

Publieksrapport

Flexibele Energie Rotterdam

Public Report: Flexible Energy in Rotterdam



Inhoud | Contents

Inleiding | Introduction 3

1. Samenvatting | Summary 4

2. Flexibiliteit in E-netwerken | Flexibility within E-grids 5

3. E-flexibiliteit in industriële processen | E-flexibility within industrial processes 6

4. Het VariFlexmodel | The VariFlex Model 10

5. Praktijkstudies: kansen en barrières | Case study: opportunities and barriers 16

6. Conclusies en aanbevelingen | Conclusions and recommendations 18



Inleiding

Hybride energie-infrastructuren en energieopslag

Het beleid in de EU is erop gericht dat elektriciteit in toenemende mate geproduceerd wordt uit duurzame bronnen zoals wind- en zonne-energie. Het aanbod uit deze bronnen is onregelmatig en veroorzaakt extra variatie in de elektriciteitsopwekking. In het fysieke net moeten vraag en aanbod op elk moment gelijk aan elkaar zijn. Flexibiliteit in de vraag naar elektriciteit of opslag is dan nodig om de variabiliteit te compenseren.

De bedrijven in het haven en industrieel complex in Rotterdam hebben een grote elektriciteitsvraag en kunnen wellicht bijdragen aan benodigde flexibiliteit op de Nederlandse markt. Deze flexibiliteit is de mate waarin een bedrijf de elektriciteitsinvoer en/of -uitvoer kan variëren zonder het primaire productieproces te verstoren. Deltalinqs en TU Delft hebben met Havenbedrijf Rotterdam en bedrijven in Rijnmond de mogelijkheden onderzocht om fluctuaties in het net die samenhangen met de productie van Duurzaam Opgewekte Elektriciteit (DE) te stabiliseren.

Flexibilisering in productie, gebruik van elektriciteit in plaats van gas en opslagmogelijkheden zijn oplossingen die op technische, organisatorische, wettelijke en economische aspecten zijn bekeken. Als de flexibilisering van de elektriciteitsvraag mogelijk is, dan kan duurzame energie – die

in pieken beschikbaar komt – benut worden op momenten dat er geen reguliere vraag is. Bovendien kan flexibilisering bedrijven een kostenbesparing opleveren en bijdragen aan de verduurzaming van de industrie in Rotterdam

Dit publieksrapport toont de aanpak en modellering van de informatie om de business cases te kunnen bepalen. Het resultaat is een proeftuin met mogelijkheden voor het creëren van flexibiliteit in elektriciteitsvraag door systeemintegratie met een industrieel cluster. De aanpak, kennis en ervaring zijn ook in andere industriële regio's toe te passen.



Hybrid energy infrastructures and energy storage

Introduction

The policy of the European Union is focussed on increasing renewable energy resources. Wind power and solar energy are both relatively irregular sources of energy, which creates extra peaks and variation at the generation stage. The physical grid requires a balance between supply and demand at all times. This means that to effectively compensate for the variable nature of the power supply, we require storage and flexibility at the demand end.

The companies in Rotterdam's port and industrial complex represent a strong power demand, which could potentially contribute to the flexibility required within the Netherlands' electricity market. This flexibility can be defined as the extent to which a

company can vary its input and/or output of electric power without adverse impact on the primary production process. Deltalinqs and the Delft University of Technology in consortium with the Port of Rotterdam Authority and companies in the Rijnmond region started a project to determine which opportunities exist regarding flexibility to stabilise the fluctuations in the grid caused by renewable energy.

This joint research project focused on technical, organisational and economic aspects concerning flexibilisation of production processes (demand load shifting), Power to Products and substitution of natural gas (Power to Heat) and various other storage options. If it proves possible to increase flexibility in power consumption, renewable energy

might be used during periods of limited regular demand and when renewable energy is abundantly available. In addition, greater flexibility can result in new savings for local companies and help increase the sustainability of Rotterdam's industrial sector.

This public report describes which approach, potential for flexibility and information modelling principles were adopted to determine the associated business cases. The result shows that the companies in Rotterdam's port and industrial complex can play an important role providing flexibility in electricity demand and in Power-to-Products as well as Power-to-Heat opportunities via system integration. Other industrial regions will also be able to benefit from the insights and models obtained in this project.

1. Samenvatting

Het project 'Flexibel Energie Rotterdam' van Deltalinqs heeft tot doel de flexibiliteit in vraag en aanbod van elektriciteit in Rotterdam in kaart te brengen voor het stimuleren van (extra) afzet van duurzame energie in het havenindustriële cluster. In dit publieksrapport vindt u de resultaten van dit project, zoals een overzicht van opties voor flexibilisering, de relatie met de elektriciteitsmarkten en inzicht in de wisselwerking met het hoogspanningsnet. Een model is ontwikkeld om het Haven Industrieel Complex als een geïntegreerd systeem voor flexibiliteit te kunnen beschrijven. Om duidelijkheid te verschaffen over de flexibele vraag en aanbod van elektriciteit moeten een aantal vragen worden beantwoord:

- Wat is de technisch potentieel aan flexibiliteit in bedrijven en in clusters die met vraagsturing, Power-to-Heat en Power-to-Products gecreëerd kan worden?
- Hoe groot is de variabiliteit in de elektriciteitsmarkten en elektriciteitsopwekking, die voor een groot deel veroorzaakt wordt door duurzame bronnen zoals wind en zon?
- Hoe verhoudt de flexibiliteit zich tot deze variabiliteit met prijsspieken en -dalen op de onbalansmarkt en day ahead markt?
- In welke mate is het distributienetwerk voor elektriciteit een beperkende factor?
- Hoe reageren een cluster – een verknoopt netwerk van bedrijven – en een hoogspanningsnet op het koppelen van flexibiliteit aan variabiliteit?
- En welke andere factoren spelen een rol bij implementatie?

Uit de inventarisatie blijkt dat het Rotterdamse haven-industrieel cluster in potentie ca. 100-200 MW aan flexibel vermogen heeft om het variërende extra aanbod te kunnen balanceren. De beste kansen zijn voor Power-to-Heat en Power-to-Products.

Impact op korte termijn

De totale waarde aan variabiliteit op de onbalansmarkt in Nederland in 2015 wordt geschat op 32 miljoen euro. In het model is aangetoond dat op basis van deze variabiliteit en met volumerestricties een potentieel van gemiddeld 28 MW aan flexibiliteit kan worden afgezet met een waarde van 14 miljoen euro. Een groot deel van het technisch potentieel is onrendabel en blijft dus onbenut. In het haven- en industrieel complex van Rotterdam kan zo ca. 40% van alle variabiliteit in Nederland benut worden.

Impact voor de langere termijn

Op langere termijn zijn er kansen om het totale potentieel aan flexibel vermogen (100-200 MW) contractueel te benutten, mits de verwaarding van flexibiliteit in wet en regelgeving is opgenomen. Door flexibilisering van de elektriciteitsvraag kunnen de bedrijven in de Rotterdamse haven een bijdrage leveren aan de energietransitie en als stabiliserende factor dienen voor het variabele aanbod aan energie uit zon en wind.

1. Summary

The purpose of the Deltalinqs 'Flexible Energy Rotterdam' project is to map the flexibility aspects of local electricity supply and demand and to boost the production and purchase of renewable energy in Rotterdam's port and industrial complex. This public report provides an overview of the various options for further flexibility, the relationship with the electricity markets and insight into the interaction with the high-voltage grid. Researchers of Delft University of Technology have developed a model that allows them to consider the port and industrial complex as an integrated system that can be used to realise flexibility. If we wish to gain a clear idea of flexibility in electricity supply and demand, we first need to answer a number of questions.

Which flexibility potential can we create, in technical terms, within individual companies and clusters with instruments like demand load management, Power-to-Heat and Power-to-Products?

How much variability do we observe in the electricity markets and the power generation sector – caused

to a large extent by renewable energy sources like the sun and the wind? How does this flexibility relates to peaks and drops in pricing on the imbalance and day ahead market?

To which extent is the electric power grid a limiting factor?

How would an interconnected network of companies (cluster) and high-voltage nodes respond if we link flexibility and variability?

And which factors play a role during implementation?

This inventory shows that potentially companies in Rotterdam's port and industrial complex can account for 100-200 MW of flexibility for absorbing variations on the power markets, partly caused by renewable energy. The most promising opportunities are Power-to-Heat and Power-to-Products.

Short-term impact

The total value of variability in the Netherlands' imbalance market in 2015 is estimated at EUR 32

million. The model shows that based on this variability and with volume restrictions in place, an average potential of 28MW in flexibility can be sold for a total of EUR 14 million. A larger part of the 100-200 MW technical potential remains therefore unused. As a conclusion, some 40% of the Netherlands' total variability can be used within Rotterdam's port and industrial complex based on the imbalance market.

Longer-term impact

On a longer term, there are opportunities to utilize the total potential of flexible capacity (100-200 MW) contractually, in case the valorisation of flexibility is adopted in laws and regulations.

By increasing the flexibility of their electricity demand, companies in the port of Rotterdam will be able to contribute to the energy transition. Therefore the port can act as a stabilising factor when it comes to absorbing the variable supply of solar and wind power.

2. Flexibiliteit in E-netwerken

De groei van elektriciteitsproductie uit zon en wind leidt tot een toename van de variabiliteit van de elektriciteitsstromen, zowel in tijd als in volume. Zo zal de aanlanding van de 220kV kabel van de windparken aan de Hollandse Kust in totaal 1400MW naar de Maasvlakte brengen. In het Deltalinqs project Flexibele Energie Rotterdam is gekeken naar de mogelijkheden voor diverse sectoren in het haven industrieel complex van Rotterdam om hierop in te spelen. Dit project brengt de flexibiliteit van elektriciteit in het haven en industrieel complex(HIC) van Rotterdam in kaart en koppelt dit aan de variabiliteit van elektriciteit op het Nederlandse E-net. Op clusterniveau wordt de geaggregeerde flexibiliteit bepaald, evenals de maximaal toelaatbare capaciteit van de infrastructuur van middenspanningskabels, hoogspanningsleidingen en trafo's die deze bedrijven koppelen aan de aanbieders van elektriciteit.



Het distributienetwerk en het transportnet voor elektriciteit spelen een belangrijke rol bij de implementatie van opties voor flexibiliteit. Als extra lokaal opgewekt windvermogen aan het netwerk wordt gekoppeld, leidt dit tot een verlaging van de belasting in het lokale netwerk. Als een bedrijf besluit Power-to-Heat te gebruiken dan zal de belasting van het net verhoogd worden. Indien een bedrijf de elektriciteitsvraag flexibel wil maken, dan zal de belasting van het netwerk veranderen. Het netwerk mag voor deze situaties geen belemmerende factor zijn, dat is bij wet geregeld. In tegenstelling tot de belasting in de gebouwde omgeving is de belasting in de industriële omgeving een stuk vlakker en tegelijkertijd grilliger. Op een 25/150kV kunnen zowel verbruikers, WKK's als windturbines aangesloten zitten, zodat de piekbelasting doorgaans ver onder het maximum ligt. Zowel op het 380 kV net als op het 150 kV net worden over het geheel genomen geen nieuwe knelpunten voorzien, behalve mogelijk enkele ondergrondse middenspanningskabels, als gevolg van groeiende flexibiliteit in het havengebied van Rotterdam.

Transportnet 380 en 150 kV Rotterdam

2. Flexibility within E-grids

The increase in power from solar installations and wind has resulted in increased variability of electricity streams – both over time and in terms of volume. For example, once the offshore wind farms along Hollandse Kust (zuid) have been connected to the national grid via a 220 kV cable, an additional 1,400 MW will be coming ashore at Maasvlakte. The Deltalinqs project 'Flexible Energy Rotterdam' focussed on which options there are for various sectors in Rotterdam's port and industrial complex to benefit from this trend.

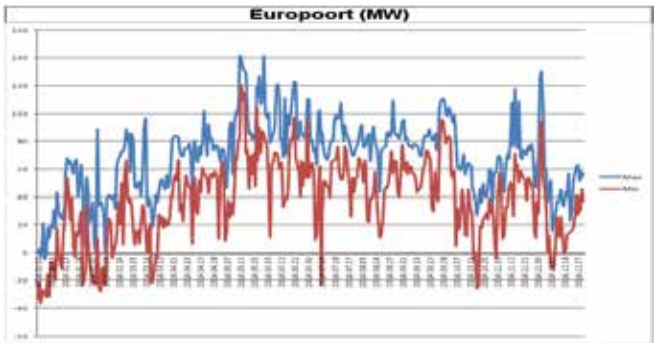
The project maps out the flexibility of electricity in Rotterdam's port and industrial complex (PIC) and links it to the variability of electricity within the Netherlands' E-grid. The aggregated flexibility at cluster level is determined by the maximum permissible switching capacity of the infrastructure network of medium-voltage cables, high-voltage power lines and transformers that link these companies to the suppliers of electricity.

The distribution and transmission grids for electric power play an important role in the implementation of the different options for increasing flexibility. Every time extra wind power that has been generated locally is linked to the grid, this reduces the load on the local grid. Conversely, whenever a company decides to use Power-to-Heat, this increases the load on the grid. Dutch legislation prescribes that the grid itself may not form a limiting factor in such situations. In contrast with network loads in the built-up environment, loads in industrial environments are a lot more levelled out and, at the same time, more irregular. A 25/150kV substation often distributes power to a variety of users, cogeneration plants and wind turbines, so that peak loads usually lie far below the permissible maximum. Generally speaking, increasing flexibility in Rotterdam's port area is not expected to create any new bottlenecks in either the 380 kV grid or the 150 kV grid – with the possible exception of several underground medium-voltage cables.



3. E-flexibiliteit in industriële processen

E_{Flex} in industriële processen: de mate waarin de elektriciteitsinvoer en/of -uitvoer in een industrieel proces beheersbaar kan worden aangepast, zonder het doel van het industrieel proces te frustreren.
 E_{Vari} is de variabiliteit aan elektriciteit op het Nederlandse E-net.



De gemeten maximale en minimale uitwisseling in MW in Europoort over het jaar 2014. In bovenstaande grafiek is de gemeten uitwisseling op het 150 kV-station Europoort weergegeven. Kenmerkend voor een station waarop voornamelijk industriële bedrijven zijn aangesloten is het geringe verschil tussen de uitwisseling overdag en 's nachts.
 The measured maximum and minimum distribution in MW at the Europoort substation in 2014. The above chart shows the power distribution measured at the 150 kV substation Europoort. A characteristic feature of substations that mainly distribute power to industrial users is the limited variation between day-time and night-time distribution levels.

E_{Flex} heeft op de markt een economische waarde, omdat het E_{Vari} kan compenseren. Verder biedt extra E_{Flex} de mogelijkheid tot een extra afzet van duurzaam opgewekte elektriciteit. Daar moeten gebruikers voor worden gevonden met een hoge E_{Flex} , zowel in vermogen (MW), als in capaciteit (MWh). De inventarisatie in het Rotterdamse cluster moet ook een beeld geven van het aantal megawatts dat als E_{Flex} extra aan bedrijven kan worden geleverd. Daarbij zijn twee profielen opgesteld: E_{Flex} op de korte termijn tot 2020 en E_{Flex} na 2020 tot 2025.

Huidige situatie

De bedrijven in de Rijnmond gebruiken voornamelijk elektriciteit en aardgas voor hun productieprocessen. Nagenoeg alle bedrijven functioneren in continuprocessen met een vrij stabiel verbruik van zowel gas als elektriciteit. Toch zijn opties als Demand Response Management (kort-cyclisch afstemmen van vraag en aanbod) nog steeds mogelijk. De kansen voor E_{Flex} moeten worden gezocht in die bedrijven en processen waar:

- deelactiviteiten zijn te verschuiven in de tijd (tank vullen op een ander moment);
- gas kan worden vervangen door elektriciteit (elektrische boiler);
- de bedrijfsvoering buffering of demping toelaat (variërende temperatuur opslagtank).

Bedrijven zouden E_{Flex} rechtstreeks of door conversie naar een andere energiedrager of energievorm kunnen inzetten.

3. E-flexibility in industrial processes

E_{Flex} in industrial processes: the extent to which the input and/or output in an industrial process can be adjusted under manageable conditions without impinging on the outcome of the industrial process.
 E_{Vari} is the variability in the supply of electricity within the Netherlands' E-grid

E_{Flex} represents economic value in the market, since it can compensate for E_{Vari} . Moreover, additional E_{Flex} creates opportunities for the additional sale of renewable energy. This requires identifying which users have a high E_{Flex} , both in terms of power (MW) and capacity (MWh). The inventory of the Rotterdam cluster also needs to provide insight into the number

of megawatts that can be supplied to companies as additional E_{Flex} . To this end, two profiles were drawn up: E_{Flex} in the short term, until 2020; and E_{Flex} after 2020, until 2025.

Current situation

The companies in the Rijnmond region primarily use electricity and natural gas for their production processes. Virtually all these companies operate in continuous processes, which are characterised by the relatively stable consumption of both gas and electricity. However, opportunities to use solutions like Demand Response Management (the short-cycle coordination of supply and demand) are still present. In which case, opportunities to utilise E_{Flex} should be sought among companies and processes where:

- Sub-processes can be moved to a variety of time slots (fill up tank at a different point in time);
- Gas can be replaced by electricity (electric boilers);
- Operations allow for buffering/damping (varying temperature levels in the storage tank).

E_{Flex}

Companies could either use E_{Flex} directly or convert it into a different energy carrier or form of energy.

E_{Flex} by direct use

In a continuous process, it is almost never possible to move the direct application of power – used to drive pumps, compressors or system valves, for example – forward or backward in the production



E_{Flex} rechtstreeks

De rechtstreekse inzet van energie voor bijvoorbeeld de aandrijving van pompen, compressoren of kleppen van installaties is bij een continu proces niet in tijd te verschuiven, behalve als het gaat om het verpompen van materialen na afloop van het proces: Afhankelijk van het proces zijn legen, vullen of blenden opties voor de inzet van E_{Flex} .

E_{Flex} door conversie

In de inventarisatie voor conversie van E_{Flex} naar andere energiedragers of energievormen in het Rotterdamse haven-industrieel complex kwamen als relevante opties naar voren:

- Power-to-Heat (P2H).
- Power-to-Cold (P2Co): buffering energie in koelhuizen.
- Power-to-Chemicals (P2Ch): grondstoffen uit elektrochemische processen.
- Opwerken van restwarmte via warmtepompen.

Power-to-Hydrogen is niet meegenomen in dit onderzoek,

omdat de voorkeur uitgaat naar directe elektrificatie wanneer duurzame energie beschikbaar is.

Kansrijk op korte termijn

Power-to-Heat

Warmte en stoom voor industriële processen worden nu nog veelal uit aardgas geproduceerd, maar dit kan evengoed uit elektriciteit. Dit is interessant als productie uit elektriciteit goedkoper is dan uit aardgas en dit is gedurende een gedeelte van het jaar het geval. Bedrijven kunnen overwegen om een E-boiler naast de gasgestookte boiler te plaatsen en omschakelen op basis van de energieprijzen. De haalbaarheid is daarnaast afhankelijk van de elektrotechnische voorzieningen en of deze de extra belasting aankunnen. Toch kent deze parallelle opstelling ook nadelen. Als er snel gewisseld moet kunnen worden van utility, is er per saldo extra energieverbruik om de apparatuur warm te houden.

schedule, apart from the pumping off of substances at the end of specific processes. Depending on the process, possible opportunities to use E_{Flex} are emptying, filling or blending products.

E_{Flex} by conversion

The inventory identified a number of relevant options presented by Rotterdam's port and industrial complex when it comes to converting E_{Flex} into a different energy carrier or form of energy:

- Power-to-Heat (P2H);
- Power-to-Cold (P2Co): buffering of energy in cold stores;
- Power-to-Chemicals (P2Ch): production of feedstocks via electrochemical processes;
- Upgrading of residual heat via heat pumps.

We have not included Power-to-Hydrogen in this survey, since direct electrification is preferable whenever there is a supply of renewable energy.

Promising in the short term

Power-to-Heat

In many cases, heat and steam for industrial processes are still produced using natural gas – even though electricity can also be used for this purpose. This becomes an interesting option when the costs of electric production are lower than gas-powered production – this is the case during part of the year. Companies can consider installing an E-boiler next to their gas-fired unit, and switching between boilers depending on current energy prices.

The feasibility of this option also depends on the electrotechnical facilities and whether they can handle this extra load. Still, such a parallel system also has its drawbacks. If the user frequently has to switch between utilities, on balance, this may lead to the consumption of extra power to keep the units at the required temperature. Moreover, steam production with a cold E-boiler is somewhat irregular until the unit has reached optimal production conditions. A hybrid boiler that runs both on gas and electricity could present a solution. A boiler like this could be taken into production if there is sufficient interest in the sector.

Bovendien kent productie van stoom uit een koude E-boiler een wat grillig verloop tot de productie optimaal is. Een hybride boiler die zowel op gas als op elektriciteit werkt, kan hier uitkomst bieden. Bij voldoende belangstelling van bedrijven kan deze boiler in productie worden genomen.

Bufferen na conversie

Het extra verwarmen van opslagtanks voor stookolie kan ook met een E-boiler, waarbij de temperatuur in de tank licht

schommelt door bijvoorbeeld alleen te verwarmen in de periode met lage e-prijzen. Rotterdam kent nogal wat opslagtanks, dus hier zou sprake kunnen zijn van significante capaciteit voor E_{Flex} .

Opwerken van restwarmte via warmtepompen

In het havenindustriële complex is veel restwarmte aanwezig die benut kan worden. Warmtepompen kunnen, elektrisch aangedreven, die laagwaardige temperatuur binnen een



Buffering after conversion

The extra heating of storage tanks for fuel oil can also be handled by an E-boiler. In this case, local temperatures in the tank may fluctuate slightly if the company decides to only heat the tank when the price of electricity is low. Rotterdam has quite a few storage tanks, so this could possibly represent significant E_{Flex} capacity.

Upgrading of residual heat via heat pumps

Rotterdam's port and industrial complex generates a large amount of residual heat that can be used productively. Electrically-powered heat pumps can upgrade this low-temperature heat by steps of 10 to 20 degrees with reasonable efficiency. The recompression of steam – which converts low-pressure steam into medium-pressure steam – also seems to be coming to the fore.

Which activities are possible where in the Rijnmond region?

For this study, we have divided the port and industrial complex into the geographical areas Pernis, Botlek Noord, Botlek Zuid, Europoort Oost, Europoort West and Maasvlakte. These areas contain production processes (FlexUnits) that are connected by energy streams.

The results of the inventory are summarised in the following table. The 100% case regards the total generation capacity of E_{Flex} . Of course, the most likely scenario is one where companies adopt one or more of the aforementioned options on the basis of a specific business case and replacement point. This is reflected in the numbers in the columns before and after 2020. In addition, barriers within specific company cultures and values, such as conservatism, may play a role.

Totals for extra renewable energy sales

Area	100 % case	Before 2020	After 2020
	MW _E	MW _E	MW _E
Pernis	26	6	6
Botlek Noord	196	20	25
Botlek Zuid	240	30	30
Europoort O.	114	10	10
Europoort W.	90	15	15
Maasvlakte	3	3	
Total	669	84	86

redelijk rendement met 10–20 graden per stap opwerken. Ook recompressie van stoom lijkt in opkomst om vanagedruk stoom middendruk stoom te maken.

Wat is waar in Rijnmond mogelijk?

Voor deze studie is het havenindustriële complex ingedeeld in de geografische gebieden Pernis, Botlek Noord, Botlek Zuid, Europoort Oost, Europoort West en Maasvlakte met daarin productieprocessen (FlexUnits) die verbonden zijn door energiestromen.

De resultaten van de inventarisatie zijn in de volgende tabel samengevat. De 100% case betreft het opgestelde vermogen aan Eflex. Uiteraard is de waarschijnlijkheid dat bedrijven overgaan tot genoemde opties afhankelijk van de business case en het vervangingsmoment. Dit is in de cijfers in de kolom voor en na 2020 verwerkt. Daarnaast kunnen culturele en normatieve barrières, zoals behoudendheid, een rol spelen.

Gesommeerde resultaten voor extra afzet duurzaam opgewekte elektriciteit (ex case restwarmte)

Gebied	100 % case	Voor 2020	Na 2020
	MW _E	MW _E	MW _E
Pernis	26	6	6
Botlek Noord	196	20	25
Botlek Zuid	240	30	30
Europoort O.	114	10	10
Europoort W.	90	15	15
Maasvlakte	3	3	
Totaal	669	84	86

Conclusion

Based on current information, assumptions and insights, we expect that in the period before 2020, 84 MWE – rounded up to 100 MWE – of Eflex will become available in the Rijnmond region in the period before 2020. A share of the purchased electricity is flexible. The total generation capacity that is arranged in order to offer this Eflex is considerably higher than 100 MWE: approximately 670 MW.

It remains to be seen whether the aforementioned 100 MW will become available in the years ahead. To this end, a number of changes will first need to gain acceptance, including the replacement of gas-fired generation with electric generation within the sector in question. However, it appears possible to draw up a favourable business case for this transition. The large-scale demonstration of this option in the region

could possibly accelerate its implementation. In the period after 2020, the second phase, which involves some 100 MW of additional renewable energy sales, could possibly proceed at a faster pace and enable even more sales. Once existing and new technologies have been proven in terms of application scope and reliability, and the business case has yielded positive results, we expect that the total size of the utilised capacity will primarily be determined by two remaining factors:

- The availability of sufficiently robust grid quality at all the required locations in the Rijnmond region (and the associated costs);
- The development of E_{Vari}, both in terms of size and price.

Conclusie

Op grond van de nu beschikbare informatie, aannamen en inzichten wordt verwacht dat in Rijnmond vóór 2020 84, afgerond naar 100 MW_E aan E_{Flex} beschikbaar kan komen. Een deel van de afgenomen elektriciteit is flexibel. Het totaal opgesteld vermogen om deze E_{Flex} te kunnen bieden is aanzienlijk groter dan 100 MW_E, namelijk ca. 670 MW. Of de eerder genoemde 100 MW ook werkelijk beschikbaar zal staan in de komende jaren valt nog te bezien. Daarvoor zal onder meer het vervangen van stoken op gas door elektriciteit door de betreffende industrie nog geaccepteerd moeten worden. Het lijkt er echter op dat een gunstige business case daarvoor mogelijk is. Een grootschalige demonstratie van deze mogelijkheid zou de implementatie kunnen versnellen.

Ná 2020 kan de tweede fase voor ca. 100 MW extra afzet duurzaam opgewekte elektriciteit mogelijk sneller verlopen en nog meer afzet bieden. Wanneer de (al bestaande) technologie qua inzetbaarheid en betrouwbaarheid is bewezen, en de business case positief uitpakt, lijkt de totale omvang van de in te zetten capaciteit in het HIC vooral bepaald door twee overblijvende factoren:

- De beschikbaarheid van voldoende robuuste netkwaliteit op alle benodigde plaatsen in de Rijnmond (en de daaraan verbonden kosten).
- De ontwikkeling van E_{Vari}, zowel in omvang als in prijs.



4. VariFlexCluster Model



Als bedrijven in het bezit zijn van een (plan voor een) productieproces met een flexibele vraag naar elektriciteit kunnen zij gebruik maken van de variabiliteit in de elektriciteitsprijs om economisch voordeel te behalen. Een snelle methode om de waarde van de flexibiliteit voor een individueel proces te bepalen was voorafgaand aan dit onderzoek niet beschikbaar.

Door de TU Delft is nu een model ontwikkeld om de waarde van flexibiliteit voor de energievraag voor productie-eenheden te bepalen. Deze eenheden, FlexUnits genoemd, kunnen betrekking hebben op generieke opties, zoals verwarming. Ze kunnen ook specifieke bedrijfsprocessen betreffen, zoals de productie van chloor, gekoppeld aan een specifiek bedrijf.

De invloed van de energiemarkt is opgenomen met twee karakteristieke prijscurves: de day-ahead prijzen en de onbalansverrekening. De wisselwerking tussen het fysieke deel en het marktdeel is eerst voor twee basis FlexUnits individueel gemodelleerd. Vervolgens zijn twee praktijkcases op bedrijfsprocesniveau gemodelleerd. De integratie vond plaats door het koppelen van FlexUnits tot een geïntegreerd industrieel cluster.

Juist als meerdere processen geïntegreerd zijn in een cluster, kan de wisselwerking tussen die processen de flexibiliteit vergroten. Dat kan door bijvoorbeeld buffers te delen. Clustering kan ook de flexibiliteit verlagen, zoals door de variabiliteit op de markt te overvragen of door beperkingen in het distributienetwerk.

Het model geeft inzicht in de waarde van E_{Flex} voor individuele bedrijven als een stand alone optie en voor een geïntegreerd industrieel systeem. Zijn de bedrijven concurrenten van elkaar of kunnen ze elkaar juist versterken? Hoeveel variabiliteit op de onbalansmarkt kan benut worden in Rotterdam?

E_{Flex} in industriële processen

Een FlexUnit heeft een aantal karakteristieken die bepalend zijn voor de reactie op een veranderende E-markt. Deze karakteristieken zijn:

- De snelheid waarmee vraag/aanbod kan worden aangepast.
- De grenzen waarbinnen vraag/aanbod kan worden aangepast.
- De grootte van de buffercapaciteit.
- De mate waarin de E-vraag/aanbod vervangen kan worden door een andere energiedrager.

Deze karakteristieken worden in onderstaande twee voorbeelden toegelicht.

1. Verandering van de E-vraag door buffering

Figuur 1 geeft de situatie weer voor een productieproces dat flexibiliteit biedt door de productieomvang tijdelijk aan te passen en verschillen te stabiliseren in een buffer. Het gemiddeld afgenomen vermogen is in Figuur 1 aangegeven

4. VariFlex Cluster Model

Once companies have planned or realised a production process that includes a flexible demand for electricity, they can use variability in the price of electricity to their financial advantage. Prior to this study, there was no method available for quickly determining the value of flexibility for individual processes.

Delft University of Technology has presently developed a model for determining the value that flexibility presents in the context of the energy demand for production units. These units, which have been dubbed FlexUnits, can relate to generic options like heating. They can also concern specific operational processes, e.g. chlorine production, associated with a specific company.

The impact of the energy market has been

incorporated in the form of two characteristic price curves: the day ahead prices and the imbalance settlement. The interaction between the physical component and the market component was first individually modelled for two base FlexUnits. This was followed by the modelling of two case studies at the levels of operational processes. Integration was achieved by linking FlexUnits together to form an integrated industrial cluster.

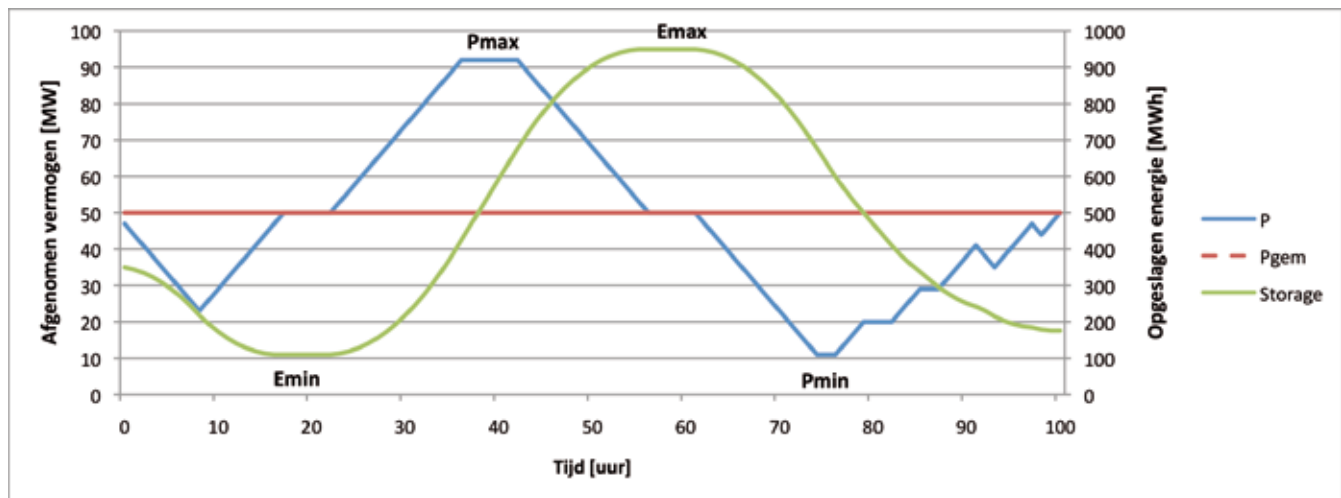
It is precisely when multiple processes are integrated within a single cluster that interaction between these different processes can actually increase flexibility, by sharing buffers, for example. However, clustering can also reduce flexibility – by placing excessive demands on market variability, for example, or due to limitations in the distribution network.

The model provides insight into the value of E_{Flex} for individual companies, as a stand-alone option, and for an integrated industrial system. Are the companies competitors, or can they actually strengthen each other? How much variability in the balancing market can be capitalised on in Rotterdam?

E_{Flex} in industrial processes

A FlexUnit has a number of characteristics that determine the party's response to a changing E-market. These characteristics are:

- The pace at which demand/supply can be adapted;
- The limits within which demand/supply can be adapted;



Figuur 1. Verandering van de E-vraag/aanbod door buffering Figure 1. Changes in E-demand/supply as a result of buffering

met de gestippelde rode lijn. De linker y-as geeft het elektrisch vermogen dat wordt afgenomen. De rechter y-as geeft de opgeslagen hoeveelheid energie. Een aantal parameters is bepalend voor het dynamisch gedrag van het systeem.

Veel processen produceren niet standaard op maximale capaciteit. Dit biedt ruimte om meer product te maken en het afgenomen vermogen te verhogen tot maximaal. In het voorbeeld laten we het vermogen toenemen. De helling van de blauwe lijn geeft de maximale vermogenstoename, ook wel Ramp-up genoemd. De hoeveelheid extra geproduceerd product, die een hoeveelheid energie vertegenwoordigt, zal moeten worden opgeslagen. Als de beschikbare opslagcapaciteit volledig benut is, is de maximale hoeveelheid

energie opgeslagen. Als dit punt bereikt is, mag er geen overproductie meer zijn. In het voorbeeld is daarom op tijd het vermogen verminderd. De helling van de blauwe lijn geeft nu de maximale vermogensafname. De absolute waarde hiervan wordt Ramp-down genoemd. Veel productieprocessen hebben een ondergrens waaronder het proces niet meer goed verloopt. Als de productie lager ligt dan de gemiddelde productie zal de opgeslagen hoeveelheid product afnemen.

2. Verandering van de E-vraag door substitutie

Figuur 2 geeft de situatie weer voor een productieproces dat flexibiliteit biedt omdat het proces kan kiezen tussen elektriciteit en een alternatieve energiedrager, in dit voorbeeld aardgas. Als alleen aardgas wordt gebruikt als input, heeft het

- The size of the buffer capacity;
- The extent to which the E-demand/supply can be replaced by a different energy carrier.

These characteristics are explained in further detail by means of the following two examples:

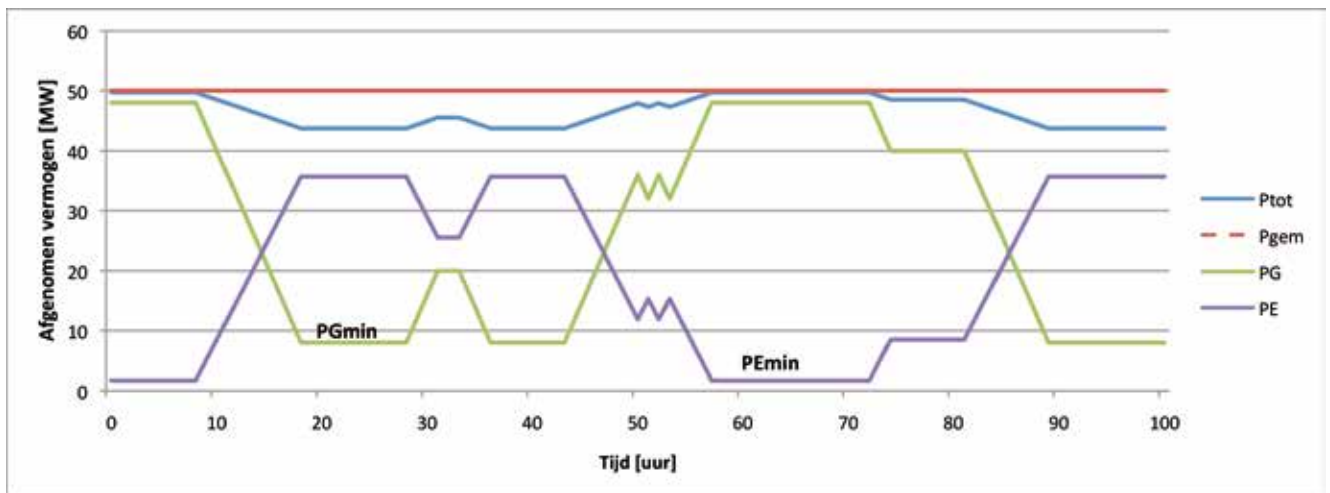
1. Changes in E-demand as a result of buffering

Figure 1 illustrates a situation whereby the production process creates flexibility by temporarily adapting the scale of production and stabilising the differences with the aid of a buffer. The average decreased capacity is represented in Figure 1 by a dotted red line. The vertical (y) axis on the left denotes the units of electric power that are sold. The

vertical (y) axis on the right denotes the units of power that are stored. A number of parameters are determining for the dynamic behaviour of the system as a whole.

Many production processes do not necessarily run at maximum capacity at all times. This creates scope to produce a higher volume of product as required, and to maximise capacity utilisation. The present example shows an increase in utilised capacity. The slope of the blue line shows the development toward maximum capacity utilisation, also known as the ramp-up. The volume of extra product that is produced in this period, which itself represents an amount of energy, will need to be stored. The moment when available storage capacity is utilised

in its entirety is also the apex in terms of maximum energy storage. Once this high mark is reached, the company can no longer engage in overproduction. That is why in this example, capacity utilisation is actually duly scaled back again. At this point, the slope of the blue line starts to indicate a decrease in the maximum capacity utilised. The absolute value of this decrease is called the ramp-down. Many production processes have a minimum threshold, below which the process no longer runs as intended. When production lies below the average level of production, the volume of stored product will start to decrease.



Figuur 2 Verandering van de E-vraag/aanbod door substitutie | Figure 2 Changes in E-demand/supply as a result of substitution

afgenomen vermogen een vaste waarde. Dit is in Figuur 2 aangegeven met de gestippelde rode lijn. Als die inzet van alternatieve energiedragers kan geschieden met een hogere efficiëntie dan zal, bij een gelijke hoeveelheid productie, het benodigde vermogen afnemen. Dit is aangegeven met de blauwe lijn. De y-as geeft het vermogen dat wordt gebruikt als input van het systeem. In dit voorbeeld wordt elektriciteit efficiënter ingezet dan gas. De blauwe lijn geeft het gebruikte vermogen weer van de mix van elektriciteit en gas die als input gebruikt wordt.

De groene lijn geeft het vermogen weer dat hoort bij de inname van gas. Voor het begintijdstip is te zien dat de input voornamelijk bestaat uit gas met een klein deel voor elektriciteit. In veel systemen met een gecombineerde input is het voor een snelle responsietijd gewenst dat elke mogelijke

input op een minimale last draait. Het aan- of uitzetten van apparatuur vergt namelijk meer tijd dan het meer of minder later draaien. De maximale stijging van inzet van elektriciteit is hier gekoppeld aan de maximale daling van het aandeel gas.

De twee bovenstaande principes geven aan dat voor een exacte beschrijving van flexibiliteit veel parameters nodig zijn en dat in tijdstapjes gedacht moet worden. In dit model breiden we de praktische formulering van flexibiliteit uit met de parameters voor het maximale schakelvermogen in megawatt [MW] zonder restricties en de maximale verblijftijd van het schakelvermogen in een buffer in uren. Met behulp van deze twee parameters kunnen we snel een inschatting maken van de flexibiliteit van een systeem en opties vergelijken.

2. Changes in E-demand as a result of substitution

Figure 2 illustrates a situation whereby the production process creates flexibility by switching between electricity and an alternate energy carrier – in this case, natural gas. The average decreased capacity only has a fixed value when the sole input is natural gas. This is represented in Figure 2 by a dotted red line. If alternative energy carriers can be used at higher efficiency levels, the amount of required capacity will decrease at equivalent production volumes. This is indicated in the graph by the blue line. The vertical (y) axis indicates the power that is input into the system. In this example, the process makes more efficient use of electricity than of gas. The blue line indicates the utilised capacity of the mix of electricity and gas used as input in the process. The green line indicates the capacity that is achieved when the system runs on gas. At t-zero, it is clear that most of the input consists of gas, with a very small share of electricity. In many systems with a

combined input, the wish to ensure a swift response time requires each conceivable input to be accompanied by a minimal load. That is because the powering up or down of equipment costs more time than operating the system at a higher or lower capacity. In this graph, the maximum increase in the amount of utilised electric power is linked to the maximum decrease in the share of gas.

The two principles illustrated in the above figures indicate that to offer a precise description of flexibility, one needs to refer to a large number of parameters. In addition, one needs to think in small increments of time. In this model, we have expanded the practical formulation of flexibility with the parameters maximum switching capacity in megawatts (MW), without restrictions, and the maximum stay of the switching capacity in a buffer, in hours. These two parameters allow us to quickly estimate a system's flexibility and compare the different options.

Connecting flexibility in demand to market fluctuations

There are a number of trading systems and other systems that can be used to coordinate demand and supply. The delivery terms and conditions for these systems make it very difficult to obtain a comprehensive picture of the total market system. This is partly due to the fact that the systems influence each other in both the physical environment and the market environment. In this project, we focused on the day ahead market and the balancing market. We have not included the contracted volume of regulating capacity and emergency capacity in this survey.

To effectively understand how the flexibility created by Rotterdam's port and industrial complex is utilised in the Netherlands' electricity market, one requires a computation model.



Koppelen flexibiliteit in vraag aan schommelingen in de markt

Er zijn meerdere (handels)systemen beschikbaar om vraag en aanbod op elkaar af te stemmen. De leveringstermijnen en condities voor deze systemen maken het zeer lastig om het totale marktsysteem te overzien, mede omdat de systemen elkaar beïnvloeden in de fysieke omgeving en de marktomgeving. In dit project hebben we gekeken naar de day ahead en de onbalansmarkt. Het gecontracteerde volume aan regel- (en noodstroomvermogen) hebben we niet meegenomen.

Voor het kunnen begrijpen van de inzet van de flexibiliteit van het Rotterdamse Havenindustriële complex op de Nederlandse elektriciteitsmarkt is een rekenmodel nodig.

Linny-R

Linny-R is een model van de TU Delft waarmee analyses van processen kunnen worden gemaakt die veel gedetailleerder zijn dan tot nu. In dit project Flexibele Energie Rotterdam is het havenindustriële complex gesimuleerd, waarbij voornamelijk gekeken is naar de mogelijkheid van flexibiliteit door in- en uitvoer van elektriciteit bij toenemende variabiliteit. Voor welke productieprocessen kan dit relevant zijn? In deze studie is gekeken naar chloor, CO₂, vloeibare O₂, geladen accu's voor AGV's, mechanische bewerking, koudeopslag, stoomproductie en verwarmde tankopslag voor stookolie.

Alle processen waarbij sprake is van opslag van energie of product (warmteopslag, accu's, chloor) zijn op dezelfde wijze te abstraheren. De winst zit in meer produceren en opslaan bij goedkope stroom en vervolgens daarvan te leveren bij hogere elektriciteitsstarieven, waarbij de productie voor korte tijd kan worden stopgezet. Tijd en informatie zijn daarbij cruciaal. Het model geeft bedrijven in het gebied ook inzicht in de mate waarin het net wordt belast en mogelijk hogere (vermijdbare) systeemkosten. De besparing aan energiekosten neemt toe naarmate bedrijven verder vooruit kunnen kijken naar wat de

prijs op de elektriciteitsmarkt zal doen. Maar aan de opslagcapaciteit zit natuurlijk een begrenzing en niet alle processen zijn geschikt voor buffering.

Slim handelen is mogelijk tussen de day-ahead markt en de onbalansmarkt waar meer variabiliteit is. Naast de mogelijkheden voor buffering is ook substitutie in het model verwerkt. Dit is interessant voor bedrijven met hybride boilers of procesunits die zowel op gas als op elektriciteit kunnen werken. Met het Linny-R model kan op basis van de energieprijzen direct op substitutie ingespeeld worden.

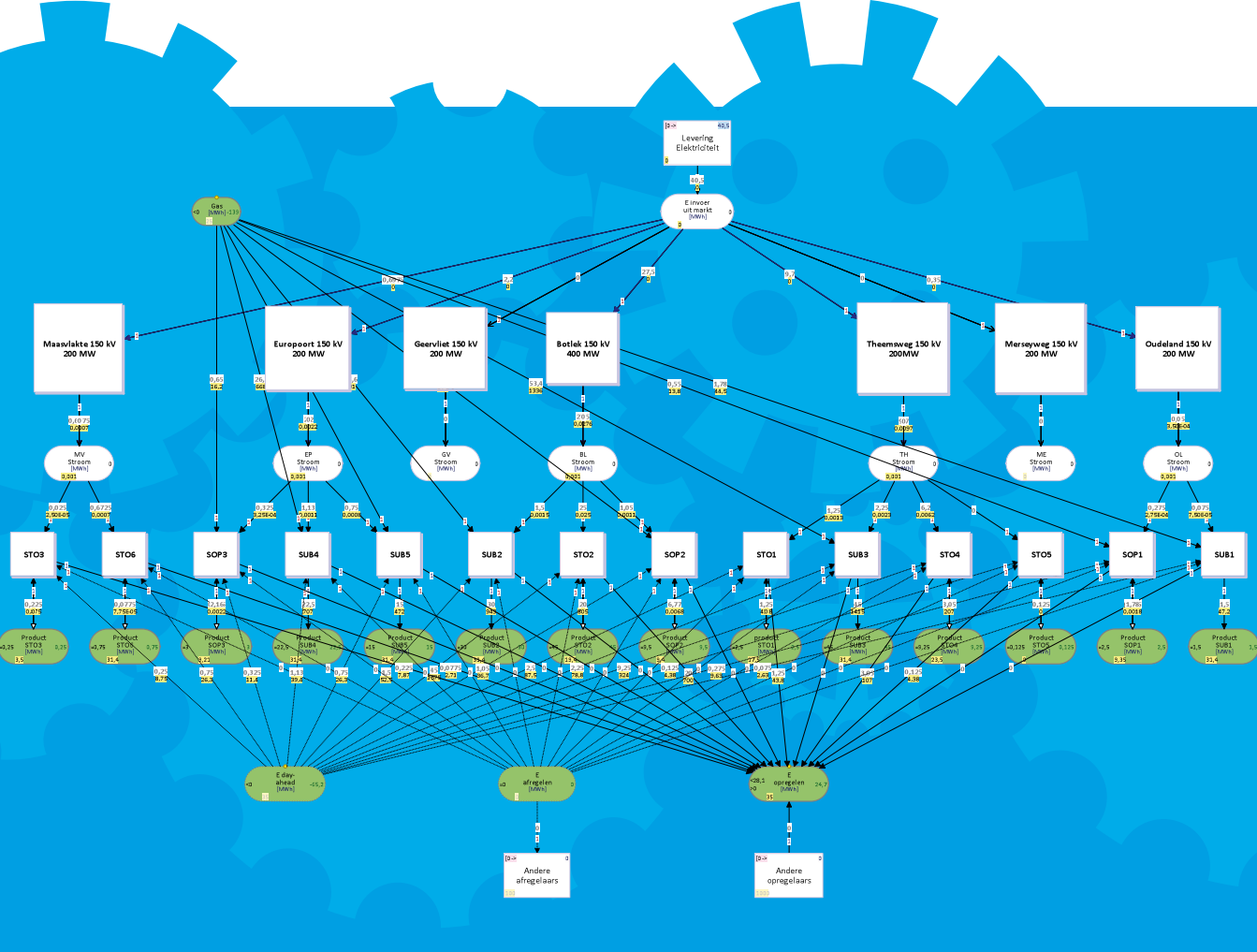
Het model integreert het elektriciteitsnetwerk en de gasmarkt met veertien FlexUnits die verdeeld zijn over zeven gebieden. Elke FlexUnit representeert een productieproces en maakt een product met een relatief hoge energie-inhoud. Linny-R simuleert voor elke FlexUnit wat er gebeurt als per kwartier de prijs op de onbalansmarkt varieert. In een jaar zijn dat 35.000 tijdstapjes.

Flexibiliteit in energie betekent aan de marktkant het op- en afregelen van de vraag. Voor de energiespecialisten van bedrijven is de day-ahead markt -24 uur van tevoren is de prijs van elektriciteit bekend- en de onbalansmarkt – waar op kwartierbasis wordt gehandeld – van belang. Dit geeft de speler op die markt zowel zekerheid als flexibiliteit om processen aan te passen aan de elektriciteitsprijzen.

Met een simulatiemodel is berekend dat de maximale capaciteit die het systeem momenteel qua inzet van E_{Flex} in een balanceringsmarkt te bieden heeft, ongeveer 28MW per uur bedraagt, met een waarde van 16 miljoen euro per jaar. In het no-limits scenario waarbij alles wat theoretisch aan E_{Flex} te bieden is, door de bedrijven wordt ingezet, is de maximale capaciteit 179 MW, met een waarde van 65 miljoen euro. Maar deze maximale inzet zou mogelijk problemen op het netwerk kunnen veroorzaken. In deze bedragen zijn niet de investeringen voor E_{Flex} meegenomen.



© Foto TenneT



Het Linny-R model van het haven- en industrieel complex van Rotterdam | The Linny-R model of Rotterdam's port and industrial complex

Linny-R

Linny-R is a model developed by Delft University of Technology that allows the user to make far more detailed analyses of processes than were previously possible. The simulation that was made of the port and industrial complex within the Flexible Energy Rotterdam project mainly examined the option of creating flexibility via the input and output of electric power under rising variability. For which production processes could this be a relevant approach? The present study has focused on chlorine, CO₂, liquid O₂, charged AGV batteries, mechanical processing, cold storage, steam production and heated tank storage for fuel oil.

All processes involving the storage of energy or a product (heat storage, batteries, chlorine) can be abstracted in the same way. The user benefits most from stepping up production and storage levels when the price of electricity is low, and subsequently delivering the product when electricity price levels are higher – at which point the user halts production for a short period. Time and information play crucial roles in this context. The model also provides companies in the area with insight into the extent of

the load on the local grid and possible higher (and avoidable) system costs. Energy cost savings increase proportionate to companies' ability to look further ahead into the future development of price levels in the electricity market. But of course, there are limits to what can be absorbed by a user's storage capacity, and not every process is actually suited for this kind of buffering.

It is possible to engage in smart trading between the day ahead market and the balancing market, which has a greater level of variability. In addition to buffering opportunities, the model also incorporates the option of substitution. This is interesting for companies with hybrid boilers or process units that can run both on gas and electricity. The Linny-R model can be used for the direct implementation of substitution based on current energy prices.

The model integrates the electricity grid and the gas market with 14 FlexUnits that are divided into seven fields. Each FlexUnit represents a production process and yields a product with a relatively high energy content. Linny-R simulates what happens every 15 minutes to each FlexUnit in response to a variation in

the balancing market price. Over the course of a year, this amounts to 35,000 time increments (PTU). At the market end, energy flexibility involves the ramping up or down of demand. The companies' energy specialists pay close attention to developments in the day ahead market – the price of electricity is announced 24 hours in advance – and the imbalance market – where trading is based on 15-minute increments. This offers the market players both the certainty and the flexibility required to adjust processes in response to the price of electricity.

It was calculated with the aid of a simulation model that the maximum capacity that the system currently has to offer in terms of utilisation of E_{Flex} in a balancing market is approximately 28 MW per hour, which represents a value of some EUR 16 million per year. In a no-limits scenario – whereby the companies utilise everything that they can theoretically offer in terms of E_{Flex} – the maximum capacity totals 179 MW, which represents a value of some EUR 65 million. But this kind of maximised utilisation could create problems in the grid. These amounts do not take investments relating to E_{Flex} into account.

5. Praktijkstudies: kansen en barrières

In het onderzoek is voor drie bedrijven gekeken naar barrières voor implementatie van flexibele in- en uitvoer van elektriciteit, met het oog op meer afzet van hernieuwbare energie. Deze barrières kunnen te maken hebben met:

- techniek;
- informatie en competentie;
- regelgeving;
- economie;
- gedrag en organisatie.



Voorbeeld: AkzoNobel

De beste business case voor flexibele inzet van elektriciteit blijkt voor AkzoNobel de situatie waarin de elektriciteitsvraag in de markt hoger is dan het aanbod. Ze kunnen de productie van chloor op basis van elektrolyse terugregelen. Door de mogelijkheden met buffering kan 3% van de productietijd overbrugd worden en merken de afnemers niet dat er bijvoorbeeld een half uur minder of niet wordt geproduceerd. Het vergroten van de buffering van chloor is niet wenselijk en dan niet nodig.

Belangrijke randvoorwaarden voor AkzoNobel zijn technologie, opslag, snelheid en betrouwbaarheid. Het productieproces krijgt met de prijs van elektriciteit een extra variabele. Dat vraagt wel wat van de systemen, want de integriteit, veiligheid en betrouwbaarheid van het productieproces dient gewaarborgd te blijven. De economische meerwaarde voor AkzoNobel ontstaat bij het gelijktijdig handelen op de onbalansmarkt en de APX. Met Tennet wordt gesproken over prijsstelling en langere contracten met flexibiliteit in de afname. Anders is het lastig om speciaal voor flexibele inzet van elektriciteit investeringen te doen.

5. Case studies: opportunities and barriers

In this study, we have also examined possible barriers for the implementation of the flexible input and output of electricity for three individual companies, with an eye on opportunities to increase renewable energy sales. These barriers can relate to:

- Technology;
- Information and competence;
- Regulations;
- Economic aspects;
- Culture and organisation.

AkzoNobel case study

In the case of AkzoNobel, the best business case for the flexible utilisation of electricity is one whereby

the demand for electricity in the imbalance market exceeds supply. The company can ramp down the production of chlorine on the basis of electrolysis at high prices (demand shedding). Buffering options allow AkzoNobel to bridge a 3% gap in its production time – meaning that clients would not notice when the company scales down or halts production for 30 minutes, for example. Increasing the buffer volume of chlorine is neither desirable nor indeed necessary in this approach.

The key preconditions for AkzoNobel are technology, storage, speed and reliability. The price of electricity adds another variable to the production process. This does place some demands on the company's

systems, because the integrity, safety and reliability of the production process needs to be guaranteed at all times. AkzoNobel can create economic added value by simultaneously trading on the imbalance market and day ahead market (APX). The company is in talks with TenneT about pricing and longer-term contracts that offer flexibility in terms of purchasing. Otherwise, it will be difficult for AkzoNobel to make targeted investments in the flexible utilisation of electric power.



6. Conclusies en aanbevelingen

- In het model is aangetoond dat in het Rotterdamse haven- en industrieel complex op basis van de variabiliteit en volumerestricties een potentieel van gemiddeld 28 MW aan flexibiliteit in elektriciteitsvraag kan worden geboden. Deze flexibiliteit heeft een waarde van 14 miljoen euro. De afzet aan flexibiliteit op korte termijn is veel groter, ca. 100MW, en op langere termijn in het richtjaar 2025 nog eens ca. 100MW. Een groot deel van het technisch potentieel is nu onrendabel en blijft dus onbenut. In het haven- en industrieel complex van Rotterdam kan ca. 40% van alle variabiliteit in Nederland benut worden. Op langere termijn zijn er kansen om het totale potentieel aan flexibel vermogen (100-200 MW) contractueel te benutten. Hiervoor is het van belang dat de verwaardiging van flexibiliteit in wet en regelgeving is opgenomen.
- Partijen die direct contracten afsluiten voor duurzaam opgewekte elektriciteit, lijken volledig duurzaam te zijn. Echter, zij veroorzaken daarmee een grotere variabiliteit op de elektriciteitsmarkt, met inefficiëntie als gevolg. Dit wordt gecompenseerd door bedrijven die met extra ruimte voor E_{Flex} de mogelijkheid bieden tot meer afzet van duurzaam opgewekte elektriciteit. De wet- en regelgeving legt de focus nu voornamelijk op duurzame opwekking. De duurzame meerwaarde ligt echter op integratie van beide. Dit dient meegenomen te worden in de wet- en regelgeving, zoals voor de duurzaamheidswaardering bij CO₂-reductie als gevolg van de inzet van E_{Flex} .
- Pas het VariFlexCluster model toe op de mogelijkheden voor elektrificatie van de chemie in Rotterdam op de langere termijn. Naast optimalisatie van de koppeling van E_{Flex} en E_{Var} kan ook de integratie voor productie van grondstoffen, tussenproducten en eindproducten worden gemodelleerd.

6. Conclusions and recommendations

- The model has demonstrated that on the basis of variability and with volume restrictions, an average of 28 MW in flexibility can be supplied, with a value of EUR 14 million (2015 figures). In this way, Rotterdam's port and industrial complex can consume about 40% of all variability in the Netherlands. The supply of flexibility in the short-term is much larger, about 100 MW, and in the longer term, in the target year 2025, it will be another 100 MW approximately. This means that a large part of the technical potential is unprofitable, and will thus remain unutilised. On a longer term, there are opportunities to contractually utilise the total potential of flexible capacity (100-200 MW). That is, as long as the valorisation of flexibility is adopted in laws and regulations.
- Parties that enter into direct contracts for renewable energy appear to be completely sustainable in this area. However, they are also generating more variability in the electricity market, which in turn may lead to surplus of renewable energy. This could be compensated by companies that offer additional scope for E_{Flex} . These companies provide opportunities to create demand of renewable energy – at low demand and low prices – or in some cases demand shedding - at high demand and high prices. Current legislation and regulations primarily focuses on the generation of energy from renewable sources. However, the added value in terms of sustainability actually lies in the integration of both aspects. This needs to be taken into account in legislation and regulations – for example in sustainability ratings for reduced CO₂ emissions as a result of the utilisation of E_{Flex} .
- Apply the VariFlex Cluster Model to options to electrify Rotterdam's chemical sector in the longer term. In addition to the optimisation of the link between E_{Flex} and E_{Var} , the model can also focus on integration in the production of feedstocks, intermediate products and finished products.



Colofon | Colophon

Onderzoeksproject Flexibele Energie Rotterdam

Dit onderzoeksproject naar systeemintegratie is uitgevoerd door TU Delft, Deltalinqs en Havenbedrijf Rotterdam, met participatie van AkzoNobel, AVR, ENCI, Huntsman, Stedin, Tennet en Uniper

Initiatief | *Initiative* Deltalinqs

Projectleiding | *Project management* Hans van 't Noordende

Auteur | *Text* Rob Stikkelman, TU Delft

Eindredactie | *final editing* Hans van t Noordende, Inez Postema

Productie | *Production* Postema Advies & Communicatie, Inez Postema

Vormgeving | *Design* BeeldinZicht, Peter Snaterse

Omslag | *Cover* BeeldinZicht

Fotografie | *Photography* BeeldinZicht, Postema Advies & Communicatie, Uniper

Drukwerk | *Print* Telstar Media, Pijnacker

Het project Flexibele Energie Rotterdam kon worden uitgevoerd met steun van RVO.

The project Flexible Energy Rotterdam has been made possible by the support of RVO.

April 2017



Publieksrapport Flexibele Energie Rotterdam | Public Report: Flexible Energy in Rotterdam
april 2017 | April 2017