



Dit is een achtergrondnotitie
ten behoeve van de
sectortafels Elektriciteit en
Industrie



De potentie van Power to Heat in de Nederlandse Industrie

Auteurs: cross-sectorale werkgroep power to heat
Datum: 22 november 2018
Versie: 1 – finale versie



INHOUDSOPGAVE

INTRODUCTIE	3
POTENTIE POWER TO HEAT TECHNIEKEN	4
BARRIÈRES EN INSTRUMENTARIUM VOOR ELEKTRIFICATIE	14
APPENDIX A – POTENTIE INDUSTRIËLE ELEKTRIFICATIE PER TECHNIEK	18
APPENDIX B – DENKRICHTINGEN TER VERDIEPING INSTRUMENTARIUM	21
APPENDIX C - LIJST MET DEELNEMERS WERKGROEP.....	25

Introductie

In de toekomst zal Nederland in toenemende mate overschakelen naar duurzaam opgewekte elektriciteit. De industrie heeft de potentie, de noodzaak en de ambitie om CO₂-emissies te reduceren om de nationale klimaatdoelstellingen te halen. Daarnaast kan de industrie, mede door haar schaalgrootte, dit mogelijk voor een deel tegen relatief lagere kosten doen dan andere sectoren zoals mobiliteit en gebouwde omgeving. Elektrificatie van processen die op dit moment gebruik maken van aardgas zijn een kansrijk middel om deze emissies te reduceren. De elektriciteit die hierbij het gas vervangt, dient wel voldoende duurzaam te zijn.

De industrie wil graag enige mate van zekerheid dat de duurzaam opgewekte elektriciteit in de toekomst voldoende voorradig is en dat deze een passende en door goede marktwerking ontstane prijs heeft. Tegelijkertijd wordt dat in de toekomst ook een toename verwacht van opwek van elektriciteit door hernieuwbare bronnen. Voor ontwikkeling en exploitatie van dergelijke productiecapaciteit geven ontwikkelaars aan dat het wenselijk is om enige mate van zekerheid te hebben dat deze elektriciteit ook kan worden geabsorbeerd door gebruikers. Inzicht in de mogelijkheden om additionele elektriciteit te absorberen, zowel in basis- als piekbelasting geeft duidelijkheid over welke potentie aan wind op zee economisch kan worden gerealiseerd.

Om deze twee perspectieven bij elkaar te kunnen brengen is de cross-sectorale werkgroep power to heat geformeerd, met deelname uit zowel de energiesector en de industrie. Dit rapport beschrijft een eerste inventarisatie uit deze werkgroep van de technische potentie van elektrificatie van industrie in 2030, de potentiële emissiereductie en de bijbehorende additionele vraag naar duurzame elektriciteit. Met deze inzichten probeert dit rapport meer zekerheid te bieden aan industrie en energie-projectontwikkelaars over de potentie van elektrificatie in industrie en de impact voor onder andere wind op zee. Daarbij probeert het rapport ook een eerste aanzet te geven tot een instrumentarium dat de ontwikkeling in beide sectoren ondersteunt en waar nodig samenbrengt. In hoofdlijnen wordt de inhoud van dit rapport onderschreven door de deelnemers. Op de wenselijkheid van specifieke richtingen in de uitwerking van het instrumentarium verschillen de meningen.

De potentie is geïnventariseerd op basis van elektrificatie technieken die commercieel kunnen worden toegepast in Nederland in 2030 en waarvan de werkgroep verwacht dat deze voldoende impact zal hebben op CO₂-emissiereductie en een additionele vraag naar elektriciteit zal geven.

Voor een groot deel van de industriële energiebehoefte, zoals verwarming, wordt op dit moment aardgas gebruikt. In sommige gevallen is er, binnen de huidige elektriciteitsmix, nu al CO₂-emissie reductie te behalen door gas-systemen te vervangen door efficiënte verwarmingsmethoden op basis van elektriciteit. Op korte termijn levert elektrificatie echter nog niet altijd emissiereductie op, vanwege de hoge emissiefactor van de huidige elektriciteitsproductie. Het Nederlands elektriciteitspark zal op termijn echter fors verduurzamen, waardoor naar verwachting in 2030 al een aanzienlijk deel van de elektriciteit hernieuwbaar wordt opgewekt en daarmee voor een CO₂ daling zal zorgen. Dat betekent dat de emissiereductie door elektrificatie op de langere termijn gaat toenemen. In deze rapportage is er om deze reden voor gekozen te CO₂-reductie in kaart te brengen aan de hand van de emissiereductie die in de sector industrie wordt gerealiseerd (de zogenaamde 'schoorsteenemissies'). We volgen hierbij de lijn dat elektrificatie van de industrie onderdeel is van een lange termijn transitiepakket. Potentie power to heat technologieën

Potentie power to heat technieken

In 2030 verwachten wij dat een aantal elektrificatie technieken een relevante impact zullen hebben op de CO₂-emissies in de industrie en tevens zorgen voor een additionele vraag naar elektriciteit. De selectie van deze technieken is gebaseerd op de recente inventarisaties van elektrificatiepotentieel in de Nederlandse industrie¹, aangevuld met inzichten vanuit de deelnemers aan de werkgroep. Het overzicht van deze technieken staat vermeld in Appendix A. Technieken waarbij elektriciteit wordt omgezet in waterstof of andere materialen (power to hydrogen, power to gas, power to chemicals), vallen buiten scope van deze werkgroep.

Veel van deze technieken richten zich op het vervangen van aardgas of andere brandstoffen voor verwarming door een elektrische toepassing, zoals bijvoorbeeld in elektrische en hybride technieken voor fornuizen in de petrochemische industrie, elektrische en hybride boilers, warmtepompen, damprecompressie- en droogtechnieken. Technische en financiële haalbaarheid van deze verwarmingstechnieken hangt sterk samen met de aard van de toepassing. Over het algemeen is de vervanging van een verwarmingstechniek als losstaande toepassing, in een weinig geïntegreerd proces, sneller te realiseren, dan toepassing in een verregaand geïntegreerd proces, zoals in de (petro)chemie. Toepasbaarheid in geïntegreerde processen hangt namelijk sterk af van andere stappen in het proces. Zo wordt er om energie efficiëntie voor verwarming te verhogen bijvoorbeeld gebruik gemaakt van warmte die al gebruikt is in een ander proces bij een hogere temperatuur. Elektrificatie is dan pas zinvol als de overblijvende warmte uit het andere proces een andere toepassing vindt, of het overblijven daarvan voorkomen wordt. In de potentiebepaling voor 2030 is rekening gehouden met de complexiteit en afhankelijkheden rondom implementatie.

De afhankelijkheid rondom de vervanging van warmte in geïntegreerde processen geldt ook voor technieken waarbij elektriciteit wordt gebruikt voor het leveren van arbeid (elektrische aandrijving) en voor de verdere introductie van nieuwe scheidingstechnieken (zoals membraanscheiding) als vervanging van verdamping met warmte. Hoewel de verdere introductie van deze elektrische scheidingstechnieken relatief weinig impact zal hebben op additionele elektriciteitsvraag, vanwege het beperkte elektriciteitsgebruik, hebben wij deze toch meegenomen in de inventarisatie, omdat deze een grote impact kan hebben op de warmtevraag en tot een grote energie efficiëntieverbetering kan leiden.

Ook binnen de staalindustrie zijn er mogelijkheden om gebruik te maken van elektriciteit, zoals in een elektrische vlamboogoven. Hoewel deze techniek zeker potentie heeft om CO₂-emissies te reduceren, hebben wij deze niet meegenomen in de inventarisatie, omdat het hier om een ander proces gaat, dat gebruik maakt van andere grondstoffen en resulteert in een ander eindmateriaal en daarmee niet direct een bestaand proces vervangt.

Het gebruik van elektromagnetische straling voor verwarming en sterilisatie van voedsel hebben wij ook niet meegenomen. Deze techniek bestaat uit een diverse set toepassingen voor veelal kleinere processen, zoals fijn chemie, voeding en klein-metaal. De vrij specifieke toepassingsgebieden maken dat het op dit moment niet mogelijk is om een potentieel in te schatten. Hiervoor zou een aanvullend onderzoek nodig

¹ Berenschot, *Electrification in the Dutch process industry* (2017), CE Delft, *Roadmap for electrification in the Dutch industry* (2018) and Ecofys & Berenschot, *Chemistry for Climate, Roadmap for the Dutch Chemical Industry towards 2050* (2018).

zijn. De expert inschatting vanuit de werkgroep is dat de impact op additionele elektriciteitsvraag in 2030 beperkt is.

Warmtevraag Nederlandse Industrie

De totale warmtevraag van de Nederlandse industrie, en hoe deze verdeeld is over de verschillende temperatuurniveaus is niet volledig duidelijk. Het advies is dit preciezer uit te zoeken in een studie met voldoende diepgang om dit goed te kunnen doen. Voor de meeste power to heat opties is vooral het warmtegebruik onder ongeveer 300°C van belang. Wij nemen de inschatting over dat het Nationale Expertisecentrum Warmte hiervoor heeft opgesteld over 2006, waaruit blijkt dat 142 PJ-warmte onder de 300°C wordt gevraagd². Op basis van de sectoren waarin deze warmtevraag plaats vindt, gaan wij ervan uit dat de warmte die hiervoor wordt opgewekt in boilers en warmte-kracht-koppeling (WKKs) het doel heeft om deze specifieke warmtevraag in te vullen³.

Appendix A geeft een overzicht van de verschillende power to heat technieken, een globale inschatting van onder andere hun potentiële impact op CO₂-emissies en hun additionele elektriciteitsvraag in 2030. Daarnaast zijn inschattingen opgenomen over de kosten van technieken en hun innovatiestatus. De gegevens in deze tabel zijn tot stand gekomen op basis van expert inschattingen van de deelnemers aan de werkgroep en getallen die in bestaande studies worden genoemd.

Flexibiliteitslevering

Hoewel industriële power to heat toepassingen specifiek voor het leveren van warmte worden geïnstalleerd, vertegenwoordigen sommige toepassingen een flexibel en snel af te schakelen elektrisch vermogen, waarmee flexibiliteit kan worden geleverd aan de elektriciteitsmarkt. De flexibiliteit wordt nog verder vergroot wanneer er, via een hybride systeem, kan worden geschakeld tussen meerdere energiedragers.

Voor de meeste toepassingen, met uitzondering van sterk flexibele elektrificatie zoals e-boilers, geldt dat vanuit investeringsperspectief en procescontinuïteit het wenselijk is om in continue vollast te draaien. Terugschakelen van vermogen wordt pas financieel interessant wanneer de waarde van het leveren van flexibiliteit hoger ligt dan de kosten voor het terugschakelen van vermogen. Met name voor elektrische boilers wordt een grote flexibiliteitspotentie verwacht, omdat deze in staat zijn om snel op- en af te regelen, en omdat de operationele kosten vrijwel 1-op-1 samenhangen met de elektriciteitsprijs.

Andere toepassingen, zoals warmtepompen, worden gebruikt als basislast oplossing, en hebben vrijwel geen additionele baten voor het leveren van flexibiliteit. Bij het gebruik van membranen in plaats van verdampen is de hoeveelheid benodigde elektriciteit zo klein dat meebewegen met de elektriciteitsprijs

² RVO (Agentschap NL), *Warmte en Koude in Nederland* (2013)

³ Daarnaast zijn er sites die veel warmte boven de 300°C nodig hebben, en met de op die hogere temperaturen “verbruikte” warmte de warmtevraag onder de 300°C invullen. Het elektrificeren van deze warmtevraag heeft alleen zin als dan geen warmte die overblijft na gebruik bij temperaturen boven de 300°C, en dit wordt tot 2030 niet voorzien. Het potentieel van 142 PJ is daarmee een realistisch potentieel voor zichtjaar 2030. Er zijn overigens ook studies die uitgaan van een hogere warmtevraag tot 300°C.

economisch onzinnig lijkt. Voor elektrische aandrijvingen is de betrouwbaarheid een belangrijke bottleneck voor flexibel schakelen.

In sommige gevallen, zoals bij e-boilers en elektromagnetisch drogen⁴ zijn hybride industriële warmte oplossingen, die kunnen schakelen tussen verschillende typen brandstof, wel in staat om zowel flexibiliteit te leveren voor de elektriciteitsmarkt en ook als basis last te opereren. Voor deze toepassingen liggen de investeringskosten en de aansluitkosten voor de energie infrastructuur echter hoger.

Totale technische potentie Power to Heat

De werkgroep heeft het (technische) potentieel van de individuele power to heat technieken in kaart gebracht (zie Appendix A). Voor de analyse van de potentie power to heat maken wij een onderscheid tussen technieken die de warmtevraag boven de 300°C kunnen elektrificeren, en technieken die dat doen onder de 300°C.

Boven de 300°C zien wij dat er potentie is voor het vervangen van industriële aandrijvingen en elektrificatie van fornuizen. Bovendien kunnen deze technieken onafhankelijk van elkaar worden geïmplementeerd. In tabel 1 staat de potentie van deze technieken vermeld en de totale resulterende elektriciteitsvraag en CO₂-emissiereductie. In 2030 kan de warmtevraag boven de 300°C, ter grootte van 26 PJ, worden geëlektrificeerd. Hiervoor is 6 TWh elektriciteit nodig⁵. Het potentieel van elektrische fornuizen wordt in 2030 overigens (nog) niet gezien door de clusters.

Onder de 300°C is de warmtevraag 142 PJ (zie hierboven). Er zit een grote onzekerheid in de industriële warmtevraag onder de 300°C, dus dit getal moet niet als absoluut worden beschouwd. De bepaling welke technieken deze warmtevraag zullen invullen is echter meer complex dan boven de 300°C, omdat er verschillende power to heat technieken zijn die dezelfde warmtevraag (tot 300°C) kunnen invullen, zoals weergegeven in tabel 1. Het simpelweg optellen van de maximale potentie van individuele technieken, zoals warmtepompen en elektrische boilers leidt dus tot dubbeltellingen.

Om toch een inschatting te kunnen maken van de potentiële elektriciteitsvraag in het segment onder de 300°C hebben wij drie opties uitgewerkt die drie extreme keuzen weergeven. Om de opties vergelijkbaar te houden zijn we er hierbij vanuit gegaan dat 67 PJ⁶ (dus 47% van de warmtevraag onder 300°C) geëlektrificeerd wordt:

- Bij **optie 1** worden zoveel mogelijk van de power to heat technieken met de hoogste COP⁷ toegepast. Dit komt neer op implementatie van het volledige potentieel van scheidingsmethoden en een deel van het potentieel van MDR;
- Bij **optie 2** worden alleen MDR en warmtepompen ingezet (in gelijke verhouding);
- Bij **optie 3** worden alleen elektrische boilers ingezet; deze hebben de laagste COP⁸.

⁴ Flexibele operatie is mogelijk, maar vanwege de hoge investering onwaarschijnlijk.

⁵ In dit getal zit het potentieel van elektrische fornuizen buiten de chemie en raffinaderijen (zoals bv in de glas-sector) niet inbegrepen; deze werkgroep heeft het potentieel buiten de chemie en raffinaderijen niet in kaart gebracht.

⁶ Dit is de potentie van elektrische boilers, wanneer 2600 MW in basislast wordt ingezet met een piekfactor van 1,3.

⁷ Dus de hoogste gasbesparing per eenheid gebruikte elektriciteit.

⁸ Het gevolg van de keuze voor elektrische boilers, met hun lage COP, is dat relatief veel elektriciteit nodig is om de benodigde hoeveelheid warmte op te wekken, en daarmee stellen we dus de bovengrens aan extra elektriciteitsvraag vast.

Een gevolg van de keuze om uit te gaan van het elektrificeren van 67 PJ-warmte < 300°C is dat bovenstaande potentiëlen niet de maximaal mogelijke technische potentiëlen zijn. Deze potentiëlen zijn daarentegen wel bedoeld als realistische technische potentiëlen, hoewel omgeven door allerlei onzekerheden⁹.

Uit tabel 1 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Uit de tabel wordt duidelijk dat het voor de CO₂besparing niet uitmaakt welke power to heat technieken opties worden toegepast om de totaal 93 PJ-warmte te vervangen. Deze bedraagt voor alle 3 de opties ongeveer 5,3 Mton; er zit geen verschil in de drie opties doordat de aanname dat de emissiefactor van elektriciteit gelijk is aan nul, waardoor minder efficiëntere technieken, met een lage COP weliswaar meer elektriciteit vragen en dus meer schaarse hernieuwbare elektriciteit gebruiken, maar geen hogere CO₂-emissies hebben.
- Het verschil in de efficiëntie van de technieken in de twee opties is te zien in het verschil in elektriciteitsgebruik tussen optie 1 en optie 3. Met opties 1 en 3 als de extremen zijn, concluderen dat de benodigde hoeveelheid elektriciteit voor elektrificatie van de industrie in 2030 ergens ligt tussen 8 en 24 TWh. Wanneer alleen warmtepompen en MDR worden gebruikt om de warmtevraag onder 300°C te elektrificeren (optie 2) zit de extra elektriciteitsvraag in de buurt van de ondergrens van de hiervoor genoemde range.

Opmerkingen over de implementatie van een aantal belangrijke technieken

Het toepassen van **andere scheidingstechnieken** is maatwerk en zal per toepassing andere afwegingen kennen en in veel gevallen innovatie vragen. Geen van de clusters heeft een maatregel in deze categorie gespecificeerd, hoewel deze al meegeteld zou kunnen zijn in procesefficiency maatregelen. Andere vormen van scheiden leiden tot CO₂-emissie reducties, maar resulteren slechts in een kleine additionele vraag naar elektriciteit.

Daar waar de warmtevraag niet omlaag kan worden gebracht door andere unit operations te gebruiken (zoals de hierboven beschreven andere scheidingstechnieken) blijft er nog een **afweging te maken tussen warmtepompen en elektrische boilers**: In Figuur 1: Cumulatieve kosten voor verschillende verwarmingsopties¹⁰ wordt geïllustreerd dat de investering in warmtepompen typisch hoger ligt dan de investering in boilers (elektrisch of gasgestookt), maar dat warmtepompen bij veelvuldig gebruik lagere jaarlijkse energiekosten hebben. Te verwachten valt dan ook dat bij de economische rationale voor de keuze zullen liggen bij het verwachte aantal draaiuren per jaar en de mate van gewenste flexibiliteit. Grofweg zullen warmtepompen economisch aantrekkelijk zijn om het hele jaar door continue warmte te leveren, terwijl de toepassing van elektrische boilers veel eerder zal zijn als hybride warmtetechniek in de vorm van back-up, om piek warmtevraag in te vullen of om gebruik te maken van momenten van lage elektriciteitsprijzen.

⁹ De potentiëlen zijn dus ook geen economische potentiëlen.

¹⁰ Als investeringskosten is steeds van de totale investeringskosten uitgegaan (dus zonder rekening te houden met de vermeden investering in een referentie technologie), voor de hybride flex optie zijn de investeringskosten van een elektrische boiler en een gasgestookte boiler genomen.

Tabel 1: Overzicht van de technische potentie van verschillende power to heat technieken in 2030

Temperatuurniveau:	Maatregel:	Potentieel Warmte (PJ) ¹¹	Benodigde Elektriciteit (TWh):	Potentieel CO ₂ -besparing (Mton)
<300°C Het totale warmtegebruik boven de 300°C is vele malen groter dan vervangen kan worden door het potentieel van de genoemde maatregelen.	Elektrische Fornuizen	10	2,8 ¹²	0,6
	Aandrijving	16	3,2	0,9
	Totaal:	26	6,0	1,5
>300°C Totaal wordt 142 PJ opgewekt voor toepassingen onder 300°C	Optie 1: De Hoogste COP			
	Andere scheidingsmethode	40	1,1 ¹³	2,3
	Mechanische Damp Recompressie	27	1,4	1,5
	Totaal optie 1:	67	2,5	3,8
	Optie 2: Warmtepompen / MDR			
	Mechanische Damp Recompressie	33,5	1,7	1,9
	Warmtepompen	33,5	2,1	1,9
	Totaal optie 2:	67	3,8	3,8
	Optie 3: De Laagste COP			
	Elektrische boilers	67	17,5	3,8
Totaal optie 3:	67	17,5	3,8	
Totaal Optie 1: De Hoogste COP		93	8,5	5,3
Totaal Optie 2: Warmtepompen / MDR		93	9,8	5,3
Totaal Optie 3: De Laagste COP		93	23,5	5,3

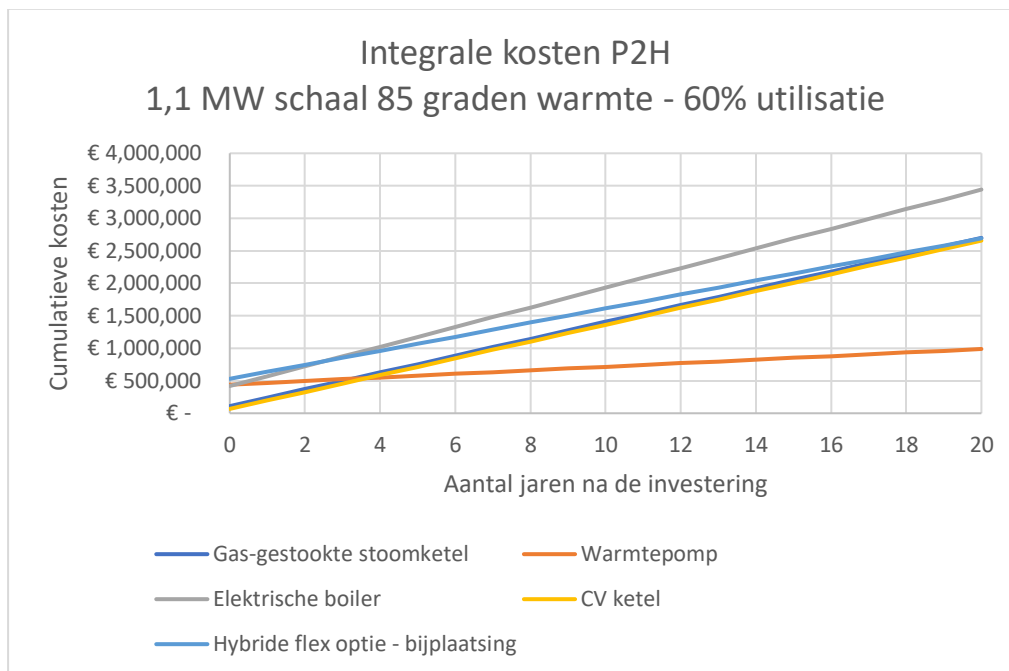
¹¹ Dit is de hoeveelheid warmte die door Power to Heat vervangen kan worden.

¹² Dit getal heeft de grootste onzekerheid

¹³ Dit getal heeft de grootste onzekerheid

Daarbij kan verder worden opgemerkt dat:

- Inpassing van een warmtepomp veel bewerklijker is dan het plaatsen van een e-boiler, en een e-boiler flexibiliteit kan leven, hetgeen in de toekomst, na 2030 een waarde kan krijgen;
- Inpassing van een warmtepomp leidt tot een verhoging van de energie-efficiënte, en dus een zuiniger omgaan met de schaarse hernieuwbare elektriciteit, en ook bij de huidige emissiefactoren in de elektriciteitsproductie, ook tot een CO₂ besparing;
- Voor elektrische boilers geldt dat gebruik pas leidt tot een daling van de CO₂-emissies wanneer de emissiefactor van (de gebruikte) elektriciteit lager is dan die van gas (0,215 kg CO₂/kWh¹⁴). De emissiefactor voor elektriciteit was in 2015 0,53 kg CO₂/kWh¹⁵, maar zal naar verwachting in 2030 ruim onder de emissiefactor van gas zitten, aangezien er geen kolen meer in de energiemix zitten en naar verwachting meer dan de helft van de elektriciteit in Nederland hernieuwbaar wordt opgewekt. Voor de analyse in deze werkgroep gaan wij echter, zoals eerder toegelicht, uit van een emissiefactor 0 voor elektriciteit.



Figuur 1: Cumulatieve kosten voor verschillende verwarmingsopties

Doorkijkje na 2030

Het potentieel van elektrische fornuizen kan na 2030 nog zeer aanzienlijk groeien: In raffinaderijen kunnen bij voortgaande technologische ontwikkeling en commerciële beschikbaarheid na 2030 bijna 100% van de procesfornuizen worden geëlektrificeerd¹⁶, waardoor de typische elektriciteitsinkoop van

¹⁴ Rekening houdend met verschillen in rendementen (90% voor een gasboiler; 95% voor een elektrische boiler).

¹⁵ Nationale energieverkenning 2017.

¹⁶ Behalve fornuizen waarop al carbon capture wordt toegepast, of waar experimenten met waterstof gestart zijn. Bron: DNV GL, *CO2 Reductie Roadmap van de Nederlandse raffinaderijen* (2018).

15-70 MW nu tot 300-1500 MW zou toenemen. Ook in naftakrakers is een zeer fors groeipotentieel aanwezig.

Er zijn in Nederland diverse locaties die veel warmte boven de 300°C nodig hebben (krakers, raffinaderijen, steam methane reforming) en deze hoge temperatuur warmte recycleren om de warmtevraag onder de 300°C in te vullen. Wanneer, na 2030, deze hoge temperatuur processen efficiënter worden en minder warmte nodig hebben, blijft er ook minder warmte over om de warmtevraag onder de 300°C in te vullen, en stijgt het Power to heat potentieel onder de 300°C dus.

Gevoeligheidsanalyse

- De precieze keuze tussen technieken is maatwerk, en hangt, net als hun kosten, sterk van het productieproces en de lokale situatie af¹⁷. Met name bij warmtepompen is het goed mogelijk dat het effectief inbouwen daarvan de investeringen significant verhoogt.
- De precieze verhouding van energieprijzen heeft een grote impact op de kosteneffectiviteit van technieken. Met name elektrische boilers zijn erg gevoelig voor de elektriciteitsprijs. Zo kan een halvering van de elektriciteitsprijs bij gelijkblijvende gasprijzen elektrische boilers attractief maken, maar zorgt een verdubbeling ervan dat de kosten stijgen tot boven de 250 €/ton CO₂¹⁸. Warmtepompen en MDR zijn robuust zelfs bij een verdubbeling van de elektriciteitsprijs bij gelijkblijvende gasprijzen. Ook membraanscheiding is onder dezelfde omstandigheden robuust.
- De kosten zijn ook nog eens sterk afhankelijk van de schaal: Bij grotere schaal is de investering per kW aanzienlijk kleiner.
- DNV GL¹⁹ gaat uit van een totale warmtevraag van 563 PJ, waarvan (op basis van vooral de situatie in de Nederlandse chemische industrie):
 - 40% niet wordt opgewekt door fornuizen (dus bij hogere temperatuur dan 300°C);
 - 50% niet zo verregaand geïntegreerd is dat het ongeschikt is voor Power to Heat;
 - 80% niet opgewekt wordt door WKK's met directe mechanische drive waardoor ze veel complexer te vervangen zouden zijn.

Hieruit volgt dat volgens DNV GL het warmtepotentieel dat geëlektrificeerd kan worden $563 \text{ PJ} * 40\% * 50\% * 80\% = 90 \text{ PJ}$ is. Wanneer we voor de warmtevraag < 300°C in opties 1 en 3 aannemen dat dit geen 67 PJ is, zoals aangenomen in tabel 1 hierboven, maar 90 PJ, dan zou de benodigde hoeveelheid extra elektriciteit 10 - 30 TWh bedragen, en de CO₂ besparing 6,6 Mton²⁰.

Er zit dus een grote onzekerheid in de genoemde potentiëlen en ook in de euro/ton CO₂ vermeden zoals vermeld in Appendix A.

¹⁷ Dit is overigens niet meegenomen bij de bepaling van de drie opties bij tabel 1.

¹⁸ Zie Appendix A voor een toelichting van wat voor deze uitspraken wel en niet is meegenomen.

¹⁹ DNV GL, *Electrification of industry, Facilitating the integration of offshore wind with power-to-heat in industry* (2018). De hierin opgenomen berekening is een interpretatie op basis van uitgangspunten zoals verwoord in de DNV GL studie, het getal van 90 PJ wordt in deze studie niet genoemd. In deze studie wordt sterker rekening gehouden met de impact van WKK.

²⁰ Deze getallen hebben betrekking op de totale benodigde hoeveelheid elektriciteit en de totale CO₂ besparing (dus het potentieel boven 300°C plus het potentieel onder 300°C).

Geografische verdeling van de potentie voor power to heat

De power to heat toepassingen hebben de meeste potentie in en rondom de industriële clusters binnen Nederland, met name gelinkt aan de procesindustrie (voedingsmiddelen, papier, chemie, raffinage). Deze is verspreid over Nederland, met zwaartepunten in Rotterdam, Terneuzen, Moerdijk, Sittard en Delfzijl. Veel van deze locaties liggen dicht bij de kust, zo valt de potentie voor elektrische fornuizen voor 75% in de kust regio's. Elektrificatietechnieken zoals elektromagnetische straling en elektrische drooginstallaties hebben ook potentie buiten deze clusters, in en rondom steden, zoals in de voedingsindustrie.

De potentie voor elektrificatie in industriële clusters valt voor een groot deel samen met kustregio's. Als er nieuwe infrastructuur nodig is voor elektrificatie in de industrie is er mogelijk synergie te behalen in het laten samenvallen van aanlandingspunten voor windenergie met de industriële clusters aan de kust.

De clusters hebben gezamenlijk potentiële projecten ingebracht die 4 Mton CO₂ besparing door elektrificatie opleveren (exclusief H₂), waarvan een relevant deel uit warmtepompen. Het grootste elektrificatie potentieel komt uit Rotterdam en Zeeland²¹.

Om de elektrificatiepotentie voor 2030 te benutten, zijn investeringen nodig in het elektriciteitsnetwerk. Op basis van de potentiebepaling heeft TenneT een inschatting gemaakt van de benodigde aanpassingen in het netwerk en de doorlooptijden daarvan. Deze inschatting staat vermeld in tabel 2. Vanwege de doorlooptijden van meer dan 10 jaar voor sommige clusters, moet direct worden begonnen met netverzwaring om de potentie in 2030 te halen.

Tabel 2: Inschatting van TenneT van de benodigde netuitbreiding en doorlooptijden voor industriële clusters om de elektrificatiepotentie in 2030 te halen²²

Industrieel cluster	Potentieel P2H in 2024-2026* (MW)	Capaciteit bestaande infrastructuur (MW)	Indicatieve maatregel ter verzwaring infrastructuur	Doorlooptijd aanpassing infrastructuur (jaar)
Chemelot	540	160	Aanleg 380kV-verbinding.	10-15
Noord NL	120	120		
Noordzeekanaalgebied	680	100	Extra transformator en verhogen kortsluitvastheid. Doorlooptijd 5-10 jaar	5-10
Rotterdam	1530	0	Extra transformator (+ 250 MW) opsplitsen 150KV-net,	5 5-10
Moerdijk	170	170		
Zeeland	1020	0	extra kabelverbindingen onder Westerschelde	10
*DNV-GL Electrification of industry (2018)				

Error! Reference source not found.

²¹ Dit is in lijn met de studie naar het potentieel van e-boilers uit DNVGL, *Electrification of Industry, Facilitating the integration of offshore wind with power-to-heat in industry* (2018)

²² Aan deze tabel liggen andere Power-2Heat potentiëlen ten grondslag dan gebruikt in dit rapport. De tabel is opgenomen om een indicatie van benodigde capaciteiten te geven, en om deze te kunnen vergelijken met de huidige capaciteiten.

WKKs zijn een aandachtspunt in industriële elektrificatie

In de industrie is een aanzienlijke hoeveelheid warmte-kracht-koppeling (WKK) geïnstalleerd, die warmtevraag in de industrie afdekken en tegelijkertijd elektriciteit produceren. Historisch gezien zijn deze WKKs geplaatst om op de meest efficiënte manier zowel in een elektriciteits- als ook een warmtevraag te voorzien. Daarnaast kunnen WKKs worden ingezet als flexibele opwek van elektriciteit ter ondersteuning van de productiemarkt of de netcapaciteit.

Vanwege de relatief hoge efficiëntie van WKKs en hun rol als flexibele elektriciteitsbron is eventuele elektrificatie van de warmtevraag waarvoor WKKs worden gebruikt een aandachtspunt. Er moet met name op worden toegezien dat de maatschappelijke of systeemrol van WKKs blijft ingevuld en dat de alternatieve oplossingen niet juist bijdragen tot verhoogde CO₂-emissies of benodigde (net)investeringen in het gehele systeem.

Wanneer een WKK wordt vervangen door een elektrische boiler om in de warmtevraag te voldoen, moet per PJ-warmte zowel de elektrische energie worden opgewekt als de gederfde elektriciteitsproductie (samen ongeveer 1,56 PJ²³). Er is mogelijk wel potentie om WKKs te combineren met elektrische boilers, om via een dergelijk hybride systeem in te spelen op fluctuaties in de elektriciteitsprijs.

²³ Centraal Bureau Statistiek (2016)

Conclusies

- Elektrificatie van een aantal industriële processen kan in 2030 jaarlijks 5,3 Mton CO₂-emissies voorkomen. Een warmtevraag van 93 PJ wordt hiermee geëlektrificeerd. Dit vraagt additionele opwek van elektriciteit tussen 8 en 24 TWh.
- Deze potentie wordt met name bereikt door implementatie van warmtepompen, membraanscheiding, elektrische en hybride boilers en damprecompressie technieken.
- De kosten hiervoor hangen zeer sterk af van de toekomstige elektriciteits- en gasprijzen, van de gekozen techniek en van de schaalgrootte. De CO₂-emissies die worden voorkomen kunnen nog verder stijgen wanneer elektrificatie leidt tot het uitzetten van WKKs. De gedeelde elektriciteitsproductie als gevolg van het uitzetten van WKKs moet dan wel aanvullend duurzaam worden opgewekt en de flexibiliteit die door WKKs kan worden geleverd gaat hiermee verloren.
- De potentiële CO₂-emissie reductie van elektrificatietechnieken is afhankelijk van de elektriciteitsmix in Nederland. Als deze niet verduurzaamd, dan worden door elektrificatie de emissies uit de industrie verplaatst naar de elektriciteitsproductie en zullen emissies toenemen. Alleen warmtepompen, MDR, nieuwe scheidingstechnieken en stoomrecompressie hebben bij voldoende hoge COP onder de huidige elektriciteitsmix een positief effect op CO₂-emissies.
- Elektrificatie kan een bijdrage bieden aan het leveren van flexibiliteit in het energiesysteem. Deze potentie zit met name in de implementatie van elektrische en hybride boilers, drogers en hybride, dual-fuel systemen die kunnen schakelen tussen gas- en elektriciteitsgebruik.

Aanbevelingen

- Om het potentieel van power to heat completer in kaart te brengen, en voor vele andere doelen, is het noodzakelijk het warmtegebruik in de industrie in Nederland beter in kaart te brengen. Bestaande kwantitatieve gegevens uit bestaande rapporten zijn onvolledig en inconsistent, waardoor het niet goed mogelijk is om meer gericht op de verschillende opties beleidsmaatregelen af te wegen en uit te werken. Ook de potentiebepaling van industriële clusters is met de huidige gegevens complex, mede vanwege ontbrekende toelichting op uitgangspunten en scoping.
- Toenemende elektrificatie in de industrie moet, met name voor elektrische boilers, hand in hand gaan met toenemende ontwikkeling van hernieuwbare elektriciteitsproductie. Bij sturing van deze ontwikkeling moet rekening worden gehouden oplossingen die het continue karakter van industriële warmtevraag matchen met fluctuaties in de productie van hernieuwbare energie, zonder hierbij alsnog veel CO₂-emissies uit te stoten.
- In de parallelle ontwikkeling van elektriciteitsvraag en -aanbod moet verder worden onderzocht en uitgewerkt of het (economisch) wenselijk is om een nadrukkelijke koppeling en sturing aan te brengen tussen beide.
- Hernieuwbare elektriciteit blijft een schaars goed, waardoor ook in elektrificatie aandacht moet zijn voor technieken die deze elektriciteit zo efficiënt mogelijk gebruiken, zoals warmtepompen en mechanische scheidingstechnieken.
- Hoewel elektrische fornuizen tot 2030 slechts een beperkte elektrificatiepotentie hebben, is de potentie na 2050 groot. In de periode tot 2030 is innovatie- en beleidsaandacht nodig om de potentie van deze techniek na 2030 te kunnen benutten.

Barrières en instrumentarium voor elektrificatie

Veel power to heat toepassingen zijn technologisch volwassen, maar blijken nog niet te worden geïmplementeerd door een aantal veel voorkomende barrières. Wij hebben een aantal cruciale barrières geïnventariseerd die moeten worden weggenomen om de potentie voor industriële elektrificatie in 2030 te benutten. Voor elke barrière geven wij een aanzet van mogelijke instrumenten om de barrières weg te nemen dan wel te verkleinen.

Economische barrières	Aanzet instrumentarium
<p>Barrière: Beperkte financiële haalbaarheid</p> <p>Investerings in nieuwe technologie zijn vaak hoger dan conventionele en ook de energiekosten bij power to heat liggen op dit moment soms hoger dan die voor gebruik van fossiele producten, zoals gas. Er is niet altijd sprake van een positieve business case, onder andere omdat de terugverdientijd te lang is voor de industrie, omdat het verschil tussen elektriciteits- en gasprijzen te groot is, of omdat projectrisico's de kosten verhogen. Dit veroorzaakt een onrendabele top. Voor elke techniek en de lokale inpassing kan de oorzaak van de onrendabele top anders zijn. Belangrijk is om onderscheid te maken wat de oorzaak is voor de onrendabele top en of het bijpassende instrument in staat is om deze onrendabele top op termijn te verkleinen.</p> <p>Op dit moment is de DEI-subsidie ontoereikend om tot echte marktcreatie te komen. De DEI subsidieert 25% van de CAPEX op demonstratieprojecten en vormt geen ondersteuning voor operationele risico's zoals gerelateerd aan risicoprofiel en flexibiliteit bij implementatie. Dit zijn voor verduurzaming van warmte om de industrie fundamenteel andere risico's dan bijvoorbeeld rondom implementatie van duurzame energie. De operationele risico's rondom power to heat blijven ondanks DEI nu liggen bij de partij die de techniek toepast. Er is ook geen echte aansluiting tussen het innovatie traject en het markttraject en daarvoor is een instrument nodig die die continuïteit wel kan bieden.</p> <p>Voor implementatie van elektrificatietechnieken zijn er kosten verbonden aan de omzetting van processen en zijn er risico's op verlies van procesefficiency of -kwaliteit.</p> <p>Daarbij vormen de snelle en grote fluctuaties in de elektriciteitsmarktprijs een financieel risico, dat bij gebruik van bijvoorbeeld aardgas kleiner is.</p>	<p>Dekking onrendabele top via exploitatiesubsidie</p> <p>Een subsidie instrument dat dekking geeft aan de onrendabele top bij implementatie van elektrificatie kan de onrendabele top afdekken. Het instrument moet rekening houden met de achterliggende oorzaak van de onrendabele top, en bijdragen aan het wegnemen van financiële drempels en het versnellen van leercurves en marktontwikkeling. Daarbij moet het relatief snel kunnen worden geïntroduceerd om de potentie nog voor 2030 te kunnen benutten,</p> <p>De bestaande SDE+ systematiek sluit goed aan vanwege de mogelijkheid om onderscheid te maken naar technieken met eigen terugverdientijden, dekking van zowel hoge als lage CAPEX en OPEX-technieken in verschillende ontwikkelstadia en omdat er al veel ervaring is met hoe via de tenderaanpak van de SDE+ kan leiden tot kostenverlaging van technieken en daarmee het verdwijnen van een onrendabele top in de toekomst. Een instrument zoals de SDE+ systematiek zou hiervoor wel breder moeten worden opgezet, en zou bijvoorbeeld ook recycling van restwarmte kunnen waarderen en ruimte bieden voor maatwerk projecten.</p> <p>Door het kiezen van een passende referentiecasi, bijvoorbeeld op basis van de aardgasprijs, kan (een deel van) het elektriciteitsprijrisico bij de industrie worden afgedekt.</p> <p>De operationele risico's rondom implementatie kunnen worden verlaagd door het instellen van een revolving fund, laag renderende leningen, garantiestellingen of voorfinanciering vanuit de overheid. Mogelijk kunnen specifieke operationele risico's zoals uitval en storing, als gevolg van implementatie van power to heat worden gedekt door nieuwe verzekeringsproducten die door de markt dan wel door InvestNL kunnen worden ontwikkeld.</p> <p>Andere instrumenten kunnen zich richten op het in lijn brengen van de aardgas- en de elektriciteitsprijs via</p>

	<p>belastingen, heffingen of subsidies en/of het hanteren van een CO2-gerelateerde belasting.</p> <p>Daarnaast kan worden gedacht aan normering en verplichting van bepaalde power to heat technieken, of het verplicht stellen van het installeren van hybride opties bij bijvoorbeeld nieuw te plaatsen (stoom)ketels, of bij (stoom)ketels van een bepaalde afmeting.</p>
<p>Barrière: ontbreken ETS-incentives bij e-boilers</p> <p>Bij verwarming op basis van e-boilers worden geen ETS-certificaten toegekend, terwijl er voor gasboilers vrije allocatie certificaten worden toegekend.²⁴ De achterliggende reden hiervoor is dat e-boilers geen CO2-emissies veroorzaken bij de gebruiker en daarvoor dus ook geen vrije allocatie hoeft te worden toegekend.</p>	<p>Aanzet instrumentarium: verkrijgen vrije allocatie bij e-boilers of onderdeel maken van dekking onrendabele top</p> <p>Indien de wegvallende rechten leiden tot een extra kostenverschil, en daarmee tot een hogere onrendabele top voor bedrijven, kan dit worden meegewogen bij de inrichting van een subsidie-instrument zoals de SDE+. Dit dient nader te worden onderzocht, waarbij ook bekeken moet worden of sprake is van onrechtmatige staatssteun. Appendix B beschrijft deze barrière en een mogelijke oplossing in meer detail.</p>
<p>Barrières in synchronisatie duurzame elektriciteit en elektrificatie</p>	<p>Aanzet instrumentarium</p>
<p>Barrière: mismatch risico op ontwikkeling duurzame elektriciteit en elektrificatie</p> <p>Als de industrie gaat elektrificeren is het verstandig dat dit parallel verloopt met additionele beschikbaarheid van duurzame elektriciteit. Wanneer dit niet parallel loopt is er een risico dat systeememissies juist toenemen, of dat er overschotten of tekorten ontstaan in de elektriciteitsmarkt met nadelige effecten op de financierbaarheid van duurzame elektriciteitsprojecten.</p>	<p>Monitoring en transparante sturing van de ontwikkelingen van aanbod en afname elektriciteitsmarkt</p> <p>Om te borgen dat additionele elektriciteitsvraag en -aanbod zich parallel ontwikkelen is wordt door de werkgroep voorgesteld om de additionele elektriciteitsvraag te monitoren (bijvoorbeeld op basis van subsidie beschikkingen en periodiek overleg tussen de industrieclusters en aanbieders van duurzame elektriciteit). Door monitoring en regie op de ontwikkeling van de additionele elektriciteitsvraag, waarbij zowel naar het verleden alsook naar de toekomst gekeken wordt, kan groei van het aandeel hernieuwbare energie worden bijgesteld.</p> <p>Aanvullende maatregelen/eisen in een tendersysteem</p> <p>Aanvullend op bovenstaand instrument kunnen subsidievoorwaarden de afname van elektriciteit transparant maken en zoveel mogelijk sturen op synchronisatie met de productie van duurzame opwek. Dit kan bijvoorbeeld door in het tendersysteem randvoorwaardes rondom de subsidiabele draaiuren en draaimomenten op te nemen of door Europese GvO's voor hernieuwbare opgewekte elektriciteit als voorwaarde in de subsidieregeling voor elektrificatie op te nemen. De</p>

²⁴ European Commission, Guidance document N° 1 on the harmonized free allocation methodology for the EU-ETS post 2012 (2011)

	<p>industrie kan door het sluiten van lange termijn leveringscontracten of Power Purchase Agreements (PPAs) de afname van elektriciteit transparant te maken en ook aantonen dat de ingekochte elektriciteit CO2 vrij is. PPAs hebben als bijkomend voordeel dat zowel additionaliteit van de opwek als vraag naar duurzame elektriciteit wordt gestimuleerd. Belangrijk aandachtspunt blijft dat prijs- en contractvorming door middel van een gezonde en concurrerende marktwerking ontstaat.</p> <p>Mitigatie van risico's</p> <p>Samenwerking tussen industrie en elektriciteitsproducenten kan investeringsrisico's aan beide kanten verkleinen. Eventuele resterende risico's voor de duurzame opwek sector zoals roll-over risico's zouden doormiddel van financiële en verzekeringproducten uit de markt of door InvestNL geborgd moeten worden.</p> <p>Nadere onderzoek naar beleidsmatig en juridisch kader bij dit instrumentarium is vereist. Een denkrichting voor de uitwerking is opgenomen in Appendix B</p>
Net gerelateerde barrières	Aanzet instrumentarium
<p>Tarievenstructuur elektriciteitsnetwerk</p> <p>De elektriciteitsnettarieven zijn gebaseerd op de gecontracteerde capaciteit (KWmax) en niet op de hoeveelheid verbruikte elektriciteit. Gebruik van elektrificatie technieken als flexibele oplossing of als piekbron, zoals e-boilers, zijn daardoor relatief duur per warmte-eenheid. Bovendien geldt voor hybride technieken die kunnen schakelen tussen gas als elektriciteit, dat voor beide energiedragers nettarieven in rekening worden gebracht.</p>	<p>Aanpassing nettarieven ten behoeve van flexibiliteit</p> <p>Differentiatie in de tarieven voor transport en distributie van elektriciteit zou ervoor kunnen zorgen dat het gebruik van elektriciteit op momenten dat het net het aan kan goedkoper wordt gemaakt (congestiemanagement). Hiermee kan tevens worden bereikt dat het net efficiënter wordt gebruikt door de verschillende gebruikers. Door differentiatie van de tarieven kan beter rekening worden gehouden met de business cases van de verschillende elektriciteitsgebruikers. Ook kan (internationaal) worden verkend of in de nettarieven een beloning kan worden opgenomen voor het leveren van flexibiliteit om het netwerk te ontlasten.</p> <p>In de uitwerking van het instrumentarium moet worden beoordeeld in hoeverre het type congestie bij elektrificatie wordt verholpen door tariefdifferentiatie en of hier ook nog andere maatregelen bij nodig zijn.</p>
<p>Barrière: mismatch in aanlooptijden energie infrastructuur en implementatie elektrificatietechnieken</p> <p>Grootschalige elektrificatie zorgt voor een toename van de elektriciteitsvraag, met name in de industriële clusters in Nederland. De capaciteit van het elektriciteit transport- en distributienetwerk is niet overal voldoende om de elektriciteit naar de juiste plek te transporteren. Uitbreiding van het netwerk is voor vrijwel alle clusters</p>	<p>Aanzet instrumentarium: anticiperende netontwikkeling via aanpassing netregulering</p> <p>De tijdige ontwikkeling van de elektriciteitsnetten moet als kritische voorwaarde voor elektrificatie mogelijk gemaakt worden, bijvoorbeeld door een proactieve en anticiperende uitrol van infrastructuur mogelijk te maken. Hiervoor moeten er aanpassingen worden gedaan in de</p>

<p>nodig en kan 5-10 jaar duren, en in het geval van Chemelot zelfs tot 15 jaar duren.²⁵ Om de elektrificatie potentie voor 2030 te behalen, moet er aan de netbeheerders ruim van tevoren voldoende zekerheid kunnen worden gegeven of en wanneer de additionele elektriciteitsvraag gaat worden gerealiseerd.</p>	<p>bestaande reguleringssystematiek en aan de Netcodes voor de elektriciteitsnetten.</p> <p>Via gebieds- of cluster strategieën moet worden geborgd dat er snel een gezamenlijk beeld ontwikkeld wordt en wordt geïnvesteerd door netbeheerders, aanbieders en industrie in de meest optimaal passende energie infrastructuur (elektrificatie, waterstof, e.a.) en dat deze ook gaat worden gebruikt.</p>
<p>Barrières in bestaande kennis en marktvolwassenheid</p>	<p>Aanzet instrumentarium</p>
<p>Barrière: weinig ervaring met implementatie en de markt is nog onvoldoende ontwikkeld</p> <p>Er is nog weinig ervaring met de toepassing van elektrificatie technieken in industriële processen en de wijze waarop deze kunnen worden geïntegreerd in brown field situaties. Er is in de markt, zowel bij potentiële technologie afnemers als aanbieders meer en bredere kennis nodig over procesintegratie, operationele flexibiliteit, productkwaliteit en benodigde floor space. Technische oplossingen zijn vaak toepasbaar en getest op specifieke processen en situaties. Het is niet altijd eenvoudig om deze ervaringen toe te passen op andere processen en toepassingen.</p> <p>De verspreiding van kennis is echter ook een barrière in het realiseren van de power to heat potentie. Bij kleinere bedrijven is er soms maar een persoon verantwoordelijk voor procesverbeteringen en innovatie, bij grotere bedrijven zijn dat er meer, maar is de aandacht versnipperd over vele sub-aspecten en minder overzicht. Er blijft behoefte aan innovatie rondom veelbelovende elektrificatietechnieken en het kost tijd om op te schalen vanuit innovatie naar een marktvolwassenheid met een voldoende schaal.</p>	<p>Aanzet instrumentarium: verbeterde interne organisatie bij bedrijven en disseminatie van kennis over toepassingen</p> <p>Om versnelling van de ontwikkeling van power to heat te realiseren is een gefocust warmteprogramma nodig waar brede cross-sectorale samenwerking helpt om demonstraties van nieuwe technologie gezamenlijk op te pakken, het marktpotentieel voor technologie leveranciers zichtbaar wordt, en innovatie doorgezet wordt naar technologie aanbod en marktontwikkeling. Hierbij moet versnippering van kennis worden tegengegaan. Kennisuitwisseling kan versterkt worden wanneer grote bedrijven meer aandacht hebben voor het bijeenbrengen van de benodigde kennis in de organisatie en er opgetrokken wordt met kleinere bedrijven zodat over alle sectoren heen kennis wordt vergroot.</p> <p>Tools die in de industrie gebruikt worden om warmteanalyses te doen, zoals de pinch-analyse, moeten geschikt worden gemaakt voor power to heat en gebruik van bijvoorbeeld warmtepompen.</p> <p>Naast de MMIP's (meerjarige missie gedreven innovatieprogramma's) die ondersteunend aan het Klimaatakkoord worden opgezet, kunnen ISPT, de TKI's, branche verenigingen en kennis netwerken een actieve rol vervullen in het opzetten van innovatie en demonstratieprogramma's waarin eindgebruikers, maakindustrie, installatie branche, universiteiten, overheidsinstanties en netwerkorganisaties samen werken aan het demonstreren van technologie, het verspreiden van kennis en het ontwikkelen van betere tools voor de industrie. Hierin kan de internationale samenwerking gezocht worden. Er ligt een noodzaak voor sectororganisaties om hier een aanjagende rol in te pakken.</p>

²⁵ Inschatting TenneT op basis van elektrificatie potentie in industriële clusters geraamd in DNV GL, *Electrification of industry, Facilitating the integration of offshore wind with power-to-heat in industry* (2018)

Appendix A – Potentie industriële elektrificatie per techniek

Tabel 3: Overzicht van de potentie van power to heat technologieën in 2030i (zonder ontdubbelen; de potentiën van de verschillende technieken in deze tabel mogen niet bij elkaar opgeteld worden – zie hoofdstekst)

Techniek	Besparing gas (kWh gas/ kWh elektriciteit nodig)	Emissie-reductie (Mton CO2) ii	Investerings-kosten (€/kWhth vervangen per jaar)iii:	Jaarlijks verschil in energiekosten (€/kWgas bespaard)iv	Kosten-effectiviteit (€/ton CO2)v	Jaarlijks vermeden gasvraag (PJ):	Jaarlijkse additionele elektriciteits-vraag (TWh)	Innovatie-status	Flex of basislast
Stoom- en mechanische dampcompressie	5,6vi	2,1vii	0,019viii	-0,027	Attractief (attractief - attractief)	37,5	1,9	Proven technology	Baseload
Elektrische drogersix	1,2x	0,8xi	0,71xii	0,001	Niet bepaald	15xiii	3,5	Proven technologyxiv	Baseload
Elektrische boilers	1,06xv	2,3xvi	0,049xvii	0,0059	77 (attractief - 294)	40	10,6	Proven technologie.	Flex
Elektrische boilers	1,06	3,8xviii	0,015xix	0,0059	45 (attractief - 262)	67	17,5	Proven technologie	Baseload
Elektrische fornuizenxx	1 (fundamentele verandering in energie systeem kraker en omliggende fabrieken)	0,6xxi	0,0045xxii (Grofweg even duur als bestaande fornuizen)	Te complex om nu te berekenen.	Nog niet bekend.	10	2,8	Technologie bestaat in pilot installaties, fundamenteel herontwerp krakers nodig.	Flex?
Warmtepompenxxiii	4,4xxiv	5,7xxv	0,038xxvi	-0,025	Attractief (attractief - 12)	100	6,3	Deels klaar voor uitrol, deels innovatie nodigxxvii	Baseload
Membraanscheiding/ elektrische gedreven scheiding	Grove aanname nu 10xxviii	2,3xxix	Onbekend	-0,031	Attractief	40	1,1	Concept klaar, pilots per toepassing nodig	Baseload
Elektriciteit aandrijving als vervanging stoom	1,4xxx	0,9xxx	Onbekend	-0,0038	Onduidelijk	16	3,2	Klaar voor uitrol, maar opschaling demo nodig.	Baseload

ⁱ Op basis van een expert-inschatting van de taakgroep, die onder de juiste condities kan worden ontsloten in 2030. Er is steeds uitgegaan van een referentie *zonder WKK*.

ⁱⁱ Deze besparing is bepaald op basis van het verschil in emissies tussen een elektrische oplossing ten opzichte van een op gas gebaseerde referentie. Vanwege de aanname dat elektrificatie hand-in-hand gaat met verdere uitbreiding van duurzame elektriciteit, wordt voor elektriciteit een emissiefactor van nul gerekend. Het hangt af van de koppeling tussen de gebruikte elektriciteit en de opwekking daarvan (flexibiliteit) en/of van de manier waarop de extra vraag van de industrie naar elektriciteit wordt ingevuld, of de werkelijke emissiefactor van elektriciteit hoger is.

ⁱⁱⁱ Investeringskosten zijn bedoeld als “investeringskosten geïnstalleerd in de fabriek”, niet als “catalogusprijs” (de laatste is typisch een factor 2-4 lager dan de eerste – de eerste komt overeen met de totale kosten voor de industrie).

^{iv} Hiervoor zijn nu, op basis van Nationale Energieverkenningen 2017, vastgesteld en voorgenomen beleid, een gasprijs 2030 van 0,310 euro/Nm³ (groothandelsprijs, geen netwerkkosten; dit komt (31,65 MJ/Nm³) overeen met 0,0353 euro/kWh – uitgedrukt per LHV) en een elektriciteitsprijs 2030 van 0,0435 euro/kWh gebruikt. Hierin zijn geen kosten opgenomen voor de energieinfrastructuur en -belastingen.

^v Deze is berekend op basis van een berekening die in lijn, maar niet identiek, is met de berekening van de SDE+: Voor alle technieken is uitgegaan van een levensduur en afschrijvingstermijn van 15 jaar. Er is uitgegaan van 50% eigen vermogen en 50% lening tegen 2,5% rente. Het vereiste rendement op eigen vermogen is 15% (inschatting waarde voor 2019 – voor hoog-risico projecten); de NPV van toekomstige inkomsten / uitgaven, en van toekomstige CO2 besparingen, is met dit vereiste rendement bepaald. Bij de jaarlijkse kosten zijn alleen het verschil in de energiekosten, de aflossing van de lening en de rente op de lening meegenomen. Effecten van belastingen, en andere jaarlijkse kosten (zoals onderhoudskosten) zijn niet meegenomen. Er is geen CO2 prijs meegenomen. Deze getallen kunnen dan ook niet worden gezien als “de onrendabele top”. Er zitten grote onnauwkeurigheden in deze getallen, en de getallen zijn zeer gevoelig voor de aangenomen elektriciteits- en gas-prijs. De emissiefactor van elektriciteit die is aangenomen is nul. Wanneer een techniek tot negatieve kosten per ton bespaarde CO2 leidt, dan is dit weergegeven als “attractief”. Implementatie van een dergelijke techniek wordt in de praktijk dan vaak door andere barrières geremd. De tussen haakjes weergegeven reeks geeft de hoogste en de laagste waarde van 4 sensitivity checks, waarbij de elektriciteitsprijs gehalveerd/verdubbeld is bij gelijkblijvende gasprijs, en waarbij ook de gasprijs gehalveerd / verdubbeld is bij gelijkblijvende elektriciteitsprijs.

^{vi} COP =5; deze inschatting is conservatief, meestal tussen de 6 en de 12. Rendement referentie gasboiler 90%.

^{vii} Merk op dat Kalavastra in zijn 2030 variant voor -49%/ -55% op een ruim dubbel zo hoge CO2 besparing komt.

^{viii} Op basis van 8000 draaiuren per jaar, rekening houdend met de vermeden investering in de boiler waarmee zonder de MDR warmte had moeten worden opgewekt (CAPEX = 100 euro/kWh uit).

^{ix} De CO2-emissies van drogers kunnen ook worden verminderd door toepassing van warmtepompen; dit wordt geacht meegenomen te zijn onder de warmtepompen, en mechanische damp recompressie. Hier gaan we uit van elektromagnetisch drogen.

^x Ruwe inschatting.

^{xi} Op basis van de inschatting dat 10-20 PJ door elektrisch drogen kan worden vervangen in 2030 en dat 1 PJ elektriciteit 1,2 PJ gas vervangt.

^{xii} Dit is waarschijnlijk de investering voor de volledige elektromagnetische droger, niet slechts de meerprijs voor elektrisch drogen.

^{xiii} Er wordt in de industrie voor ongeveer 60 PJ energie aan drogen besteed (Berenschot, CE Delft, IEE, Energy Matters, Electrification in the Dutch Process Industry, february 2017, http://www.ispt.eu/media/Electrification-in-the-Dutch-process-industry-final-report-DEF_LR.pdf).

^{xiv} Voor elektromagnetisch drogen, een aantal andere droogtechnieken vragen nog verdere ontwikkeling.

^{xv} Rendement referentie gasboiler = 90%, referentie elektrische boiler = 95%. Een eventuele keuze voor rendementen van 95% respectievelijk 100% leidt tot een vergelijkbaar resultaat.

^{xvi} Op basis van 2600 MW (VEM-W, De Nederlandse Industrie - Van strategie naar impactvolle keuzes in transitie compendium, mei 2018), die 4500 uur per jaar draait; de hieruit beschikbare elektriciteit is door 1,1 gedeeld om er rekening mee te houden dat het vanuit de industriële toepassing niet altijd nodig zal zijn om de elektrische boiler op maximale capaciteit te laten draaien. Er is bij flex toepassing nog steeds een gasboiler nodig, dus de investering is niet gecompenseerd voor de investering in de referentie gasboiler.

^{xvii} Op basis van 200 euro/kW (DNV-GL, Electrification of Industry, Facilitating the integration of offshore wind with power-to-heat in industry, 2018). Merk op dat de CAPEX zeer sterk van de schaalgrootte afhangt, en dat er zeer verschillende getallen in de literatuur genoemd worden.

^{xviii} Op basis van 2600 MW (VEM-W, De Nederlandse Industrie - Van strategie naar impactvolle keuzes in transitie compendium, mei 2018), die 8760 uur per jaar draait; de hieruit beschikbare elektriciteit is door 1,3 gedeeld om er rekening mee te houden dat het vanuit de industriële toepassing niet altijd nodig zal zijn om de elektrische boiler op maximale capaciteit te laten draaien.

^{xix} Op basis van 200 euro/kW (DNV-GL, Electrification of Industry, Facilitating the integration of offshore wind with power-to-heat in industry, 2018). Merk op dat de CAPEX zeer sterk van de schaalgrootte afhangt, en dat er zeer verschillende getallen in de literatuur genoemd worden. En rekening houdend met het gegeven dat geen investering in de referentie gasgestookte boiler meer nodig is (100 euro/kW).

^{xx} Het hier weergegeven potentieel is het potentieel van elektrische fornuizen in naftakrakers. Dit potentieel is significant lager dan het potentieel voor elektrische fornuizen zoals opgenomen in de bijdrage van de Sectortafel Elektriciteit aan het voorstel voor hoofdlijnen van het Klimaatakkoord (12 TWh voor fornuizen). Dit hogere potentieel omvat waarschijnlijk ook elektrificatie van fornuizen in:

- **Raffinaderijen:** Onlangs is er in opdracht van VNPI een studie uitgevoerd door DNV-GL getiteld "CO2 Reductie Roadmap van de Nederlandse Raffinaderijen". Deze studie (fornuizen kortgezegd dat er voor 2030 geen grootschalige intrede wordt verwacht vanwege de noodzakelijke productontwikkeling, de complexiteit en de noodzaak van en niet te vergeten de daarvoor benodigde E-infra. Het potentieel is van elektrische fornuizen is enorm: de Nederlandse raffinaderijen hebben bij elkaar naar schatting 10 PJ staan. De noodzaak van productontwikkeling / pilots wordt door de sector erkend en bedrijven in de sector onderzoeken de haalbaarheid van toepassing van elektrische fornuizen.
- **Andere sectoren** (bv glas / staal): hier niet in kaart gebracht. Op basis van Kalavastra "Kosteneffectieve maatregelpakketten voor de klimaatdoelstellingen van de industrie tot 2030" -49% en -55%: Potentieel 1,1 Mton, tegen 22 euro/ton CO2 (berekening kent andere uitgangspunten dan de berekening van de kosten per ton CO2 in deze tabel, dus de besparing is hoger).

^{xxxi} Op basis van een besparing van gas van 10 PJ in 2030, uiteindelijk potentieel (als volledig uitgerold) is 10-20* zo groot.

^{xxxii} Berekend op basis van VEM-W's "De Nederlandse industrie – Van strategie naar impactvolle keuzes in transitie – compendium – mei 2018" (22 Meuro per Mton CO2 bespaard) en CAPEX is, of de extra CAPEX.

^{xxxiii} Hier worden warmtepompen tot 90°C beschreven; om tot hogere temperatuur te komen is innovatie nodig.

^{xxxiv} COP = 4 en met als referentie gasboiler met een rendement van 90%.

^{xxxv} Op basis van het besparen van 100 PJ warmte (gas), met een COP4. Dit is grofweg de volledige warmtevraag tot 200°C (de maximale temperatuur die warmtepompen nu en in de toekomst voor de warmtepompen die warmte kunnen leveren boven 90°C is nog innovatie nodig, meer innovatie nodig (een deel van de benodigde warmtepompen heeft nu een TRL van 1, merkt op dat Kalavastra in zijn -49%/-55% 2030 scenario met een totaal potentieel van 9,6 Mton komt voor warmtepompen tot 165°C.

^{xxxvi} Voor een warmtepomp die warmte tot 90°C kan leveren. De investering is gecorrigeerd voor de investering in een referentie gas gestookte boiler (die met de investering in een referentie boiler tot 90°C kan leveren).

^{xxxvii} Tot 90°C: uitontwikkeld maar niet uitgerold; tot 140°C: pilots gedaan en demo in ontwikkeling – met Qpinch technologie; tot 200°C: demo gedaan en wordt door Engie opgeschaald.

^{xxxviii} Hangt af van de precieze toepassing; aannname is niet sterk onderbouwd.

^{xxxix} Op basis van de aannname dat het besparingspotentieel voor nanofiltratie en pervaporatie 40-80 PJ is (en daarvan 2/3 voor 2030).

^{xxx} Electromotoren hebben veelal rendementen in de buurt van 95%, regelaar 90% en overbrenging 97%, dus totaal 83%; voor stoom aangedreven motoren hangt het rendement af van de toepassing, is voor een rendement van 60% (op basis van gasverbruik, niet stoomverbruik) gekozen.

^{xxxi} Op basis van 159 PJ verbruik voor aandrijving nu; hiervan is een potentieel van 1/10 aangenomen voor 2030.

Appendix B – Denkrichtingen ter verdieping instrumentarium

Deze appendix beschrijft een verdieping op een aantal denkrichtingen voor een instrumentarium. Deze denkrichtingen dienen ter inspiratie en ter achtergrondinformatie. De denkrichtingen vertegenwoordigen niet het standpunt van de gehele werkgroep en dienen verder te worden uitgewerkt. Nadere uitwerking van deze maatregelen en instrumenten kan in een later stadium door de werkgroep power to heat worden opgepakt.

Verkleinen mismatch tussen ontwikkeling duurzame elektriciteit en industriële elektrificatie

1. Om te borgen dat additionele elektriciteitsvraag en -aanbod zich parallel ontwikkelen is kan de additionele elektriciteitsvraag worden gemonitord, bijvoorbeeld op basis van subsidie beschikkingen en periodiek overleg tussen de industrieclusters en aanbieders van duurzame elektriciteit. De aanbieders van duurzame elektriciteit, kunnen hierdoor vroegtijdig meer inzicht krijgen in de ontwikkeling van additionele vraag wat resulteert in meer investeringszekerheid.
2. Een andere methode kan worden gezocht in het opstellen van subsidie eisen die de afname van elektriciteit transparant maken en sturen op synchronisatie met de productie van duurzame opwek. Door bijvoorbeeld Europese GvO's als voorwaarde in de subsidieregeling voor elektrificatie op te nemen, kan de industrie aantonen dat de ingekochte elektriciteit CO₂ vrij is en kan het sluiten van Power Purchase Agreements (PPAs) worden bevorderd en daarmee parallelle additionaliteit van de opwek van duurzame elektriciteit worden gestimuleerd. Deze PPAs komen tot stand via bilaterale overeenkomsten, waarbij vraagbundeling vanuit de industrie en lange termijnplanningen kunnen bijdragen aan het voorkomen van de mismatch. Gelet op de complexiteit en wellicht beperkte reikwijdte zou vraagbundeling als maatwerk moeten worden opgezet.

Voordat deze methode van koppeling van vraag en aanbod kan worden toegepast zullen de volgende aandachtspunten moeten worden uitgewerkt: de beleidsmatige wenselijkheid van de koppeling, of de waarde van de GvO deel uitmaakt van de subsidie, wat de gevolgen zijn voor de kosteneffectiviteit van de maatregel, hoe de inbedding wordt in het totaal van de instrumenten, hoe kan worden voorkomen dat er een remmende werking uitgaat van een koppeling, of de regeling niet te complex wordt en of er voldoende marktwerking wordt behouden. Ook moeten de instrumenten passend zijn in het licht van het EU-recht (vrij verkeer, staatssteun).

3. Tot slot geldt dat aanvullend instrumentarium risicopremies kan beperken en daardoor de kosten van duurzame elektriciteit: financiële instrumenten van de markt dan wel InvestNL, die voorzien in garanties voor het risico dat er tijdelijk onvoldoende PPAs zijn voor de afname van de opwek van duurzame elektriciteit.

Opvangen gevolgen verloren vrije allocatie van EU ETS emissie allowances

Introductie

Deze bijlage beschrijft kort de mogelijke (financiële) impact en onduidelijkheden vanuit het perspectief van het EU-emissiehandelssysteem (ETS) welke er ontstaan indien een bedrijf omschakelt van conventionele warmtelevering (bijvoorbeeld uit een gasketel) naar warmte vanuit een power to heat installatie (een elektrische boiler of een elektrische warmtepomp). De nadruk in deze analyse ligt op de impact op het bedrijf en de business case van de power to heat installatie.

Doelstelling ETS4 en vrije allocatie voor industrie.

De doelstelling van ETS4 is om de CO₂-emissie²⁶ terug te dringen door een marktprijs te creëren voor het recht om 1 ton (1000 kg) CO₂ te mogen uitstoten. De hoeveelheid CO₂-emissie rechten (EUA) neemt elk jaar af, hierdoor zal een krapte op de EUA-markt ontstaan en krijgen deze rechten een steeds hogere waarde. In de huidige handelsperiode (ETS 3: 2013-2020) neemt het totale volume aan EUAs met 1.74% per jaar af. In de vierde handelsperiode (ETS 4: 2021-2030) zal dit volume met 2.2% per jaar afnemen. Daarnaast hebben de Europese beleidsmakers de afgelopen jaren een aantal extra maatregelen genomen om het overschot aan EUAs te verminderen zoals het Market Stability Reserve (MSR).

De EU-lidstaten veilen een deel van de EUAs en de rest wordt via vrije allocatie (gratis) toebedeeld aan voornamelijk de industrie. Deze vrije allocatie van EUAs is bedoeld om de (financiële) nadelen van de CO₂ emissiehandel voor bedrijven die blootstaan aan internationale concurrentie zo klein mogelijk te houden (de zogenaamde carbon leakage).

De EUAs worden gealloceerd via benchmarks. Voor veel sectoren is dit een productbenchmark, dit geldt voor producten die op grote schaal worden geproduceerd binnen Europa en die vrij uniform zijn zoals bijvoorbeeld staal, papier en olieproducten. De eenheid van de product benchmark is EUA per ton product. In de overige sectoren is er sprake van fallback benchmarks. De meest belangrijke in de analyse van power to heat is de warmte benchmark (eenheid EUA/TJ geconsumeerde ETS-warmte).

De vrije allocatie voor de komende ETS-periode (ETS 4) wordt vastgesteld voor de jaren: 2021-2025 en 2026-2030.

De berekening van de vrije allocatie (per jaar) is:

- Benchmark (EUA per ton product of EUA per TJ geconsumeerde ETS-warmte) *
- Historisch activiteitsniveau (productie van product of consumptie van ETS-warmte) *
- Carbon leakage factor (1 voor sectoren waarvoor vastgesteld is dat ze blootgesteld zijn aan internationale concurrentie, anders 0,3 en teruglopend naar 0 vanaf 2026 t/m 2030) *
- Cross sectoral correction factor (deze factor moet zorgen voor de juiste balans tussen geveilde EUAs en vrij gealloceerde EUA's. De verwachting is dat deze factor de komende jaren binnen ETS 4 gelijk aan 1 blijft)

²⁶ Het EU ETS dekt ook de uitstoot van distikstofmonoxide uit de productie van saltpeterzuur, adipinezuur, glyoxylzuur en glyoxal en de uitstoot van perfluorkoolwaterstoffen van de productie van aluminium. Voor het gemak bedoelen wij in deze memo ook deze emissies wanneer wij refereren naar CO₂-emissies onder het EU ETS.

Belangrijk in ETS4 is dat bij een verandering van “operations” met meer dan 15% ten opzichte van het historische niveau dat is gebruikt om de vrije allocatie te bepalen er een her allocatie gaat plaatsvinden.²⁷ De exacte details wanneer deze regel van toepassing is worden in 2019 bekend gemaakt.

Power to heat en ETS vanuit perspectief van het bedrijf

Onduidelijkheid bestaat wat er gebeurt met de vrije allocatie van EUA's indien een deel van de warmte uit een power to heat installatie gaat worden geleverd i.p.v. vanuit een ETS-installatie zoals een gasketel of WKK-installatie.

In het guidance document 2 van ETS 3 staat (pagina 11): In principle, heat is eligible for free allocation if it can be regarded as covered by the ETS and if it is not produced via electric boilers.

Het is de verwachting dat de guidance documenten vrijwel ongewijzigd worden overgenomen voor ETS 4. Dit zou betekenen dat er altijd geen vrije allocatie van EUA's plaatsvindt voor warmte uit een elektrische ketel. Het gevolg zou zijn dat als een installatie van bijvoorbeeld een gasgestookte ketel voor stoomproductie naar een elektrische ketel omschakelt, dat deze installatie wanneer de allocatie opnieuw wordt vastgesteld of als een significante wijziging wordt gezien een deel van haar vrije allocatie verliest. Hierdoor wordt het financiële verschil voor de kostprijs van stoom uit een elektrische ketel tegenover die van stoom uit een gasketel groter, immers de variabele kostprijs van stoom uit een gasketel is:

$$\begin{aligned} \text{Variabele stoomprijs gasketel} = \\ \text{Gasverbruik} * (\text{gasprijs} + \text{energiebelasting} + \text{emissiefactor} * \text{CO}_2 \text{ prijs}) - \\ \text{CO}_2 \text{ vrije allocatie} * \text{CO}_2 \text{ prijs.} \end{aligned}$$

De emissie factor in deze formule dient om gasverbruik om te rekenen naar CO₂-emissie. Dit is een vast getal (ongeveer 56.1 ton CO₂ per TJ gas)

De stoomprijs uit een elektrische ketel is zonder vrije allocatie van EUA's:

$$\begin{aligned} \text{Variabele stoomprijs elektrische ketel} = \\ \text{Elektriciteitsverbruik voor stoomopwekking} * (\text{elektriciteitsprijs} + \text{energiebelasting}) \end{aligned}$$

Op het eerste gezicht lijkt het, als de elektriciteit wordt ingekocht, wellicht logisch om geen vrije allocatie toe te kennen voor het elektriciteitsverbruik van stoomopwekking, aangezien er geen directe ETS-kosten zijn als de elektriciteit wordt ingekocht. Echter, in de praktijk worden de ETS kosten van elektriciteitsopwekkers doorberekend in de elektriciteitsprijs. De compensatie hiervoor verloopt echter niet via vrije allocatie, maar via staatssteun. Elke lidstaat bepaalt zelf of ze deze compensatie verlenen. Nederland doet dit voor ETS 3 wel. De Europese Commissie heeft bepaald dat dit maar voor een beperkt aantal sectoren mag. Het is nog onduidelijk wat de regels zullen zijn voor ETS 4, maar de verwachting is dat deze compensatie weer via het staatssteunmechanisme gaan.

²⁷ In ETS 4 komen nieuwe regels rondom aanpassingen van vrije allocatie naar aanleiding van veranderingen in “operations” volgens Article 10a (20) van de nieuwe ETS Directive. Hieruit kan “operations” opgevat worden als activiteitsniveau. Echter, in de draftversie van de vrije allocatie regels voor ETS 4 wordt er in de “Explanatory Memorandum” verwezen naar aanpassingen in vrije allocatie bij verandering in productieniveau. Het wordt pas in 2019 bekend wat er dus precies bedoeld wordt met veranderingen in “operations” in het geval van warmtebenchmarks. Het is dus nog onduidelijk of deze regel voor toename van vrije allocatie gaat gelden wanneer bijvoorbeeld het gasverbruik stijgt ten koste van elektriciteit zonder verandering in productieniveau.

Het mogelijk vervallen van de vrije allocatie van EUA's maakt de overstap naar een elektrische ketel onaantrekkelijker voor een bedrijf:

- De business case is niet alleen het verschil tussen de integrale gas en elektriciteitskosten maar het effect van het wegvallen van (een deel van) de vrije allocatie zal ook in de business case meegenomen moeten worden; Bovendien betekent de overstap naar power to heat een extra risico voor het bedrijf: hij verliest een deel van de vrije allocatie. Indien het bedrijf in de toekomst (bijvoorbeeld door problemen aan de elektrische ketel) meer gas gaat inzetten, heeft het bedrijf hier, afhankelijk van de nieuwe regels voor veranderingen in "operations" in ETS4 zoals boven benoemd, hier mogelijk geen vrije allocatie van EUA's meer voor.

Er bestaat verder een aantal onduidelijkheden over de relatie van vrije allocatie van EUA's en power to heat:

- Gezien de formulering uit het guidance document kan geconcludeerd worden dat de regel van geen vrije allocatie voor warmte uit elektriciteit alleen geldt voor elektrische ketels en niet geldt voor warmte uit elektrische warmtepompen.
- Indien de elektrische ketel wordt ingezet voor de productie van een product dat onder een product benchmark valt, dan worden bij de bepaling van die product benchmark alle emissies meegenomen, inclusief indirecte emissies uit elektriciteitsverbruik. Bij bepaalde product benchmarks echter moet de vrije allocatie vervolgens gecorrigeerd worden voor elektriciteitsverbruik via het zogeheten "exchangeability of heat and electricity". Naar onze interpretatie betekent dat in ETS 3 elektriciteitsverbruik, zowel direct gebruik als gebruik om warmte te maken in een elektrische ketel, bij deze product benchmarks van de vrije allocatie af moet worden getrokken.
- In ETS4 wordt de warmtebenchmark waarschijnlijk op basis van eligible heat bepaald: dat is warmte die niet uit non-ETS-installaties komt, en die ook niet binnen een ETS-installatie uit elektriciteit is gemaakt.

Mogelijke oplossingsrichtingen:

- De meest eenvoudige optie zou zijn als warmte uit een elektrische ketel (of warmtepomp) wordt gezien als ETS-warmte en dat hiervoor gewoon vrije allocatie van EUA's zou plaatsvinden. Hierbij moet ook duidelijkheid worden geboden voor de andere power to heat vormen. Het is echter onwaarschijnlijk dat "eligible" warmte anders gedefinieerd gaat worden²⁸.
- Indien de overstap van power to heat leidt tot minder vrije allocatie moet het verlies van vrije allocatie expliciet worden meegenomen in de business case en de berekening van de onrendabele top.

²⁸ Zie de draft versie van de vrije allocatie regels voor ETS 4, Article 2 (3) over de definitie van een warmte benchmark.

Appendix C - Lijst met deelnemers werkgroep

- **Teun Bokhoven** – voorzitter
- **Michiel Stork** – Secretaris
- **Juriaan van Tilburg** – Secretaris
- **Walter Ruijgrok** – Energie Nederland
- **Gert van der Lee** – TenneT
- **Jeroen Bruijn** – Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
- **Jilles van den Beukel** – Eneco
- **Kees Biesheuvel** – Dow
- **Marten Hamelink** - Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
- **Erik Koops** – Avebe
- **Andreas ten Cate** – ISPT
- **Marco Kirsenstein** – FME
- **Roeland Manders** – Air Liquide / VEMW
- **Mart van Bracht** – Topsector Energie, joint factfinding CCS en CO₂ abatement curves
- **Rob Kreiter** - topsector energie, innovatie
- **Marijn de Vries** – NWEA
- **Sikke Klein** – Akzo Nobel
- **Huibert Baud** – Liander