

Eindrapport PurifHy

Projectnummer: TEG0413002

2014-2016



*Leonard Raymakers
Peter Bouwman
Sander Grootjes
Harm Vlap
Albert van der Molen*

**HyET
HyET
ECN
DNV GL
Stedin**

HyET
Hydrogen Efficiency Technologies



Inleiding

Dit rapport geeft kort en bondig de inhoud van het project PurifHy weer. Dit project is uitgevoerd door ECN, Stedin, DNV GL en HyET. Dit project heeft subsidie ontvangen via RVO uit het TKI Gas programma 'Systeemfunctie gas'. Dit rapport geeft een verantwoording van de activiteiten die uitgevoerd zijn en de resultaten die behaald zijn binnen dit project.

Het rapport is opgedeeld in een aantal korte hoofdstukken, te beginnen bij het achtergrond en doelstelling van het project zoals omschreven in het projectplan. Daarna volgen een overzicht van de werkzaamheden, resultaten, kosten en de planning binnen het project. Als laatste wordt er als afsluiting een terugblik en vooruitblik besproken.

Achtergrond

Het elektriciteits- en gasnetwerk zijn van oudsher strikt gescheiden. Pas recent wordt er onderzocht hoe deze netwerken gekoppeld kunnen worden, om zo de voordelen van beide te combineren: alleen het gasnet heeft een buffercapaciteit.

Stedin heeft zich als netbeheerder gas proactief getoond met het ondersteunen van innovatief gebruik van het netwerk, zoals "dynamische druk beheer" en "Power2gas" in samenwerking met DNV GL. Er draait inmiddels een veldtest om het principe van Power2Gas te testen en valideren op de locatie in Rozenburg. Hier wordt in de praktijk de mogelijkheid om 'groen' gas te produceren gedemonstreerd.

'Groen' gas kan ook worden gemaakt uit andere bronnen als biofuel. ECN onderzoekt de mogelijkheid om biomassa te gebruiken om 'groen' gas (bioSNG) te synthetiseren, zodat biomassa kan worden ingezet voor transport (als biobrandstof van de tweede generatie) of voor alle functies die aardgas uit fossiele bron nu verzorgt. ECN onderzoekt ook of en hoe in dit proces waterstof (uit surplus elektriciteit) kan worden gebruikt om de bioSNG opbrengst te verdubbelen.

Probleemstelling en doelstelling

'Groen' gas kan alleen aan het gasleidingnetwerk worden toegevoegd wanneer het voldoet aan de Ministeriële regeling Gaskwaliteit (MR). Helaas is de waterstofconcentratie in de 'groen' gas samenstelling vaak te hoog (>5%, i.p.v. maximaal <0,5% of zelfs <0,1%), waardoor additionele zuivering moet plaatsvinden die technisch moeilijk is te realiseren met bestaande passieve technologieën zoals adsorptie, poreuze membranen, etc.

Door DNV GL is dit opgelost door meerder reactoren toe te passen om al het aanwezige waterstof te laten reageren. Hierdoor wordt dit zogenaamde methaniseringsproces erg duur. Om deze reden wordt dan ook gezocht naar zuiveringstechnieken, waarmee het waterstofgehalte in het uitgaande gas kan worden gereduceerd en het afgevangen waterstof kan worden gecombineerd, teneinde de MR-specificatie te kunnen halen en het waterstof voor andere doeleinden te kunnen inzetten.

HyET heeft een nieuwe technologie gebaseerd op elektrochemische cellen, die selectief het waterstof kan zuiveren én direct kan comprimeren, genaamd EHC. Deze technologie wordt nu ontwikkeld voor het bijtanken van brandstofcelauto's met waterstof tot 700 bar. Initiële testen laten zien dat zuivering van lage concentraties waterstof uit rookgas ook mogelijk is op labschaal.

Het doel van dit project "PurifHy" was het onderzoeken of deze nieuwe zuiveringstechnologie geschikt is voor het conditioneren van 'groen' gas uit diverse bronnen als Power2Gas (Stedin/DNV GL) en Bio(syn)gas (ECN).

Het doel bij het succesvol afronden van dit project was dat de zuiveringstechnologie zou zijn goedgekeurd om te worden ingezet voor conditioneren van 'groen' gas, waarbij de eerste demonstratie zou zijn de integratie met het Power2Gas project op locatie te Rozenburg.

Activiteiten en resultaten

Voor het plan van de activiteiten is in het projectplan een gedetailleerde beschrijving gegeven. Deze activiteiten zijn overzichtelijk weergegeven op pagina 7 en 8. Voor zover daarvan afgeweken is, wordt dat hier genoemd. Daarnaast worden ook kort de resultaten besproken.

Een belangrijke parameter in de resultaten van extractie van waterstof door HyET is de recovery rate. Dit is de verhouding van de onttrokken waterstof uit het (bio)SNG. Hoe hoger deze verhouding, des te meer waterstof is er verwijderd uit het (bio)SNG. Een recovery rate van 100% betekent dus een extractie van alle waterstof uit het (bio)SNG.

Fase 1

In deze fase is het project opgestart met een startbijeenkomst en is de samenwerkingsovereenkomst opgesteld. De resultaten van de testen uit deze fase zijn in 2014 gerapporteerd door HyET aan RVO. De belangrijkste conclusies uit dit rapport zijn dat:

- de extractie van waterstof uit aardgas werkt;
- de recovery rate te laag was waardoor de concentratie waterstof hoger was dan 0,5%;
- er geen invloed te zien was van het THT in het aardgas;
- het stromingsprofiel van het gas in de EHC van HyET belangrijk is en verbeterd moet worden.

Fase 2

Door HyET is in deze fase de start gemaakt voor de ontwikkeling van een 'Mobile Hydrogen Test Object' ofwel MoHyTO. Dit systeem is weergegeven in figuur 2. Dit systeem is zowel ingezet voor de testen bij ECN en DNV GL/Stedin. Er zijn dus niet verschillende testsystemen ontwikkeld zoals beoogd was in het projectplan. De MoHyTO bevat alle componenten nodig voor het opereren van de EHC in een compacte kast: elektronica, software, gassysteem, diverse sensoren, warmtehuishouding, veiligheidssystemen, enz. Deze kast is ontwikkeld en geassembleerd bij HyET.



Figuur 1: Opstelling ECN om gasflessen voor ECN te bemonsteren



Figuur 2: 'Mobile Hydrogen Test Object' MoHyTO ontwikkeld door HyET binnen PurifHy

Fase 3

ECN heeft van hun werkzaamheden in fase 2 en 3 een rapport opgesteld. Dit rapport beschrijft de testen die ECN heeft gedaan gedurende 10 dagen met de MILENA in oktober 2014. Uit de testen is gebleken dat de samenstelling van het bioSNG vrij stabiel is over deze lange periode. In die periode zijn er ook 10 gasflessen bemonsterd voor HyET zodat er in het lab van HyET getest kon worden met zo realistisch mogelijk gas. De opstelling hiervoor is weergegeven in figuur 1. In deze periode is ook een begin gemaakt met de eerste stappen voor de integratie van de MoHyTO in de installatie van ECN.

Fase 4

Voorafgaand aan de testen van HyET bij ECN is een gezamenlijk een HAZOP uitgevoerd van de MoHyTO en de koppeling van beide systemen. Dit is gedaan in plaats van het CE-keurmerk omdat te veel doorlooptijd zou kosten en dit niet nodig is voor een dergelijk prototype.

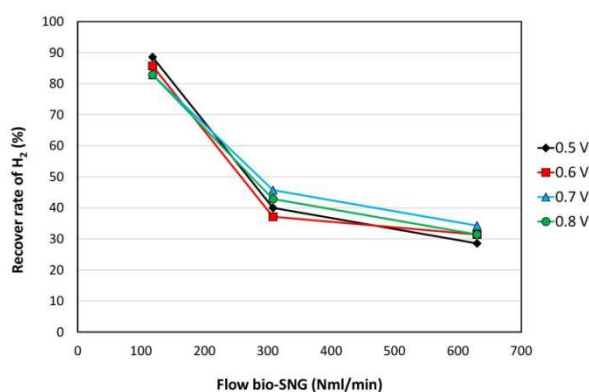
Hierna is de MoHyTO geïntegreerd in het systeem van ECN na de methanisatiestap. Na een testfase is de installatie van ECN opgestart. Hiermee is relatief kort getest. Daarbij bleek dat de EHC van HyET in staat was maar een klein deel van al het bioSNG van ECN te kunnen zuiveren. De oorzaak hiervan was dat de EHC niet stabiel bedreven kon worden door grote verschillen tussen de elektrochemische cellen.

ECN heeft hierna HyET aangeboden om te werken met een kleine gasstroom van waterstof en stikstof ten einde de performance en recovery rate te verbeteren. De resultaten van de testen bij ECN staan in figuur 3. Vanwege de tegenvallende resultaten bij ECN is hierna intern bij HyET veelvuldig getest om de EHC beter en betrouwbaarder te krijgen, zie figuur 4.

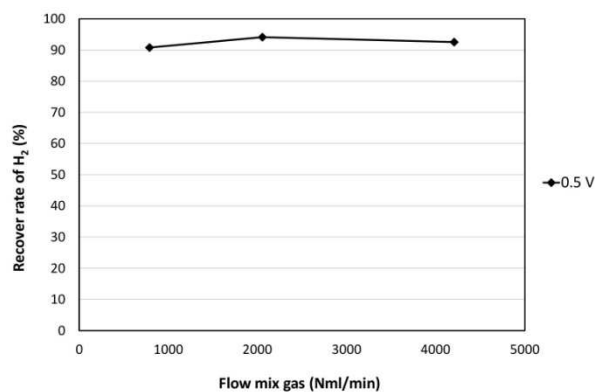
Fase 5

Ook voor de integratie van de methaniseringsinstallatie van DNV GL en de MoHyTO is een HAZOP uitgevoerd in plaats van een CE-keuring. Vanwege de veiligheidseisen in de containers in Rozenburg zijn nog op verschillende punten aanpassingen doorgevoerd en is de MoHyTO door externen gecontroleerd op explosieveiligheid, lekdichtheid en druckbestendigheid.

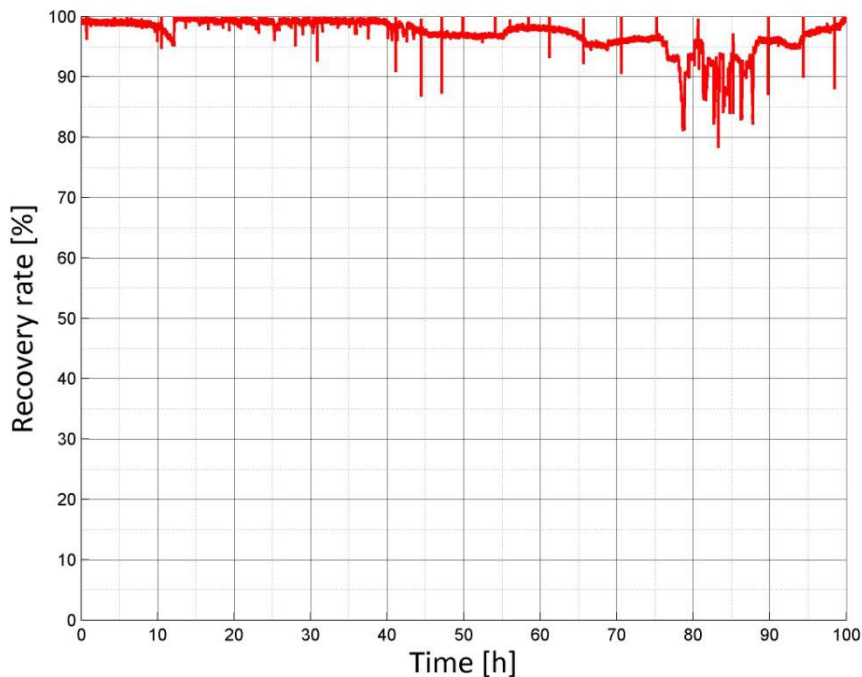
De testen in Rozenburg lopen ook nog door na het einde van het project (zie hieronder bij planning), ten einde minimaal 1000 uur testen in het veld aan te tonen.



Figuur 3: Resultaten recovery rate van testen bij ECN: de recovery rate neemt sterk af bij hogere debieten van bioSNG boven de 0,15 NI/min



Figuur 4: Resultaten recovery rate van testen bij HyET en DNV GL: de recovery rate is meer dan 90% en stabiel over een groot bereik tot boven 4 NI/min



Figuur 5: Resultaat duurttest EHC bij HyET: de recovery rate ligt ruim 90% procent van de tijd (100 uur) boven de 90%. Getest is met 2,5% waterstof in stikstof met een totaal debiet van 1 NI/min.

Uit de resultaten blijkt dat EHC technologie -alhoewel nog niet geschikt voor grote capaciteiten- in staat is om relatief hoge waterstofconcentraties uit het gas te verwijderen. Hierdoor kan het methaniseringsproces eenvoudiger worden uitgelegd, waardoor de kosten significant kunnen worden verlaagd.

Fase 6

De werkzaamheden in deze fase zijn deels in de tijd naar voren geschoven en zijn door de uitloop van het project niet geheel beschouwd. Dit kan later nog uitgediept worden.

Planning

De projectduur was oorspronkelijk beoogd op twee jaar. Het project zou namelijk lopen van 1 januari 2014 tot en met 31 december 2015. Dit is echter verlengd tot 31 mei 2016.

Eind 2014 was er nog geen sprake van een grote vertraging, de start van het project was voorspoedig. Dit is ook zo gemeld in het voortgangsverslag van 2014.

De integratie van de MoHyTO bij ECN heeft voor vertraging gezorgd. In het eerste kwartaal van 2015 zijn er HAZOP's (veiligheidsinspecties) uitgevoerd. Hieruit kwamen een aantal zaken naar voren die eerst opgelost moesten worden alvorens de MoHyTO van HyET bij ECN geplaatst kon worden. Daarnaast was er maar een beperkt tijdsbestek waarop bij ECN getest kon worden. Vanwege de hoge kosten van het bedrijven van de MILENA, OLGA en ESME installaties, is gekozen om aan te haken met een ander project. Zo konden de kosten van het bedrijven van de installaties gedeeld worden. Hierop is ook gewacht. Daarom is pas in het tweede kwartaal van 2015 getest bij ECN met de biomassavergassingsinstallatie. Daarna heeft ECN nog aan HyET de mogelijkheid gegeven verder te testen met een waterstof-stikstof mengsel waardoor de MoHyTO langer dan gepland bij ECN is gebleven.

Ook de integratie van de MoHyTO met de installatie van DNV GL/Stedin in Rozenburg kostte voor HyET meer tijd dan ingeschat. Bij het betrouwbaar en certificeerbaar krijgen van de MoHyTO bleken meer aspecten beschouwd te moeten worden dan vooraf gedacht. Daarnaast moesten er aan de installatie van DNV GL/Stedin een groot deel van kwartaal 1 in 2016 onverwacht onderdelen vervangen worden. Door lange levertijden van onderdelen is hierdoor ook weer vertraging opgetreden.

Omdat de testen in Rozenburg veelbelovend bleken, is besloten ook na 31 mei 2016 door te gaan. Hiermee willen DNV GL en HyET aantonen dat het bedrijven van beide technologieën gecombineerd mogelijk is voor meer dan 1000 uur.

Kosten

HyET

Het ontwikkelen, bouwen en certificeren van de MoHyTO en de aanpassingen voor de twee verschillende locaties heeft een groot deel van het budget van HyET beslagen, zowel voor uren als voor materialen. Tevens zijn er door HyET diverse onderdelen ontwikkeld, laten maken en getest om de recovery rate en betrouwbaarheid te verhogen.

ECN

Door ECN zijn aanpassingen gemaakt om de gasflessen te vullen en om de MoHyTO van HyET aan te sluiten, zowel gaszijdig als elektrisch. Hierbij moesten relatief grote afstanden overbrugd worden tussen beide systemen.

Tevens is er tijd gestoken in het begeleiden van de HAZOP samen met HyET. Als laatste is het bedrijven van de biomassaver-gassingsinstallatie kosten- en tijdsintensief vanwege de aanwezigheid van operators en analisten.

DNV GL

De kosten van DNV GL zijn met name gemaakt in het voorbereiden en begeleiden van de testen in Rozenburg. Daarbij waren ook fysieke aanpassingen aan de container nodig, is er geld gestoken in het verbeteren van de waterstofgenerator en zijn extra kosten gemaakt in het drogen van het SNG na de MoHyTO.

Stedin

Voor dit project worden geen kosten gedeclareerd door Stedin. Stedin heeft echter wel de geplande inspanningen geleverd en is actief betrokken geweest, maar heeft hiervoor geen urenadministratie bijgehouden. De testen van HyET in Rozenburg zijn ook voornamelijk door DNV GL begeleid, waarbij Stedin wel de eindverantwoordelijkheid had.

Vooruitblik

Nu aangetoond is dat waterstof via elektrochemische weg onttrokken kan worden aan aardgas, is het interessant om te gaan kijken naar verschillende toepassingen. Daarbij is het belangrijk om de business case helder te hebben en is het nodig om een goede vergelijking te maken met de bestaande technologieën van waterstofverwijdering. Hier is in dit project maar kort naar gekeken. In een dergelijke vergelijking is het belangrijk om in te gaan op diverse aspecten: energie-efficiënte, schaal, kosten bouw installatie, bedrijfskosten installatie, onderhoudskosten, enz. Met name de energie-efficiënte van het systeem is een belangrijk aspect, welke ook weer een sterke relatie heeft met de bedrijfskosten van de installatie. In dit project is gekozen om een zo hoog mogelijke recovery rate te behalen ten einde de concentratie in het (bio)SNG zo laag mogelijk te krijgen. Het kost echter naar verhouding relatief veel energie om de laatste hoeveelheid waterstof uit het aardgas te halen. Dit aspect moet dus ook economisch afgewogen worden tegen de prijs van waterstof.

Door ECN (en HyET) is al kort gekeken naar de business case om de waterstof via de EHC technologie eerder in het biomassaveringsproces te onttrekken, voordat de waterstof in het methanisatieproces wordt omgezet. Dat geeft de mogelijkheid meer waterstof te onttrekken en dit te comprimeren. Gecomprimeerde waterstof heeft een hogere waarde dan aardgas waardoor de business case van het hele proces beter wordt. Dit projectidee is ook gepresenteerd tijdens het European Biomass Conference and Exhibition in juni 2016.

Tevens lijkt de EHC technologie ook veel potentie te hebben voor het op specificatie brengen van zogenaamd 'off spec' gas in een pijpleiding. Hierdoor kan de entry spec (deels) worden verruimd, door een dergelijk systeem op een strategische plaats in het net toe te passen voordat het gas de afnemers bereikt.

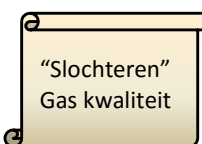
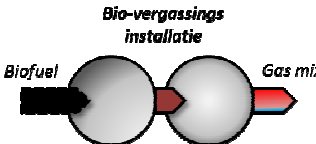
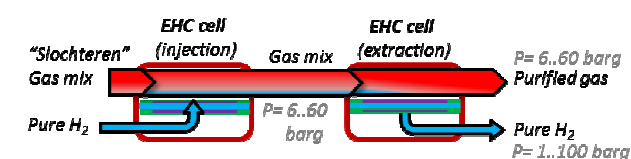

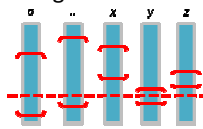
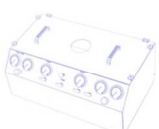




Terugblik

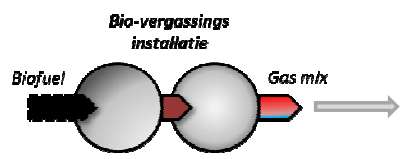


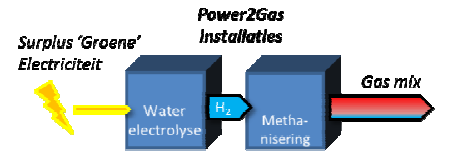


De vier partners in dit project kijken terug op een prettige samenwerking met een mooi resultaat tot gevolg. De partners zijn dankbaar voor de ontvangen subsidie van TKI Gas ter ondersteuning van dit project.

Er is geregeld intensief contact geweest tussen de partners onderling, met name rond de testperiodes waar HyET veel te gast was bij ECN en DNV GL/Stedin. Binnen HyET is veel geleerd in dit project over de complexiteit van en veelheid aan zaken die komen kijken bij het veilig en betrouwbaar integreren van twee systemen.

Gedurende het project is de interesse in duurzame bronnen van aardgas merkbaar toegenomen. Ook de interesse in de opslag van duurzaam opgewekte elektriciteit is duidelijk gestegen. ECN en DNV GL continueren dus ook hun onderzoek en ontwikkeling van beide technologieën tot een grotere en rendabelere schaal.

Een interessant bij-effect van het project PurifHy is dat het project gezorgd heeft voor een constante focus bij HyET op zuivering in de afgelopen 2,5 jaar. Dit lijkt nu langzaamaan commerciële vruchten af te werpen.

PurifHy	STEDIN	ECN	HyET	KEMA DNV	
Kickoff Fase 1 Ideaal "Slochteren" gas	Officiële introductie en start project 1. Specificatie "Slochteren" gas kwaliteit presenteren aan partners 2. Presentatie bestaande codes voor acceptatie 'groen gas' in het Nederlandse gasleidingnet 3. Samenstelling dicteren aan KEMA voor samenstellen referentie gas. 		Aantonen gas zuivering principe EHC op basis van KEMA "Slochteren" gas 1. Constructie bestaande EHC (.02m ²), zuiverings setup en gasmengbank 2. Waterstof <i>bijmengen</i> in groen gas 	Bevestiging werking EHC gas zuivering 1. Samenstellen "Slochteren" gas mix als referentie voor testen HyET 2. Certificeren eigen gas kwaliteit voldoet aan specificatie Stedin. 	
	Go/No Go Fase 2 Praktijk 'groen' gas	Adviserende functie ontwikkeling nieuwe EHC apparatuur voor gas conditionering 1. Communiceren samenstelling 'groen' gas uit project Power2Gas te Rozenburg Risico Analyse	Vorbereidingen treffen 1. Startklaar maken labopstelling Bepaling van variatie bio(syn)gas 1. Bedrijven opstelling bio(syn)gas en registreren samenstelling gas over langere looptijd. 2. Variaties in voeding, gasdebiet, gevoeligheid voor storingen 	INNOVATIEF waterstof <i>injectie</i> én <i>extractie</i> mbv EHC cell in HyET lab 4. Test rapport met concept ontwerp voor bouw zuiverings unit in Fase 2 Realiseren functionele zuivering unit 1. Ontwerp INNOVATIEVE EHC stack met regelsysteem (0.5Nm ³ /h debiet) 2. Component ontwikkeling (hardware) 3. Catalysator, membraan ontw. (MEA) 4. Constructie 1 ^e EHC zuiverings unit 	3. Analyse (on)gezuiverde gassen uit HyET EHC labopstelling (3x) Bevestiging werking EHC gas zuivering 
	Zuivering 'groen' gas Fase 3	Beoordeling of EHC zuivering een aantrekkelijk alternatief kan zijn 1. Technische beschouwing 2. Commerciële verhouding t.o.v. adsorptie of passieve membranen voor gas conditionering Go/No Go	Productie bio(syn)gas tbv EHC zuivering unit met surplus H₂ 1. Sampling bio(syn)gas voor HyET indien technisch mogelijk 	Bedrijven van EHC zuivering unit met selectieve extractie van overschot H₂ 1. Testen bij HyET met diverse 'groen' gas samenstellingen van ECN/KEMA 2. Optimalisatie regelsysteem 3. Stabiliteit/duurzaamheid test (100h) 	Beoordeling of "Slochteren" kwaliteit behaald na EHC zuivering 'groen' gas 1. Samenstellen van 2x 'groen' gas samples naar specificaties van Power2Gas en Bio(syn)gas ECN 

PurifHy	STEDIN	ECN	HyET	KEMA
Fase 4 On-site Zuivering gas	<p><i>Adviserende functie CE certificering nieuwe EHC apparatuur voor gas conditioning</i></p>	<p><i>Integratie Zuiverings unit op lab ECN</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mogelijk installeren koeler voor condensatie overmaat water 2. Installeren HyET EHC zuiverings unit indien CE keurmerk. 	<p><i>CE keuring van Zuiverings unit om lab tests on-site buiten HyET uit te voeren</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. CE-certificerings traject met ondersteunende testen bij HyET 2. Integratie zuiverings unit on-site bij ECN met labschaal bio-vergasser 	<p><i>Directe betrokkenheid certificering apparatuur voor gas conditioning</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Actieve bijdrage CE certificering 2. Analyse (on)gezuiverd gas ECN 3. Analyse (on)gezuiverd gas uit HyET's on-site zuiverings unit (1x)
	<p>Risico Analyse</p>	 <p>Bio-vergassings installatie</p>		
Fase 5 Veld test Zuivering	<p><i>Vertegenwoordiging van Power2Gas project en beheerder gasleidingnet vereist een compliant zuiverings installatie voor doorgang veld test</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Toegang verlenen tot on-site veld test in ruimte t.b.v. project Power2Gas te Rozenburg 	<p><i>Geen activiteit ECN</i></p>	<p><i>Zuiverings unit installeren in PED - ATEX compliant container voor veld testen</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ontwerp compliant container (subcontracting installatie) 2. Certificerings traject met alle betrokken instanties en keuringen 3. Plaatsing en aansluiting met Power2Gas units te Rozenburg 	<p><i>Directe betrokkenheid certificering apparatuur voor gas conditioning</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Actieve bijdrage certificering en keuring van zuiveringsinstallatie
	<p>Eindbeoordeling EHC Zuivering</p>	 <p>Surplus 'Groene' Electriciteit</p> <p>Power2Gas Installaties</p>		
Fase 6 Rapport +++ Zuivering	<p><i>Evaluatie commerciële mogelijkheden van EHC zuiverings unit geïntegreerd met Power2Gas installatie(s)</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Beoordeling functionaliteit EHC zuivering voor flexibiliteit van aardgas leidingnetwerk 2. Rapportage resultaten 	<p><i>Evaluatie surplus mogelijkheden van EHC zuiverings unit geïntegreerd met bio(syn)gas installatie</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Opsomming of/hoe meerdere elementen uit 'groen' gas met EHC gezuiverd kunnen worden 2. Rapportage resultaten 	<p><i>Evaluatie surplus mogelijkheden van EHC zuiverings unit tbv waterstof</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mogelijkheden mbt waterstof noemen die HyET onderneemt. 2. Mogelijke observatie zij-reacties als gevolg van Electro-Katalyse 3. Rapportage resultaten 	<p><i>Evaluatie van surplus opties van EHC zuiverings unit voor conditioning van aardgas uit diverse bronnen.</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Certificerings documentatie 2. Opsomming mogelijkheden 3. Rapportage resultaten
	<p>Project Rapportage</p>			