

ROBUST

Robuust duurzaam elektriciteitssysteem door
regionale flexibiliteit

Openbare Voortgangsrapportage
vierde projectjaar ROBUST

28 april 2025

Universiteit Utrecht, Utrecht Sustainability Institute

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

Inhoudsopgave

1. Samenvatting van de uitgangspunten en de doelstellingen van het project en de samenwerkende partijen	3
1.1 Doelstellingen	3
1.2 Uitgangspunten	4
1.3 Samenwerkende partijen	7
2. Beschrijving van de uitgevoerde activiteiten, de behaalde resultaten per mijlpaal, de knelpunten en het perspectief voor toepassing.....	11
2.1 Uitgevoerde activiteiten en resultaten.....	11
2.2 Behaalde resultaten per mijlpaal.....	48
2.3 Knelpunten	48
2.4 Perspectief voor toepassing.....	49
3. Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling.....	49
4. Spin-off binnen en buiten de sector.....	51
4.1 Binnen de sector.....	51
4.2 Buiten de sector.....	52
5. Overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn.....	53
5.1 Publicaties.....	53
5.2 Media-aandacht	57

1. Samenvatting van de uitgangspunten en de doelstellingen van het project en de samenwerkende partijen

Deze openbare voortgangsrapportage geeft een overzicht van de gemaakte voortgang in de periode 1 april 2024 tot 31 maart 2025, het vierde projectjaar van het MOOI-project ROBUST. Het project is gestart op 1 april 2021 en eindigt op 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 bidirectioneel ladende auto's aangevuld met stationaire batterijen en andere decentrale flexbronnen bieden een snelgroeiend flexibiliteitspotentieel dat kan uitgroeien tot een integraal, stadsregiobreed 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 aan de nationale balansmarkten.

Kernproblemen van het onderzoek van ROBUST zijn:

1. Er is een 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 pakt deze knelpunten aan 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 verzwaringskosten 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 worden onderzocht zijn het slim laden en het bidirectionele gebruik van elektrische (deel)auto's. Hiervan wordt een groot potentieel verwacht in de komende jaren. Daarnaast is er aandacht voor stationaire

batterijen, slimme aansturing van zonnepanelen en warmtepompen. Dit vooruitlopend op de toekomstige situatie waarin ook elektrische stadsdistributie, sturing van warmtepompen en zonnestroom, power2gas zoals waterstof, power2heat en andere technieken flexibiliteit kunnen gaan leveren.

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's Utrecht is actieve stakeholder en vormt in dit project de belangrijkste onderzoeklocatie voor geïntegreerde flexibiliteit op wijk- en stadsregioniveau. Andere stadsregio's zoals Eindhoven, Amsterdam en Rotterdam hebben toenemende betrokkenheid bij het activeren van gedistribueerde flexibiliteit.

De beoogde projectresultaten zijn:

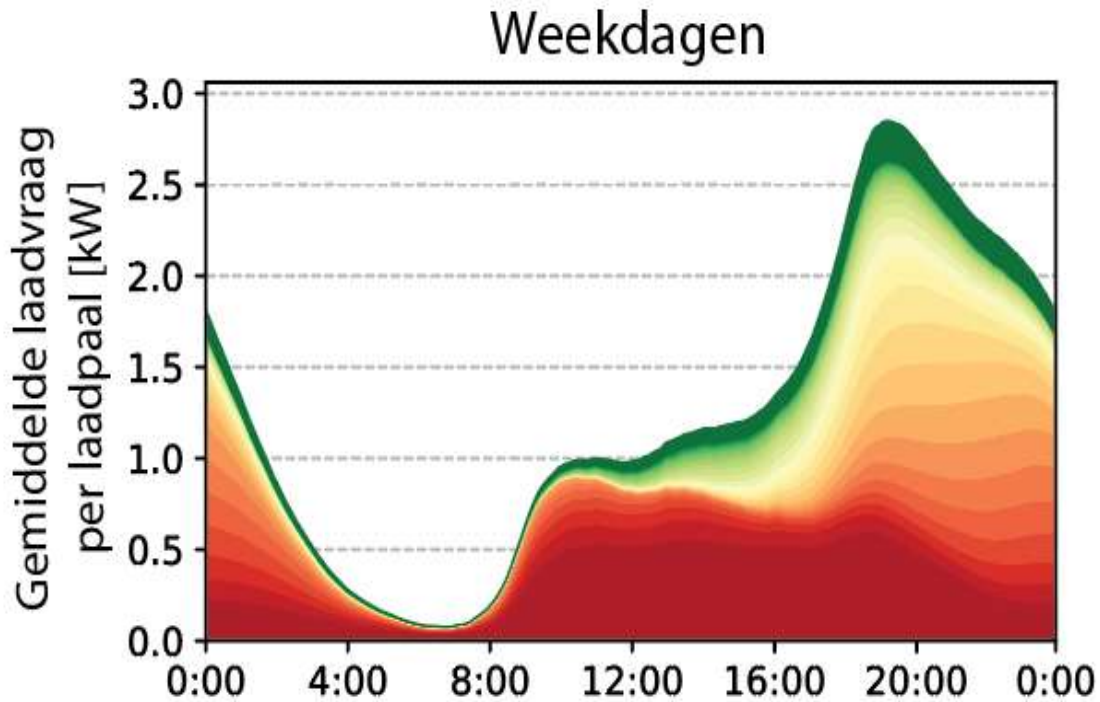
1. Pionierende innovatieclusters rond flexibiliteitssystemen in Utrecht en andere steden zijn verbonden;
2. Onderzoek aan de potenties van grootschalige inzet van V2G-(deel)auto's voor netflexibiliteit;
3. Het potentieel van flexibiliteitssystemen in de stadsregio's Utrecht en andere steden is bekend;
4. Proof-of-principle van wijkflexibiliteitssysteem voor de functies wonen, werken en mobiliteit en van een integraal flexibiliteitssysteem op stadsregioniveau met optimale verhouding tussen flexibiliteit en netverzwaring, gevalideerd op gedragsaspecten, dataveiligheid, leveringszekerheid, economische waarde, beleidsontwikkeling en juridische implicaties.

De beoogde producten en diensten voor grootschalige toepassing zijn:

1. Een modelbasis t.b.v. flexsystemen voor de deelfuncties wonen, werken en mobiliteit, en voor ontwikkeling van integrale flexsystemen op stadsregioniveau;
2. Laadalgoritme Slim Laden 2.0, voor slim en bidirectioneel laden van groepen V2G (deel)auto's;
3. Meerjarige datasets die kunnen helpen om de consumptie van duurzame opwek en de financieringsmogelijkheden voor V2G te vergroten.

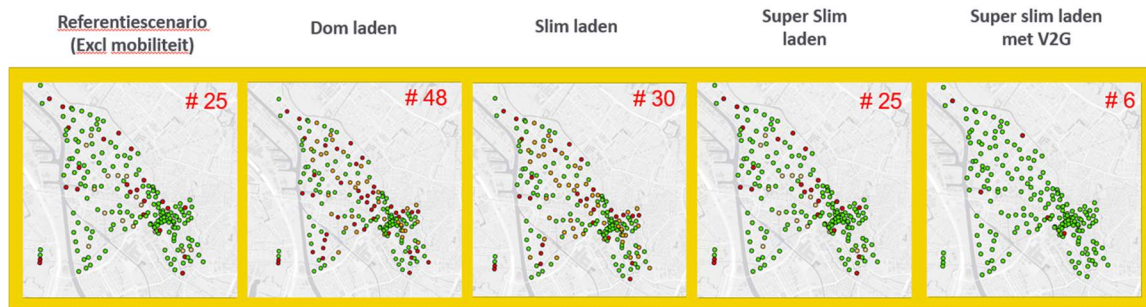
1.2 Uitgangspunten

Onderzoek (zie Figuur 1) bevestigt dat elektrische auto's een aanzienlijke extra belasting op het elektriciteitsnetwerk veroorzaken. Maar als ze slim en bidirectioneel kunnen laden, kunnen ze juist een oplossing worden en zelfs vraag- en aanbodpieken van andere netgebruikers zoals zonnepanelen, windturbines en warmtepompen opvangen.



Figuur 1: Laden van elektrische auto's kan tot netcongestie leiden 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.

Alle netbeheerders onderzoeken de te verwachten toekomstige behoefte aan flexibiliteit – de DSO's vooral om congestie te voorkomen, de TSO daarnaast ook voor balanshandhaving. Ter illustratie: Stedin heeft de potentie van slim laden van elektrische auto's enkele jaren geleden in beeld gebracht in zogeheten kansencarten. Te zien is hoe in 2035 als gevolg van de toegenomen inzet van zonnepanelen en warmtepompen congestie wordt verwacht op een aanzienlijk aantal onderstations in een bestaand Utrechts stadsdeel. Vervolgens hoe door de toename van EV's bij ongestuurd laden dat aantal verder toeneemt, hoe slim laden van die EV's de belasting van de transformatoren zichtbaar verlaagt, en hoe Vehicle-to-grid laden tot zichtbare verdere vermindering van de congestie leidt. Hier niet zichtbaar, maar wel te verwachten, is verdere vermindering door inzet van andere flexibiliteitsbronnen (zoals wijkbatterijen, warmtepompmanagement en slim laden van andere elektrische voertuigen zoals e-bussen).



● : trafohuisje minder dan 80% belast ● : trafohuisje 80-100% belast ● : trafohuisje meer dan 100% belast

Figuur 2: Uit berekeningen van Stedin komt naar voren dat V2G een groot deel van de verwachte netcongestie in wijken kan tegengaan.

In Utrecht is de afgelopen jaren een wereldwijd unieke proeftuin ontstaan voor slim en bidirectioneel laden van elektrische auto's: het Utrechts Bidirectioneel Ecosysteem, met ondertussen 700 bidirectionele laadpalen die elektrische auto's kunnen laden maar ook ontladen en met ongeveer 400 elektrische deelauto's (per voorjaar 2024) die slim en – vanaf april 2025 in snel toenemende aantallen – bidirectioneel kunnen laden.



Figuur 3: Flexibiliteitsassets in de stad Utrecht

ROBUST voert onderzoek uit naar de volgende onderzoeksvragen:

- Hoe ziet het integrale flexsysteem op stadsregioniveau er idealiter uit, d.w.z. aan welke eisen moet het voldoen en uit welke combinaties van deeloplossingen kan het bestaan?
- Welke modelbasis is er nodig om dit integrale flexsysteem te modelleren en de doelmatigheid ervan te kwantificeren?

- c. Wat zijn de randvoorwaarden in termen van gedragsaspecten, dataveiligheid, beleid en regelgeving voor het goed functioneren van dit het flexibiliteitssysteem?

1.3 Samenwerkende partijen

Het ROBUST-projectteam is opgebouwd uit de volgende consortiumpartners, met in een klankbordrol het ROBUST-gebruikerspanel, het ROBUST-expertpanel en het MOOI-projectpanel.

De consortiumpartners zijn:

Stedin Netbeheer BV

Verschillende organisaties (de DSO en marktpartijen) hebben belangen rond het inzetten van flexibiliteit van o.a. elektrische auto's. Deze flexibiliteit zal door de EV-rijder beschikbaar gesteld moeten worden. Door in dit project samen te werken krijgt Stedin inzicht in 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 Bidirectioneel Ecosysteem - opgebouwd op het gebied van bidirectioneel laden i.c.m. duurzame opwekking. Smart Solar Charging BV ontwikkelt hier graag op verder door grootschalige tests van dit energiesysteem van de toekomst.

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 ontwikkelt Enervalis zijn energiecontrole-oplossing voor slim en bidirectioneel laden van deelauto's verder en draagt bij aan de haalbaarheidsstudies en pilotprojecten.

E.D.Mij BV

E.D.Mij heeft als kernactiviteit het faciliteren van de actieve afnemer (en producent) van elektriciteit door voor hem stroom te verhandelen op de groothandelsmarkt en voor hem flexibiliteit ter beschikking te stellen aan de netbeheerders. We houden de waardeketen zo kort als mogelijk door de formele rol te nemen van BRP, BSP en energieleverancier. EDMij is expert in het flexibiliteitsplatform GOPACS en draagt deze kennis bij om dat onderdeel van de flexibiliteitsoplossing verder geschikt te maken voor bidirectioneel laden.

ElaadNL

Verschillende organisaties (de DSO's en marktpartijen) hebben belangen rond het inzetten van flexibiliteit van o.a. elektrische auto's. Deze flexibiliteit zal door de EV-rijder beschikbaar gesteld moeten worden. 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 krijgt 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 ondersteunen we in onafhankelijk onderzoek en de ontwikkelingen die verricht worden op het gebied van duurzaamheid, en tevens de resultaten van die activiteiten door middel van kennisoverdracht breed verspreiden en advisering verrichten. USI is gedelegeerd projectleider en kennisintegrator in dit project.

Universiteit Utrecht / Faculteit Geowetenschappen – Copernicus Institute

Het Copernicus Instituut voor Duurzame Ontwikkeling 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 nauw samen met maatschappelijke partners. Centraal in het onderzoek staan analyse op systeemniveau van duurzame energiesystemen, energiedragers en technologieën (zon, wind, EVs, batterijen), governance en circulariteit.

Universiteit Utrecht / Faculteit Geowetenschappen – Sociale Geografie en Planologie

Sociale Geografie en Planologie voert 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 transitie zijn een speerpunt. De onderzoeksgroep wil een bijdrage leveren aan duurzaamheidsonderzoek, een strategische prioriteit van Universiteit Utrecht, door het versterken van het sociaalwetenschappelijke perspectief op theorie, onderzoek, beleid en praktijk rondom duurzaamheid. De groep draagt bij met onderzoek naar gedrag- en gedragsverandering in 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 voert onderzoek uit 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.

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 heeft de HU de mogelijkheid om concreet bij te dragen aan energie-innovaties die op korte termijn toegepast worden in de gebouwde omgeving. ROBUST draagt bij 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 versterkt deze samenwerking.

Qbuzz

Busbedrijf Qbuzz onderzoekt hoe haar busremises waar circa 70 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

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 een belang bij innovatieve oplossingen die de aanpassingen in het net en hiermee de impact op de openbare ruimte zo veel mogelijk beperken.

Gemeente Arnhem

Ook in Arnhem is het bidirectioneel laden van elektrische auto's in opkomst. Gemeente Arnhem draagt bij vanuit haar belang in het verenigen van innovatie en duurzame ontwikkeling naar een klimaatneutraal energiesysteem.

Panels

Naast de samenwerking tussen de consortiumpartners heeft ROBUST ook een Expertpanel, een Gebruikerspanel en een MOOI-projectenpanel om de expertise aan te vullen en te verbreden, om gedurende het gehele onderzoek de inbreng vanuit eindgebruikers te borgen en om de projectimpact en kennisverspreiding te versterken. De leden van deze panels hebben panelsessies bijgewoond, kennis uitgewisseld, inzicht geboden in hun specifieke rollen en bijgedragen aan kennisverspreiding en implementatie van projectresultaten.

Het ROBUST gebruikerspanel bestaat uit vertegenwoordigers van de volgende partijen: a.s.r., Amvest / De Hes, Arnhem Craneveer, Arnhem GroenWest, MRP / Cartesiusdriehoek, Provincie Utrecht, RES U16, UU Vastgoed & Campus en Woningcorporatie Bo-Ex Utrecht.

Het ROBUST-expertpanel bestaat uit de volgende partijen: European Network Cyber Security, Liander, Qbuzz, TenneT, Time Shift en TKI Dinalog.

Daarnaast is er regelmatig contact met andere projecten. Zo zijn vertegenwoordigers van de MOOI projecten [TROEF](#), [SmoothEMS met Gridshield](#) en [B4B](#) verenigd in het MOOI-projectpanel, is er regelmatig uitwisseling van resultaten 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. Beschrijving van de uitgevoerde activiteiten, de behaalde resultaten per mijlpaal, de knelpunten en het perspectief voor toepassing

2.1 Uitgevoerde activiteiten en resultaten

In het vierde projectjaar zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

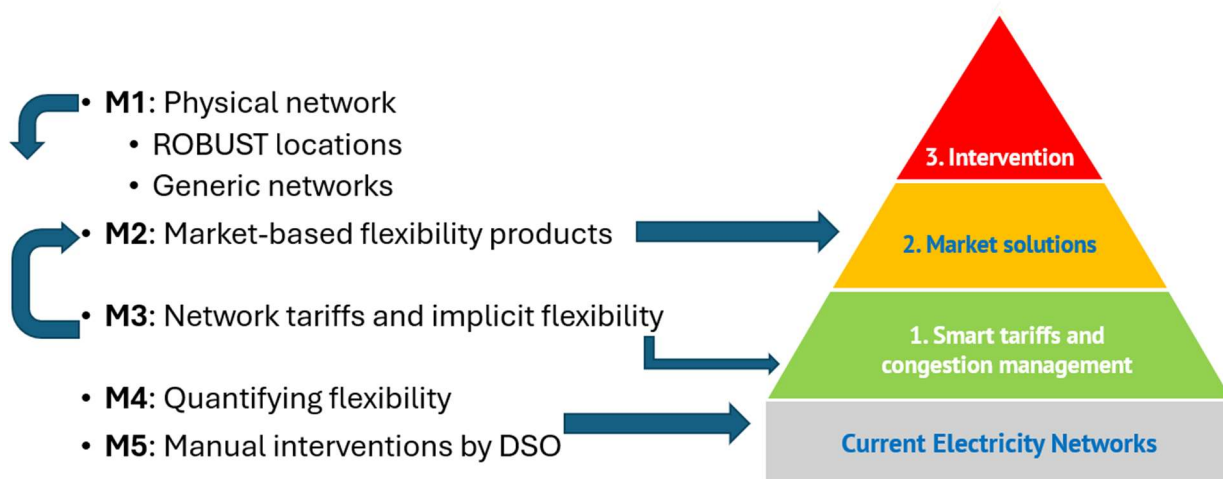
Resultaat 1: Principeontwerp en programma van eisen

Resultaat 1 (R1) is afgerond in 2022. De belangrijkste resultaten zijn:

A1.1 Definitie modelstructuur flexsysteem

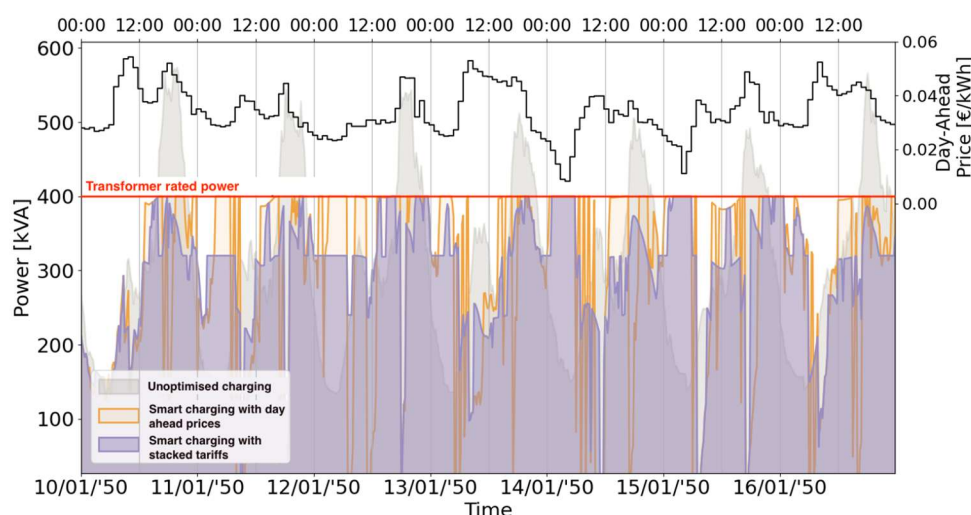
Een recap is opgesteld van relevante literatuur en onderzoek. Tevens is een overzicht opgesteld van de relevante kaders voor de principeoplossing van ROBUST, vanuit onder meer beleid, fiscale regelgeving, markten en handelssystemen. Deze documenten hebben gediend als input voor de ontwikkeling van de principeoplossing.

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 middenspanningsnetten met grote hoeveelheden laadpalen en andere flex-assets. In Figuur 4 wordt een overzicht gegeven van de modelstructuur zoals ontwikkeld in deze fase.



Figuur 4: Structuur van de modelbasis (M1-M5) die binnen ROBUST wordt ontwikkeld.

De deelmodellen hebben geleid 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 5 geeft daarvan een voorbeeld.



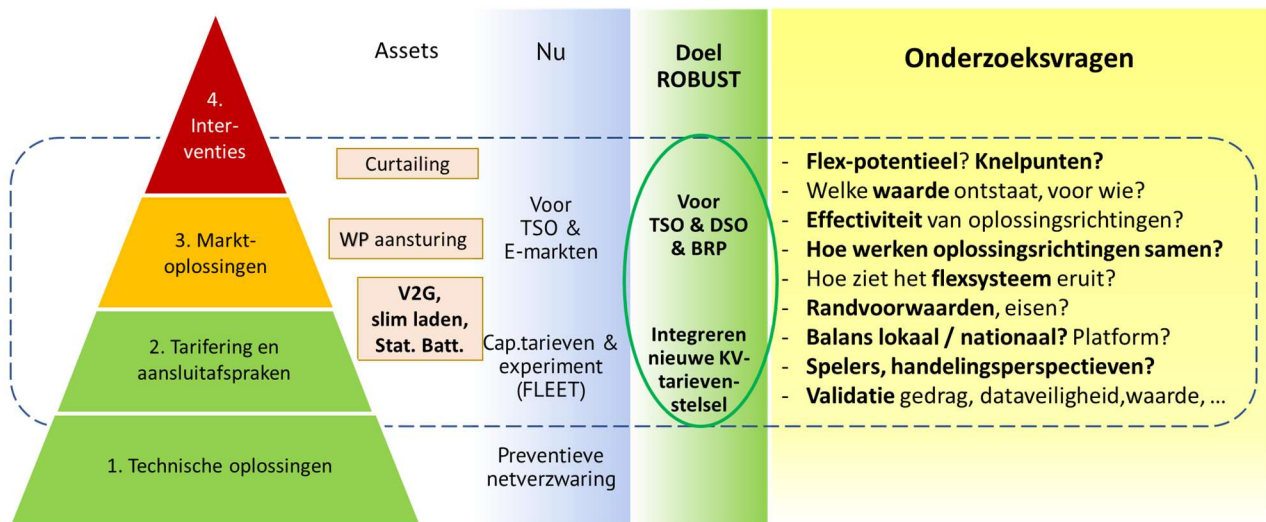
Figuur 5: Voorlopige simulatie van de belasting op een LS-transformator in een scenario voor een week in 2050. Te zien is hoe de verwachte overbelasting (lichtgrijze vlakken) wordt vermeden wanneer slim laden op basis van day-aheadprijzen of gestapelde tarieven wordt toegepast.

Bij de ontwikkeling van de modellering is ook aandacht besteed aan cyberveiligheid: bij Stedin zijn onder meer simulaties uitgevoerd voor cyberaanvallen op grids met V2G-laadpunten.

A1.2 Definitie en programma van eisen flexsysteem

De potentie van slim laden voor het beheersen van lokale netcongestie is geanalyseerd; de grootte van de potentiële impact was voor netbeheerder Stedin reden om slim en bidirectioneel laden als basis voor het ROBUST-flexsysteem te ontwikkelen en onderzoeken als middel om met name netcongestie te verminderen (zie ook Figuur 2 hierboven).

Een outline en 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 6 wordt de principeoplossing grafisch weergegeven langs de vier lagen van de pyramide van oplossingen voor congestiemanagement die door ROBUST maar ook door netbeheerders wordt gehanteerd. ROBUST 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 6: Grafische weergave van de principeoplossing en de onderzoeksvragen.

A1.3 Data management plan, borging dataveiligheid

Een analyse van de digitale veiligheid van de beoogde principeoplossing is uitgevoerd en de resultaten worden meegenomen bij de verdere ontwikkeling van de principeoplossing. Een datamanagementplan voor het project is opgesteld.

A1.4 Realisatie onderzoeksopzet

De onderzoeksopzet voor zowel technisch als niet-technisch onderzoek (gebruikers- en beleidsonderzoek) is uitgewerkt aanhakend op het hierboven genoemde modelleringsplan, programma van eisen, datamanagementplan en onderzoek digitale veiligheid.

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

Het onderzoek in Resultaat 2 is ingericht als een onderzoeksactie aan het Utrechts Bidirectioneel Ecosysteem, dat circa 700 bidirectionele laadpalen, 250 elektrische deelauto's, twee stationaire batterijen en diverse zonnestroomsystemen omvat.

In 2022 zijn een 25-tal bidirectionele productie-auto's toegevoegd aan het systeem: Hyundai IONIQ5s. Integratie van de bijbehorende laadpalen in het backoffice-systeem bleek echter problematisch, waardoor opschaling van V2G langs deze weg niet mogelijk was. Sindsdien is gewerkt aan het volledig compatibel maken van het systeem met de nieuwe standaard ISO15118-20 en het protocol OCPP2. Tevens heeft WDS met Renault een samenwerking opgezet om snel een groot aantal bidirectionele Renault 5 auto's te integreren met de op de nieuwe protocollen aangepaste bidirectionele laadpalen.

In april 2025 zijn de eerste 60 Renault 5 deelauto's in Utrecht door Mywheels samen met geupdatete laadpalen van We Drive Solar in gebruik genomen. V2G-bedrijf daarvan, in combinatie met de nieuwe laadpaalcontrollers, is al een aantal maanden getest en het wordt naar verwachting in mei 2025 voor alle Renault 5 deelauto's mogelijk. Snelle

opscaling naar circa 400 bidirectionele deelauto's en compatibele laadpalen per eind 2025 is in gang gezet. Tevens wordt de centrale aansturing van de laadpalen voor V2G-aansturing geïmplementeerd.



Figuur 7 In april 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 ondersteunt; rechts: eerste Renault 5 ingezet als MyWheels deelauto op V2G laadpaal. V2G-bedrijf zal starten in mei 2025.

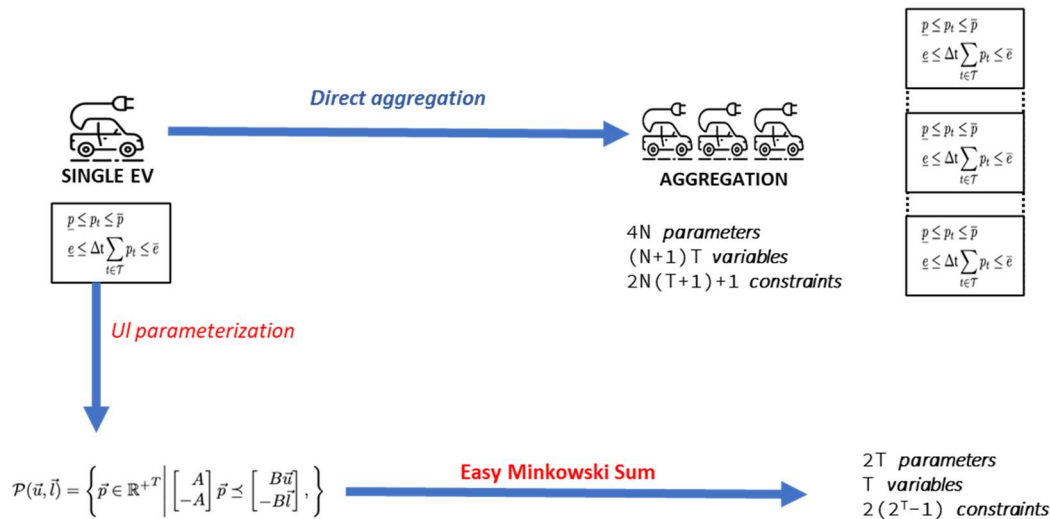
Het doel van Resultaat 2 was om een pilot te doen in het Utrechts Bidirectioneel Ecosysteem van de principeoplossing van het flexsysteem dat in Resultaat 1 is ontworpen, bestaande uit interventies op de lagen van tariefstelling, marktplatform voor lokale congestie en eventuele directe interventies. Op basis van monitoring en niet-technisch onderzoek wordt het flexibiliteitssysteem gevalideerd op de onderzoeksvragen.

A2.1 Onderzoek flexaanbod (feitelijk en mogelijk) in bestaande woonwijken

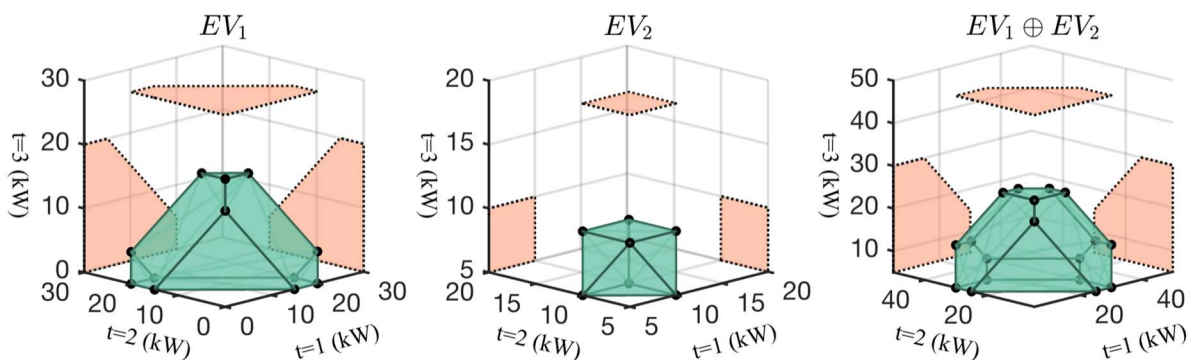
In A2.1 onderzoeken partijen het feitelijke en in de toekomst mogelijke flexaanbod dat het Utrechts Bidirectioneel Ecosysteem zal kunnen genereren binnen de principeoplossing.

Gedurende eerdere fases in het project is er aan de hand van historische laadtransacties van laadpalen uit het Utrechts Bidirectioneel Ecosysteem een analyse uitgevoerd om het flexpotentieel voor slim laden en V2G te berekenen. Het afgelopen jaar is deze methode verder ontwikkeld tot een nieuwe methode.

Het kwantificeren van de flexibiliteit van EV laden 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) waardoor het niet eenvoudig is om een beschrijving te geven van de collectieve flexibiliteit van een groot aantal voertuigen. Binnen het project is er een nieuwe methode ontwikkeld om deze flexibiliteit te kunnen kwantificeren, op basis van efficiënte aggregatie van laadsessies, zie Figuur 9 en Figuur 9. Deze kwantificatie van flexibiliteit kan vervolgens worden gebruikt als input voor de optimalisatie van laadsessies.



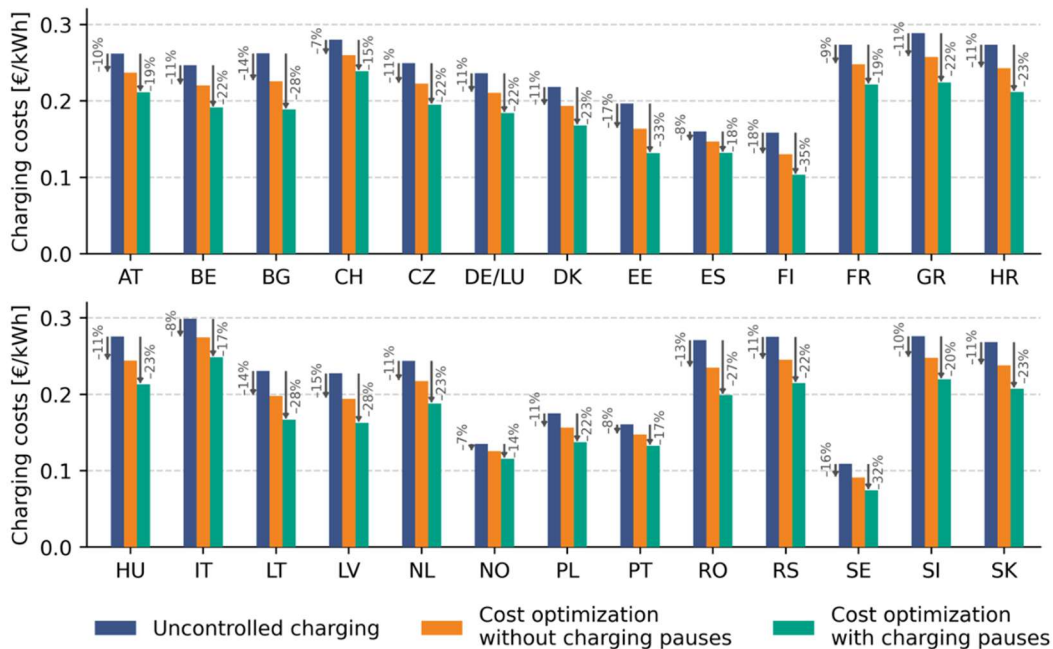
Figuur 8 Nieuwe aggregatiemethode voor flexibiliteit uit het laden van EV's



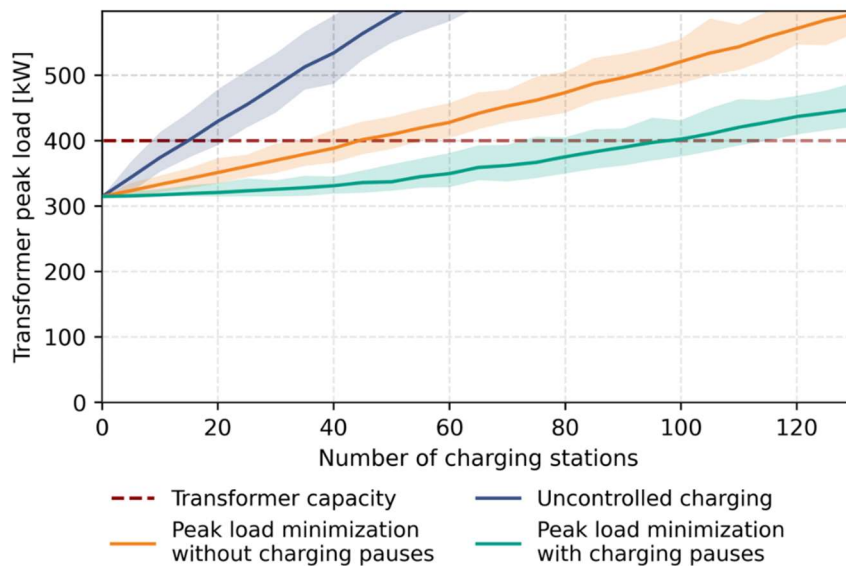
Figuur 9: Inzicht in hoe de ontwikkelde methode de flexibiliteit van EV's kwantificeert voor 2 verschillende laadsessies (linker twee figuren) en voor de geaggregeerde laadsessies.

Uit eerdere projecten (oa FLEET) bleek dat het flexpotentieel van slim laden van EV's flink beperkt wordt 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: ze moeten nadat ze zijn ingeplugd altijd 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 dus geladen moet blijven worden op momenten dat dit niet wenselijk is (momenten met congestie of hoge energieprijzen), wordt de effectiviteit van slim laden belemmerd. Het afgelopen jaar is hier een uitgebreide analyse naar uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de effectiviteit van verschillende toepassingen van slim laden ongeveer gehalveerd wordt door deze 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 10. Daarnaast is het aantal laadpalen dat geplaatst kan worden in een laagspanningsnet voordat er congestie optreedt ongeveer tweemaal zo groot, zoals blijkt uit Figuur 11. Deze inzichten gaan ervan uit dat de gebruiker ten alle tijden voorzien wordt in zijn energiebehoefte en dus niet minder laadt.

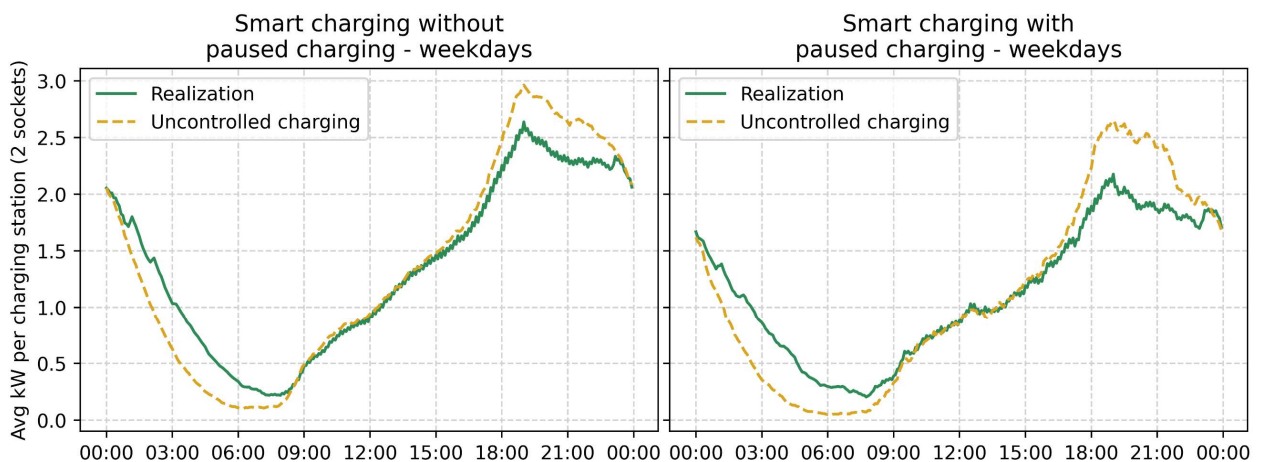
In het grootschalige laadexperiment met rond 400 laadpunten van We Drive Solar is het afgelopen jaar geleidelijk steeds stringenter omgegaan met gepauzeerd laden. Het sturingssysteem van Enervalis bevat een testroutine: incidentele laders worden vrijgesteld van gepauzeerd laden, en bij regelmatige laders wordt eerst de auto getest of deze goed omgaat met gepauzeerd laden alvorens het gepauzeerd laden voor die auto wordt ingevoerd. Het invoeren van gepauzeerd laden heeft de effectiviteit van slim laden vergroot (zie Figuur 12). Afgelopen jaar zijn stapsgewijs de parameters in het systeem die bepalen wanneer een auto wordt gezien als een regelmatige lader aangescherpt. Dat heeft geleid tot duidelijke verdere verlaging van de laadpieken in de namiddag en vroege avond. Toen gedurende korte tijd alle auto's werden onderworpen aan gepauzeerd laden bleek de laadpiek met meer dan 50% verlaagd te kunnen worden. Op dat moment nam het aantal klachten van gebruikers wel sterk toe.



Figuur 10: Laadkosten voor verschillende landen met ongestuurd laden, slim laden zonder uitgesteld laden en slim laden met uitgesteld laden.



Figuur 11: Piekbelasting van een transformator voor een verschillend aantal laadpalen en voor dom laden, slim laden zonder uitgesteld laden en slim laden met uitgesteld laden.



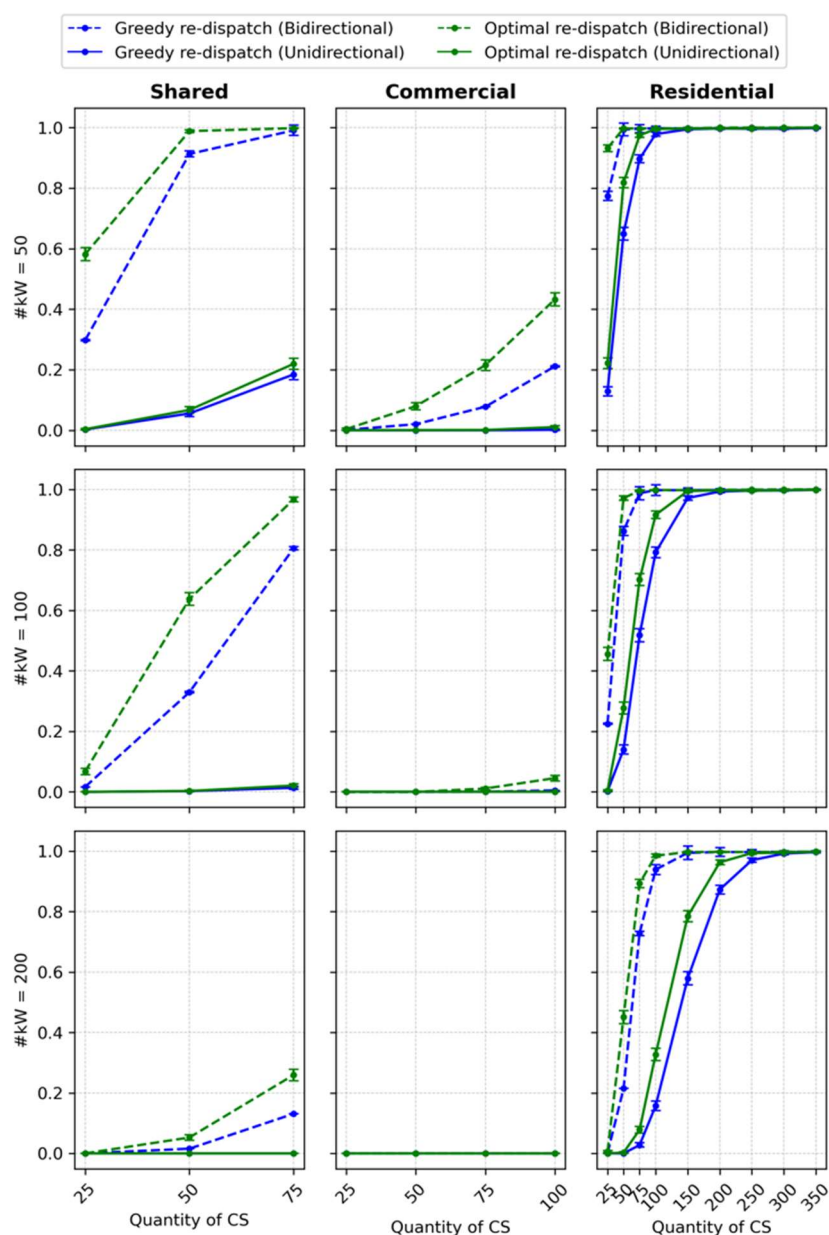
Figuur 12 Metingen van laadpieken met en zonder uitgesteld laden. Nog diepere reducties van de laadpiek zijn mogelijk door het systeem zo in te stellen dat het minder auto's vrijstelt van uitgesteld laden.

A2.2 Onderzoek mogelijkheden flexsysteem bestaande woonwijken in relatie tot flexvraag bij DSO en TSO

Met modelberekeningen is en wordt de impact van grote netwerken bidirectioneel 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. De modelbasis die in Resultaat 1 is gedefinieerd is zodanig ontwikkeld dat daarmee ook deze vraag voor A2.2 kan worden beantwoord.

De vraag naar flexibiliteit vanuit de DSO en TSO wordt geanalyseerd binnen het kader van de in 2022 geïntroduceerde regelgeving over congestiemanagement. Specifiek worden daarin twee productcategorieën gedefinieerd: redispatch-biedingen en capaciteits-

beperkingscontracten. Het statistische laadmodel, beschreven in A2.1, is gebruikt om te analyseren hoe waarschijnlijk het is dat een aggregator betrouwbaar congestiemanagement kan aanbieden op basis van geaggregeerde laadpalen. Voor redispatch is het van belang dat het minimale biedvolume van 100kW gehaald wordt, en voor de capaciteitsbeperkingscontracten de toename van de diversiteit door slim sturen van laden en ontladen. Voor verschillende type laadsessies is er in Figuur 13 gekeken naar het aantal laadpalen dat benodigd is in een portfolio om dit minimale biedvolume te behalen. Er is ook onderzocht hoe de mogelijkheden voor capaciteitsbeperkingscontracten zich verhouden tot de vereisten van 'netbewust laden' zoals gedefinieerd in het actieplan Slim Laden voor Iedereen.



Figuur 13: Waarschijnlijkheid dat een redispatch van 50/100/200kW kan worden gerealiseerd in de avonden, ten opzichte van 'dom' laden voor een verschillend aantal laadpalen en voor verschillende laadpaalcategorieën.

A2.3 Onderzoek flexsysteem bestaande woonwijken op niet-technologische aspecten (gebruikersaspecten en -beïnvloeding; implicaties beleid en regelgeving)

De niet-technische onderzoeksgroepen in ROBUST zijn op dit moment de onderzoeksvragen aan het toespitsen op aanvullend onderzoek in Utrecht – zowel bij gebruikers van het Utrechts Bidirectioneel Ecosysteem als bij anderen (potentiële toekomstige gebruikers).

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. De resultaten zijn verwerkt in een wetenschappelijk paper.

In 2025 is 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. Deze studie wordt voorjaar 2025 afgerond en gepubliceerd.

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 (Hu et al., 2025).

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. Een draft paper over deze bevindingen wordt momenteel afgerond.

Ten tweede werden voorlopige resultaten van het keuzeexperiment met behulp van Multinomial Logit-modellen geanalyseerd. Voorlopige bevindingen suggereren bijvoorbeeld dat de waardering van een minimale 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)

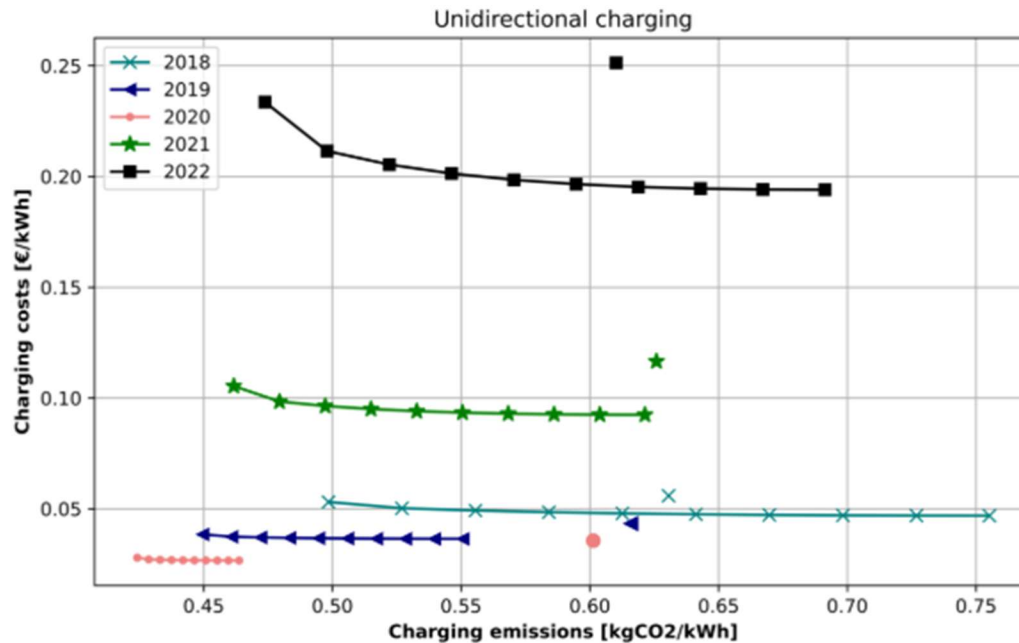
Deze resultaten zullen verder worden onderzocht en verfijnd met behulp van geavanceerdere modelleertechnieken in een aanstaande academische publicatie.

Beide sociale onderzoeksacties worden voorjaar 2025 afgerond en gepubliceerd.

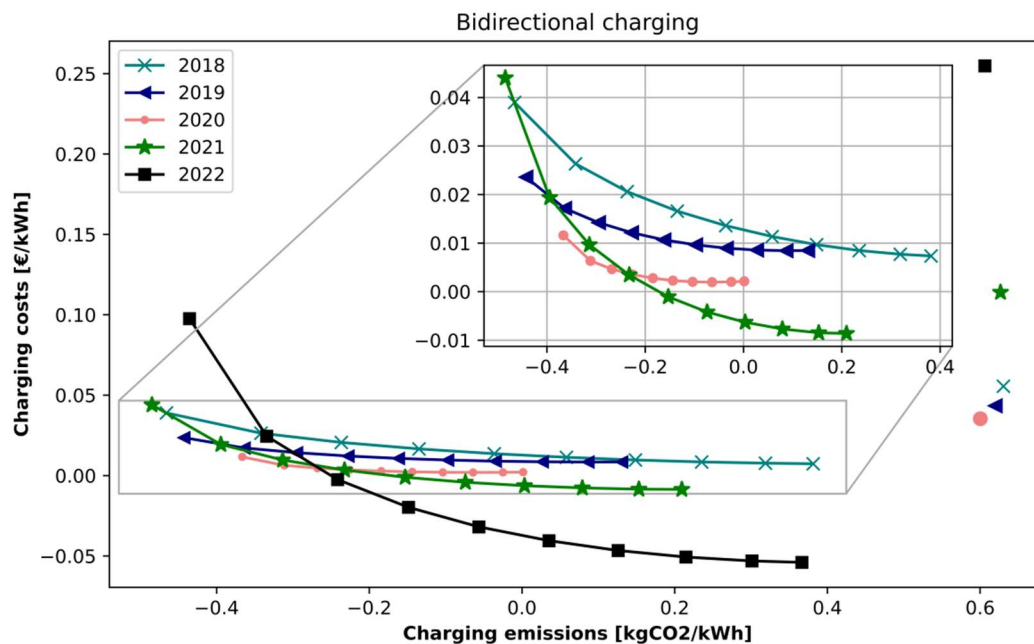
A2.4 Extrapolatie naar stadsregioniveau en validatie aan programma van eisen

Bij het ontwikkelen van de modellen en methodieken voor R2 wordt ermee rekening gehouden dat de extrapolatie naar stadsregioniveau kan worden uitgevoerd. Ondertussen worden gesprekken gevoerd met regionale stakeholders om de interesses en behoeftes te peilen.

De Universiteit Utrecht (Copernicus Instituut) heeft analyses uitgevoerd om het kosten- en emissiereductiepotentieel met EVs op stadsniveau te bepalen. De resultaten van deze analyse laten zien wat de afweging tussen kosten en marginale CO₂-emissies is bij verschillende laadstrategieën, en kunnen gebruikt worden om de optimale laadstrategie te bepalen voor EVs. Zowel bij slim als bij bidirectioneel laden zijn aanzienlijke emissieverlagingen én kostenbesparingen mogelijk. De resultaten van deze analyse zijn verwerkt in een wetenschappelijke publicatie.



Figuur 14: Kosten en emissies van verschillende uni-directionele laadstrategieën.



Figuur 15: Kosten en emissies van verschillende bi-directionele laadstrategieën.

Daarnaast voert de Universiteit Utrecht verschillende analyses uit naar 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 zijn verwerkt in twee artikelen.

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

A3.1 Onderzoek mogelijk flexaanbod in nieuwbouwwijken

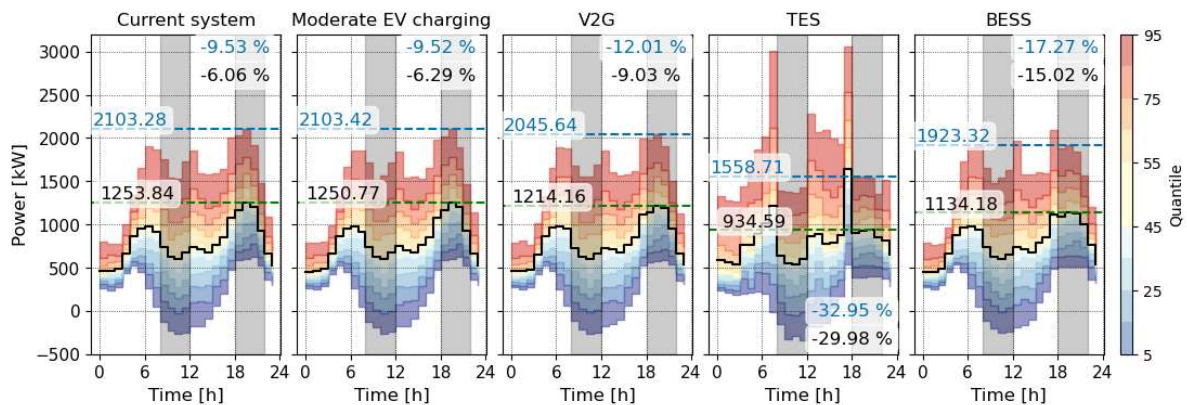
Het onderzoek in Resultaat 3 wordt ingericht als een onderzoeksactie binnen de nieuwbouwprojecten Cartesius en Wisselspoor in Utrecht. De eerder beoogde nieuwbouwlocatie de Hes in Arnhem gaat waarschijnlijk pas vanaf 2025 gerealiseerd worden en deze wijk valt daarom af als pilot. De flexpotentie die ontstaat door slim laden en bidirectionele deelauto's, slim aansturen van warmtepompen, stationaire batterijen en andere maatregelen om vanuit de wijk flexibiliteitsdiensten aan te bieden wordt met behulp van de modelbasis gekwantificeerd en gerelateerd aan de karakteristieken van de wijken als hoeveelheden PV en (deel-)EV's en vermogen en type warmtepompen.

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. Er zullen tientallen bidirectionele auto's van WeDriveSolar geplaatst worden.



Figuur 16: 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.



Figuur 17: Kwantiele grafieken van $p^{(net)}$ voor de vermindering van de ochtend- en avondspits (scenario 5), met inbegrip van het maximale vermogen en het reductiepercentage ten opzichte van het basisscenario voor zowel het gemiddelde (in zwart) als het 95e percentiel (in blauw).

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. Er werden vijf systeemontwerpen getest: het huidige systeem, gematigd opladen van EV's (niet geheel vol laden), V2G, TES en 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 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.

Dit onderzoek 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.

De nieuwbouwwijk Wisselspoor heeft een eigen dynamiek: er ligt nu al een groot zonne-energiesysteem dat op halve kracht draait omdat het vanwege netcongestie op een

kleinverbruiksaansluiting is aangesloten. ROBUST heeft onderzocht in hoeverre door plaatsing van bidirectioneel ladende auto's de output van het zonnestelsel kan worden verbeterd binnen de huidige netcongestie-situatie. Dit kan waardevolle inzichten en werkmodellen opleveren voor andere nieuwbouwwijken met grootschalige zonopwek 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 A3.3).

A3.2 Onderzoek mogelijkheden flexstelsel nieuwbouwwijken in relatie tot flexvraag bij DSO en TSO

In deze activiteit is bij de woonwijk Cartesius onderzocht of en hoe de flexibiliteit uit A3.1, maar wellicht ook grote belastingpieken in de wijk als gevolg van de grote hoeveelheid zonnepanelen, EV's en warmtepompen, gematcht kunnen worden met de flexibiliteitsvraag bij DSO, TSO en mogelijk andere partijen in de stadsregio. De statistische laadmodellen die ontwikkeld worden in Resultaat 2 (A2.1 en A2.2) zijn hier ingezet met aangepaste parameters. Ook het verwarmingssysteem met de bufferfuncties daarin is meegenomen in deze analyse.

Uit de analyse bleek dat V2G meer potentieel vertoonde voor piekvermindering dan V1G bij '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.

A3.3 Onderzoek flexstelsel nieuwbouwwijken op niet-technologische aspecten (gebruikersonderzoek en -beïnvloeding; implicaties beleid en regelgeving)

De juridische en sociaalwetenschappelijke onderzoeksgroepen in ROBUST zijn de onderzoeksvragen aan het toespitsen op aanvullend onderzoek naar de bewoners van de nieuwbouwwijken, inzichten in mogelijkheden en begrenzingen in het sturen van gebruikersgedrag van de bewoners, en de consequenties van beleid en regelgeving en de ontwikkeling daarin.

Daarnaast spelen op dit ogenblik diverse vragen met betrekking tot regelgeving: hoe kunnen nieuwbouwwijken echte 'smart grids' ontwikkelen waarin flexibiliteit kan worden gezocht en gegenereerd? Hoe kunnen bidirectioneel ladende auto's die flexibiliteit leveren binnen de huidige wet- en regelgeving en fiscale omgeving? Kunnen bidirectioneel ladende

auto's de mogelijkheden van lokale duurzame opwek vergroten binnen de grenzen van netcongestie?

In het onderzoek is gekeken in hoeverre de beschikbare flexibiliteit ook kan en zal worden ingezet om het net te ontlasten. Er is gebleken dat in Cartesius de wens van de projectontwikkelaar is om de voorziene flexibiliteit in te zetten zodat een trafo minder nodig is, waardoor de kosten voor het project dalen. De flexibiliteit wordt dan benut in de wijk.

In Wisselspoor was een denkrichting om de flexibiliteit van EV's in te zetten om aansluiting van zonnepanelen mogelijk te maken. De juridische onderzoekers in onderzoeksgroep REBO binnen Utrecht University hebben een notitie geschreven over de mogelijkheid dit te realiseren onder de huidige Elektriciteitswet en die gepresenteerd aan de stakeholders binnen het project. Hoewel het onder de huidige regelgeving mogelijk lijkt te zijn de twee 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 heeft prof. Anoeska Buijze updates gegeven aan respectievelijk de stakeholdersessie van Robust en gemeente Utrecht. Er blijkt veel belangstelling te 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. Daarom wordt er in april 2025 een algemeen toegankelijke webinar over dit onderwerp georganiseerd. Daarin komen onder meer de volgende nieuwe ontwikkelingen aan bod:

- Alternatieve transportrechten: non-firm capaciteitscontracten, tijdsduur- en tijdsblokkegebonden rechten
- Maatschappelijk prioriteren
- Congestieverzachters
- Aansluittermijnen voor grote afnemers
- Time-of-use
- GOTORK
- Groepstransportovereenkomst
- Dubbele energiebelasting

Opnames en de slides zullen beschikbaar worden gesteld.

A3.4 Extrapolatie naar stadsregioniveau en validatie aan programma van eisen

Het onderzoek in Resultaat 3 laat zien dat nieuwbouwwijken onder de huidige congestie-omstandigheden lastig te realiseren zijn. Op dit moment worden nieuwbouwwijken in snel toenemende mate gepland en gerealiseerd met congestiemanagementmaatregelen die leiden tot verlaagde netbelastingen. Het zou zowel voor de realisatie van nieuwbouwwijken als voor het congestieprobleem zeer aantrekkelijk zijn als nieuwbouwwijken als

congestieverzachters zouden kunnen worden gerealiseerd (dat wil zeggen: dat ze de netcongestie niet zouden laten toenemen maar afnemen), maar op dit moment is dat nog een grote uitdaging voor nieuwbouwwijken.

Bij het ontwikkelen van de modellen en methodieken voor R3 is rekening gehouden met extrapolatie naar stadsregioniveau. De modelvorming op middenspanningsniveau is nog gaande. De verwachting is dat in voorjaar 2025 extrapolaties kunnen worden gemaakt van in hoeverre flexmaatregelen in duurzame nieuwbouwwijken onderdeel uitmaken van het flexaanbod op stadregioniveau.

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

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.

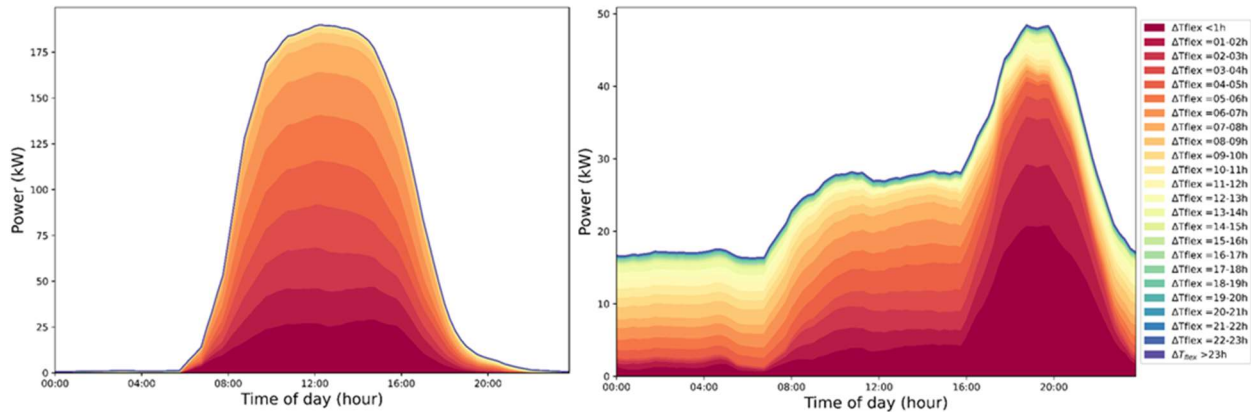
A4.1 Onderzoek mogelijk flexaanbod in werklocaties



Figuur 18: Parkeergarage P-Olympos op het Utrecht Science Park.

Het onderzoek dat in 2023 is gestart aan het Utrecht Science Park verkeert in de eindfase. Deze grote werk- en woonlocatie koerst aan op een verzwaring 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, is 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 19: Analyse van de flexibiliteit van de laadvraag voor EV's (links: privaats; 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 19). Kostenoptimalisatie laat zien dat er met slim laden aanzienlijke kostenbesparing is te realiseren; V2G leidt niet direct tot veel grotere besparingen in deze situatie (zie Figuur 20).

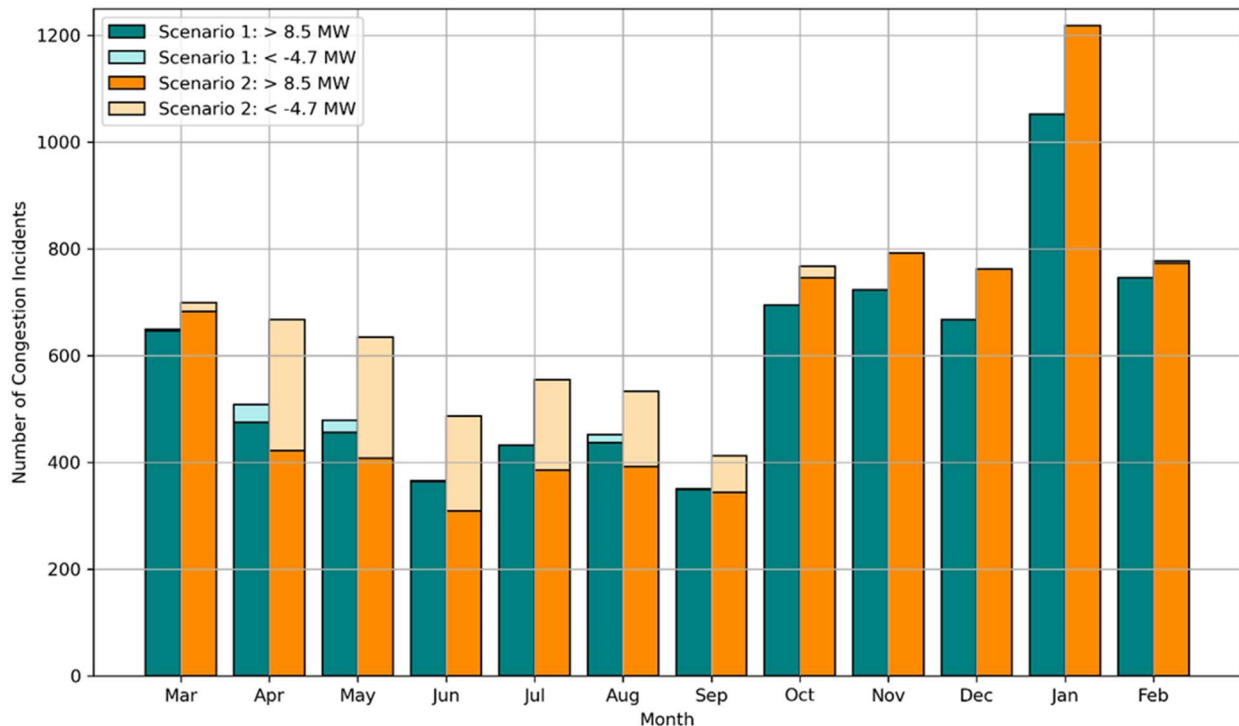
	BAU	Cost Opt.		PV Opt.	
		V1G	V2G	V1G	V2G
EV Charging[€]	86,674	73,778	76,868	81,442	84,952
EV Discharging[€]	-	-	-5,446	-	-5,020
Battery Degradation[€]	-	-	1,469	-	2,465
BESS[€]	-	-3,926		-1,006	-1,003
PV[€]	-70,970	-70,970		-70,970	
Building[€]	14,062	14,062		14,062	
Total[€]	29,765	12,944	12,057	23,528	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 20: 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 werd 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. Eind tweede kwartaal 2025 wordt afronding van deze activiteit voorzien.



Figuur 21 Verwacht 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.

Bij de Triodos Bank in Driebergen-Rijssenburg is een onderzoekstraject gestart 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 bidirectionele laadpalen en een overkapping van zonnepanelen. Probleem is dat in de ochtenden te vaak de aansluitwaarde van de netaansluiting wordt overschreden, door een combinatie van piekverbruiken van de warmtepompen in het gebouw, in de keukens en in 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; We Drive Solar onderzoekt hoe slim laden en V2G die situatie kan verbeteren, en daarmee de piekbelastingen kunnen verlagen. Mogelijk wordt hier in voorjaar 2025 nog een concrete verdere stap gezet.



Figuur 22: Het bidirectionele laadplein met overkapping met zonnepanelen bij het hoofdkantoor van de Triodos Bank.

A4.2 Onderzoek mogelijkheden flexsysteem werklocaties in relatie tot flexvraag bij DSO en TSO

Voor USP loopt vervolgonderzoek om te onderzoeken hoe slim laden, V2G en flexibilisering van de netbelasting (bijvoorbeeld ten behoeve van verwarming) de netcongestie in USP kunnen verminderen.

Bij Triodos Bank onderzoekt WDS het potentieel van V2G en optimalisatie van de aansturing om energiepieken verder te verlagen en bij te dragen aan netflexibiliteit.

A4.3 Onderzoek flexsysteem werklocaties op niet-technologische aspecten (gebruikersonderzoek en -beïnvloeding; implicaties beleid en regelgeving)

Het onderzoek richt zich op niet-technische aspecten zoals het optimaliseren binnen bestaande en nieuwe mogelijkheden van de regelgeving, en de beste prijsprikkels en andere prikkels om stakeholders (beheerders werklocaties, bedrijven) en eindgebruikers te verleiden actief deel te nemen aan het flexsysteem. In de onderzoeksactie bij het USP verkent de beheersorganisatie samen met gemeente en netbeheerder de mogelijkheden voor nieuwe congestiemanagementcontracten (zie het ook juridisch onderzoek in Resultaat 3) in samenhang met buffering, slim / bidirectioneel laden en andere flexmaatregelen.

Triodos Bank onderzoekt optimalisatie van het energiesysteem (verlaging van de piekvragen) door inzet van V2G en verbeterde regeling.

A4.4 Extrapolatie naar stadsregioniveau en validatie aan programma van eisen

Bij het ontwikkelen van de modellen en methodieken voor R4 is rekening gehouden met extrapolatie naar stadsregioniveau. De validatie aan het Programma van Eisen wordt voorzien medio 2025.

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

A5.1 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.

QBuzz laadremise

Qbuzz heeft 68 elektrische bussen in bedrijf in Utrecht en voert al onderzoek uit naar de voordelen van slim laden daarvan. Qbuzz is in 2023 toegetreden tot het ROBUST-consortium. Qbuzz heeft slim en Vehicle-to-grid laden van bussen onderzocht en een proefproject is in uitvoering waarin een batterij van een afgedankte e-bus als second-life stationaire batterij op de laadremise wordt ingezet.

In de afgelopen projectjaren stond de mogelijkheid tot het realiseren van een stationaire batterij, hergebruikt uit de batterij van een e-bus, op een van de busdepots centraal. De pilot dient ter onderbouwing van onderzoek in hoeverre, in samenhang met slim laden van de bussen, opschaling met meer second-life batterijen zinvol is, wat tot aanzienlijke flexibiliteit van het laadplein als geheel zou kunnen leiden.

In het afgelopen jaar is kennis vergaard 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 getoetst met een zelf ontwikkeld optimalisatiemodel. De container waarin de refurbished batterij 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 wilden verdiepen in de mogelijke (brand)risico's dat het gebruik met zich mee zou kunnen brengen. Ondertussen zijn deze onderzoeken afgerond en is een vergunning tot in gebruikstelling verleend. De aansturing van de refurbished batterij en koppeling aan het energiemanagementsysteem bleken tot technische issues te leiden. Het afgelopen jaar is geschakeld met de leveranciers van die systemen en de hoop is dat de batterij in Q2 van 2025 volledig operationeel zal zijn.



Figuur 23: Refurbished batterij op laadremise voor e-bussen van Qbuzz in Utrecht.

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). TUDelft heeft samen met Stedin, ElaadNL en USI een onderzoek uitgevoerd naar het potentieel van V2G maken van deze vloot. De vraag is wat daarvan de baten en kosten zullen zijn en of V2G inzetten van de busjes praktisch en economisch haalbaar is. Voor de laatste vraag is ook samengewerkt met het SCALE-project. TUDelft 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 25.

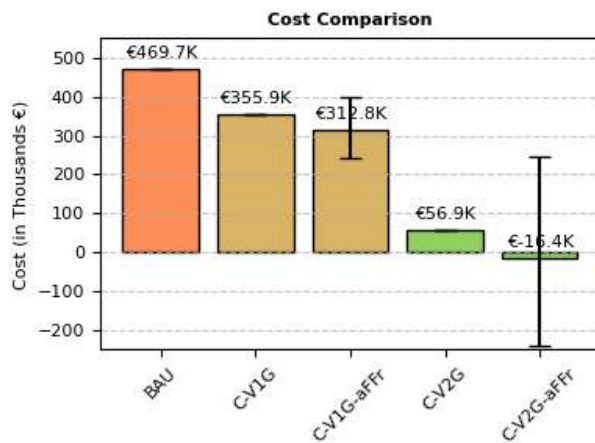


Figuur 24: Onderhoudsbusjes van Stedin met V2L-faciliteit t.b.v. onderhoudsmachines

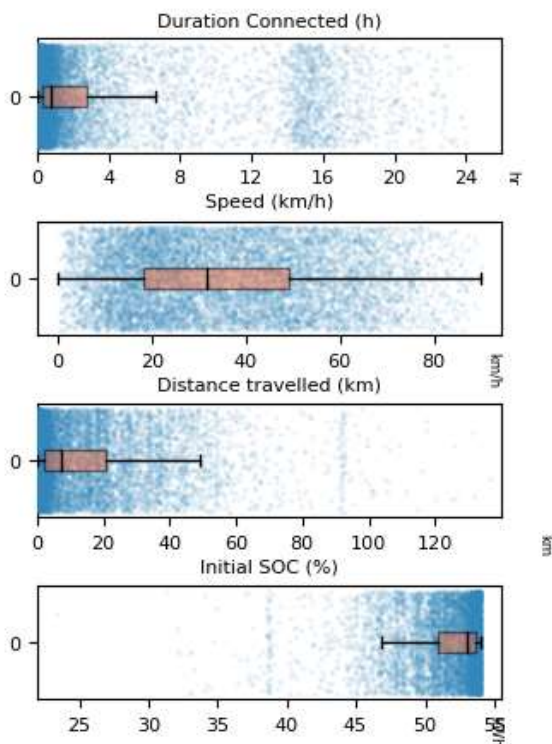
In Figuur 26 staan enkele karakteristieken van het laadgedrag van de busjes. Te zien is dat de busjes meestal op een dag maar korte afstanden rijden en dat de accu dus vaak nog relatief vol is wanneer een busje weer aan de laadpaal komt. Dit levert een vergroot potentieel op voor slim en bidirectioneel laden. Uitgangspunt was dat de busjes bij inbedrijfname altijd geheel volle accu's hebben – wanneer dat wordt verruimd (met het oog

op de korte gereden afstanden hoeft de accu niet geheel vol te zijn bij vertrek) neemt het potentieel van V2G nog toe.

De laadkosten nemen sterk af bij V2G-bedrijf en deelname aan de aFRR-markt zou extra voordeel opleveren. De huidige energiebelasting die nog dubbel geheven wordt bij V2G heeft daarop nog een negatieve invloed. Elaad zal voorjaar 2025 deze berekeningen nog aanvullen met een inschatting van de mogelijke voordelen van GOPACS-deelname door deze vloot busjes en (in samenwerking met het project SCALE) op basis daarvan de businesscase voor V2G-gebruik van de busjes verder uitwerken.



Figuur 25: 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: bidirectioneel laden; C-V2G-aFRR: bidirectioneel laden en handelen op de aFRR-markt.



Figuur 26: de verdelingen van een aantal parameters van de e-busjes. Te zien is dat de gemiddelde gereden afstanden klein zijn en dat daarom de batterijen meestal nog bijna vol zijn bij aankomst op de laadpaal.

Naast bovengenoemde twee onderzoekslocaties speelt ElaadNL met haar Testlab in Arnhem voor elektrische voertuigen een belangrijke rol in het kwaliteitsmanagement rondom slim en bidirectioneel laden en daarmee in de betrouwbaarheid van het toekomstige flexibilitatessysteem. 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 wordt 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. Stedin onderzoekt in 2024 en 2025 de bovengenoemde eigenschappen aan een groot aantal modellen elektrische auto. Dit kan het potentieel en de betrouwbaarheid van slim en bidirectioneel laden voor het elektriciteitsnet op relatief korte termijn aanmerkelijk verbeteren. Eerste resultatenoverzichten worden medio 2025 verwacht.

A5.2 Onderzoek mogelijkheden flexsysteem stadsmobiliteit / distributie in relatie tot flexvraag bij DSO en TSO

In samenwerking met de public transport operator (Qbuzz) heeft HU de technische lay out van het elektriciteitsnet op het bus depot in beeld gebracht en een concept meet- en experimentplan opgesteld waarmee de wijze van dataverzameling en analyse zal worden geborgd.

Vervolgens heeft HU door modelberekeningen de impact van de koppeling van de proeflocaties aan het flexsysteem 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.

Er is 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. Het doel was om 12 maanden het systeem te monitoren en data te verzamelen zodat seizoensinvloeden (met o.a. weers- en marktdynamiek) meegenomen kunnen worden in de analyse. Door grote vertraging in het beschikbaar komen van deze stationaire batterij, het verkrijgen van de benodigde (brandveiligheid-)vergunningen en het werkend krijgen van de interfaces tussen batterij, BMS en EMS, zal pas voorjaar de batterij daadwerkelijk aanstuurbaar zijn. Daarom is de berekening al uitgevoerd op basis van de beschikbare gegevens. Naar verwachting zal dat de minimaal benodigde inzichten opleveren. Wanneer voorjaar 2025 de stationaire batterij operationeel is, kunnen aansluitend nog extra analyses of validaties worden uitgevoerd.

In voorjaar 2024 heeft een groep HU Quest-studenten o.l.v ervaren docenten eerste analyses voor Qbuzz uitgevoerd. Zij hebben een inschatting gemaakt van de potentie van de

huidige BESS, en deze toetsen op basis van de metingen. Bovendien hebben ze een inschatting kunnen maken welke accucapaciteit vrij komt over de komende jaren vanuit oude e-bussen, en welke waarde daarmee gegenereerd zou kunnen worden.

A5.3 Onderzoek flexsysteem stadsmobiliteit / distributie op niet-technologische aspecten (gebruikersonderzoek en -beïnvloeding; implicaties beleid en regelgeving)

Bij Qbuzz richt het onderzoek zich op niet-technische aspecten 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? HU voert voorjaar 2025 een diepte-interview met Qbuzz uit.

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

A5.4 Extrapolatie naar stadsregioniveau en validatie aan programma van eisen

Universiteit Utrecht heeft een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke kostenreductie die kan worden bereikt bij het toepassen van verschillende laadstrategieën op de bussen van Qbuzz bij 3 verschillende laaddepots. Deze studie laat zien dat het kostenreductiepotentieel van het toepassen van slim laden groot is. Het toepassen van een peak-shaving strategie leidt tot een flinke reductie in de laadkosten ten opzichte van ongecontroleerd laden. Bij deelname aan de onbalansmarkt kunnen de laadkosten zelfs netto negatief zijn. De resultaten van deze studie zijn gepubliceerd in het wetenschappelijke tijdschrift *Transportation Research Part E*.

De validatie aan het Programma van Eisen wordt voorzien medio 2025.

Resultaat 6: Proof-of-principle van integraal flexsysteem-ontwerp op stadsregioniveau (het WAT)

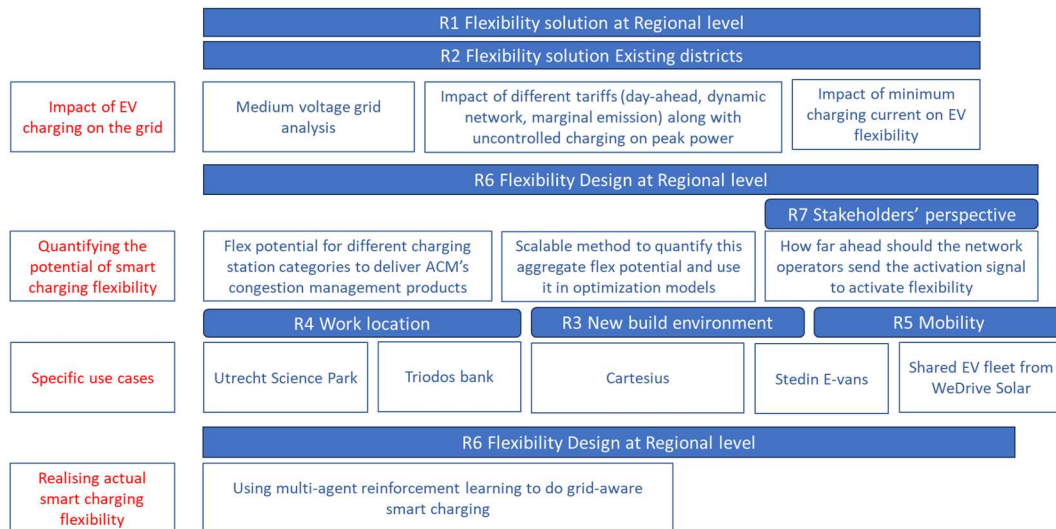
A6.1 Synthese van resultaten R2, R3, R4, R5 tot integraal flexsysteemontwerp op stadsregioniveau met deeloplossingen op de 4 flexsysteemlagen

In deze Activiteit is en wordt de modelontwikkeling voortgezet die in Resultaat 1 was gestart. De modelbasis bestaat uit:

- 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.

Deze modellen zijn door UU en TUDelft geïntegreerd met elektriciteitsnetsimulatiemodellen om de impact op het elektriciteitsnet te bepalen voor relevante scenarios (combinaties van netwerk, prikkels en gedrag). Hierbij wordt gekeken naar verschillende aggregatieniveaus en waar nodig specifieke netwerken, zodat conclusies kunnen worden getrokken voor zowel het laagspannings- als middenspanningsnet. Op systeemlagen 1 en 2 wordt gekeken naar de effecten van het bandbreedtemodel en andere tariefmodellen, in combinatie met de effecten van vrijwillige redispatch en ingrepen van de netbeheerders (systeemlagen 3 en 4). Een model dat de impact op middenspanningsniveau kan bepalen is in ontwikkeling bij UU met medewerking van TU Delft en Stedin. Met Stedin is het model SETIAM (Stedin Energy Transition Impact Assessment Model) in ontwikkeling; modelontwikkelaars van SETIAM en ROBUST wisselen scenariogegevens en berekeningsresultaten uit om de modellen wederzijds te valideren en versterken. Eerste berekeningsresultaten van dit MV-model worden rond eind mei 2025 verwacht.

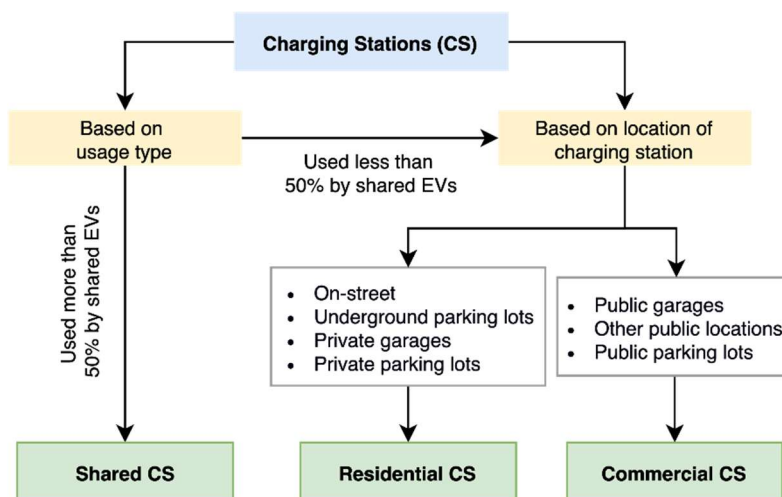
High level outlook



Figuur 27: Overzicht van de model- en rekenstudies uitgevoerd in ROBUST

Belangrijke resultaten in het afgelopen projectjaar zijn:

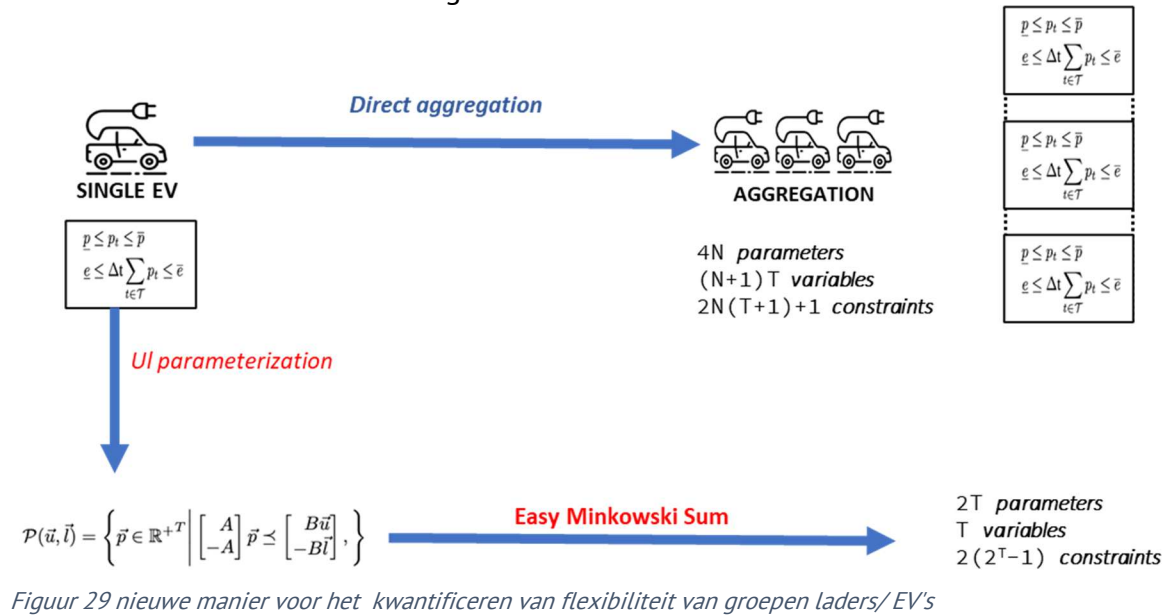
- Bij het bepalen van de impact van capaciteitsbeperkingen op laadpalen, is het van belang om onderscheid te maken tussen verschillende categorieën laadpalen. Publieke en prive-laadpunten laten de grootste impact zien bij redispatch en capaciteitsbeperkingen, omdat de aantallen hiervan groot zijn. Bij laadpunten voor de auto's is de impact per laadpaal groter. Voor alle categorieën laat bidirectioneel laden een grotere impact zien dan alleen slim laden, vooral bij redispatch.



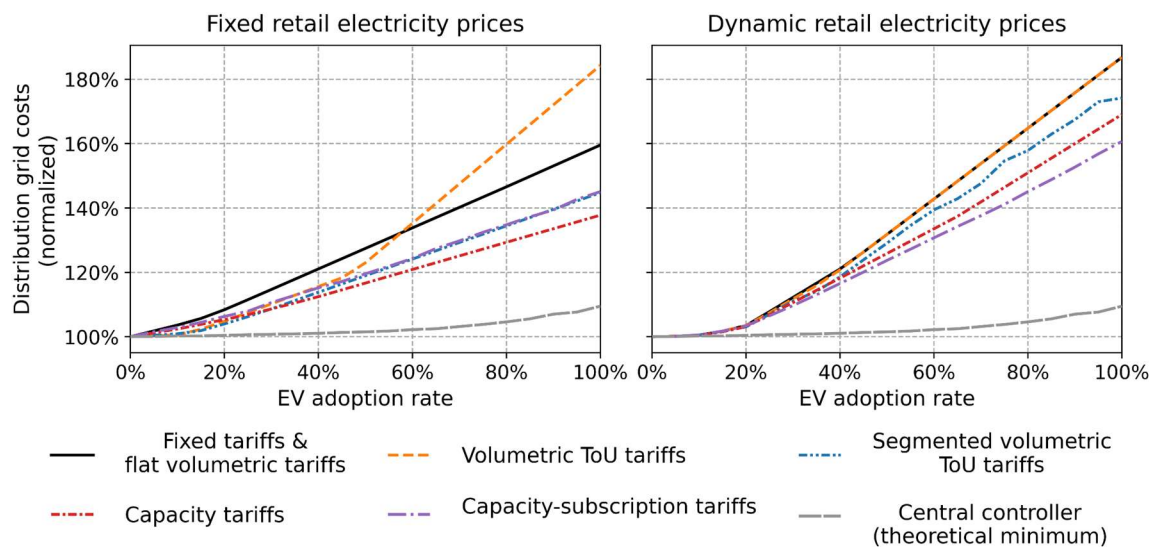
Figuur 28 Verschillende categorieën laadpalen

- Een nieuwe, efficiënte en schaalbare methode voor het kwantificeren van flexibiliteit bij het laden van een vloot van EV's / laders is ontwikkeld. Hiermee kan flexibiliteit

voor een vloot beter worden uitgedrukt.

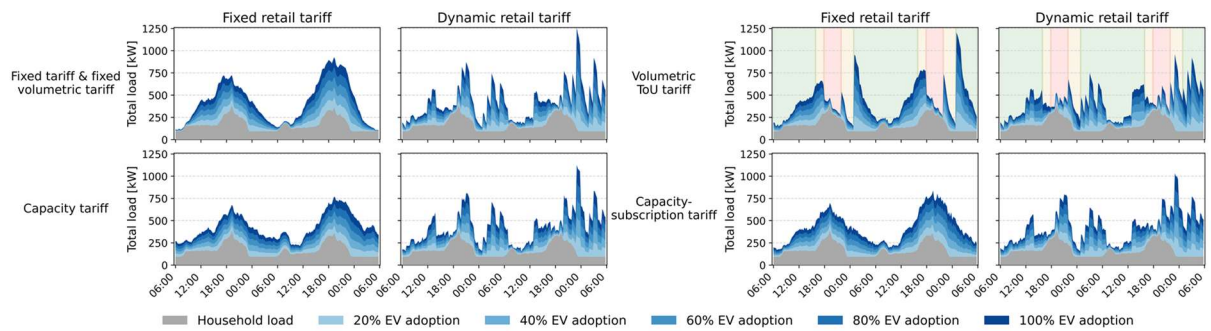


- De impact van nieuwe nettarieven is nader onderzocht. Verschillende regimes leiden tot sterk uiteenlopende impact, waarbij in sommige gevallen sterke pieken kunnen optreden die zelfs zouden kunnen leiden tot meer netcongestie.



Figuur 30 Analyse van verschillende nettarietmodellen. In sommige gevallen zouden laadvraagpieken juist hoger kunnen worden in plaats van lager.

Verschillende dynamische nettarietssystemen zijn met elkaar vergeleken in onderstaande grafiek. Te zien is dat de nettarieven – onder de aanname van kostenoptimalisatie – het laadgedrag sterk kunnen beïnvloeden. Sommige regimes kunnen leiden tot 'secundaire laadpieken' die hoger zijn dan de pieken die worden vermeden.



Figuur 31: Analyse effecten van verschillende typen dynamische nettarieven. Sommige regimes kunnen leiden tot 'secundaire laadpieken' die hoger zijn dan de pieken die worden vermeden.

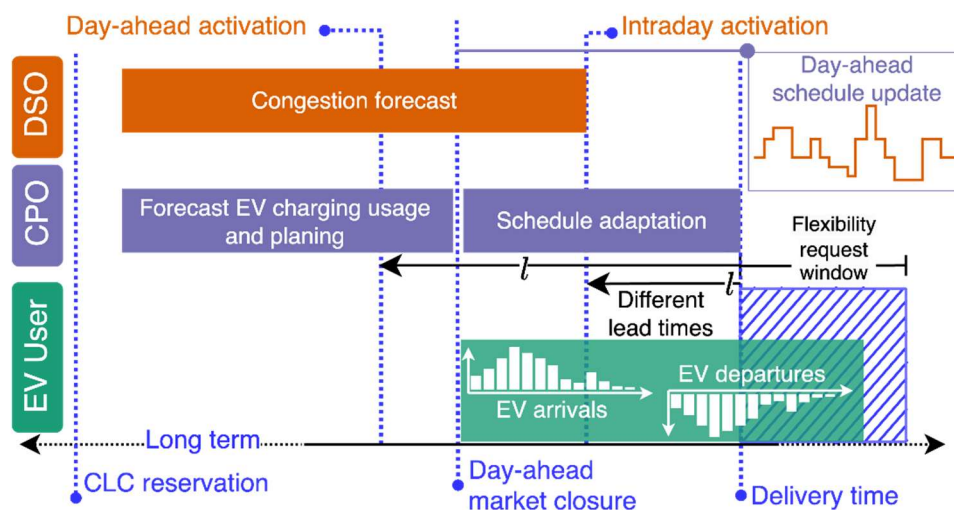
Uurtarieven nieuw stelsel, voor 'winter' en 'zomer'

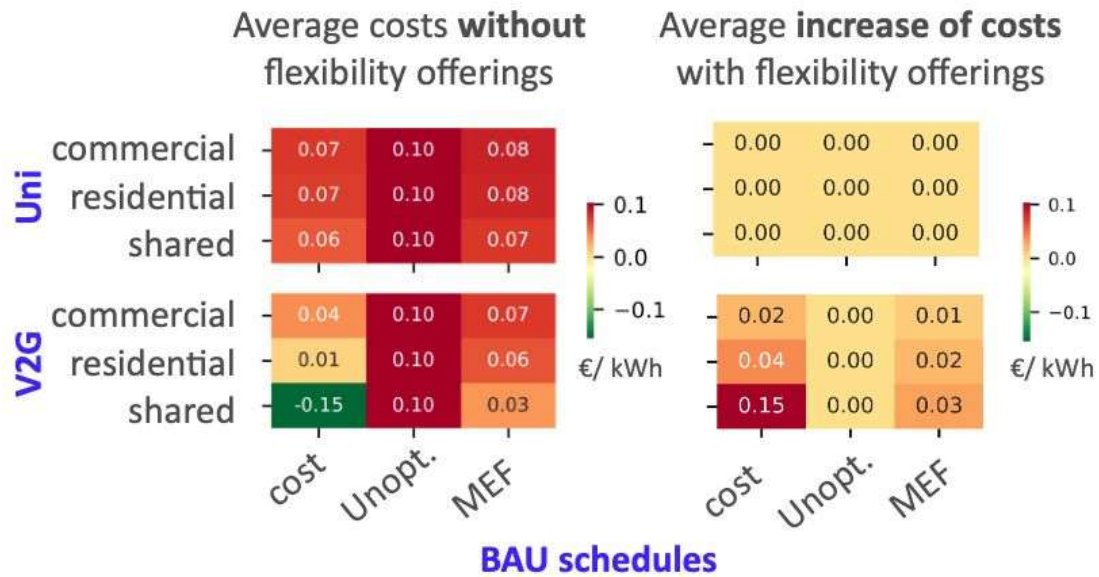
Gehanteerd voor doorrekeningen dit onderzoek, o.b.v. gemiddeld verbruik, profiel en netkosten per woning in 2030



Figuur 32 Voorbeeld van uurlijks dynamisch nettariet als nu door netbeheerders wordt besproken.

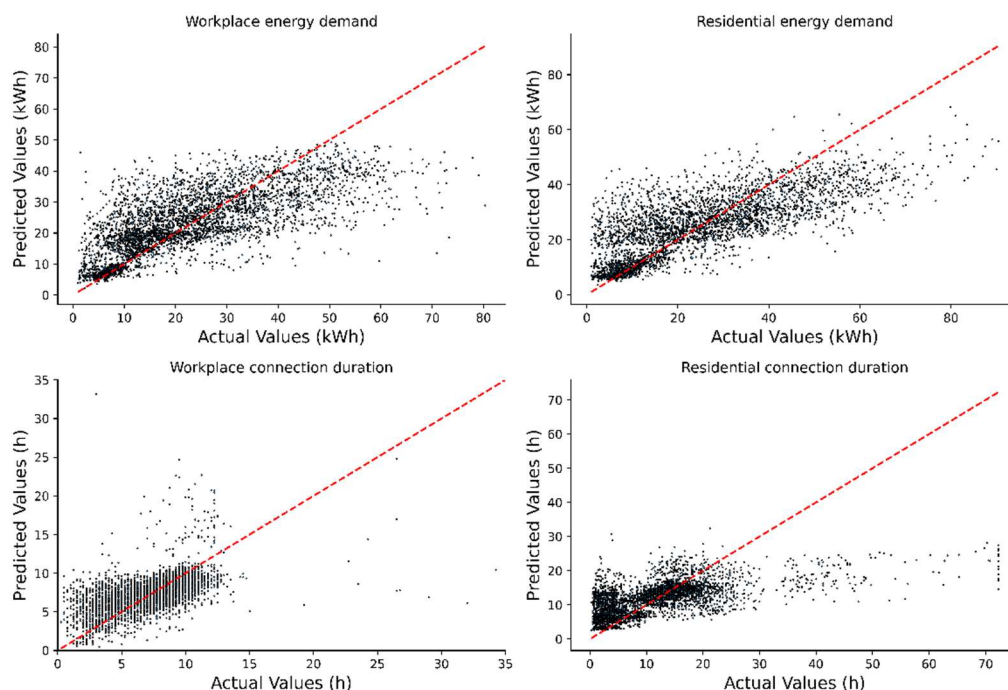
- De aanlooptijd van een flexvraag is belangrijk voor het potentieel vanuit vloten slim en bidirectioneel ladende auto's. Als de flexvraag langer vooraf bekend is, zijn er meer mogelijkheden om daaraan te voldoen zonder grote toename van de laadkosten (bij flexibele laadtarieven). De impact van V2G is weer groter dan van alleen slim laden.



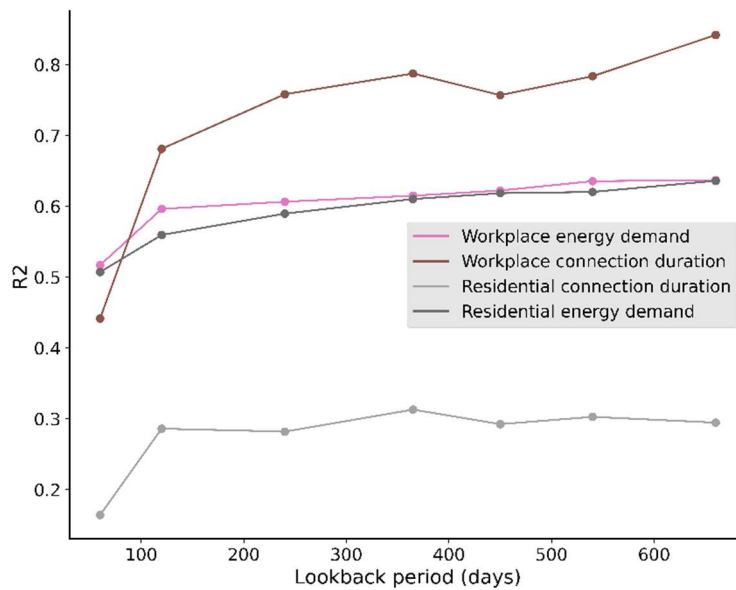


Figuur 33: impact van flexibiliteitsleveringen op de laadkosten bij dynamische elektriciteitsstarieven

- Om slim laden effectief te kunnen toepassen is het belangrijk om de onzekerheid die hiermee gepaard gaat te verminderen. Nu is er nog veel onzekerheid over de energievraag en de vertrektijd van elke laadsessie. Binnen het project is er een voorspel-framework ontwikkeld waarmee deze laadsessieparameters voorspeld kunnen worden, waarmee de onzekerheid flink verminderd kan worden en slim laden effectiever toegepast kan worden. Figuur 34 toont een vergelijking van de gerealiseerde en de voorspelde waardes voor deze twee parameters voor laadpalen in een werkomgeving, en laadpalen in woonwijken. Figuur 35 laat zien dat de voorspelnauwkeurigheid flink toeneemt met een grotere trainingsdataset.

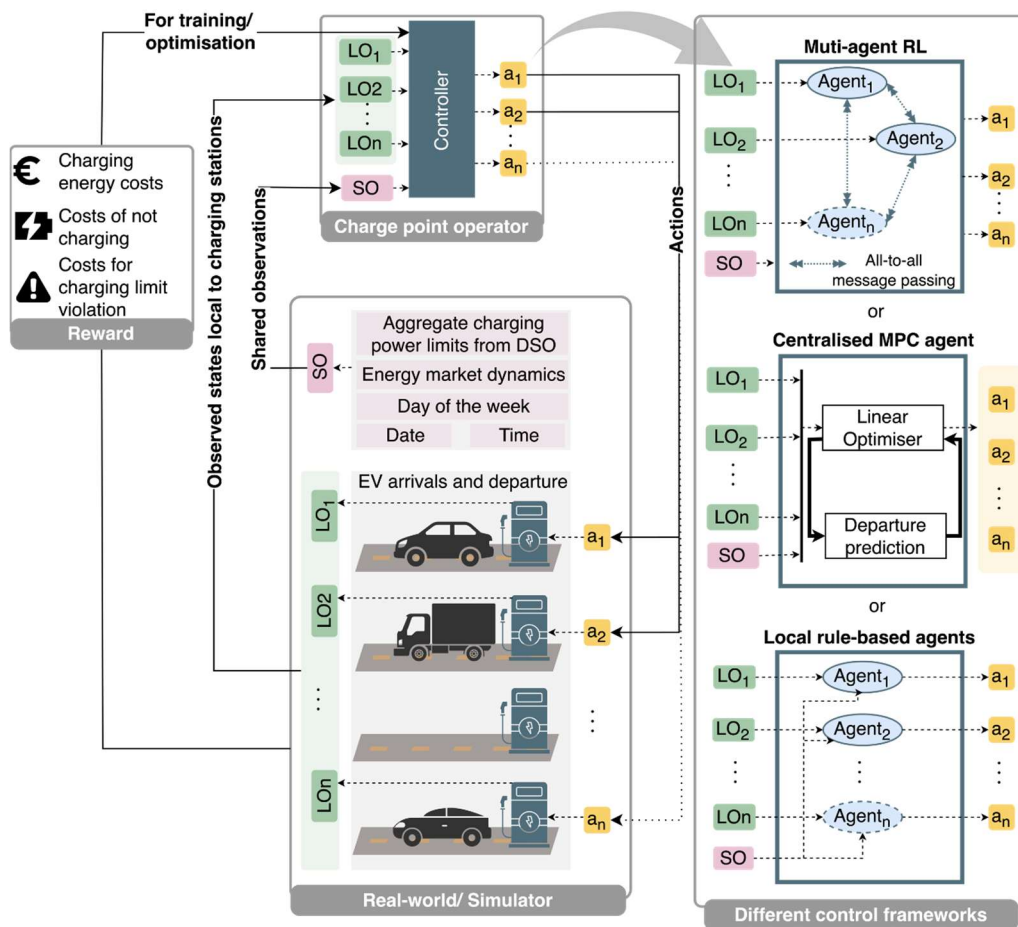


Figuur 34 Vergelijking tussen de voorspelde waardes en de gerealiseerde waardes voor de energievraag en de vertrektijd van laadsessies. Er is onderscheid gemaakt tussen twee typen laadlocaties: werklocaties en woonwijken.



Figuur 35 Voorspelnaauwkeurigheid (R^2) van het voorspellingsmodel voor verschillende hoeveelheden trainingsdata, uitgedrukt in het aantal dagen trainingsdata. Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee laadsessieparameters (energevraag en vertrektijd) en twee typen laadlocaties (werklocaties en woonwijken).

- TU Delft is begonnen aan een Reinforced Learning model 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.



Figuur 36 Reinforced Learning optimalisatiestrategie voor een vloot EV's onder meervoudige optimalisatiedoelen.

Gopacs-integratie

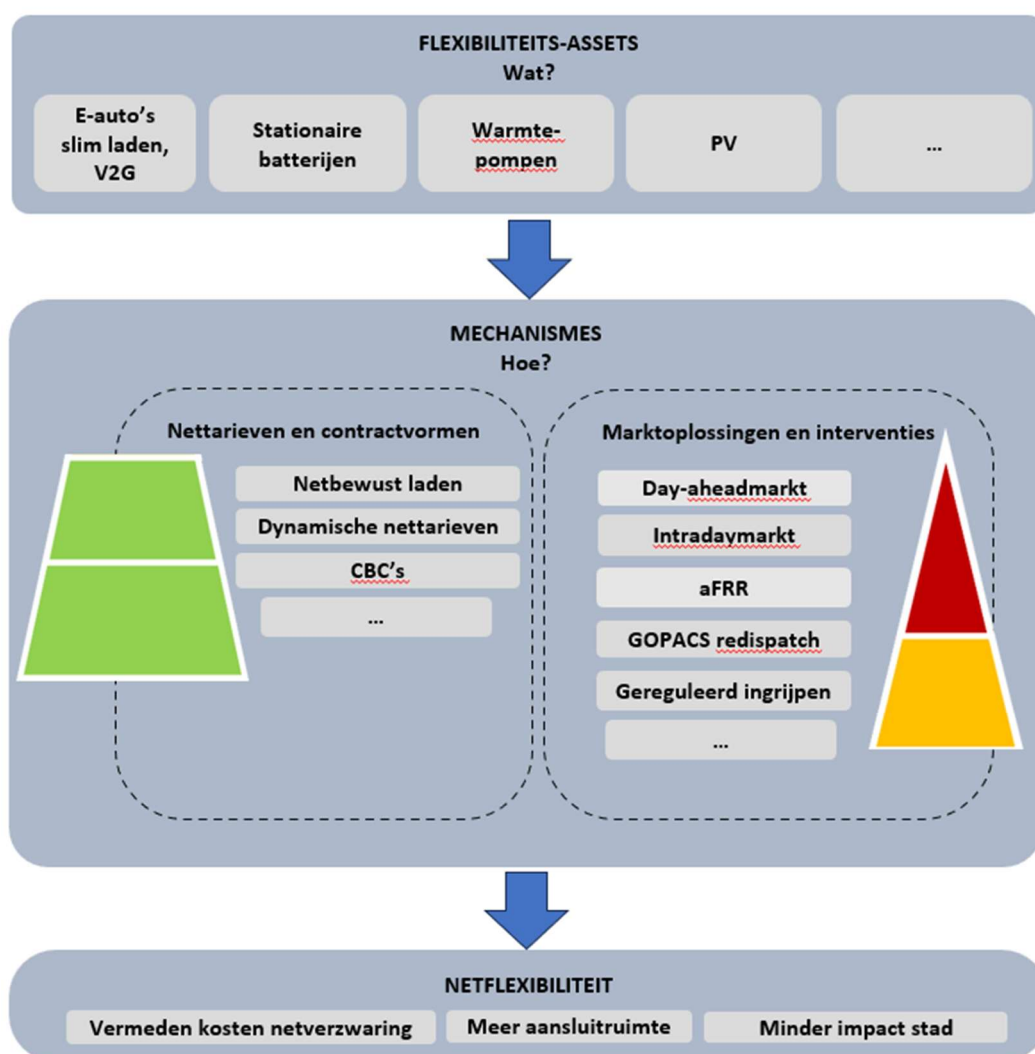
Na een eerdere test om vanuit een groep laadpalen flexbiedingen op het nationale congestiemanagementplatform GOPACS te doen en af te handelen in 2023, heeft Stichting GOPACS in 2024 en 2025 de biedings- en afhandelingsprocessen van GOPACS aangepast om de inzet van groepen verspreide flexbronnen zoals laadpalen mogelijk te maken. Dit betekent 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.

Hierboven (zie Resultaat 2) is beschreven hoe door We Drive Solar en Mywheels op dit moment de V2G-Renault 5 wordt uitgerold samen met nieuwe laadpaalcontrollers om V2G-bedrijf op korte termijn (april/mei 2025) te starten. Er wordt naar gestreefd om in mei 2025 een tweede test met GOPACS te doen, om daarmee zowel het nieuwe systeem van aggregatie-EANs bij GOPACS als het V2G-bieden met ontladen van de Renault 5 auto's te testen.

GOPACS heeft het plan om de nieuwe faciliteit voor biedingen vanuit groepen gedistribueerde flexbronnen in 2026 uit te rollen en beschikbaar te maken voor aanbieders in geheel Nederland.

A6.2 Validatie deeloplossingen op systeemlagen 1 en 2

De hierboven beschreven activiteiten en onderzoeksvelden komen samen in een zich snel ontwikkelend systeem om flexibiliteit op het net, en dan 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 37 is dat flexibiliteitssysteem gevisualiseerd. De afgelopen jaren is er 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. Een aantal mechanismes zijn hierboven bij Resultaat 2, 3 en 6 geanalyseerd.



Figuur 37: Visualisatie van het flexibiliteitssysteem zoals onderzocht in ROBUST. Nieuwe gedistribueerde flexibiliteitsbronnen kunnen via een zich ontwikkelend arsenaal aan mechanismes flexibiliteit en congestiemanagement bieden. De driehoeken

Hierboven zijn analyses gegeven van de in Figuur 37 aan de linkerkant genoemde mechanismes, die gerelateerd zijn aan de onderste twee lagen van de flexpyramide: 1 (technische oplossingen) en 2 (Tarifiering en aansluitafspraken). Analyse van verschillende varianten van (aanscherping van) netbewust laden op de vloot laders van We Drive Solar laat zien dat het potentieel ervan nog kan worden vergroot door de nu vaak gehanteerde minimale laadstroom van 6 Ampère te laten vervallen. Daarmee stoppen laadpalen daadwerkelijk met laden tijdens de avondpieken en ontlasten ze het net. Daarbij moet echter nog altijd rekening worden gehouden met het feit dat sommige modellen EV niet goed om gaan met laadpauzes, en dat een systeem om die uit te zonderen wenselijk is. Analyse van verschillende varianten van nettarieven is besproken in de bespreking van A6.1 (zie Figuur 31).

In de resterende looptijd zal verder worden onderzocht welke van bovengenoemde assets de grootste bijdrages kunnen leveren aan een robuust elektriciteitsnet op de lagen 1 en 2 van de pyramide (basis en tarieven), en wat daarvoor nodig zal zijn.

A6.3 Validatie deeloplossingen op systeemplagen 3 en 4

Voor het hierboven omschreven flexibiliteitssysteem wordt in deze Activiteit onderzocht welke van bovengenoemde assets de grootste bijdrages kunnen leveren aan een robuust elektriciteitsnet op de lagen 3 en 4 van de pyramide: vrijwillige en gereguleerde redispatch, en wat daarvoor nodig zal zijn. De invloed van sturing van laadpalen reagerend op de Day Ahead Marktprijzen, eventuele biedingen op de aFRR-balanceringsmarkt en eventuele biedingen op het GOPACS-platform is in onderlinge samenhang onderzocht, zie onder meer A2.1, A2.2, A5.1, A6.1 en A6.2 hierboven.

In voorjaar 2025 zal verder worden onderzocht welke van bovengenoemde assets de grootste bijdrages kunnen leveren aan een robuust elektriciteitsnet op de lagen 3 en 4 van de pyramide (marktoplossingen en interventies), en wat daarvoor nodig zal zijn.

Resultaat 7: Integraal flexsysteem op stadsregio vertaald naar handelingsperspectief van de probleemeigenaren (het HOE)

A7.1 Vertaling resultaten naar handelingsperspectief op de vier flexsysteemplagen voor DSO's en TSO (afnemers flexibiliteitsdiensten)

Het flexibiliteitssysteem voor stadsregio's begint langs bovenstaande lijnen vorm te krijgen. Congestiebeheersing is in Nederland het hoofdthema geworden en het inzetten van slim en bidirectioneel 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:

- 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 zullen de factsheets worden afgewerkt tot eindversie (wellicht hernoemd tot Whitepapers) die in zomer 2025 zullen worden verspreid.

A7.2 Vertaling resultaten naar handelingsperspectief op de vier flexsysteemlagen voor aggregatoren en aanbieders flexibilitiediensten

Aggregatoren zullen naar verwachting een belangrijke rol spelen in samenwerking met de netbeheerders. Net als bij A7.1 is op basis van de omschrijving van het flexibilitieitssysteem een voorzet voor een factsheet met rollen en perspectief besproken in de de sessie in najaar 2024 en in de online feedbackbijeenkomst.

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

- 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

A7.3 Vertaling resultaten naar handelingsperspectief op de vier flexsysteemlagen voor overheden (beleid en regelgeving)

Overheden spelen een belangrijke rol bij de verdere ontwikkeling van het flexibilitieitssysteem. 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:

- Implementeer netbewust laden in aanbestedingen
- Neem V2G-functionaliteiten op in aanbestedingen laadinfra
- Faciliteer congestiecontracten laadpaalexploitanten, netbewuste bouwprojecten, stedelijke uitbreidingen, energietransitie ...
- Nog adaptiever 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:

- 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, ook KV en woningen
- Ondersteun communicatie naar eindgebruikers

A7.4 Vertaling resultaten naar handelingsperspectief op de vier flexsysteemlagen 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:

- Verlaag verbruik tijdens piekmomenten
- Eigen laadpunt: slim laden, V2G, 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:

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

Zoals hierboven al aangegeven, zullen deze handelingsperspectieven in de vorm van factsheets of whitepapers verder worden uitgewerkt met de feedback vanuit de feedbacksessie en afgewerkt.

Resultaat 8: Kennis en kwaliteit geborgd

A8.1 Kennisverspreiding intern (consortium plus stakeholders in gebruikerspanel en expertpanel) en extern

Aan de kennisoverdracht intern en extern is vanaf de start van het project aandacht besteed. Een website geeft uitleg over wat het onderzoeksproject ROBUST inhoudt en wie erbij betrokken zijn, en toont updates met betrekking tot actualiteiten rondom de thema's van een toekomstbestendig en flexibel elektriciteitssysteem.

De opgedane kennis tijdens ROBUST wordt daarnaast op verschillende manieren gedeeld: tijdens presentaties op evenementen, kennisdeelsessies en webinars, en via peer reviewed wetenschappelijke artikelen en theses van masterstudenten. Hieronder worden een aantal voorbeelden uitgelicht en alle publicaties zijn te vinden in de publicatielijst.

Zo heeft Simon Tindemans (TU Delft) in juni 2024 een presentatie gegeven over de representatie van flex uit geaggregeerd laden op de EURO 2024 conferentie in Kopenhagen. Er is ook regelmatig bilateraal contact met andere gerelateerde innovatieprojecten: de MOOI-projecten SmoothEMS met Gridshield, GO-E en TROEF en het Horizon-project SCALE waarmee een actieve samenwerking is en waar de resultaten van ROBUST ook over de grenzen worden gedeeld.

Op 23 oktober 2024 werd de derde stakeholderdag georganiseerd in de Botanische Tuinen van het USP, waarbij een update van het project is gegeven en de de hierboven besproken factsheets voor handelingsperspectieven zijn bediscussieerd. Voor een samenvatting zie <https://tki-robust.nl/robust-co-creatiesessie-inzichten-van-stakeholders/>.

Op 26 november is ROBUST vertegenwoordigd bij de lancering in Parijs van de samenwerking tussen Renault en We Drive Solar om in 2025 500 bidirectionele Renault-deelauto's operationeel te hebben. 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](#)

In zomer 2024 heeft RVO een projectfilm gemaakt van ROBUST, deze is te zien op <http://www.tki-robust.nl/> <https://www.youtube.com/watch?v=DK3GwTAzEYY>.

ROBUST is gestart met de voorbereidingen van een viertal projectfilmpjes, op te nemen in lente en zomer 2025, waarin het project en enkele pilots worden verbeeld.

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/>

Ondertussen wordt het eindsymposium van ROBUST georganiseerd op 5 juni 2025.

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 gedwarsboemd en verschillende gemeenten hebben crisisteam 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 bidirectionele auto's op de markt zijn om het systeem werkelijk bidirectioneel te maken. Verschillende publicaties zijn te vinden in de publicatielijst verderop in dit rapport.

A8.2 Borging projectkwaliteit in termen van samenwerking, resultaten, planning en budget

De samenwerking tussen de projectpartners is georganiseerd in reeksen meetings van werkteams per resultaat en activiteit, deels online, deels live. UU en USI reviewen de voortgang tweemaal per jaar en sturen bij waar nodig in overleg met RvO.

2.2 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;
- Eerste analyses cyberveiligheid flexsysteem op netten met grote hoeveelheden V2G-laadpalen, en datamanagementplan voor het project;
- Definitie onderzoeksopzet voor de verdere Resultaten en Activiteiten, voor zowel modelwerk, praktijkonderzoek en niet-technologisch onderzoek.

2.3 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 Resultaten 2 tot en met 6 tot een later moment binnen de projectduur is omgegaan met de vertragingen en kan het project op de einddatum 20 september 2025 worden beëindigd.

2.4 Perspectief voor toepassing

Het afkondigen van netcongestie door TenneT in 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 bidirectioneel laden in de toekomst op te schalen. Andere steden beginnen dit ook te doen.

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. De proof-of-principle test voor biedingen op GOPACS met gebruikmaking van de in ontwikkeling zijnde faciliteit voor gedistribueerde flex, zal in voorjaar 2025 getest worden met een groep bidirectioneel ladende Renault 5 deelautos en daarmee mogelijkheden bieden om in 2025 en 2026 vrijwillige redispatch op GOPACS mogelijk te maken voor groepen laadpalen en andere kleine flexbronnen.

3. Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling

ROBUST draagt bij 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'. De bijdrage aan MMIP5 speelt zich af in het hoofdthema 'Oplossingen voor een betrouwbare, betaalbare en eerlijke elektriciteitsvoorziening' van MMIP5, in de volgende subthema's.

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

Het stadsbrede flexsysteem van ROBUST dat gebaseerd wordt op het huidige netwerk van 700 bidirectionele laadpunten en de binnen dit project te onderzoeken 250 bidirectionele E-deelauto's en stationaire batterijen, levert datasets op om flexibiliteitsopties met een integrale benadering te toetsen en draag daarmee bij aan 5.2.1 Schaalbare en verbeterde flexibiliteitsopties.

ROBUST met haar integrale aanpak over verschillende sectoren in de stadsregio levert maatschappelijke innovatie voor een breed gedragen en inclusief transitiepad voor grootschalige inzet van flexibiliteit in de gebouwde omgeving en draagt daarmee bij aan 5.2.3 Doorsnijdend Onderzoek.

Kwantificering: Volgens het CBS legden Nederlandse personenauto's in 2017 in totaal 119 miljard kilometer af. Uitgaande van een verbruik van 0,2 kWh/km zou een volledig elektrische autovloot een laadvolume van 23,8 TWh teweegbrengen. Het gemiddelde dagelijkse prijsverschil op de APX tussen piekuren (18:00 tot 20:00) en daluren (01:00 tot 05:00) was 18,8 €/MWh in 2017 (en tegenwoordig beduidend hoger); het verplaatsen van

bovengenoemd laadvolume van piekuren naar daluren vertegenwoordigt daarmee een maximale potentie van 448 miljoen euro per jaar. Aangezien dit een maximumpotentie betreft, en niet alle EV-rijders hun volledige laadvolumes naar de nacht kunnen/willen verplaatsen, is het realistisch te stellen dat de APX-markt een verdienpotentieel van ongeveer 200 miljoen euro per jaar biedt voor slimme laadoplossingen – op dit moment waarschijnlijk meer. Daarnaast kunnen EV's in de toekomst een deel vervullen van het potentieel in de FCR-capaciteitsvergoedingen (de orde van 20 miljoen euro per jaar) en de aFRR-markt (orde van 20 miljoen euro per jaar)¹.

MMIP5 Deelpr. 5.3 Systeemontwerp voor elektriciteitssysteem in de gebouwde omgeving

ROBUST levert vanuit de innovatie in Utrecht Bottom-up opties voor congestiemanagement en opties voor monitoring en control voor de elektriciteitsinfrastructuur en draagt daarmee bij aan 5.3.1 -Verbeteren en nieuwe functionaliteiten voor het huidige lokaal energiesysteem.

Het modelleren van het stadsbrede flexibiliteitsnetwerk in ROBUST genereert nieuwe tools en methodes (power flow flexibiliteitsmodellen op stadsregioniveau, optimalisatiemodel, analysetool gemeentes) met aandacht voor conversie en fysieke omgeving voor gezamenlijke besluitvorming bij ontwerp lokaal energiesysteem, levert gevalideerde input voor verbetering van bestaande tools en rekenmodellen bij Stedin, UU, TU Delft en anderen en combineert deze voor in een integraal flexibiliteitssysteem, en draagt daarmee bij aan 5.3.2 -Tools voor ontwerp lokaal elektriciteitssysteem.

Kwantificering: van de 25 tot 30 miljard euro die de netbeheerders tot 2030 zullen investeren in het onderhouden en versterken van het elektriciteitsnetwerk², zal een deel vermeden of uitgesteld kunnen worden door lokale flexibiliteitsoplossingen zoals die van ROBUST. Dat aandeel is nog niet goed bekend; bij een schatting van 10% ligt er in Nederland een besparingspotentieel van 2,5 tot 3 miljard euro in de periode tot 2030 en mogelijk nog meer in de jaren daarna.

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

ROBUST onderzoekt uitbreiding van handelssystemen (o.a. USEF) voor lokale congestie en van toegankelijke platformen (o.a. GOPACS) voor inzet flexibiliteit uit gebouwde omgeving voor energiehandel en systeemdiensten, en draagt daarmee bij aan 5.4.1 -Voorwaarden voor gerichte inzet van flexibiliteit vanuit de gebouwde omgeving.

Kwantificering: CE Delft schat in dat in de toekomst als gevolg van hoge penetraties van wind- en zonne-energie een additionele flexibiliteitsbehoefte in tekortsituaties kan ontstaan tot 0,5 GW in de laagspanningsnetvlakken, 1,2 GW op middenspanningsnetvlakken en 1,3 GW op hoogspanningsnetvlakken³. Lokale flexibiliteitsoplossingen zoals

¹ <https://ssc-fleet.nl/>

² <https://www.ad.nl/binnenland/energienota-hoger-door-warmtepomp-en-laadpaal~a32dfb44/>

³ Marktonwikkeling van een duurzaam elektriciteitssysteem, Centrum voor Energievraagstukken e.a. april 2019

ROBUST onderzoekt kunnen een bijdrage leveren in die tekorten, vooral op laagspannings- en middenspanningsniveau. Die bijdrage is nog niet goed bekend, maar als we schatten dat 10% van de 55.000 elektrische auto's die in 2030 in Utrecht worden verwacht⁴ een beperkt deel van de tijd beschikbaar is voor V2G-bedrijf, zijn daarmee binnen deze stad met 350.000 inwoners bijdragen van 50 MW in de bovengenoemde flexibiliteitsbehoefte mogelijk. Universiteit Utrecht heeft geschat dat de batterijen van 8.500 bidirectionele auto's voldoende capaciteit hebben om alle woningen in Utrecht een nacht lang van elektriciteit te voorzien⁵.

Bijdrage aan andere Missies

Daarnaast draagt ROBUST bij aan missie D 'Emissieloze mobiliteit voor mensen en goederen in 2050' via MMIP 9 en MMIP 10, doordat het flexibiliteitssysteem extra waarde zal genereren uit e-deelautosystemen, slimme bidirectionele laadpalen en laadpleinen, slim ladende bussen en distributievoertuigen, zodat de ontwikkeling en uitrol daarvan wordt gestimuleerd.

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

4. Spin-off binnen en buiten de sector

4.1 Binnen de sector

Het onderzoeksproject ROBUST heeft binnen de sector al voor verschillende spin-off gezorgd. Als eerste heeft de 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.

Met het uitroepen van de stad Utrecht in najaar 2021 door het internationale internetplatform 'Fully Charged'⁶ 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

⁴ Presentatie 'V2G bi-directional ecosystem' voor IRIS-bijeenkomst, Gemeente Utrecht, 10 juni 2020

⁵ Gepresenteerd tijdens opening bidirectioneel laadnetwerk op Utrecht Science Park, <https://smartsolarcharging.eu/persbericht-utrecht-science-park-eerste-campus-met-groot-bidirectioneel-laadnetwerk/>

⁶ <https://fullycharged.show/>

niet onopgemerkt gebleven. Meerdere projectpartners van ROBUST zijn op Europees niveau het opschalen van V2G aan het ondersteunen 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 bidirectionele Hyundai IONIQ 5. Met deze eerste bidirectionele productie-auto is het Utrechtse bidirectionele ecosysteem op kleine schaal al bidirectioneel operationeel. In 2024 is met de samenwerking tussen Renault en We Drive Solar snelle opschaling van bidirectioneel laden in gang gezet, tot 500 bidirectionele Renault 5 deelauto's voor Mywheels en 500 vernieuwde bidirectionele WDS-laadpalen rond eind 2025. Mywheels plant daarna snelle verdere opschaling. Partijen binnen en buiten Nederland tonen grote belangstelling voor deze techniek en verschillende andere autofabrikanten brengen naar verwachting binnenkort compatibele V2G-auto's uit.

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 bidirectioneel ladende elektrische auto's.

4.2 Buiten de sector

Binnen de sector volgen de spin-off acties elkaar hard op. Het potentieel van slim en bidirectioneel laden voor vermindering van de netcongestieproblematiek is 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.

5. Overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn

5.1 Publicaties

In het derde projectjaar:

Wetenschappelijk

Datum: April 2025

Titel: Vehicle-to-grid, why not? An interview with battery electric vehicle users with various driving patterns in Utrecht, the Netherlands

Hu Y, Bahamonde-Birke F J, Ettema D.

Uitgever: Transport Policy

Link: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2025.02.009>

Datum: 27-1-2025

Titel publicatie: Impact of Lead Time on Aggregate EV Flexibility for Congestion Management Services

Nanda Kishor Panda, Peter Palensky, Simon H Tindemans

Uitgever: Accepted to be published at PowerTech 2025 - IEEE conference

Link: <https://arxiv.org/pdf/2501.15946>

Datum: 25-06-2024

Titel publicatie: Enhancing smart charging in electric vehicles by addressing paused and delayed charging problems

Nico Brinkel et al.

Uitgever: Nature Communications

Link: <https://www.nature.com/articles/s41467-024-48477-w>

Newsitem: <https://tki-robust.nl/nog-slimmer-laden-van-elektrische-autos/>

Datum:

1-3-2024

Titel publicatie:

Quantifying the Aggregate Flexibility of EV Charging Stations for Dependable Congestion Management Products: A Dutch Case Study

Uitgever:

[working paper]

Link: preprint <https://arxiv.org/abs/2403.13367>

Datum:

1-3-2024

Titel publicatie:

Aggregate Peak EV Charging Demand: The Influence of Segmented Network Tariffs

Auteur: Panda, Li, Tindemans (TU Delft)

Uitgever:

ITEC 2024, Rosemont, IL, USA

Link: preprint: <https://arxiv.org/abs/2403.12215>

Datum: Maart 2024

Titel publicatie:

Efficient Quantification and Representation of Aggregate Flexibility in Electric Vehicles

Uitgever:

Power System Computation Conference (PSCC 2024), Paris. Te verschijnen in: Electric Power System Research, Elsevier.

Auteur: Panda, Tindemans (TU Delft)

Link: preprint: <https://arxiv.org/abs/2403.13367>

Datum:

1-12-2023

Titel publicatie:

Congestion management in electricity distribution networks: Smart tariffs, local markets and direct control

Auteur: Hennig, De Vries en Tindemans (TU Delft)

Uitgever:

Utilities Policy (85), 101660

Link: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101660>

Datum:

1-10-2023

Titel publicatie:

A novel forecasting approach to schedule aggregated electric vehicle charging

Uitgever:

Energy and AI

Auteur: Nico Brinkel et al.

Link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546823000691>

Datum:

1-5-2023

Titel publicatie:

Marginal emission factors in power systems: The case of the Netherlands (scientific paper)

Uitgever: SmartGreens, auteur: Parnian Alikhani et. al.

Link: <https://www.scitepress.org/Link.aspx?doi=10.5220/0011855700003491>

Datum: April 2023

Titel publicatie: A comparative analysis of charging strategies for battery electric buses in wholesale electricity and ancillary services markets (scientific paper)

Uitgever: Elsevier,

auteur: Nico Brinkel et. al.

Link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136655452300073X>

Theses

Datum: Augustus 2024

Titel publicatie: Role of Flexibility in Grid Connection Capacity Planning of Large Urban Living Spaces

Uitgever: S.C. Carraro (Master student)

Link: <https://repository.tudelft.nl/record/uuid:693d6ab1-a741-4f05-9f56-2b31c1b42a7e>

Datum: Augustus 2023

Titel publicatie: Congestion Management in office areas and the role of EV flexibility– A case study on Utrecht Science Park (masterthesis)

Uitgever: Christos Psaropoulos, Master student

Link: *vertrouwelijk*

Datum: Juni 2023

Titel publicatie: Optimization of a Smart Energy System with Bidirectional Charging Stations - A Case Study on P-Olympos, Utrecht (masterthesis)

Uitgever: Till Cordes, Master student

Link: *vertrouwelijk*

Datum: December 2022

Titel publicatie: Modelling and Topology Optimisation of Medium Voltage Representative Networks for The Netherlands (Masterthesis)

Uitgever: Marcel Brouwers, Master student

Link: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A2f17706d-cd17-42a0-b2bf-f2bb5f0c84e9>

Datum: Augustus 2022

Titel publicatie: Interplay between LV grids and EVs' Charging Flexibility (Masterthesis)

Uitgever: Flore Verbist, Master student

Link: <https://tki-robust.nl/geen-netcongestie-door-flexibel-laden-van-elektrische-autos/>

Anders

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

Datum: 27 maart 2025

Titel webinar: Online Feedbacksessie ROBUST Handelingsperspectieven Netcongestie en Netflexibiliteit in Stadsregio's

Uitgever/organisator: USI/ROBUST

Datum: 23 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>

Datum: 23 april 2023

Titel webinar: ISGAN Award 2022 - Excellence of EV Integration in Smart Grid (no recording)

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/>

Presentaties op evenementen

Datum: 30 juni 2024

Titel: Efficient representations for the scheduling of aggregate charging power of battery electric vehicles

Uitgever: Simon Tindemans (TU Delft) op 33rd European Conference on Operational Research (EURO 2024), Copenhagen, DK

Link:

Datum: 26 oktober 2023

Titel publicatie: ROBUST: Enabling the energy transformation on a local level - the case of electric vehicles

Uitgever: Bart van der Ree (USI), Nanda Panda (TU Delft), Janna de Graaf (FSW UU), Yang Hu (GEO UU) en Anoeska Buijze (REBO UU) op de Radboud Conferentie over Earth System Governance (ESG) in Nijmegen, NL gehouden van 24 tot en met 26 oktober.

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.

Datum: 26 en 27 september 2023

Titel publicatie: A Robust Sustainable Electricity System through Regional Flexibility (banner)

Uitgever: Bart van der Ree te gast op AVERE E-mobility Conference (AEC2023) in Utrecht, NL (26-27 september 2023).

Link: <https://tki-robust.nl/1073/>

Datum: 13-juni-2022

Titel: Cyber Attacks on Electric Vehicle Charging Infrastructure and Impact Analysis

Uitgever: Sjors Huijgenaar (Stedin) op 35ste International Electric Vehicle Symposium & Exhibition (11-15 juni 2022) in Oslo, Noorwegen

Link: <https://tki-robust.nl/online-veiligheid-van-slim-laden/>

Awards

Datum: 23 april 2023

Event: SmartGreens 2023 Conferentie in Praag

Link artikel: <https://www.scitepress.org/Link.aspx?doi=10.5220/0011855700003491>

Parnian Alikhani wint Best Student Paper Award.

5.2 Media-aandacht

In het vierde projectjaar:

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/>

Datum: 27 november 2024

Titel: Deelauto ontlast stroomnet Utrecht

Uitgever: BNR Mobility

Link: https://www.bnr.nl/podcast/bnr-mobility/10561817/deelauto-ontlast-stroomnet-utrecht?utm_medium=Social&utm_campaign=Owned&utm_source=Twitter#Echobox=1732696938-2

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/>

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-worden~a03a1b07/>

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?

Uitgever: Trouw/ Joost van Velzen

Link: <https://www.trouw.nl/duurzaamheid-economie/kunnen-elektrische-auto-s-utrechts-stroomtekort-oplossen~b41e4038/?referrer=https://www.ecosia.org/>