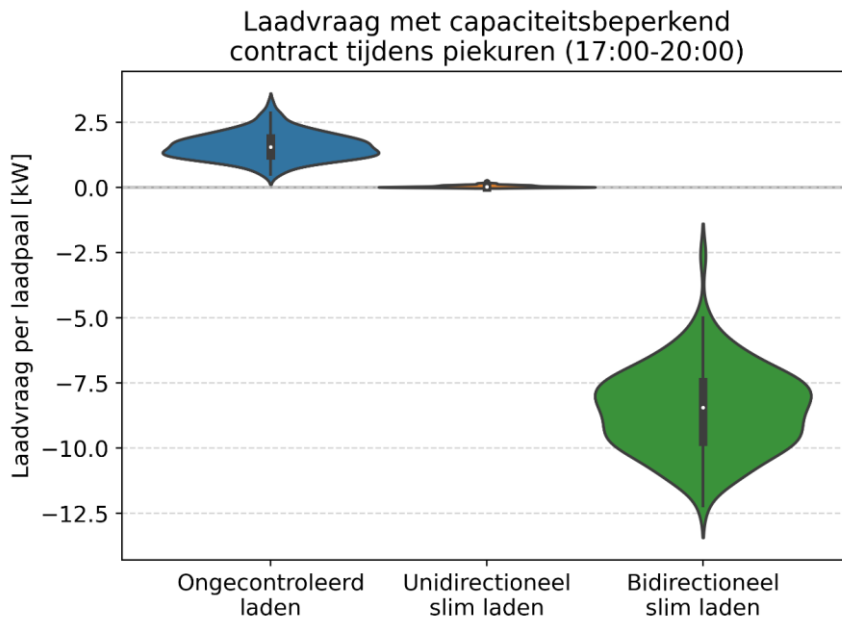


*Figuur 12 Monitoringdata van de 50 slimme meters in de laadpalen waarop 50 Renault 5 deelauto's bi-directioneel worden geladen. De rode pieken onder de nullijn zijn teruggeleverde elektriciteit. Te zien is hoe in de eerste helft van deze periode het terugleveren nog werd getest en opgeschaald. Bron: Smart Solar Charging*

### Impact van slim en bi-directioneel laden op de avondpiek in de elektriciteitsvraag

Om de potentiële impact van bi-directioneel laden op het net bij grotere aantallen laders te bepalen, hebben UU en TU Delft een analyse gemaakt op basis van historische data van laadpalen met deelauto's in Utrecht, van de netbelasting van slim en bi-directioneel laden van de WDS-laadpalen tijdens piekuren (hier: 17:00 – 20:00). In Figuur 13 is te zien dat bij ongecontroleerd laden de gemiddelde belasting per laadpaal rond 1,5-2 kW ligt. Bij slim laden kan die belasting tot bijna nul worden teruggebracht. Bij bi-directioneel laden kan de

gemiddelde belasting negatief worden: de laadpalen kunnen de belasting op het elektriciteitsnet tijdens de avondpiek aanzienlijk verlagen. Met bijna 100% zekerheid kan een verlaging van 4-5kW per laadpaal worden bereikt.



Figuur 13 Invloed van slim laden en bi-directioneel laden op de elektriciteitsvraag per laadpaal in de piekuren (17:00 - 20:00). De spreiding geeft de verschillen in dagelijks laadgedrag aan.

Verdere analyses zijn terug te vinden in Hoofdstuk 7 – analyses op stadsniveau.

### 3.2 Onderzoek niet-technologische aspecten (gebruikersaspecten en -beïnvloeding; implicaties beleid en regelgeving)

ROBUST heeft gebruikersaspecten onderzocht zowel bij gebruikers van het Utrechts Bi-directioneel Ecosysteem als bij anderen (potentiële toekomstige gebruikers).

#### Onderzoek naar gedragsfactoren met betrekking tot slim laden

De onderzoeksgroep ISS van Universiteit Utrecht heeft 68 interviews afgenomen onder de doelgroep: bewoners van vijf wijken in Utrecht. Ongeveer twee derde van de participanten (n=47) heeft een (lease) EV. Tijdens het interview zijn drie onderwerpen behandeld: aanschaffen/rijden van een EV, slim laden van (eigen) EV en (deelnemen aan) elektrisch deelvervoer. Het doel van de interviews was (bijv. voor slim laden) achterhalen welke factoren het gedrag ‘slim laden’ faciliteren of verhinderen. Dit werd gedaan aan de hand van theoretisch framework COM-B (Michie et al., 2011), gecombineerd met het Theoretical Domains Framework (TDF; Cane et al., 2012). Volgens het COM-B model, wordt gedrag bepaald door de *capaciteit*, *gelegenheid*, en *motivatie* voor het gedrag. TDF geeft een meer

gedetailleerde kijk op de specifieke actie-mechanismen binnen capaciteit, gelegenheid en motivatie.

Vervolgens is in 2025 een enquête afgenomen bij een grotere groep van 282 EV-rijdende bewoners van Utrecht, die mede is opgesteld op basis van de inzichten die zijn opgedaan in de interviews. Eerste resultaten tonen dat 82,6% van de geïnterviewden had gehoord van slim laden. Kennis over slim laden verhoogt de acceptatie ervan, maar niet de intentie. De intentie om slim te laden is hoger bij mensen die thuis kunnen laden, maar de acceptatie van slim laden als standaard instelling voor publieke laadpalen is hoger voor mensen die vooral publieke laadpalen gebruiken. Voor sociale *gelegenheid* blijkt verder dat sociale normen van belang zijn: descriptieve normen (i.e. wat doen andere mensen om je heen) en injunctieve normen (i.e. wat vinden de mensen om je heen goed en belangrijk) hangen samen met de intentie om slim te gaan laden, maar alleen injunctieve normen hangen samen met de acceptatie ervan. Voor fysieke *gelegenheid* vonden we dat vertrouwen in het laadsysteem positief samenhangt met intentie en acceptatie. Er werden ook verschillende *motivationale* factoren uitgevraagd. Intentie bleek samen te hangen met de volgende redenen: het geloof dat slim laden tot een groter deel groene energy, een verlaagd tarief voor slim laden, de wens om bij te dragen aan het verminderen van netcongestie. Voor acceptatie werd gevonden dat groene energie en de wens om bij te dragen aan het verminderen van netcongestie belangrijk zijn, maar een verlaagd tarief hangt niet samen met de acceptatie van slim laden standaard instellingen op publieke laadpalen. De resultaten van deze studies zijn gepubliceerd in Energy Policy [18].

### **Bereidheid tot deelnemen aan bi-directioneel laden**

Daarnaast voerde de SGPL-groep van de Universiteit Utrecht een studie uit om de bereidheid van eigenaren van elektrische voertuigen (EV's) om deel te nemen aan V2G te onderzoeken. Daarbij werd rekening gehouden met hun huidige laadgedrag, vervoersbehoeften, verwachtingen omtrent de laadtoestand (state-of-charge) van hun voertuig op specifieke tijdstippen, en de kenmerken van mogelijke V2G-contracten, waaronder verschillende beloningsstructuren en andere relevante factoren. Belangrijke resultaten hiervan zijn een kwantitatieve inschatting van de afwegingen die gebruikers maken bij verschillende V2G-contractvormen, en het schatten van vraagelasticiteiten – oftewel: in welke mate wijzigingen in het contract invloed hebben op de participatiegraad. In de eerste fase van het onderzoek werd een kwalitatieve analyse uitgevoerd om de belangrijkste drijfveren achter V2G-acceptatie in kaart te brengen. Hiervoor werden interviews gehouden met 33 EV-bestuurders in de stad Utrecht. Deze interviews gaven inzicht in de perceptie van deelnemers ten aanzien van het V2G-concept, de ervaren barrières, en de voorwaarden waaronder men bereid zou zijn deel te nemen. De resultaten toonden aan dat de belangrijkste belemmeringen voor deelname zorgen zijn over batterijdegradatie en het verlies aan flexibiliteit – hetzij door een lage laadtoestand, hetzij door de noodzaak om de auto op vaste momenten ingeplugd te houden. Financiële

compensatie werd over het algemeen als essentieel beschouwd om deze nadelen te compenseren. Opmerkelijk is dat, hoewel milieuoverwegingen vaak een belangrijke reden zijn voor de aankoop van een EV, deze zelden werden genoemd als motivatie voor deelname aan V2G-programma's. Een mogelijke verklaring is dat de publieke communicatie rond V2G zich voornamelijk heeft gericht op netcapaciteit en congestieproblemen, en minder op de milieuwinst—zoals het verminderen van fossiel energieverbruik tijdens piekuren door het benutten van overtollige hernieuwbare energie. De ervaren nadelen rond batterijdegradatie bleken sterk afhankelijk van het type voertuigbezit—privébezit versus lease—en de mate van kennis of informatie die men had over V2G-technologie. De zorgen over flexibiliteit werden vooral bepaald door individuele mobiliteitspatronen en dagelijkse vervoersbehoeften. Deze kwalitatieve bevindingen zijn gepubliceerd in Transport Policy [12].

Na het identificeren van de belangrijkste drijfveren achter de participatiebereidheid, is een keuze-experiment (stated choice experiment) opgezet om het relatieve belang van specifieke contractkenmerken te kwantificeren. De onderzochte contractkenmerken betroffen de minimale laadtoestand na ontlading (autonomie), het aantal verplichte piekuren per maand waarin het voertuig ingeplugd moet zijn, de structuur van de financiële beloning (maandelijks, per uur, of per kWh), en de hoogte van de beloning. Dit experiment werd uitgevoerd via een enquête in juni 2023, waarbij 673 respondenten deelnamen. Er werden twee typen kwantitatieve analyses uitgevoerd. Ten eerste werden ordered logit-modellen geschat om de intensiteit van de zorgen die in de kwalitatieve fase werden geïdentificeerd, te relateren aan individuele kenmerken. Hierdoor kon worden vastgesteld welke typen individuen en gebruikspatronen het meest gevoelig zijn voor de verschillende belemmeringen voor V2G-deelname.

Ten tweede werden voorlopige resultaten van het keuze-experiment met behulp van Multinomial Logit-modellen geanalyseerd. Bevindingen suggereren dat de waardering van een minimaal acceptabele laadtoestand niet significant wordt beïnvloed door het type beloningsmechanisme—of dat nu maandelijkse betalingen zijn, betalingen per aantal verplichte piekuren waarin het voertuig beschikbaar moet zijn voor ontlading, of betalingen per kilowattuur (kWh) die aan het net wordt teruggeleverd. Wat betreft de bereidheid om compensatie te aanvaarden voor deelname aan V2G, blijkt dat een vermindering van één kilometer in minimale autonomie na ontlading een maandelijkse vergoeding van ongeveer €0,32 vereist (hoewel mogelijke niet-lineariteiten in dit verband nog verder onderzocht moeten worden). Indien een contract een verplicht aantal piekuren bevat waarin het voertuig ingeplugd moet zijn—en daarmee de flexibiliteit van de gebruiker beperkt—moet er een extra maandelijkse compensatie van €0,50 per verplicht piek uur worden voorzien. Verder werd vastgesteld dat de compensatie per uur beschikbaarheid tijdens piekuren ongeveer 34 keer hoger moet zijn dan de vergoeding per teruggeleverde kWh. Ten slotte blijkt dat maandelijkse vergoedingen slechts 26,7 keer hoger hoeven te zijn dan vergoedingen per ingeplugd piek uur, wat wijst op een duidelijke voorkeur van gebruikers

voor eenvoudige, maandelijkse betalingen in plaats van meer gedetailleerde beloningsstructuren (aangezien het verwachte aantal ingeplugde piekuren over een maand hoogstwaarschijnlijk hoger dan 26,7 zou liggen)

### 3.3 Extrapolatie naar stadsregioniveau

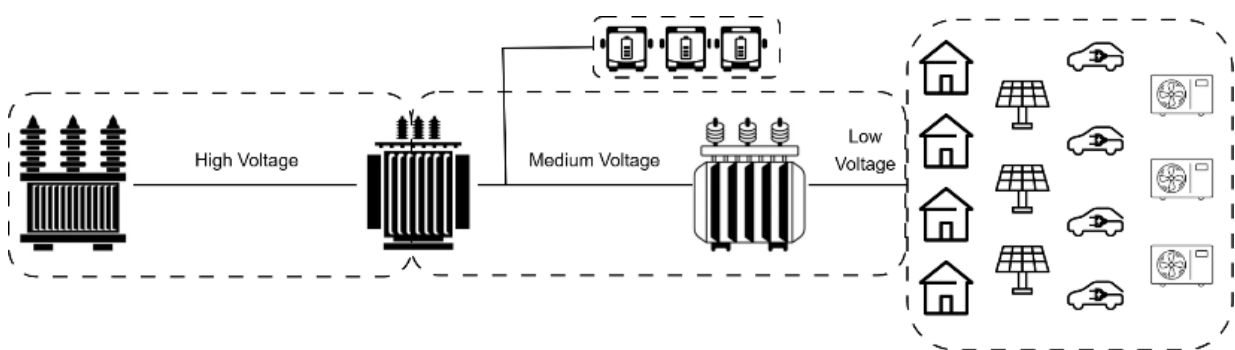
Een analyse van de impact van flexibiliteit op het niveau van een middenspanningsnet laat zien hoe de combinatie van slim en bi-directioneel laden van elektrische auto's en bussen, en slimme inzet van warmtepompen kan worden ingezet om netcongestie te verlagen. Ter illustratie: het elektriciteitsnet in de stad Utrecht bestaat uit 9 middenspanningsnetten. Het doel van de analyse was om te onderzoeken in hoeverre het flexibel maken van de elektriciteitsvraag de netcongestie kan verlichten.

In Figuur 14 wordt de onderzochte architectuur weergegeven: een middenspannings (MS-)net met 31 laagspannings (LS-) netten waarop huishoudens, zonnepanelen, EV-laders en warmtepompen zijn aangesloten, naast belastingen direct op MS-niveau zoals laders voor e-bussen. Aangenomen wordt dat één centrale instantie de assets aanstuurt.

De analyse heeft zich gericht op een worst-case scenario, daarom is de week gekozen met de meeste congestie, een week in januari. EV-laders worden gesimuleerd voor iedere LS-transformator gebaseerd op de projecties van de netbeheerder. In totaal zijn er circa 12.500 laadsessies gegenereerd. Warmtepompen zijn gemodelleerd met een vereenvoudigd thermisch gebouwmodel met twee thermische massa's en vier thermische weerstanden. Aanname is dat 21% van de woningen in het systeem zijn uitgerust met warmtepompen. Het laden van e-bussen vindt plaats in 621 sessies verdeeld over de week.

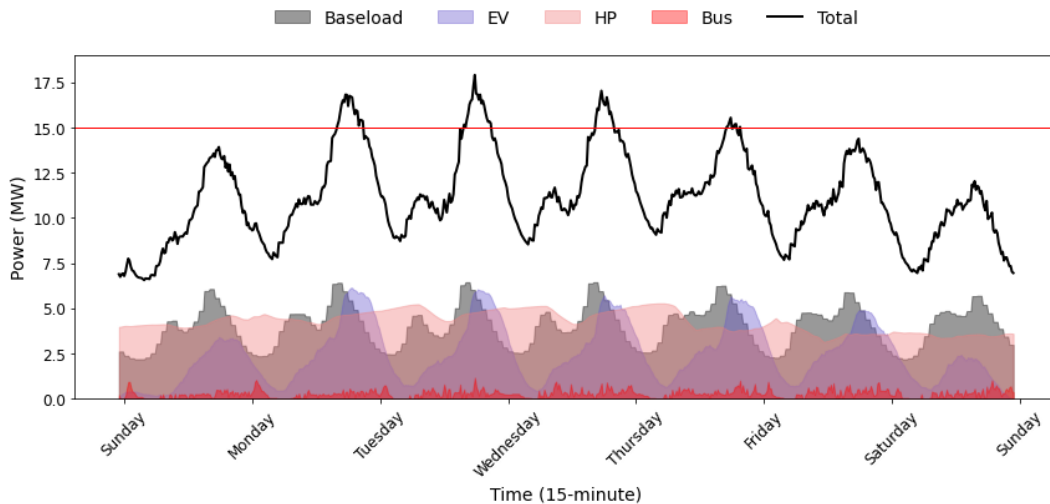
Doelen voor het aansturen waren:

- De belasting van de transformatoren binnen de capaciteit te houden;
- De baseload volledig te dekken;
- De elektriciteitsbehoefte van EV's en e-bussen te vervullen, en bij ontladen minimaal 50% van de SOC (State of Charge) te waarborgen.
- De temperatuur in de woningen tussen 18 en 22 °C te houden.



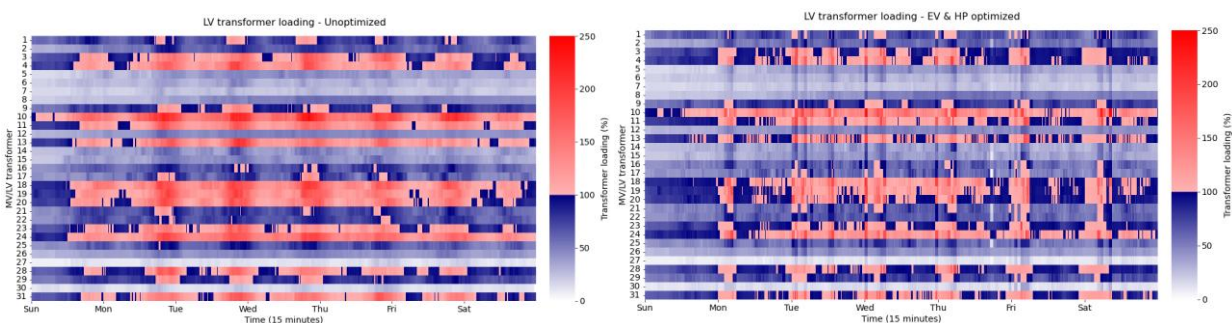
Figuur 14 Architectuur van het onderzochte middenspanningsnet en de flexibele assets.

Figuur 15 toont de basislast, EV-belasting, WP-vraag en e-bus-laadbelasting voor de geselecteerde worst-case week, samen met de resulterende netto vraag op de HS/MS-transformator. De nominale capaciteit van de transformator wordt verondersteld 15 MW te zijn. Periodes waarin de totale belasting deze limiet overschrijdt, worden beschouwd als congestie-intervallen.



Figuur 15 Bestudeerde week, slechtst denkbare scenario

Eerst worden EV's en warmtepompen samen geoptimaliseerd voor elke LS-transformator om hun vermogen om lokale congestie te verminderen te beoordelen. De gekleurde balken geven de belasting van de transformator weer als percentage van de capaciteit, waarbij waarden boven 100% congestie aangeven. De resultaten tonen aan dat, hoewel de flexibiliteit de belasting vermindert, optimalisatie op LS-niveau met alleen deze twee flexibele bronnen congestie niet volledig kan elimineren.



Figuur 16 LS-transformatoren voor en na EV- en warmtepomp-optimalisatie

Tabel 1 laat zien dat het gebruik van alle flexibele middelen samen weliswaar helpt voor de MS-transformator, maar het probleem niet volledig oplost. De congestie daalt aanzienlijk, van 63 naar 38 intervallen, en de piekbelasting daalt met ongeveer 2,6 MW. Dit

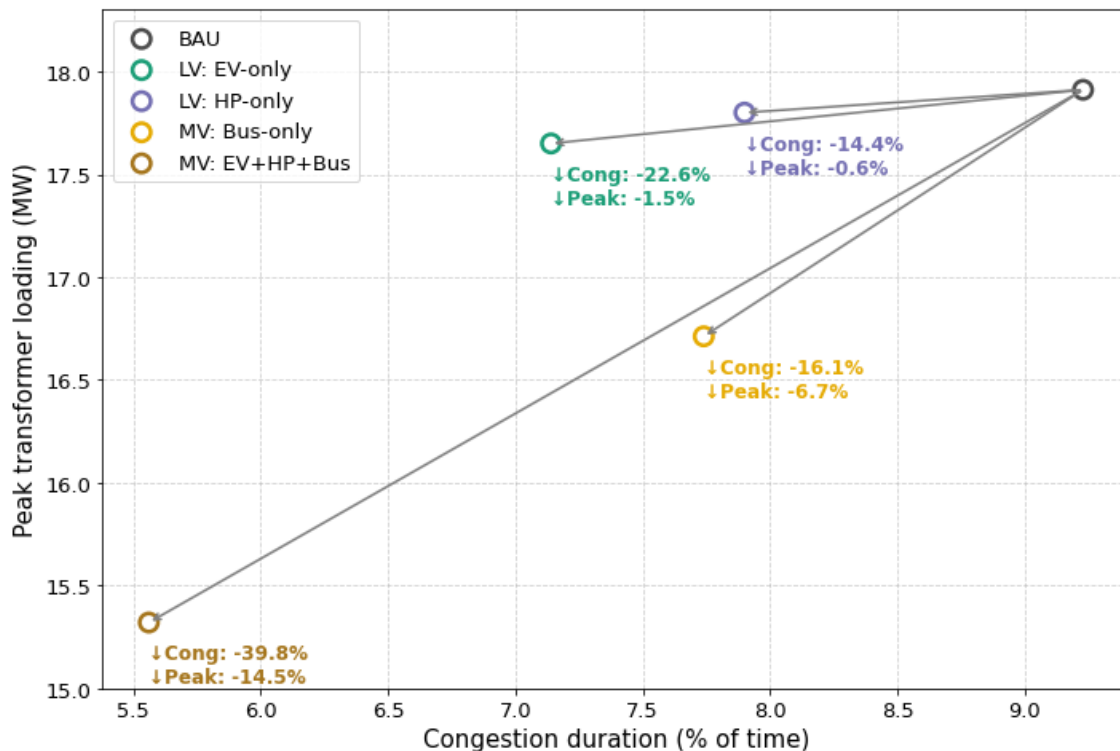
betekent dat de flexibele belastingen de vraag duidelijk verschuiven van de piekmomenten. Toch blijft de transformator dicht bij zijn limiet, dus flexibiliteit alleen is in dit scenario niet voldoende om congestie volledig weg te nemen.

Tabel 1: Effect van de flexibiliteitsmaatregelen op MS-niveau

Categorie	BAU	Flexibiliteit optimalisatie (all assets)
MS-Congestie (15-min stappen, totaal 672)	63	38
Piekbelasting (MW)	17.9	15.3
Kostenbesparing per EV per week	0 €	0.17 €
Kostenbesparing per WP per week	0 €	-0.82 €
Kostenbesparing per e-bus per week	0 €	2.6 €
Comfort impact EV	Geen	Geen ontlading onder 50% SOC
Comfort impact WP	Geen	Binnentemperatuur tussen 18°C en 22°C
Comfort impact Bus	Geen	Geen ontlading onder 50% SOC

Vanuit kosten oogpunt profiteren EV's en bussen enigszins, omdat het opladen ervan gemakkelijker kan worden verplaatst naar goedkopere periodes. Warmtepompen zien echter een kleine kostenstijging, voornamelijk omdat het handhaven van een comfortabele binnentemperatuur beperkt hoeveel hun werking kan worden verschoven. Dit suggereert dat de flexibiliteit van warmtepompen bij het ondersteunen van het net de kosten voor de gebruiker enigszins verhoogt.

Het comfortniveau blijft binnen realistische grenzen. Warmtepompen blijven binnen het bereik van 18-22 °C en EV's en bussen mogen nooit onder de 50% SOC komen, wat de flexibiliteit beperkt, rekening houdend met het comfort en de voorkeuren van de gebruikers. De "gemiddelde" impact op het comfort weerspiegelt eenvoudigweg dat hun oplaadschema's iets strakker worden, niet dat gebruikers toegang of bereik verliezen. Over het algemeen tonen de resultaten aan dat gecontroleerde flexibiliteit een sterke vermindering van congestie oplevert, maar geen volledige oplossing is. Het helpt aanzienlijk, maar er blijven enkele knelpunten bestaan, wat betekent dat flexibiliteit in de praktijk mogelijk moet worden gecombineerd met andere maatregelen, zoals netwerkversterking, opslag of betere coördinatie tussen transformatoren.



Figuur 17 Impact van optimalisatie van flexibele belastingen onder MS

Een gevoeligheidsanalyse van de impact van verschillende adoptiegraden per activum op congestievermindering laat zien hoe verschillende adoptieniveaus van WP's, EV's, bussen en combinaties daarvan van invloed zijn op congestievermindering. De trends laten zien dat hogere adoptiegraden direct leiden tot grotere flexibiliteit en dus grotere congestievermindering, maar de sterkte van dit effect varieert per type activum. Voor WP's is het effect aanwezig, maar bescheiden. Door het gebruik van WP's te verhogen van 0% naar 100% neemt de congestie af van 9,4% naar 8,8%, wat aantoont dat thermische belastingen een stabiele maar beperkte flexibiliteit bieden. Dit is te verwachten, aangezien HP's worden beperkt door comfortvereisten en een smaller tijdvenster voor verschuiving van de belasting hebben.

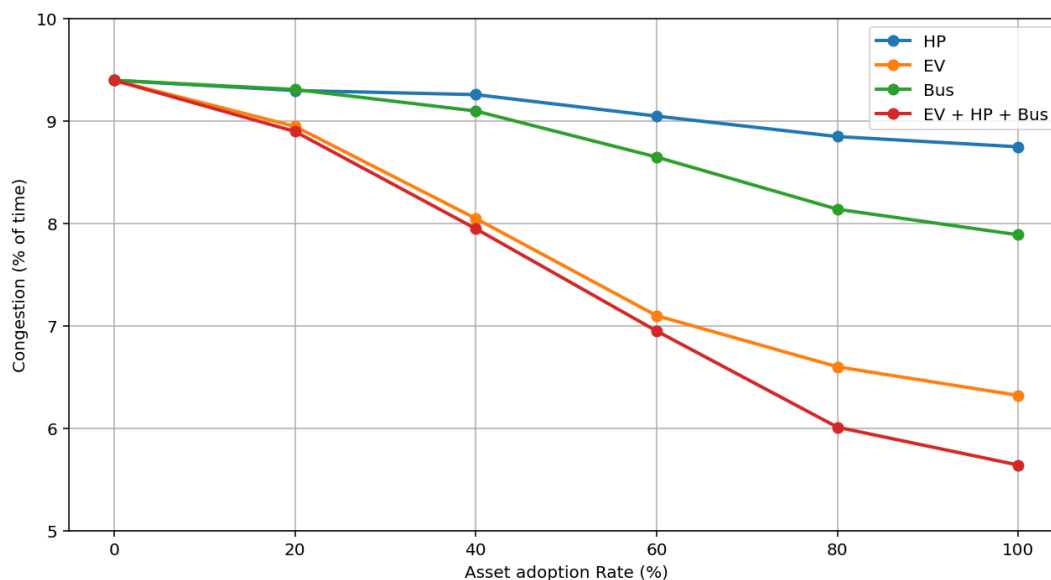
EV's hebben echter een veel sterker effect. Wanneer het aandeel flexibele EV's toeneemt van 0% naar 100%, daalt de congestie sterk van 9,4% naar 6,3%. De grootste verbetering doet zich voor bij een acceptatiegraad van 40-60%, wat suggereert dat zodra er een kritische massa aan flexibele EV's beschikbaar is, het systeem een aanzienlijke belasting kan verschuiven van piekperiodes. Boven de 60% blijven de voordelen bestaan, maar worden ze geleidelijk kleiner.

Bussen alleen hebben de kleinste relatieve impact. Hoewel de congestie bij volledige flexibiliteit daalt van 9,4% naar 7,9%, is de curve veel vlakker. Dit komt doordat bussen vaste oplaadpatronen hebben die gekoppeld zijn aan dienstregelingen en beperkte verschuivingsmogelijkheden bieden.

Wanneer alle middelen (EV + WP + bus) worden gecombineerd, wordt het effect versterkt. De congestie daalt van 9,4% naar 5,6%, wat aantoont dat het beheersen van de flexibiliteit van meerdere middelen een versterkend effect heeft. Het systeem profiteert het meest van het groeiende aandeel van EV's en bussen, terwijl WP's een incrementele verbetering bijdragen.

Over het algemeen blijkt uit de gevoeligheidsanalyse het volgende:

- EV-flexibiliteit is het meest impactvol.
- Warmtepompen bieden stabiele maar kleinere voordelen, voornamelijk vanwege comfortbeperkingen.
- Bussen hebben een beperkte flexibiliteit, maar dragen toch bij aan marginale verminderingen.
- Het gecombineerde scenario biedt de sterkste congestievermindering, wat bevestigt dat diversiteit in flexibele activa het vermogen van het systeem om piekvraag op te vangen vergroot.



Figuur 18 Gevoeligheidsanalyse van congestievermindering met verschillende acceptatiegraad voor alle activa

## 4 Proof-of-principle voor flexsysteem op wijkniveau voor duurzame nieuwe woonwijken (Resultaat 3)

### 4.1 Onderzoek potentieel flexaanbod in nieuwbouwwijken

Het onderzoek in Resultaat 3 had als doel de potentiële impact van flexibiliteitsbronnen in nieuwbouwwijken te bepalen. Het onderzoek is ingericht als een onderzoeksactie binnen de nieuwbouwprojecten Cartesius en Wisselspoor in Utrecht. De flexpotentie die ontstaat door slim laden en bi-directionele deelauto's, slim aansturen van warmtepompen, warmtebuffering, stationaire batterijen en andere maatregelen om vanuit de wijk flexibiliteitsdiensten aan te bieden is onderzocht in verhouding tot de karakteristieken van de wijken.

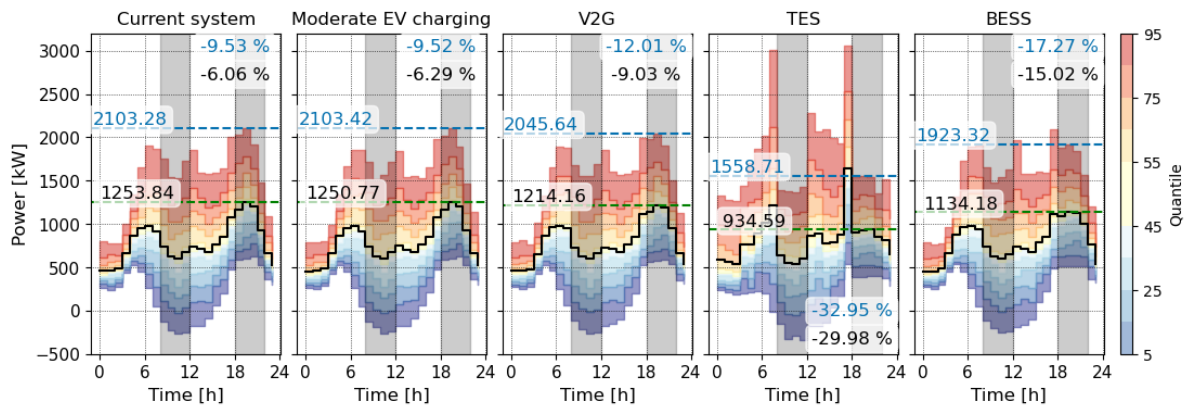
#### *Cartesius*

De innovatieve nieuwbouwwijk Cartesius in Utrecht is geïnspireerd op de theorie van de Blue Zones en heeft als doel een levendige, duurzame en groene stadswijk te worden. De stadswijk zal beschikken over een groot aantal zonnepanelen, WKO en zal gebruik maken van deelmobiliteit, op basis van bi-directionele auto's van WeDriveSolar.



*Figuur 19 Artist Impression van de wijk Cartesius in Utrecht.*

Een belangrijke component van de energievoorziening in Cartesius is het lokale warmtenetwerk en de bijbehorende centrale warmteopwek door middel van warmtepompen. De hoofdcomponenten van dit systeem zijn gemodelleerd om te onderzoeken hoe optimale coördinatie van het energiegebruik kan helpen om de netaansluiting te ontlasten.



*Figuur 20 Gebruiksprofiel van de collectieve netaansluiting als gestuurd wordt op minimaliseren van het gebruik tijdens de ochtend- en avondspits (grijze banden). De vijf scenario's maken gebruik van de aanwezige flexibiliteit, meer flexibiliteit voor gedeeltelijk laden van EV's, gebruik van V2G, gebruik van thermische opslag (TES) en gebruik van batterijopslag (BESS). Weergegeven zijn het gemiddelde dagprofiel (zwart), de kwantielen (kleuren), het piekverbruik tijdens de 'spits' voor het gemiddelde profiel en het 95% kwantiel. De percentages geven het verschil aan ten opzichte van de situatie zonder sturing.*

Dit onderzoek toonde aan dat de integratie in een all-electric nieuwbouwwijk van flexibele DER's, waaronder elektrische voertuigen (EV's), Vehicle-to-Grid (V2G)-systemen, thermische energieopslag (TES) en batterij-energieopslagsystemen (BESS), congestie kan verlichten en de netprestaties kan verbeteren. Vijf scenario's zijn uitgewerkt: een basisscenario, afvlakking van de dagcurve, verlaging van de ochtendpiek, vermindering van de avondpiek en gecombineerde vermindering van de ochtend- en avondpiek (zie Figuur 20). Voor ieder scenario werden vijf systeemontwerpen getest: een basissysteem, gematigd opladen van EV's (niet geheel vol laden), het mogelijk maken van V2G, het vergroten van de TES en het toevoegen van BESS.

Er werden twee haalbare opties voor het beheer van de netcapaciteit geïdentificeerd:

1. **ATO met volledige capaciteit met CBC-contract:** Het veiligstellen van volledige aansluitrechten via een Aansluitings- en Transportovereenkomst (ATO) en het compenseren van piekreductie via een Capaciteitsbeperkingscontract (CBC). Deze optie is duur, maar levert financieel rendement op voor de gemeenschap, waarbij V2G een kosteneffectieve oplossing voor piekbeheer is. Bovendien is een CBC op afzienbare termijn ook af te sluiten voor gedistribueerde flexbronnen.
2. **Verminderde ATO met TBTR- of NFA-contract:** Een beperkte ATO-overeenkomst aangevuld met een op tijdsblokgebaseerd transmissierecht (TBTR) of non-firm ATO (NFA)-contract, waarbij moet worden vertrouwd op systeemflexibiliteit. TES- en BESS-ontwerpen pasten het beste vanwege hun snelle respons en hoge flexibiliteit.

Uit de analyse bleek dat V2G meer potentieel vertoonde voor piekvermindering dan regulier slim laden in combinatie met ‘gematigd laden’. TES en BESS hadden veel impact, waarbij TES vooral afvlakking gedurende een dag bewerkstelligde en BESS effectief bleek te zijn voor gerichte piekuren. Hun effectiviteit was echter sterk afhankelijk van de opslagcapaciteit. Er moet rekening worden gehouden met economische en ruimtelijke beperkingen, waarbij de meerkosten voor gematigd laden en V2G als onderdeel van elektrische deelmobiliteit laag zijn. De kosten van TES per energie-eenheid liggen lager dan die voor BESS, maar TES brengt een veel groter ruimtebeslag met zich mee. BESS is efficiënter dan TES in termen van ruimte maar brengt hogere kosten met zich mee.

Dit onderzoek [27] onderstreept het belang van het balanceren van technische prestaties, economische haalbaarheid en ruimtelijke beperkingen bij het ontwerpen van energiesystemen in duurzame stedelijke nieuwbouwwijken. Naarmate stedelijke gebieden groeien, zullen deze inzichten als leidraad kunnen dienen voor de ontwikkeling van veerkrachtige, efficiënte en duurzame energiesystemen.

### *Wisselspoor*

De nieuwbouwwijk Wisselspoor heeft een eigen dynamiek: er ligt nu al een groot zonnepaneelstelsel dat op halve kracht draait omdat het vanwege netcongestie op een kleinverbruiks aansluiting is aangesloten. ROBUST heeft onderzocht in hoeverre door plaatsing van bi-directioneel ladende auto's de output van het zonnepaneelstelsel kan worden verbeterd binnen de huidige netcongestie-situatie. Dit kan waardevolle inzichten en werkmogelijkheden opleveren voor andere nieuwbouwwijken met grootschalige zonopwekking in congestiesituaties. Omdat de auto's grotendeels achter andere meters staan dan de zonnepanelen is het potentieel daarvoor binnen de huidige regelgeving nog beperkt (zie ook hieronder bij niet-technische analyse).



*Figuur 21 De wijk Wisselspoor in Utrecht.*

## 4.2 Onderzoek flexsysteem nieuwbouwwijken op niet-technologische aspecten (gebruikersonderzoek en -beïnvloeding; implicaties beleid en regelgeving)

De juridische onderzoeksgroep in ROBUST heeft onderzoek gedaan naar de consequenties van beleid en regelgeving en de ontwikkeling bij de ontwikkeling van gedistribueerde flexibiliteit in nieuwbouwwijken. Hoe kunnen nieuwbouwwijken echte 'smart grids' ontwikkelen waarin flexibiliteit kan worden gezocht en gegenereerd? Hoe kunnen bi-directioneel ladende auto's die flexibiliteit leveren worden gerealiseerd binnen de huidige wet- en regelgeving en fiscale omgeving? [29]

In het onderzoek zijn de zich ontwikkelende juridische instrumenten om netcongestie aan te pakken in kaart gebracht [31] [35]. Op basis van de regels in de Netcode kan flexibiliteit uit EV's worden ingezet voor congestiemanagement, zowel met CBC's als door redispatch-biedingen. Daarvoor moet de flexibiliteit van verschillende kleinverbruiksaan sluitingen worden geaggregeerd. Dat is mogelijk, mits die aansluitingen dezelfde BRP hebben. Dat zal het geval zijn bij publieke laadpalen, die door dezelfde CPO worden geëxploiteerd, en voor laadpalen bij bedrijvenlocaties, maar niet voor laadpalen bij particuliere EV-rijders. De flexibiliteit van deze laatste groep laders is daarom aanzienlijk moeilijker te ontsluiten onder de huidige regelgeving.

Op nieuwbouwlocaties kan bij het ontwerp rekening worden gehouden met deze eisen. Door DER's achter een collectieve aansluiting te plaatsen kan eenvoudiger toegang worden gekregen tot de congestiemanagementdienstenmarkt.

In de praktijk bleken stakeholders flexibiliteit bij voorkeur voor andere doeleinden in te zetten, zoals het realiseren van de wijk met minder transformatoren (kostenbesparing) en het mogelijk maken van grootschalige zonopwek onder congestie-omstandigheden.

Daarnaast heeft Utrecht University de mogelijkheid van bundeling van flexibiliteitsassets onder verschillende aansluitingen onder de huidige Elektriciteitswet onderzocht. Hoewel het onder de huidige regelgeving mogelijk lijkt te zijn meerdere verbindingen met het net aan te merken als één aansluiting, levert een dergelijke interpretatie van de wetgeving onaanvaardbare risico's op voor het elektriciteitsnet. Eén en ander heeft geleid tot aanbevelingen voor het aanpassen van de wetgeving zodat deze risico's kunnen worden uitgebannen.

In september 2024 en maart 2025 hebben de onderzoekers updates gegeven aan respectievelijk de stakeholdersessie van ROBUST<sup>2</sup> en aan het 'team netcongestie' van gemeente Utrecht en bij een webinar over dit onderwerp. Er bleek grote belangstelling te

<sup>2</sup> Zie <https://tki-robust.nl/robust-co-creatiesessie-inzichten-van-stakeholders/>

zijn voor haar overzicht van mogelijkheden en onmogelijkheden als gevolg van de nieuwe mogelijkheden die in de afgelopen tijd zijn verschenen om de gevolgen van de congestieproblematiek te verminderen. In april 2025 heeft ROBUST daarom een algemeen toegankelijke webinar over dit onderwerp georganiseerd. Daarin kwamen onder meer de volgende nieuwe ontwikkelingen aan bod:

- Alternatieve transportrechten: non-firm capaciteitscontracten, tijdsduur- en tijdsblokgebonden rechten
- Maatschappelijk prioriteren
- Congestieverzachters
- Aansluittermijnen voor grote afnemers
- Time-of-use
- GOTORK (Gebruik Op Tijd Of Raak het Kwijt)
- Groepstransportovereenkomst
- Dubbele energiebelasting

De webinar is bijgewoond door meer dan 50 deelnemers, er waren goede vragen en levendige discussies. Opnames en de slides zijn online beschikbaar via [42].

#### 4.3 Extrapolatie naar stadsregioniveau en validatie aan programma van eisen

Op dit moment worden nieuwbouwwijken in snel toenemende mate gepland en gerealiseerd met congestiemanagementmaatregelen die leiden tot verlaagde netbelastingen. De huidige regelgeving maakt het niet makkelijk om congestiemaatregelen te bundelen vanuit zowel woningen als centrale voorzieningen zoals grote PV-systemen, laadpalen, WKO, warmtebuffers en centrale batterijen. Het zou zowel voor de realisatie van nieuwbouwwijken als voor het congestieprobleem zeer aantrekkelijk zijn als nieuwbouwwijken makkelijker met slimme netten zouden kunnen worden gerealiseerd dan nu in Nederland toegestaan is.

Idealiter zouden woonwijken als ‘congestieverzachters’ kunnen worden ontworpen (dat wil zeggen: dat ze de netcongestie niet zouden laten toenemen maar afnemen), maar op dit moment is dat nog een grote technisch-economische uitdaging voor nieuwbouwwijken.

Op het niveau van het net over een gehele stad is te verwachten dat de netimpact van nieuwbouwwijken met slimme netten beperkt is ten opzichte van slim en bi-directioneel laden van EV's. Dit vooral omdat de aantallen woningen in het algemeen beduidend kleiner zijn dan de bestaande woningvoorraad. Bovendien geeft de analyse in 3.3 het inzicht dat de invloed van het flexibel bedrijven van warmtepompen in het algemeen kleiner is dan van slim en bi-directioneel laden van EV's.

## 5 Onderzoek flexsysteem op wijkniveau voor duurzame werklocaties (Resultaat 4)

Het onderzoek in Resultaat 4 is ingericht als een pilot / onderzoeksactie aan het energiesysteem van twee locaties: Het Utrecht Science Park (USP, met als deellocatie apart onderzoek naar parkeergarage Olympos) en de Triodos Bank in Driebergen.

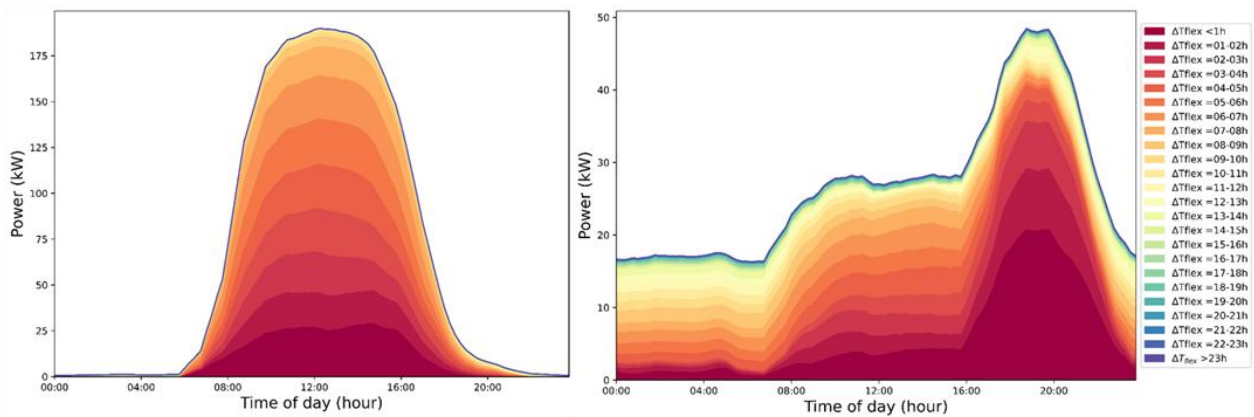
### 5.1 Onderzoek mogelijk flexaanbod en -vraag in werklocaties

#### 5.1.1 Utrecht Science Park



*Figuur 22 Parkeergarage P-Olympos op het Utrecht Science Park.*

Het Utrecht Science Park is een grote werk- en woonlocatie die aankoerst op een verzwarende van de centrale netaansluiting, niet alleen omdat de energievraag én -productie toeneemt maar ook omdat enkele grote WK-eenheden de komende jaren worden afgeschakeld. Daarnaast wordt een sterke toename van het aantal laadpunten voor elektrische auto's voorzien. In het vierde projectjaar zijn twee onderzoeksacties uitgevoerd. In de parkeergarage Olympos waar naast een aantal laadpunten ook zonnepanelen en een stationaire batterij staan, heeft ROBUST onderzocht hoe veel meer laadpunten kunnen worden geplaatst zonder de netaansluiting te overbelasten, door V2G toe te passen. Er is ook geanalyseerd hoe de parkeergarage kan profiteren van het minimaliseren van de oplaadkosten voor elektrische voertuigen en het maximaliseren van het eigen PV-verbruik.



Available flexibility of aggregated EV demand for private (left) and company (right) EVs for simulated data in 15-minute resolution.

Figuur 23 Analyse van de flexibiliteit van de laadvraag voor EV's (links: particulier; rechts: bedrijfsauto's) in Olympos

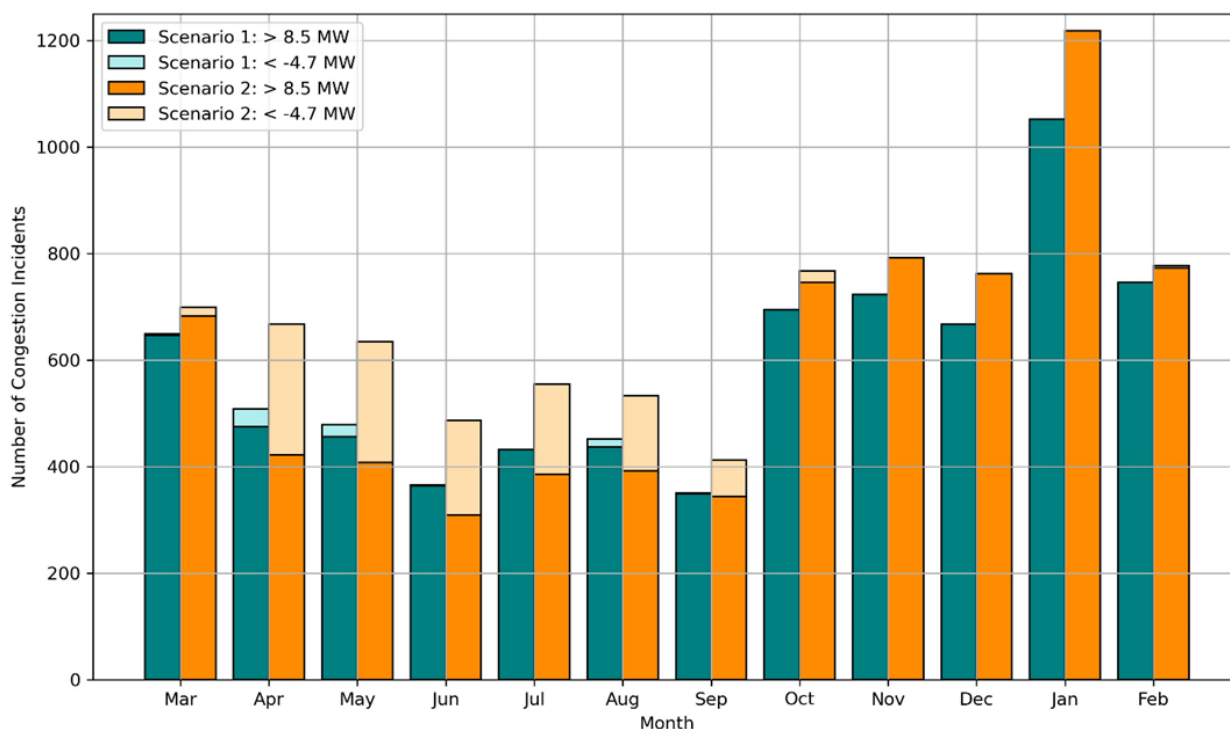
Optimalisatie van V2G-laadstrategie in samenhang met zonne-opbrengst leidt tot een groter potentieel voor laadpalen op de locatie, omdat de pieken in de laadvraag deels samenvallen met die in de zonopbrengst (zie Figuur 23). Kostenoptimalisatie laat zien dat er met slim laden aanzienlijke kostenbesparing is te realiseren; V2G leidt niet direct tot veel grotere besparingen dan slim laden in deze situatie (zie Figuur 24).

	BAU	Cost Opt.		PV Opt.	
		V1G	V2G	V1G	V2G
EV Charging[€]	86,674	73,778	76,868	81,442	84,952
EV Discharging[€]	-	-	-5,446	-	-5,020
Battery Degradation[€]	-	-	1,469	-	2,465
BESS[€]	-	-3,926	-	-1,006	-1,003
PV[€]	-70,970	-70,970	-	-70,970	-
Building[€]	14,062	14,062	-	14,062	-
Total[€]	29,765	12,944	12,057	23,528	24,485

	BAU	Cost Opt.		PV Opt.	
		V1G	V2G	V1G	V2G
PV gen. [kWh]	329,327	329,327		329,327	
PV self-con. [kWh]	178,322	209,327	214,022	239,116	245,647
Total self-con. [%]	54.15	63.56	64.99	72.61	74.59

Figuur 24 Kostenoptimalisatie voor PV, batterij en slim/V2G ladende laadpalen in Olympos.

Het tweede traject beziet het Utrecht Science Park als geheel in een scenario voor het jaar 2030. Daartoe zijn het aanbod en de vraag in 2030 gemodelleerd. De resultaten laten zien dat er veel netcongestie wordt verwacht als gevolg van de verwachte toename van de duurzame opwek, laadvraag voor EV's, de verwachte beëindiging van de exploitatie van de WKK-opwek op het complex en het elektrificeren van gebouwverwarming.



Figuur 25 Verwacht jaarlijks aantal netcongestiemomenten voor het USP in 2030. De centrale netaansluiting van USP heeft een capaciteit van 8,5MW voor afname en 4,7MW voor invoeding.

De belasting voor het laden van EV's en dekking van de verwarmingsvraag werden gemodelleerd als flexibele activa om congestie te verminderen. De resultaten laten zien dat het optimaliseren van de verwarmingsbelasting over het algemeen een grotere impact heeft op het verminderen van congestie dan het optimaliseren van de oplaadschema's voor EV's, voornamelijk vanwege de grotere vraag naar verwarming in vergelijking met de belasting door EV's. Bi-directioneel opladen van EV's zou echter een grotere rol kunnen spelen als het aantal EV's en oplaadpunten op de campus toeneemt.

Twee scenario's met verschillende RES-capaciteiten (PV en wind) werden over een periode van twee weken geanalyseerd, waarbij de slechtst denkbare congestieomstandigheden werden gesimuleerd. In scenario J1 (januari, RES-integratiescenario 1) werden alle incidenten van overschrijding van de gecontracteerde capaciteit opgelost door optimalisatie van het opladen van EV's, terwijl in scenario J2 (januari, RES-integratiescenario 2) optimalisatie van de verwarming meer bijdroeg aan het verminderen van incidenten. Voor de scenario's voor augustus deed zich geen overschrijding voor, zodat het effect van de optimalisatie niet kon worden geëvalueerd, zoals blijkt uit Tabel 2.

Bij het analyseren van overschrijdingen van de terugleverlimiet blijkt uit de resultaten (Tabel 3) dat EV-optimalisatie geen significant effect had, terwijl verwarmingsoptimalisatie het aantal incidenten aanzienlijk verminderde. Dit verschil kan grotendeels worden verklaard door de grotere omvang en flexibiliteit van verwarmingsbelastingen.

Tabel 2 Het aantal incidenten waar de gecontracteerde capaciteit werd overschreden en de procentuele wijziging.

Scenario	Baseline	EV optimization	% change (EV) compared to baseline	Heating optimization	% change (heating) compared to baseline	% change (total) compared to baseline
J1	26	0	100%	0	-	100%
J2	36	34	5.6%	2	94%	94.4%
A1	0	0	-	0	-	-
A2	0	0	-	0	-	-

Tabel 3 Het aantal incidenten waarbij de feed-in-limiet voor alle scenario's wordt overschreden en de procentuele verandering.

Scenario	Baseline	EV optimization	% change (EV) compared to baseline	Heating optimization	% change (heating) compared to baseline	% change (total) compared to baseline
J1	0	0	-	0	-	-
J2	2	2	0%	0	100%	100%
A1	10	10	0%	5	50%	50%
A2	73	73	0%	27	63%	63%

### 5.1.2 Triodos Bank

Bij de Triodos Bank in Driebergen-Rijssenburg is een onderzoekstraject uitgevoerd om de netbelasting van het complex te verlagen. Dit meermaals met milieuprijzen bekroonde gebouw wordt geheel elektrisch verwarmd met zonnepanelen, en erbij ligt een groot laadplein met 62 bi-directionele laadpalen en een overkapping van zonnepanelen. Probleem was dat in de ochtenden soms de aansluitwaarde van de netaansluiting werd overschreden, door een combinatie van piekverbruiken van de warmtepompen in het gebouw, in de keukens en op het laadplein. Onderliggend was een probleem in de centrale aansturing van deze palen; dat is in 2024 opgelost. Het probleem is daarmee echter niet geheel opgelost; onderzoek naar verdere oplossing is nog gaande.



*Figuur 26 Het bi-directionele laadplein met overkapping met zonnepanelen bij het hoofdkantoor van de Triodos Bank.*

## 5.2 Onderzoek op niet-technologische aspecten

De resultaten van het onderzoek naar belemmeringen aan regelgeving (zie het vorige hoofdstuk) zijn gepresenteerd aan de beheersorganisatie van USP en Triodos Bank. USP plant verder onderzoek naar verduurzamen van de energievoorziening in de komende jaren. De beheersorganisatie verkent samen met gemeente en netbeheerder de mogelijkheden voor nieuwe congestiemanagementcontracten in samenhang met buffering, slim / bi-directioneel laden en andere flexmaatregelen.

## 5.3 Extrapolatie naar stadsregioniveau

Werklocaties zoals USP en Triodos (maar ook andere grote, duurzame werklocaties) hebben een aanzienlijk potentieel om hun energieverbruik en netbelasting te optimaliseren. Het zal daarbij vooral gaan om optimalisatie ‘achter de meter’: het verlagen van verbruikspieken op congestiemomenten en door slimme inzet van warmtepompen, EV-laadpunten en duurzame opwek. Het implementeren van congestiemanagementcontracten zal de voornaamste bijdrage leveren vanuit zulke werklocaties aan het flexibiliteitspotentieel in een stad. Daarnaast zou op termijn mogelijk een bijdrage kunnen ontstaan door het leveren van congestiemanagementdiensten bijvoorbeeld via GOPACS.

## 6 Onderzoek flexsysteem voor stadsmobiliteit & stadsdistributie (Resultaat 5)

### 6.1 Onderzoek mogelijk flexaanbod stadsmobiliteit / distributie

Het onderzoek in Resultaat 5 is ingericht als een onderzoeksactie aan twee mobiliteitsvloten:

- De grote laadremises van busbedrijf Qbuzz in Utrecht;
- De vloot elektrische onderhoudsbusjes van Stedin.

#### 6.1.1 QBuzz laadremise

Qbuzz is in 2023 toegetreden tot het ROBUST-consortium. Het bedrijf heeft 68 elektrische bussen in bedrijf in Utrecht en heeft samen met HU, UU, TU Delft en USI onderzoek uitgevoerd naar de voordelen van slim laden van deze bussen. Het onderzoek heeft zich gericht op een proefproject waarin een afgeschreven batterij van een e-bus is omgebouwd tot second-life stationaire batterij op de laadremise. De pilot heeft gediend ter onderbouwing van onderzoek van HU in hoeverre, in samenhang met slim laden van de bussen, opschaling met meer van dergelijke second-life batterijen zinvol is, wat tot aanzienlijke flexibiliteit van het laadplein als geheel zou kunnen leiden.

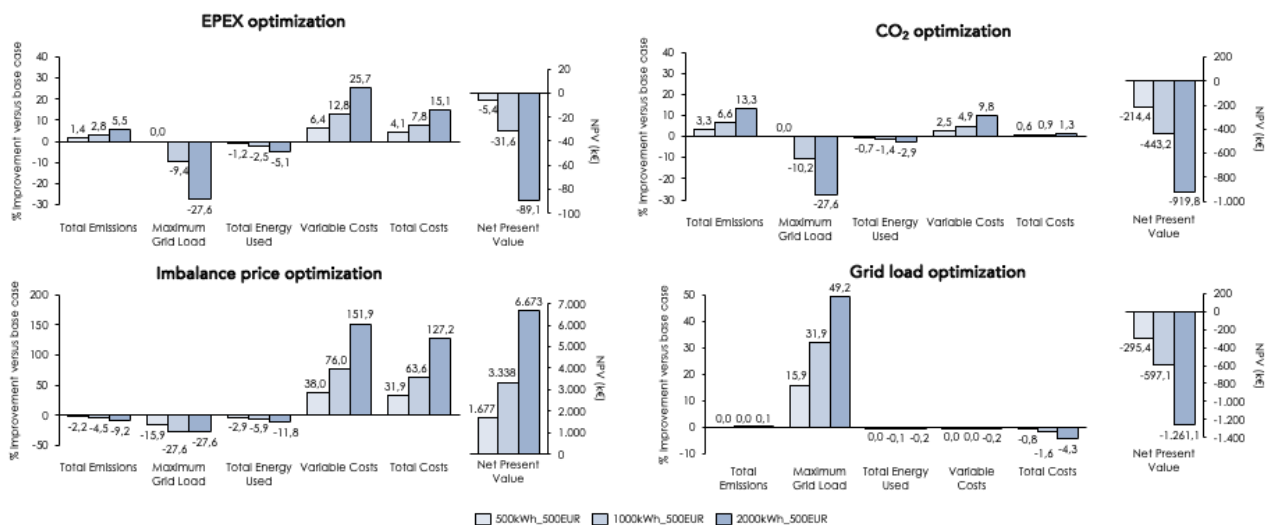
In het onderzoek is praktijkervaring opgedaan met betrekking tot de werking en mogelijkheden van zo'n second-life stationaire batterij, en aspecten die bij realisatie naar voren kwamen: refurbishment & aansluiting, aansturing via een battery management system (BMS) en optimalisatie. De opbrengsten die de optimalisatie zouden kunnen genereren, zijn door de HU modelmatig getoetst. De container waarin de refurbished batterij is geplaatst, is na aanzienlijke vertraging (onder meer door vertraagde levering van essentiële onderdelen uit Azië) geïnstalleerd. Vorig jaar werd ingebruikname van de stationaire batterij vertraagd omdat de veiligheidsregio en andere instanties zich eerst nader moesten verdiepen in de mogelijke (brand)risico's. In 2025 is een vergunning tot in gebruikstelling verleend. Ondertussen bleken echter de aansturing van de refurbished batterij en koppeling aan het energiemanagementsysteem tot technische issues te leiden. Uiteindelijk zijn in 2025 de eerste metingen en tests met de batterij uitgevoerd.



Figuur 27 Container met refurbished batterij op de laadremise voor e-bussen van Qbuzz in Utrecht.

HU heeft een business case ontwikkeld voor een stationaire batterij in lijn met Qbuzz batterij-karakteristieken. Input van deze business case is een (financiële) optimalisatie in de Qbuzz-context op basis van een bestaand batterijmodel en optimalisatiealgoritme.

De resultaten laten zien dat optimalisatie op onbalansmarkten als enige strategie een positieve Netto Contante Waarde zou opleveren bij opschaling van de stationaire batterij. Wanneer de investeringskosten van de batterij (in deze figuur gesteld op 500 euro/kWh) kunnen dalen, worden ook andere strategieën aantrekkelijk. Gegeven de technische uitdagingen waar tegenaan gelopen is bij het geschikt maken van de hergebruikte batterij, en de sterk dalende kosten voor nieuwe stationaire batterijen, lijkt inzet van nieuwe batterijen voor deze use case voorsnog interessanter dan second-life inzet van busbatterijen. Bij verdere doorontwikkeling van de techniek zouden de refurbished batterijen in de toekomst wellicht alsnog economisch interessant kunnen worden.



Figuur 28 Berekening van de NPV (Netto Contante Waarde) van stationaire batterij onder verschillende strategieën.

Per eind 2025 loopt de concessie van Qbuzz af en zal het openbaar busvervoer in Utrecht worden verzorgd door een nieuwe vervoerder. De vervolgpunten zijn om de container met de second-life batterij te verplaatsen naar een remise in een van de andere concessies van Qbuzz en deze te vullen met batterijpakketten. Een van de mogelijke nieuwe locaties is de busremise op Schiermonnikoog. Hier kan de batterijcontainer gebruikt worden om optimaler gebruik te maken van de beperkte netwerkaansluiting.

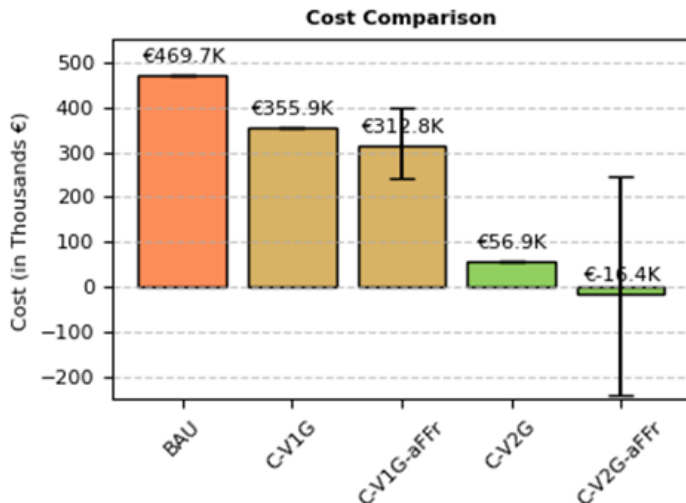
### 6.1.2 Stedin onderhoudsbusjes

Netbeheerder Stedin heeft in Rotterdam en de rest van haar verzorgingsgebied een grote vloot elektrische busjes voor net-onderhoud, die al over V2L capaciteit beschikken (batterij t.b.v. elektrisch gereedschap).



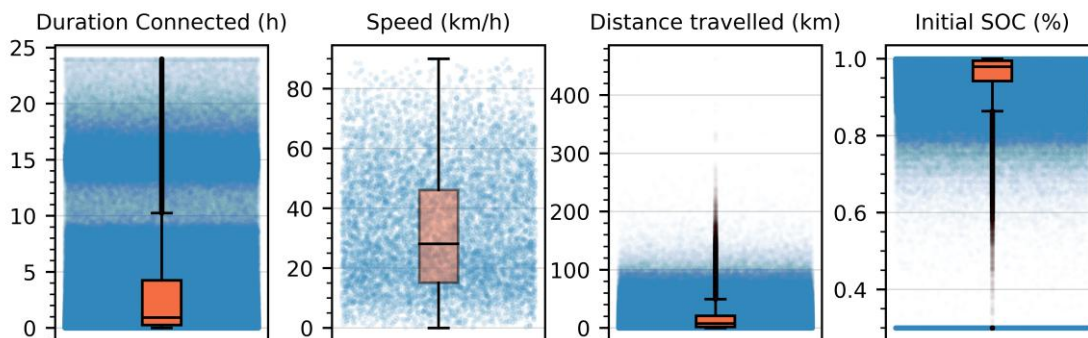
*Figuur 29 Onderhoudsbusjes van Stedin met V2L-faciliteit t.b.v. onderhoudsmachines*

TU Delft heeft samen met Stedin, ElaadNL en USI een onderzoek uitgevoerd naar het potentieel van V2G maken van deze vloot. De vraag was wat daarvan de baten en kosten zouden zijn en of V2G inzetten van de busjes praktisch en economisch haalbaar is. Voor de laatste vraag is ook samengewerkt met het SCALE-project. TU Delft heeft op basis van gedetailleerde gebruiksdata van de huidige e-busjes van Stedin analyses gemaakt. De totale laadkosten voor de geanalyseerde groep van circa 1200 voertuigen in verschillende scenario's staan vergeleken in Figuur 30. De laadkosten nemen sterk af bij V2G-bedrijf (gestuurd op de day-aheadprijzen) ten opzichte van ongecontroleerd en van slim laden; deelname aan de aFRR-markt zou daarbij extra voordeel opleveren.



Figuur 30: Berekende laadkosten voor vloot e-busjes van Stedin: BAU: ongestuurd laden; C-V1G: netbewust laden; C-V1G-aFRR: Netbewust laden en handelen op de aFRR-markt; C-V2G: bi-directioneel laden; C-V2G-aFRR: bi-directioneel laden en handelen op de aFRR-markt.

In Figuur 31 staan enkele karakteristieken van het laadgedrag van de busjes. Te zien is dat de busjes meestal op een dag relatief korte afstanden rijden, en dat de accu dus vaak nog relatief vol is wanneer een busje weer aan de laadpaal komt. Dit levert een vergroot potentieel op voor slim en bi-directioneel laden. Uitgangspunt was dat de busjes bij inbedrijfname altijd weer geheel volle accu's hebben – wanneer dat zou worden verruimd (met het oog op de korte gereden afstanden hoeft de accu niet geheel vol te zijn bij vertrek) is een groter potentieel van V2G te verwachten dan nu berekend.



Figuur 31 Verdelingen van een aantal monitoringresultaten op dagbasis van de e-busjes. De box strekt zich uit van het eerste tot het derde kwartiel van de gegevens, met een lijn op de mediaan. Te zien is dat de gemiddelde dagelijks gereden afstanden klein zijn en dat daarom de batterijen meestal nog bijna vol zijn bij aankomst op de laadpaal.

## 6.2 Onderzoek flexsysteem stadsmobiliteit / distributie op niet-technologische aspecten

### 6.2.1 Qbuzz

Als het gaat om de niet-technische aspecten richtte het onderzoek bij Qbuzz zich op zaken zoals de beste prijsprikkels en andere prikkels om stakeholders (beheerders laadlocaties, vlooteigenaren) en eindgebruikers te verleiden actief deel te nemen aan het flexsysteem, en de mogelijkheden en beperkingen binnen de regelgeving daartoe. Handhaving van de huidige bus-exploitatie zoals die is vastgelegd in de concessie is hier het startpunt: wat zijn de mogelijkheden voor QBuzz om niet alleen inkoopvoordeel of verlaging van de piekbelasting te realiseren ('achter de meter') maar om ook op een platform als, bijvoorbeeld, GOPACS deel te nemen?

Uit het in het voorjaar van 2025 door de HU uitgevoerde diepte-interview met zowel de concessiehouder (Qbuzz) en de concessieverlener (Provincie Utrecht) kwam naar voren dat openbaarvervoerconcessies zich ontwikkelen om netwerkconnectiviteit en slimme laadstrategieën om netcongestie te voorkomen. Beschikbaarheid van netcapaciteit is een doorslaggevende factor geworden in aanbestedingen, naast strategische locaties van busdepots met laadinfrastructuur. Concessiehouders ondervinden echter vertragingen omdat zij pas een netaansluiting kunnen aanvragen nadat zij het adres hebben verworven, wat problematisch is gezien de lange doorlooptijden. Provincies, als concessieverlenende autoriteiten, worstelen met dubbele verantwoordelijkheden: het handhaven van zero-emissiedoelstellingen tegen 2030 en het beheren van congestie als vergunningverlenende instantie. Netbeheerders wijzen capaciteit toe op basis van 'first come, first served', hoewel er uitzonderingen bestaan voor projecten met grote maatschappelijke impact.

Netbeheerders zijn nu wettelijk verplicht om groepscontracten en tijdgebonden contracten aan te bieden. De overgang naar zero-emissiebusen vereist aanzienlijke investeringen in infrastructuur en voertuigen, die moeilijk terug te verdienen zijn binnen concessieperioden van 10–15 jaar. Energietransacties zouden kunnen helpen kosten te compenseren, maar de voordelen blijven onduidelijk en zullen waarschijnlijk geen grote invloed hebben op het aanbestedingsproces. Pogingen om gereviseerde e-busbatterijen te gebruiken voor energieopslag laten zien dat deze optie financieel onaantrekkelijk lijkt vanwege de complexiteit en een minimaal kostenvoordeel ten opzichte van nieuwe systemen. Hoewel Vehicle-to-Grid-technologie potentieel biedt, maken technische beperkingen en batterijdegradatie het momenteel een lage prioriteit.

### 6.2.2 Stedin onderhoudsbusjes

Voor Stedin is het onderzoek van belang geweest als onderbouwing van de businesscase om bij het vernieuwen en verder elektrificeren van hun vloot onderhoudsbusjes de V2G-techniek te omarmen. Stedin heeft als extra motivatie 'practice what you preach': door haar eigen EV-vloot voorop te laten lopen in netbewust en bi-directioneel laden, draagt Stedin zelf bij aan het congestiemanagement dat ze ook van andere bedrijven vragen.

Stedin is nu aan het voorbereiden dat een aantal V2G-laadpunten in de publieke ruimte (in de buurt van de woonadressen van de onderhoudsmonteurs, omdat die vaak 's avonds de busjes daar parkeren) wordt geplaatst. Het doel van de organisatie is om alle onderhoudsbusjes in 2030 bi-directioneel in bedrijf te hebben.

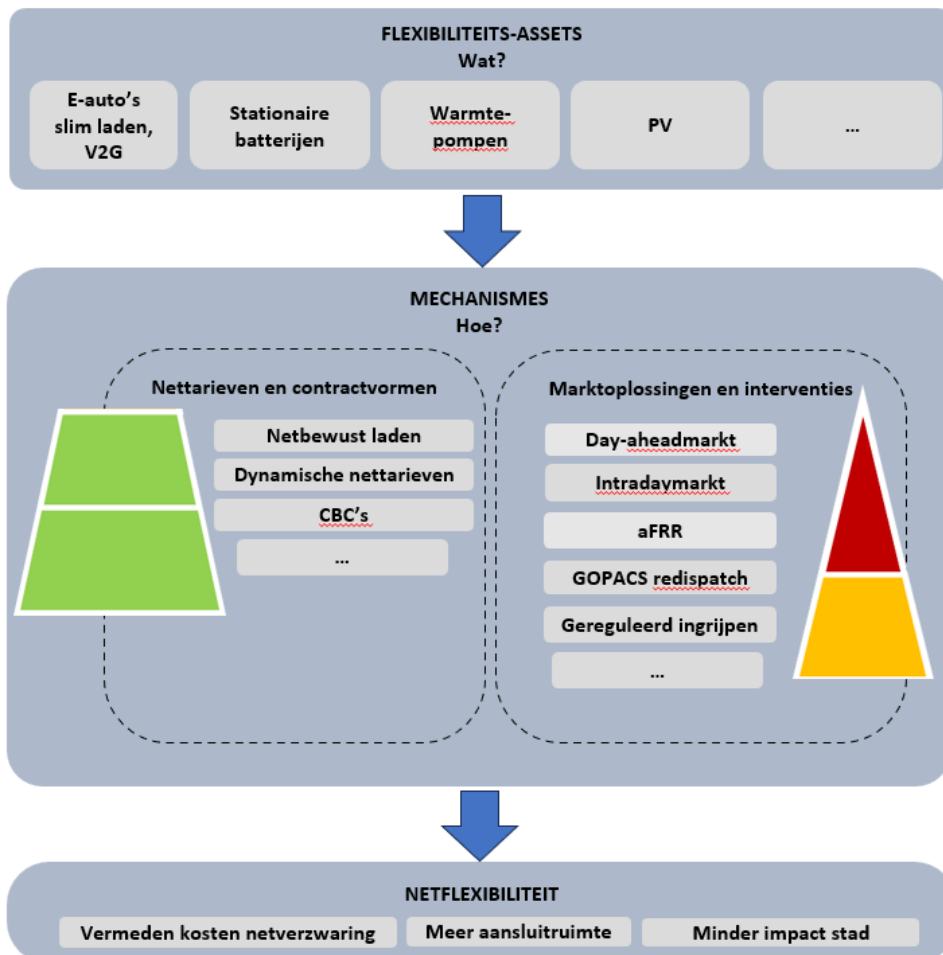
### 6.3 Extrapolatie naar stadsregioniveau

Het opschalingspotentieel voor e-busjes en andere elektrische bedrijfsvoertuigen is aanzienlijk, maar voorlopig kleiner dan van personenauto's. Dit omdat de aantallen e-bussen en elektrische bedrijfsvoertuigen ook in de toekomst lager zullen liggen dan de aantallen elektrische auto's. Voor bussen is dit geïllustreerd in de analyse in 3.3. Voor E-busjes is het aantal hoger dan voor bussen (circa 1 miljoen in Nederland), dus ondanks dat het daarbij vooral zal gaan om laag- of middenvermogenladers met vergelijkbare vermogens als die voor personenauto's, is daar eerder een aantrekkelijk potentieel te verwachten.

## 7 Proof-of-principle van integraal flexsysteem-ontwerp op stadsregioniveau (Resultaat 6)

### 7.1 Synthese tot integraal flexsysteemontwerp en analyse flexsysteem

De hierboven beschreven activiteiten en onderzoeksvelden komen samen in het hieronder beschreven systeem om flexibiliteit op het net, en vooral congestiemanagement, te versterken. Afgezien van congestiemanagement bij grote afnemers, wat al geruime tijd in de belangstelling staat, wordt het in stadsregio's steeds beter mogelijk om flexibiliteit ook vanuit kleinere bronnen in te zetten op het net. In Figuur 32 is dat flexibiliteitssysteem zoals het de afgelopen jaren geleidelijk vorm heeft gekregen, gevisualiseerd. De afgelopen jaren is een waaier van nieuwe mechanismes verschenen of in ontwikkeling die grootverbruikers maar ook kleine flexbronnen in staat moeten stellen om bij te dragen aan congestiemanagement. Die mechanismes moeten gezamenlijk en in goede balans leiden tot maximale flexibiliteit op het net.

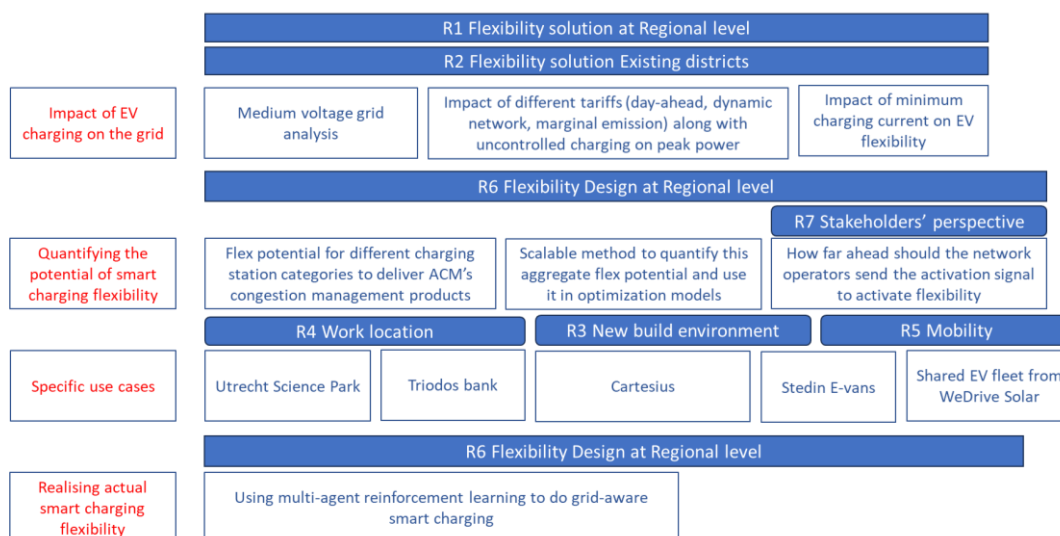


Figuur 32 Visualisatie van het flexibiliteitssysteem zoals onderzocht in ROBUST. Nieuwe gedistribueerde flexibiliteitsbronnen kunnen via een zich ontwikkelend arsenaal aan mechanismes flexibiliteit en congestiemanagement bieden. Met de gekleurde vlakken wordt aangegeven dat de linker maatregelen zich richten op de onderste twee lagen van de flexibiliteitspiramide (zie Figuur 5) en de rechter maatregelen op de bovenste twee lagen.

## 7.2 Uitwerking modelbasis

De modelbasis van ROBUST is uitgewerkt tot:

- i. Een model dat het potentieel bepaalt voor het leveren van verschillende flexibiliteitsproducten met een EV-vloot; de resultaten op basis van historische data kunnen op hun beurt gebruikt worden voor voorspellende modellen voor het leveren van producten in de toekomst.
- ii. Verschillende optimalisatiemodellen voor het minimaliseren van kosten en emissies;
- iii. Een voorspelmodel voor het voorspellen van parameters die benodigd zijn voor het effectief inzetten van slim laden, en het aanbieden van flexibiliteitsproducten;
- iv. Een optimalisatiemodel voor het laden onder dynamische nettarieven.



Figuur 33 Overzicht van de model- en rekenstudies uitgevoerd in ROBUST

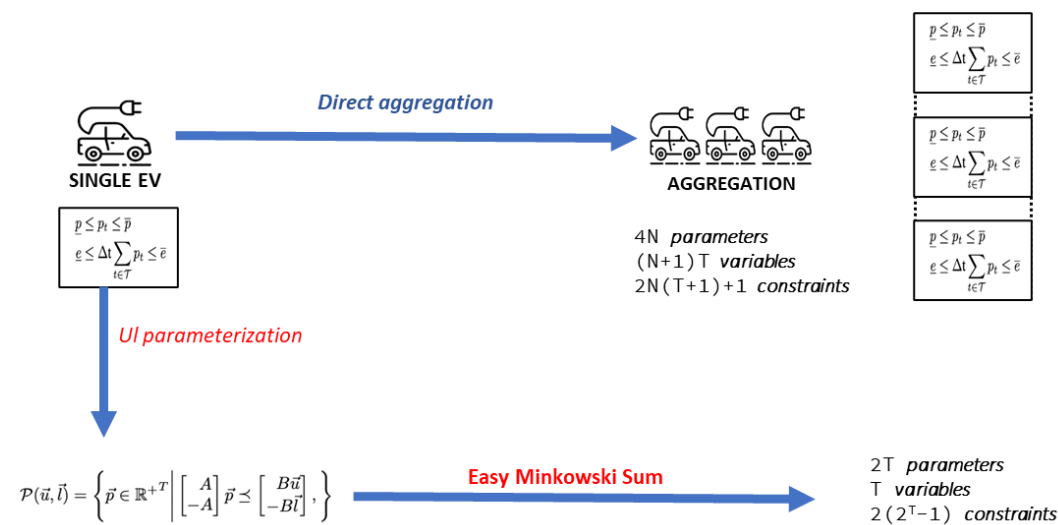
Deze modellen zijn geïntegreerd met elektriciteitsnetsimulatiemodellen om de impact op het elektriciteitsnet te bepalen voor relevante scenario's (combinaties van netwerk, prikkels en gedrag). Hierbij is gekeken naar verschillende aggregatieniveaus en waar nodig specifieke netwerken. De modellen beschouwen de effecten van het bandbreedtemodel en andere tariefmodellen (systeemplagen 1 en 2 in Figuur 5), in combinatie met de effecten van vrijwillige redispatch en ingrepen van de netbeheerders (systeemplagen 3 en 4).

## 7.3 Verdere uitwerking flexibiliteitspotentieel

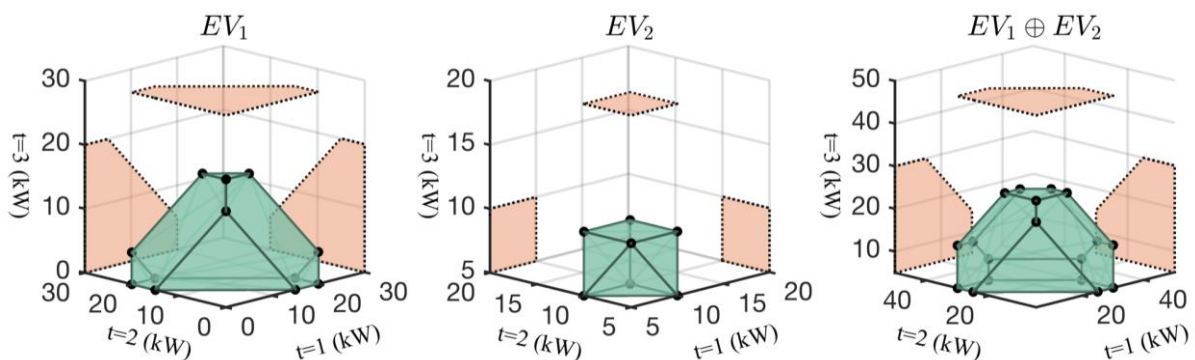
De werking en impact van een aantal van mechanismes zijn in de voorgaande hoofdstukken onderzocht. Hieronder worden resultaten gegeven van nadere analyses van de in Figuur 32 genoemde mechanismes.

### 7.3.1 Kwantificeren van flexibiliteit

Het kwantificeren van de *collectieve* flexibiliteit van slim of bi-directioneel laden van een vloot EV's is complex, aangezien de laadflexibiliteit op een bepaald moment afhangt van laadkeuzes tijdens eerdere momenten en verschillende voertuigen ieder andere laadparameters hebben voor een sessie (aankomsttijd, vertrektijd, energievraag, laadvermogen). De randvoorwaarden voor het laden van individuele voertuigen kunnen daardoor niet simpelweg worden opgeteld om een beschrijving te geven van de collectieve flexibiliteit van een groot aantal voertuigen. Binnen het project is er een nieuwe, schaalbare methode ontwikkeld om deze flexibiliteit te kunnen kwantificeren, op basis van efficiënte aggregatie van laadsessies, zie Figuur 34 en Figuur 35. De methode is uiteengezet en gepubliceerd in [50].



Figuur 34 Nieuwe aggregatiemethode voor flexibiliteit uit het laden van EV's



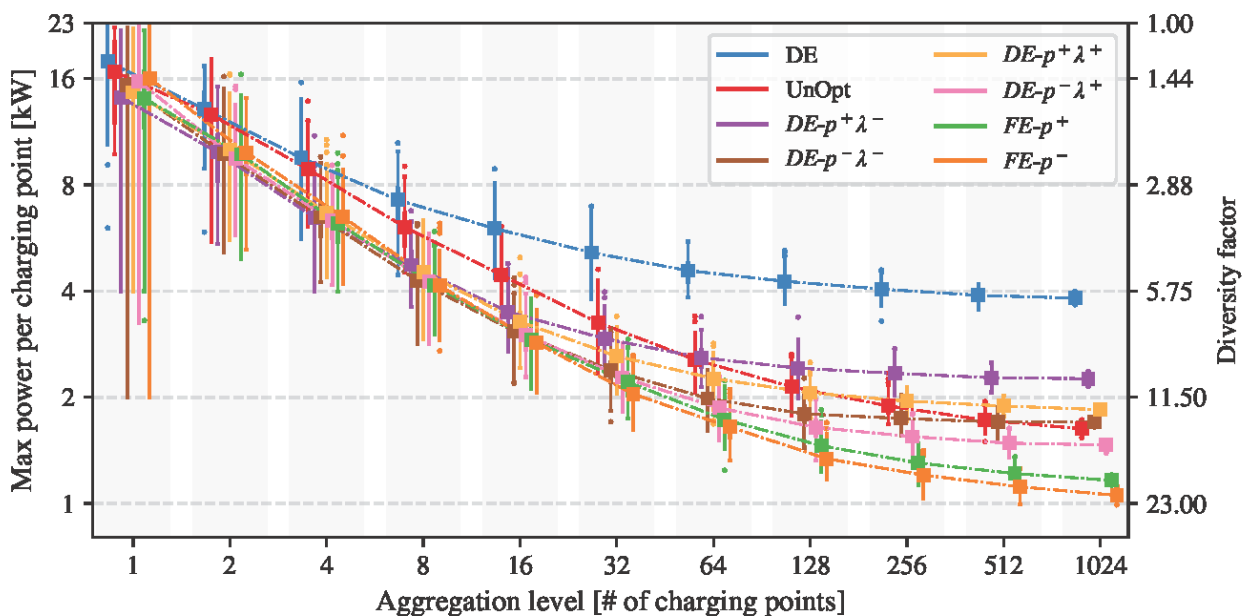
Figuur 35 Inzicht in hoe de ontwikkelde methode de flexibiliteit van EV's kwantificeert voor 2 verschillende laadsessies (linker twee figuren) en voor de geaggregeerde laadsessies.

### 7.3.2 Piekbelasting van een vloot EV-laders bij verschillende tariefstellingen

De piekvraag van laadstations op verschillende aggregatieniveaus is van bijzonder belang voor DSO's. Om de piekvraag te beoordelen, heeft TU Delft onderzocht wat de statistiek is van het piekvermogen van de som van  $N$  willekeurige laadpunten is, op basis van de in het project gebruikte laadsessies. Dit proces werd uitgevoerd voor aggregatieniveaus  $N = 1, \dots, 1024$ , en voor verschillende prikkels voor laadsturing (combinaties van dynamische prijzen en nettarieven). Figuur 36 toont het piekverbruik per jaar (genormaliseerd naar het aantal CP's) in intervallen van 15 minuten, inclusief de statistische variatie van deze waarde over 100 willekeurige selecties van CP's uit de dataset.

De diversiteitsfactor is een nuttige maatstaf voor de diversiteit van het laadgedrag. Deze wordt gedefinieerd als de som van de piekvermogens van de laadpalen gedeeld door het daadwerkelijk gemeten piekverbruik. De diversiteitsfactor neemt toe bij grotere aggregaties. De één-op-één-relatie tussen het piekvermogensverbruik en de diversiteitsfactor wordt gebruikt om de rechters in de figuur te definiëren.

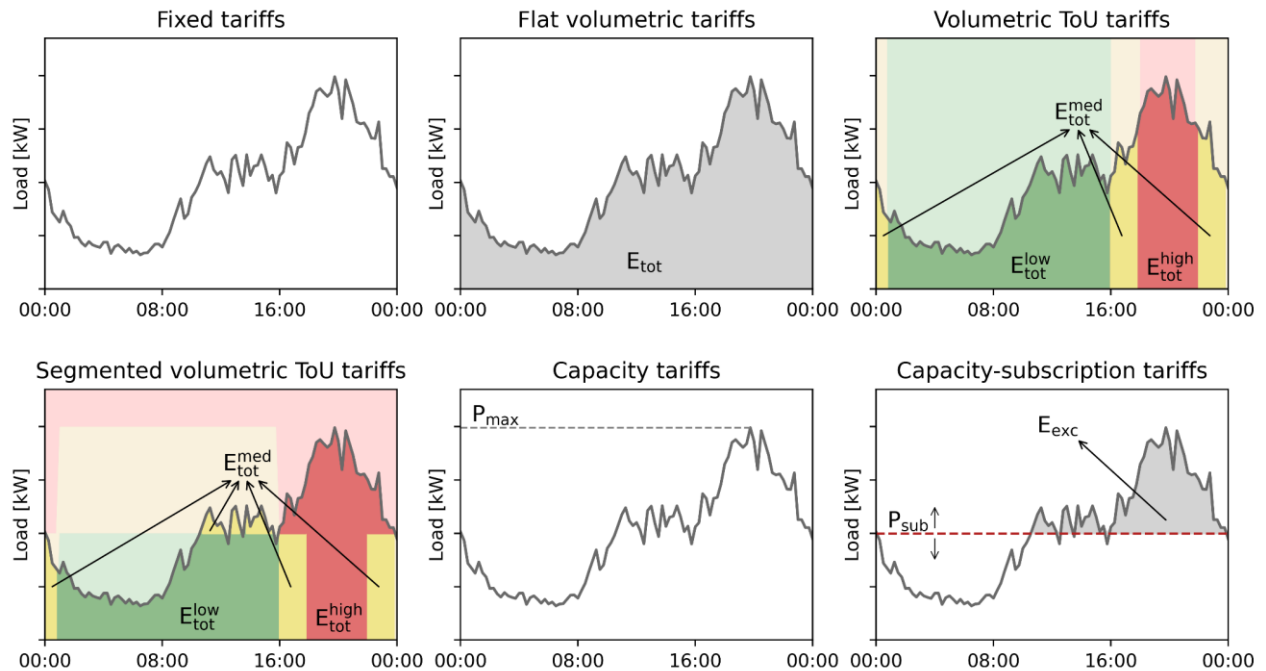
Van de acht onderzochte scenario's worden de hoogste piekvermogens waargenomen bij sturing op dynamische energieprijzen (DE) en de laagste bij vaste energieprijzen met gesegmenteerde tarieven ( $FE-p^+\lambda^-$ ), d.w.z. een tarief met meerdere vermogensafhankelijke stappen. In alle gevallen leidt de toevoeging van een gesegmenteerd netwerk-tarief tot een effectieve vermindering van het piekvermogensverbruik, waarbij lagere vermogensdrempels ( $p^-$ ) en hogere tarieven ( $\lambda^+$ ) effectiever zijn. In [8] staan de methodiek en de resultaten volledig beschreven.



Figuur 36 Verdeling van het jaarlijkse maximale vermogen per laadpunt bij verschillende aggregatieniveaus voor verschillende dispatchstrategieën. De diversiteitsfactor die bij elk vermogensniveau hoort, is aangegeven op de rechters (op basis van een maximum vermogen van 23 kW per laadpunt).

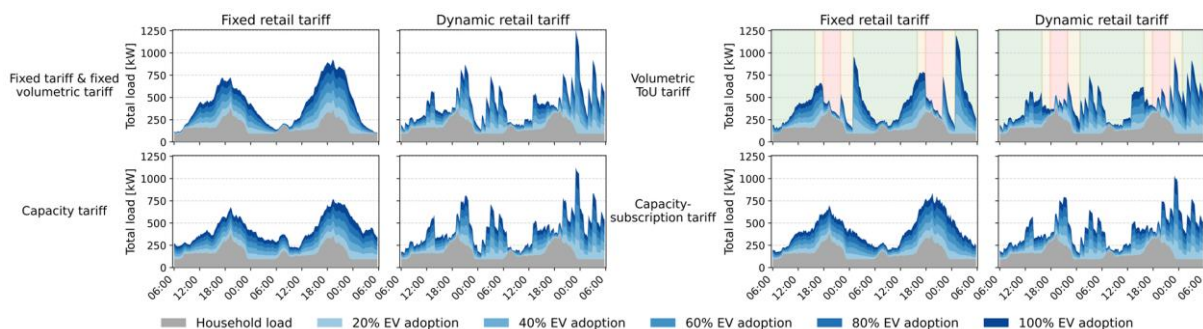
### 7.3.3 Impact nieuwe nettariefstelsels

Vooruitlopend op de discussie over een nieuw nettarievenstelsel, heeft ROBUST de impact van een aantal nieuwe aanpakken voor nettarieven op de netbelasting van groepen slim ladende auto's nader onderzocht. In Figuur 37 zijn de onderzochte nettarief-aanpakken gevisualiseerd.



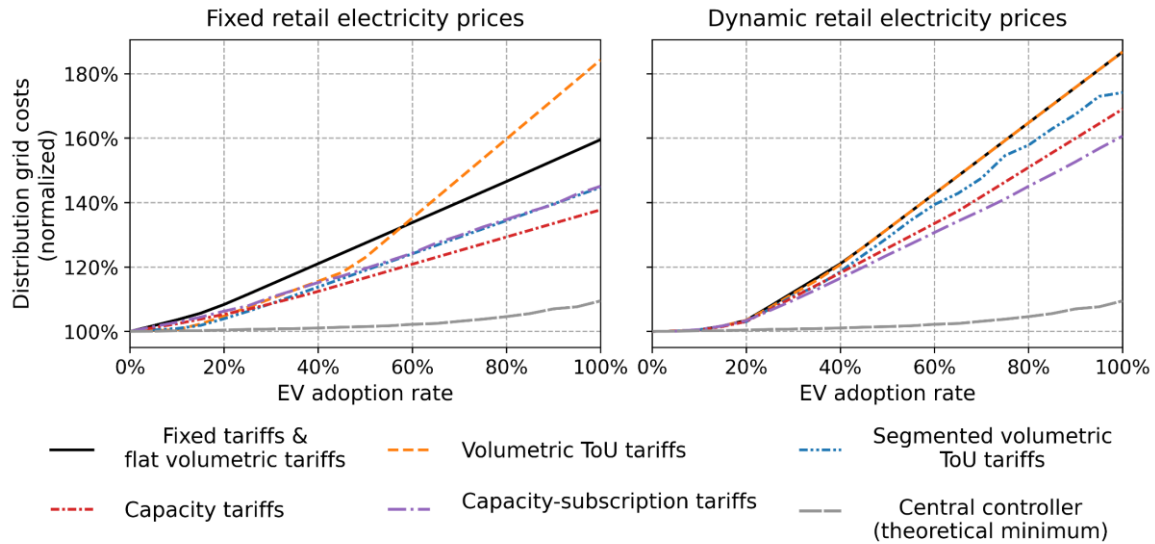
Figuur 37 verschillende aanpakken voor nieuwe nettarieven.

Figuur 38 laat zien dat de verschillende aanpakken voor nieuwe nettarieven leiden tot sterk uiteenlopend laadgedrag – telkens onder de aanname van kostenoptimalisatie. In sommige gevallen kunnen 'secundaire laadpieken' optreden, die zelfs hoger kunnen zijn dan bij de huidige vaste tarieven, en dus zouden kunnen leiden tot meer netcongestie.



Figuur 38 Analyse effecten van verschillende typen dynamische nettarieven. Sommige regimes kunnen leiden tot 'secundaire laadpieken' die hoger zijn dan de pieken die worden vermeden.

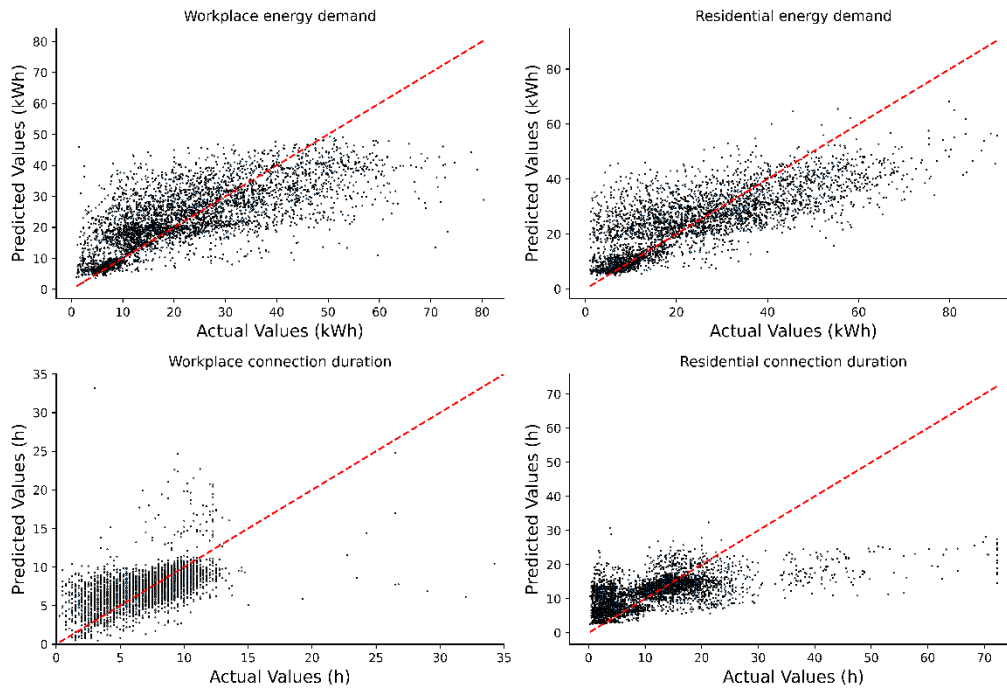
In Figuur 39 is een analyse gegeven afhankelijk van de invoeringsgraad van (slim ladende) elektrische voertuigen. Ook hier is te zien dat de nettarieven de kosten om het net te verzwaren om aan de piekvraag te voldoen, sterk kunnen beïnvloeden en dat sommige regimes kunnen leiden tot kosten die hoger zijn dan bij het huidige systeem.



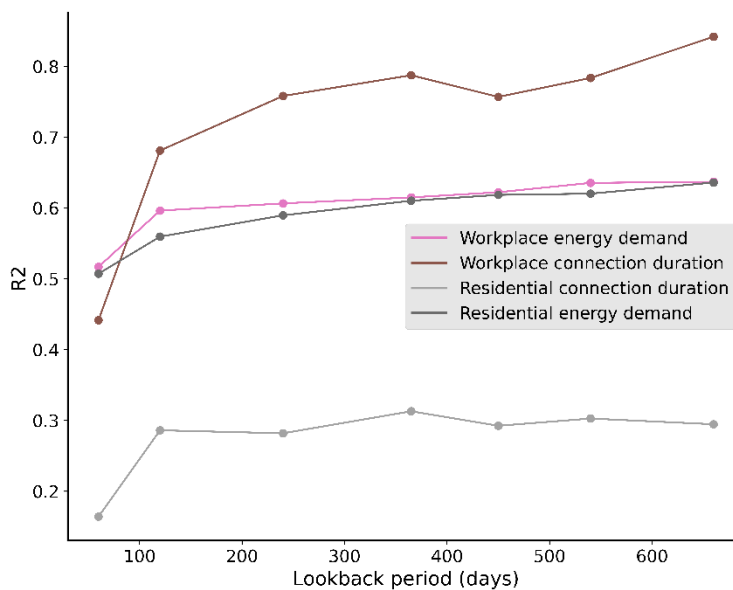
*Figuur 39 Analyse van verschillende nettarifemodellen. In sommige gevallen zouden de benodigde kosten voor netverzwaring juist hoger kunnen worden in plaats van lager.*

#### 7.3.4 Verminderen van onzekerheden in aansturing slim laden

Om slim laden effectief te kunnen toepassen is het belangrijk om de onzekerheid die hiermee gepaard gaat te verminderen. Nu is er in veel gevallen een aanzienlijke onzekerheid over de energievraag die wordt geladen in een bepaalde laadsessie, en de te verwachten vertrektijd van de auto. Binnen het project is er een voorspel-framework ontwikkeld waarmee deze laadsessieparameters voorspeld kunnen worden en de onzekerheid flink verminderd kan worden en slim laden effectiever toegepast kan worden. Figuur 40 toont een vergelijking van de gerealiseerde en de voorspelde waarden voor deze twee parameters voor laadpalen in een werkomgeving, en laadpalen in woonwijken. Figuur 41 laat zien dat de voorspelnauwkeurigheid flink toeneemt met een grotere trainingsdataset.



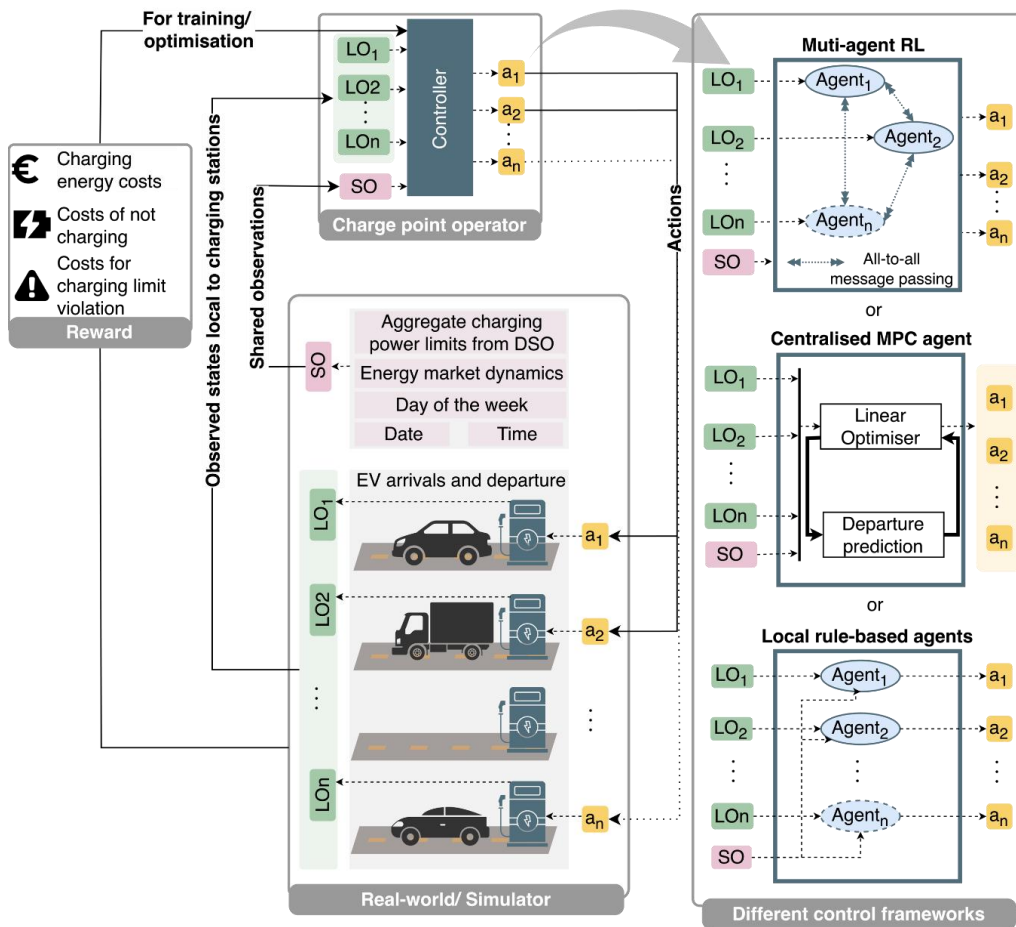
Figuur 40 Vergelijking tussen de voorspelde waarden en de gerealiseerde waarden voor de energievraag en de vertrektijd van laadsessies. Er is onderscheid gemaakt tussen twee typen laadlocaties: werklocaties en woonwijken.



Figuur 41 Voorspelnaauwkeurigheid ( $R^2$ ) van het voorspellingsmodel voor verschillende hoeveelheden trainingsdata, uitgedrukt in het aantal dagen trainingsdata. Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee laadsessieparameters (energievraag en vertrektijd) en twee typen laadlocaties (werklocaties en woonwijken).

TU Delft heeft een Reinforcement Learning model ontwikkeld om optimale regelstrategieën te genereren voor een vloot EV's onder meervoudige doelen: optimalisatie van gebruikscomfort, flexibiliteitsbiedingen en laadkosten. De resultaten worden vergeleken met optimalisatie achteraf en andere voorspellingsmodellen. Het Reinforcement Learning

model is schaalbaar en in staat om onder onzekerheid een goede balans te vinden tussen de verschillende doelstellingen.



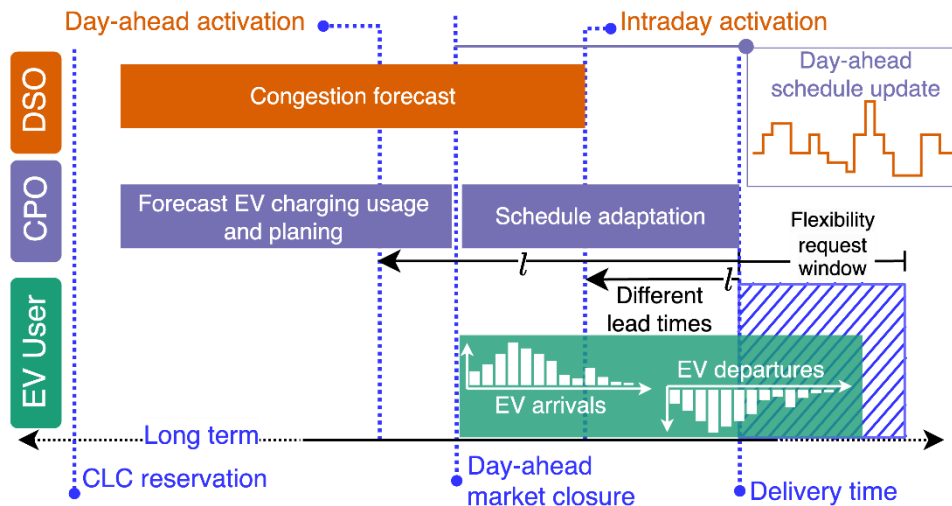
Figuur 42 Reinforcement Learning optimalisatiestrategie voor een vloot EV's onder meervoudige optimalisatie-doelen.

### 7.3.5 Impact van de aanlooptijd van een flexvraag

De aanlooptijd van een flexvraag vanuit een netbeheerder is belangrijk voor het potentieel van een vloot slim en bi-directioneel ladende auto's om te kunnen reageren op die flexvraag. Met andere woorden: hoe lang vóór het starten van de laadsessies van de auto's wordt de flexvraag bekend? Als de flexvraag langer vooraf bekend is, zijn er meer mogelijkheden om daaraan te voldoen dan bij een korte aanlooptijd.

Uit het onderzoek dat ROBUST hieraan heeft gedaan [16] blijkt dat kortere aanlooptijden de verhandelbare flexibiliteit in bijna alle gevallen verminderen. De uitzondering treedt op bij voertuigen die niet-geoptimaliseerd laden, dat wil zeggen dat ze beginnen met laden zodra de aansluiting is gemaakt. De reden hiervoor is dat deze laadstrategie de flexibiliteit nog helemaal niet inzet, waardoor deze nog volledig beschikbaar is voor de netbeheerder, zelfs op korte termijn. Het gebruik van V2G maakt bovendien een flexibelere aanpassing van schema's mogelijk dan alleen slim laden, en kan daarom beter omgaan met kortere aanlooptijden. Dit toont de grotere flexibiliteit van V2G aan, onder omstandigheden waarin

de onzekerheid over aanlooptijden niet volledig kan worden weggenomen. Verder onderzoek kan deze analyse uitbreiden door de leveringsbeperkingen of de vereisten dat voertuigen volledig zijn opgeladen, te versoepelen, mits er passende sancties worden opgelegd. De impact van piekvermindering op thermische overbelasting kan ook nader worden onderzocht.



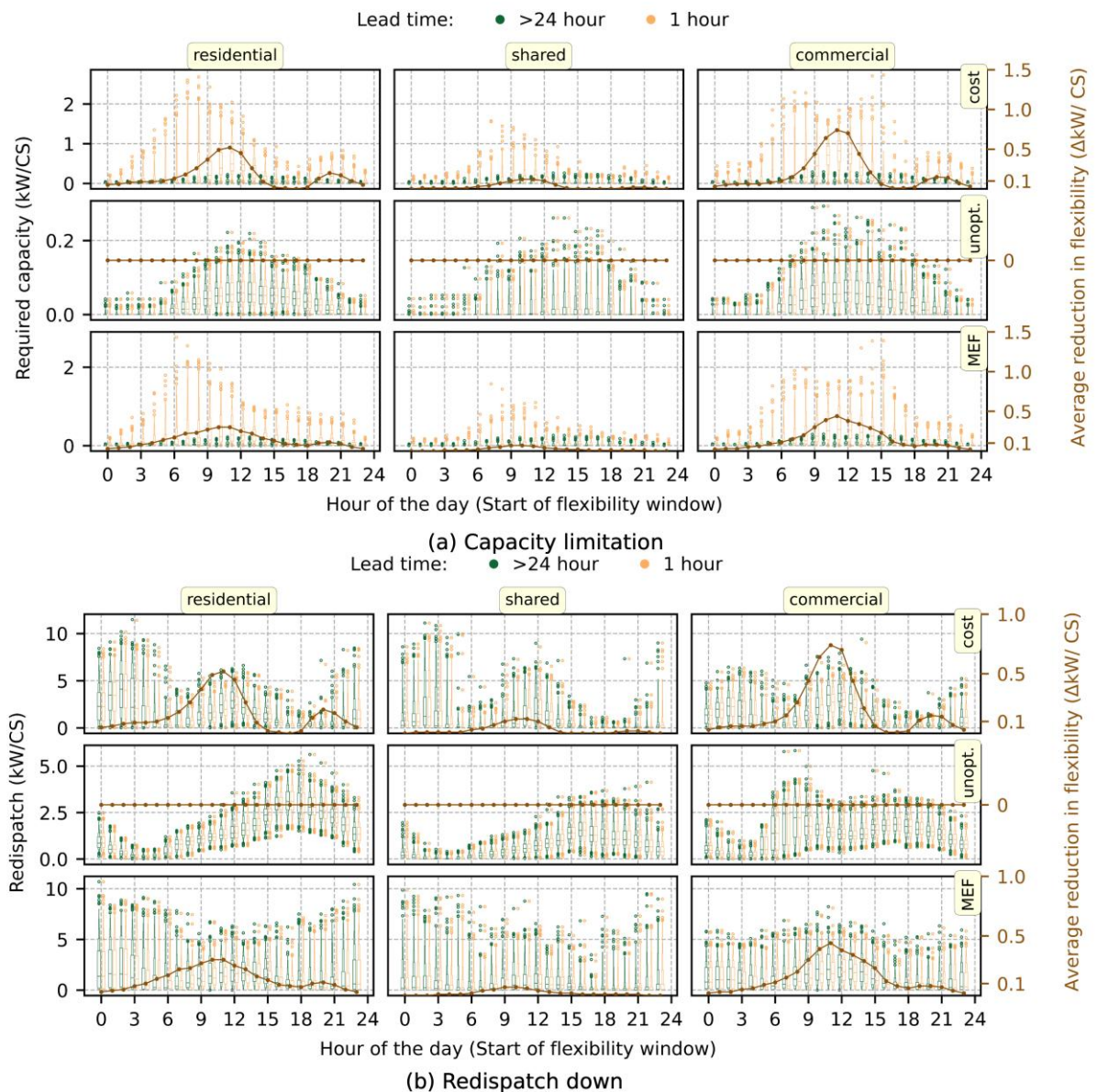
Figuur 43: Visualisatie van verschillende aanlooptijden voor slim en bi-directioneel laden.

Twee verschillende aanlooptijden - activering een dag van tevoren en activering 1 uur voor de verwachte levering - zijn gekozen als twee mogelijke extreme gevallen, die ook de trend voor tussenliggende gevallen illustreren. Figuur 44, bovenste helft, illustreert de vermindering van het vermogen van de EV-vloten om hun verbruik te beperken tijdens de gevraagde flexibiliteitsvensters van één uur voor de twee gekozen aanlooptijden.

De resultaten zijn vergeleken voor drie categorieën laadstations (afhankelijk van het dominante gebruikspatroon) voor verschillende laadsturingmethoden (vóór afroep), waarbij alleen rekening wordt gehouden met unidirectioneel slim laden. De verhandelbare flexibiliteit neemt aanzienlijk af bij kortere aanlooptijden voor alle laadsturingmethoden, behalve in het niet-geoptimaliseerde geval. Dit komt omdat niet-geoptimaliseerd laden niet wordt beïnvloed door de aanlooptijd. Hogere gemiddelde verminderingen in verhandelbare flexibiliteit vallen samen met lagere gemiddelde day-ahead- en marginale emissiefactorprijzen. Tijdens een dergelijke periode hangt het beperken van het vermogen grotendeels af van de aanpassing van het laadschema vóór de levering. Bij een kortere doorlooptijd zijn de EV-schema's dus minder goed aan te passen, omdat ze oorspronkelijk waren gepland om te laden tijdens periodes met lagere kosten.

De onderste helft van Figuur 44 illustreert vergelijkbare resultaten, maar dan voor een redispatch-product. In het algemeen hangt de beschikbare redispatch-capaciteit af van de frequentie waarmee gebruikers nieuwe voertuigen aan de laadpaal koppelen in relatie tot

de momenten van lagere energie- en emissiekosten. Het schaal verder met het maximale laadvermogen, de bezettingsgraad van laadstations en de energiebehoefte en is sterk afhankelijk van de categorie van het laadstation. Opvallend is dat de vermindering van de verhandelbare flexibiliteit als gevolg van een kortere aanlooptijd dezelfde is als voor het capaciteitsbeperkingsproduct. Dit is begrijpelijk omdat de vermindering alleen afhangt van de mogelijkheid om schema's tussen activering en levering aan te passen, wat voor alle producten hetzelfde is.



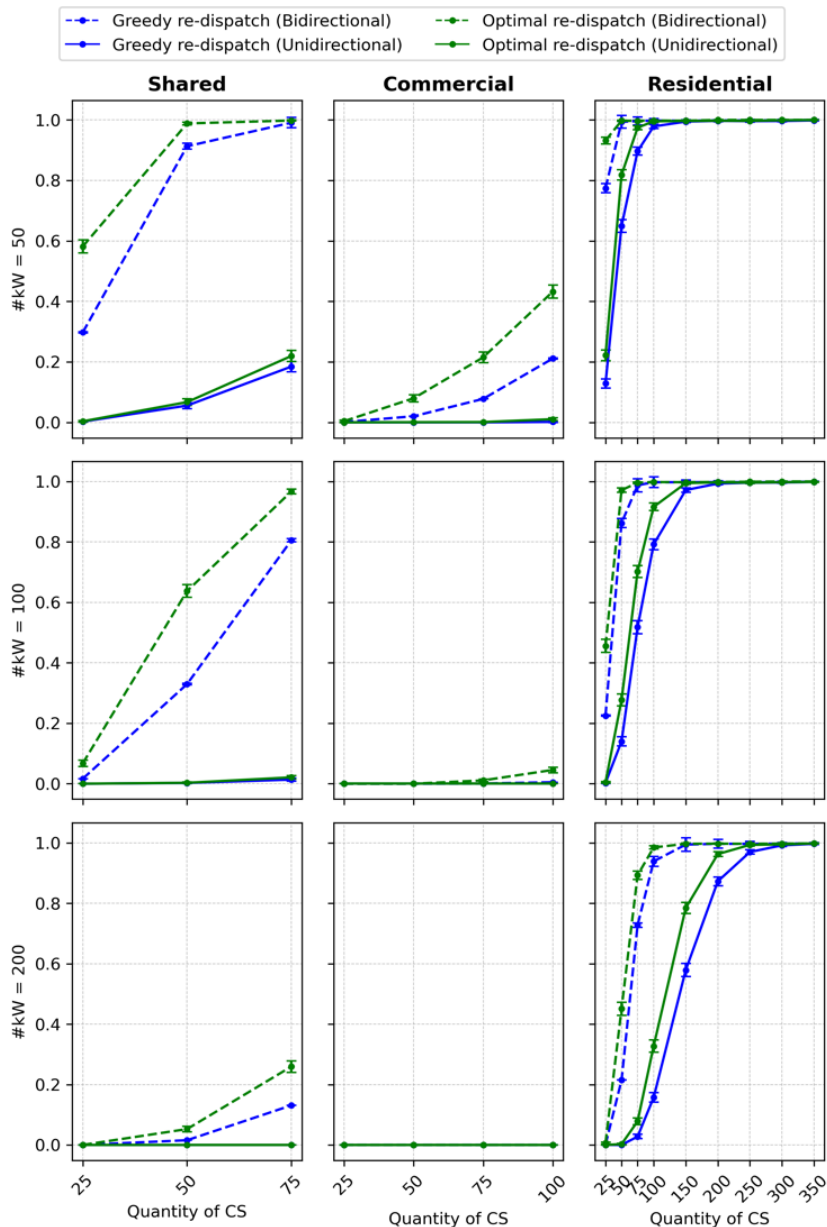
Figuur 44 Analyse van de vermindering van flexibiliteit van slim en bi-directionele laadpalen, als functie van aanlooptijden in (bovenaan) een capaciteitsbeperkingsregime en (onderaan) een redispatch-regime, voor particuliere, gedeelde en commerciële laadpunten en voor drie verschillende laadstrategieën.

### 7.3.6 Impact van bi-directioneel laden

Met modelberekeningen is de impact van grote netwerken bi-directioneel ladende auto's op stadsniveau op de (huidige en toekomstige) flexvraag bij DSO en TSO onderzocht, alsmede het potentieel om netwerkproblemen tegen te gaan met de verschillende flex- en interventieopties.

Bij het bepalen van de impact van capaciteitsbeperkingen op laadpalen, is het van belang om onderscheid te maken tussen de gebruiksprofielen van verschillende laadpalen. Daarvoor is bij de publieke laadpalen een onderscheid in drie categorieën gemaakt: residentieel (overwegend gebruik in de avond), commercieel (overwegend gebruik overdag) en deelauto's (vaak lang verbonden). Dit onderscheid is gemaakt op basis van de geobserveerde gebruiksprofielen behorende bij de locatiedata (bijv. locaties in parkeergarages, etc.). Behalve de gebruikspatronen is het van belang om mee te nemen dat de impact van laadpalen met deelauto's in de praktijk relatief hoger zal uitvallen, omdat het laadgedrag nog beter gecoördineerd kan worden, waarbij het reserveringssysteem gegevens kan aanleveren over verwacht gebruik van de auto in de toekomst. Voor alle categorieën laat bi-directioneel laden een grotere impact zien dan alleen slim laden, vooral bij redispatch.

De vraag naar flexibiliteit vanuit de DSO en TSO is geanalyseerd binnen het kader van de vanaf 2022 geïntroduceerde regelgeving over congestiemanagement, in het bijzonder in relatie tot redispatch-biedingen en capaciteitsbeperkingscontracten. Het statistische laadmodel is gebruikt om te analyseren hoe waarschijnlijk het is dat een aggregator betrouwbaar congestiemanagement kan aanbieden op basis van geaggregeerde laadpalen. Voor redispatch (aanpassing van het laadprofiel na de sluiting van de day-aheadmarkt) is het van belang dat het minimale biedvolume van 100kW gehaald wordt. Voor verschillende type laadsessies is er in Figuur 45 gekeken naar het aantal laadpalen dat benodigd is in een portfolio om dit minimale biedvolume te behalen. Dit is uitgedrukt als een waarschijnlijkheid (hoger is beter), waarbij rekening is gehouden met variabiliteit van laadgedrag over dagen en laadpalen. Uit de figuur is te zien dat bijvoorbeeld bij residentieel laden en een minimaal biedvolume van 100kW (de figuur midden rechts), bij 'unidirectionaal' (slim) laden circa 150-200 laadpalen benodigd zijn om met bijna 100% zekerheid aan dat biedvolume te voldoen, waarbij het laden van de EV's niet wordt beïnvloed. Dit zijn de doorgetrokken lijnen. Bij bi-directioneel (vehicle-to-grid) laden kan al met 75-100 laadpalen met bijna 100% zekerheid worden voldaan aan het biedvolume (onderbroken lijnen).

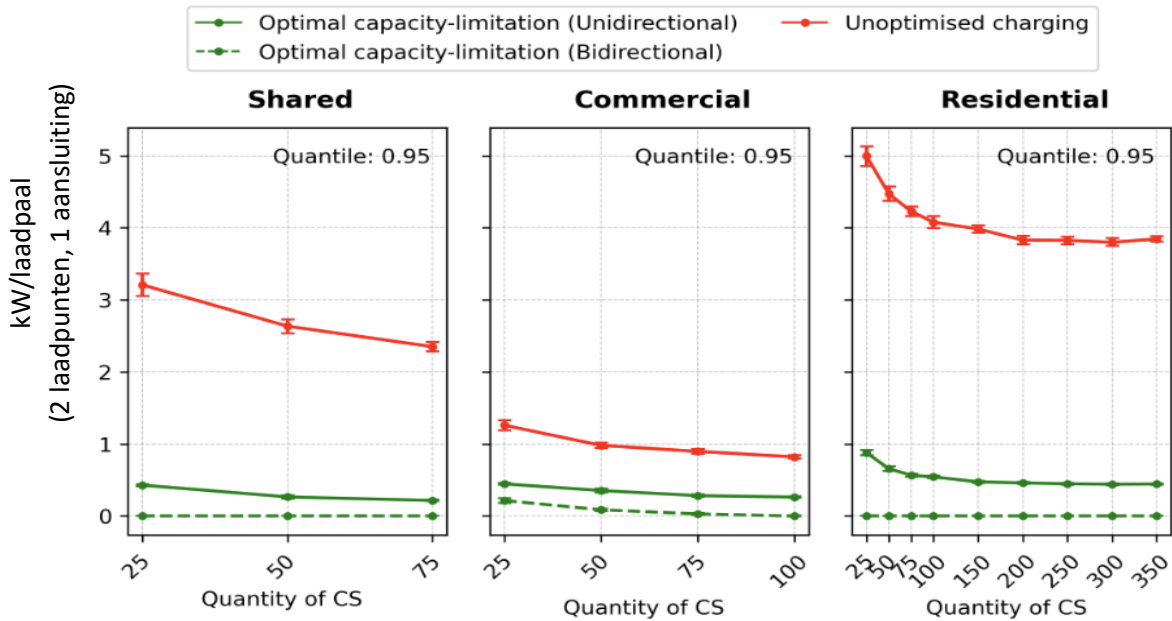


Figuur 45 Waarschijnlijkheid dat een re-dispatch van 50/100/200kW kan worden gerealiseerd in de avonduren, ten opzichte van niet-geoptimaliseerd laden voor een verschillend aantal laadpalen en voor verschillende laadpaalcategorieën.

### Capaciteitsbeperkingscontracten voor laadpalen

Naast re-dispatch is ook de mogelijke impact van (groeps-)capaciteitsbeperkingscontracten voor laadpalen onderzocht, die bijvoorbeeld kunnen worden gerealiseerd als groeps-CBC. Hierbij is gekeken naar de mogelijkheid om laadsessies te voltooien binnen een afgesproken capaciteitsbudget (gemiddeld vermogen per laadpaal op momenten dat er netcongestie optreedt). Er is ook modelmatig onderzocht hoe dit zich verhoudt tot de vereisten van 'netbewust laden' zoals gedefinieerd in het actieplan Slim Laden voor iedereen. Daaruit bleek (zie Figuur 46) dat aan de eis om laden tijdens piekuren te beperken tot 4kW per laadpaal voor een groot collectief van laadpalen vrijwel automatisch voldaan

wordt. Verdere beperkingen tot 1kW of lager lijken mogelijk, indien er voldoende informatie beschikbaar is over de laadbehoefte. Met V2G is zelfs 0kW mogelijk bij middeling over tientallen laadpalen, zonder noemenswaardige beperkingen aan het laadcomfort.



Figuur 46 Gemiddeld laadvermogen voor het tijdvak 18:00-21:00 als functie van het aantal laadpalen.

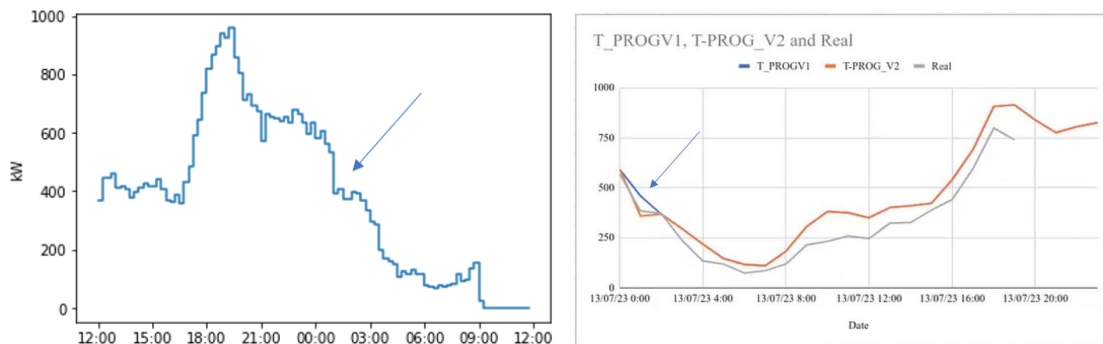
### 7.3.7 Onderzoek en test aan GOPACS-redispacth

Systeemlaag 3 van de flexpiramide beschrijft vrijwillige redispacth. Stedin, We Drive Solar, Enervalis, Edmij, UU en TUD hebben in 2023 een test uitgevoerd om vanuit een groep slim ladende laadpalen, flexbiedingen op het nationale congestiemanagementplatform GOPACS te doen en af te handelen. GOPACS is nog in ontwikkeling en vooral gericht op congestiemanagement bij grootverbruiksaansluitingen. Edmij is als CSP actief op dit platform, maar het potentieel van congestiemanagement vanuit groepen slim en bidirectioneel ladende auto's was nog nauwelijks onderzocht.

De test is uitgevoerd een groep van 309 slim (unidirectioneel) ladende laadpalen van We Drive Solar. Steden heeft daarvoor een virtuele EAN (aansluiting) aangemaakt en gekoppeld aan de EANs van de laadpalen, en een marktbericht afgegeven. WDS, Edmij en Enervalis hebben een flexbieding geformuleerd en ingebracht, die vervolgens door Stedin is beoordeeld en geaccepteerd. De flexbieding van 100kW is vervolgens uitgevoerd waarna de levering is geëvalueerd.

Het effect van de flexbieding op de elektriciteitsvraag van de laadpalen is duidelijk zichtbaar (zie Figuur 47). Belangrijk waren de leerpunten voor verdere tests en opschaling die door deze partijen zijn geformuleerd: verbetering van de locatiebepaling in het net van een groep kleine flexleveranciers (EAN's); automatisering van het proces en ontwikkeling

van de formele validatie van de bieding. Deze leerpunten zijn vastgelegd en besproken met Stichting GOPACS.



Figuur 47 Test van flexbieding op GOPACS met 309 slim ladende laadpalen. Het effect van de flexbieding op de elektriciteitsvraag van de laadpalen (links) en in vergelijking met de T-prognose (rechts) is met pijlen aangegeven.

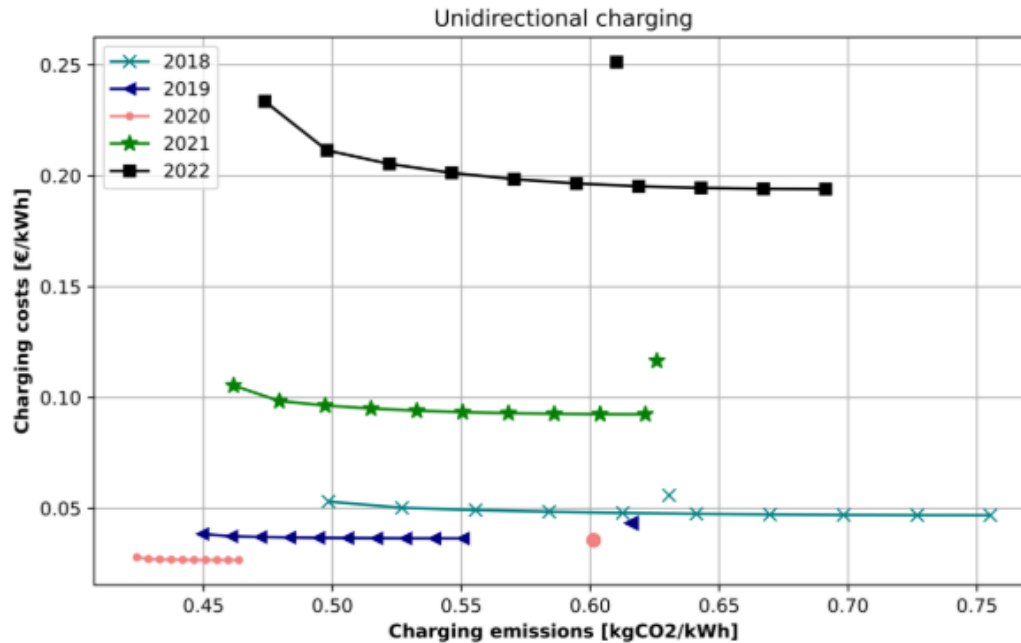
Vervolgens hebben Stedin en GOPACS BV in 2024 en 2025 de biedings- en afhandelingsprocessen van GOPACS aangepast om de inzet van groepen verspreide flexbronnen zoals laadpalen mogelijk te gaan maken. Dit betekende het opzetten van een nieuw systeem van aggregatie-EAN's zodat een vloot kleine bronnen correct en centraal kan worden verwerkt in GOPACS. USI heeft bij het ontwerpen van dat systeem meegedacht. De implementatie daarvan is per herfst 2025 gaande.

Hierboven (zie Resultaat 2) is beschreven hoe door We Drive Solar en MyWheels in 2025 V2G-bedrijf met 50 Renault 5 deelauto's is uitgerold. Eerste tests met levering van congestiemanagement vanuit de bidirectioneel ladende Renault 5 deelauto's hebben bemoedigende resultaten geleverd. Wanneer de processen van GOPACS voldoende zijn uitontwikkeld, wordt een tweede test met GOPACS gepland, om daarmee zowel het nieuwe systeem van aggregatie-EANs bij GOPACS als het V2G-bieden met ontladen auto's te testen. GOPACS heeft het plan om de nieuwe faciliteit voor biedingen vanuit groepen slim en bi-directioneel ladende auto's (en andere gedistribueerde flexbronnen) in 2026 uit te rollen en beschikbaar te maken voor aanbieders in geheel Nederland. Deze nieuwe faciliteit voor congestiemanagement kan een belangrijk nieuw kanaal worden om congestiemanagement aan te bieden met een groot potentieel wanneer bi-directioneel laden opschaaft, en de impact van GOPACS aanzienlijk verhogen.

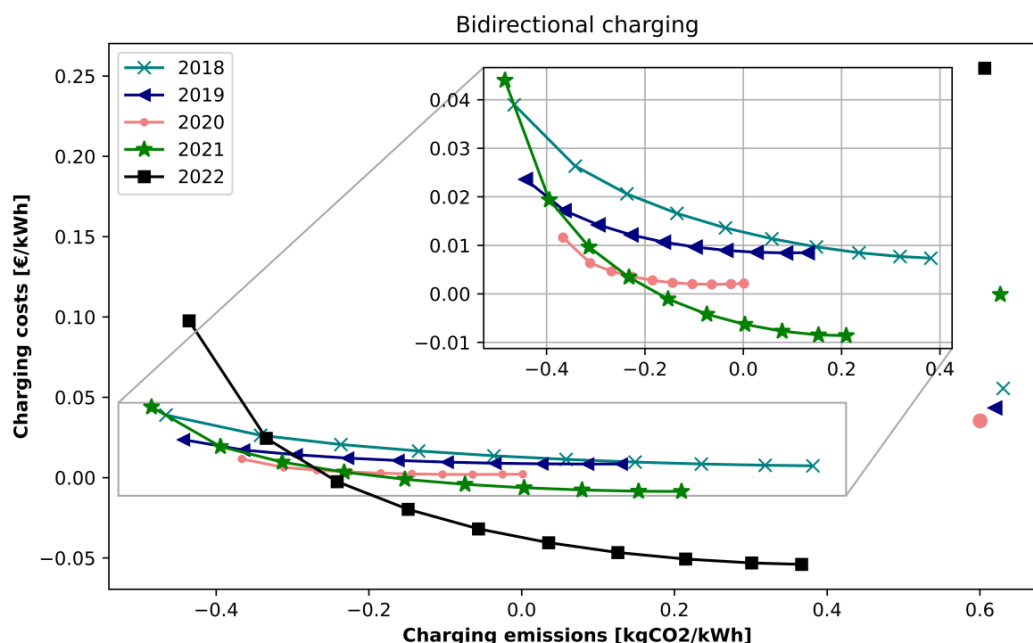
### 7.3.8 Analyse laadkosten en CO<sub>2</sub>-impact slim en bidirectioneel laden

De Universiteit Utrecht (Copernicus Instituut) heeft analyses uitgevoerd om het kosten- en emissiereductiepotentieel met EV's te bepalen. De resultaten van deze analyse laten zien wat de laadkosten en marginale CO<sub>2</sub>-emissies zijn bij verschillende laadstrategieën die verschillende afwegingen maken tussen kostenoptimalisatie en CO<sub>2</sub>-optimalisatie, in verschillende meetjaren. Zowel bij slim (Figuur 48) als bij bi-directioneel laden (Figuur 49) zijn aanzienlijke emissieverlagingen én kostenbesparingen mogelijk ten opzichte van ongestuurd laden (telkens weergegeven als het losliggende punt buiten de curves). Bij bi-

directioneel laden is het zelfs mogelijk om te laden met zeer lage of negatieve laadkosten en/of marginale CO<sub>2</sub>-emissies (zie Figuur 49). Deze resultaten zijn sterk afhankelijk van de randvoorwaarden voor het slim en bi-directioneel laden, wat deels wordt geïllustreerd door de aanzienlijke verschillen tussen de verschillende meetjaren in de figuren. De resultaten van deze analyse zijn gepresenteerd in een wetenschappelijke publicatie [45].



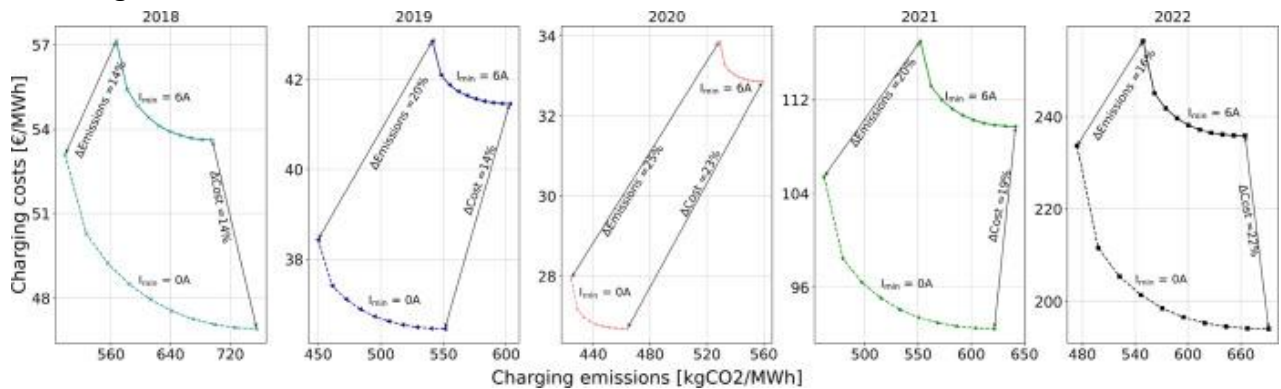
Figuur 48 Kosten en emissies van verschillende uni-directionele laadstrategieën.



Figuur 49 Kosten en marginale CO<sub>2</sub>-emissies van verschillende bi-directionele laadstrategieën.

Daarnaast voerde de Universiteit Utrecht analyses uit van het voorspellen van benodigde parameters voor het uitvoeren van slim laden, zoals de vertrektijd en de energiebehoefte

van de EV. Door deze parameters goed te voorspellen kan de impact van slim laden op de gebruiker worden geminimaliseerd en kan de effectiviteit van slim laden worden verhoogd. Deze resultaten zijn verwerkt in twee artikelen [1] [15]. In Figuur 50 wordt, bij slim laden, de invloed van het (moeten) hanteren van een minimale laadstroom van 6A geïllustreerd. Zowel de kostenbesparing als de CO<sub>2</sub>-besparing worden daarmee sterk verminderd. Omdat de protocollen voor V2G een minimale laadstroom uitsluiten, is deze berekening niet voor V2G uitgevoerd.



Figuur 50 Impact van een minimale laadstroom van 6A bij slim laden. De curves met doorgetrokken lijnen corresponderen met een minimale laadstroom van 6A, de onderbroken lijnen met 0A.

### 7.3.9 ElaadNL Testlab

ElaadNL speelt met haar Testlab in Arnhem voor elektrische voertuigen een belangrijke rol in het kwaliteitsmanagement rondom slim en bi-directioneel laden en daarmee in de betrouwbaarheid van het toekomstige flexibiliteitssysteem. Het Testlab voert testen uit op interoperabiliteit, smart charging karakteristieken, power quality (van belang voor netbeheerders), cybersecurity, de communicatieketen tussen EV, laadpaal en het systeem, en de geschiktheid van de netaansluitingen. Specifiek in ROBUST is onderzocht in hoeverre het hierboven (in R2) geschetste probleem dat het laden van e-auto's niet altijd uitgesteld kan worden, optreedt bij verschillende modellen en hoe eisen kunnen worden gesteld aan elektrische auto's om dat in de toekomst te verbeteren. Elaad heeft in 2024 en 2025 de bovengenoemde eigenschappen aan een groot aantal modellen elektrische auto's onderzocht. Dit kan het potentieel en de betrouwbaarheid van slim en bi-directioneel laden voor het elektriciteitsnet op relatief korte termijn aanmerkelijk verbeteren. De in september 2025 gepresenteerde resultaten<sup>3</sup> laten zien dat nog steeds een minderheid van de in de markt verkrijgbare auto's last heeft van dit probleem. Dat betekent dat invoering van netbewust laden in een vorm met laadpauze's voor de eigenaren van die auto's tot problemen met het laden kan leiden. In september 2025 heeft Elaad de resultaten van dit onderzoek gepubliceerd en daarover webinars gegeven.

<sup>3</sup> Zie <https://elaad.nl/resultaten-grootschalige-technische-slim-laden-test-elektrische-voertuigen/>, hier is ook het rapport te downloaden.

## 7.4 Potentieel voor de stad

In 3.1 is een analyse getoond (Figuur 13) die laat zien dat bi-directionele laadpalen een aanzienlijke verlaging van de avondpiek in de elektriciteitsvraag kunnen teweegbrengen. Als in ogenschouw wordt genomen dat de netbelasting van een woning enkele kW bedraagt afhankelijk van type en grootte woning en verwarmingstechniek, kan op basis hiervan indicatief worden gesteld dat een park van 1.000 bi-directionele laadpalen in een stad, het potentieel heeft om de netbelasting tijdens de avondpiek van 1.000 – 2.000 woningen te compenseren, uiteraard afhankelijk van de randvoorwaarden van slim en bi-directioneel laden. Dat zou al duidelijk aanzienlijke verlichting geven van het congestieprobleem in een stad; als de aantallen verder groeien wordt de impact navenant groter. In Utrecht rijden circa 100.000 auto's en beleidsdoel is dat die alle elektrisch worden. Als 10% van die auto's op deze manier bi-directioneel zou functioneren, zou dat een potentieel voor het verlagen van de avondpiek met 40-50 MW met zich meebrengen. Een aanzienlijk deel van de congestie-opgave van circa 250 MW voor de provincie Utrecht. Nogmaals moet worden opgemerkt dat dit berekeningen zijn op basis van slimme laadsessies van deelauto's; het daadwerkelijke potentieel is afhankelijk van hoe de auto's daadwerkelijk worden ingezet. Het potentieel van andere flexbronnen voor congestievermindering op stadsniveau is naar verwachting kleiner. Voor nieuwbouwwijken geldt dat weliswaar de penetratie van warmtepompen hoog zal zijn evenals andere mogelijkheden voor flexibiliteit (zoals buffering en lokale energiesystemen, wanneer die goed mogelijk worden, zie daarover 4.2) maar de aantallen woningen in de meeste gevallen kleiner zullen zijn dan de bestaande woningvoorraad (zie ook 4.3) en de speelruimte voor een warmtepomp om flexibiliteit te bieden zonder comfortverlaging kleiner is (zie 3.3).

Datzelfde geldt in grote lijnen voor werklocaties. Naarmate deze slimmere energiesystemen krijgen zal het potentieel voor congestiemanagement toenemen, maar het zal naar verwachting achterblijven bij dat van slim en bi-directioneel laden.

Voor E-bussen geldt dat voorlopig de opties voor bi-directioneel laden beperkt lijken. Het experiment met stationaire accu's laat een mogelijk potentieel zien in de toekomst, maar in algemeenheid is het aantal e-bussen in een stad laag vergeleken bij het aantal e-auto's. Het aantal bedrijfsbusjes en bedrijfswagens is groter dan het aantal e-bussen, maar de laadvermogens en -capaciteiten zullen daarvan in de orde-grootte liggen van die van elektrische auto's.

## 7.5 Validatie aan programma van eisen op de systeemplagen van de piramide

Voor het hierboven omschreven flexibiliteitssysteem is onderzocht in hoeverre het in principe voldoet aan de eisen die in het begin van het project zijn geformuleerd. De analyse is in de annex weergegeven, de conclusie is dat het systeem in principe aan de in het begin van het project geformuleerde eisen voldoet, maar dat een aantal aspecten nog verder moet worden ontwikkeld en onderzocht – op een aantal fronten is dat al gaande.

## 8 Integraal flexsysteem op stadsregio vertaald naar handelingsperspectief van de probleemeigenaren (Resultaat 7)

### 8.1 Vertaling resultaten naar handelingsperspectief voor DSO's en TSO (afnemers flexibiliteitsdiensten)

Congestiebeheersing is in Nederland een hoofdthema geworden en het inzetten van slim en bi-directioneel laden kan naast andere gedistribueerde kleine flexbronnen een aantrekkelijke bijdrage leveren. Wat kunnen afnemers van flexibiliteitsdiensten – met name de netbeheerders – doen om die bijdrage inderdaad te helpen realiseren? Wat zijn de rollen, en wat is het perspectief?

In oktober 2024 is in een ROBUST-workshop het mogelijk handelingsperspectief voor netbeheerders en andere betrokken partijen besproken. Ruim 20 deelnemers hebben opties bediscussieerd en ideeën ingebracht. Daarna is een conceptversie van een viertal 'factsheets' opgesteld. Daarin wordt de waarde beschreven die flexibiliteit uit kleine flexbronnen voor ieder van de vier doelgroepen heeft, barrières voor realisatie ervan en handelingsmogelijkheden. In maart 2025 zijn in een online feedbacksessie de conceptversies van deze factsheets besproken.

De handelingsperspectieven voor netbeheerders zoals besproken in de feedbacksessie zijn samengevat:

- Faciliteer eenvoudige toegang van gedistribueerde flex op netten (congestie, balansmarkten)
- Ondersteun netbewust laden (en mogelijkheid tot aanscherping)
- Zoek balans in marktprikkels (day-ahead, balans, congestie)
- Optimalisatie netflexibiliteit vs. netuitbreidingen
- Blijf congestiemanagement helpen opschalen ook KV
- Ontwikkel normen, metingen, meetdata, kleinschalige flex
- Data-uitwisseling, volledige bemetering van trafo's etc.
- Slim / V2G laden eigen wagenpark

Op basis van de feedback daaruit zijn de factsheets uitgewerkt tot Whitepapers die in het eindcongres in juni 2025 zijn gepresenteerd en die online op [www.tki-robust.nl](http://www.tki-robust.nl) zijn gepubliceerd.

### 8.2 Vertaling resultaten naar handelingsperspectief op de vier flexsysteemlagen voor aggregatoren en aanbieders flexibiliteitsdiensten

Aggregatoren zullen naar verwachting een belangrijke rol spelen in samenwerking met de netbeheerders. Net als hierboven is op basis van de omschrijving van het flexibiliteitssysteem een voorzet voor een factsheet met rollen en perspectief besproken met stakeholders in de sessie in najaar 2024 en in de online feedbackbijeenkomst.

De handelingsperspectieven voor aggregatoren en flexaanbieders zoals besproken in de feedbacksessie zijn samengevat:

- Nieuwe verdienmodellen (flex in EV-vloten, lease, deelauto's).
- Aggregeerbaar maken V2G auto's, laadpalen (ISO15118-20, OCPP...), warmtepompen
- Aggregeren laadpalen, warmtepompen, batterijen
- Bij groepscontracten: schakelen tussen netbeheerder en de groep
- Communicatie en transparantie naar eindgebruikers; laat ze meedelen in verdiensten

### **8.3 Vertaling resultaten naar handelingsperspectief op de vier flexsystemlagen voor overheden (beleid en regelgeving)**

Overheden spelen een belangrijke rol bij de verdere ontwikkeling van het flexibiliteitssysteem. Bij het bespreken van de handelingsperspectieven is onderscheid gemaakt tussen gemeenten en provincies aan de ene kant en de landelijke overheid aan de andere kant.

De handelingsperspectieven voor gemeenten en provincies zoals besproken in de feedbacksessie zijn samengevat:

- Neem netbewust laden en V2G-functionaliteit op in aanbestedingen laadinfra
- Faciliteer congestiecontracten laadpaalexploitanten, netbewuste bouwprojecten, stedelijke uitbreidingen, energietransitie ...
- Nog dynamischer netbewust laden
- Laad laadinfra onderdeel uitmaken van energieontwerp nieuwbouw
- Slim / V2G laden eigen wagenpark

De handelingsperspectieven voor de landelijke overheid zoals besproken in de feedbacksessie zijn samengevat:

- Faciliteer 'strenger' netbewust laden
- Los dubbele energiebelasting op voor V2G
- Standaardisering communicatie / sturing laadpalen, WP, batterijen, V2G
- Faciliteer balans in marktprikkels (Day-ahead, balans, congestie)
- Differentiatie nettarieven
- Verdere ondersteuning groepstransportovereenkomsten, inclusief KV en woningen
- Ondersteun communicatie naar eindgebruikers

### **8.4 Vertaling resultaten naar handelingsperspectief op de vier flexsystemlagen voor eigenaren en eindgebruikers (acceptatie, dataveiligheid)**

Bij het analyseren van de handelingsperspectieven van eigenaren en eindgebruikers is onderscheid gemaakt tussen enerzijds particulieren en anderzijds professionals (zoals complexbeheerders en locatie-ontwikkelaars).

De handelingsperspectieven voor particulieren zoals besproken in de feedbacksessie zijn samengevat:

- Verlaag verbruik tijdens piekmomenten
- Eigen laadpunt: slim laden, V2G-laadpunt<sup>4</sup>, dynamisch stroomcontract i.c.m. PV
- Warmtenet veroorzaakt minder belasting op elektriciteitsnet dan warmtepompen

De handelingsperspectieven voor de professionals (complexbeheerders en locatie-ontwikkelaars) zoals besproken in de feedbacksessie zijn samengevat:

- Aanbieden vrijwillig congestiemanagement
- Energiehubs, groepscontracten
- Netbewust bouwen, renoveren met slim en bi-directioneel laden, batterijen, ...
- Slim en bi-directioneel laden kan laadkosten en netbelasting verlagen

Zoals hierboven al aangegeven, zijn deze handelingsperspectieven in de vorm van whitepapers verder uitgewerkt met de feedback vanuit de feedbacksessie, gepresenteerd op het Eindcongres en gepubliceerd op de projectwebsite [www.tki-robust.nl](http://www.tki-robust.nl).

---

<sup>4</sup> Renault en We Drive Solar hebben in november 2025 aangekondigd om in de eerste helft van 2026 met een V2G-dienst voor particulieren te komen: [Renault Group en We Drive Solar introduceren allereerste V2G AC-laden service in Nederland](#)

## 9 Borging kennis en kwaliteit (Resultaat 8)

### 9.1 Kennisverspreiding intern en extern

Aan de kennisoverdracht intern en extern is gedurende het gehele project aandacht besteed. De ROBUST-projectwebsite (<https://tki-robust.nl/>) geeft uitleg over wat het onderzoeksproject ROBUST inhoudt en wie erbij betrokken zijn, en toont updates met betrekking tot de kennisverspreiding, mijlpalen en de thema's van een toekomstbestendig en flexibel elektriciteitsstelsel.

Daarnaast heeft het project de opgedane kennis op verschillende manieren gedeeld: met 17 presentaties op 13 verschillende wetenschappelijke en professionele evenementen en kennisdeelsessies, en via 18 peer-reviewed wetenschappelijke artikelen en 12 theses van PhD- en Masterstudenten. Ook zijn er in totaal 7 webinars georganiseerd. Er werden ook 2 video's gemaakt waarin het project werd uitgelicht. Bovendien werden stakeholders gedurende het gehele project betrokken met drie feedback sessies. Met de input opgehaald tijdens deze sessies, werden 4 handelingsperspectieven ontwikkeld in co-creatie met de stakeholders, welke zijn verwerkt in 4 whitepapers. Verderop staat dit proces in meer detail beschreven.

Gedurende het project heeft de media ook aandacht besteed aan ROBUST. Tussen 2022 en 2025 verschenen 5 publicaties in vakbladen, en 17 artikelen in populaire media zoals kranten, online gespecialiseerde kanalen, en BNR Nieuwsradio. De onderzoeksactiviteiten ontvingen drie awards: de IEA ISGAN Award, uitgereikt door Rob Jetten, de 'Young Energy Leader Award' op de Recharge Earth 2023 conferentie en de 'Best Student Paper Award' in 2023 van de SMARTGREENS conferentie in Praag. In juni 2023 werd ROBUST genoemd als onderdeel van het Rijksprogramma 'Routekaart Energieopslag' van het Ministerie van Economische Zaken en Koninkrijksrelaties (EZK). Hieronder worden een aantal voorbeelden uitgelicht en alle publicaties zijn te vinden in de publicatielijst.

Er vond ook regelmatig bilateraal contact plaats met andere gerelateerde innovatieprojecten: de MOOI-projecten SmoothEMS met Gridshield, GO-E en TROEF en het Horizon-project SCALE waarmee een actieve samenwerking was en waarmee de resultaten van ROBUST ook over de grenzen zijn gedeeld.

Op 26 november 2024 is ROBUST vertegenwoordigd bij de lancering van de samenwerking tussen Renault en We Drive Solar in Parijs met als doel om in 2025 500 bi-directionele Renault-deelauto's operationeel te hebben in Utrecht. Wethouder Eva Oosters van gemeente Utrecht was ook aanwezig. [Renault Group, We Drive Solar and MyWheels join forces with the city of Utrecht to launch Europe's first V2G enabled car-sharing service - We Drive Solar](#) en [Europa's Eerste Bi-directionele Deelautovloot Hier in Utrecht - Tki-robust](#).

In de zomer van 2024 heeft RVO een projectfilm gemaakt van ROBUST, getiteld “ROBUST-Slim energiesysteem”. De film is te zien op de homepage van de ROBUST-projectwebsite (<https://tki-robust.nl/>) <http://www.tki-robust.nl/>, en op het YouTube kanaal van het Utrecht Sustainability Institute (<https://www.youtube.com/watch?v=DK3GwTAzEYY>). Projectpartners Wilfried van Sark van Universiteit Utrecht en Gertjan Geurts van gemeente Utrecht werden hiervoor geïnterviewd.

In juni 2024 heeft het Franse tijdschrift *le Journal du Photovoltaïque* de projectpartners Robin Berg van We Drive Solar en Matthijs Kok van gemeente Utrecht geïnterviewd. Het resultaat is te zien op <https://tki-robust.nl/utrecht-premiere-ville-v2grid/>.

Tijdens het eindcongres van ROBUST op 5 juni 2025 is met circa 60 deelnemers interactief gediscussieerd over de gevolgen van het onderzoek en wat partijen ermee kunnen. Over het evenement is terug te lezen op <https://tki-robust.nl/samen-naar-een-flexibel-en-robuust-elektriciteitsnet/>.

Gedurende het project, ontwikkelde ROBUST, handelingsperspectieven samen met stakeholders. In verschillende sessies is input opgehaald, zoals tijdens de Klankbord & Feedback Dagen op 4 oktober 2022 en 6 juni 2023, zie <https://tki-robust.nl/waardevolle-feedback-tijdens-de-eerste-robust-stakeholder-dag/> en <https://tki-robust.nl/veel-nieuws-bij-de-tweede-robust-klankbord-feedback-dag/>). Ook is samen met stakeholders in een co-creatie sessie op 23 oktober 2024 gewerkt naar handelingsperspectieven voor overheden, netbeheerders, aggregatoren, flexaanbieders, locatiebeheerders en eindgebruikers. Zie <https://tki-robust.nl/robust-co-creatiesessie-inzichten-van-stakeholders/>.

De input van die drie sessies is verwerkt in vier whitepapers, waarvan de concepten werden voorgelegd aan stakeholders tijdens een webinar op 27 maart 2025. De resulterende vier whitepapers zijn gepresenteerd op het ROBUST Eindcongres op 5 juni 2025. Deze whitepapers kun je hier vinden: <https://tki-robust.nl/whitepapers/>.

In het najaar van 2025 is de eindfilm van ROBUST gemaakt, waarin alle resultaten van het project ROBUST worden getoond. Hiervoor werden geïnterviewd: 1) Wilfried van Sark, professor PV-integratie en projectleider ROBUST van Universiteit Utrecht, 2) Matthijs Kok van gemeente Utrecht, 3) Robin Berg, entrepreneur en ontwikkelaar van bi-directioneel laden van We Drive Solar, 4) Sanne Gort van busvervoerder Qbuzz, en 5) Janna de Graaf, sociaal onderzoeker van Universiteit Utrecht. Deze eindfilm wordt gelanceerd samen met de openbare eindrapportage in 2026.

Er is de afgelopen jaren enorme maatschappelijke ophef rondom netcongestie ontstaan. Gemeenten beseffen dat verschillende ambities (nieuwbouw van woningen, energietransitie, elektrificatie van transport) door netcongestie worden gedwarsboomd en

verschillende gemeenten hebben crisisteams gevormd. Netbeheerders zetten alles op alles om de netcongestie te bestrijden en roepen bedrijven, laadpaalexploitanten en particulieren op om daaraan mee te werken. De overheid, ACM en netbeheerders hebben de afgelopen jaren een waaier aan nieuwe mogelijkheden voor congestiemanagement gepubliceerd. Het ROBUST-flexibiliteitssysteem geniet daarbij brede aandacht, vooral wanneer er eenmaal voldoende bi-directionele auto's op de markt zijn om het systeem werkelijk bi-directioneel te maken. Verschillende publicaties zijn te vinden in de publicatielijst in dit rapport.

## 9.2 Borging projectkwaliteit in termen van samenwerking, resultaten, planning en budget

De samenwerking tussen de projectpartners was georganiseerd in reeksen meetings van werkteams per resultaat en activiteit, deels online, deels live. UU en USI coördineerden de voortgang en stuurden bij waar nodig in overleg met RvO.

### 9.2.1 Behaalde resultaten per mijlpaal

De eerste mijlpaal in ROBUST was het afronden van Resultaat 1, behaald op 30 juni 2022. De hierboven beschreven resultaten onder Resultaat 1 zijn daarvoor de resultaten:

- Definitie modelstructuur flexsysteem, recap relevant onderzoek en kaderdocument;
- Outline beoogde flexsysteem en programma van eisen;
- Analyses van cyberveiligheid van een flexsysteem met grote hoeveelheden V2G-laadpalen;
- Datamanagementplan voor het project;
- Definitie onderzoeksopzet voor de verdere Resultaten en Activiteiten, voor zowel modelwerk, praktijkonderzoek en niet-technologisch onderzoek.

### 9.2.2 Knelpunten

Bij de uitvoering van het project is op enkele activiteiten vertraging opgelopen door externe oorzaken (vooral het later op de markt arriveren van V2G auto's en het vertragen van nieuwbouwprojecten); met een verlenging van de looptijd van enkele deelactiviteiten kon binnen de projectduur worden omgegaan met de vertragingen en kon het project op de einddatum 20 september 2025 worden beëindigd.

### 9.2.3 Perspectief voor toepassing

Het afkondigen van netcongestie door TenneT in de provincie Utrecht heeft de aandacht voor ROBUST versterkt. Diverse acties zijn gaande om de toepassing van V2G en netflexibiliteit op stadsregioniveau te versnellen. Gemeente Utrecht heeft in concessies voor uitbreiding van het aantal laadpalen in de stad mogelijkheden ingebouwd om slim laden en bi-directioneel laden in de toekomst op te schalen. Andere steden beginnen dit ook te doen – in Eindhoven zijn ondertussen al de eerste V2G-laadpunten en deelauto's in bedrijf.

Sinds januari 2022 heeft We Drive Solar slim laden toegepast op al haar laadpalen, gebaseerd op day-aheadprijzen. Dat heeft al verlaging van de laadpieken en een

aanzienlijke verlaging van de laadkosten opgeleverd. Met het uitgebreid invoeren van netbewust laden is de netbelasting verder teruggebracht. In juni 2025 is ook bi-directioneel laden door WDS grootschalig gelanceerd, met een vloot van 50 bi-directionele Renault 5 deelauto's. Nu bi-directioneel laden eindelijk in de markt is aangetoond, wordt snelle groei verwacht (per medio 2026 zijn er meer dan 300 bi-directionele deelauto's actief, het doel is 3000 in 2030 door WDS en MyWheels, plus naar verwachting snelle ontsluiting van de in het voorjaar van 2026 op de markt gekomen dienst voor bi-directioneel thuisladen). GOPACS en Stedin werken na ROBUST samen verder aan het opzetten van een test van biedingen op GOPACS met gebruikmaking van de in ontwikkeling zijnde faciliteit voor gedistribueerde flex. De verwachting van GOPACS is om in 2026 vrijwillige redispatch op GOPACS mogelijk te maken voor groepen laadpalen en andere kleine flexbronnen. Ondertussen heeft Stedin met WDS een Capaciteitsstuuringscontract gesloten.

## 10 Bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling

ROBUST heeft bijgedragen aan missie B 'Een CO2-vrije gebouwde omgeving in 2050' van het Klimaatakkoord via MMIP 5 'Het nieuwe energiesysteem in de gebouwde omgeving in evenwicht', in het hoofdthema 'Oplossingen voor een betrouwbare, betaalbare en eerlijke elektriciteitsvoorziening' van MMIP5, in de volgende subthema's.

### 10.1 MMIP5 Deelpr. 5.2 Flexibiliteit van/voor energiesysteem in de gebouwde omgeving

Het onderzoek van ROBUST heeft datasets en analyses opgeleverd om flexibiliteitsopties met een integrale benadering te toetsen en daarmee bijgedragen aan 5.2.1 Schaalbare en verbeterde flexibiliteitsopties. Het multidisciplinaire onderzoek naar grootschalige inzet van flexibiliteit in de gebouwde omgeving heeft bijgedragen aan 5.2.3 Doorsnijndend Onderzoek.

### 10.2 MMIP5 Deelpr. 5.3 Systeemontwerp voor elektriciteitssysteem in de gebouwde omgeving

ROBUST heeft vanuit de innovatie in Utrecht bottom-up opties voor congestiemanagement en opties voor monitoring en control voor de elektriciteitsinfrastructuur geleverd, en daarmee bijgedragen aan 5.3.1 -Verbeteren en nieuwe functionaliteiten voor het huidige lokaal energiesysteem. Het modelleren van het flexibiliteitsnetwerk in ROBUST heeft nieuwe tools en methodes opgeleverd met aandacht voor conversie en fysieke omgeving voor gezamenlijke besluitvorming bij ontwerp lokaal energiesysteem, alsmede gevalideerde input voor verbetering van bestaande tools en rekenmodellen bij Stedin, UU, TU Delft en anderen, en heeft daarmee bijgedragen aan 5.3.2 -Tools voor ontwerp lokaal elektriciteitssysteem.

### 10.3 MMIP5 Deelpr. 5.4 Lokale flexibiliteit ten behoeve van het totale elektriciteitssysteem

ROBUST heeft uitbreiding van handelssystemen en platformen onderzocht (o.a. GOPACS en de onbalansmarkten) voor inzet flexibiliteit uit lokale mobiliteit in de gebouwde omgeving voor energiehandel en systeemdiensten, en draagt daarmee bij aan 5.4.1 -Voorwaarden voor gerichte inzet van flexibiliteit vanuit de gebouwde omgeving.

### 10.4 Bijdrage aan andere Missies

Daarnaast ROBUST bijgedragen aan missie D 'Emissieloze mobiliteit voor mensen en goederen in 2050' via MMIP 9 en MMIP 10, doordat het de flexibiliteit uit EV's en andere kleine bronnen extra waarde zal genereren uit e-deelautosystemen, slimme bi-directionele

laadpalen en laadpleinen, slim ladende bussen en distributievoertuigen, zodat de ontwikkeling en uitrol daarvan wordt gestimuleerd.

Tenslotte heeft ROBUST bijgedragen aan MMIP 13 (robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem) doordat het flexibiliteitssysteem lokale energiesystemen robuuster maakt met de gegenereerde netflexibiliteit, terwijl een bijdrage is geleverd aan nationale balanshandhaving.

## 11 Spin-off binnen en buiten de sector

### 11.1 Binnen de sector

Het onderzoeksproject ROBUST heeft binnen de sector al voor verschillende spin-offs gezorgd.

In 2025 is in het internationale evenement 'Utrecht Energized' de samenwerking tussen Renault, gemeente Utrecht, MyWheels en We Drive Solar voor snelle opschaling van bi-directioneel laden in gang gezet, vanaf de huidige 50 bi-directioneel opererende Renault 5 deelauto's tot 500 bi-directionele Renault 5 deelauto's voor MyWheels en 400 vernieuwde bi-directionele WDS-laadpalen medio 2026<sup>5</sup>. MyWheels plant daarna snelle verdere opschaling. Onlangs zijn de eerste bi-directionele deelauto's in Eindhoven geplaatst<sup>6</sup>. Renault en We Drive Solar hebben in november 2025 aangekondigd dat in de eerste helft van 2026 een slim laden-service operationeel wordt op basis van verschillende bi-directionele EV-modellen van Renault en een nieuw V2G-thuislaadpunt van WDS. Dat is in het voorjaar van 2026 op de markt gebracht..

Partijen binnen en buiten Nederland tonen grote belangstelling voor deze techniek en verschillende andere autofabrikanten brengen naar verwachting binnenkort compatibele V2G-auto's uit.

Eerder had gemeente Utrecht in haar nieuwe concessie voor uitbreiding van het aantal laadpalen in de stad mogelijkheden ingebouwd om slim laden met flexibele nettarieven in de toekomst op te schalen. Dit laat zien dat er betrokkenheid en een innovatieve insteek is vanuit de lokale overheid.

Stedin heeft de ROBUST-onderzoekresultaten vanuit het slim laden-experiment en de analyses van de impact van nettarieven ingebracht in de lopende discussie over een nieuw nettarifstelsel.

Stichting GOPACS is na een test met een 300-tal slimme laadpalen in ROBUST, een faciliteit aan het opzetten die het mogelijk moet maken dat vloten laadpalen en andere kleine, gedistribueerde flex-assets flexbiedingen kunnen doen op GOPACS. Dit kan een belangrijk kanaal worden voor congestiemanagement vanuit vloten slim en bi-directioneel ladende elektrische auto's.

<sup>5</sup> <https://media.renaultgroup.com/utrecht-becomes-europes-first-city-with-a-vehicletogrid-v2g-carsharing-service/>

<sup>6</sup> <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7401339015041388545/>

Met het uitroepen van de stad Utrecht in najaar 2021 door het internationale internetplatform 'Fully Charged'<sup>7</sup> tot 'Fully Charged City 2021', en het winnen van de International Smart Grid Action Network Award 2022 is Utrecht als wereldwijd inspirerende stad ter wereld op het gebied van duurzame mobiliteit bekend geworden.

Het succes van de verschillende onderzoeksprojecten rondom het thema regionale netflexibiliteit zoals Smart Solar Charging, FLEET en ROBUST is ook op internationale schaal niet onopgemerkt gebleven. Meerdere projectpartners van ROBUST hebben op Europees niveau het opschalen van V2G ondersteund in het Horizon Europe programma SCALE.

Tijdens het Hyundai-event op donderdag 21 april 2022 in Utrecht hebben Hyundai en We Drive Solar hun samenwerking gepresenteerd waarmee V2G laden een rol gaat spelen in ons toekomstige elektriciteitsnet. Cartesius, één van de pilot locaties binnen Resultaat 3 van ROBUST, had hier de wereldwijde primeur met de officiële lancering van de eerste bi-directionele Hyundai IONIQ 5. Met deze eerste bi-directionele productie-auto was het Utrechtse bi-directionele ecosysteem op kleine schaal al bi-directioneel operationeel, wat toen een wereldwijde primeur was.

Bi-directioneel laden wordt ondertussen door steeds meer partijen opgepakt. Het Chinese BYD heeft in samenwerking met Octopus Energy een 'all-inclusive bundel' op de markt gezet waarin V2G een belangrijke rol speelt<sup>8</sup>. Diverse autofabrikanten hebben op de EV'S2025 beurs bi-directionele modellen aangekondigd: Polestar, Volvo, Kia, Volkswagen. Renault heeft aangekondigd de V2G-techniek in een reeks andere modellen personen- en bedrijfsauto's te gaan opnemen. Al met al valt te verwachten dat in 2025 en 2026 diverse bi-directionele automodellen op de markt gaan verschijnen.

## 11.2 Buiten de sector

Het potentieel van slim en bi-directioneel laden voor vermindering van de netcongestieproblematiek is bij netbeheerders en overheden niet onopgemerkt gebleven. Op dit moment zijn lokale, provinciale en landelijke overheden samen met de netbeheerders aan het onderzoeken of daarmee andere ambities zoals nieuwbouwplannen beter gerealiseerd kunnen worden.

<sup>7</sup> <https://fullycharged.show/>

<sup>8</sup> [Octopus & BYD turbocharge EV revolution with all inclusive car and charging bundle | Octopus Energy](#)

## 12 Overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn

Een overzicht van de projectgerelateerde publicaties is gegeven in de Publicatielijst (annex).

## Annex 1: Publicatielijst

### Wetenschappelijke publicaties gerelateerd aan ROBUST

- [1] Datum: april 2023  
 Titel: A comparative analysis of charging strategies for battery electric buses in wholesale electricity and ancillary services markets  
 Auteur: Nico Brinkel et al.  
 Tijdschrift: Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 172, 103085  
 Uitgever: Elsevier  
 Link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136655452300073X>
- [2] Datum: 1 mei 2023  
 Titel: Marginal emission factors in power systems: The case of the Netherlands  
 Auteur: Parnian Alikhani, Nico Brinkel, Wouter Schram, Ioannis Lampropoulos, Wilfried van Sark  
 Tijdschrift: Proceedings of the 12th International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems SMARTGREENS - Volume 1, 50-57, 2023  
 Uitgever: SciTePress  
 Link: <https://www.scitepress.org/Link.aspx?doi=10.5220/0011855700003491>
- [3] <https://research.tudelft.nl/en/publications/impact-of-lead-time-on-aggregate-ev-flexibility-for-congestion-ma/https://arxiv.org/pdf/2501.15946> Datum: 25 september 2023  
 Titel: Impact of Dynamic Tariffs for Smart EV Charging on LV Distribution Network Operation  
 Auteur: Flore Verbist, Nanda Kishor Panda, Pedro P. Vergara, Peter Palensky  
 Tijdschrift: 2023 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)  
 Uitgever: IEEE  
 Link: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10252603>
- [4] Datum: oktober 2023  
 Titel: A novel forecasting approach to schedule aggregated electric vehicle charging  
 Auteur: Nico Brinkel, Lennard Visser, Wilfried van Sark, Tarek AlSkaif  
 Tijdschrift: Energy and AI, Volume 14, 100297  
 Uitgever: Elsevier  
 Link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546823000691>

- [5] Datum: december 2023  
 Titel: Congestion management in electricity distribution networks: Smart tariffs, local markets and direct control  
 Auteur: Roman J. Hennig, Laurens J. De Vries, Simon H. Tindemans  
 Tijdschrift: Utilities Policy, Volume 85, 101660  
 Uitgever: Elsevier  
 Link: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101660>
- [6] Datum: 20 maart 2024 (nog in review)  
 Titel: Quantifying the Aggregate Flexibility of EV Charging Stations for Dependable Congestion Management Products: A Dutch Case Study  
 Auteur: Nanda Kishor Panda, Simon H. Tindemans  
 Link: <https://arxiv.org/abs/2403.13367>
- [7] Datum: 25 juni 2024  
 Titel: Enhancing smart charging in electric vehicles by addressing paused and delayed charging problems  
 Auteur: Nico Brinkel et al.  
 Tijdschrift: Nature Communications  
 Uitgever: Nature  
 Link: <https://www.nature.com/articles/s41467-024-48477-w>  
 Newsitem: <https://tki-robust.nl/nog-slimmer-laden-van-elektrische-autos/>
- [8] <https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101660> Datum: 24 juli 2024  
 Titel: Aggregate Peak EV Charging Demand: The Influence of Segmented Network Tariffs  
 Auteur: Nanda Kishor Panda, Na Li, Simon H. Tindemans  
 Tijdschrift: 2024 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)  
 Uitgever: IEEE  
 Link: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10599041>, de tekst is ook beschikbaar op <https://arxiv.org/abs/2403.12215>
- [9] Datum: oktober 2024  
 Titel: Efficient Quantification and Representation of Aggregate Flexibility in Electric Vehicles  
 Auteur: Nanda Kishor Panda, Simon H. Tindemans  
 Tijdschrift: Electric Power Systems Research, Volume 235, 110811  
 Uitgever: Elsevier

Link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779624006977>

- [10] Datum: 11 februari 2025  
 Titel: Smart charging for future electric vehicle adoption in office areas and flexibility assessment  
 Auteur: Parnian Alikhani et al.  
 Tijdschrift: 2024 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE)  
 Uitgever: IEEE  
 Link: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10863330>
- [11] Datum: 26 februari 2025  
 Titel: Mean-Field Stackelberg Game for Mitigating the Strategic Bidding of Energy Consumers in Congested Distribution Networks  
 Auteur: Amirreza Silani, Simon H. Tindemans  
 Tijdschrift: IEEEExplore  
 Uitgever: IEEE  
 Link: <https://doi.org/10.1109/CDC56724.2024.10886622>
- [12] Datum: april 2025  
 Titel: Vehicle-to-grid, why not? An interview with battery electric vehicle users with various driving patterns in Utrecht, the Netherlands  
 Auteur: Yang Hu, Francisco J. Bahamonde-Birke, Dick Ettema  
 Tijdschrift: Transport Policy, Volume 164, Pages 231-240  
 Uitgever: Elsevier  
 Link: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2025.02.009>
- [13] Datum: 18 juni 2025  
 Titel: Cyber Resilience of Electric Vehicle Charging in Smart Grids: The Dutch Case  
 Auteur: Sjors Hijgenaar, Alexandru Ștefanov, Arjan M. van Voorden, Peter Palensky  
 Tijdschrift: IEEE Access, Volume 13, Pages 111454-111483  
 Uitgever: IEEE  
 Link: <https://ieeexplore.ieee.org/document/11039783/keywords#keywords>
- [14] Datum: 25 augustus 2025  
 Titel: A Comprehensive Incremental and Ensemble Learning Approach for Forecasting Individual Electric Vehicle Charging parameters  
 Auteur: Parnian Alikhani et al.

- Tijdschrift: Electrical Engineering and Systems Science  
 Uitgever: ArXiv  
 Link: (preprint) <https://arxiv.org/abs/2508.17772>
- [15] Datum: september 2025  
 Titel: Multi-objective optimization of electric vehicle charging considering market coupling in north-western Europe  
 Auteur: Parnian Alikhani et al.  
 Tijdschrift: Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 146, 104829  
 Uitgever: Elsevier  
 Link: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.104829>
- [16] Datum: 6 oktober 2025  
 Titel: Impact of Lead Time on Aggregate EV Flexibility for Congestion Management Services  
 Auteur: Nanda Kishor Panda, Peter Palensky, Simon H. Tindemans  
 Tijdschrift: 2025 IEEE Kiel PowerTech  
 Uitgever: IEEE  
 Link: <https://research.tudelft.nl/en/publications/impact-of-lead-time-on-aggregate-ev-flexibility-for-congestion-management-services/> , <https://arxiv.org/pdf/2501.15946>
- [17] Datum: juni 2025  
 Titel: Auteur: Nanda Kishor Panda, Baerte de Brey, Bart Van Der Ree  
 Tijdschrift: 38th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS38) Goteborg, Sweden, June 15-18, 2025  
*not published yet*
- [18] Datum: maart 2026  
 Titel: Understanding behavioral factors influencing EV smart charging: A mixed-method study of citizens' capabilities, opportunities, and motivations  
 Auteurs: Janna de Graaf, Marijn Stok, John de Wit, Michèlle Bal  
 Tijdschrift: Energy Policy  
 Uitgever: Elsevier  
 Link: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2025.115060>

## Publicaties in vakbladen

- [19] Datum: 27 juni 2022  
Titel: This Dutch City is Road-testing Vehicle-to-grid Tech  
Uitgever: Michael Dumiak, IEEE Spectrum  
Link: <https://spectrum.ieee.org/vehicle-to-grid>  
ROBUST website item: <https://tki-robust.nl/ieee-spectrum-this-dutch-city-is-road-testing-vehicle-to-grid-tech/>
- [20] Datum: 1 juni 2024  
Titel: Utrecht, premiere ville V2Grid  
Interview: Robin Berg, Matthijs Kok  
Uitgever: Le Journal du Photovoltaïque  
Link (ROBUST website): <https://tki-robust.nl/utrecht-premiere-ville-v2grid/>
- [21] Datum: 15 oktober 2024  
Titel: Met slim laden en ontladen van elektrische auto's willen we het elektriciteitsnet stabiel maken. Interview: Robin Berg (We Drive Solar)  
Uitgever: RVO - praktijkverhalen (website)  
Link: <https://www.rvo.nl/praktijkverhalen/slim-laden-en-ontladen-elektrische-autos>
- [22] Datum: 15 april 2025  
Titel: Netcongestie te lijf met batterij op wielen. Interview: Robin Berg (We Drive Solar), Matthijs Kok (gemeente Utrecht)  
Uitgever: De Ingenieur  
Link: <https://deingenieur.nl/artikelen/netcongestie-te-lijf-met-batterij-op-wielen>

## Theses

- [23] Datum: augustus 2022  
Titel: Interplay between LV grids and EV's Charging Flexibility (Master thesis)  
Auteur: Flore Verbist, Master student  
Link: <https://tki-robust.nl/geen-netcongestie-door-flexibel-laden-van-elektrische-autos/>

- [24] Datum: december 2022  
 Titel: Modelling and Topology Optimisation of Medium Voltage Representative Networks for The Netherlands (Master thesis)  
 Auteur: Marcel Brouwers, Master student  
 Link: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A2f17706d-cd17-42a0-b2bf-f2bb5f0c84e9>
- [25] Datum: juni 2023  
 Titel: Optimization of a Smart Energy System with Bidirectional Charging Stations - A Case Study on P-Olympos, Utrecht (Master thesis)  
 Auteur: Till Cordes, Master student  
*Vertrouwelijk*
- [26] Datum: augustus 2023  
 Titel: Congestion Management in office areas and the role of EV flexibility – A case study on Utrecht Science Park (Master thesis)  
 Auteur: Christos Psaropoulos, Master student  
*Vertrouwelijk*
- [27] Datum: augustus 2024  
 Titel: Role of Flexibility in Grid Connection Capacity Planning of Large Urban Living Spaces (Master thesis)  
 Auteur: Stefano Carraro, Master student  
 Link: <https://repository.tudelft.nl/record/uuid:693d6ab1-a741-4f05-9f56-2b31c1b42a7e>
- [28] Datum: december 2024  
 Titel: Comparison of smart control for heat pumps (Master thesis)  
 Auteur: Ilian de Redelijkheid, Master student  
 Link: <https://studenttheses.uu.nl/handle/20.500.12932/48370>
- [29] <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A2f17706d-cd17-42a0-b2bf-f2bb5f0c84e9> Datum: 2024 (Universiteit Utrecht)  
 Titel: Eindrapport Regelgeving Nieuwbouwlocatie Wisselspoor – Een juridisch empirisch onderzoek naar de inzet van capaciteitsbeperkingscontracten en non-firm aansluit- en transportovereenkomsten in de nieuwbouwwijk Wisselspoor, als casus voor andere nieuwbouwwijken.  
 Auteur: M.M. van den Gronden (UU)  
*Vertrouwelijk*

- [30] Datum: juni 2025  
Titel: Grid congestion mitigation through flexible electric vehicle charging and heating demand  
Auteur: Femke Buijs, Master student  
*Vertrouwelijk*
- [31] Titel: Prioritizing on the grid without discrimination; An evaluation of the Dutch prioritization framework for distributing scarce transport capacity in the extent of the principle of non-discrimination. LLM Thesis Law and Sustainability in Europe.  
Auteur: N. Flink (UU)  
*vertrouwelijk*
- [32] Datum: Proefschrift, verdedigd 5 september 2025  
Titel: Smart Charging, Smarter Grids - Unlocking the Potential of Electric Vehicles in Mitigating Grid Congestion  
Auteur: Nico Brinkel  
Link: <https://www.publicatie-online.nl/publicaties/nico-brinkel>
- [33] Datum: Proefschrift, verdedigd 5 september 2025  
Titel: Understanding (un)sustainable action – Examining the dynamics of resistance and motivation in the sustainability transition  
Auteur: Janna de Graaf  
Link: <https://research-portal.uu.nl/en/publications/understanding-unsustainable-action-examining-the-dynamics-of-resi/>
- [34] Datum: Proefschrift, verdediging verwacht april 2026  
Titel: Unlocking Aggregate Charging Flexibility of Electric Vehicles  
Auteur: Nanda Kishor Panda

## Anders

- [35] Datum: augustus 2022  
Titel: Notitie Congestiemanagement  
Auteurs: A. Buijze & A. Abdalla  
*Vertrouwelijk*

- [36] Datum: 7 juni 2023  
 Titel publicatie: Routekaart Energieopslag  
 Uitgever: Ministerie van EZK, demissionair minister Rob Jetten  
 Link: <https://tki-robust.nl/bidirectioneel-laden-op-routekaart-van-rijk-naar-duurzaam-energiesysteem/>  
 ROBUST is in de Routekaart genoemd als mogelijke oplossing voor netcongestie.

## Webinars

- [37] Datum: 29 september 2022  
 Titel webinar: De webinar serie 'Morgen begint vandaag' met als thema 'Flexibele energie in de stad'  
 Uitgever/organisator: Bart van der Ree (USI) te gast bij de Nederlandse Vereniging Duurzame Energie (NVDE).  
 Link: <https://tki-robust.nl/flexibel-energiesysteem-robust-groot-in-beeld-bij-twee-webinars/>
- [38] Datum 29 september 2022  
 Titel webinar: Een flexibel elektriciteitssysteem bouwen met inzet van bi-directioneel ladende elektrische auto's  
 Uitgever/organisator: Nico Brinkel (UU) te gast bij ElaadNL.  
 Link: <https://tki-robust.nl/flexibel-energiesysteem-robust-groot-in-beeld-bij-twee-webinars/>
- [39] Datum: 31 maart 2023  
 Titel webinar: ISGAN Award 2022 - Excellence of EV Integration in Smart Grid  
 Datum: 20 juni 2023  
 Uitgever/organisator: Baerte de Brey (Stedin/ElaadNL) te gast bij IEA-ISGAN Awards.  
 Link: <https://www.iea-isgan.org/webinar-isgan-award-2022-excellence-of-ev-integration-in-smart-grid/>.
- [40] Datum: 20 juni 2023  
 Titel: Webinar Energy hubs: kansen en uitdagingen in de lokale omgeving (RVO)  
 Uitgever/organisator: Gertjan Geurts van Gemeente Utrecht te gast bij RVO  
 Link: <https://regionale-energiestrategie.nl/res+agenda/2474113.aspx?t=Webinar-Energy-hubs-kansen-en-uitdagingen-in-de-lokale-omgeving-RVO>

- [41] Datum: 27 maart 2025  
 Titel webinar: Online Feedbacksessie ROBUST Handelingsperspectieven  
 Netcongestie en Netflexibiliteit in Stadsregio's  
 Uitgever/organisator: USI/ROBUST
- [42] Datum: 16 april 2025  
 Titel: Nieuwe instrumenten voor het aanpakken van netcongestie in steden  
 Organisator: USI / UU / ROBUST  
 Link: <https://tki-robust.nl/nieuwe-instrumenten-voor-het-aanpakken-van-netcongestie-in-steden/>
- [43] Datum: 22 mei 2025  
 Titel webinar: Knowledge exchange meeting: ROBUST and FLEET to the Interreg project 'Super Smart Charging Hubs'  
 Uitgever/organisator: Bart van der Ree (USI) Gertjan Geurts (Utrecht) te gast bij Arjan Rodenburg van SSCH  
 Link: <https://www.interregnorthsea.eu/super-smart-charging-hubs>

#### Presentaties op evenementen

- [44] Datum: 13 juni 2022  
 Titel: Cyber Attacks on Electric Vehicle Charging Infrastructure and Impact Analysis  
 Spreker: Sjors Hijgenaar (Stedin)  
 Locatie: 35ste International Electric Vehicle Symposium & Exhibition (11-15 juni 2022) in Oslo, Noorwegen  
 Link: <https://tki-robust.nl/europese-krachten-gebundeld-voor-volledig-elektrisch-vervoer/>
- [45] Datum: april 2023  
 Titel: Marginal Emission Factors in Power Systems: The Case of the Netherlands  
 Spreker: Parnian Alikhani (UU)  
 Locatie: Smart Cities and Green ICT Systems, SMARTGREENS 2023  
 Presentatie van artikel
- [46] Datum: 17 juli 2023  
 Titel: Impact of Dynamic Tariffs for Smart EV Charging on LV Distribution Network Operation  
 Spreker: Nanda Kishor Panda (TU Delft)

Locatie: 2023 IEEE Power & Energy Society General Meeting  
Poster presentatie

- [47] Datum: 26 en 27 september 2023  
Titel: A Robust Sustainable Electricity System through Regional Flexibility (banner)  
Spreker: Bart van der Ree (USI)  
Locatie: AVERE E-mobility Conference (AEC2023) in Utrecht, NL (26-27 september 2023).  
Link: <https://tki-robust.nl/europese-krachten-gebundeld-voor-volledig-elektrisch-vervoer/>
- [48] Datum: oktober 2023  
Titel: Smart Charging for Future Electric Vehicle Adoption in Office Areas and Flexibility Assessment  
Spreker: Parnian Alikhani (UU)  
Locatie: 2023 IEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)  
Presentatie van artikel
- [49] Datum: 26 oktober 2023  
Titel sessie met 4 presentaties: ROBUST: Enabling the energy transformation on a local level - the case of electric vehicles  
Sprekers: Bart van der Ree (USI), Nanda Kishor Panda (TU Delft), Janna de Graaf (FSW UU), Yang Hu (GEO UU) en Anoeska Buijze (REBO UU)  
Locatie: Radboud Conferentie over Earth System Governance (ESG) in Nijmegen, NL gehouden van 24 tot en met 26 oktober 2023.  
Link: <https://tki-robust.nl/robust-op-de-earth-system-governance-conferentie-2023/>  
ROBUST-parallelsessie over de technische en sociale aspecten en benodigde wet- en regelgeving rondom het energiesysteem ROBUST.
- [50] Datum: 6 juni 2024  
Titel: Efficient Quantification and Representation of Aggregate Flexibility in Electric Vehicle  
Spreker: Nanda Kishor Panda (TU Delft)  
Locatie: 2024 Power System Computation Conference, Paris, France  
Presentatie van artikel

- [51] Datum: 20 juni 2024  
Titel: Aggregate Peak EV Charging Demand: The Influence of Segmented Network Tariffs  
Spreker: Nanda Kishor Panda (TU Delft)  
Locatie: 2024 IEEE transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)  
Presentatie van artikel
- [52] Datum: 30 juni 2024  
Titel: Efficient representations for the scheduling of aggregate charging power of battery electric vehicles  
Spreker: Simon Tindemans (TU Delft)  
Locatie: 33rd European Conference on Operational Research (EURO 2024), Copenhagen, DK  
Presentatie van artikel
- [53] Datum: 18 december 2024  
Titel: Mean-Field Stackelberg Game for Mitigating the Strategic Bidding of Energy Consumers in Congested Distribution Networks  
Spreker: Simon Tindemans (TU Delft)  
Locatie: 2024 IEEE 63rd Conference on Decision and Control (CDC)  
Presentatie van artikel
- [54] Datum: 18 juni 2025  
Titel: Practice What You Preach: Smart Charging in Practice  
A Case Study of Smart Charging Deployment in Distribution System Operations  
Spreker: Baerte de Brey (Stedin) en Nanda Kishor Panda (TU Delft)  
Locatie: EV'S38 Conference in Goteborg, Sweden  
Presentatie van artikel
- [55] Datum: 2 juli 2025  
Titel: Impact of Lead Time on Aggregate EV Flexibility for Congestion Management Services  
Spreker: Nanda Kishor Panda (TU Delft)  
Locatie: PowerTech Conference 2025, Kiel, Germany  
Presentatie van artikel
- [56] Titel: Quantifying Aggregate EV flexibility for Dependable Congestion Management Products  
Spreker: Nanda Kishor Panda (TU Delft)

Locatie: PowerRangers, georganiseerd door TPM, TU Delft

Link: <https://www.tudelft.nl/en/tpm>

## Awards

- [57] Datum: 23 april 2023  
 Event: Parnian Alikhani (UU) wint Best Student Paper Award  
 Locatie: Smart Cities and Green ICT Systems, SMARTGREENS 2023 in Prague, CZ  
 Link artikel:  
<https://www.scitepress.org/Link.aspx?doi=10.5220/0011855700003491>
- [58] Datum: september 2023  
 Event: Flore Verbist (MSc student TUDelft) wint Young Energy Leader Award  
 Locatie: Rotterdam Ahoy Convention Centre  
 Link artikel:  
<https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7105564375607857152/>

## Media-aandacht gerelateerd aan ROBUST

- [59] Datum: 20 januari 2022  
 Titel: Je elektrische auto kan straks ook een kleine elektriciteitscentrale worden  
 Uitgever: Nu.nl, Jeroen Kraan  
 Link: <https://www.nu.nl/nu-klimaat/6179160/je-elektrische-auto-kan-straks-ook-een-kleine-elektriciteitscentrale-worden.html>
- [60] Datum: 26 januari 2022  
 Titel: Je moet ellende niet met theelepeltjes opdienen  
 Media: BNR Nieuwsradio Podcast  
 Interview met: Nico Brinkel (UU)  
 Link: <https://www.bnr.nl/podcast/de-nieuwsdag/10465843/je-moet-ellende-niet-met-theelepeltjes-opdienen>
- [61] Datum: 21 april 2022  
 Titel: Lancering eerste bi-directionele productieauto op 21 april 2022, vervolgens in 13 landen over 3 continenten berichten  
 Media: verschillende  
 Link: <https://tki-robust.nl/lancering-eerste-bidirectionele-productieauto-gaat-de-wereld-over/>

- [62] Datum: 13 oktober 2023  
Titel: Je elektrische auto als thuisbatterij: terugleveren van energie kan je 1000 euro per jaar opleveren  
Media: AD Roland Tameling  
Interview met: Robin Berg  
Link: <https://www.ad.nl/auto/je-elektrische-auto-als-thuisbatterij-terugleveren-van-energie-kan-je-1000-euro-per-jaar-opleveren~a1a60d5c/>
- [63] Datum: 14 december 2023  
Titel: Elektrische auto als batterij: met 10.000 auto's kun je problemen stroomnet in Utrecht voorkomen  
Media: AD Ton Voermans  
Interview met: Baerte de Brey  
Link: <https://www.ad.nl/auto/elektrische-auto-als-batterij-met-10-000-autos-kun-je-problemen-stroomnet-in-utrecht-voorkomen~aa81e77c/>
- [64] Datum: januari 24  
Titel: Vol stroomnet bedreigt woningbouw Utrecht: laadpaal 's avonds op halve kracht  
Media: RTL  
Interview met: Lot van Hooijdonk (GU) en David Peters (CTO Stedin)  
Link: <https://www.rtl.nl/economie/artikel/5430534/gevolgen-van-vol-stroomnet>
- [65] Datum: 5 februari 2024  
Titel: Waarom Utrechtse laadpalen op drukke momenten je elektrische auto langzamer opladen  
Media: AD Maaïke Kooistra  
Interview met: Robin Berg  
Link: <https://www.ad.nl/utrecht/waarom-utrechtse-laadpalen-op-drukke-momenten-je-elektrische-auto-langzamer-opladen~af860ebe/>
- [66] Datum: 26 november 2024  
Titel: Vijfhonderd elektrische deelauto's gaan stilstaand stroom laden én terugleveren om het volle stroomnet te ontlasten. Zet dat zoden aan de dijk?  
Media: Trouw Joost van Velzen  
Link: <https://www.trouw.nl/duurzaamheid-economie/kunnen-elektrische-auto-s-utrechts-stroomtekort-oplossen~b41e4038/?referrer=https://www.ecosia.org/>
- [67] Datum: 27 november 2024  
Titel: Deelauto ontlast stroomnet Utrecht

- Media: BNR/Podcast BNR Mobility  
 Link: <https://www.bnr.nl/podcast/bnr-mobility/10561817/deelauto-ontlast-stroomnet-utrecht>
- [68] Datum: 27 november 2024  
 Titel: Utrecht wil overbelaste stroomnet fiksen met 500 extra elektrische auto's (en dat is best slim)  
 Uitgever: Top Gear/ Mattijn Nederend  
 Link: <https://topgear.nl/autonieuws/utrecht-wil-druk-op-stroomnet-verlagen-met-meer-elektrische-autos/>
- [69] Datum: 27 november 2024  
 Titel: Ook Amsterdam heeft oren naar elektrische deelauto's als energiebuffer  
 Uitgever: Parool/ Ton Voermans  
 Link: <https://www.parool.nl/nederland/ook-amsterdam-heeft-oren-naar-elektrische-deelauto-s-als-energiebuffer-b03a1b07/>
- [70] Datum: 27 november 2024  
 Titel: Slimme Renault 5 kan zomaar de perfecte thuisbatterij worden  
 Uitgever: AD/ Ton Voermans  
 Link: <https://www.ad.nl/auto/slimme-renault-5-kan-zomaar-de-perfecte-thuisbatterij-wordsen-a03a1b07/>
- [71] Datum: 29 augustus 2025  
 Titel: Smart charging: Researcher says smart EV charging could reduce grid congestion  
 Media: msn.com Science X Staff  
 Interview met: Nico Brinkel (UU) - nav Proefschrift  
 Link: <https://www.msn.com/en-us/news/technology/smart-charging-researcher-says-smart-ev-charging-could-reduce-grid-congestion/ar-AA1LuRDp>
- [72] Datum: 1 september 2025  
 Titel: Slim Laden Elektrische Auto's: Kostenbesparing en Ontlasting van Stroomnet  
 Media: YouTube Latino Clásico  
 Interview met: Nico Brinkel (UU) - nav Proefschrift  
 Link: [https://www.youtube.com/watch?v=yRWvxiPn\\_5Q](https://www.youtube.com/watch?v=yRWvxiPn_5Q)
- [73] Datum: 2 september 2025

Titel: Universiteit Utrecht: 'Slim laden goedkoper voor consument en beter voor stroomnet'

Media: Nederland Elektrisch Els Stultiens

Interview met: Nico Brinkel (UU) - nav Proefschrift

Link: <https://nederlandelektrisch.nl/actueel/nieuwsoverzicht/i3109/universiteit-utrecht-slim-laden-goedkoper-voor-consument-en-beter-voor-stroomnet>

- [74] <https://nederlandelektrisch.nl/actueel/nieuwsoverzicht/i3109/universiteit-utrecht-slim-laden-goedkoper-voor-consument-en-beter-voor-stroomnet> Datum: 2 september 2025

Titel: Onderzoek: flexibel nettatarief kan netcongestie door EV-rijders verminderen - Mobiliteit

Media: Mobiliteit.nl

Interview met: Nico Brinkel (UU) - nav Proefschrift

Link: <https://www.mobiliteit.nl/innovatie/2025/09/02/onderzoek-flexibel-nettarief-kan-netcongestie-door-ev-rijders-verminderen/>

- [75] <https://www.mobiliteit.nl/innovatie/2025/09/02/onderzoek-flexibel-nettarief-kan-netcongestie-door-ev-rijders-verminderen/> Datum: 11 september 2025

Titel: Nog slimmer laden

Media: Telegraaf Theo Besteman

Interview met: Nico Brinkel (UU) - nav Proefschrift

Link: <https://www.telegraaf.nl/financieel/jarenlang-een-zondebok-maar-elektrische-auto-s-kunnen-stroomnet-juist-ontlasten-opladen-tijdens-daluren-moet-goedkoper-worden/89319568.html>

- [76] <https://www.mobiliteit.nl/innovatie/2025/09/02/onderzoek-flexibel-nettarief-kan-netcongestie-door-ev-rijders-verminderen/> Datum: 2025

Titel: Pilotprojecten Slim Laden

Media: Nationale Agenda Laadinfrastructuur

Link:

<https://www.agendalaadinfrastructuur.nl/werkgroepen/werkgroep+smart+charging/pilotprojecten+slim+laden/default.aspx>

## Annex 2: Toetsing flexibiliteitssysteem aan programma van eisen principeoplossing

Een toetsing van het principe-flexibiliteitssysteem zoals beschreven in 7.1 aan het programma van eisen dat in 2022 als resultaat van Resultaat 1 is beschreven, levert het volgende op:

Technische eisen	Toetsing	Lagen van de piramide
- Significante impact op de flexibiliteit in het elektriciteitsnet, dat wil zeggen de mogelijkheid om de mogelijkheden te vergroten om tegemoet te komen aan de vraag naar transport zonder netverzwaring. De behoefte aan netflexibiliteit is nu al groot en zal naar verwachting snel groter worden als gevolg van de verwachte snelle toename van elektrisch rijden, elektrisch verwarmen en duurzame elektriciteitsopwek.	Uit de berekeningen in de openbare eindrapportage blijkt een aanzienlijke potentiële impact van slim en netbewust laden, die met bi-directioneel laden nog groter is.	Alle
- Helpt knelpunten op te lossen op de tijd en plaats dat deze optreden. Dat betekent tevens dat op zowel middenspannings- als op laagspanningsnetten congestieproblemen kunnen worden bestreden.	Mede als gevolg van de vergrote focus in het project op netcongestie, onder meer door te kijken naar flexibele nettarieven, netbewust laden en vrijwillige en gedwongen redispatch, is de principeoplossing voor een groot deel gericht op congestiemanagement, en laten de impactberekeningen een groot potentieel voor congestiemanagement zien.	1, 2, 3
- De balans tussen de belangen van TSO en DSO's verbetert. De principeoplossing moet de potentie hebben van een aanzienlijke vermindering van de verwachte lokale netcongestie, waarbij de impact op het functioneren van de elektriciteitsmarkten en het beheer	De combinatie van vrijwillige en gedwongen redispatch, flexibele nettarieven en netbewust laden is (en wordt nog verder) ontwikkeld in nauw overleg tussen DSO's en TSO en heeft geleid tot verbetering in de balans tussen belangen van DSO's (vooral lokale netcongestie) en TSO (congestie op hoge netvlakken, onbalansmarkten).	Alle

van het transmissienet beperkt blijft.

Toepasbaar en toegankelijk is voor de belanghebbers en potentiële aanbieders van flexibiliteit. Dit zijn onder meer DSO's, TSO, exploitanten van laadpalen, warmtepompen, stationaire batterijen en duurzame opwekkers;

De toegankelijkheid wordt door de netbeheerders samen met overheden snel ontwikkeld. Netbewust laden, congestiecontracten voor laadpaalexploitanten, GOPACS-redispatch zijn daar voorbeelden van. Voor diverse deelgebieden (slim en bi-directioneel laden van EV's, aggregatie van warmtepompen en stationaire batterijen) is nog verdere harmonisatie van protocollen nodig.

1, 2, 3

- Robuust en betrouwbaar is.

Uit de evaluaties (zie openbare eindrapportage) komt naar voren dat bij voldoende aantallen laadpalen de robuustheid van slim en bi-directioneel laden zeer hoog is. Hetzelfde geldt voor warmtepompen en andere kleine flexbronnen.

Alle

- Opschaalbaar is.

De implementatie door de netbeheerders van de flexibiliteitsmechanismen is gericht op opschaalbaarheid en grote impact. Voor opschaling in sommige segmenten is nog wel verdere ontwikkeling in regelgeving (bijvoorbeeld slimme netten in woonwijken) en randvoorwaarden (bijvoorbeeld dubbele energiebelasting bij V2G) nodig.

Alle

- Zich baseert op bestaande standaarden evengoed naar aanstuur protocollen als naar de flexibiliteitsmarkten. Indien dit niet mogelijk is zo veel als mogelijk in overleg met de betrokken partners tot een werkbare en toekomstgerichte oplossing komen.

De mechanismen van het flexibiliteitssysteem zijn gekozen om aan te sluiten op bestaande standaarden en protocollen. Zoals hierboven gezegd is op sommige gebieden verdere harmonisatie nodig.

Alle

#### **Eisen met betrekking tot beleid en regelgeving**

- Voldoende aansluiten op beleid en regelgeving (nationaal en Europees) zodat de oplossing

Door de mechanismes te baseren op bestaande en in ontwikkeling zijnde regelgeving en de V2G-techniek op open

Alle

zonder al te grote problemen op grote schaal kan worden ingevoerd.	internationale protocollen is dit maximaal gewaarborgd. V2G moet aansluiten op (nationale) netcodes; de implementatie op de nieuwe protocollen beoogt dat te doen.	
- Waar aanpassingen van beleid of regelgeving nodig zijn voor uitwerking tot het te realiseren flexsysteem, moet de principeoplossing zodanig zijn ontworpen dat deze aanpassingen haalbaar zijn en/of aansluiten op huidige ontwikkelingen in beleid en regelgeving.	De mechanismes in het flexsysteem ontwikkelen zich in lijn met recente ontwikkelingen in beleid en regelgeving rond congestiemanagement.	Alle
- Verdere innovatie, flexibilisering en de doelen van de energietransitie niet onnodig belemmeren;	De onderzochte mechanismes sluiten sterk aan op de huidige ontwikkelingen.	Alle
<b>Eisen met betrekking tot bestuur en governance</b>		
- Zodanig zijn ingericht dat de verantwoordelijke partijen (DSO's, TSO, overheden) het systeem kunnen beheren en opschalen, en wanneer nodig aanpassen en verder ontwikkelen;	Dit is gaande. DSO's, TSO en overheden zijn de mechanismen voor congestiemanagement vanuit gedistribueerde kleine flexbronnen aan het uitwerken en opschalen; verdere ontwikkeling (zoals automatische redispatchbiedingen vanuit V2G-vloten of andere kleine bronnen en uitwerking van de nieuwe nettariessystematiek) is al ingezet.	Alle
- De governancerollen en -verantwoordelijkheden zodanig duidelijk toewijzen dat bovenstaande partijen duidelijke rollen hebben die zij ook kunnen vervullen.	In de nieuwe regelgeving rondom congestiemanagement (bijvoorbeeld congestiemanagementcontracten voor CPO's) worden de rollen en verantwoordelijkheden geleidelijk aan duidelijker.	Alle
Gemeenten de mogelijkheid bieden om netverzwaringen ruimtelijk beter in te passen in de stedelijke omgeving.	Gemeente Utrecht heeft een model laten ontwikkelen om netverzwaringen in combinatie met slim en bi-directioneel laden ruimtelijk beter in te passen, en is daarmee verkenningen aan het doen.	Alle

**Eisen met betrekking tot eindgebruikersaspecten**

Aansluiten op behoeften van de eindgebruikers;	De principeoplossing is onderzocht op gebruiksaspecten en sluit daarop aan. Op een aantal aspecten (bijvoorbeeld de exacte propositie aan EV-eigenaren met bi-directioneel thuislaadpunt) is nadere ontwikkeling nodig.	2, 3
- Voor eindgebruikers eenvoudig genoeg te hanteren zijn;	Slim laden is grotendeels transparant naar de eindgebruiker voor publiek en thuis laden: er zijn weinig of geen extra handelingen nodig. Voor deelauto's is slim en V2G laden volledig transparant.	Alle
- Voldoende vertrouwen bieden in werking en veiligheid;	Dit zal bij verdere uitrol moeten worden bereikt.	Alle

### Eisen met betrekking tot energiemarkten en handelssystemen

De huidige energiemarkten en handelssystemen zodanig aanvullen dat lokale congestie wordt voorkomen terwijl de balans in de elektriciteitsmarkt niet onevenredig wordt geschaad;	De ontwikkelingen van netbewust laden, nettarieven en vrijwillige redispatch via GOPACS beogen dit.	1, 2, 3
- Aan aggregatoren en/of andere aanbieders de mogelijkheid bieden om lokaal congestiemanagement als dienst aan te bieden op basis van grotere aantallen kleine assets, zoals V2G-laadpalen en warmtepompen.	Dit wordt al geïmplementeerd in congestiecontracten en de GOPACS-faciliteit voor geaggregeerde flex is in ontwikkeling.	2, 3
Voldoende prikkels / meerwaarde (financieel of anders) bieden aan potentiële aanbieders van flexibiliteit.	Dit is deels nog onzeker, maar bij congestiecontracten voor laadpaalexploitanten worden daarvoor nu benchmarks gezet. Prijsvorming op de GOPACS-faciliteit voor geaggregeerde flex zal in de toekomst blijken.	2, 3

### Eisen met betrekking tot tariefstellingen

- Een weloverwogen afweging maken tussen de diverse belangen van netbeheerders en aangeslotenen.	Dit is ontwikkeling, zie ook hierboven.	Alle
--	---	------

<p>- Voldoende prikkels / meerwaarde (financieel of anders) bieden aan potentiële aanbieders van flexibiliteit, en de waarde die wordt gegenereerd door de flexibiliteit op redelijke wijze verdelen tussen de belanghebbenden.</p>	Dit is ontwikkeling, zie hierboven.	Alle
<p><b>Eisen met betrekking tot data-interoperabiliteit</b></p>		
<p>- De benodigde data-uitwisseling mogelijk maakt tussen de beoogde aanbieders van flexibiliteit, zoals exploitanten van laadpalen, warmtepompen, stationaire batterijen en duurzame opwekkers, en vragers van flexibiliteit, zoals DSO's, TSO, BRP en aggregatoren</p>	Dit is in ontwikkeling, met name de implementatie van dynamische congestiemanagementcontracten, en redispatch via GOPACS. Voor data-uitwisseling met warmtepompen en stationaire batterijen is harmonisatie van protocollen benodigd.	2, 3, 4
<p><b>Eisen met betrekking tot digitale veiligheid en privacy</b></p>		
<p>- De privacyrechten van gebruikers en de AVG-richtlijnen daarover respecteert;</p>	Aan deze eis wordt tot nu toe (voor zover bekend) door de actoren voldaan; dit moet in de toekomst bewaakt blijven worden.	Alle
<p>- Geen of weinig gevaar oplevert voor instabiliteit van elektriciteitsnetten als gevolg van cyber-aanvallen;</p>	Dit is door Stedin in het project onderzocht. De nieuwe V2G-protocollen (ISO15118-20) zijn zwaar beveiligd. Voor andere assets zal dit in de toekomst bewaakt moeten worden.	Alle
<p>- Geen of minimaal risico introduceert voor verstoringen van de leveringszekerheid</p>	Bij het onderzoek is hiervoor aandacht geweest, bijvoorbeeld bij het analyseren van effecten van verschillende vormen van nettarieven.	Alle