

WP 2: SCENARIO-ANALYSE: TECHNISCHE BESCHRIJVING

FLEXIBILITEITSMEECHANISMEN, RESERVECAPACITEIT EN NETSTABILISATIE

DELIVERABLE D2.4

DATUM: 30/08/17

IWT-PROJECT: IWT 150411 - 2015/6094 – ADBR/KW – TransBio

AUTEURS: GWEN WILLEGHEMS, JEROEN BUYSSE, UNIVERSITEIT GENT

BRAM DE KEULENAERE, BIOGAS-E VZW

**AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN**



Vlaanderen
is ondernemen

Vlaams innovatiesamenwerkingsverband (VIS)-traject
gecofinancierd door het agentschap voor Innoveren
en ondernemen (VLAIO)

Project website: <http://www.TransBio.be>

DISCLAIMER

De verantwoordelijkheid voor de inhoud van dit document ligt volledig bij de auteur. Het reflecteert niet noodzakelijk de mening van het agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie (IWT). De auteur nog het IWT kunnen aansprakelijk gesteld worden voor het gebruik door derden van de informatie in dit document.

TRANSBIO

Ondanks zijn sterk toegevoegde economische waarde heeft biogas als basistechnologie toch te kampen met een intrinsiek hoge investerings- en operatiekost en blijft het als hernieuwbare energietechnologie voor een groot deel afhankelijk van financiële ondersteuning. Het spreekt voor zich dat alle betrokkenen, overheden en energiepartners, steunkaders graag tot een minimum wensen te beperken terwijl de biogasproducenten zelf streven naar meer zelfstandigheid, robuuste businessmodellen en dus minder steunafhankelijkheid.

TransBio wil inzetten op een verdere optimalisatie van het basis bedrijfsmodel door in te zetten op de basiswaarden waaruit de sector initieel is gegroeid: kennis en innovatie. In kader van dit project wordt ingezet op: (1) verminderde kost voor grondstoffen door supply chains voor huidig onbenutte biomassastromen verder te ontwikkelen (bermgras, beheermaaisels, GFT, oogstresidu's, alternatieve teelten), (2) verhoogde inkomsten uit geproduceerde stroom door meer intelligent in te zetten op intra-day variatie in stroomprijzen en de inzet van biogasinstallaties als "balansregelaars" die kunnen bufferen voor meer grillige energieproductievormen (zoals wind- en zon-energie), (3) diversificatie van de markt door opwerking van biogas naar biomethaan en vervolgens handel als groene brandstof, (4) recuperatie en opwerking van minerale constituenten tot hoogwaardige minerale bemesters (N/P/K) die kunnen fungeren als kunstmestvervangers.

INHOUDSOPGAVE

Disclaimer	i
TransBio	i
Lijst met afkortingen	iii
Samenvatting	1
Technische beschrijving innovatieve marktmodellen	1
Inleiding	1
Marktoverzicht	1
Continuous intra-day trade market	2
Day-ahead market	2
Forward en Future markt.....	2
Balancing market	3
Potentieel voor de biogassector	3
Marktstrategieën	3
Flexibiliteit.....	3
Capaciteit warmtekrachtkoppeling versus biogasproductie	6
Toekomst van elektriciteitsprijzen	8
Inputprijzen en evolutie inputprijzen.....	13
Steunmechanismen	14
Situatie, prijs en toekomst Groene Stroomcertificaten	15
Andere types steunmechanismen	16
Conclusie en volgende stappen voor economische analyse	16
Referenties.....	17

LIJST MET AFKORTINGEN

AV	Anaerobe vergisting
Bf	Banding factor
CIM	Continuous intra-day trade markt
DAM	Day-ahead markt
EEX	Europese Energy Exchange
GSC	Groenestroomcertificaten
HE	Hernieuwbare energie
IVM	Inwendige verbrandingsmotor
OBA	Organisch-biologische afvalstoffen
OT	Onrendabele Top
OTC	Over-the-counter
VEA	Vlaamse Energieagentschap
WKC	Warmtekrachtcertificaten
WKK	Warmtekrachtkoppeling

SAMENVATTING

Het verbranden van biogas in een motor met warmtekrachtkoppeling (WKK) is een solide bron van groene stroom, dit in tegenstelling tot andere intermitterende hernieuwbare energiebronnen. Deze stabiele productie kan een ondersteunende functie bieden aan het elektriciteitsnet, iets wat in de toekomst nog meer nodig zal zijn door een steeds groeiend aandeel hernieuwbare energie (HE). Een WKK-motor is door zijn technisch opzet tot een zekere range af en op te toeren, met een lagere of hogere elektriciteits- en warmteproductie tot gevolg. Dit gegeven in combinatie met gasopslag en buffering zorgt voor de technische flexibiliteit van een installatie.

TECHNISCHE BESCHRIJVING INNOVATIEVE MARKTMODELLEN

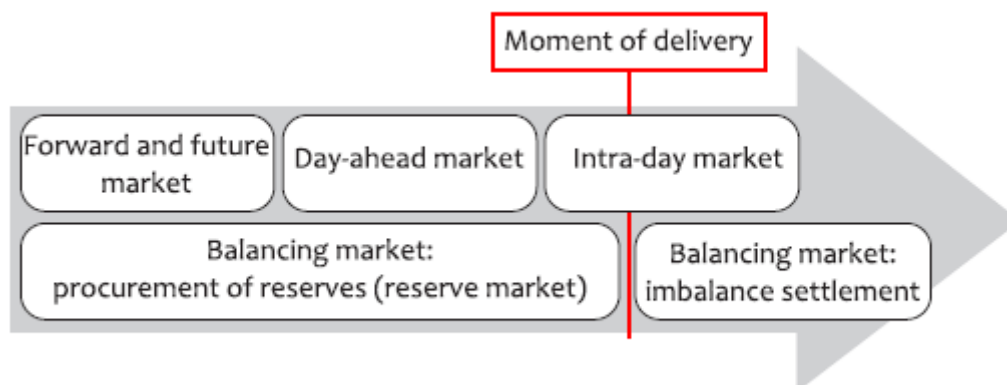
INLEIDING

In deze technische beschrijving wordt dieper in gegaan op de bestaande marktmodellen voor elektriciteit en wordt geprobeerd om tot de onderzoeksvraag te komen wat betreft de technische haalbaarheid en economische doorrekening voor het potentieel van innovatieve marktmodellen voor (bestaande) biogasinstallaties.

MARKTOVERZICHT

Elektriciteit is een handelswaar met de eigenschap dat de opwekking gelijk moet zijn aan de consumptie (plus netverliezen) op onmiddellijke basis. Als dit niet het geval is begint de netfrequentie af te wijken van zijn referentiewaarde, hetgeen kan leiden tot het instorten van het systeem. Het ontwerp van de elektriciteitsmarkt is aangepast om hiermee om te gaan. Verschillende types van de elektriciteitsmarkt zijn gerangschikt in een sequentiële orde, startend jaren voor de eigenlijke levering en eindigend na de eigenlijke levering.

Figuur 1 geeft een overzicht van de bestaande marktmodellen voor de elektriciteitsmarkt in functie van het moment in de tijd wanneer de elektriciteit geleverd wordt.



Figuur 1: Overzicht van de verschillende bestaande marktmodellen voor de elektriciteitsmarkt (KU Leuven Energy Institute, 2015)

Elektriciteit kan verhandeld worden op verschillende types beurzen:

- Op de beurs voor elektriciteit, een multilateraal handelsplatform, kunnen marktdeelnemers een bod voor productie en vraag indienen. De markt wordt 'gecleared' per voorop vastgelegde tijdsperiode en één enkele marktprijs wordt bepaald.
- In bilaterale *over-the-counter* (OTC) handel, ondertekenen producent en consument een handelsakkoord door rechtstreeks met elkaar te onderhandelen. Bij een OTC verhandeling kan de marktprijs die door de power exchange gepubliceerd wordt, als referentieprijs dienen.
- In de georganiseerde OTC handel dienen marktparticipanten een bod in voor stroomgeneratie of stroomvraag op een markt platform dat continu 'gecleared' wordt. Eén marktspeler kan bilateraal het bod van een andere speler aanvaarden, zodat er een verschillende prijs is voor elke verhandeling (KU Leuven Energy Institute, 2015).

CONTINUOUS INTRA-DAY TRADE MARKET

Op de *continuous intra-day trade* markt (CIM) wordt de elektriciteit verhandeld op de dag van levering zelf. De CIM laat de marktdeelnemers toe aanpassingen te maken in hun *day-ahead* nominaties door betere windvoorspellingen, onvoorziene stroomstoringen, etc. (KU Leuven Energy Institute, 2015).

Elektriciteit kan verhandeld worden op de Belgische CIM. Dit is een georganiseerde OTC markt die continu is. In 2013 werd een totaal van ongeveer 0.6 TWh verhandeld op de Belpex CIM (1.5% van de Elia *grid load*). De Belpex CIM is impliciet gekoppeld aan de Nederlandse IDM en expliciet aan de Franse IDM (KU Leuven Energy Institute, 2015).

DAY-AHEAD MARKET

Op de *day-ahead* markt (DAM) wordt elektriciteit één dag voor de eigenlijke levering verhandeld. De DAM is een heel belangrijke markt aangezien de marktzone in evenwicht moet zijn op het einde van de DAM, i.e. de voorziene generatie in de marktzone moet gelijk zijn aan de voorspelde vraag in de marktzone plus de netto export naar andere marktzones (KU Leuven Energy Institute, 2015).

De *day-ahead* stroomuitwisseling in de Belgische markt zone is de Belpex DAM. In 2013 was de gemiddelde Belgische DAM prijs 47.45 €/MWh en het totaal verhandelde volume 17.1 TWh (21% van de Elia *grid load*) (KU Leuven Energy Institute, 2015).

FORWARD EN FUTURE MARKT

De *forward* en *future* market loopt van jaren op voorhand tot de dag voor levering. De markt bestaat uit contracten die een bepaalde hoeveelheid elektriciteit leveren/consumeren op een bepaald moment in de toekomst aan een prijs die vandaag overeengekomen is. Futures zijn gestandaardiseerde contracten die verder verhandeld kunnen worden op stroomverhandelingsplatformen. Forwards worden voornamelijk bilateraal verhandeld OTC en zijn niet gestandaardiseerd. Ze geven dus meer flexibiliteit aan de betrokken partijen en worden meestal ook niet verder verhandeld. Belgische elektriciteit futures voor base load worden verhandeld op de ICE Endex, de Europese Energy Exchange (EEX) (KU Leuven Energy Institute, 2015).

BALANCING MARKET

Algemeen gezien bestaat deze markt uit 2 segmenten.

De verwerving en activatie van de reserves, i.e. de reservemarkt, bestaat uit 4 types reserves: de primaire reserves of *Frequency Containment Reserves*, de secundaire reserves of *Frequency Restoration Reserves*, de tertiare reserves of *Replacement Reserves*, en de nieuwe types reserves zoals R3 DP en R3 APP.

De onbalansmarkt vindt plaats na de eigenlijke levering en kan gaan om *upward regulation* en *downward regulation* (KU Leuven Energy Institute, 2015).

POTENTIEEL VOOR DE BIOGASSECTOR

Het aandeel van elektriciteit geproduceerd uit hernieuwbare energie (HE) blijft toenemen in Vlaanderen en de rest van de wereld. De transformatie naar een elektriciteitssysteem gebaseerd op HE bronnen wordt gekarakteriseerd door een toenemende nood aan balanceringsvermogen om de stroom opgewekt door fluctuerende bronnen zoals wind en zon te kunnen opvangen. Biogas heeft het potentieel om op flexibele wijze stroom op te wekken. Een vraag gedreven biogasproductie is vitaal voor de generatie van balanceringsvermogen en dit kan bereikt worden door de opslag van biogas of door concepten van flexibele biogasproductie (Hahn et al., 2014).

Aangezien de concepten voor flexibele biogasproductie nog in hun kinderschoenen staan, wordt verder op flexibiliteit door de opslag van gas gefocust. Door de mogelijkheid van gasopslag, kan een biogasinstallatie op bepaalde momenten meer of minder gas omzetten naar elektriciteit en warmte. Deze momenten kunnen dan gekozen worden op basis van de stroomprijs op dat specifieke moment. De warmtekrachtkoppeling (WKK) kan dan meer of minder benut worden. In de volgende secties wordt hier dieper op ingegaan.

MARKTSTRATEGIEËN

Om te kunnen komen tot innovatieve marktmodellen moet er nagedacht worden over welke markten welke strategieën mogelijk maken. Een mogelijke strategie om risico te spreiden is natuurlijk het deelnemen aan de verschillende markten tegelijkertijd, waarbij de elektriciteitsportfolio over deze markten heen verdeeld wordt. Verder zijn er korte termijn en lange termijn strategieën mogelijk, afhankelijk van het type markt waaraan deelgenomen wordt.

De strategische reserve is een markt die heel recent aangeboden wordt, mede door Next Kraftwerke Belgium (Next Kraftwerke Belgium, 2016). Voorlopig wordt dit als minder prioritair beschouwd omdat er nog niet genoeg informatie beschikbaar is. Algemeen genomen hangt de 'beste' strategie af van een aantal factoren. Deze zullen elk afzonderlijk besproken worden in de volgende secties.

FLEXIBILITEIT

In een elektriciteitssysteem moeten de elektriciteitsvraag en de elektriciteitsproductie op ieder ogenblik perfect in balans zijn. Een onevenwicht tussen vraag en productie heeft frequentie- en spanningsafwijkingen tot gevolg. Indien deze te groot worden kunnen zij leiden tot schade bij de netelementen waaronder de elektriciteitsgebruikers. Voor het elektriciteitssysteem is flexibiliteit de

mogelijkheid om continu in dienst (in evenwicht) te blijven bij sterk fluctuerende elektriciteitsvraag of -productie. Om te begrijpen in welke mate bepaalde technologieën flexibel zijn, moet er gekeken worden naar de reactiesnelheid en de regelsnelheid, de richting om het vermogen aan te passen (opwaarts of neerwaarts), en de grootte en duurtijd van het vermogen dat geleverd kan worden (COGEN Vlaanderen, 2015).

Het aandeel van elektriciteit dat geproduceerd wordt door hernieuwbare bronnen blijft stijgen. Het vervangen van een gecentraliseerd energiesysteem dat gebaseerd is op grootschalige, *base-load* elektriciteitscentrales door een mix van kleinschalige, gedecentraliseerde hernieuwbare bronnen met een groot aandeel fluctuerende energiedragers gaat gepaard met uitdagingen voor de efficiëntie en veiligheid van de stroomvoorziening (Hiroux and Saguan, 2010). Om deze problemen aan te pakken is het niet voldoende om fossiele bronnen te vervangen door hernieuwbare bronnen. Een succesvolle energietransformatie vereist een uitbreiding van het net en opslagcapaciteit, alsook een verbetering in energie-efficiëntie en energiebesparingen (Hahn et al., 2014). Verscheidene alternatieven kunnen deze transformatie ondersteunen, o.a. *demand-side* management, *smart grids*, energiebesparing en efficiëntieverbeteringen of duurzame en flexibele stroomvoorziening (Lund et al., 2012).

In verschillende studies over pan-Europese energiesystemen (Heide et al., 2011; Schaber et al., 2012; Steinke et al., 2013) hebben experts geanalyseerd hoeveel balanceringsvermogen er nodig is in gedeeltelijke of volledige hernieuwbare energie (HE) systemen (Hahn et al., 2014). Het is desalniettemin belangrijk te onthouden dat veilige stroomvoorziening afhangt van verschillende factoren buiten het aandeel fluctuerende energiebronnen, zoals de ontwikkeling van meer accurate weersvoorspellingen en meer efficiënte elektriciteitsopslagtechnologieën, veranderingen in de elektriciteitsmarkt, politieke en regulerende voorwaarden, innovatie, etc. Deze factoren kunnen de vraag naar balanceringsvermogen zowel verlagen als verhogen (Szarka et al., 2013).

Energieopslag en zijn eigenschappen zijn veelvuldig geanalyseerd in de literatuur, onder meer in Beaudin et al., 2010 en Ibrahim et al., 2008. De opslagcapaciteit is en zal in de toekomst een belangrijk aspect zijn met het oog op het toenemende aandeel fluctuerende bronnen (Hahn et al., 2014). In dit opzicht is bio-energie een veelbelovende mogelijkheid om aan de meeste vereisten te voldoen en om praktisch beschikbaar te zijn voor een flexibele energievoorziening (Szarka et al., 2013). Biomassa in de vorm van vloeibare, vaste of gasvormige energiedragers kan op zulke wijze getransformeerd worden om aan de vraag de voldoen van verschillende producten in de elektriciteitsmarkt. De mogelijkheid om biomassa en afgeleide dragers op te slaan is een bijna uniek voordeel vergeleken met andere fluctuerende HE bronnen. Meer specifiek, biogas of biomethaan heeft het voordeel dat de output flexibel is. Deze technologie is dus, in principe, geschikt voor vraaggedreven elektriciteitsproductie o.w.v. de korte opstarttijd en grote controleerbaarheid (Hartmann et al., 2010).

Er zijn twee basisconcepten voor flexibele productie met biogas en anaerobe vergisting (AV): (i) puur technische oplossingen waar gas en warmte opgeslagen kunnen worden om vervolgens op vraag gebruikt te worden, of (ii) de ontwikkeling van nieuwe concepten om gasproductie te sturen via een aangepast voedingsregime. Beide concepten vereisen echter additionele overcapaciteit van de WKK om dezelfde hoeveelheid energie te kunnen afleveren over een korter productie-interval (Szarka et al., 2013). Het concept van aangepast voedingsregime staat echter nog in zijn kinderschoenen en de focus ligt voorlopig op gasopslag. Dankzij de mogelijkheid tot opslag kan een anaerobe vergistingsinstallatie

biogas op flexibele wijze omzetten naar elektriciteit en warmte afhankelijk van de vraag, en daaruit volgend, de elektriciteitsprijs op specifieke momenten in de tijd. De WKK kan dan draaien op een lagere of hogere vermogen.

Uiteraard is de kost een belangrijke factor. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen de investeringskost en de exploitatiekost. Indien flexibiliteit slechts gedurende een aantal uren per jaar benut wordt, is het moeilijk om hoge investeringskosten terug te verdienen, zelfs bij lage exploitatiekosten. Naarmate de nood aan flexibiliteit toeneemt, worden duurdere technologieën met een lagere exploitatiekost echter meer en meer interessant (COGEN Vlaanderen, 2015). WKK-installaties met inwendige verbrandingsmotoren (IVM) kunnen relatief snel opstarten en stoppen waardoor ze uitermate geschikt zijn om flexibel in te spelen op de fluctuerende elektriciteitsvraag. Na het startsignaal zal de motor typisch binnen de 2 à 3 minuten synchroniseren met het net. Bij weinig stabiele netten waarbij de netbeheerders de grenzen scherp ingesteld hebben, kan dit langer duren (5 à 10 minuten). Na synchronisatie heeft de motor slechts één à twee minuten nodig om zijn vermogen tot volast op te drijven. In principe zal de startsequentie van een gasmotor gemiddeld 5 à 10 minuten duren. Na een stop hebben ze eveneens geen afkoelperiode nodig alvorens terug te kunnen starten. Ten gevolge van de thermische spanningen zal een start-stopcyclus een zekere impact hebben op de motor. Bij meervoudige start-stopcyclussen zal (sneller) metaalmoeheid optreden waarbij er problemen optreden zoals lekkende cilinderkoppen, problemen met kleppen of waarbij men de turbolagering sneller dan gewoonlijk vervangen moet worden. In het onderhoudscontract wordt dan meestal ook bepaald dat het aantal start-stopcyclussen beperkt moet blijven tot maximaal 3 à 4 per dag. Daarbij zal, bij WKK-installaties die minder draaiuren behalen, de prijs van het onderhoudscontract hoger zijn. Omdat het potentieel aantal interventies onafhankelijk is van het aantal draaiuren, moeten de onderhoudsfirma's in het onderhoudscontract de kost per draaiuur verhogen om kostendekkend te zijn. Het minimaal aantal draaiuren is bijgevolg eveneens vastgelegd in het onderhoudscontract (COGEN Vlaanderen, 2015). Een motor-WKK kan tussen 100% en 70% gemoduleerd worden zonder al te veel in efficiëntie in te boeten. Onder de 75% deellast neemt de efficiëntie sterk af. In sommige gevallen wordt de motor-WKK gemoduleerd tussen 100% en 50% om het aantal start-stops te beperken. Modulatie van de motor-WKK onder de 50% is vaak niet wenselijk (COGEN Vlaanderen, 2015).

Terzelfdertijd zijn marktsignalen naar elektriciteitsproducenten belangrijk voor netstabiliteit en kostefficiëntie aangezien zij incentieven geven voor vraag-gedreven en efficiënte elektriciteitsproductie. Elektriciteit van biogas en andere HE technologieën is niet competitief aan de huidige marktprijzen en vereist nog steeds subsidiëring (Hahn et al., 2014). Volgens Hochloff and Braun, 2014 is biogas waardevoller wanneer het gebruikt wordt om elektriciteit te produceren op die momenten dat de markt het nodig heeft. Biogasinstallaties met een geïnstalleerde overcapaciteit kunnen dus voordeel halen uit piekprijzen. Het is al aangetoond dat biogasinstallaties op- en neerwaartse regulatiereserves kunnen voorzien in de tertiaire energiemarkten, alsook stroomvoorziening op de volatiele elektriciteitsmarkten. Echter, de inkomsten van tertiaire reserves zijn beperkt omdat de markt recent hervormd is (Haucap et al., 2014) en omdat de voorziening van deze reserves door biogasinstallaties sterk beperkt wordt door de beschikbare brandstof (Hochloff and Braun, 2014).

WKK-installaties die bereid zijn om flexibel te draaien, kunnen, in functie van de geplande warmtebehoefte en de beschikbare stroomcapaciteit, deze flexibiliteit aanbieden aan de Belpex DAM. De DAM-prijs zal dan bepalen welke uren de WKK al dan niet moet draaien. De DAM heeft als voordeel

dat een start en stop van een WKK-installatie ruim op voorhand kan gepland worden. Andere markten waarbij flexibiliteit gewaardeerd kan worden, zoals de CIM en onbalansmarkt, worden om die reden minder gebruikt (COGEN Vlaanderen, 2015).

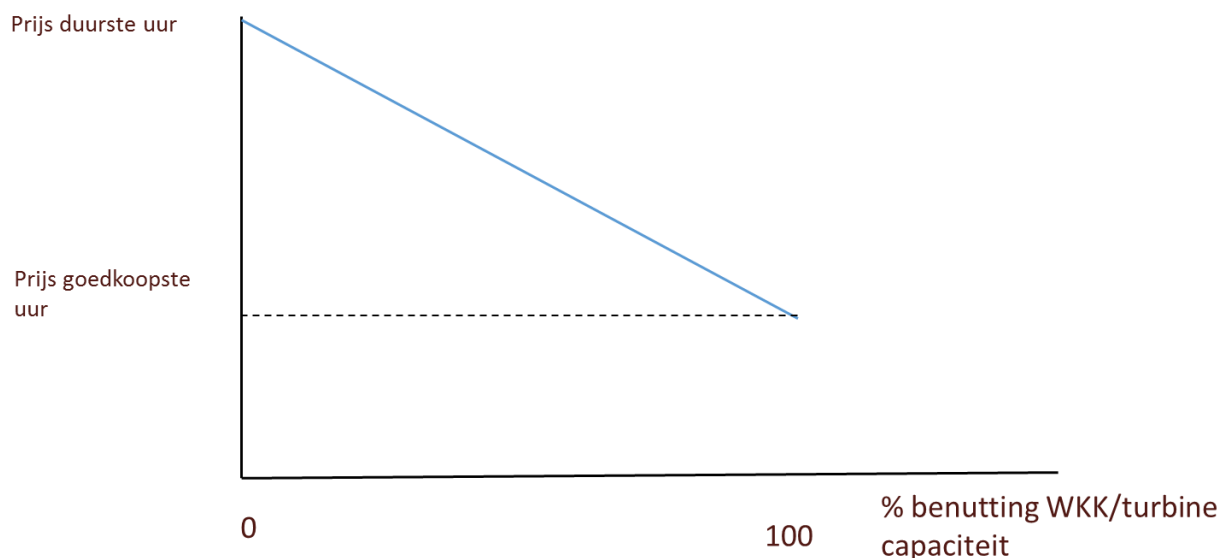
Op dit moment worden de meeste biogasinstallaties uitgebaat in *power-led* modus, i.e., het voornaamste doel is het continue functioneren en produceren van *base-load* elektriciteit om het net te voeden. Elektriciteit van biogas wordt dus niet vraag gedreven geproduceerd omwille van de noodzakelijke bijkomende investeringen zoals in de uitbreiding van biogasopslag en WKK capaciteit, en ontbrekende economische incentieven. Het is wel belangrijk te onthouden dat veelbelovende technologieën de nodige incentieven moeten ontvangen om toe te kunnen treden tot de markt (Szarka et al., 2013).

CAPACITEIT WARMTEKRACHTKOPPELING VERSUS BIOGASPRODUCTIE

Eén van de voordelen van een WKK is dat deze niet altijd op volle kracht moet draaien. Zo kan er in theorie minder stroom geproduceerd worden wanneer de elektriciteitsprijzen laag zijn en meer stroom wanneer de prijzen hoog zijn. In deze sectie gaan we wat dieper in op het economische principe achter het percentage WKK benutting alsook de verschillen tussen een aardgas-WKK en een biogas-WKK.

Figuur 2 geeft een overzicht van de marginale opbrengst in functie van het percentage benutting van de WKK, i.e. de ratio van hoeveelheid benutting WKK op WKK capaciteit.

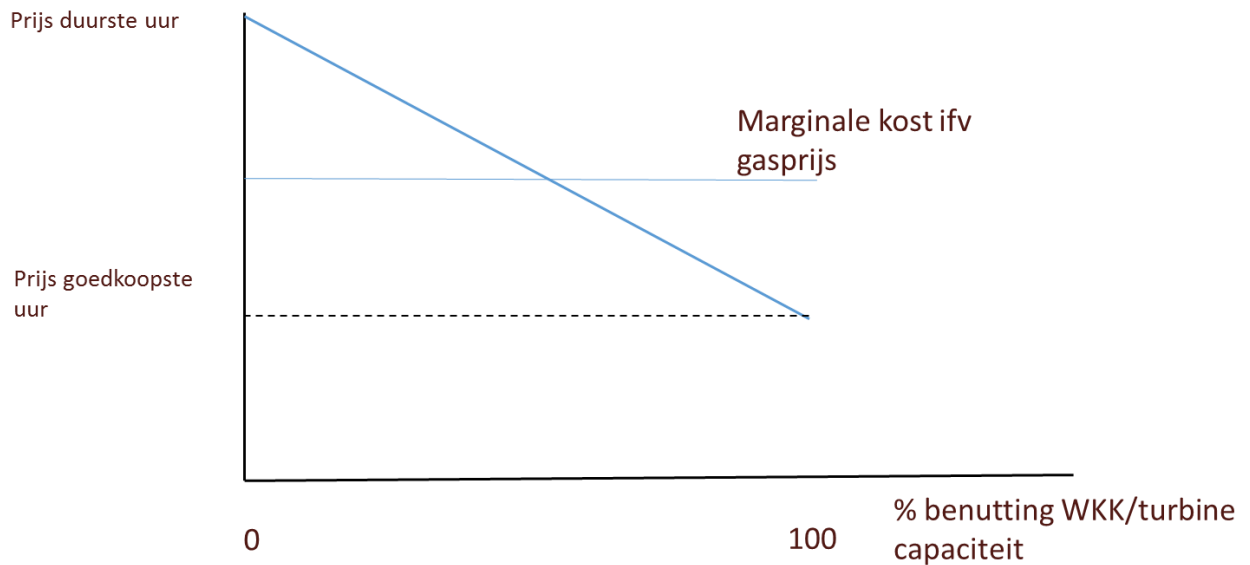
Marginale opbrengst



Figuur 2: Marginale opbrengst ifv % WKK benutting

Figuur 3 geeft dezelfde marginale opbrengstcurve weer, maar in dit geval is deze specifiek voor een WKK die draait op basis van aardgas. De grafiek toont aan dat wanneer de marginale kost i.f.v de aardgasprijs hoger is dan de marginale opbrengst, de WKK zal draaien op een lagere benutting.

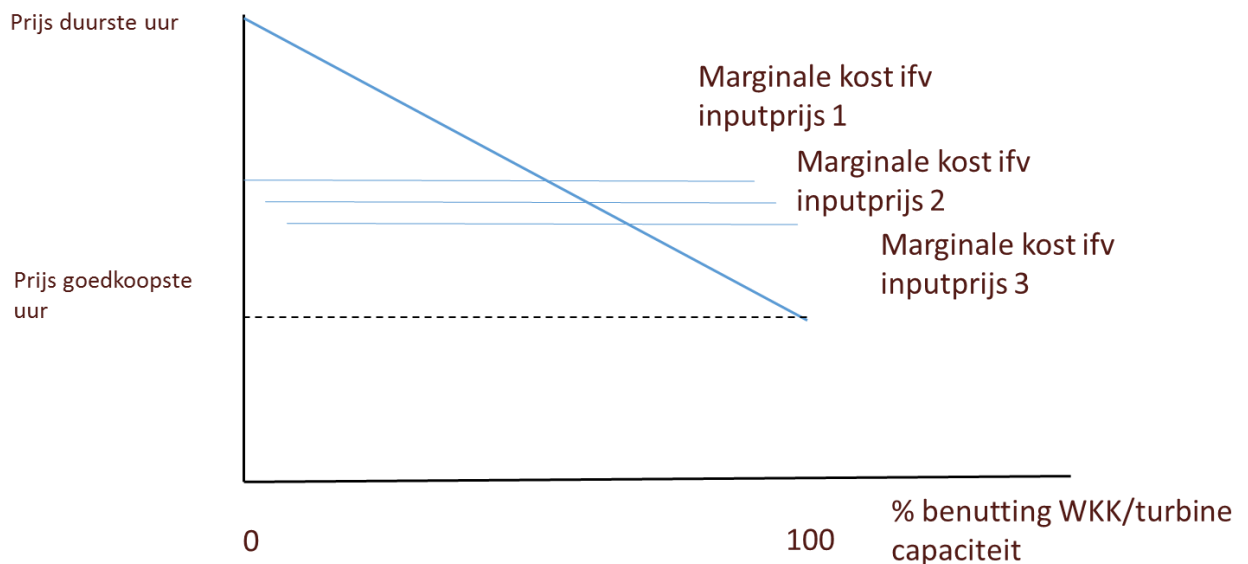
Marginale opbrengst



Figuur 3: Marginale WKK opbrengst ifv % WKK benutting voor een WKK op basis van aardgas

Figuur 4 geeft deze zelfde curve weer, ditmaal voor een WKK op basis van biogas.

Marginale opbrengst



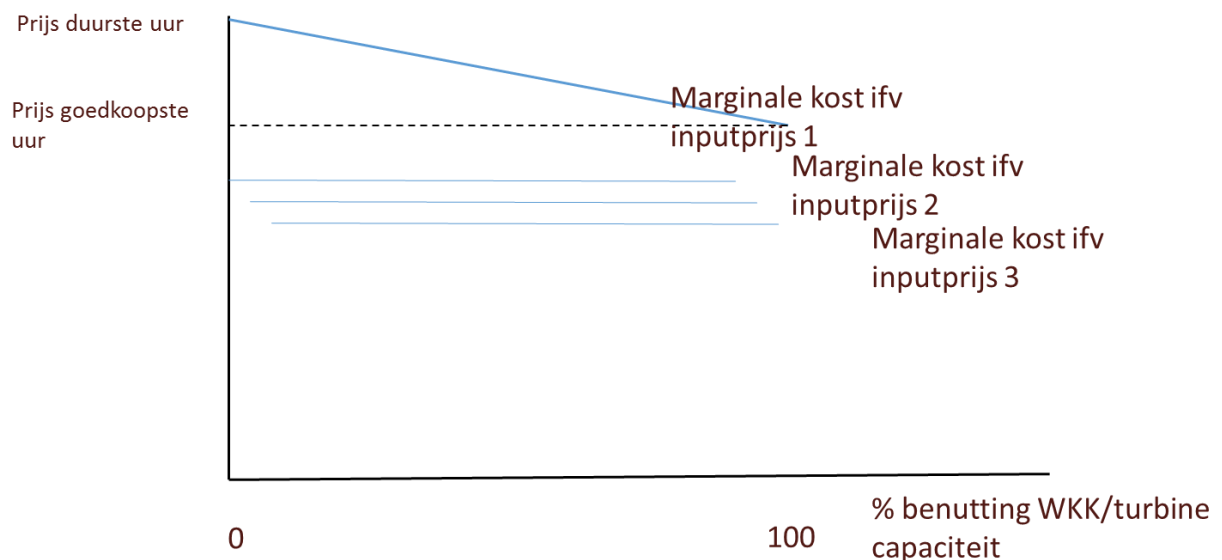
Figuur 4: Marginale WKK opbrengst ifv % WKK benutting voor een WKK op basis van biogas

Het grote verschil tussen biogas en aardgas is dat, terwijl aardgas aan vaste kost verbruikt wordt (i.e. een vaste aankoopprijs voor de WKK operatoren), biogas geproduceerd wordt op basis van verschillende inputstromen die elk ook aan een verschillende prijs aangekocht kunnen worden. Duurdere inputstromen zorgen voor een lager percentage WKK benutting. Omdat de verschillende biogasinstallaties elk een ander bedrijfsmodel hebben, is de kost van inputstromen verschillend voor elk van de installaties. Dat maakt dat er niet 'one size fits all' bestaat voor deze sector wat het tevens ook

moelijk maakt om een 'one strategy fits all' te ontwikkelen om de rendabiliteit van de sector te verhogen.

Figuur 5 geeft de impact weer van hernieuwbare energie subsidies, in dit geval groenestroomcertificaten (GSC).

Marginale opbrengst



Figuur 5: Marginale WKK opbrengst ifv % WKK benutting voor een WKK op basis van biogas en GSC

Door het uitreiken van deze GSC's (ongeveer 93 euro per MWhe geproduceerd) stijgt de prijs van het goedkoopste uur boven de marginale kost van de inputprijzen. Hierdoor wordt het financieel interessant om de WKK steeds volledig te benutten en kan de vraag gesteld worden of het sowieso zin heeft om de geproduceerde stroom op de CIM of DAM te verhandelen. Er zal getracht worden om deze vraag te beantwoorden door middel van de economische haalbaarheidsstudie.

Een kanttekening bij dit verhaal is dat bij een WKK zowel elektriciteit als warmte opwekt worden. Als er niet constant aan volle benutting elektriciteit geproduceerd wordt, heeft dit ook een impact op de warmteproductie. Er moet hiermee rekening gehouden worden aangezien biogasinstallaties ook vaak een interne warmtevraag hebben voor drogingsprocessen en/of het op temperatuur houden van de reactor(en). Het is dus belangrijk om na te gaan wat de impact is van het verlies aan (constante) warmteproductie door de WKK.

Om deze mogelijke strategieën beter te begrijpen is het nodig dieper in te gaan op de verschillende aspecten die in de grafiek besproken werden, i.e. de elektriciteitsprijzen, de prijzen van inputstromen en de steunmechanismen. Deze aspecten worden in de volgende secties verder uitgelegd.

TOEKOMST VAN ELEKTRICITEITSPRIJZEN

De productie van kernenergie houdt de stroomprijzen laag. Dat maakt het financieel ook minder interessant om op dit moment elektriciteit te produceren. Buiten de productie van kernenergie zijn er nog andere factoren die de elektriciteitsprijs beïnvloeden, zoals de terugkerende patronen in de

elektriciteitsvraag, i.e. hoger 's morgens en 's avonds en bij lagere temperaturen, en het weer, i.e. hogere productie bij zonnig en winderig weer. Deze invloeden zijn vooral terug te vinden op de CIM en DAM markten.

Om een beter overzicht te krijgen van de invloed van deze factoren is een statistische analyse uitgevoerd op de DAM prijzen. Deze prijzen werden verkregen via de Belpex website voor een periode van 9 jaar (2007-2015). De nadruk ligt op de DAM prijzen omdat de DAM veel grotere volumes verhandeld dan de CIM en dus volgens ons meer potentieel heeft. Het is ook makkelijker stroom te verhandelen op deze markt omdat deze een dag op voorhand verhandeld wordt. Het werkingsprincipe van de DAM is bovendien hetzelfde als dat van de CIM, het voornaamste verschil is de tijdschaal waarop de handel plaatsvindt. De *futures* die verhandeld worden bevinden zich in het geval van de DAM iets verder in de toekomst dan het geval is voor de CIM. In die zin kan de DAM beschouwd worden als een vereenvoudiging voor de CIM in de modellering. De conclusies voor de DAM zullen in principe ook voor de CIM van toepassing zijn, al is de inschatting dat de CIM potentieel grotere marges met zich mee kan brengen omdat sneller kan ingespeeld worden op veranderende marktomstandigheden.

Als eerste analyse vergelijken we de verschillende jaren met elkaar, om te kijken of er duidelijke verschillen bestaan tussen de verschillende prijspatronen. Tabel 1 vergelijkt de prijzen van 2007 tot 2015 op een aantal vlakken.

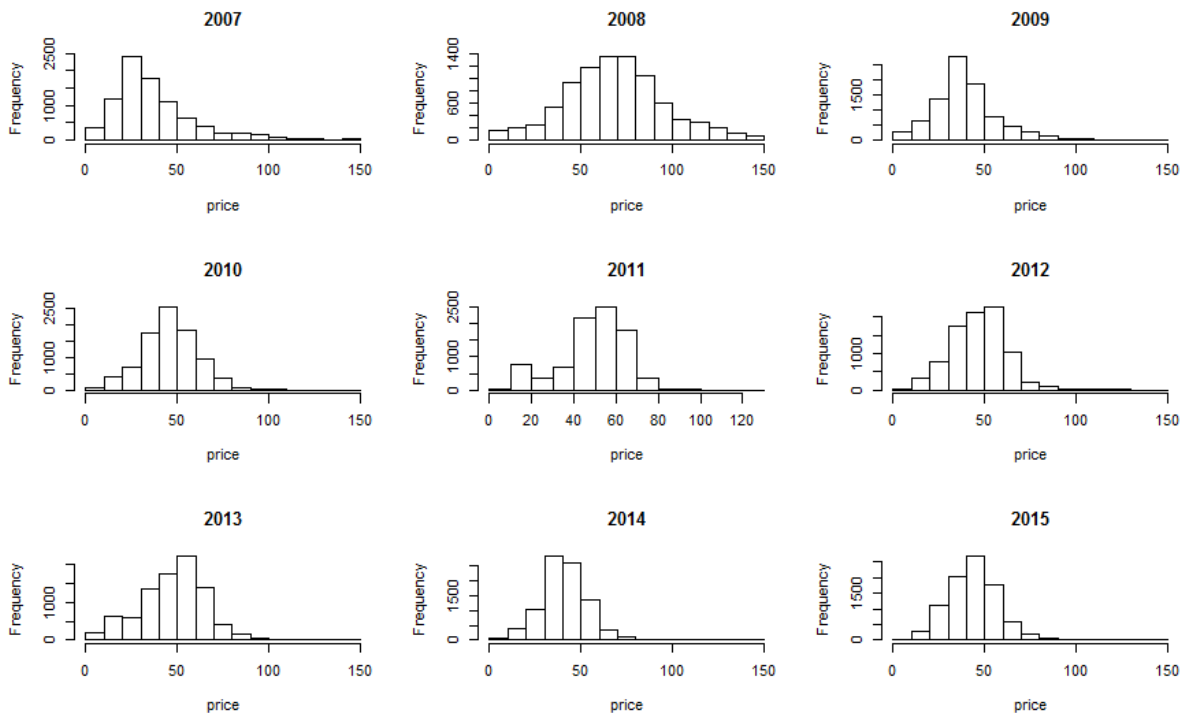
Tabel 1: Beschrijvende statistische analyse van de Belpex DAM prijzen van 2007 tot 2015

stroomprijs (€/MWh)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
gemiddelde	41.78	70.62	39.36	46.3	49.37	46.98	47.45	40.79	44.68
st.dev	54.48	30.84	17.32	16.42	35.49	16.48	19.34	12.68	21.43
mediaan	32	68.76	37.57	46	51.41	47.58	49.94	40.25	43.82
min	0.01	0.01	0.01	0.01	1.61	-5.03	-200	-0.01	1.14
max	2500	500	145.29	252.11	2999	250	180	200	448.7
range	2499.99	499.99	145.28	252.1	2997.39	255.03	380	200.01	447.56

Op het eerste zicht lijken de verschillende jaren redelijk gelijkaardige patronen te vertonen. De gemiddelde stroomprijs schommelt tussen de 40 en 50 €/MWh, buiten voor 2008, waar de gemiddelde prijs 70 €/MWh bedroeg. Hogere prijzen impliceren meestal ook een grotere prijsvolatiliteit. In verdere analyses kijken we of dit hier ook het geval is. Er zijn tevens enkele uitschieters wat betreft maximum prijzen (2007 en 2011). Deze prijzen werden veroorzaakt door een probleem op het Belpex-platform en zijn dus geen teken van een extreem hoge elektriciteitsvraag.

Vervolgens kijken we naar de spreiding van de prijzen, door middel van een grafische vergelijking op basis van een prijshistogram en een boxplot voor de verschillende jaren.

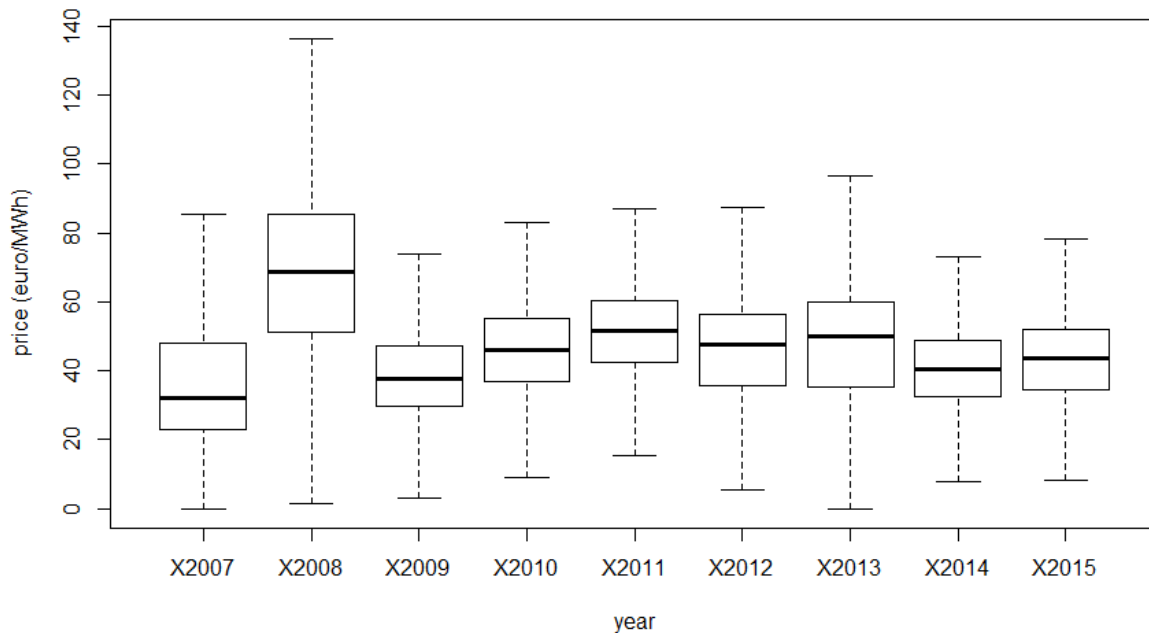
Figuur 6 geeft de verschillende prijshistogrammen weer van de Belpex DAM stroomprijzen voor de jaren 2007 tot 2015. Een histogram is een grafische voorstelling van de verdeling van numerische data. Het is een schatting van de kansverdeling van een continue (kwantitatieve) variabele.



Figuur 6: Prijshistogram van de Belpex DAM stroomprijzen voor 2007 tot 2015

De meeste jaren vertonen een gelijkaardige, symmetrische, unimodale verdeling. Dit betekent dat de data een normaalverdeling volgen.

Figuur 7 geeft een overzicht van de prijsboxplot voor dezelfde jaren. Een boxplot geeft groepen van data weer via hun kwartielen. Ze hebben ook verticale lijnen die de variabiliteit weergeven buiten de hoogste en laagste kwartielen. Boxplots doen geen aannames over de onderliggende statistische dataverdeling. In dit geval werden de uitschieters verwijderd.



Figuur 7: Prijsboxplot van de Belpex DAM stroomprijzen voor 2007 tot 2015

Figuur 7 geeft inderdaad aan dat de mediaan voor het jaar 2008 significant hoger ligt dan deze van de andere jaren. Ook is de lengte tussen de kleinste en grootste data die geen uitschieters zijn het grootst voor dit jaar, wat wijst op meer volatiliteit.

Uit Figuur 6 en Figuur 7 kan besloten worden dat er niet zo veel variatie zit tussen de verschillende jaren. In principe kan dus aangenomen worden dat de toekomstige jaren er in grote lijnen uit zullen zien als de voorbije jaren en dat de besluiten uit analyses op basis van voorbije jaren ook zullen gelden voor de toekomstige jaren.

Vervolgens wordt dieper ingegaan op de factoren die de elektriciteitsprijzen beïnvloeden. Daartoe wordt een lineaire regressie uitgevoerd waarbij geëvalueerd wordt op welke manier de elektriciteitsprijzen beïnvloedt worden door de maand, de dag en het uur, alsook door de hoeveelheid zonne- en windenergie en door het feit of er al dan niet een probleem was met de nucleaire installaties. Deze analyse wordt uitgevoerd voor het jaar 2015, en volgens onderstaande formule die in volgende paragraaf wordt verduidelijkt.

Elektriciteitsprijs \sim maand + weekday + uur + aanwezigheid van nucleaire energie + hoeveelheid windenergie + hoeveelheid zonne-energie

De elektriciteitsprijs werd ingegeven in €/MWh en de data is afkomstig van de Belpex website (Belpex, n.d.). Het betreft hier de DAM prijzen voor elk uur (1 tot 24), elke dag (maandag tot zondag) en elke maand (januari tot december) van het jaar 2015. Dit geeft in totaal 8760 datapunten. Voor elk van deze datapunten werd vervolgens nagegaan of er een geplande of ongeplande storing van een van de nucleaire reactoren plaatsvond. Met 'aanwezigheid van nucleaire energie' wordt dus aangenomen dat het ganse park functioneel was tijdens dat uur. Verder werd voor elke uur gekeken naar de hoeveelheid

energie die uit wind geproduceerd werd (in MW) en de hoeveelheid energie uit zon die verwacht werd (in MW). Omdat DAM prijzen ook de dag op voorhand vastgelegd worden, leek het logisch met schattingen over energie uit wind en zon te werken voor de regressie. Voor wind was deze echter niet voor het ganse jaar beschikbaar. Daarom werd besloten de effectief geproduceerde hoeveelheid windenergie te gebruiken. De data over nucleaire beschikbaarheid, en energie uit wind en zon werden bekomen via de Elia website (Elia, 2016).

Tabel 2 geeft een overzicht weer van het resultaat van de regressie.

Tabel 2: Resultaat van de lineaire regressie op de DAM stroomprijzen van 2015

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-36.22	-7.60	-1.94	4.43	384.54

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	5.575e+01	1.495e+00	37.279	< 2e-16	***
month2	6.900e+00	9.725e-01	7.095	1.39e-12	***
month3	2.765e+00	9.727e-01	2.842	0.004487	**
month4	-1.967e+00	1.226e+00	-1.605	0.108477	
month5	-7.992e+00	1.058e+00	-7.553	4.69e-14	***
month6	-5.509e+00	1.056e+00	-5.215	1.88e-07	***
month7	-6.582e+00	1.211e+00	-5.437	5.56e-08	***
month8	-7.268e+00	1.218e+00	-5.968	2.49e-09	***
month9	2.341e+00	1.200e+00	1.951	0.051072	.
month10	4.495e+00	1.119e+00	4.016	5.96e-05	***
month11	-4.285e+00	1.173e+00	-3.654	0.000260	***
month12	-1.130e+01	1.169e+00	-9.664	< 2e-16	***
week.daydo	-2.281e+00	7.234e-01	-3.153	0.001621	**
week.dayma	-5.069e+00	7.267e-01	-6.976	3.27e-12	***
week.dayvr	-1.692e+00	7.282e-01	-2.324	0.020138	*
week.daywo	-3.466e+00	7.259e-01	-4.775	1.83e-06	***
week.dayza	-1.120e+01	7.261e-01	-15.423	< 2e-16	***
week.dayzo	-1.586e+01	7.276e-01	-21.799	< 2e-16	***
hour2	-4.525e+00	1.340e+00	-3.376	0.000739	***
hour3	-6.842e+00	1.340e+00	-5.105	3.38e-07	***
hour4	-9.674e+00	1.340e+00	-7.217	5.77e-13	***
hour5	-1.076e+01	1.340e+00	-8.027	1.13e-15	***
hour6	-8.548e+00	1.341e+00	-6.377	1.90e-10	***
hour7	-1.194e+00	1.342e+00	-0.890	0.373695	
hour8	9.434e+00	1.349e+00	6.994	2.88e-12	***
hour9	1.392e+01	1.372e+00	10.146	< 2e-16	***
hour10	1.792e+01	1.414e+00	12.673	< 2e-16	***
hour11	1.801e+01	1.464e+00	12.302	< 2e-16	***
hour12	1.920e+01	1.502e+00	12.778	< 2e-16	***
hour13	1.694e+01	1.516e+00	11.173	< 2e-16	***
hour14	1.468e+01	1.505e+00	9.751	< 2e-16	***
hour15	1.244e+01	1.475e+00	8.438	< 2e-16	***
hour16	8.350e+00	1.428e+00	5.846	5.22e-09	***
hour17	6.677e+00	1.383e+00	4.829	1.39e-06	***
hour18	1.015e+01	1.354e+00	7.500	7.00e-14	***
hour19	1.333e+01	1.343e+00	9.931	< 2e-16	***
hour20	1.377e+01	1.341e+00	10.271	< 2e-16	***
hour21	1.033e+01	1.340e+00	7.705	1.45e-14	***
hour22	5.728e+00	1.340e+00	4.273	1.95e-05	***
hour23	7.704e+00	1.340e+00	5.748	9.35e-09	***
hour24	5.356e+00	1.341e+00	3.993	6.58e-05	***
nuclearY	-6.472e+00	7.133e-01	-9.073	< 2e-16	***
wind	-8.559e-03	4.741e-04	-18.052	< 2e-16	***
solar	-7.418e-03	6.510e-04	-11.396	< 2e-16	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 18.11 on 8715 degrees of freedom

(2 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared: 0.2898, Adjusted R-squared: 0.2863
F-statistic: 82.69 on 43 and 8715 DF, p-value: < 2.2e-16

De basisprijs van elektriciteit is 55.75 €/MWh. Deze prijs geldt op dinsdagen in januari, om 01.00 uur, met een storing in 1 of meerdere van de nucleaire installaties. De tabel geeft aan hoe de prijs stijgt of daalt afhankelijk van de verschillende factoren. Zo ligt de prijs in februari op hetzelfde uur en weekdag 6.9 €/MWh hoger ten opzichte van dezelfde situatie in januari. Augustus is de maand met de laagste prijs. Verder blijkt dat dinsdag de duurste dag van de week is en zondag de goedkoopste (15 €/MWh minder). Het duurste uur van de dag is 12.00 uur (19 €/MWh meer) en het goedkoopste 05.00 (11 €/MWh minder). Als het volledige nucleaire park operationeel is, daalt de prijs met 6.5 €/MWh. Tenslotte daalt de prijs met 0.009 en 0.007 €/MWh per additioneel geproduceerde eenheid MW windenergie en zonne-energie respectievelijk. Verder blijkt uit de analyse van de resultaten dat enkel prijsbepalingen op basis van de maand april en september en van 7.00 uur 's morgens niet significant zijn.

INPUTPRIJZEN EN EVOLUTIE INPUTPRIJZEN

De bedrijfsvoering van een biogasinstallatie is gevoelig voor inputstromen.

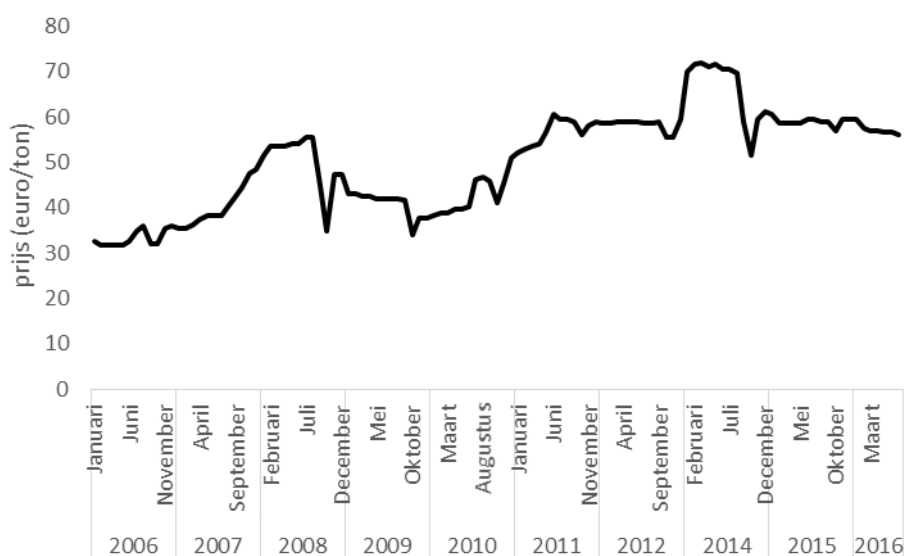
Er wordt voor de verdere doorrekening gebruik gemaakt van de meest recente data van het Vlaams Energieagentschap (VEA) zoals beschreven in het VEA rapport 2016/1 - Deel 1: Ontwerprapport OT/Bf voor projecten met een startdatum vanaf 1 januari 2017. Meer bepaald de groene stroom categorie 5 (GS cat. 5) 'nieuwe biogasinstallaties t.e.m. 5 MWe voor vergisting van hoofdzakelijk mest- en/of landbouwgerelateerde stromen' zal als gemene noemer voor de sector gehanteerd worden. GS cat. 5 is immers de grootste groep (33 installaties volgens de VREG indeling 2015) binnen de ca. 41 operationele grootschalige vergisters in Vlaanderen. De referentie-installatie die in het ontwerprapport is opgenomen, is bovendien een vrij eenduidige vergelijkingsbasis (meer details omtrent de referentie-installatie zijn terug te vinden in de paragraaf 'Steunmechanismen'). De overige grootschalige vergisters zijn de GFT-vergisters met compostering (2 installaties) en de industriële vergisters (6 installaties). Ter vereenvoudiging zal voor het vervolg van dit document aangenomen worden dat de industriële vergisters vergelijkbaar zijn met de referentie-installatie voor GS cat. 5. De GFT-vergisters zijn een specifiek geval en zullen dus ook afzonderlijk behandeld worden. Het VEA rekent met de volgende gegevens wat betreft de inputstromen¹ (Vlaams Energieagentschap, 2017).

¹ Voor industriële vergisters wordt door het VEA uitgegaan van 100% OBA als input.

Tabel 3: Overzicht van inputstromen gebruikt in biogasinstallaties van categorie 5 (Bron: Vlaams Energieagentschap, 2016)

	Aandeel (%)	Input (ton/j)	Prijs (€/ton) 2016
Maïs	7.5%	3,270	39.0
Mest	25.0%	10,900	-5.5
OBA	67.5%	29,430	29.1
Totaal	100.0%	43,600	21.2

De prijzen van mest en OBA blijven redelijk stabiel. De prijzen van maïs, echter, volgens de evolutie van de maïsprijzen op de wereldmarkt zijn minder stabiel. Dit heeft een impact op de grafiek in Figuur 4 en Figuur 5. Figuur 8 geeft de prijsevolutie weer over een periode van 10 jaar.



Figuur 8: Evolutie snijmaïsprijzen 2006-2016 (Bron: <http://www3.lei.wur.nl/prijzenpopup>)

STEUNMECHANISMEN

Er bestaan verschillende soorten steunmechanismen in de verschillende Europese landen die elk een ander effect hebben op het ontwerp en de bedrijfsvoering van biogasinstallaties. In Vlaanderen wordt er voornamelijk gewerkt met groenestroomcertificaten. In deze sectie bespreken we de mogelijke impact van de GSC op de marktstrategieën die een uitbater van biogasinstallaties kan hanteren, alsook een aantal andere mogelijke types steunmechanismen.

In de huidige ondersteuningsmechanismen staan de begrippen ‘onrendabele top’ (OT) en ‘bandingfactor’ (Bf) centraal. De onrendabele top van een investering is gedefinieerd als het productieafhankelijke gedeelte van de inkomsten dat nodig is om de netto-contante waarde van een

investering op nul te doen uitkomen. De bandingfactor bepaalt daarnaast het aantal certificaten dat men bekomt per opgewekte hoeveelheid groene stroom en/of gerealiseerde eenheid primaire energiebesparing en is onderhevig aan aanpassingen ten gevolge van de evolutie van de investeringskosten, brandstofprijzen, elektriciteitsprijs (Vlaams Energieagentschap, 2017).

De grootte van de OT en Bf zijn afhankelijk van het type installatie. Voor de verdere bespreking en analyse wordt, zoals eerder al werd aangehaald, GS cat. 5 als meest representatieve en dus ook relevante categorie aanzien voor de grootschalige biogasinstallaties in Vlaanderen. De OT voor groene stroom voor dit type installaties bedraagt 117, met een Bf van 1.21. Omdat de maximale Bf 1 bedraagt, wordt de finale Bf dus teruggebracht tot 1. Voor de warmtekrachtkoppeling bedraagt de OT 78.8, met een Bf van 2.25 en een maximale Bf van 1.

De referentie-installatie voor GS cat. 5 wordt door het VEA vastgelegd op basis van administratieve gegevens van de sector² met een interne verbrandingsmotor van 2400 kWe op 100% biogas, een bruto elektrisch rendement van 42.5% en een netto thermisch rendement gelijk aan 53.0%. Het jaarlijkse aantal vollasturen is gelijk aan 8.080 uren. Het aandeel eigenverbruik (EV_{EL}) bestaat uit het elektrisch verbruik voor de voorbehandeling van het biogas en de vergister, voor de digestaatnabehandeling en voor de hulpdiensten van de WKK, en wordt vastgelegd op 14.4%. Het deel van de bruto elektriciteitsproductie dat niet in aanmerking komt voor groenestroomcertificaten aanvaardbaar voor de certificatenverplichting (EV_{GSC}), bestaat uit het elektrisch verbruik voor de hulpdiensten van de WKK-installatie, voor de vergister en voorbehandeling van het biogas (enkel het niet-BBT deel) en voor de transportenergie tot aan het Vlaams Gewest, en wordt vastgelegd op 3,4%. De specifieke investeringskost wordt vastgelegd op 3740 €/kWe, op basis van gegevens van de marktbevraging 2016 van representatieve installaties. Deze kost bestaat uit de investeringskost voor het opslaan van de inputstromen, het voorbehandelen van de inputstromen, de anaerobe vergisting van de biomassa, de voorbehandeling van het biogas, de WKK-installatie, digestaatnabehandeling, ontwikkelingskosten en andere kosten, zoals bv. aansluitingskosten. De kost werd eerst bepaald excl. de digestaatnabehandeling, gezien niet alle installaties een representatieve methode van digestaatnabehandeling toepassen. Daarna werd een kost bepaald voor deze digestaatnabehandeling. De som van beide vormt de totale specifieke investeringskost.

SITUATIE, PRIJS EN TOEKOMST GROENE STROOMCERTIFICATEN

Biogasinstallaties produceren in Vlaanderen groene elektriciteit en warmte door warmtekrachtkoppeling. Hiervoor ontvangen ze groenestroomcertificaten en, indien de warmte nuttig aangewend kan worden, warmtekrachtcertificaten (WKC). De steunhoogte kan verschillen afhankelijk van de startdatum van de installatie en of de uitbater al dan niet een ecologiepremie heeft ontvangen voor de bouw van de installatie (=investeringssteun). In principe is de steunhoogte per geproduceerde MWh elektriciteit gelijk aan het product van de bandingfactor met de prijs van één GSC. Door de aftopping van de bandingfactor op 1 is de ondersteuning per geproduceerde MWh elektriciteit dus gelijk aan 1 GSC, wat voor nieuwe installaties neerkomt op 93€/MWhel (voor installaties met startdatum vóór 01/01/2013 kan dit oplopen tot 110€/MWh). Daarnaast zijn er ook nog inkomsten uit elektriciteit door deze op de markt te verkopen en door de verkoop van een Garantie van Oorsprong (GvO). De inkomsten

² Er is een tweejaarlijkse actualisering van de technische cijfers die in het ontwerprapport beschreven worden. Voor het ontwerprapport 2016/1 waren deze dezelfde als voor het ontwerprapport 2015/1.

uit warmtekrachtcertificaten worden voor nieuwe installaties vastgelegd op 35€/MWh warmtekrachtbesparing.

In de aanname dat een biogasinstallatie steeds op vollast draait, worden GSC uitgekeerd gedurende 10 jaar (tenzij voor GFT-vergisters die een termijn van 20 jaar steungerechtigheid toegekend hebben gekregen). Als een biogasinstallatie echter zou willen deelnemen aan de DAM impliceert dit verhoogde flexibiliteit en dus minder vollasturen. Aangezien de GSC slechts voor 10 jaar gelden betekent dit ook dat zulke installaties steun verliezen door niet op vollast te draaien. Uit flexibiliteitsanalyse en directe communicatie blijkt namelijk dat biogasinstallaties zonder GSC niet winstgevend zijn.

Een verlenging voor de steungerechtigde periode van de GSC is mogelijk op voorwaarde dat er kan aangetoond worden dat een externe factor verantwoordelijk is voor het verlies van vollasturen en de installatie gerund werd volgens het 'goede huisvader' principe. Na de verlenging op basis van vollasturen is het op dit ogenblik zo dat er een bijkomende verlenging kan aangevraagd worden waarbij een bedrijfsspecifieke bandingfactor berekend wordt. Er wordt algemeen aangenomen dat de berekende bandingfactor na 10 jaar onvoldoende zal blijken voor de verdere rendabele uitbating van individuele installaties.

ANDERE TYPES STEUNMECHANISMEN

Zowel in Duitsland als Nederland wordt er gewerkt met een marktpremium. De hoogte van het premium is rechtstreeks gekoppeld met de inkomsten uit de verkoop van de elektriciteit en/of de garanties van oorsprong. In beide landen wordt de subsidie bovendien toegekend op basis van een tenderprocedure waarbij de meest kosten-efficiënte projecten eerst aanspraak kunnen maken op het subsidiebudget. Duitsland stimuleert bovendien flexibele productie met zijn ondersteuningsbeleid, door het marktpremium maar te betalen voor de helft van de geïnstalleerde capaciteit. Zo worden uitbaters gestimuleerd om een overcapaciteit te plaatsen. Zij kunnen wel een bijkomend de flexibiliteitspremie opeisen indien hun installaties geconfigureerd kunnen worden op die manier dat ze ingezet kunnen worden tijdens periodes van piekvraag. Een bijkomende geïnstalleerde capaciteit van minstens 20% van de originele capaciteit is vereist om in aanmerking te komen voor de premie. De flexibiliteitspremie wordt uitbetaald bovenop de markt- en managementpremie voor een periode van 10 jaar (Hahn et al., 2014).

CONCLUSIE EN VOLGENDE STAPPEN VOOR ECONOMISCHE ANALYSE

Op basis van de uitgevoerde analyse en individuele communicatie, o.a. tijdens de tweede gebruikerscommissie in augustus 2016, werd besloten dieper in te gaan op de beleidsinstrumenten en steunmechanismen die op dit moment gebruikt worden en mogelijke toekomstige instrumenten en mechanismen.

Uit de analyse is duidelijk dat biogasinstallaties kunnen bijdragen aan de stabilisatie van het elektriciteitsnet door hun flexibel karakter. Het steunmechanisme van de GSC is echter niet het meest geschikte mechanisme om deze flexibiliteit te ondersteunen.

Op basis van economische modellen zullen we ten eerste kijken naar de mogelijkheden voor bedrijfsvoering op basis van flexibiliteit, en ten tweede zullen we verschillende beleidsinstrumenten analyseren en een besluit trekken over welke de meest efficiënte en effectieve zou zijn in het kader van

verhoogde flexibiliteit voor biogasinstallaties. We kijken hierbij voornamelijk naar investeringssteun, GSC, flexibiliteitssteun zoals het Duitse model, en een steunmechanisme dat eerder een hoeveel geproduceerde elektriciteit ondersteunt in plaats van steun voor een bepaalde periode.

REFERENTIES

- Beaudin, M., Zareipour, H., Schellenberglobe, A., Rosehart, W., 2010. Energy storage for mitigating the variability of renewable electricity sources: an updated review. *Energy Sustain. Dev.* 14, 302–314.
- Belpex, n.d. Market data services [WWW Document]. URL <https://www.belpex.be/services/market-data-services/> (accessed 8.3.16).
- COGEN Vlaanderen, 2015. Flexibele WKK in het energielandschap van de toekomst.
- Elia, 2016. Power Generation [WWW Document]. URL <http://www.elia.be/en/grid-data/power-generation#anchor1> (accessed 3.11.16).
- Hahn, H., Krautkremer, B., Hartmann, K., Wachendorf, M., 2014. Review of concepts for a demand-driven biogas supply for flexible power generation. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 29, 383–393. doi:10.1016/j.rser.2013.08.085
- Hartmann, K., Bofinger, S., Braun, M., Costa Gomez, C., Daniel-Gromke, J. Gerhardt, N., 2010. Die Rolle des Stromes aus Biogas in zukünftigen Energieversorgungsstrukturen. Germany: Kassel.
- Haucap, J., Heimeshoff, U., Jovanovic, D., 2014. Competition in Germany's minute reserve power market: an econometric analysis. *Energy J.* 35.
- Heide, D., Greiner, M., von Bremen, L., Hoffmann, C., 2011. Reduced storage and balancing needs in a fully renewable European power system with excess wind and solar power generation. *Renew. Energy* 36, 2515–2523.
- Hiroux, C., Saguan, M., 2010. Large-scale wind power in European electricity markets: time for revisiting support schemes and market designs? *Energy Policy* 38, 3135–45.
- Hochloff, P., Braun, M., 2014. Optimizing biogas plants with excess power unit and storage capacity in electricity and control reserve markets. *Biomass and Bioenergy* 65, 125–135. doi:10.1016/j.biombioe.2013.12.012
- Ibrahim, H., Ilinca, A., Perron, J., 2008. Energy storage systems—characteristics and comparisons. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 12, 1221–1250.
- KU Leuven Energy Institute, 2015. EI Fact Sheet: The current electricity market design in Europe.
- Lund, H., Andersen, A.N., Østergaard, P.A., Vad Mathiesen, B., Connolly, D., 2012. From electricity smart grids to smart energy systems e a market operation based approach and understanding. *Energy* 42, 96–102.
- Next Kraftwerke Belgium, 2016. Press release of 11 August 2016: First Belgian Virtual Power Plant replacing services of large nuclear and gas units through a network of renewable energy installations.
- Schaber, K., Steinke, F., Hamacher, T., 2012. Transmission grid extensions for the integration of variable renewable energies in Europe: who benefits where? *Energy Policy* 43, 123–135.

Steinke, F., Wolfrum, P., Hoffmann, C., 2013. Grid vs. storage in a 100% renewable Europe. *Renew. Energy* 50, 826–832.

Szarka, N., Scholwin, F., Trommler, M., Fabian Jacobi, H., Eichhorn, M., Ortwein, A., Thrän, D., 2013. A novel role for bioenergy: A flexible, demand-oriented power supply. *Energy* 61, 18–26. doi:10.1016/j.energy.2012.12.053

Vlaams Energieagentschap, 2017. Rapport 2016 Deel 1 : Rapport OT / Bf voor projecten met een startdatum vanaf 1 januari 2017.