



FLEXCORE

FLEXibiliteit in middenspanningsstations door edge COmputing en viRtualisatiE

FLEXCORE Eindrapportage

Januari 2022 - Publieke editie

Project referentienummer: TEUE419006

Projecttitel: FLEXibiliteit in middenspanningsstations door edge COmputing en viRtualisatiE (**FLEXCORE**)

Penvoerder: Technolution B.V.

Mede aanvragers: HyTEPS en ENEXIS Netbeheer B.V.

Projectperiode: 1 januari 2020 – 30 juni 2021

Het FLEXCORE project is mede tot stand gekomen met de TSE subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Inhoudsopgave

FLEXCORE Eindrapportage	1
Waarom Flexcore?	3
Inhoudelijk eindrapport	4
Samenvatting	4
Inleiding.....	4
Doelstelling	4
Werkwijze	5
Techniek	5
Organisatie en Financiën.....	5
Resultaten	6
Flexcore Visie	6
Flexcore ecosysteem en stakeholders	7
Van visie naar praktijk.....	8
Financiële haalbaarheid	9
Flexcore platform Proof-of-concept en usecases	10
Flexcore platform architectuur en specificaties	16
Vervolgactiviteiten.....	17
Discussie.....	17
Conclusie en aanbevelingen	17
Uitvoering van het project	18
Projectuitdagingen.....	18
Wijzigingen en verschillen ten opzichte van projectplan en begroting.....	19
Disseminatie.....	19
Bijlages	20
Bijlage 1: Flexcore Visie Enquete	20
Bijlage 2: Flexcore Platform architectuur	23
Bronnen.....	24

Waarom Flexcore?

Het Flexcore project is gestart vanuit de overtuiging dat digitalisering een belangrijke helpende factor kan zijn in een voorspoedige energietransitie, vooral ook (maar niet alleen) voor netbeheerders. Waar historisch alleen de hoogspanningsdelen (HS) van het net geautomatiseerd zijn, dringt de energietransitie langzaam maar zeker via de middenspanningsnetten (MS) door tot in de haarvaten van het laagspanningsnet (LS). Inzicht in de daadwerkelijke congestieproblemen bij de inpassing van bijvoorbeeld zonneparken of datacenters en inzicht in de daadwerkelijke spanningsproblematiek in wijken met veel zonnepanelen of laadpalen wordt daardoor steeds belangrijker.

In de MS- en LS-netdelen is de digitalisering (en daarmee het inzicht) echter nog beperkt en het is nog niet zo eenvoudig om dat te veranderen. Allereerst zijn er heel veel middenspanningsruimtes (MSR, meer dan 125 duizend in Nederland), dus zelfs als digitalisering weinig installatiecapaciteit en lage kosten per MSR zou kosten, telt 125 duizend keer weinig al snel op tot een hoge totale investering en een groot beroep op de toch al schaarse populatie elektromonteurs.

Ten tweede ontwikkelen de beschikbare technologie en de gewenste toepassingen zich snel. Daardoor ontstaat het risico dat een MSR waar een digitaliseringsoplossing is geïnstalleerd al na een paar jaar gedateerd is. Hardware voor digitalisering kent vaak andere lifecycles (enkele jaren) dan de netbeheerder van oudsher gewend is voor zijn assets (tientallen jaren) en bij de schaal waarop een netbeheerder opereert is dat problematisch. Wat moet je dan waar installeren en wanneer weer vervangen?

Ten derde staan we nog maar aan het begin van de mogelijkheden die digitalisering biedt. Bijvoorbeeld Power Quality (PQ) is een complex deelgebied waar gespecialiseerde experts hoogfrequente, tijdsynchrone meetwaarden voor hun analyses gebruiken. Als ze op voorhand al exact moeten definiëren hoe hun algoritmieken en meetkastjes moeten functioneren, wordt elke investering riskant. Als je niet makkelijk kunt leren en itereren is innoveren altijd lastig.

Voor Flexcore hebben we voor de bovenstaande vraagstukken inspiratie gezocht in andere sectoren, specifiek de smart phone industrie. Want zou het niet handig zijn als je data uit een sensor in meerdere apps kunt gebruiken (zoals de camera in een iPhone)? En zou het niet mooi zijn als een app op allerlei soorten hardware kan worden geïnstalleerd (zoals Angry Birds in de Android app store)? En als je wisselt van smartphone kun je je apps en data makkelijk migreren, zou dat niet ook kunnen in het geval van hardware in een MSR? En bovendien hoeft een app-ontwikkelaar voor een iPhone zich geen zorgen te maken over de investering in hardware, die kan zich gewoon richten op de perfecte app. Dat gunnen we de hierboven genoemde PQ-expert ook graag. Daarom hebben we de Flexcore demonstrators gemaakt.

Wordt 'edge computing' voor netbeheerders in een open, flexibele infrastructuur haalbaar, effectiever, innovatiever, minder kostbaar en minder riskant dan de bestaande gesloten en starre platformen? Op basis van de uitkomsten uit dit Flexcore programma zijn we daar zeer positief over en vanuit Enexis, ELaad, HyTEPS en Technolution zoeken we graag de samenwerking in het Nederlandse innovatie ecosysteem van de Topsector Energie om verdere stappen op dit beloftevolle pad te zetten.

Namens het Flexcore consortium,

Wilbert Prinssen, Business unit director, Technolution Spark

Inhoudelijk eindrapport

In deze inhoudelijke eindrapportage worden de visie, het onderzoek, de werkwijze en de projectresultaten van het Flexcore project beschreven.

Samenvatting

In het Flexcore project hebben consortiumpartners Technolution, HyTEPS en Enexis onderzocht hoe de inzet van een open en schaalbaar edge-computing platform in lokale elektriciteitsinfrastructuur kan bijdragen aan betrouwbaar, betaalbaar en effectief datagedreven netbeheer. Door middel van een proof of concept implementatie van de Flexcore systeemarchitectuur zijn een drietal usecases tot uitvoer gebracht. Hierbij is kennis opgedaan over hoe een interoperabel en schaalbare systeemarchitectuur er in deze context uit moet zien, welke specificaties nodig zijn om een brede set aan usecases uit te kunnen voeren, en hoe het gebruik van deze systematiek en werkwijze de netbeheer operatie helpt om inzichten te verkrijgen in de huidige netstatus. Deze inzichten leiden tot vernieuwd denken hoe datagedreven netbeheer er uit kan zien, en in bredere context hoe de toepassing van edge-computing in meet- en regelsystemen een oplossing kan zijn voor ontkoppeling van silo's en het mogelijk maken van opschaling voor grootschalige gedistribueerde netten.

Inleiding

De energietransitie gaat grote impact hebben op lokale elektriciteitsnetten. Momenteel heeft een regionale netbeheerder echter beperkt inzicht in de lokale nettoestand, laat staan mogelijkheid daar snel op te reageren of sturen. Digitalisering van sensoriek, algoritmiek en lokale sturing is historisch gezien in vrijwel alle laagspannings- en de meest middenspanningsinfrastructuur niet noodzakelijk geweest.

De wenselijkheid of zelfs noodzaak om lokaal inzicht en sturing op te bouwen wordt door alle regionale netbeheerders inmiddels omarmd. Datagedreven netbeheer wordt de nieuwe norm in de sector getuige vele beoogde toepassingen rond predictive maintenance, flexibel schakelen van openbare verlichting, power quality, congestiemanagement, foutplaatslocalisatie, fraudedetectie en automatisch storingsherstel.

In de praktijk gaat het opschalen van dergelijke toepassingen echter vaak (veel) trager dan wenselijk. Belangrijke oorzaak is het feit dat de toepassingen verticaal geïntegreerd zijn in specifieke hard- en softwareoplossingen. Dit zorgt voor lange ontwikkeltijd, hoge onderhouds- en vervangingskosten en legt een groot beslag op de al schaarse personeelscapaciteit.

Doelstelling

Dit project heeft een geheel andere manier van kijken naar de benodigde infrastructuur voor de digitalisering van lokale elektriciteitsnetten onderzocht. In plaats van de verticale integratie is een systeem onderzocht en ontwikkeld waarin breed toepasbare sensoriek wordt gecombineerd met lokale "edge computing" via slimme algoritmiek. Hierdoor wordt het mogelijk om toepassingen te virtualiseren in software die gebruik maakt van de aanwezige sensoriek. Op die manier wordt functionaliteit ontkoppeld van de fysieke systemen en wordt het mogelijk om zeer uiteenlopende toepassingen te combineren in één systeem.

Door deze ontkoppeling biedt een dergelijke infrastructuur hoge flexibiliteit (het wisselen van hardware en toevoegen van apps is laagdrempelig) tegen hoge kwaliteit (elke component kan door een specialist worden gerealiseerd) en tegen hoge kosteneffectiviteit (hardware, de hoogste kostendriver, wordt maximaal hergebruikt).

Op deze manier draagt het project bij aan de doelstellingen van TKI Urban Energy door de flexibiliteit, betrouwbaarheid en kwalitatief van het elektriciteitsnet te verhogen en het inzicht in de netten aanzienlijk te vergroten.

Werkwijze

De nadruk van dit onderzoek ligt op het ontwerpen en beproeven van een technische architectuur die de genoemde potentie van Edge computing in middenspanningsstations met betrekking tot flexibiliteit, hoge kwaliteit en lagere marginale kosten kan aantonen. Om Edge-computing implementatie op grotere schaal echter een succes te laten zijn zullen ook nieuwe rollen, samenwerkingsverbanden en verantwoordelijkheden ontstaan van stakeholders die bij de ontwikkeling, het beheer of het gebruik van het Flexcore platform betrokken zijn. Ook is het belangrijk om de kosteneffectiviteit van het platform te onderzoeken omdat de verwachting is dat een dergelijke flexibele en schaalbare oplossing ook lagere marginale kosten per usecase voort kan brengen. Om die reden worden deze drie thema's integraal onderzocht: Techniek, Organisatie en Financiën. Deze thema's zijn in een iteratief onderzoeks- en ontwikkeltraject behandeld, in een combinatie van industrieel onderzoek en experimentele ontwikkeling.

Techniek

Om de drie onderzoeksthema's op te kunnen pakken was het noodzakelijk om de visie van edgecomputing in middenspanning door te vertalen naar een daadwerkelijke systeemarchitectuur, waarin het eerste begrip ontstaat hoe het systeem in praktijk zou werken, welke performance het systeem kan leveren en hoe de stakeholders in zo'n ecosysteem zouden moeten samenwerken. Om die reden zijn periodieke workshops gestart om die architectuur op te gaan bouwen: Welke usecases zou het systeem moeten kunnen ondersteunen, welke eisen zijn uit deze usecases af te leiden, en hoe kan een open, schaalbaar en kosteneffectief systeem worden ontworpen dat aan deze eisen kan voldoen? Dit heeft geleid tot een definitie van 3 verschillende usecases, gerelateerde requirements en een eerste systeemarchitectuur. Deze staan beschreven in het Resultaten hoofdstuk.

Na ontwikkeling van de systeemarchitectuur is het systeem in eerste iteratie ontwikkeld voor installatie in een verdeelstation van ElaadNL in Arnhem, om vervolgens iteratief uitgebouwd te worden om de drie usecases te kunnen ondersteunen en gereed te zijn voor installaties in Groningen en Gouda. Na afloop van de laatste installatie en tijdens de testperiode is dan ook een definitieve systeemarchitectuur en specificaties opgesteld die te vinden is in deze rapportage

Organisatie en Financiën

Naar aanleiding van het opstellen van de eerste tussentijdse systeemarchitectuur is er een reeks (virtuele) workshops georganiseerd om de Organisatie en Financiën vraagstukken te onderzoeken. Hierbij staan vragen centraal als: Hoe werken stakeholders samen binnen een Flexcore ecosysteem, en wie draagt welke verantwoordelijkheid? Evenals vragen: Wat is de gereden inschatting van kosten/baten bij

opschaling van Flexcore platform in midden spanning elektriciteitsinfrastructuur? Nu dat er een eerste schets lag van wat het systeem zou kunnen, hoe het zou werken en wat het zou kosten, konden deze vragen gerichter worden beantwoord. Dit is gedaan in een iteratief proces van workshops binnen het consortium, en navraag en enquêtes die zijn uitgezet binnen het netwerk van de consortiumpartijen en binnen de Enexis netbeheer organisatie. Deze enquête is toegevoegd als bijlage 1. Via dit proces zijn alle inzichten van stakeholders verzameld en in een gezamenlijk gedragen visie gevat die in het hoofdstuk Resultaten verder staat uitgewerkt.

Resultaten

Binnen het flexcore project is onderzocht of en hoe, in het licht van datagedreven netbeheer, grootschalige toepassing van edgecomputing in middenspanningsstations potentie heeft. Dit is gedaan over drie assen: Organisatie, Financiën en Techniek. De beantwoording van deze onderzoeksthema's wordt gedaan over de assen: (1) Waarom, (2) Hoe en (3) Wat. In dit resultatenhoofdstuk wordt in onze gezamenlijke Flexcore visie beschreven **waarom** edgecomputing potentie biedt voor datagedreven netbeheer, gevolgd door **hoe** die ambities ingevuld kunnen worden door een samenwerking van betrokken stakeholders. Tot slot wordt geschetst **wat** dit Flexcore platform exact is, welke usecases het in dit project heeft geïmplementeerd om dit aan te tonen, en welke tot welke vervolgstappen de ontwikkeling van dit platform leidt.

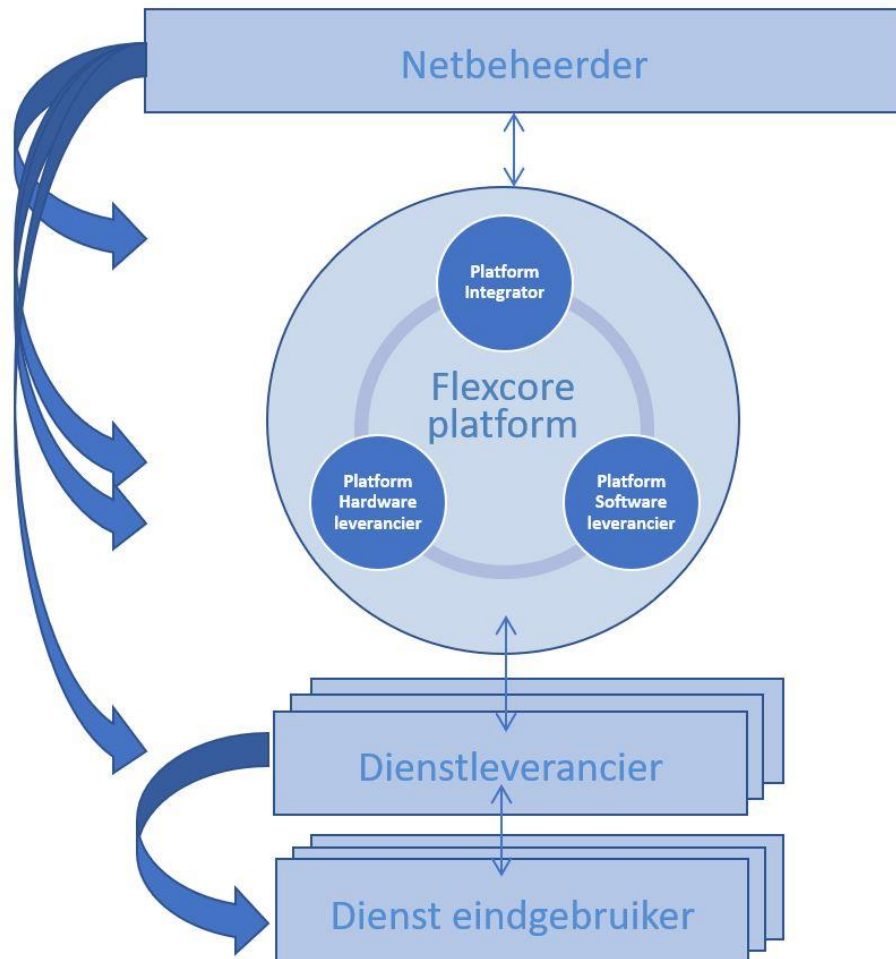
Flexcore Visie

Over de loop van de jaren zal de digitale monitoring van middenspanningsstations anders worden ingevuld. Een transitie wordt ingezet om planmatig de huidige verticaal geïntegreerde data-silo's en hardware te vervangen voor een platform-gebaseerde toepassing van edge computing. Dit houdt in dat de hardware die in deze stations komen te hangen lokaal zullen communiceren met een compacte computer, en dat deze vervolgens de binnengekomen data verwerkt voor een veelvoud aan use-cases, en via een communicatiekanaal naar het bedrijfsvoering centrum van de netbeheerder communiceert. Op dit dienstenplatform worden –vergelijkbaar met bijvoorbeeld een smartphone appstore - verschillende diensten aangeboden waar gebruik van kan worden gemaakt, en die benodigde data ontvangen van de in het middenspanningsstation aanwezige generieke hardware. Deze diensten, die aangeleverd kunnen worden door externe dienstenontwikkelaars, kunnen vervolgens een of meerdere use-cases uitvoeren zoals predictive maintenance, power quality analyse, storingsdetectie, etc.

De potentie die deze opzet biedt ten opzichte van huidige systeemarchitectuur is onder andere dat de marginale kosten per use-case lager komen te liggen. Dit om dat de hardware na installatie herbruikbaar is voor verschillende toepassingen, en omdat door standaardisatie economies of scale gaan meespelen in zowel hardware inkoop/onderhoud als diensten-businesscases. Ook biedt deze systeemarchitectuur meer flexibiliteit aan de eigenaar (in dit geval netbeheer) en dienstenaanbieders om in kortere looptijden aan te passen en uit te bereiden aan de hand van actuele uitdagingen en thema's.

Flexcore ecosysteem en stakeholders

Met betrekking tot de stakeholders die gezamenlijk het flexcore platform tot stand brengen, gebruiken en doorontwikkelen onderscheiden we zes verschillende rollen in dit ecosysteem, schematisch weergegeven in figuur 1 en vervolgens verder in detail uitgelegd.



Figuur 1: Schematische weergave samenwerking Flexcore stakeholders

Netbeheerder

De netbeheerder is de eindverantwoordelijke organisatie in lijn met zoals we dat nu kennen met betrekking tot aanleg, onderhoud en beheer van het net. Omdat het flexcore platform volledig binnen de netbeheer infrastructuur opereert is de netbeheerder ook de 'eigenaar' van het fysieke platform, en uitvoerder van fysiek onderhoud en fysieke installatie van het systeem in de infrastructuur. Daarmee is de geïnstalleerde hardware in eigen beheer van de netbeheerder. In veel gevallen zal deze partij ook het directe contractmanagement (via aanbestedingen) doen met overige gerelateerde rollen (met uitzondering van de dienst eindgebruikers). De (al dan niet geaggregeerde) data wordt verzonden naar (regionale) bedrijfsvoeringscentra van de netbeheerder om primair te monitoren en analyseren.

Platform integrator

Technologische partij die de technische en proces-integrator vormt tussen de verschillende aan het platform gelieerde partijen (software, hardware, dienstenleverancier, netbeheerder). Onderhoudt in opdracht van de netbeheerder het platform, voert de processen uit rond updating, monitord de compliance voor apps op het platform, en voert de hardware integratie van nieuwe hardware uit.

Platform Hardware leverancier

Technologische partij die in opdracht van de netbeheerder hardware levert ter installatie in het middenspanningsstation. Dit omvat onder andere de Edgecomputer, sensoren, energietoevoer/opslag voor het platform, communicatie-hardware, etc. Deze hardware wordt geselecteerd in samenwerking met de netbeheerder (als opdrachtgever) en de platform integrator (als compliance verantwoordelijke) en waar nodig ook met direct betrokken dienstenleveranciers.

Platform Software leverancier

Technologische partij die de benodigde software levert voor het Flexcore systeem. Dit omvat zowel de software voor lokale devices in de stations als de software in de cloud. Ook de software leverancier levert de software in samenspraak met de netbeheerder, platform integrator en waar nodig met dienstenleveranciers.

Dienstleverancier

Een van de partijen die diensten ontwikkelt die op het Flexcore platform kunnen draaien, waarbij gebruik wordt gemaakt van de platform hardware of lokale processing capaciteit en waarbij de dienst gericht is voor de dienst eindgebruikers

Dienst eindgebruiker

De eindgebruikers van de diensten die op het Flexcore platform worden aangeboden. In veel gevallen zal dit wederom de Netbeheerder zijn, maar dit zouden ook andere eindgebruikers kunnen zijn zoals Industrie en andere energie-eindgebruikers of opwekkers achter aan het middenspanningsstation gekoppelde aansluitingen.

Van visie naar praktijk

Wanneer deze visie wordt vertaald naar het hier en nu, en welke eerste stappen er als eerste genomen moeten worden zien we enkele nuanceverschillen. Zo zal een eventuele implementatie en opschaling van een Flexcore platform stapsgewijs gebeuren, zowel in aantallen als in functionaliteit en organisatie.

Het Flexcore platform is in eerste instantie een platform waarmee meten en analyseren wordt vergemakkelijkt voor een brede set aan doelen. Daarnaast zijn ook lokale usecases mogelijk waarbij (al dan niet automatisch) wordt gestuurd/ingegrepen op basis van vastgestelde triggers, zoals in de ElaadNL Sociale Module usecase wordt aangetoond. Echter komt bij lokaal sturen ook een additionele set aan risico's die door ook integrale veiligheids en cyber-security aanpak vergt om misbruik en andere risico's uit te sluiten. Ook is een regionale netbeheerder ook in juridische context beperkt om dergelijke sturing uit te voeren. Om die reden zal in praktijk initieel worden ingezet op het meten en analyseren van data, zonder sturingsmogelijkheden. Deze mogelijkheden tot ingrijpen zullen alleen verantwoord zijn wanneer er ook adequate systemische beveiligingsmaatregelen zijn geïmplementeerd, hier ook een juridisch kader

voor is ontworpen, en er ook betere inzichten zijn in de dynamiek van eventuele ongewenste interferentie tussen verschillende gelijktijdige lokale stuurmechanismen die vooralsnog onbekend is.

Ook in termen van aantallen Flexcoresysteem zal er bij opschaling stapsgewijze implementatie worden uitgevoerd. Zo zullen in eerste instantie alle lokale hardware in eigen beheer worden gehouden door de netbeheerder zoals dat nu ook het geval is. Op deze manier zijn eigen monteurs aan te sturen bij eventuele wijzigingen/toevoegingen aan het systeem. Ook zal vanuit het netbeheer worden gekeken hoe Flexcore initieel zo laag mogelijk in het net kan worden ingezet, en een versterking kan zijn van andere IT ontwikkelingen zoals DALI. Op deze manier kan het de netbeheerder ervaring opdoen met de functionaliteiten van de Flexcore apps. Ook kan de lokale verantwoordelijkheid voor de infrastructuur op deze manier bij de netregio's blijven liggen omdat niet elke regio naar verwachting dezelfde systemen wil installeren als gevolg van veranderende lokale omstandigheden.

Financiële haalbaarheid

Voorafgaand aan het ontwerpen, ontwikkelen en testen van het Flexcore platform werd door consortiumpartners op basis van ramingen in het eerdere project KRIS ingeschat dat opgeschaalde implementatie van Flexcore in MS-stations van Enexis kon leiden tot een verlaging in Total Cost of Ownership van 18%. Deze verlaging is een gevolg van lagere investeringskosten aan hardware in MS ruimtes (lagere marginale kosten per aanvullende usecase), lagere installatiekosten en lagere onderhoudskosten. Alhoewel het Flexcore project deze opschaling niet in praktijk heeft getest, en daarmee de financiële schaalvoordelen van een dergelijke uitrol, stellen consortiumpartners vast dat dit op basis van het POC ontwerp en implementatie naar alle waarschijnlijkheid haalbaar is. Zo zijn de inkoop en ontwikkelingskosten van deze kleine schaal POC implementatie laag gebleven, bieden de eerste data-inzichten concrete aanleiding voor meer effectieve, doelgerichte en preventieve onderhoudsprocessen, en ervaren we ook de lagere drempel om na de initiële investering usecases toe te voegen. Zo is de dynamiek ontstaan waarbij nu dat het Flexcore systeem is geïnstalleerd, de drempel erg laag is geworden (lage kosten, korte looptijd en beperkte inzet van mensen) om nieuwe applicaties toe te voegen zoals temperatuurmonitoring en branddetectie. Deze dynamiek wijst ook op afnemende marginale kosten per toegevoegde usecase. Om deze redenen achten de consortiumpartners het aannemelijk dat de inschatting op basis van de KRIS resultaten bij opschaling van het Flexcore platform haalbaar zijn.

Flexcore platform Proof-of-concept en usecases

Binnen het Flexcore project zijn drie verschillende usecases uitgevoerd als apps op het Flexcore platform. Deze worden in dit hoofdstuk een voor een beschreven m.b.t. probleem/doelstelling en werking.



Figuur 2: Flexcore POC systeeminstallatie [in veilige status] op het ElaadNL terrein in Arnhem (Links), en in een Enexis wijkstation in Groningen (Rechts)

Sociale Module [ElaadNL/Enexis]

Kijkende naar het energienet vanuit netbeheerdersperspectief liggen er veel uitdagingen. Lokale congestieproblemen veroorzaakt door eigen opwek en (piek)verbruik zorgen voor enorme risico's en zouden zelfs tot een totale "blackout" kunnen leiden mits hier niet op geacteerd wordt.

Om lokale problemen op te kunnen lossen dient er nauwkeurige meetinformatie beschikbaar te zijn en dienen lokale verbruikers en opwekkers flexibiliteit aan te bieden die ingezet kan worden op probleemmomenten. De Flexcore meetinrichting biedt de juiste meetinformatie die ingezet kan worden om problemen (bijv. overbelasting trafo) vroegtijdig te kunnen detecteren. Deze informatie is bij Elaad ingezet in combinatie met de Sociale Laadpaal. De Sociale Laadpaal kan flexibiliteit bieden op probleemmomenten door het laadvermogen omlaag te brengen indien dit nodig is om het energienet overeind te houden. Dit gebeurt in tegenstelling tot reeds beschikbare centrale systemen nu op lokaal niveau middels Peer-to-Peer (P2P) communicatie direct van transformator naar laadpaal. De sturing is dus decentraal wat ervoor zorgt dat het lokale energienet geen afhankelijkheden meer heeft naar een centrale sturing. Om dit te kunnen bewerkstelligen is gebruik gemaakt van LoRa voor draadloze communicatie tussen laadpaal en Flexcore platform.



Figuur 3: USB LoRa Module ElaadNL

Long Range (LoRa) is een draadloze communicatietechnologie die in de EU binnen de licentievrije 868MHz band gebruikt mag worden. De technologie is uitzonderlijk goed in het versturen van kleine datapakketten over een lange afstand en met laag stroomverbruik.

Om de Flexcore meetinrichting te kunnen koppelen aan het LoRa netwerk is de meetinrichting voorzien van een USB LoRa module. Binnen Elaad is vervolgens een protocol beschreven en geïmplementeerd. Eigen software leest de meetinformatie uit de Flexcore box uit en vertaalt dit naar een LoRa bericht. Deze software draait direct op de Flexcore edgecomputer en vertaalt de MQTT-berichten naar de USB LoRa module.

Property	Type	Size	Comment
cable_id	unsigned int	4 bytes	
current_offset	unsigned int	4 bytes	
timestamp	unsigned int	4 bytes	UTC Epoch, max 10 second deviation
signature	unsigned char[64]	64 bytes	SHA256

Figuur 4: ElaadNL LoRa Protocol

De Sociale Laadpaal is vervolgens ook aangepast om het nieuwe protocol te kunnen ontvangen en interpreteren (zie figuur 3 met geïnstalleerde LoRa module).

De sturing van de transformatorberichten dient veilig te gebeuren. Het LoRa netwerk is van nature relatief “open” en ieder kan in principe berichten ontvangen en verzenden. Om ervoor te zorgen dat de sociale module enkel luistert naar de berichten van de transformator is er gebruikt gemaakt van een cryptografische handtekening.

Voorbeeld: zodra de transformator waar de Flexcore meetinrichting geïnstalleerd is een waarde meet die zorgelijk is (denk aan: totaal verbruik, harmonische verstoring, etc.) moet de Sociale Laadpaal in laadcapaciteit minderen om het energienet te ontlasten. De software die door ElaadNL/Enexis is ontwikkeld maakt volgens eigen protocol een bericht aan waarin beschreven wordt met hoeveel ampère het laadvermogen verminderd dient te worden. De transformator maakt vervolgens van het totale te versturen bericht een “hash”. In feite is dit een cryptografische weergave van het bericht. Vervolgens ondertekent de transformator dit bericht met zijn eigen private Elliptic Curve sleutel waarna het bericht

verzonden wordt. De laadpaal ontvangt het bericht en verifieert of het afkomstig is van de transformator. De laadpaal is tijdens installatie voorzien van de publieke sleutel van de transformator. Met de publieke sleutel kan de laadpaal de handtekening van de transformator verifiëren. Pas nadat verificatie is gelukt zal de laadpaal over gaan tot sturing van het laadvermogen.

Zoals beschreven is deze demo bij ElaadNL opgezet met één Sociale Laadpaal. Echter, door de decentrale opzet van LoRa kunnen dit tientallen, honderden of zelfs duizenden laadpalen zijn die flexibiliteit kunnen bieden in tijden van nood. In theorie is deze LoRa oplossing oneindig schaalbaar. Naast laadpalen zijn er nog meer apparaten die wellicht mee kunnen doen in de decentrale sturing. Voorwaarde is dat de apparatenbouwers hier in de toekomst ook mee aan de slag gaan en manieren zullen aanbieden waarmee externe stuursignalen gebruikt kunnen worden om apparaten aan te sturen.

Power Quality monitoring en dashboards [HyTEPS]

Voor een installatie-verantwoordelijke van een elektrische installatie of distributienet is het van belang om de bedrijfsvoering van een elektrische installatie of het netwerk op een veilige wijze te kunnen doen. Dat betekent ook dat mogelijke problemen tijdig gesignaleerd moeten kunnen worden. Om dit te realiseren zijn er door HyTEPS diverse dashboards ontwikkeld. Deze dashboards hebben de volgende functionaliteiten:

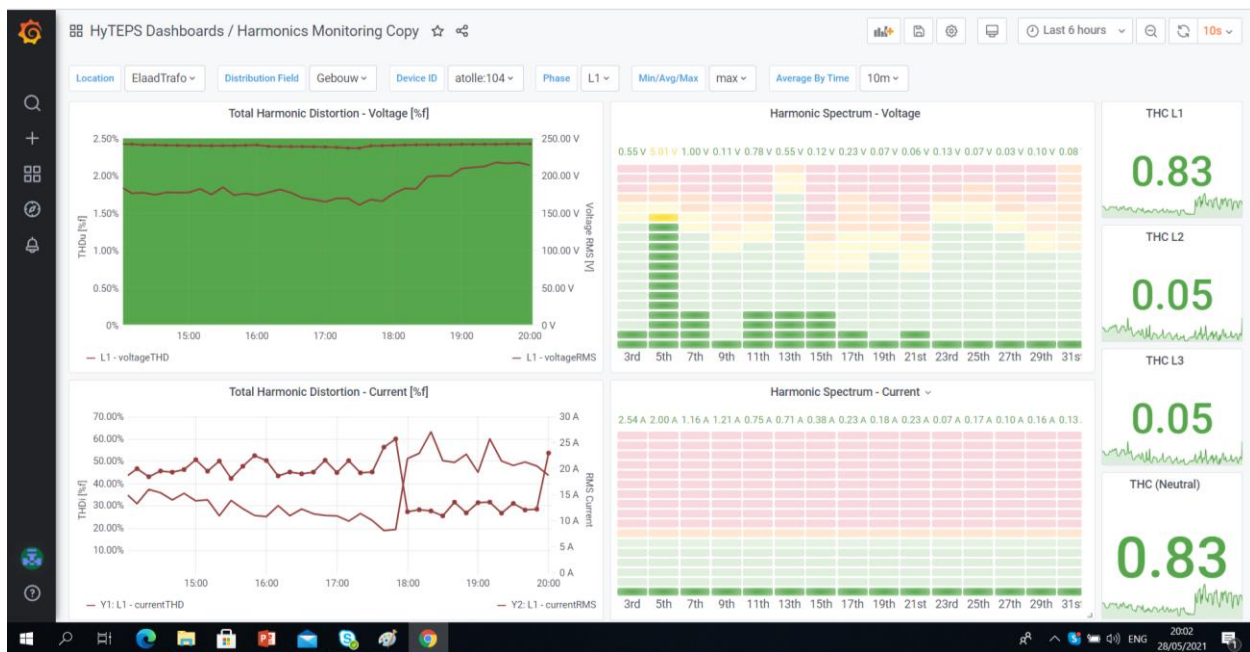
- Inzicht geven in de kwaliteit van de aangeboden spanning
- Inzicht geven in optredende harmonische stromen en spanningen
- Inzicht geven in optredende events (en plaats van optreden van event)
- Inzicht geven in belasting van componenten in de installatie/net (transformator, belangrijke leidingen)

Hierbij moeten gemeten waarden worden gecombineerd om te komen tot de juiste conclusie. De harmonische stromen die lopen hebben effect op de belastbaarheid van bijvoorbeeld de kabels of transformatoren. Bij een event moeten de gegevens van stroom en spanning gecombineerd worden om conclusies te kunnen trekken omtrent de locatie van de bron van het optredende event. De netbeheerder krijgt hiermee ook informatie in hoeverre hij zijn verplichtingen, genoemd in de netcode, nakomt.

In de volgende figuren zijn voorbeelden gegeven van de in het Flexcore project ontwikkelde dashboards en meting visualisaties.

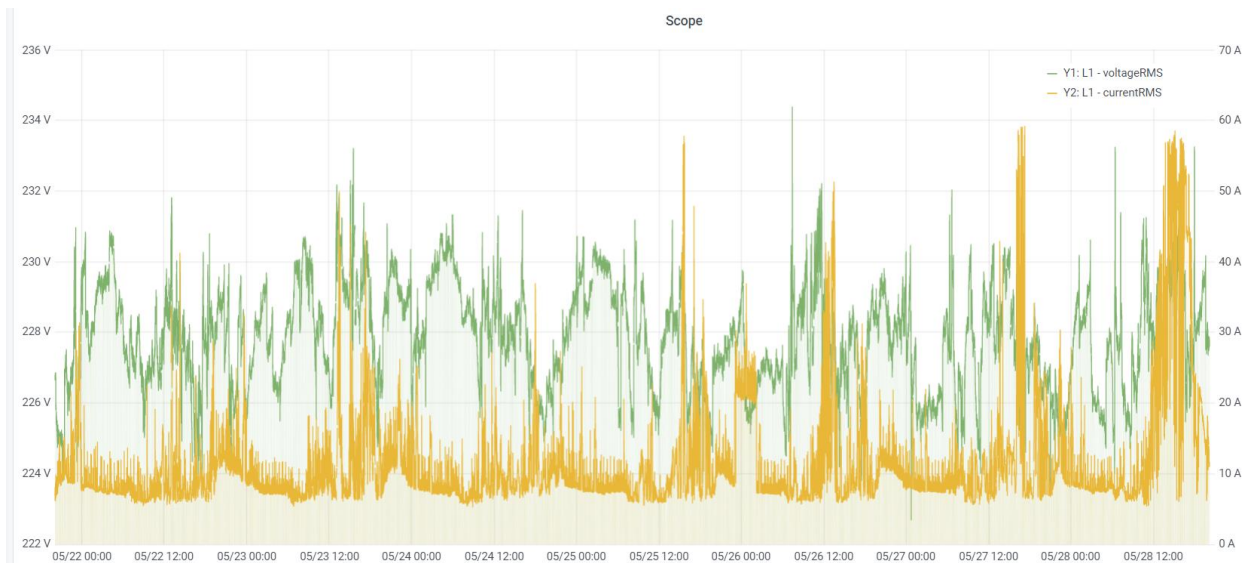


Figuur 5: HyTEPS Power Quality dashboard



Figuur 6: HyTEPS dashboard visualisatie van harmonische stromen en spanningen

Naast de algemene dashboards is er ook een scope-functie ontwikkeld. Een voorbeeld van een mogelijk scherm is te zien in figuur 7.



Figuur 7: HyTEPS dashboard scoop-functie visualisatie

In het weergegeven scherm is de stroom en spanning afgebeeld waarmee de relatie tussen stroom en spanning kan worden geanalyseerd. Als er een probleem in de installatie optreedt kan met behulp van de scoop-functie heel veel parameters met elkaar worden vergeleken of gecorreleerd. Hierdoor wordt een storing zoeken in een elektrische installatie/net vergemakkelijkt. Hiermee kunnen veel afzonderlijke meetsessies in de netten worden voorkomen, die nu nog gedaan worden in het kader van spanningsklachten.

De functionaliteiten van de ontwikkelde schermen zijn onder andere:

- Een vrij te kiezen periode waarover de gegevens worden getoond
- Een vrij te kiezen periode waarover de gesampelde data wordt gemiddeld
- Een classificatie waarbij voor de gemeten parameters wordt aangegeven in hoeverre ze acceptabel zijn of dichtbij of over de limieten gaan

Naast de al voorgeprogrammeerde schermen en informatie is er de mogelijkheid binnen de programmatuur of met andere op het Flexcore platform draaiende "apps" de gewenste informatie aan te passen naar de wensen van de klant.

Spanningsdip monitoring en logging [Technolution]

Bij problemen in het laagspanningsnet kan het voorkomen dat de spanning wegvalt: een spanningsdip. Deze dip kan een veelvoud aan oorzaken hebben, en om de dip zo snel mogelijk te verhelpen is het zaak om te begrijpen wat de oorzaak van de dip is, en hoe deze in de toekomst te voorkomen. Het verzamelen van informatie rondom deze problemen is ingewikkeld, omdat met het wegvallen van de spanning in de transformator ook de spanning van meetsystemen wegvalt. Hierdoor is het in veel gevallen onmogelijk

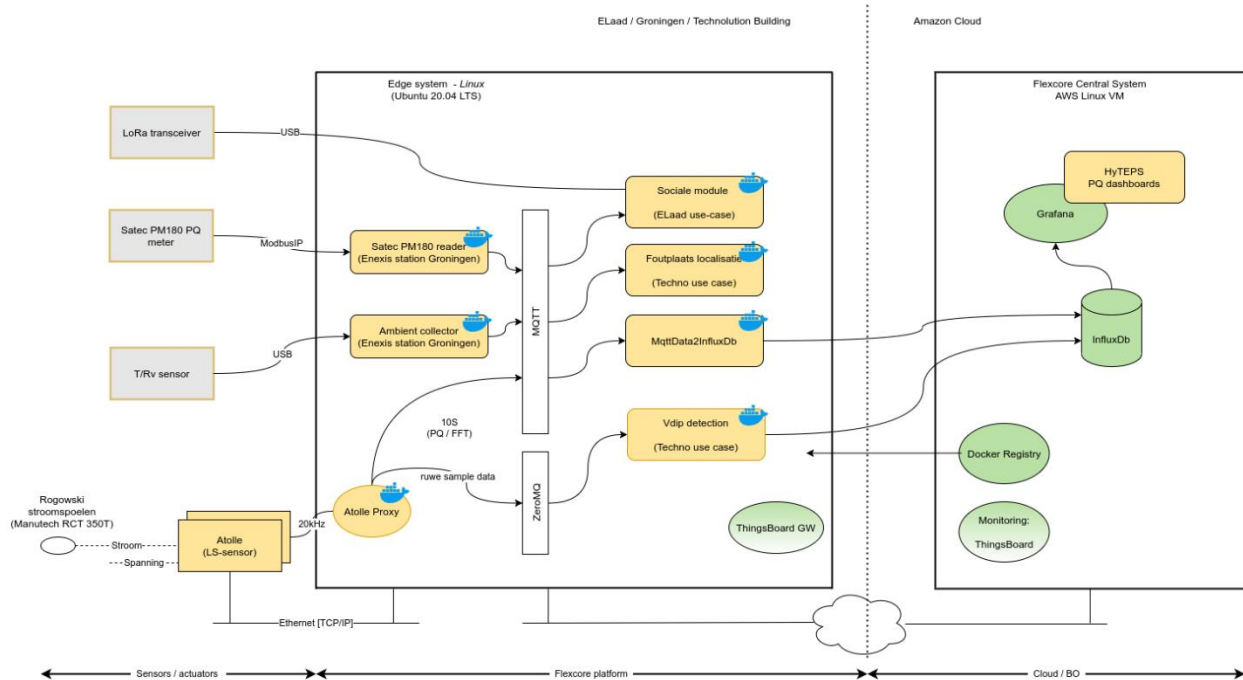
om data te verzamelen en in te zien van wat er exact in het net gebeurde in de seconden voorafgaand aan de dip, om zo de oorzaak te kunnen begrijpen en voorkomen.

Met deze usecase zorgt Technolution voor de detectie, data-monitoring en logging in het geval van een power-dip. Bij een spanningsdip worden een aantal spanning/stroom perioden voor en na de voltage-dip lokaal opgeslagen voor analyse doeleinden.

Het Flexcore systeem is uitgerust met een batterij, die in geval van een spanningsdip het Flexcore meetsysteem nog enkele seconden kan laten werken om data aggregatie, spanningsdip notificatie en lokale opslag te voltooien. Een app op het Flexcore platform ontvangt alle ruwe smaple data (20kHz) van alle bemeten velden via de Zero MQ bus. De power-dip app implementeert een algoritme aan de hand van de spanningsdip definitie. Een spanningsdip is gedefinieerd aan de hand van de NEN-EN-IEC 61000-4-40 norm als "A voltage dip is defined as 2 consecutive half-period RMS values lower than 0,7 of the mains RMS value". Wanneer zich er een spanningsdip voordoet, wordt er een event op de MQTT bus gepubliceerd. Hierbij worden ook de samples van 5 periodes voor en 5 periodes na de spanningsdip gepubliceerd op de MQTT bus. Deze data wordt vervolgens van de MQTT bus afgehaald in een influx Database opgeslagen zodat dit op een dashboard inzichtelijk kan worden gemaakt. Uit deze informatie valt te herleiden hoe de spanningsdip tot stand is gekomen en hoe dit probleem te verhelpen en voorkomen.

Tijdens de looptijd van het project waarbij deze app operationeel was in het veld hebben zich geen spanningsdips voorgedaan op de testlocaties. Wel zijn de spanningsdips met succes gesimuleerd in een testomgeving, maar er is dus geen daadwerkelijke data uit het veld opgehaald rondom een dergelijk event.

Flexcore platform architectuur en specificaties



Figuur 8: Technische architectuur van het Flexcore systeem

Bij de Flexcore implementatie is er voor gekozen om het systeem op te delen in drie onderdelen: de sensoren & actuatoren, het flexcore platform en de (Amazon) Cloud. Het Flexcore platform is de omgeving waarbinnen de verschillende LS apps draaien. Zoals in bovenstaande figuur te zien.

Ook te zien is dat we 2 LS sensoren aangesloten hebben op het systeem: de PM180 PQ meter van Satec en Technolution's Atolle. De Atolle is Technolution's LS sensor platform, die de ruwe meetwaarden van de Rogowski spoelen calibreerd, voorziet van timestamps en deze ruwe samples, met een frequentie van 20kHz per veld, via Ethernet naar het Flexcore platform stuurt. Daar wordt er vanuit de ruwe samples PQ informatie gemaakt (V, I, Freq, Fasehoek, etc.) die op de MQTT bus gepubliceerd wordt. De ruwe sample data wordt op een ZeroMQ bus gepubliceerd (t.o.v. MQTT is ZeroMQ een zeer basale bus, maar zeer geschikt voor hoge snelheids data).

Domein en toepassing specifieke apps kunnen dan de samples en/of ruwe data gebruiken vanaf de MQTT en/of ZeroMQ bus en zo hun functionaliteit realiseren. De apps draaien als Docker images, zodat ze in hun eigen (geïsoleerde) omgeving draaien, net zoals de Apps op een smart-phone. De Docker images staan in een AWS Docker Registry en worden vandaar uit geïnstalleerd op de Flexcore systemen. De AWS Docker

Registry fungeert in feite als een App-store, in analogie met de smart-phone wereld. De Apps sturen hun status en relevante output naar de AWS cloud, voor centrale opslag, weergave en verdere analyses.

Vervolgactiviteiten

Het ontwerpen, ontwikkelen en testen van de Flexcore visie en het platform heeft bij alle betrokken partijen veel inzichten gebracht. Deze inzichten worden als zo waardevol gezien dat er verschillende vervolgstappen worden genomen om deze verder te ontginnen. De consortiumpartners zijn overeengekomen dat de Flexcore opstelling nog voor onbepaalde tijd actief zullen blijven op de locaties en metingen zullen blijven verrichten. Op dit moment kunnen we aan de hand van de dashboards, meting en applicaties nog beter leren begrijpen welke dynamiek de metingen nou echt aan het licht brengen en wat er nog meer uit deze data te halen is. Zo zijn er meerdere inlogaccounts aangemaakt voor verspreiding binnen de Enexis organisatie om dieper in de data en gerelateerde analyses te kunnen duiken. Daarnaast worden er ook nog op ad-hoc basis nieuwe sensoren aan het platform toegevoegd (zoals een infraroodsensor en temperatuursensor) om bijvoorbeeld thermische congestieopbouw, temperatuurmetingen en eventuele brandmeldingen te kunnen doen via het Flexcore platform. Wellicht zullen daar nog nieuwe sensoren aan worden toegevoegd, en waarmee ook het Flexcore platform en visie de waarde als innovatie-accelerator concreet laat zien. Ook zal de ElaadNL sociale module usecases verder worden uitgebouwd met betrekking tot functionaliteit en opschalingspotentie. Als laatste zijn er verkennende gesprekken gaande om het flexcore platform in te zetten in het MOOI GO-e project, om eveneens als innovatie-accelerator te dienen bij additionele metingen ten behoeve van congestie monitoring en inzet van flexibele energie usecases.

Discussie

Om de stap te zetten van de Flexcore POC implementatie naar een marktgeraad opschaalbaar systeem zullen er aanvullende inzichten moeten worden opgedaan met betrekking tot de potentie, de werking, de juridische kaders en de risico's van het implementeren van usecases die sturen/ingrijpen mogelijk maken. Daarnaast zijn aanvullende inzichten nodig met betrekking tot economische haalbaarheid en de concrete verdeling van rollen en verantwoordelijkheden tussen de betrokken stakeholders in het ecosysteem.

Conclusie en aanbevelingen

Het Flexcoreproject heeft onderzocht hoe toepassing van edge-computing technologie binnen een open architectuur en app-store dienstenstructuur van toegevoegde waarde kan zijn bij toepassing in MS-stations, en dit ook via een Proof of Concept aangetoond. Met deze POC is succesvol beproeft hoe door gebruik te maken van off-the-shelf hardwarecomponenten en een open architectuur, verschillende diensten kunnen worden uitgevoerd die gebruik maken van gezamenlijke lokale hardware en verschillende use-cases kunnen uitvoeren. Op basis van deze POC implementatie kan worden geconcludeerd dat de implementatie na de initiële investering van tijd en kosten inderdaad leidt tot een significant lagere barrière om een breed scala aan inzichten op te doen uit lokale metingen, en ook gemakkelijk nieuwe usecases aan het platform toe te voegen. Zowel technisch als economisch worden deze lagere marginale kosten door het consortium aannemelijk geacht bij opschaling. Met betrekking tot organisatie zou de implementatie van het flexcore ecosysteem zullen vele verantwoordelijkheden en

rollen binnen de netbeheerorganisatie worden gehouden in verband met lopende operatie en ook de huidige juridische kaders waar de netbeheerder mee te maken heeft.

Om de potentie van een flexcore-visie ook daadwerkelijk in praktijk te brengen is er aanvullend onderzoek nodig naar de financiële, technische en organisatorische consequenties van grootschalige inzet van het systeem, waarbij economy of scale effecten, een nieuw ecosysteem van stakeholders en de mogelijkheden en risico's van het lokaal sturen vanuit MS-stations verder wordt onderzocht. Ook zal er via lopende beleidsprocessen duidelijk moeten worden of/hoe een regionaal netbeheerder mogelijkheden krijgt om lokaal te kunnen ingrijpen en/of sturen om ook in dat kader usecases te kunnen beproeven en ook gerelateerde security eisen en ongewenste effecten verder te onderzoeken.

Uitvoering van het project

In dit hoofdstuk wordt kort weergegeven hoe het Flexcore project is verlopen, hoe projectuitdagingen zijn opgelost, en welke disseminatieresultaten het project heeft opgeleverd.

Projectuitdagingen

De drie Flexcore consortiumpartners kijken terug op een succesvol project, waarbij een klein aantal projectuitdagingen in goed overleg samen zijn opgelost en waarbij het delen van de Flexcore visie en ervaringen ook tot veel interesse in de markt en tot concrete vervolgvactiteiten heeft geleid.

Tijdens het project is het consortium drie noemenswaardige uitdagingen tegengekomen die alle drie met succes zijn verholpen. De eerste uitdaging betrof de kans dat consortiumpartijen in een vroeg stadium van het project overwogen om als gevolg van schuivende interne prioriteiten en een inzichtsverschil met betrekking tot omgaan met intellectueel eigendom te stoppen met het Flexcoreproject. Deze uitdagingen zijn snel verholpen door een aantal projectverantwoordelijkheden te herverdelen (hetgeen leidde tot een wijzigingsverzoek) en een aantal afspraken in de samenwerkingsovereenkomst te herzien. Uiteindelijk zijn deze uitdagingen nog voor de inhoudelijke start van het project verholpen, en ontstond al snel een effectieve en vruchtbare samenwerking. De tweede uitdaging betrof het vinden van effectieve samenwerkingsvormen ten tijde van de coronamaatregelen. Tijdens de gehele looptijd van het project waren coronamaatregelen in meer en mindere mate van kracht in Nederland, en was het consortium aangewezen op vrijwel uitsluitend digitale samenwerking. Hier hebben we al snel effectieve werkvormen voor gevonden, maar omdat fysieke bijeenkomsten toch nodig bleven (voor assemblage en installatie van de hardwaresystemen op locatie) was hier erg goede afstemming voor nodig, en heeft dit ook tot vertraging in installatie geleid. Uiteindelijk zijn alle benodigde fysieke bijeenkomsten veilig en conform coronamaatregelen verlopen, en zijn deze risico's afgezien van een kleine vertraging in de planning verholpen binnen het project. De laatste uitdaging betrof een aantal tegenslagen met betrekking tot de installatie van de Flexcore systemen op locatie. Bij de ElaadNL locatie kostte het een aantal weken om toestemming te krijgen van de gebouwbeheerder en afstemming te hebben met de lokale netbeheerder, en wanneer de eerste fase van de installatie was voltooid bleek de tweede fase uitdagend omdat ElaadNL intussen had besloten te verhuizen naar een nieuwe locatie. Ook bij de installatie in Groningen is er een aantal weken vertraging opgelopen door slecht weer op de afgesproken installatiedata, evenals een leveringsvertraging van een benodigde internetmodem op locatie. Uiteindelijk is hierdoor de fysieke

installatie van het flexcoresysteem vertraagd, en is besloten om de metingen tot onbepaalde tijd door te laten lopen na afloop van het Flexcore project om nog verder inzichten op te doen in de waarde en mogelijkheden van het Flexcore systeem.

Wijzigingen en verschillen ten opzichte van projectplan en begroting

Er zijn bij het Flexcore project geen noemenswaardige wijzigingen geweest ten opzichte van het projectplan. Ondanks uitdagingen rond installatie en corona is de planning aangehouden en zijn doelstellingen behaald. Wel is door een vertraagde installatie besloten om de data-monitoring langer door te laten lopen (ook na afloop van het Flexcore project) om aanvullende inzichten op te doen wat deze sensoren en apps voor informatie kunnen leveren over de elektriciteitsinfrastructuur.

Over de gehele linie genomen is er sprake van een lichte projectbudget overschrijding bij de consortiumpartners. Dit heeft verschillende redenen, waaronder aanvullende ingeplande overleggen omdat door corona fysieke bijeenkomsten niet mogelijk bleken en een andere inzet van materialen dan initieel voorzien. Met name rond brainstormsessies en technische sessies was er digitaal meer tijd nodig om tot goede resultaten te komen. Ondanks de lichte budgetoverschrijding wordt het project beschouwd als een succes, en waren deze omstandigheden ook bij de budgetaanvraag niet te voorzien.

Disseminatie

Zowel tijdens het Flexcore project als daarna hebben consortiumpartners (tussen)resultaten gepresenteerd en gepubliceerd voor een publiek van vakgenoten en organisaties uit het domein. In Februari 2020 is de Flexcore visie en het project gepresenteerd tijdens het TKI Urban Energy Matchmaking event (TKI Urban Energy, 2020) over elektriciteitsinfrastructuur in de gebouwde omgeving. Ook hebben de consortiumpartners gezamenlijk het Flexcore project en tussenresultaten gepresenteerd tijdens het Dutch Power: The Digital Disruption event (Dutchpower, 2021), welke ook nog online is terug te kijken. Ook is er online gepubliceerd over het project en de resultaten, zoals op de websites van consortiumpartners (Technolution, 2021), via het journalistieke artikel 'Datagedreven netbeheer krijgt slimme injectie' op de website van Computable (Computable, 2021) en publicaties op zakelijke sociale media (Enexis, 2021). Daarnaast is er ook een artikel gepubliceerd in het magazine van Technolution Objective (Technolution, 2020), en is Flexcore toegelicht tijdens een Podcast van De Dataloog in maart 2021 (Dataloog, 2021). Daarnaast zijn de resultaten van de verschillende usecases gedurende de tweede helft van het project door individuele consortiumpartners in commerciële context gepresenteerd aan (potentiele) eindklanten. Ook na afloop van het Flexcore project blijven het flexcore systeem, de schaalbare open technische architectuur en de ontwikkelde usecases aanleiding tot presentaties en publicaties in het netbeheerdomein evenals het bredere domein van grootschalige meet- en regelsystemen.

Bijlages

Bijlage 1: Flexcore Visie Enquete

Flexcore Feedbackdocument

In dit feedback wordt de visie van Edgecomputing in middenspanning geschetst, de potentie hiervan beschreven, en een aantal vragen gesteld m.b.t. de organisatie van het ecosysteem dat hierbij zou horen.

Inleiding Flexcore

Binnen het flexcore project zullen we onderzoeken of en hoe, in het licht van datagedreven netbeheer, grootschalige toepassing van edgecomputing in middenspanningsstations potentie heeft. Dit doen we over drie assen: Organisatie, Financiën en Techniek. Met betrekking tot de techniek en financiën zijn we bezig met een Proof of Concept van een edgecomputer implementatie in ene middenspanningsstation op drie verschillende locaties. In dit document richten we ons op het organisatievraagstuk: Hoe ziet een ecosysteem van stakeholders er uit, en wie heeft welke verantwoordelijkheden?

Waarom: Edge computing in 2030.

Doelstelling van het Flexcore project te onderzoeken wat de potentie is van Edgecomputing in middenspanningsstations. Wanneer blijkt dat deze potentie groter is dan huidige systemen (op basis van sensoriek en data-silo's) zou opschaling van edgecomputing in dit domein waarheid kunnen worden.

Hoe ziet die mogelijke toekomst er volgens ons uit?

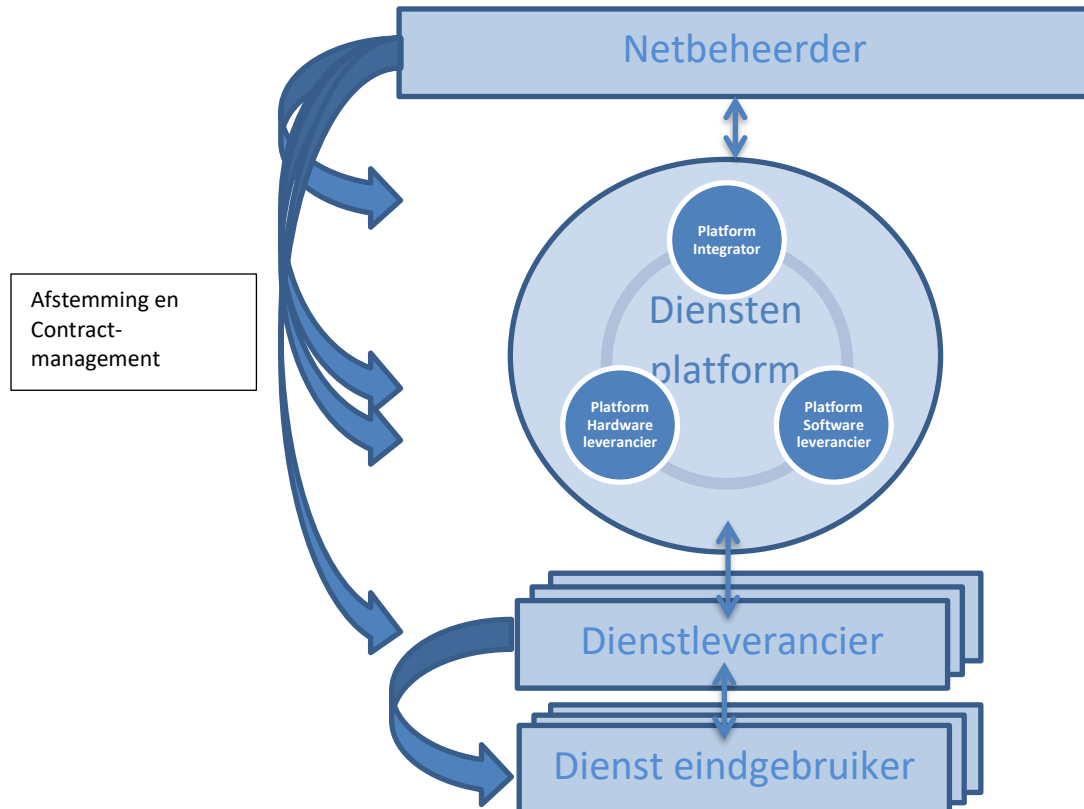
Over de loop van de jaren zal de digitale monitoring van middenspanningsstations anders worden ingevuld. Een transitie wordt ingezet om planmatig de huidige verticaal geïntegreerde data-silo's en hardware te vervangen voor een platform-gebaseerde toepassing van edge computing. Dit houdt in dat de hardware die in deze stations komen te hangen lokaal zullen communiceren met een compacte computer, en dat deze vervolgens de binnengekomen data lokaal verwerkt voor een veelvoud aan use-cases, en via een communicatiekanaal naar een centraal dienstenplatform communiceert. Op dit dienstenplatform worden –vergelijkbaar met bijvoorbeeld een smartphone appstore - verschillende diensten aangeboden waar gebruik van kan worden gemaakt, en die benodigde data ontvangen van de in het middenspanningsstation aanwezige generieke hardware. Deze diensten, die aangeleverd kunnen worden door externe dienstenontwikkelaars, kunnen vervolgens een of meerdere use-cases uitvoeren zoals predictive maintenance, power quality analyse, storingsdetectie, etc.

De potentie die deze opzet biedt ten opzichte van huidige systeemarchitectuur is onder andere dat de marginale kosten per use-case lager komen te liggen. Dit om dat de hardware na installatie herbruikbaar is voor verschillende toepassingen, en omdat door standaardisatie economies of scale gaan meespelen in zowel hardware inkoop/onderhoud als diensten-businesscases. Ook biedt deze systeemarchitectuur meer flexibiliteit aan de eigenaar (in dit geval netbeheer) en dienstenaanbieders om in kortere looptijden aan

te passen aan actuele uitdagingen en thema's, en het onderhoud en de operatie van het systeem beter af te stemmen op de verschillende lifecycles van de hard- en software componenten.

Organisatie

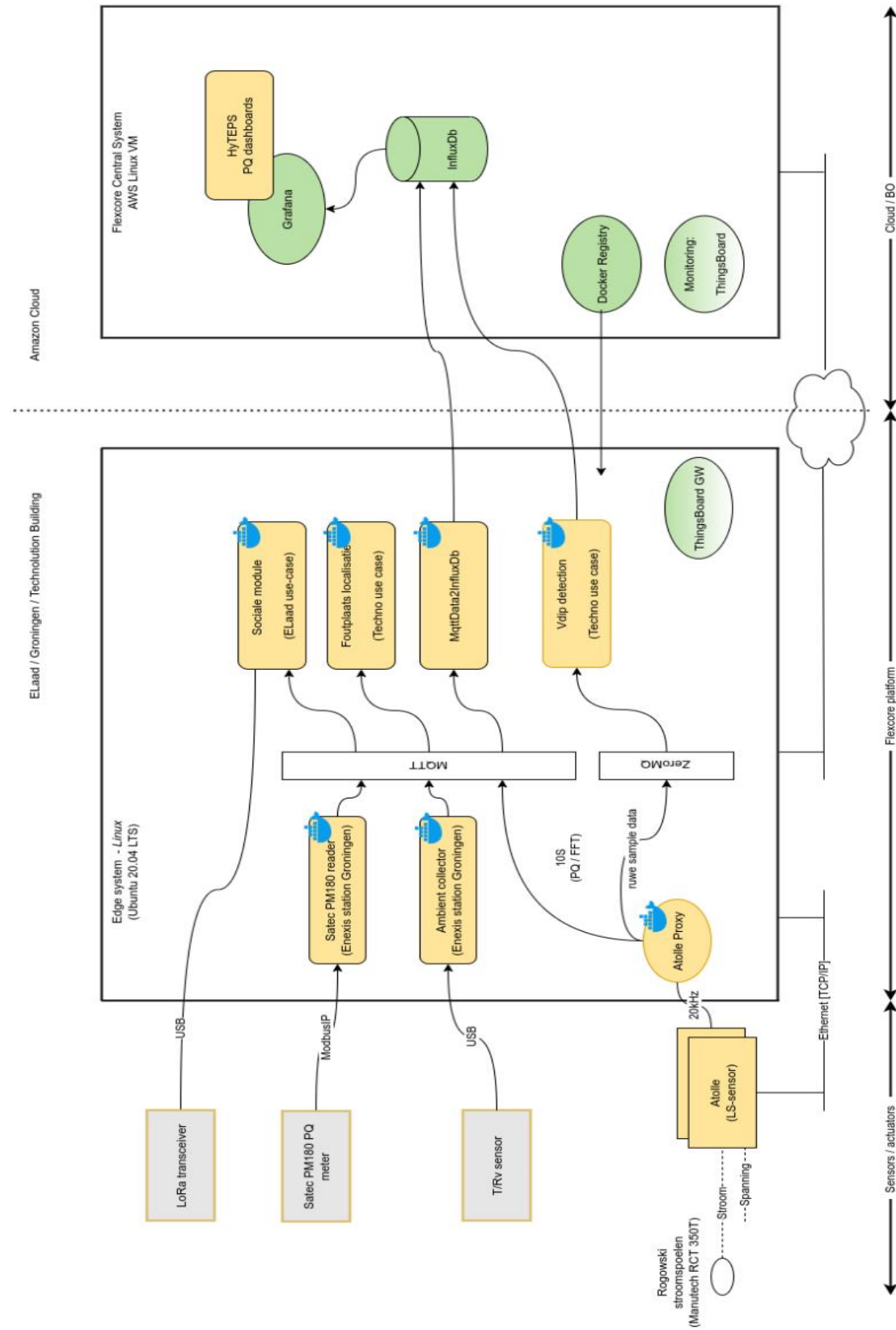
Met betrekking tot organisatie zijn we aan het zoeken naar welke stakeholders bij zo'n edgecomputing concept betrokken zijn en waar welke verantwoordelijkheden zouden liggen. Op dit moment onderscheiden we de volgende rollen:



- Netbeheerder
 - Netbeheer eindverantwoordelijke organisatie in lijn met zoals we dat nu kennen. Waarschijnlijk ook de partij die fysiek onderhoud en installatie in stations uitvoert. Naar alle waarschijnlijkheid ook de partij die eigenaar is van het dienstenplatform. In veel gevallen zal deze partij ook het direct contractmanagement (evt via tenders) doen met de overige rollen (met uitzondering van de dienst eindgebruikers).
 - Aan deze rol gerelateerde onderzoeks-deelvragen:
 - **Hoe gaan installatie en onderhoud van hardware en software componenten er nu uitzien?**
 - **Wat moet de netbeheerder blijven doen en wat kan worden uitbesteed?**
 - **Hoe ziet lifecycle management er uit?**
 - **Zal het implementeren van een nieuwe use-case voor de netbeheerder eenvoudiger worden?**

- **Hoe wordt het contractmanagement, de apps en de componenten gestandaardiseerd?**
 - **Hoe zal de netbeheerder informatiebeveiliging borgen?**
- Platform integrator
 - Technologische partij die de technische- en proces- integrator vormt tussen de verschillende aan het platform gelieerde andere partijen (Software, hardware, diensten, etc.). Onderhoudt in opdracht van de netbeheerder het platform, en voert de processen uit rond updating, compliance voor apps, en vernieuwing van hardware.
 - Aan deze rol gerelateerde onderzoeks-deelvragen:
 - **Wat is de servicelevel verantwoordelijkheid van de integrator?**
 - **Hoe komt de integrator tot specificaties voor de hardware, software, diensten?**
 - **Hoe zal de integrator de hardware, software en dienstenstandaardisatie implementeren en behouden?**
- Platform software leverancier
 - Technologische partij die de software levert zowel voor lokale devices in de stations als de software in de cloud.
 - Aan deze rol gerelateerde onderzoeks-deelvragen:
 - **Wat is de verantwoordelijkheid van de software leverancier?**
 - **Hoe worden eisen aan de software gesteld?**
 - **Wat zijn de lifecycle/onderhoudseisen voor de software?**
- Platform hardware leverancier
 - Technologische partij die de hardware levert (Sensoren, PLC's, etc.)
 - Aan deze rol gerelateerde onderzoeks-deelvragen:
 - **Wat is de verantwoordelijkheid van de hardware leverancier?**
 - **Wat zijn de lifecycle/onderhoudseisen aan de hardware leverancier?**
 - **Wat is het proces waarmee eisen aan de hardware worden gesteld?**
- Dienstleverancier
 - Partij die diensten ontwikkelt die op het dienstenplatform worden aangeboden, gebruikmakend van platform hardware en gericht op platform eindgebruikers
 - Aan deze rol gerelateerde onderzoeks-deelvragen:
 - **Wordt het aanbieden van diensten voor dienstleveranciers eenvoudiger?**
 - **Welke eisen/randvoorwaarden worden er gesteld aan het platform?**
- Dienst eindgebruiker
 - Eindgebruiker van platform diensten. Dit zal in veel gevallen de Netbeheerder zijn maar zouden ook andere partijen kunnen zijn.
 - Aan deze rol gerelateerde onderzoeks-deelvragen:
 - **Wat is het karakter van deze eindgebruikers? (Uitsluitend netbeheer/de netbeheerder, of ook private partijen of zelfs consumenten?)**
 - **Hoe houdt de platformeigenaar overzicht over de (potentiele) eindgebruikers van de diensten?**

Bijlage 2: Flexcore Platform architectuur



Bronnen

- Computable. (2021, Maart). *Datagedreven netbeheer krijgt 'Slimme injectie'*. Opgehaald van <https://www.computable.nl/artikel/nieuws/datamanagement/7156525/250449/datagedreven-netbeheer-krijgt-slimme-injectie.html>
- Dataloog. (2021, Maart). *Datanieuws met Computable*. Opgehaald van <https://dedataloog.nl/datanieuws-met-computable-31-maart-2021/>
- Dutchpower. (2021, Mei). *The Digital Disruption event*. Opgehaald van <https://www.dutchpower.net/the-digital-disruption>
- Enexis. (2021, Juni). *Installatie Flexcore in Groningen*. Opgehaald van https://www.linkedin.com/posts/enexis-b-v-_nieuws-afgelopen-week-is-een-gronings-activity-6790632055752540160-sqNX
- Technolution. (2020, Mei). De Uitdagingen van de Energietransitie. In *Objective nr. 33*.
- Technolution. (2021, Mei). *Flexcore: edgecomputing voor datagedreven netbeheer*. Opgehaald van <https://www.technolution.com/spark/nl/cases/flexcore-edge-computing-voor-datagedreven-netbeheer/>
- TKI Urban Energy. (2020, Februari). *Matchmaking: elektriciteitsinfrastructuur in de gebouwde omgeving*. Opgehaald van <https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Urban%20energy/Bijlages%20bij%20evenementen/1.%20Inleiding%20%26%20Missiegerichte%20innovatie%20Maarten%20de%20Vries.pdf>