

INDUSTRIËLE FLEXIBILITEIT: DE COMPLEXE OPGAVE VAN DE FLEX



Nyrstar, Budel • © Nyrstar

December 2022

WWW.TKI-EI.NL



INHOUD

Samenvatting	3
Inleiding	4
Voorbeeldcases	8
Observaties	18
Conclusies	20
Aanbevelingen	22
Verder lezen	23

SAMENVATTING

In 2050 moet Nederland volledig klimaatneutraal zijn. Voor de industrie komt de daarvoor benodigde energietransitie in essentie neer op een elektrificatieslag. Die elektriciteit komt vooral van de variabele bronnen zon en wind. Flexibiliseren van de vraag is een belangrijk antwoord op dit variabele aanbod.

De energietransitie confronteert de industrie met het feit dat permanente beschikbaarheid van elektriciteit geen zekerheid meer is. Dat maakt industriële flexibiliteit geen bonus, maar noodzaak.

Voor veel industriebedrijven vergen elektrificatie en flexibilisering door tijdelijk op- en afschalen van hun productie een fundamentele aanpassing van hun manier van werken.

Van hoog tot laag

Bedrijven met bijvoorbeeld electrolyzers of luchtseparatie centraal in hun proces zijn grootverbruikers van elektriciteit. Ze kunnen vaak op korte termijn tussen 20-80% flexibiliteit leveren. In al deze situaties levert het inbouwen van een buffer gecombineerd met overdimensionering in het primaire proces een flinke 'batterijcapaciteit'. Alle bedrijven met hoge flexpercentages hebben al praktijktoepassingen. Daarnaast kunnen combinaties van (bio) WKK-installaties, e-boilers, eigen opwekking, productie-overcapaciteit en buffering tot honderd procent flexibiliteit leiden. Bedrijven in de middencategorie moeten meerdere technieken combineren om tot een substantieel percentage flex te komen. Dat maakt het niet makkelijk om bij de vele onzekere parameters duidelijk favoriete keuzes te onderscheiden. Bovendien blijven mogelijkheden tot reductie – die er vaak ook zijn – prevaleren boven mogelijkheden tot flexibiliseren.

De grote (petro)chemische complexen, geïntegreerd ontworpen op een stabiel verbruik van fossiele brandstoffen, hebben in hun huidige opzet een gering flexvermogen. Een toekomstig, hernieuwbaar energiesysteem op basis van zon en wind vraagt grootschalige ombouw van het productieproces. Daarbij zou ook aandacht naar flex-opties moeten uitgaan.

Kwantificering mogelijk?

De inventarisatie maakt duidelijk, dat er op dit moment al veel industriële flexibiliteit mogelijk is. Verschillende bedrijven hebben operationele flexcases of staan op het punt deze te starten. Bij de bedrijven die cases overwegen, gaat het om bewezen technologieën die relatief snel kunnen worden ingevoerd. Uit de zeer uiteenlopende cases is verder moeilijk een algemene conclusie te trekken over – of cijfer te verbinden aan – 'het flexpotentieel' binnen 'de procesindustrie'.

INLEIDING

Workshops

Vanuit de werkgroep Power-to-Industry kwam de vraag naar voren wat het potentieel aan flexibiliteit van de industrie is, in respons op een variabel aanbod aan duurzame elektriciteit. Om dit uit te zoeken organiseerde TKI Energie en Industrie een serie workshops met deelnemers uit de werkgroep. De workshops dienden om te toetsen hoe de industrie op dit moment tegen flexibilisering van het elektriciteitsgebruik aankijkt. Hoe zien de deelnemers het toekomstperspectief daarin? Deelnemers uit de procesindustrie en de energiemarkt gingen met elkaar in gesprek aan de hand van praktijkvoorbeelden. Tijdens de eerste workshop is vooral de aanpak en vraagstelling rond het onderwerp industriële flexibilisering aan bod gekomen. Tijdens de tweede en derde sessie werden cases gepresenteerd vanuit de verschillende bedrijven, gevolgd door een discussie over de inzichten die deze inventarisatie opleverde. Tijdens de vierde sessie is er met de groep een aantal conclusies getrokken.

Waarom is industriële flexibiliteit nodig?

Nederland is bezig aan de energietransitie, de overgang naar een CO₂-neutraal energiesysteem. Concreet betekent dit dat Nederland in 2030 55% minder broeikasgassen (in CO₂-equivalent) moet uitstoten dan in 1990. In 2050 moet Nederland, volgens de EU klimaatwet en het voorliggende voorstel voor aanpassing van de Nederlandse klimaatwet, volledig klimaatneutraal zijn. De weg daarnaartoe loopt, behalve via besparing, herbenutting, eigen/alternatieve opwekking en opslag, grotendeels via elektrificatie. Ook voor de industrie komt de energietransitie in essentie neer op een elektrificatieslag. Die elektriciteit komt vooral van de variabele bronnen zon en wind. De ontwikkeling van windmolens zal zich voortaan meer richten op een zo hoog mogelijk aantal draaiuren dan op piekvermogen. Dit zal fluctuaties in het elektriciteitsaanbod niet kunnen voorkomen. Flexibiliteit in vraag en opslag zijn beide noodzakelijk.

Elektrificatie

De vraag naar elektriciteit zal volgens huidige inschattingen vanuit de Nederlandse sectoren groeien van 120 TWh nu naar 190-210 TWh in 2030. Daarvoor zijn er akkoorden, maar concreet beleid om dit te bereiken is er niet. Voor de langere termijn zijn de afgelopen jaren sterk uiteenlopende scenario's ontwikkeld. Daarin wordt een verdere groei van de elektriciteitsvraag verondersteld. De beelden voor 2050 variëren van 230 TWh tot aan 630 TWh. Groene waterstof zal ook met de elektriciteit uit zon en wind moeten worden geproduceerd. Nieuwe kerncentrales zijn een mogelijkheid in de elektriciteitsvraag te voorzien. Voor een relatief bescheiden aandeel kunnen ook andere duurzame bronnen bijdragen, zoals aardwarmte, warmte- en koudeopslag en zonnewarmte (via zonneboilers).

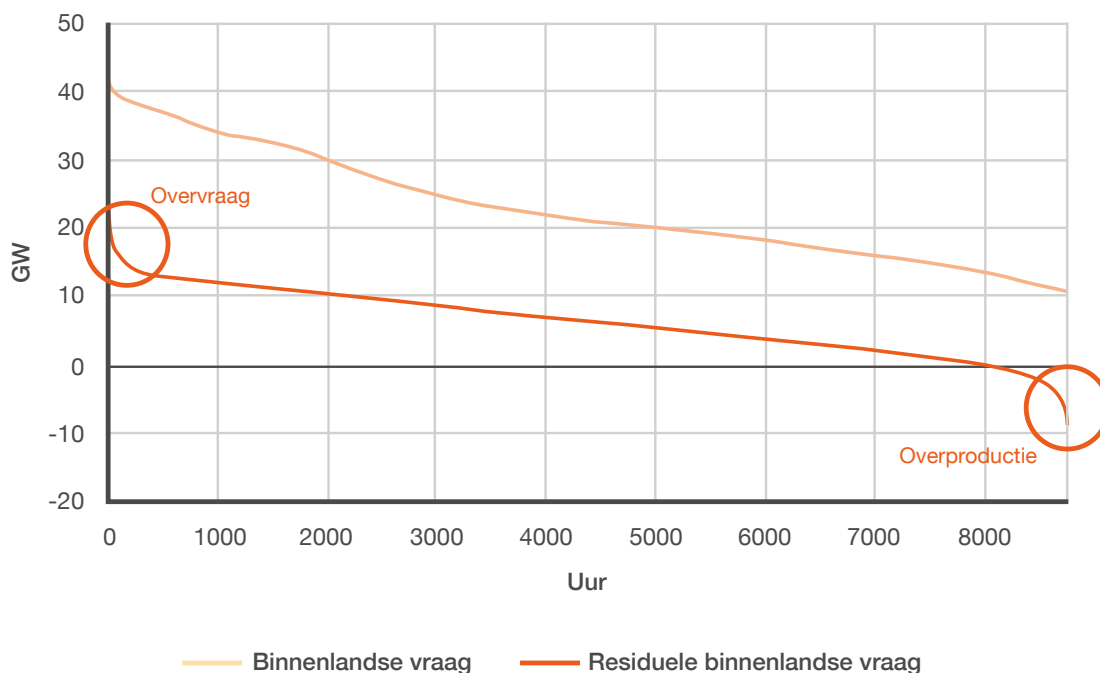
Het elektriciteitsnet zal vanwege de groei sterk moeten worden uitgebreid. In de praktijk kunnen de netbeheerders met de uitbreiding van hun netten de groei van de vraag niet bijbenen. Dat leidt nu al tot netcongestie. Die ontwikkeling vraagt om extra flexibiliteit.

Producenten, netbeheerders en afnemers moeten allemaal een deel van de problematiek voor hun rekening nemen. Daarbij zullen afnemers van elektriciteit, waaronder industriebedrijven, meer de productieprofielen moeten volgen. Voor veel industriebedrijven vergen elektrificatie en flexibilisering een fundamentele aanpassing van hun manier van werken. Zij kunnen op twee manieren meer flexibiliteit creëren. Dit kan ten eerste door het afschalen van de productie wanneer stroom schaars is. De tweede kant is het opschalen van de productie wanneer er een overaanbod van stroom is. Dit kan door het vergroten de productiecapaciteit en door het vullen van bijvoorbeeld (thermische) opslagen.

Variabel aanbod

Een overvol elektriciteitsnet en meer variatie in de hoeveelheid opgewekte elektriciteit uit zon en wind maken, dat grijze, windstille momenten steeds nadrukkelijker te merken zullen zijn in het elektriciteitsaanbod en dus in de elektriciteitsprijs.

De uitdaging in beeld



Figuur 1. Jaarduurkromme voor elektriciteitsvraag

De problematiek is goed te illustreren met een zogeheten jaarduurkromme. Een dergelijke grafiek geeft weer hoe tijdens het totaal aantal uren in een jaar vraag en aanbod zich tot elkaar verhouden. Het is interessant om deze kromme eens voor elektriciteit toe te passen. De lichte lijn geeft de vraag naar elektriciteit in Nederland in 2030 weer. Te zien is hoeveel uur een bepaald aanbod aan elektrisch vermogen aanbod nodig zal zijn om aan de vraag te voldoen. Het laagste elektriciteitsverbruik gedurende het jaar bedraagt zo'n 10 GW, het punt van de lichte lijn helemaal rechts. Links op de lijn staat de piekvraag: tijdens een gering aantal uren per jaar wordt een vermogen tot wel 40 GW gevraagd.

Op de elektriciteitsmarkt moeten vraag en aanbod in balans zijn. Om dit goed in beeld te krijgen, is de 'residuele vraag' een nuttige parameter. Dit is de vraag die overblijft als een bepaalde bron, bijvoorbeeld windenergie, wordt afgetrokken van de basisvraag. De oranje lijn geeft deze residuele vraag weer. Offshore windenergie levert elektriciteit op tijdens ruim de helft van de uren in een jaar. Wanneer we in 2030 zo'n 20 GW offshore wind en een aanzienlijk vermogen zonne-energie hebben staan, zullen deze bronnen een flink deel van de vraag invullen.

Aan de residuele vraag vallen twee zaken op. Eén: er komen momenten waarop alleen deze duurzame bronnen al volledig in de vraag voorzien. Op het punt waar de oranje lijn negatief wordt (rode cirkel rechts) ontstaat zelfs overproductie. Deze stroomproductie zal moeten worden afgeschakeld, opgeslagen of geëxporteerd om negatieve marktprijzen te voorkomen/benutten. Tweede opvallende fenomeen: op windstille, grijze dagen valt de productie van elektriciteit uit zon en wind vrijwel weg. Deze is in de rode cirkel links goed te zien, als de vraag piekt ten opzichte van het stroomaanbod. Het gaat om ongeveer 9 GW aan vermogen dat voor ongeveer 500 uur in het jaar tekortkomt. Dit is zowel een aanzienlijke hoeveelheid als een aanzienlijke totale duur. Het vertegenwoordigt een behoorlijke uitdaging, want deze vraag is moeilijk rendabel in te vullen. De momenten waarop dit optreedt en de duur van de perioden zullen bepalen tegen welke kosten de gebruiker deze uren kan overbruggen.

Extra opgave elektriciteitsvoorziening 2030, Sebastiaan Hers, Sander Blom, Bo de Wildt, Ricardo Hernandez Serna, TNO 2022 M10695.achtergrondnotitie-tno-extra-opgave-energievoorziening-2030.pdf



De noodzaak van flex

Dit pijnpunt maakt duidelijk waarom de gevolgen van de energietransitie en de keuzes die daarin worden gemaakt, vooral niet moeten worden onderschat. Als de vraag tijdens 'dunkelflaute' onvoldoende flexibel is, kan dit leiden tot black outs. Er is zelfs het risico dat deze in plaats van 'een calamiteit' een 'te accepteren risico' zullen worden. Om dat te voorkomen becijfert Netbeheer Nederland in de Integrale Infrastructuurstudie 2030-2050 (I13050) de totale behoefte aan back-upcapaciteit in het net in 2050 op 40 tot 100 GW. De marge hangt hier af van de omvang van de elektriciteitsimport. Het huidige, grotendeels fossiele, regelvermogen in Nederland bedraagt ongeveer 20 GW.

David Peters, CTO van de regionale netbeheerder Stedin, beschrijft de noodzaak voor industriële flexibiliteit in Chemie Magazine als volgt: "Nederland heeft vanouds een bescheiden elektriciteitsnet en een forse gasinfrastructuur. We zien door de huidige elektrificatie ons net rap vollopen. Bij piekbelasting kunnen we onvoldoende elektronen door het net krijgen. Als we die piek wat kunnen uitsmeren, kunnen we het elektriciteitsnet beter benutten en meer gebruikers aansluiten. We hebben industriële flexibilisering keihard nodig bij het balanceren van het elektriciteitsnet, het afstemmen van vraag en aanbod."

Duurzaam regelvermogen

Voor zowel bedrijven als energieproducenten is het gunstig als de industriële productie bij veel wind en zon op volle toeren draait. Andersom zou het prettig – en binnenkort mogelijk noodzakelijk – zijn als bedrijven bij een gering aanbod en veel vraag hun productie op een lager pitje zetten. Investeerders zullen alleen geïnteresseerd blijven in de aanleg van windparken, als het aantal uren met overvloedige elektriciteit en nauwelijks waarde zo laag mogelijk blijft. Netbeheerders hebben regelcapaciteit nodig. Ze mogen hier onder de huidige wet- en regelgeving zelf niet in investeren, omdat de productie- en transporttaken gescheiden zijn. Bedrijven willen tegen zo gunstig mogelijke energieprijzen produceren. Er is dus behoefte aan flexibiliteit in alle schakels in de waardeketen van elektriciteit. En waar behoefte is, ligt waarde.

Voor elektriciteitsproducenten ‘levert’ een bedrijf regelcapaciteit als het zijn proces of afschaalt. Vanuit het elektriciteitsnet gezien is industriële flex hetzelfde ‘product’ als het bijschakelen van een gascentrale. Het verschil is, dat de bij industriële flex ‘duurzame energie’ beschikbaar komt en bij de gascentrale niet. Ook het opschalen van de productie bij een overschot aan elektriciteit is een regelproduct.

Dit ‘regelproduct’ klinkt misschien als een makkelijker oplossing dan het is. Afschalen vergt op andere momenten produceren met extra capaciteit, met alle meerkosten van dien. En wat kan de industrie eigenlijk doen? Uit de werkgroep Power-to-Industry (P2I) opererend onder de klimaattafels Industrie en Energiesysteem kwam de concrete vraag naar voren hoe flexibel de industrie in de praktijk kan zijn. Wat is het ‘flexpotentieel’?

Verkennde inventarisatie

Deze white paper is een verkennende inventarisatie van het flexpotentieel. Welk percentage flexvermogen kunnen bedrijven leveren? En op welke tijdas kunnen ze schakelen – in maanden, dagen of minuten? Op welke termijn kunnen bedrijven flexvermogen realiseren? Welke productieprocessen zijn hiervoor geschikt? Welke technieken zijn voorhanden of moeten worden (uit)ontwikkeld om deze productieprocessen aan te passen? Tegen welke barrières lopen ze aan?

Dynamisch speelveld

De industrie zal die vragen moeten beantwoorden in een dynamisch speelveld. Onduidelijk is, hoe snel de netverzwaring de komende jaren zal gaan en met welke snelheid de geplande waterstofbackbone zal worden aangelegd. Zal daarvoor voldoende groene waterstof beschikbaar zijn? Hoe lang blijven – inmiddels vaak oude – fossiel gestookte centrales beschikbaar? Welk vermogen aan batterijcapaciteit komt er bij energiebedrijven voor netbalancing beschikbaar? Hoeveel nieuw vermogen voor stabiele basislast (constant vermogen) komt erbij en wanneer dan? Welke industriële activiteit kan worden opgezet met als doel om flex te creëren? Welke andere sectoren gaan flexcapaciteit leveren, zoals de tuinbouw, koel/vriesshuizen, de mobiliteitssector en de consumentenmarkt, en hoeveel zal zij bijdragen?

Basislast

Alle voorgaande vragen zijn facetten van een kernvraag rond flexibiliteit: wat is de basislast die wordt geleverd en welk percentage van het aanbod zal variabel zijn? Externe beslissingen hebben grote invloed op het antwoord. Deze kennis is voor industriebedrijven essentieel om hun flexcase te kunnen definiëren en aan concrete cases te kunnen rekenen. Zo lang er geen zekerheid is over de komst van twee nieuwe kerncentrales in Borssele in de komende tien jaar, draagt dit bij aan de onzekerheid.

Dit is maar één van de vele puzzelstukjes. De vraag welke flexcapaciteit een bedrijf **kan** leveren hangt nauw samen met de vraag welke flexcapaciteit ze **moet** leveren. Theoretisch kan er veel, maar de vraag is tegen welke prijs... en wat de prijs voor het niet leveren van flexvraag is.

Voorlopig blijft vooral zeker dat niets zeker is. In de woorden van David Peters van Stedin: “De realiteit is, dat ons energiesysteem voorlopig constant zal blijven veranderen en soms zelfs chaotische fasen zal doormaken.” Industriebedrijven staan voor de opgave de toekomst te optimaliseren op basis van de logica van vandaag.

VOORBEELDCASES

BEDRIJVEN MET EEN FLEXCAPACITEIT HOGER DAN 17%

Avebe

Voor de volle honderd procent

(Rense Boomsma)

Avebe is druk bezig met groene elektrificatie. Het heeft daarvoor met derde externe partijen zonneparken op en naast haar locaties en koopt GvO-certificaten van haar coöperatieleden. Flexibilisering door productbuffering is lastig als het plakkerige zetmeel het belangrijkste product is. Er is wel een afschakel-flexcase onderzocht voor de buffering van de non-food delen (case 1). De benodigde overcapaciteit voor het leegdraaien van de buffer is al beschikbaar gekomen door eerdere energiebesparingen.

Dit najaar is een e-boiler geïnstalleerd. Die was aantrekkelijk dankzij de beschikbare SDE subsidie en maakt een opschakelcase mogelijk (case 2). De overcapaciteit die dat oplevert, zou kunnen worden ingezet voor heetwateropslag. Bij Avebe maakt de e-boiler het mogelijk bij een netto gelijkblijvend energieverbruik 85% flex te bereiken ten opzichte van totale fabrieksverbruik. Bij extra verbruik van de e-boiler schaalde de warmtekrachtcentrale (wkc) terug.

Avebe is een netto energieproducent. Na uitfasering van de wkc over een jaar of tien wordt de flex zelfs nagenoeg 100%. Het regionale elektriciteitsnetwerk is daar klaar voor. Hobbels zijn er bijvoorbeeld in de vorm van het ETS. De business case wordt minder aantrekkelijk doordat er emissierechten verloren gaan.

Flexvermogen case 1 / case 2

geen opgave

Flexpercentage case 1 / case 2

13% / 85%

Tijdsverloop af-/opschakcase

< minuut voor 30-45 minuten / enkele minuten

TRL / wanneer beschikbaar 1 / 2

1: in onderzoek / 2 invoering loopt



Nyrstar, Budel • © Nyrstar

Nyrstar, Budel Plan voor uitbreiding flex ligt klaar

(Paul Hamers)

Zinkproducent Nyrstar in Budel is al sinds de energiecrisis in 2009 bezig met het realiseren van flexibele elektriciteitsafname voor de electrolyser-fase in het productieproces. Electrolysers lenen zich in principe voor flexen, maar dit geldt niet voor alle randapparatuur. Het proces moet bij een flexibele afname die op minutenbasis kan variëren, in de praktijk dertig tot veertig keer per dag een enorme opstoot in spanning aankunnen. Frequentieregelaars kunnen daar bijvoorbeeld niet standaard tegen.

Nyrstar levert flexvermogen aan TenneT. Het gaat om 27 MW omhoog en 27 MW omlaag op een totale electrolyser-capaciteit van 120 MW (hele fabriek 140 MW). Dit flexvermogen van 45% kan binnen enkele minuten worden geleverd. Nyrstar heeft al een plan voor uitbreiding van de flexcapaciteit klaarliggen.

De elektrolyse-capaciteit zou daarbij naar 215 MW gaan. In een realistisch scenario kan Nyrstar met die 'virtuele batterij' 75% flexvermogen leveren: 75 MW omhoog en 75 MW omlaag.

Die investering heeft met acht tot twaalf jaar een te lange terugverdientijd. Nyrstar kijkt daarom naar Den Haag voor een bijdrage, ook omdat er dan minder netverzwaring nodig is. Bij een positief besluit op korte termijn kan de extra flexcapaciteit begin 2027 zijn gerealiseerd.

Flexvermogen	27MW op, 27 MW af
Flexpercentage	45 %
Tijdsverloop op-/afschakelen	minuten
TRL / wanneer beschikbaar	nu, groei naar 75MW op / 75MW af (75%) per 2027 mogelijk

Nobian, Botlek

Gewend aan het leveren van flexibel vermogen

(Toine van de Lindeloof)

Nobian speelt als elektriciteits-grootverbruiker in de Botlek al jarenlang een rol in het balanceren van het net – en daarmee in industriële flexibiliteit. Aanvankelijk gebeurde dit in de vorm van het actief leveren van noodvermogen. Inmiddels levert Nobian als aanvulling daarop nu ook al enkele jaren passief regelvermogen. Bij onbalans in het net schakelen de electrolyzers in de chloorfabriek lager. Het totale vermogen is 200 MW. Daarvan is 20% flexibel: 20MW omlaag en 20MW omhoog. Opschakelen kan uiteraard alleen als de fabriek niet al maximaal draait. Het is een kwestie van afspraken maken, software draaien en er in de operatie rekening mee houden.

Industriële flexibiliteit werkt voor Nobian als een tweetrapsraket. De eerste trap is, onder andere op basis van de weersverwachting, afstemming met Vattenfall in een contract voor de afnameverwachting per uur voor de volgende dag. Gedurende de dag reageert Nobian vervolgens op afroep met biedingen per email om snel op de vraag naar regelvermogen in te spelen. Nobian is digitaal verbonden met Vattenfall. Als de bieding akkoord is, schakelt Vattenfall geautomatiseerd vermogen bij Nobian op- of af. De voorwaarde daarbij is wel dat veiligheidssignalen daarvoor op groen staan. In de organisatie is men inmiddels gewend aan de manier van werken. Nobian kent de patronen en speelt in zijn bedrijfsvoering in op de elektriciteitsprijs. Voor de toekomst wordt uitbreiding van het flexvermogen onderzocht.

Flexvermogen:	20MW op, 20 MW af
Flexpercentage:	20 %
tijdsverloop op-/afschakelen:	minuten
TRL / wanneer beschikbaar:	nu

Air Liquide, Moerdijk

Batterij uit vloeibare lucht

(Daan Mast)

Producent van industriële gassen Air Liquide heeft in het kader van zijn elektrificatie-roadmap ook het flexpotentieel onderzocht. Hierbij zijn zowel de bestaande mogelijkheden (brownfield) als nieuwe mogelijkheden (Greenfield) meegenomen. Een interessante case is daarbij levert een nieuw gerealiseerde luchtseparator in Moerdijk. In het conventionele proces van cryogene destillatie worden de CO2 en stof in een eerste stap uit de lucht gefilterd. Vervolgens vindt scheiding van zuurstofgas, stikstofgas en argon plaats door het verschil in kookpunt te benutten in destillatie naar de verschillende fracties. Dit gebeurt bij -173 graden Celsius. Het afscheiden van argon vergt nog een extra stap. Het proces maakt gebruik van een booster luchtcompressor, waarbij de vrijkomende warmte wordt hergebruikt voor verdamping. Dit maakt het een geïntegreerd proces met een stabiel energieverbruik. Air Liquide heeft voor flexibilisering van dit proces in de nieuwe luchtseparator de zuurstof-kant grondig aangepast. Toevoeging van een vloeibare zuurstofopslag en een overgedimensioneerde Hoofd Luchtcompressor (Main Air Compressor) maakt het mogelijk veel zuurstof te produceren wanneer de elektriciteit goedkoop is. Door dit (deels) op te slaan en pas te laten expanderen tot gas wanneer de elektriciteit kostbaar is, spaart dit op dat moment energie in de Hoofd Luchtcompressor. Deze 'vloeibare lucht batterij' levert ongeveer 6 MW flexvermogen op een totaal van 35MW, 17 à 18% flex. Air Liquide verwacht een gezonde business case als het variabel aanbod aan groene elektriciteit groeit zoals verwacht.

Flexvermogen theoretisch / realistisch:	6MW
Flexpercentage realistisch / streven:	~ 17 à 18%
Tijdsverloop op-/afschakelen:	uren
TRL / wanneer beschikbaar:	operationeel



Tata Steel, IJmuiden

Tata Steel, IJmuiden

Mogelijkheden in complexe energie-infrastructuur

(Frank de Groot, Bert van Hooff)

Staalproducent Tata Steel in IJmuiden heeft een complexe energie-infrastructuur. Daarin spelen zowel kolen, aardgas, stoom als elektriciteit een rol. Het bedrijf heeft een overgang naar groene waterstof in het verschiet. In deze flexcase gaat het om de huidige situatie. Voor elektriciteit levert Tata Steel productiegassen aan de centrales van Vattenfall voor de opwekking van ca. 350 MW. Mogelijkheden voor flex liggen vooral in het bufferen van hoogovengas (175.000 m³), schakelen tussen centrales, het aan/uit schakelen gas expansie turbines (20 MW), de vervanging van elektriciteit door stoom (10 MW) en de inzet van oorspronkelijk voor redundantie geplaatste dieselmotoren (3 MW) voor de aandrijving van pompen en appendages.

Flexvermogen:

Flexpercentage:

Tijdsverloop op-/afschakelen:

TRL / wanneer beschikbaar:

Hoog, grotendeels in gasbuffers en schakelmogelijkheden bij de centrales niet openbaar

minuten

redelijk snel realiseerbaar

Microbiële Electrosynthese installatie Het greenfield perspectief

(Mar Perez-Fortes)

Aan de TU Delft is als flexcase een biobased elektrochemisch proces ontwikkeld voor de productie van 10.000 tot capronzuur (hexaanzuur) per jaar. De productie vindt plaats door microben in een proces onder 30 graden Celsius. De bacteriën consumeren CO₂ en water. De winning van het product gebeurt met twee vloeistof-vloeistof extractiestappen. Het ontwerp gaat uit van de benutting van utilities in de haven van Rotterdam. Voor de energievoorziening is aan verschillende mogelijkheden gerekend: wind- (+zonne-energie), met of zonder batterij-opslag. Volgens de berekeningen levert batterij-opslag voor dit proces beperkte voordelen op tegen een hoge extra investering; buffering van het product vòòr de extractie lijkt een betere oplossing. Het hart van het proces, de microbiële electrosynthese, is 100% flexibel. De productie bacteriën vormen daarbij geen belemmering. In welke mate de vloeistof-vloeistofscheiding te flexibiliseren valt, is in dit stadium nog niet duidelijk. Met gemiddelde voorziene productiekosten van € 3.600 per ton kan de productie concurrerend plaatsvinden.

Flexvermogen:	8MW
Flexpercentage:	100%
tijdsverloop op-/afschakelen:	minutes
TRL:	TRL 3/4

DE MIDDENCATEGORIE, VAN 7,5 TOT 17% FLEXCAPACITEIT

Cosun Beet Company, Dinteloord **Veel parameters om mee te rekenen**

(Marc van Dijk)

Cosun Beet Company (CBC) heeft in Nederland twee suikerfabrieken en heeft de flexmogelijkheden voor die in Dinteloord in kaart gebracht. Een belangrijk kenmerk van Cosun is dat het een 'campagnebedrijf' is. De fabriek is alleen tijdens de bietencampagne (van half september tot half januari) en tijdens een diksapcampagne (ongeveer veertig dagen in april/mei) in gebruik. Tijdens de diksapcampagne wordt een deel van het tussenproduct diksap, dat tijdens de bietcampagne is geproduceerd, verder verwerkt tot witsuiker. Voor de eigen energieopwekking heeft CBC Dinteloord twee stoomketels en stoomturbines. Er wordt nu over het algemeen net iets meer elektriciteit geproduceerd dan nodig en deze wordt geleverd aan het elektriciteitsnet. Daarnaast heeft CBC Dinteloord een vergistingsinstallatie die biogas uit reststromen oplevert.

Flexibiliteit in de stroomvraag van het net zou geboden kunnen worden door de stoomturbines meer of minder te belasten. Daarnaast kan afschakeling van de thermocompressie in de verdamping meer elektriciteitsproductie en levering aan het net opleveren.

De primaire focus ligt op energiereductie. Zo heeft CBC Dinteloord plannen om het energieverbruik door inzet van warmtepompen sterk te reduceren. Mede doordat hiervoor de elektriciteitsaansluiting wordt vergroot, biedt dit mogelijkheden voor verdere flexibilisering van de elektriciteitsvraag.

Daarnaast zijn er plannen voor het vergroten van de vergistingsinstallatie en voor de aanleg van zonneparken. Een andere mogelijk flexibiliseringsoptie is een E-boiler (eventueel in combinatie met warmte-opslag).

Voor het bedrijf is ook het enigszins verlengen van de diksapcampagnetijd tot op zekere hoogte een optie. Daarmee spelen er bij Cosun zeer veel parameters, variërend van het in tijd verschuiven van de productie op meerdere tijdschalen tot aan het leveren van overcapaciteit aan eigen elektriciteit aan het net. Bij de keuzes is de business case doorslaggevend voor investeringen in de flexibiliteitsopties.

Flexvermogen:

Flexpercentage:

Tijdsverloop op-/afschakelen:

TRL / wanneer beschikbaar:

Nu: + 6 MWe/-3 MW; 2030: ±20 MW

n.v.t.

minuten

grotendeels bestaande technologieën, uitbreiding

E-connectie en investering energie-efficiency voor 2030

De papierindustrie Reduceren of flexibiliseren?

(Maurice van den Broek)

De papierindustrie kent een continuproces met een belangrijke focus op ontwateren en drogen. Uit de waterige massa moet de ongeveer 1% droge stof uit papierpulp tot 90% droge stof in papier worden gebracht. Dit gebeurt door eerst te persen en daarna te drogen met behulp van stoomverhitte walsen. 85% van het totale energiegebruik wordt ingezet voor het verwijderen van water.

Een typische papiermachine is zeventig tot tachtig meter lang. De machines zijn robuust en sommige functioneren sinds de jaren vijftig nog steeds naar behoren.

Het energieverbruik van de papierindustrie is afgelopen jaren significant verminderd door die machines ingrijpend aan te passen. Natuurlijk blijft verdere energiebesparing urgent voor het reduceren van CO₂ en van de kosten. Een interessante mogelijkheid voor het verder besparen van energie is warmteterugwinning met behulp van warmtepompen. Hierbij is het toepassen van een goed functionerende droogkap essentieel. Hiermee kan een verdere forse CO₂-reductie worden bereikt binnen een aantrekkelijke terugverdiensijd.

Een andere kans voor de papierindustrie ligt in flexibiliseren. Dit is mogelijk door de toepassing van gesubsidieerde e-boilers voor het opwekken van stoom, naast bestaande methoden van stoomketels, al dan niet gecombineerd met WKK. Dit maakt schakelen tussen elektriciteit en vormen van gas mogelijk. In 2023 gaat de branche de mogelijkheden voor flexibilisering binnen de papierindustrie verder onderzoeken.

Flexvermogen:	niet concreet
Flexpercentage:	niet concreet
Tijdsverloop op-/afschakelen:	minuten tot seizoensbasis
TRL / wanneer beschikbaar:	bestaande technologieën

BEDRIJVEN MET EEN LAGE FLEXCAPACITEIT TOT 7,5%



Chemelot / Utility Support Group, Sittard Geleen

Ontworpen op baseload

(Sonny Schepers)

Chemelot kent een Gesloten Distributie Systeem (GDS). Ongeveer zestig bedrijven zijn qua energie- en grondstofstromen geoptimaliseerd met elkaar verbonden om zo efficiënt mogelijk om te gaan met energie en grondstoffen, die momenteel hoofdzakelijk een fossiele basis hebben. De chemische processen zijn vrijwel allemaal ontworpen op basis van een stabiele baseload bedrijfsvoering. Dit betekent dat de mogelijkheden voor industriële flexibilisering in de bestaande chemische fabrieken beperkt zijn. Op het gebied van elektriciteit is er een hoogspanningsaansluiting van TenneT, waarover 250 MW per jaar wordt afgenomen. De elektrificatie zorgt ervoor dat dit in 2050 zal zijn toegenomen met een factor 3 tot 7.

Er is in de huidige situatie met de huidige assets geen logische mogelijkheid voor industriële flexibilisering. Kortstondig afregelen van processen levert weinig reductie van elektriciteit op, gaat gepaard met hoge kosten (operationeel en productderving) en verhoogt veiligheidsrisico's. Theoretisch is er iets met hybride aandrijving (stoom/elektriciteit) van compressoren te doen. Dit zou een flexvermogen van ter grootte van tientallen MW-en kunnen opleveren. In 2023 wordt een E-boiler gerealiseerd die 22 MW aan flexvermogen (opregelend) geeft. Verder biedt de site via een aggregator al een noodluchtcompressor van 2 MWe als afregelend noodvermogen aan. USG onderzoekt ook de haalbaarheid van een industriële batterij (25 MW/100 MWh) op Chemelot. Grootschalige flexibiliteit zal pas op langere termijn beschikbaar komen in nieuw te realiseren chemische processen en utility-installaties.

Flexvermogen realistisch / theoretisch

Flexpercentage realistisch / streven:

Op-/afschakelen realistische case:

TRL / wanneer beschikbaar:

25 MW / tientallen MW's

~ 10 % (opregelend) / > 10% (opregelend & afregelend)

minuten (e-boiler + noodluchtcompressor)

eerste projecten beschikbaar (2 MW) of snel

beschikbaar (22 MW - 2023). Overige projecten niet

in de komende 2 à 3 jaar.

Shell Energy and Chemicals Park Rotterdam

Huidige geoptimaliseerde en efficiënte configuratie geeft belemmeringen voor flexen, wellicht toekomstig potentieel

(Arjan Vromans)

Net als Chemelot is er op het Shell Energy and Chemicals Park Rotterdam een geïntegreerd systeem, ontworpen op maximale benutting van de baseload. Het tijdelijk stil leggen van het primaire proces is niet aan de orde. Dit duurt een week en levert behalve risico verder niets op. Er zit wat flexpotentieel rond de Combined Heat and Power gasturbines, maar deze is lastig te benutten gezien de verregaande integratie en optimalisatie van de elektriciteits- en stoomproductie. In het algemeen staan complexiteit, risico's, onderhoudskosten en de investeringskosten voor overdimensionering rationele flexcases in de weg. In de praktijk is het flexpotentieel nu dan ook nog gering. Er wordt gestudeerd naar het potentieel van flexibele hybride e-boilers in combinatie met de Combined Heat and Power gasturbines op het Shell Energy and Chemicals Park Rotterdam waar we significant potentieel verwachten, mits toekomstige transporttarieven en subsidie regelingen dit economisch haalbaar maken. Hiervoor is tevens verzwaaring of een meer dynamisch gebruik van het TenneT elektriciteitsnetwerk nodig.

Flexvermogen realistisch:	gering
Flexpercentage realistisch:	gering
tijdsverloop op-/afschakelen:	uren
TRL / wanneer beschikbaar:	Flexibele e-boilers beschikbaar

*'INDUSTRIËLE FLEXIBILITEIT IS
GEEN BONUS, MAAR NOODZAAK'*



OBSERVATIES

Het lijkt erop, dat een hoog huidig flexpotentieel bij bedrijven vooral gerealiseerd is bij bedrijven waar elektriciteit een groot aandeel van de totale productiekosten uitmaakt.

Energiebesparing en flexpotentieel

Daarnaast geldt, dat bedrijven soms een afweging moeten maken tussen het nemen van efficiëntieverhogende maatregelen en een hoog flexpotentieel. Energiebesparing verdient daarbij normaal gesproken de voorkeur. Reductie betekent een structurele besparing op de kosten voor verzwaring van het elektriciteitsnet, op de opwekking en opslag.

De prioritering bij de aanpak van het energievraagstuk: eerst reductie, dan hergebruik, vervolgens komen duurzame opwekking, en dan flexibilisering eventueel aangevuld met opslag. Het gaat erom dat er een goede balans tussen deze thema's komt, die allemaal hard nodig zijn. Daarbij heeft het tijdelijk verlagen van de elektriciteitsconsumptie (afschalen) een hogere waarde voor de stabiliteit van het elektriciteitssysteem dan het afnemen van overtollig geproduceerde hernieuwbare energie voor extra productie (opschalen). Flexibiliseren door afschalen kan namelijk kostbare en onregelende black outs voorkomen.

Energiebesparing verdient altijd voorrang boven flexpotentieel, maar voor het beschouwen van het totale potentiële flexpotentieel is het goed om je te realiseren dat reductie tot minder flex leidt. Verder is voor een groot deel van de procesindustrie technologie in ontwikkeling die nog moet opschalen. Daardoor is niet nu al duidelijk wat de beste methode voor elektrificatie is en wanneer deze methode beschikbaar komt. Deze dynamiek maakt het extra lastig om een uitspraak te doen over welke mate van industriële flexibilisering haalbaar is.

Onzekerheden blijven

De industrie kampt met veel onzekerheden die het rekenen aan flexcases bemoeilijken. Andersom kan de procesindustrie weinig zekerheid over haar flexcapaciteit geven. Belangrijke vragen liggen er rond de mogelijkheden om in de keten op te vangen en de hoeveelheid flex die er van de industrie gevraagd gaat worden. Elektrificatie gaat gepaard met aanvullende efficiëntieverhogende technologie met bijvoorbeeld membranen en warmtepompen een multiplier-effect kan hebben. Hoeverre die situatie flexibiliteit toelaat is de vraag. Alle partijen in het energiesysteem zullen uiteindelijk gezamenlijk richting meer zekerheden over het toekomstig energiesysteem moeten komen.

Nieuwe industriële activiteit

Naast flexibilisering in bestaande industriebedrijven is nieuwe industriële activiteit een mogelijkheid, bijvoorbeeld lokale schrootsmelterijen die overal in Nederland bij een overtollig aanbod aan stroom snel aan uit te schakelen zijn.

Greenfield / Brownfield

Bij de investering in nieuwe kapitaalgoederen zal vrijwel elke procesindustrie vanaf nu rekening houden met de mogelijkheid van industriële flexibiliteit. In een greenfield-situatie zal er over het algemeen een hoger percentage flexibiliteit mogelijk zijn, maar ook in bestaande situaties is er soms met meer of minder geringe aanpassingen veel mogelijk.

Subsidies

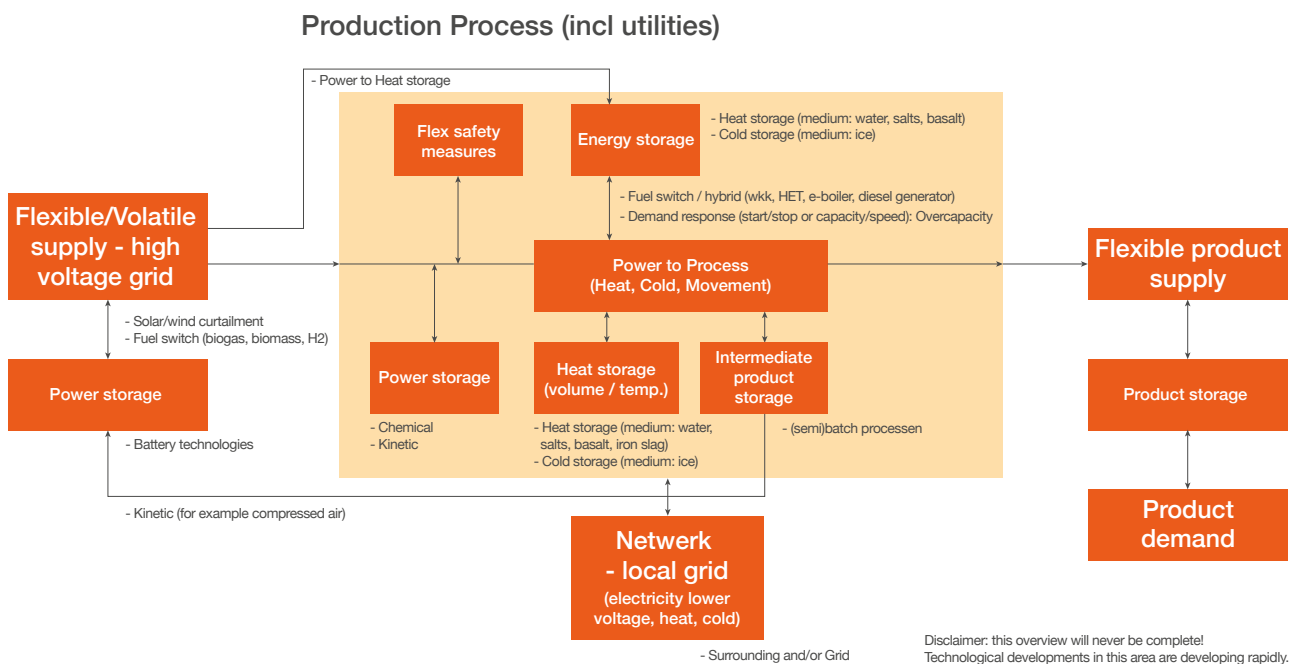
Bij de afweging tussen energiebesparing of flexibilisering introduceren subsidies in de vorm van ‘onrendabele top’-vergoedingen voor een vooraf geselecteerde categorie apparaten een vertroebeling van de discussie. De subsidie kan de keuze naar een bepaald type apparaat laten doorslaan, terwijl dit vanuit het oogpunt voor de toekomst en de kosten in de hele keten niet altijd de optimale keuze is.

Bovendien is het goed te overwegen of subsidies een oplossing vormen voor de ‘hybride periode’ tot 2030, waarbij gas en elektriciteit naast elkaar bestaan, of dat ze ook bijdragen aan de oplossing voor de periode daarna, met verdergaande electrificatie en waterstof. Een factor om mee te nemen is, of de apparaten die worden gesubsidieerd een wissel op de netverzwaren – een bottleneck is in de energietransitie – of dat ze vooral bijdragen aan flexibilisering op de korte en lange termijn.

Relatie tot het net

In het algemeen geldt, dat flexibilisering onbalans tussen vraag en aanbod in tijd oplost, maar kan leiden tot extra transportproblemen tussen de locatie van aanbod en de flexibele vraag. Die grootheden dienen in combinatie worden beschouwd. Er bestaat een risico dat bedrijven (willen) investeren in elektrificatie in combinatie met industriële flexibilisering, maar dat het elektriciteitsnet in hun regio daar nog niet klaar voor is. TenneT geeft aan, dat de nieuwe ambities voor wind op zee zijn haalbaar, mits er in de industriële clusters waar de elektriciteit aanlandt ook flexmogelijkheden ontwikkeld worden. Om zowel de netverzwaren als de industriële flex zo (kosten)effectief mogelijk aan te pakken, is een aanpak op maat verstandig. Richt de ontwikkeling van oplossingen op de regio’s waar het probleem het grootst is.

Schematisch overzicht van de flexmogelijkheden uit de workshops



Figuur 2. Elektrische flexibiliteit in industriële processen

CONCLUSIES

Onzekerheid

De energietransitie is in volle gang. Dit confronteert de industrie met veel onzekerheden. Permanente beschikbaarheid van elektriciteit is bijvoorbeeld geen zekerheid meer. Dat maakt industriële flexibiliteit geen bonus, maar noodzaak. Bedrijven moeten dit zien te realiseren op een manier waarop energie-efficiëntie, productie-efficiëntie, minimalisering van de uitstoot en de laagste maatschappelijke kosten met elkaar in lijn zijn.

Periodisering

Daarbij komt kijken, dat de eisen aan het energiesysteem tijdens de hybride overgangperiode op korte termijn, tot ongeveer 2030, afwijken van de verdergaand geëlektrificeerde periode daarna. Voor 2030 kan het gunstig zijn om bijvoorbeeld een elektrische boiler (e-boiler) naast een gasboiler op te stellen, om zo op basis van prijs de 'fuel switch' van gas naar elektriciteit te kunnen maken. Daarmee kan een bedrijf het aardgasverbruik en bijbehorende CO₂-emissies verminderen. Voor de lange termijn is deze hybride warmteproductie alleen zinvol zijn als bijvoorbeeld groen gas (van biologische oorsprong), waterstof of opslag van elektriciteit het aardgas kunnen vervangen.

Het is de vraag of een dergelijk hybride systeem de optimale keuze is in een volledig duurzaam elektriciteitssysteem. Flexibiliteit staat namelijk op gespannen voet met efficiencymaatregelen zoals het gebruik van bijvoorbeeld een warmtepomp. Deze dringt door zijn hoge efficiëntie de elektriciteitsvraag en daarmee zelfs bij grijze stroom de CO₂-uitstoot sterk terug. Dit soort overwegingen maakt het lastiger om de investeringsplannen voor de kortere termijn in lijn te krijgen met eisen voor de lange termijn.

Driedeling

Er valt te discussiëren over een indeling en het percentage flexibiliteit waar de grenzen liggen, maar er is iets te zeggen voor een driedeling: hoog, midden en laag flexpotentieel. Daarbij komt het volgende beeld naar voren:

Hoog flexpotentieel

Bedrijven met grootschalige elektrochemische processen zijn nu al grootgebruikers van elektriciteit. Ze kunnen theoretisch – en vaak ook in de praktijk – op korte termijn tussen 20-80% flexibiliteit leveren. Voorbeelden zijn de elektrolyse van chloor en zink, zoals Nobian en Nyrstar die in de praktijk brengen. Vanwege hun hoge elektriciteitsverbruik werken ze al jaren aan flexibiliseren en brengen ze dit ook al in de praktijk wanneer marktprikkels daar kansen voor bieden. Min of meer hetzelfde geldt voor een bedrijf als Air Liquide dat vloeibare gassen produceert en daarbij een groot elektriciteitsgebruik heeft. In al deze situaties levert het inbouwen van een buffer gecombineerd met overdimensionering in het primaire proces een flinke 'batterijcapaciteit'. Dit gebeurt door terug te schakelen bij lage groene stroomproductie. Er hoeft dan geen of minder 'grijs' back-up vermogen bijgeschakeld te worden. Alle bedrijven met hoge flexpercentages hebben al praktijktoepassingen. Daarnaast kunnen (bio) WKK-installaties al dan niet in combinatie met e-boilers significante flexibiliteit leveren. Een bedrijf dat veel technieken in combinatie toepast, zoals Avebe, kan tot honderd procent flexibiliteit komen.

Middelgroot flexpotentieel

Heel uiteenlopende bedrijven met een waaier aan verschillende flexmogelijkheden vormen de middencategorie. Wat opvalt is, dat ze zelden met één technologie meteen een grote slag slaan. Pas het in combinatie toepassen van verschillende flexmogelijkheden kan uiteindelijk tot een substantieel percentage flex leiden. Dat maakt het niet makkelijk om bij de vele onzekere parameters duidelijk favoriete keuzes te onderscheiden. Bovendien blijven mogelijkheden tot reductie – die er vaak ook zijn – prevaleren boven mogelijkheden tot flexibiliseren.

Laag flexpotentieel

De derde categorie, met geringe flexmogelijkheden, omvat vooral de grote (petro)chemische complexen voor raffinage, bulkchemie. Fossiele brandstof is de belangrijkste energiebron in deze processen, de elektriciteitsvraag is relatief gering. Deze processen zijn volledig geïntegreerd ontworpen en vervolgens uitgeoptimaliseerd op een stabiele baseload. Dat zorgt er in het huidige proces- en site-ontwerp haast per definitie voor, dat hoge percentages flexibilisering niet haalbaar zijn in het primaire proces- en zeker niet op relatief korte termijn. Eventuele flexibiliteit kan gecreëerd worden in de stoomopwekking door toepassing van e-boilers in combinatie met gasgestookte ketels.

Een toekomstig, hernieuwbaar energiesysteem op basis van zon en wind vraagt grootschalige ombouw van het productieproces, waarbij ook aandacht naar flex-opties zou moeten uitgaan.

Dergelijke nieuwe processen, zoals het elektrisch verwarmen van kraakfornuizen, zijn in ontwikkeling en worden mogelijk de komende tien jaar geïntroduceerd. Daarmee gaat de volledige energiebalans van zo'n site op de schop. Deze transitie vergt zodanig veel groene energie, dat de realisatie sterk zal afhangen van de uitbouw van de productie van groene stroom richting 2050.

Kwantificering mogelijk?

De inventarisatie maakt duidelijk, dat er op dit moment al veel industriële flexibiliteit mogelijk is. Verschillende bedrijven hebben al operationele flex-cases, of staan op het punt deze te starten. Voor sommige bedrijven is het leveren van verschillende 'producten' op het gebied van netstabiliteit, van noodvermogen of regelvermogen tot zelfs levering van elektriciteit aan het net al praktisch. Dat zal voor steeds meer bedrijven in de procesindustrie gaan gelden. Toch moet het echte implementeren en uitrollen op brede schaal nog starten.

Bij de bedrijven die cases overwegen, gaat het om bewezen technologieën die relatief snel kunnen worden ingevoerd. Uit de cases is het verder moeilijk om een algemene conclusies te trekken of om cijfer te verbinden aan 'het flexpotentieel' binnen 'de procesindustrie'. De cases variëren van rond een procent tot honderd procent industriële flexibiliteit. Er is in dit stadium van inventarisatie dus geen gemiddeld flexpotentieel aan te geven of aan te geven voor welk tijdsinterval of duur van het jaar dat in het algemeen zou kunnen gelden.

Niet makkelijk en goedkoop

Makkelijk en goedkoop wordt het niet. Flexibilisering vraagt om investeringen in overcapaciteit, die vervolgens maar een deel van de tijd wordt benut. Dat geldt op verschillende plaatsen in de waardeketen: overdimensionering van primaire productiecapaciteit, buffercapaciteit voor producten en buffercapaciteit van energiedragers (in bijvoorbeeld batterijen of warmte-opslag).

Niet overall ter wereld gaat de energietransitie even snel. Daar waar op fossiele basislast gedreven industrie nog niet dezelfde druk voelt om te verduurzamen als in West Europa, liggen 'investeringen in tijdelijke stilstand' nog niet op de tekentafel. Dit komt wel, maar hoe kan tijdens de transitie de internationale concurrentiekracht van nieuwe, toekomstbestendige waardeketens gewaarborgd worden? Vraag is, of het Europese Carbon Border Adjustment Mechanism de industrie in Europa voldoende aantrekkelijk kan houden.

AANBEVELINGEN



Voor industriebedrijven

De industrie gaat grootschalig elektrificeren. De juiste prioritering is daarbij: reductie, hergebruik, duurzame opwekking, flexibilisering en dan opslag. Minimaliseren van het energieverbruik leidt tot lagere netbelasting. Het creëren van flexibiliteit kan door zover mogelijk afregelen tijdens tekorten aan wind- en zonne-energie en opregelen bij overschotten aan elektriciteit.



Voor overheden

Ontwikkel actief en sturend, op basis van inventarisatie, de oplossing op de locatie waar het probleem het meest nijpend is. Dat maakt het mogelijk de ergste knelpunten het eerst op te lossen en beschikbare middelen het meest doeltreffend in te zetten.

Voor overheden

Integrale afwegingen tussen kosten en baten zijn nodig voor robuuste oplossingen. De beste oplossingen voor totale emissiereductie en/of laagste maatschappelijke kosten voor het energiesysteem vragen om een zorgvuldig ontwerp van de waardeketen. Daarbij kunnen subsidies en andere incentives voor specifieke technologische oplossingen zowel het gewenste effect als averechtse effecten hebben.

Voor overheden

Neem de totale complexiteit van het onderwerp in ogenschouw. Meer zekerheid over de baseload kan meer zekerheid over de industriële flexcapaciteit opleveren. Het is nuttig voor alle betrokken partijen om te weten hoe groot de onzekerheid is. Dat geeft bijvoorbeeld meer houvast over netverzwaring. De markt kan onzekerheid niet oplossen, door regie wordt het mogelijk doelgericht toe te werken naar minder onzekerheid. Ook kan regie inzetten op effectieve en efficiënte inzet van middelen.

Voor overheden

Omdat een steeds nauwkeuriger afstemming van vraag en aanbod van flexvermogen nodig is, gaat de hele energieketen bij voorkeur samenwerken aan end-to-end businesscases waarin flexibiliteit een centrale rol speelt. De belangen binnen de waardeketen moeten daarbij goed worden uitgelijnd. Ook is een goede afstemming tussen de groei van duurzame elektriciteitsproductie, het transport van elektriciteit en de elektriciteitsvraag nodig. Dit geldt voor de industrieën verspreid door het land, voor individuele cases bij grote bedrijven, voor de transitie van complete clusters en voor geïntegreerde sites.

Een impact-matrix kan de maatschappelijke kosten (uitbreiding van het net) matchen met de private kosten (voor flexibiliseringsmaatregelen).



Voor bedrijven

Neem in een impact matrix een ranking op van de kosten voor flexibiliseringsmaatregelen, gerelateerd aan hun opbrengst om de laagste kosten voor maximale CO₂-reductie vast te stellen.

VERDER LEZEN

Routekaart Elektrificatie

www.topsectorenergie.nl/nieuws/routekaart-elektrificatie-laait-de-grote-potentie-van-elektriciteit-voor-de-industrie-zien

Alles uit de kast - Eindrapportage werkgroep extra opgave

Rapport | 22-04-2022, Een verkenning naar de opgaven voor het Nederlandse elektriciteitssysteem van 2030.
www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/04/22/rapport-alles-uit-de-kast-eindrapportage-werkgroep-extra-opgave

Extra opgave elektriciteitsvoorziening 2030

Sebastiaan Hers, Sander Blom, Bo de Wildt, Ricardo Hernandez Serna, TNO 2022 M10695.
[achtergrondnotitie-tno-extra-opgave-elektriciteitsvoorziening-2030.pdf](#)

Colofon

Deze whitepaper is samengesteld door Leendert van der Ent (Bureau Lorient Communicatie BV) in opdracht van TKI Energie en Industrie | Topsector Energie (TKI E&I). De Whitepaper geeft de weerslag van een serie workshops die door TKI E&I georganiseerd waren in samenwerking met de werkgroep Power-to-Industry om zicht te krijgen op industriële flexibiliteit. De publicatie is tot stand gekomen onder redactie van Andreas ten Cate (TKI E&I, ISPT) en Liesbeth Looman (TKI E&I, ISPT) en met medewerking van Maurice van den Broek (ISPT), Tessa Hermens (NVDE) en Sebastiaan Hers (TNO). Bijdragen voor de case studies zijn geleverd door Rense Boomsma, Maurice van den Broek, André Craens (NWEA), Marc van Dijk, Frank de Groot, Tessa Hermens, Daan van Hameren (Orsted), Paul Hamers, Sebastiaan Hers, Bert van Hooff, Sikke Klein (Nobian, TUDelft), Daan Mast, Mar Perez, Sonny Schepers en Arjan Vromans.

© TKI Energie en Industrie, 2022



WWW.TKI-EI.NL



TKI ENERGIE EN INDUSTRIE
Topsector Energie