

Industrial Hybrid Energy Systems – openbaar eindrapport



TKI Energie En Industrie project 'Industrial Hybrid Energy Systems'.

Referentienummer RVO: TEEI 117015

Deliverable: Openbaar eindrapport

Versie: 2

Datum: 14-06-2023 -

Auteurs: Consortium

Gereviewed door: Consortium

Vertrouwelijkheid: Openbaar

Dit project is uitgevoerd in consortiumverband door de volgende projectpartners:



Dit project is uitgevoerd met Topsector Energiesubsidie van het Ministerie van Economische Zaken.

Contents

1 Management Samenvatting.....	5
Inleiding.....	5
Doel van project.....	5
Korte beschrijving van de activiteiten	5
Resultaten	5
2 Inleiding.....	6
2.1 Achtergrond	6
Elektrificering	6
Flexibele processen.....	7
Marktontwikkeling.....	7
Netbalancering.....	7
2.2 Doelstelling	8
2.3 Resultaten	8
3. Inhoudelijke resultaten van het project.....	9
3.1 Flexibel bedrijf warmtepomp.....	9
3.2 Flexibiliteitsmarktanalyse	9
3.3 Marktmodellering	9
3.4 Outlook en Roadmap	11
4. Ervaringen uit het pilot project.....	11

1 Management Samenvatting

Inleiding

Warmtebehoefte in de industrie is verantwoordelijk voor een groot deel van het fossiele energiegebruik, dat op dit moment met name bestaat uit aardgas, maar een hoge potentie voor elektrificatie heeft. Nieuwe innovatieve technologieën, regulering en veranderingen in de elektriciteitsvoorziening en -prijzen en de groei van het aanbod van duurzame elektriciteit kunnen een kans bieden voor de transitie van aardgas naar duurzame elektriciteit op de korte termijn.

Doel van project

De doelstelling van dit project is om de aanwezige flexibiliteit van utilities te ontsluiten en de marktwaarde daarvan te maximaliseren en daarvoor samen te werken met alle partners in de keten, waarbij iedere partner meewerkt aan het optimaliseren van de businesscase en ervaring opdoet voor implementatie in vervolgpiloten. Voorkomende barrières (technologie, markt, regulering etc.) zijn geïdentificeerd en aangepakt met de desbetreffende ketenpartners. Dit is gedaan door de techno-economische haalbaarheid te onderzoeken en een pilotproject uit te voeren met een flexibel, hybride energiesysteem in een industriële omgeving met een geïntegreerde demand-side response (DSR), zonder het primaire proces te verstoren, en zo het verder ontsluiten van Demand Side Response (DSR) versnellen. Hiermee kan de transitie van aardgas naar duurzame elektriciteit in de industrie worden ingezet terwijl tegelijkertijd een bijdrage wordt geleverd aan het balanceren van het elektriciteitsnet.

Korte beschrijving van de activiteiten

Voor verschillende deelnemende eindgebruikers zijn elektrificatieopties onderzocht en de mate van flexibiliteit in de processen wordt geanalyseerd. Binnen dit project is vervolgens op pilot-schaal (~ 1MW) hybride elektrificatie met geïntegreerde DSR toegepast en geoptimaliseerd binnen een bestaand proces.

Tijdens het uitvoeren van de pilot zijn de barrières voor elektrificatie en flexibiliteitsuitnutting in de industrie in kaart gebracht en waar mogelijk beslecht. Vervolgens is er aan de hand van de gedane flexibiliteitsanalyse een validatie gedaan voor de meerjarige business case voor flexibiliteit in industrie. Hiervoor is intensief samengewerkt tussen verschillende betrokken partijen in de waardeketen voor flexibiliteit, zoals eindgebruikers, aggregators en netwerkbeheerders.

Resultaten

Het project heeft geresulteerd in:

- a) Een inventarisatie van technologieën en industriële cases in verschillende industriële sectoren die geschikt zijn voor flexibele elektrificatie en Demand Side Response.
- b) Een pilotproject dat als voorbeeld kan dienen voor andere partijen
- c) Het testen en optimaliseren van deze flexibele hybride utility onder representatieve omstandigheden

Dit project is uitgevoerd met Topsector Energiesubsidie van het Ministerie van Economische Zaken.

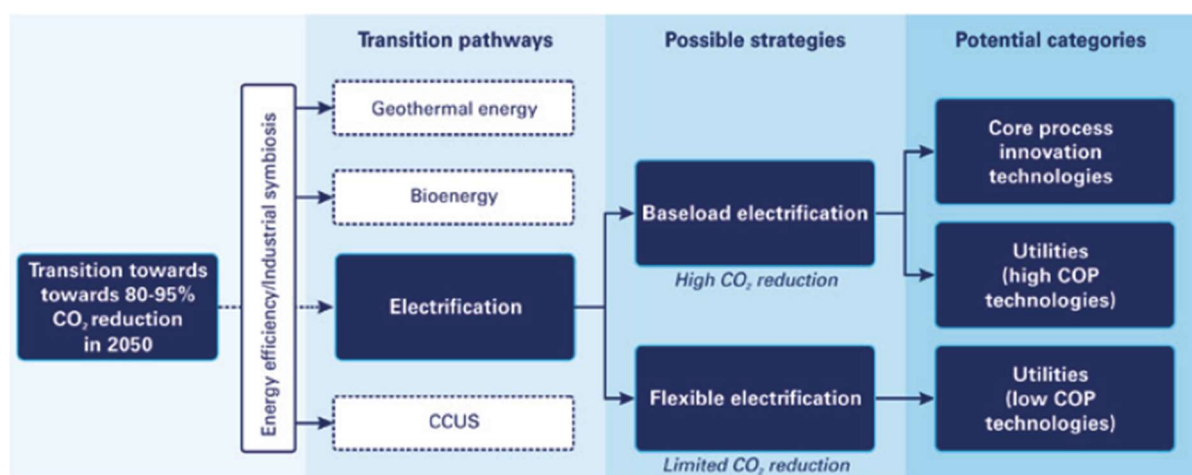
2 Inleiding

2.1 Achtergrond

Elektrificering

De warmtevraag in de Nederlandse industrie bedraagt ca. 530 PJ per jaar. Tot dusver wordt industriële warmte meestal opgewekt door middel van de verbranding van aardgas, bijvoorbeeld om processtoom te maken. Nieuwe technologieën, regelgeving en veranderingen in de prijs van energie, samen met de groeiende beschikbaarheid van betaalbare duurzame elektriciteit kunnen elektrificering tot een aantrekkelijke en strategische keuze maken.

Voor de verduurzaming van de energievoorziening voor warmte in de industrie zijn een aantal transitiepaden voorzien; geothermische energie, bio-energie, Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS), en elektrificering. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Transitiepaden voor CO₂-reductie in de industrie. Bron: Berenschot 2017.

Hierbij is het belangrijk op te merken dat elektrificering op dit moment op zichzelf genomen niet altijd direct leidt tot een CO₂ neutrale oplossing, tenzij de elektriciteit kan worden betrokken vanuit duurzame bronnen. Anderzijds is het voor de ontwikkeling van duurzame opwekkingscapaciteit in de vorm van zonne- en windenergie van belang dat de industrie een transitie doormaakt van gasgestookte technieken naar elektrische technieken. In deze transitie zullen hybride en flexibele oplossingen, waarmee de industrie enerzijds geleidelijk de transitie van aardgas naar elektriciteit in gang zet, en anderzijds als flexibele belasting kan fungeren voor het groeiende aanbod aan duurzame elektriciteit, een belangrijke rol spelen – mits Demand Side Response (DSR) op een adequate wijze in het concept wordt geïntegreerd. De industrie levert hiermee enerzijds een bijdrage aan de netstabiliteit en profiteert anderzijds van het groeiende aanbod aan duurzame elektriciteit.

Zoals in Figuur 1 is te zien zijn er twee hoofd strategieën voor elektrificering, samen goed voor drie potentiële categorieën van technologieën. Door Utilities te elektrificeren met 'low COP' technologieën (directe elektrische verwarming) wordt een hoge mate van flexibiliteit bereikt, die echter pas op termijn (bij een groter aanbod van groene stroom) gaat leiden tot CO₂-reductie op systeemniveau. Door te elektrificeren met 'high COP' technologieën wordt direct een substantiële

CO₂ -reductie bereikt op projectniveau, echter is deze techniek met name geschikt voor baseload elektrificatie waardoor deze een kleinere bijdrage aan de netstabiliteit geeft.

In het uitgevoerde project zijn voor een drietal industriële locaties techno-economische haalbaarheidsonderzoeken uitgevoerd naar elektrificering, en wordt op één locatie een pilot uitgevoerd van industriële, hybride, flexibele elektrificering met een 'low COP' technologie.

Door zowel het techno-economische haalbaarheidsonderzoek en de plot uit te voeren binnen één project kan de techno-economische haalbaarheid in de praktijk worden geoptimaliseerd, en wordt ook kennis ontwikkeld ten aanzien van de relatieve bijdrage van de techniek aan flexibiliteit en netstabiliteit. Tevens wordt kennis ontwikkeld en ervaring opgedaan ten aanzien van de business-cases en implementatie barrières.

Flexibele utilities met DSR hebben het potentieel om de systeemefficiëntie en netstabiliteit verbeteren en de CO₂ footprint van de energie-intensieve industrie te verlagen.

Het is de verwachting dat verdere elektrificatie van de energievoorziening ook de primaire processen zal gaan betreffen.

Elektrificatie en DSR van primaire processen is op dit moment nog niet voldoende ontwikkeld, maar is op middellange termijn een logische vervolgstap op elektrificatie en DSR van secundaire processen uit het huidige projectvoorstel. In dit project wordt de waarde van flexibiliteit ook naar de toekomst toe onderzocht, waarmee dit project tevens een eerste opstap vormt richting het inzetten en vermarkten van DSR bij primaire processen.

Flexibele processen

Uitgangspunt is dat het aanbod van elektriciteit uit wind en zon de komende jaren fors toeneemt. Dat betekent dat vanaf ca. 2023 het piekaanbod aan duurzaam elektrisch vermogen gaat uitgroeien boven de huidige base-load elektriciteitsbehoefte. Dit zal leiden tot een veel grotere prijsvolatiliteit dan vandaag het geval is. Dit geeft enerzijds een uitdaging voor de netstabiliteit, anderzijds een kans voor industrieën die hun processen tijdig flexibiliseren en zo gebruik kunnen maken van periodes met zeer lage elektraprijzen. De verwachting is daarom dat de businesscase voor flexibele processen hierdoor de komende jaren sterk zal verbeteren. Er is op dit moment in de markt een duidelijke behoefte om dit scenario ook in kwantitatieve zin te kunnen onderbouwen en zo prognoses te kunnen doen over de ontwikkeling van de businesscase. Dit is dan ook één van de deelvragen die de partners in dit project willen onderzoeken.

Marktontwikkeling.

Op beperkte schaal wordt op dit moment al industriële flexibiliteit verhandeld. De ontwikkeling van duurzaam vermogen gaat op dit moment echter zo snel dat er behoefte is aan het versneld ontsluiten van de flexibiliteit die potentieel in de industrie aanwezig is.

Er is echter nog onvoldoende zicht op de waarde die deze flexibiliteit heeft, en in veel gevallen ook een onderschatting van deze waarde, zeker op de wat langere termijn. Dit geeft op dit moment een drempel voor de industrie om te investeren in flexibele utilities. Hiervoor is een nieuw type spelers nodig op de markt, dan wel dat bestaande spelers hun expertise en portfolio uitbreiden. Het inrichten van pilotprojecten in verschillende sectoren met spelers uit de hele keten in die sector is daarom een uitstekend middel om de waarde van flexibiliteit te optimaliseren en aan te tonen en deze marktontwikkeling te versnellen.

Netbalanceren.

Vanuit het oogpunt van netstabiliteit is het aantrekkelijk wanneer veel industriële processen flexibel zijn in hun energievoorziening. De processen kunnen gezamenlijk grote pieken in het aanbod van duurzame energie consumeren, terwijl ze bij een tekort aan duurzaam aanbod weer tijdelijk terug kunnen vallen op hun bestaande gasgestookte utilities.

De waarde van flexibele capaciteit in de industrie ten behoeve van netbalancing dient beter te worden onderzocht en onderbouwd, en te worden gebenchmarkt ten opzichte van andere EU netbalancingssystemen.

2.2 Doelstelling

De doelstelling van dit project was om onderzoek te doen naar de maximale flexibiliteit van utilities en de marktwaarde daarvan te maximaliseren en daarvoor samen te werken met alle partners in de keten, waarbij iedere partner meewerkt aan het optimaliseren van de businesscase en ervaring opdoet voor implementatie in vervolgprojecten. Voorkomende barrières (technologie, markt, regulering etc.) zullen worden geïdentificeerd en aangepakt met de desbetreffende ketenpartners. Dit wordt gedaan door de techno-economische haalbaarheid te onderzoeken en een pilotproject uit te voeren met een flexibel, hybride energiesysteem in een industriële omgeving met een geïntegreerde demand-side response (DSR).

De belangrijkste subdoelen zijn:

- Het vaststellen van de haalbaarheid van verschillende elektrificatieopties op basis van beschikbare hardware
- Het positioneren van de verschillende elektrificatieopties door het opzetten van business cases, waarbij wordt meegenomen de total cost of ownership voor implementatie, grid-verzwarende, duurzaamheidsdoelstellingen en risico's, voor verschillende energiemarkten, zodat de industriële partners een onderbouwde keuze kunnen maken voor de voor hen meest geschikte oplossing als volgende stap
- Het 'rimpelloos' schakelen tussen gas en elektriciteit op proces niveau zonder het achterliggende proces te hinderen, waar nodig door buffering.
- Het ontwikkelen en toepassen van tools voor industriële DSR
- Het identificeren en waar mogelijk slechten van barrières in de projecten waar nu alleen een haalbaarheidsonderzoek wordt uitgevoerd.
- Het optimaliseren van de business case en de flexibiliteitswaarde.

2.3 Resultaten

De volgende resultaten zijn bereikt met dit project:

- Kennisontwikkeling over de te ontsluiten flexibiliteit in industriële processen, bij hybride elektrificering van de utilities
- Kennisontwikkeling ten aanzien van eigenschappen van de hardware, process control uitdagingen, DSR tools en markten, en businesscase analyse tools.
- Een aansprekend pilotproject dat als voorbeeld kan dienen voor andere partijen
- Beter inzicht in de maximale waarde van flexibiliteit in de industrie, en in de ontwikkeling daarvan op de wat langere termijn
- Praktijkervaring met de knelpunten die commerciële partijen ervaren bij de implementatie van elektrificering van industriële processen.

3. Inhoudelijke resultaten van het project

Een aantal inhoudelijke resultaten van dit project zijn on-line gepubliceerd. In onderstaande paragrafen wordt een kort overzicht gegeven.

3.1 Flexibel bedrijf warmtepomp

Deze taak heeft als doel om inzicht te verkrijgen in het dynamisch gedrag van industriële warmtepomptechnologie. Daartoe is een simulatiemodel ontwikkeld van een prototype van een industriële hoge temperatuur warmtepomp. Het simulatiemodel maakt het mogelijk om de dynamische karakteristiek en de limieten te bepalen en om regelstrategieën te optimaliseren.

Als modelresultaat is gevonden dat industriële hoge temperatuur warmtepomp op- en afgeregeld kan worden een maximale snelheid van 20%/min. De beperkende factor in deze economizer gebaseerde cyclus is het vermogen van het regelsysteem om de vereiste oververhitting bij de injectie van de schroefcompressor binnen aanvaardbare grenzen te houden. Dit niveau van flexibiliteit maakt het gebruik van de warmtepomp mogelijk voor zowel vraag als elektriciteitsprijsrespons, evenals voor deelname aan pools voor het balanceren van de netbelasting.

Aandachtspunt bij dynamisch bedrijf van de warmtepomp is het optreden van condensatie van het werkmedium in de zuigleiding van de compressor tijdens snel afregelen van het vermogen. Het wordt aanbevolen om dit aspect in aanvullende modelstudies nader te kwantificeren.

Het volledige rapport van de modelstudie is onder deze link te verkrijgen: [Dynamic Characteristics of Industrial Heat Pump Operation | TU Delft Repositories](#)

3.2 Flexibiliteitsmarktanalyse

1. In deze analyse zijn de volgende onderzoeksvragen behandeld:
2. Wat is de impact van veranderingen in hoeveelheid duurzame opwek op de cashflow van: hybride assets (warmtepomp en elektrische boiler) en duurzame opwek (zon en wind).
3. Wat is de impact van veranderingen in hoeveelheid hybride assets op de cashflow van: hybride assets (warmtepomp en elektrische boiler) en duurzame opwek (zon en wind).

De resulterende is een openbare deliverable, die is gepubliceerd op de website Energy.nl. De deliverable is te vinden op: <https://energy.nl/publications/analyse-flexibiliteitsmarkt/>

3.3 Marktmodellering

Modellering en validering van de flexibele inzet van hybride parallel geschakelde industriële warmtesystemen op basis van twee klimaatscenario's en aannames ten aanzien van de landelijke capaciteit van elektrische warmteboilers

Doelstelling van het onderzoek

Het hoofddoel van eRisk Group in het project was de ontwikkeling van een algoritme in het eRisk Group merit order model (Power Price Scenario Generator, PPSGen) van de Noordwest Europese elektriciteitsmarkten (BENELUX, Frankrijk, Groot-Brittannië en Duitsland) waarmee de economische optimalisatie van de inzet van de beschikbare flexibiliteit van elektrische industriële

warmtesystemen versus gasafhankelijke industriële warmtesystemen op landelijk niveau, op basis van de in het project geïnventariseerde inzetparameters, op de toekomstige EPEX spotmarkten kan worden gevalideerd. De validatie is op basis van twee scenario's voor de Noordwest Europese elektriciteitsmarkten gedaan.

De scenario's zijn doorgerekend met PPSGen. PPSGen is een programma dat door eRisk Group is ontwikkeld en de spotmarkten simuleert op nationaal niveau. PPSGen geeft voor ieder berekend scenario de 8760 uur prijzen voor ieder jaar dat wordt gesimuleerd. De scenario-aannames betreffen onder meer economische groei en energiebesparingen, ontwikkeling van brandstof- en CO2 prijzen, conventionele en duurzame productiecapaciteit en de toepassing van nieuw energietechnieken zoals warmtepompen en elektrisch vervoer. De modeluitkomsten geven inzicht in de ontwikkeling van de inzetbaarheid van elektrische warmtesystemen. Dat wil zeggen hoe vaak (uren) en hoeveel (ingezette capaciteit van totale capaciteit) keer per jaar elektrische warmtesystemen worden ingezet in plaats van warmtesystemen op basis van gas en het rendement van die flexibele inzet (in termen van kostenbesparingen euro's vs. Warmtelevering op basis gas) op de elektriciteitsmarkt in 2020, 2023, 2025, 2030 en 2035. De analyse biedt inzichten over de potentiële business case van flexibele toepassing van hybride (gas en elektrische) warmtesystemen in de industrie.

Belangrijkste algemene bevindingen uit het onderzoek

De centrale conclusie van het eRisk Group onderzoek is dat de business case voor de inzet van elektrische flexibiliteit voor industriële warmteproductie in een hybride opzet slecht is. Deze conclusie wordt door de volgende algemene onderzoekconclusies verder toegelicht:

- De hybride flexibele inzet van elektrische elektrode boiler capaciteit leidt tot beperkte kostenbesparingen ten opzichte van een volledig gasgestookte industriële warmtevoorziening. In het scenario bestaand beleid (KEV2021) in 2035 leidt de partiele inzet van elektrische industriële warmte tot 0,7% en in het scenario voorgenomen beleid tot 6,9% besparing op de totale warmtekosten;
- De hybride flexibele inzet van elektrische ontgasser capaciteit leidt tot iets hogere maar nog steeds beperkte kostenbesparingen ten opzichte van een volledig gasgestookte industriële warmtevoorziening. In het scenario bestaand beleid in 2035 leidt de partiele inzet van elektrische industriële warmte tot 1,0% en in het scenario voorgenomen beleid tot 7,9% besparing;
- Hoewel zeer gering veroorzaakt de hogere efficiency van de elektrische ontgasser dat deze flexoptie vaker wordt ingezet en hogere kostenbesparingen genereert (zie ook inzet en kostenanalyse op slide 38/39 van de het volledige onderzoeksrapport van eRiskGroup);
- De groei van de capaciteit van flexibele industriële warmte verkleint de kostenbesparingen van de inzet. In 2035 levert de flexibele inzet van een 1 MW elektrische ontgasser een kostenbesparing van 19,6% en de inzet van de volledige capaciteit tot 7,9% (zie ook analyse op slide 40 en 41 van de het volledige onderzoeksrapport van eRisk Group);
- De groei van de capaciteit van flexibele industriële warmte vernietigt ook waarde. De netto contante waarde van de cash flows van de inzet van 1 MW ligt significant hoger dan de waarde van de inzet van de volledige capaciteit (zie slide 45 van de het volledige onderzoeksrapport eRisk Group);
- De impact van de inzet van industriële elektrische flexibiliteit op de inzet van centrales is groot. De inzet van de flexibele capaciteit leidt tot een verschuiving in de merit order die een significant effect heeft op het gemiddelde prijsniveau omdat de inzet van de flexibiliteit op lage prijzen leidt tot een vraagverhoging op die uren hetgeen weer tot hogere prijzen leidt. In het voorgenomen beleid levert de flexibele inzet van 1 MW elektrische ontgasser in 2035

een gemiddelde van EPEX uurprijs €/MW 56,64 op en de inzet van de volledige capaciteit een gemiddelde EPEX uurprijs van €/MW 60,87 (zie ook analyse op slide 40 van de het volledige onderzoeksrapport van eRisk Group);

- De inzet van de industriële elektrische flexibiliteit is sterk afhankelijk van de netto vraag (zie analyse slide 43 van de het volledige onderzoeksrapport van eRisk Group);

Van het volledige onderzoek van eRisk Group “Modellering en validering van de flexibele inzet van hybride parallel geschakelde industriële warmtesystemen op basis van twee klimaatscenario’s en aannames ten aanzien van de landelijke capaciteit van elektrische warmteboilers” is een openbare presentatie gemaakt met meer informatie, deze is te vinden op de website van eRisk Group [PowerPoint-presentatie \(eriskgroup.com\)](https://eriskgroup.com)

3.4 Outlook en Roadmap

In de huidige situatie is hybride elektrificatie technologisch een toepasbare oplossing welke in specifieke situaties kansen biedt voor bedrijven, meestal in combinatie met subsidie. Voor grootschalige toepassing zijn er echter nog belemmeringen op economisch, juridisch en organisatorisch vlak. De geïdentificeerde kansen en belemmeringen binnen dit project zijn vertaald naar een roadmap om te komen tot grootschalige toepassing van hybride energiesystemen in het toekomstige energiesysteem. Deze roadmap gaat specifiek in op flexibele elektrificatie van de industrie.

De roadmap is opgesplitst in drie pijlers waarop actie nodig is:

- Technologie
- Markt
- Infrastructuur

De deliverable van deze taak is gepubliceerd als openbare rapportage, en is te vinden via <https://energy.nl/publications/roadmap-hybride-power-2-heat/>

4. Ervaringen uit het pilot project

Elektrificatie van industriële processen blijkt op dit moment in Nederland een bijzonder complexe opgave. Dit blijkt onder meer uit de lange doorlooptijd van dit project (6 jaar wanneer de initiatieffase wordt meegerekend), waarin 1,5 MW elektrificatie is gerealiseerd.

De toch al moeilijke elektrificatie van industriële processen wordt nog verder bemoeilijkt door de ontstane congestie op het net waardoor het minsten tot 2030 heel lastig zal zijn om extra aansluitcapaciteit te verkrijgen. Het op marktprikkels inzetten van flexibele capaciteit kan netcongestie zelfs verder vergroten. De inzet moet dus op een of andere manier worden gereguleerd.

Bij het in-bedrijfstellen van de pilot was de beperkte transportcapaciteit het belangrijkste knelpunt. Er zijn twee opties voor uitbreiding van de transportcapaciteit onderzocht:

- 1) Er is een uitbreiding van de gecontracteerde firm capaciteit aangevraagd (van 600 KVA naar 1600 KVA). Tot 2025 kan firm capaciteit op de pilotlocatie niet gegarandeerd worden.
- 2) Met de netbeheerder zijn gesprekken gevoerd over een pilot met non-firm transportcapaciteit. Gesprekken met de netbeheerder zijn positief verlopen, maar uiteindelijk duurde dit traject te lang om een rol te kunnen spelen in dit project. De verwachting is dat een geplande wetswijziging op termijn deze mogelijkheid beter toegankelijk maakt. Wetgeving ten aanzien van het beschikbaar

stellen van non-firm capaciteit kan helpen om congestieproblemen te verminderen.

De business case voor het flexibel inzetten van elektrische boilers is sterk afhankelijk van de ontwikkelingen enerzijds ten aanzien van bijplaatsen van duurzame bronnen, en anderzijds het bijplaatsen van flexibele afnemers zoals elektrische boilers en warmtepompen. De technoeconomische analyse is dus altijd een momentopname. Wanneer marktpartijen reageren op positieve economische prikkels en besluiten veel flexibel vermogen bij te plaatsen kan tegen de tijd dat de assets geplaatst zijn de marktsituatie al weer heel anders zijn.

In de communicatie tussen het netwerkbedrijf en de commerciële bedrijven die willen elektrificeren kan nodige kan worden verbeterd om het realiseren van de elektrificatie van industriële processen qua bottlenecks inzake aansluiting te bespoedigen.