

Roadmap Power to Gas

13 maart 2014

Definitieve versie

Auteurs:

Juriaan Mieog

Ronald Eenkhoorn

Jörg Gigler (Gigler Energy Support)



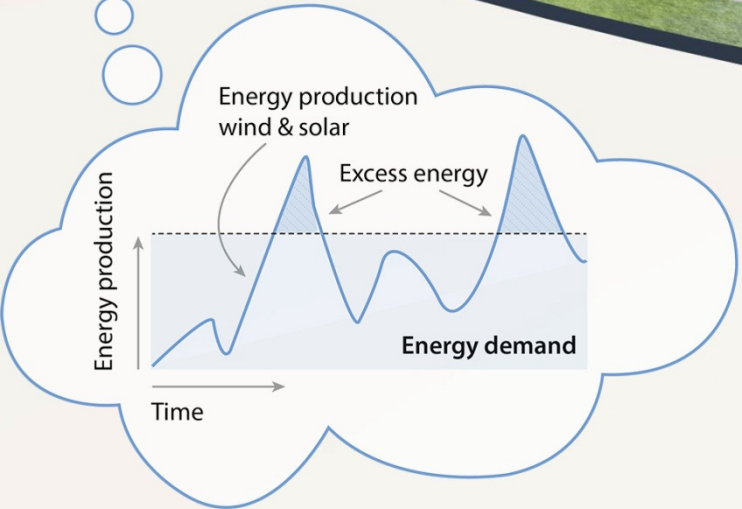
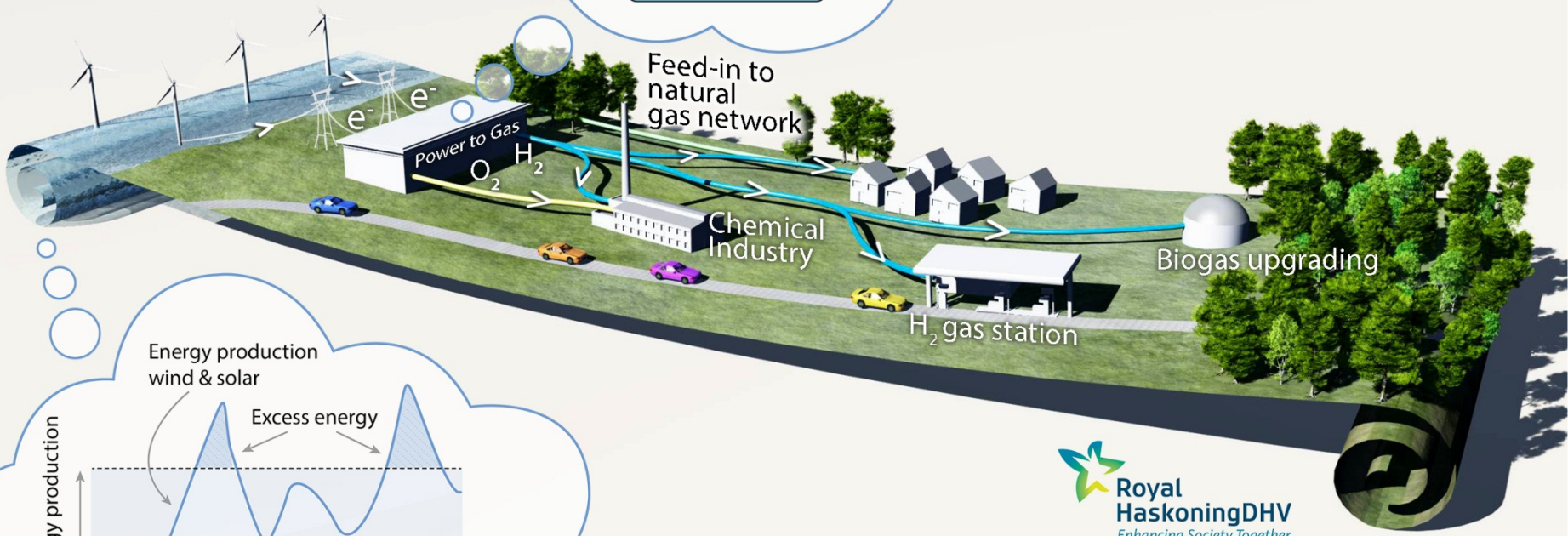
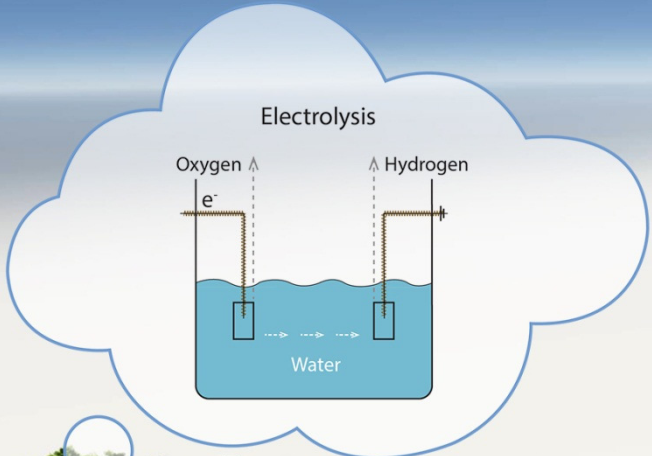
Voorwoord

De veranderende manier waarop energie wordt opgewekt en geconsumeerd vraagt om innovatie in de energiesector. Meer lokaal duurzaam geproduceerde energie vraagt om slim gebruik, maar ook om robuuste en flexibele centrale opwekking. Slimme infrastructuur, mogelijkheden voor energieopslag en nieuwe businesscases moeten ontwikkeld worden. Juist het schakelen tussen gebruik van elektriciteitsnetten, gasnetten en/of warmte biedt nieuwe kansen om onze energievoorziening zo duurzaam mogelijk in te richten.

Power to Gas vormt hier een onderdeel in. De ontwikkeling van Power to Gas biedt kansen voor ons energie- en economiebeleid. Om de kansen die liggen binnen de grenzen van de provincie Groningen te identificeren is in opdracht van de provincie Groningen, in samenwerking met Energy Valley, deze roadmap opgesteld.

Deze roadmap heeft tot doel inzicht te geven in de mogelijkheden voor de aanpak, uitrol en bouw van een Power to Gas keten. Het geeft een aanzet voor verdere beleids- en projectontwikkeling. Dit moet nadrukkelijk ook in samenwerking met marktpartijen, NGO's, kennisinstellingen en buurlanden verder worden opgepakt.

Deze roadmap is dan ook niet bedoeld als blauwdruk waarin de enige mogelijke route wordt voorgeschreven, maar dient als handvat voor alle mogelijke stakeholders om hun rol te pakken ten behoeve van de realisatie van een Power to Gas keten. De roadmap richt zich niet alleen op het omzetten van elektriciteit in gas (platte vertaling van Power to Gas), maar juist om alle mogelijke facetten die in deze keten naar voren komen zoals; opslag en balanceringsopties, power-to-product, bijmenging in gasnet of gebruik in mobiliteit.



Inhoud

0. Samenvatting
1. Introductie
2. Noodzaak van energieopslag
3. Opties Energieopslag
4. Power to Gas, proces en toepassingen
5. Filosofie Roadmap Power to Gas
6. Ontwikkelpad
7. Uitwerking pilotfase
8. Koppeling pilotfase - kennisontwikkeling
9. Actieplan

Bijlage 1: Financiering



PtG installatie in Falkenhagen, 360 Nm³ H₂/uur

0. Samenvatting

Deze roadmap beschrijft de mogelijke uitrol van een Power to Gas keten in de provincie Groningen en het Energy Valley gebied. In stappen wordt beredeneerd hoe een keten eruit ziet en hoe die ontwikkeld kan worden, op basis van de huidige beschikbare informatie. De belangrijkste punten worden hieronder samengevat:

- Power to Gas is een interessante technologie om opslag te creëren voor momenten dat vraag en aanbod van elektriciteit niet matchen. De technologie levert verschillende producten op die in allerlei markten kan worden afgezet: chemie, energiewinning, mobiliteit. Bovendien is de technologie demonstratierijp.
- De Energy Valley regio biedt diverse interessante basiscondities die gunstig zijn om een pilot te starten: chemische industrie, nabijheid van windparken, elektriciteit- en gasinfrastructuur, kennisinstellingen, inzicht in financieringsmogelijkheden en bereidheid om samen te werken.
- De technologie van Power to Gas is kostenintensief. Op dit moment is het technische rendement dusdanig dat er geen rendabele (grootschalige) businesscase voor Power to Gas voor commerciële doeleinden is. In samenwerking met diverse stakeholders zijn er wel kansen voor het realiseren van demo's en/of pilots gericht op commerciële introductie en koppeling met chemie.
- Het starten van een pilot kan helpen om de lokaal gunstige condities te verbeteren, zeker wanneer een goede koppeling wordt gemaakt met kennisinstellingen en ervaringen in Duitsland.
- Er liggen kansen voor Power to Gas. Ten einde een succesvolle Power to Gas keten te realiseren zijn de volgende stappen nodig:
 1. Consortiumvorming met geïnteresseerde partijen
 2. Identificeren en realiseren van kritieke randvoorwaarden (contractueel, vergunning, wet- en regelgeving)
 3. Mogelijkheden voor financiering in kaart brengen

1. Introductie: waarom een roadmap?

Achtergrond

Door de snelle implementatie van duurzame energiebronnen ontstaat er een sterker fluctuerend aanbod van elektriciteit die uit de pas loopt met de vraag naar elektriciteit. Hierdoor neemt de behoefte aan grootschalige elektriciteitsopslag sterk toe. Power to Gas is een optie voor de opslag van elektriciteit die steeds meer in de belangstelling staat. De provincie Groningen kan, als energieprovincie, een sterke stimulerende rol spelen in deze ontwikkelingen. De eerste stap heeft de provincie hiervoor al gezet door een NEND-subsidie te verlenen aan Royal HaskoningDHV en iNTiS voor een project waarin de kansen voor Power to Gas in de Interregio zijn onderzocht. De provincie Groningen heeft, in samenwerking met Energy Valley, de opdracht uitgezet om een roadmap op te stellen waarin duidelijk wordt welke kansen er voor een Power to Gas keten er zijn en welke stappen er gezet moeten worden voor het realiseren van dit potentieel.

Doelstelling

De doelstelling is het opstellen van een roadmap die zicht biedt op de aanpak en uitrol van Power to Gas in de Provincie Groningen en de Noordelijke provincies en waarin het potentieel van een Power to Gas keten, mogelijk ontwikkelpad en tijdsplanning is opgenomen. Tevens moet helder worden gemaakt waarom de verschillende stakeholders zich aan deze roadmap zouden kunnen committeren. Deze roadmap is bedoeld voor verschillende stakeholders, zoals de provincies, betrokken gemeenten, Energy Valley en andere overkoepelende organisaties, de gas- en de chemische industrie, energiebedrijven, netbeheerders voor gas en elektriciteit en andere potentiële spelers in de Power to Gas-keten.

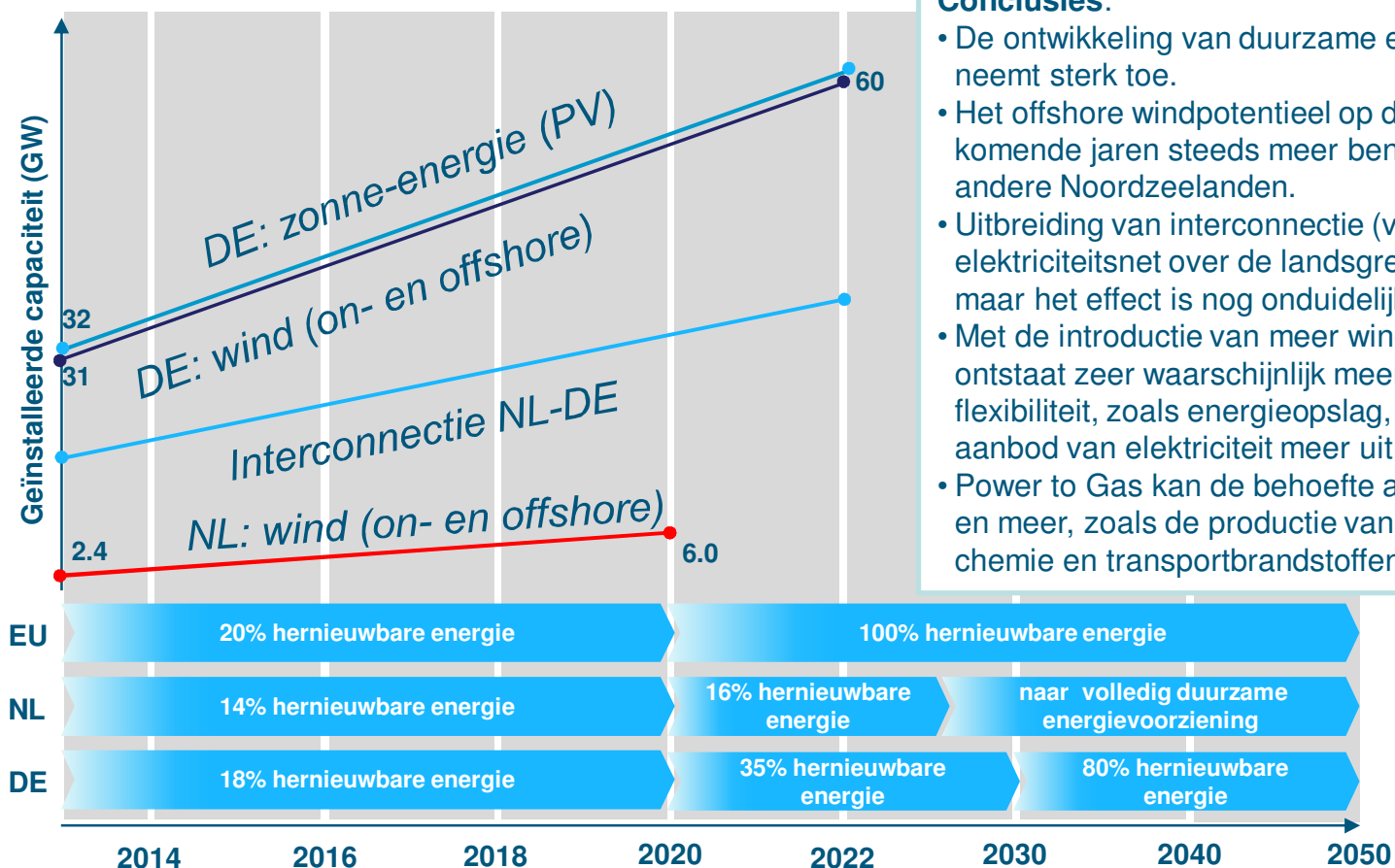
Aanpak

De opzet van de roadmap is in nauw overleg met de provincie Groningen en Stichting Energy Valley opgezet. Op basis van de Power to Gas studie van Royal HaskoningDHV en iNTiS en bestaande kennis is de roadmap verder vormgegeven. De roadmap is getoetst en aangescherpt aan de hand van gesprekken met verschillende stakeholders.

Afbakening

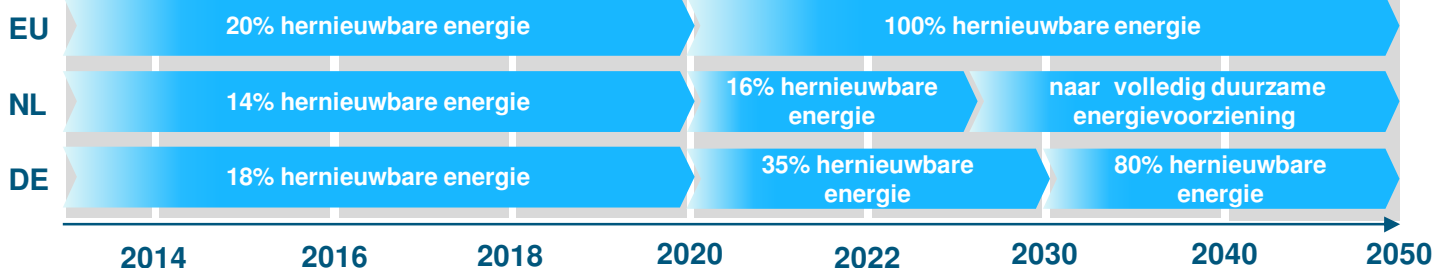
Deze roadmap is bedoeld om kansrijke ontwikkelingen voor een Power to Gas keten te beschrijven. Het heeft niet de intentie om businesscases te beschrijven

2. De noodzaak van energieopslag (1)



Conclusies:

- De ontwikkeling van duurzame energieproductie neemt sterk toe.
- Het offshore windpotentieel op de Noordzee wordt de komende jaren steeds meer benut, door Dld, NL en andere Noordzeelanden.
- Uitbreiding van interconnectie (verbinding van het elektriciteitsnet over de landsgrenzen) vindt plaats maar het effect is nog onduidelijk.
- Met de introductie van meer wind- en zonne-energie ontstaat zeer waarschijnlijk meer behoefte aan flexibiliteit, zoals energieopslag, omdat vraag en aanbod van elektriciteit meer uit onbalans kunnen zijn.
- Power to Gas kan de behoefte aan flexibiliteit invullen en meer, zoals de productie van grondstoffen voor de chemie en transportbrandstoffen.



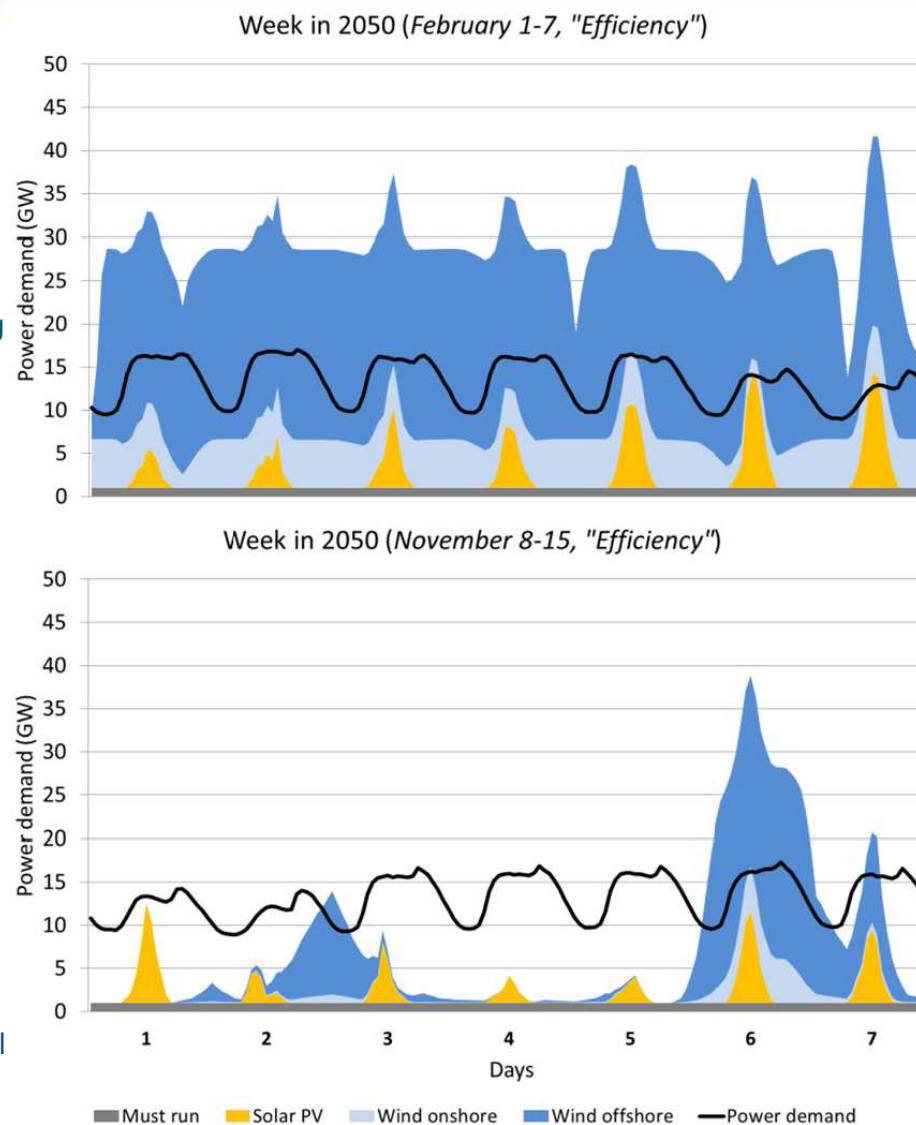
Achtergrond MW – MWh:

MW = Megawatt = vermogen van een installatie (bv windturbine van 3 **MW**)
MWh = Megawattuur = hoeveelheid energie (bv windturbine van 3 **MW** die gedurende 1 uur draait wekt 3 **MWh** energie op.)

2. De noodzaak van energieopslag (2)

De ontwikkelingen m.b.t. duurzame energie hebben gevolgen:

- Er ontstaat een grotere discrepantie tussen elektriciteitsvraag en -aanbod.
- Deze discrepantie zal ontstaan op verschillende tijdschalen: op dagbasis en op seizoensbasis
- In de huidige situatie zijn er weinig mogelijkheden om elektriciteit op te slaan. Dat heeft tot gevolg dat fluctuaties in aanbod en vraag momentaan moeten worden gecompenseerd. Aangezien het aanbod duurzame energie momenteel nog beperkt is (circa 4% in NL) zijn fluctuaties goed op te vangen in het systeem (o.a. via gascentrales).
- In de toekomst wordt het aandeel duurzame energiebronnen dermate groot dat het opvangen van fluctuaties in het aanbod waarschijnlijk niet meer lukt met de beschikbare installaties en middelen (op directe basis).
- Om gemiddeld genomen voldoende energie op te wekken met duurzame bronnen, is opslagcapaciteit gewenst om periodes met een laag aanbod van elektriciteit op te kunnen vangen met elektriciteit die is opgeslagen tijdens periodes met veel aanbod van elektriciteit. Dit vereist seizoensopslag.
- Indien er geen energieopslag wordt gerealiseerd, dan leidt dit tot een inefficiënt gebruik van duurzame energiebronnen omdat er dan meer duurzame energiebronnen nodig zijn om in periodes met weinig wind en zon voldoende energie op te wekken en de noodzaak meer conventionele (gasgestookte) installaties operabel te houden, naast het toepassen van andere maatregelen.



Verwachte aanbod/vraag curves voor 2 weken in 2050 Bron: ECN

2. De noodzaak van energieopslag (3)

- Verschillende scenarioberekeningen laten zien dat er regelmatig periodes zullen zijn waarbij de elektriciteitsproductie de vraag overtreft. In 2025 kan dat in Nederland rond 1,5 TWh/jaar zijn (circa 1% van de totaal opgewekte hoeveelheid energie), in 2050 kan dat oplopen tot hoeveelheden tussen de 30 en 55 TWh/jaar (19 – 50%). Deze energieoverschotten, waarbij er meer aanbod dan vraag is wordt aangeduid met *curtailment*.
- Indien er geen opslag voorhanden is, kunnen duurzame energiebronnen minder effectief worden ingezet omdat het opgestelde vermogen zo moet worden gekozen dat ook in periodes met weinig wind/zon er voldoende energie beschikbaar is. Hierdoor ontstaan dan weer overschotten als er veel wind/zon is. Dit heeft een negatief effect op de rentabiliteit van duurzame energiebronnen.
- Overigens zijn er verschillende mogelijkheden om de onbalans tussen vraag en aanbod te overbruggen, zoals demand side management (sturen op de vraag), inzet van flexibele centrales en opslag in diverse vormen. Power to Gas moet hiertegen concurreren.
- In de ons omringende landen speelt dit probleem ook. Zeker in Duitsland, dat zwaar inzet op duurzame energie, is de verwachting dat grootschalige energieopslag noodzaak zal zijn.
- In Duitsland wordt een energieoverschot van circa 34,5 TWh/jr in 2030 verwacht.
- Power to Gas is een van de weinige energieopslagopties die voldoende capaciteit biedt om dergelijk grote hoeveelheden elektriciteit op te slaan.

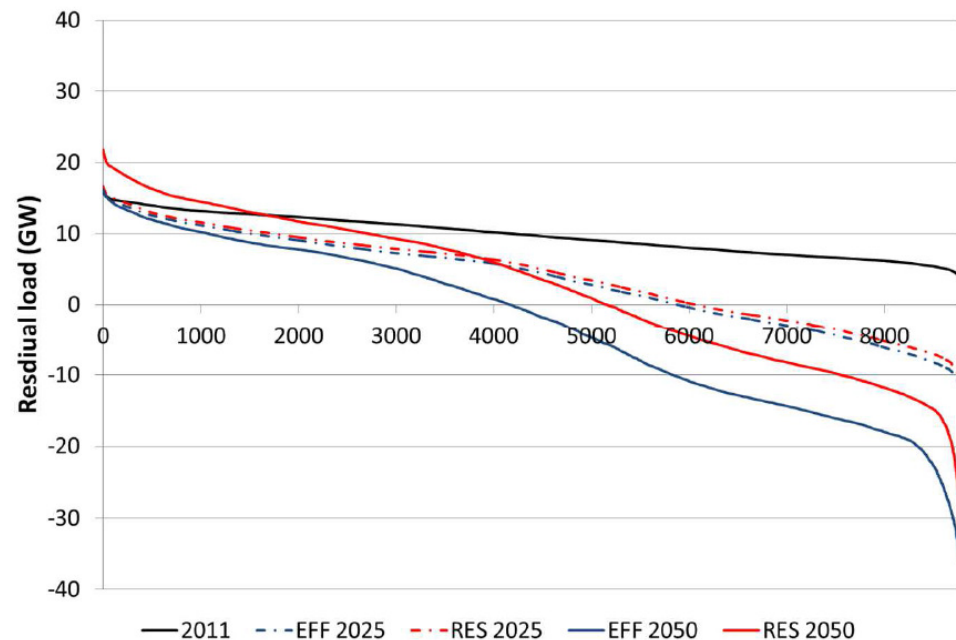
In perspectief

1 TWh = 1 miljard kWh

1 kWh ~ 1 magnetron die 1 uur aanstaat

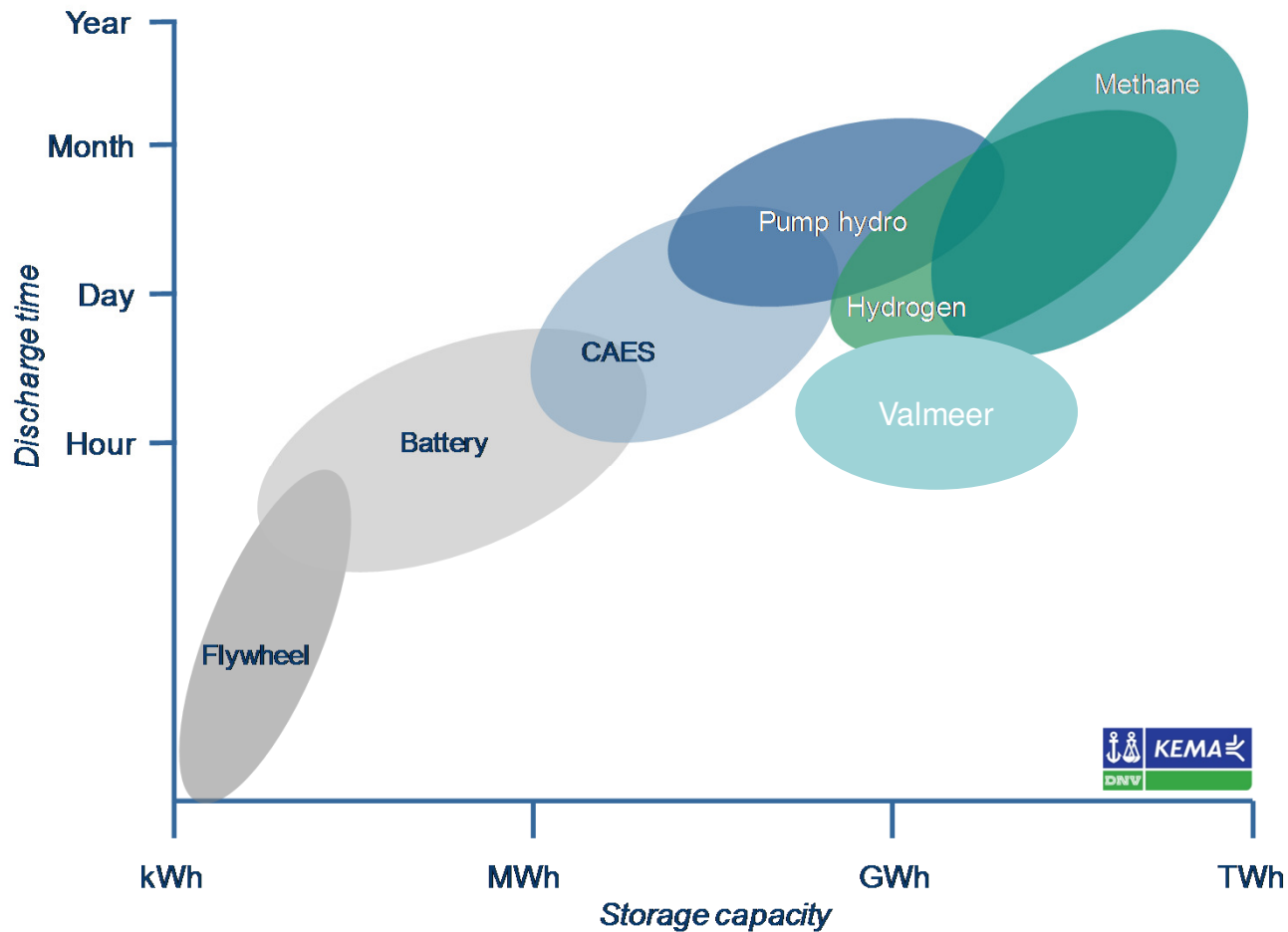
1 TWh ~ 22.000 ton H₂ ~ 2,5 miljard km (waterstofauto)

118 TWh = Huidig elektriciteitsverbruik (CBS, 2012)



Verwacht energieoverschot voor verschillende toekomstscenarios voor de Nederlandse situatie. Bron: ECN.

3.1 Energieopslag: overzicht van opties



Capaciteit van het Gasnet
Er wordt een groot aanbod van duurzame elektriciteit verwacht (ca. 10TWh). Indien technisch haalbaar, kan het gasnet 552 TWh aan elektriciteit opslaan, waarmee het zich uitstekend leent voor opslag en het leveren van flexibiliteit.

Toelichting:

Power to Gas, weergegeven door de cirkels getiteld 'Methane' (methaan) en 'Hydrogen' (waterstof), is zeer geschikt voor het opslaan van grotere hoeveelheden energie (ordegrootte TWh) over een langere periode (weken/maanden). Daarnaast heeft het Power to Gas weinig last van ruimtelijke inpassingsuitdagingen, zoals die kunnen spelen bij valmeren en stuwmeren.

3.2 Energieopslag: barrières

Als energieopslag zo hard nodig is, waarom worden er dan nog niet onmiddellijk een aantal installaties gebouwd?

- Energieopslag is nog te duur om op te wegen tegen de huidige kosten van onbalansen
- Er is nog voldoende conventionele reservecapaciteit om onbalansen tegen redelijke kosten weg te regelen.



Hierdoor is niet direct duidelijk wie de probleemeigenaar is:

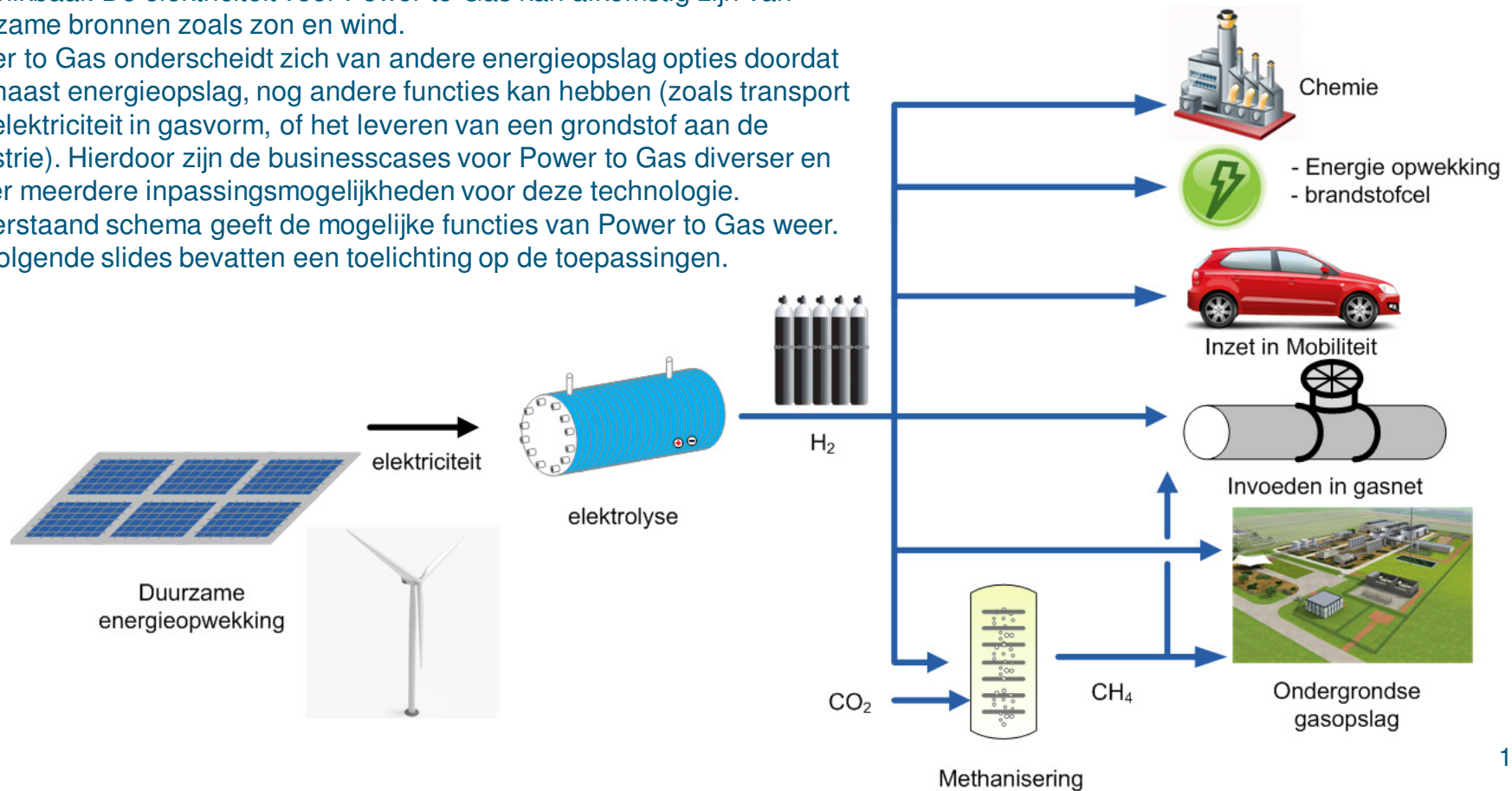
- TenneT (landelijke netbeheerder): regelt de balancering van het net via marktwerking (APX), eventuele onbalansen worden doorberekend aan kleinverbruikers (consumenten, zakelijke gebruikers). TenneT ziet het niet als haar rol om in energieopslag te investeren, maar wil dit aan de markt overlaten. Wel wil TenneT de randvoorwaarden scheppen om de markt te faciliteren.
- Windpark en PV-eigenaren: krijgen momenteel gegarandeerde prijs voor de opgewekte elektriciteit. Lage energieprijzen t.g.v. overcapaciteit tijdens windrijke periodes hebben hierdoor geen effect op de rentabiliteit. Momenteel is er nog weinig incentive om te investeren in faciliteiten die een betere inzet van duurzame energie mogelijk maken. De verwachting is wel dat deze subsidie op lange termijn niet handhaafbaar zal zijn naarmate het opgestelde vermogen toeneemt. In die situatie zijn eigenaren van windparken logische partijen om in energieopslag te stappen. Mogelijk i.c.m. een programmaverantwoordelijke.
- Programmaverantwoordelijken (partijen die energie leveren op het elektriciteitsnet) kunnen mogelijk energieopslag als asset opnemen in hun portfolio om kosten voor balancering te drukken. Zeker naarmate het aandeel RES toeneemt in de portfolio kan dat een rendabele investering zijn.
- Gasunie (landelijke netbeheerder): transporteren gas. Invoeding van H₂ of CH₄ geeft additionele business, maar zij zijn geen partij om een voortrekkersrol op zich te nemen.
- Overheden: Ministerie EZ is hoofdaandeelhouder van TenneT, ziet belang in van toename duurzame energie. Zij zijn niet als marktpartij verantwoordelijk voor opslagfaciliteiten.

4.1 Power to Gas: proces en toepassingsmogelijkheden

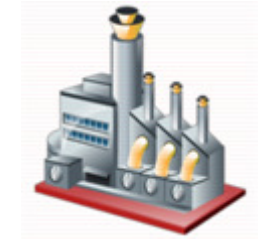
Het Power to Gas proces:

Power to Gas is conversie van elektriciteit in gas. Het meest voorkomende proces is elektrolyse waarbij water (H_2O) m.b.v. elektriciteit wordt gesplitst in waterstof (H_2) en zuurstof (O_2). Er zijn ook nieuwe processen in ontwikkeling, zoals plasmolyse, maar die processen zijn nog niet beschikbaar. De elektriciteit voor Power to Gas kan afkomstig zijn van duurzame bronnen zoals zon en wind.

Power to Gas onderscheidt zich van andere energieopslag opties doordat het, naast energieopslag, nog andere functies kan hebben (zoals transport van elektriciteit in gasvorm, of het leveren van een grondstof aan de industrie). Hierdoor zijn de businesscases voor Power to Gas diverser en zijn er meerdere inpassingsmogelijkheden voor deze technologie. Onderstaand schema geeft de mogelijke functies van Power to Gas weer. De volgende slides bevatten een toelichting op de toepassingen.



4.1.1 Toepassing PtG: Chemie



Er zijn meerdere Power to Product routes denkbaar.

Waterstof als grondstof

Waterstof is een waardevolle grondstof in de chemie. Verschillende bedrijven in Noord Nederland gebruiken waterstof dat gemaakt is op basis van aardgas, bijvoorbeeld voor de productie van methanol of waterstofperoxide. De duurzame waterstof die via Power to Gas wordt verkregen, kan waterstof uit aardgas vervangen. Mogelijk kan duurzame waterstof een extra (financiële) waarde krijgen in te toekomst.

Waterstof en CO als reststroom

Bij verschillende chemische processen is syngas (CO en H₂) een tussenproduct. CO kan gebruikt worden bij de methanisering van waterstof tot aardgas. Bedrijven ontwikkelen initiatieven op dit gebied. Op het chemiepark Oosterhorn (Delfzijl) is een haalbaarheidsonderzoek uitgevoerd naar een syngas- en waterstofnetwerk (Green Grid).

Voordelen: (Een deel van) het productieproces van de chemische industrie kan worden verduurzaamd met de inzet van waterstof uit Power to Gas. De beschikbaarheid van groene waterstof kan een vestigings- en acquisitievoordeel opleveren.

Nadelen: De marktprijs van waterstof is vraagbepalend. Momenteel wordt de prijs bepaald door waterstof dat is geproduceerd uit aardgas. H₂ geproduceerd uit elektrolyse is momenteel nog ongeveer 2x zo duur en de vraag is of het duurzame karakter dat prijsverschil kan overbruggen.

4.1.2 Toepassing PtG: Opslag en energieopwekking



Waterstof als brandstof

Waterstof kan op verschillende manieren als brandstof worden ingezet. Een interessante mogelijkheid is de omzetting van waterstof in elektriciteit via brandstofcellen. Waterstof wordt dan omgezet in zuurstof en water waarbij elektriciteit wordt gemaakt. Daarmee is PtG zeer geschikt voor elektriciteitsopslag met een enorme capaciteit. De efficiëntie is momenteel maximaal 40% (80% efficiëntie elektrolyse, 50% efficiëntie brandstofcel) en daarmee lager dan andere technologieën.

Waterstof kan ook gebruikt worden als 'bijstookgas' in sommige gascentrales voor de opwekking van elektriciteit en in het geval van een WKK (warmtekrachtkoppeling) wordt tevens warmte/stoom geproduceerd. Waterstof kan tevens worden ingezet in de kolen- en biomassavergassing.

Daarnaast kan waterstof direct worden ingezet voor de productie van warmte/stoom, bijvoorbeeld in een stoomketel (zonder dat elektriciteit wordt opgewekt).

Optimaliseren verbranding door toevoeging zuurstof (O₂)

Bij het Power to Gas-proces komen, door de splitsing van water via elektrolyse in H₂ en O₂, grote hoeveelheden zuurstof beschikbaar die in zogenaamde oxyfuel-energiecentrales gebruikt kunnen worden. Door de brandstof van de energiecentrale met extra zuurstof te verbranden wordt een hogere efficiëntie bereikt. Hierdoor stijgt de CO₂-concentratie in het rookgas (maar niet de hoeveelheid uitgestoten CO₂) waardoor CO₂-afvang en -opslag gemakkelijker kan worden.

Voordelen: Waterstof in brandstofcellen: hoge omzettingsefficiëntie, hogere toegevoegde waarde

Waterstof als bijstook of direct voor warmte/stoomproductie: flexibiliteit in de afzet, aansluiting bij business cases

Oxyfuel: afzetmarkt voor zuurstof/extra inkomen

Nadelen: Brandstofcellen zijn momenteel nog duur en worden niet breed toegepast. Waterstof als brandstof levert niet de hoogste prijs op.

4.1.3 Toepassing PtG: Mobiliteit



Inzet waterstof als autobrandstof

In de mobiliteit is het rijden op waterstof sterk in opkomst. Waterstof wordt via een brandstofcel omgezet in elektriciteit en water. Waterstof uit het Power to Gas proces kan als 'groen/duurzaam' worden bestempeld. In de komende jaren kan zich mobiliteit tot een interessante nichemarkt ontwikkelen, aangezien waterstof nu voornamelijk uit fossiele bronnen (meestal aardgas) wordt geproduceerd waardoor de brandstof klimaatneutraal wordt. Wanneer deze markt tot wasdom komt, kan waterstof als commodity worden afgezet. Helaas bestaat er nog geen grote afzetmarkt voor waterstof in de mobiliteit. De verwachting is echter dat gebruik van waterstof in de mobiliteitssector toe blijft nemen. Verschillende grote autofabrikanten (Hyundai, Honda, Toyota, Mercedes, GM) werken aan de introductie van waterstofvoertuigen. Tevens zijn er plannen (w.o. Duitsland) voor de aanleg van zogenaamde waterstofcorridors waarbinnen waterstof kan worden getankt. De markt bevindt zich nu nog in een pilotfase.

Inzet methaan (CNG) als autobrandstof

Een techniek die al bewezen is, is het rijden op aardgas (CNG). Net als bij Groen Gas (tot aardgaskwaliteit opgewaardeerd biogas) kan methaan uit het Power to Gas-proces in CNG-voertuigen worden toegepast. Bedrijven zoals Audi profileren zich hier nu al mee. Zij bieden een CNG-auto aan waarbij het methaan afkomstig is uit elektrolyse van water, waarbij de elektriciteit uit windenergie komt, en waarbij opwerking van waterstof tot methaan plaatsvindt via het gebruik van CO₂ uit de biogasproductie (groene CO₂).

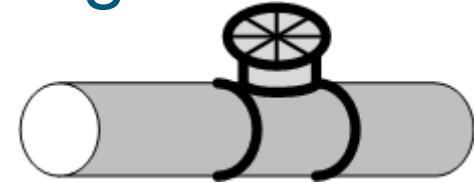
Voordelen:

Een belangrijk voordeel is dat de mobiliteit sterk verduurzaamd kan worden en dat een interessante en potentieel grote afzetmarkt tot ontwikkeling kan komen waar waterstof een goede prijs kan krijgen.

Nadelen:

De markt is nu nog niet voldoende ontwikkeld en heeft nog minstens 5-10 jaar nodig. Voorts is de route via CNG-productie qua milieurendement niet de meest optimale route omdat opwerking van waterstof tot methaan duur is.

4.1.4 Toepassing PtG: Opslag in het gasnet



Invoeding van waterstof in het gasnet

De aardgasinfrastructuur is wijdvertakt en heeft een zeer grote opslagcapaciteit, zeker als daar de gasopslagen aan worden toegevoegd. Het Nederlandse gas mag op dit moment maximaal 0,02% waterstof bevatten. Dit betekent dat er ruimte is om waterstof aan aardgas toe te voegen tot dat de maximale concentratie is bereikt. Mogelijk kan dit toegestane maximum in de toekomst stijgen waardoor meer waterstof kan worden toegevoegd. Overigens zijn de gebruikers van aardgas (gasturbines, HR-ketels, boilers etc.) de meest beperkende factor voor de hoeveelheid waterstof die mag worden toegevoegd; het aardgasnet zelf kan veel hogere concentraties aan. Op deze wijze wordt het aardgas deels gedecarboneerd (ontdaan van koolstof).

Er is nieuwe technologie in ontwikkeling waarmee waterstof uit aardgas kan worden 'gefilterd'. Deze technologie is nu alleen op kleine schaal toepasbaar maar er wordt aan opschaling gewerkt. De verwachting is dat het nog 5-10 jaar zal duren voordat de technologie beschikbaar is en het energieverbruik van deze technologie is nog een vraagteken. Via deze technologie is het mogelijk om de aardgasinfrastructuur als transportmedium voor waterstof in te zetten.

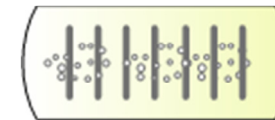
Invoeden van methaan in het gasnet

Wanneer de maximale toegestane concentratie aan waterstof is bereikt, is de opwekking van waterstof tot methaan (via het methaniseringsproces) een optie. Methaan kan in principe onbeperkt aan aardgas worden toegevoegd. De capaciteit van het aardgasnet is zeer groot (552 TWh). Ter vergelijking: de totale elektriciteitsproductie in Nederland bedraagt ruim 100 TWh per jaar.

Voordelen: Er kunnen zeer grote hoeveelheden energie worden opgeslagen in het aardgasnet. Het aardgasnetwerk is al beschikbaar. Het voorkomt mogelijk investeringen in aanleg/verzwaring van de infrastructuur voor elektriciteit.

Nadelen: Waterstof kan slechts tot een beperkt percentage worden bijgemengd omdat bijmenging van waterstof de samenstelling van het gas verandert.

4.1.5 Toepassing PtG: Methanisering



Methanisering

Methanisering kan een interessante optie zijn omdat daarmee het volle opslagpotentieel van het aardgasnet kan worden benut en tegelijkertijd een grotere afzetmarkt kan worden bereikt, namelijk alle toepassingen waar nu aardgas wordt ingezet. De bijmenging aan het aardgasnet is vrijwel onbeperkt mogelijk. Het grote nadeel van methanisering zijn echter de hoge kosten voor de productie door de extra conversiestap en de benodigde energie. Tot slot is het toevoegen van CO₂ in de transitie naar een klimaatneutraal energiesysteem niet altijd de meest gewenste oplossing omdat het einddoel juist is om koolstof (CO₂) uit de keten te halen. In de transitie kan methanisering echter een goede oplossing zijn om de tijd te overbruggen totdat 'dedicated' waterstoftoepassingen voldoende zijn ontwikkeld.

Conversieprocessen

Het meest toegepaste proces voor de productie van methaan uit waterstof is het Sabatierproces waarbij waterstof (H₂) in een reactor reageert met kooldioxide (CO₂) tot methaan (CH₄). Er zijn nieuwe processen in ontwikkeling, zoals bijvoorbeeld plasmolyse waarbij water en CO₂ in een plasmareactor onder invloed van elektriciteit worden omgezet in een synthesegas. Daaruit kunnen zeer veel verschillende producten worden gemaakt (chemische producten, transportbrandstoffen, synthetisch aardgas etc). Dit proces is echter nog in ontwikkeling en het zal naar verwachting pas over een jaar of 10 marktrijp kunnen zijn.

Een andere mogelijkheid is de methanisering van biogas. Biogas bestaat uit CH₄ en CO₂. Door dit in te voeden in het Sabatier proces kan het biogas worden opgewaardeerd waarbij het CO₂ met het H₂ tot CH₄ reageert. Omdat deze CO₂ uit biogas komt, blijft het resulterende CH₄ 'groen'. Een mogelijke richting kan hierbij zijn dat biomassa installaties worden gekoppeld aan Power to Gas installaties. De omvang van de biomassavergistinginstallatie bepaalt daarin mede de grootte van de Power to Gas.

Voordelen: Methanisering is een goede transitietechnologie om de inpassing in ons energiesysteem soepel te laten verlopen. Er zijn geen restricties aan het percentage methaan dat ingevoerd kan worden in het aardgasnet.

Nadelen: Het is een stap die extra kosten met zich meebrengt, zowel financieel als qua energieverbruik. Dit is van grote invloed is op de businesscase. Daarnaast wordt duurzame waterstof weer gecombineerd met CO₂.

4.1.6 Toepassing PtG: Gasopslag



Opslag van gas

Deze optie wordt in deze roadmap nadrukkelijk benoemd vanwege twee redenen:

1. Gasopslagen maken onderdeel uit van de Nederlandse gasinfrastructuur en dragen bij aan de unieke positie die Nederland in het algemeen en Noord-Nederland in het bijzonder innemen.
2. Gasopslagen maken het mogelijk om gas gedurende langere tijd op te slaan, bijvoorbeeld om gedurende piekperioden gas te kunnen leveren of om in te kunnen spelen op verschillen in gasprijzen (opslaan tegen een lage prijs, beschikbaar stellen in periode wanneer de prijs hoog is).

In Noord-Nederland is de locatie Zuidwending van Gasunie en van NUON een illustratief voorbeeld van een gasopslag waarbij diverse zoutcavernes worden gebruikt voor de opslag van aardgas. Ook in Noord-Holland wordt momenteel een grote gasopslag gerealiseerd door Taqa (Bergermeer). Dit betreft een gebruikt gasreservoir. Gebruikte gasreservoirs zijn zeer geschikt voor grootschalige aardgasopslag (eventueel verrijkt met H₂), maar zijn te groot voor zuivere H₂ opslag. Hiervoor zijn juist zoutcavernes erg geschikt. Deze kunnen eventueel op maat worden gemaakt.

Relatie met Power to Gas

De gasopslagen kunnen gebruikt worden om, naast gasopslag, verschillende concentraties aan waterstof op te slaan. Mogelijk kunnen gasopslagen ook worden gebruikt om pure waterstof, dan wel hoge concentraties waterstof op te slaan. Hierdoor wordt het mogelijk om flexibiliteit in te bouwen om waterstof gedoseerd te kunnen inzetten van de gasopslagen voor specifieke doeleinden, zoals de chemie en de mobiliteit. Ook wordt het mogelijk om waterstof te bufferen zodat injectie in het gasnet mogelijk is zonder dat daarbij de maximaal toelaatbare grenzen worden overschreden. Hierdoor kunnen kosten worden bespaard omdat bijvoorbeeld methanisering overbodig wordt. Via nieuwe technologie wordt het waarschijnlijk ook mogelijk om waterstof uit de aardgasopslag te scheiden. Het Europese HyUnder project, waarbij ECN is betrokken, heeft deze optie in detail onderzocht.

Voordelen: Gebruik van bestaande infrastructuur, extra opslagmogelijkheden, buffering t.b.v. injectie in het gasnet

Nadelen: Extra kosten

4.2 Samenvatting technologieopties

In vergelijking met alternatieven heeft Power to Gas to Power een relatief lage efficiëntie. Echter, geen van de andere technologieën heeft:

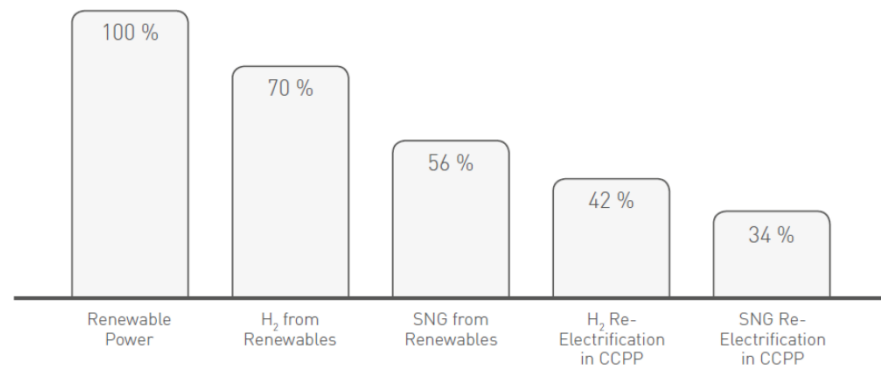
- een vergelijkbaar opslagpotentieel > 500 GWh
- een vergelijkbare opslagduur. De meeste andere technologieën kunnen de energie slechts beperkte tijd opslaan. Omdat PtG met chemische omzetting werkt, is de opslagduur feitelijk onbeperkt.

Technologie	Opslagcapaciteit		
	[GWh]	Efficiëntie	Opslagduur
Power To Gas (H ₂)	830	75%	week/seizoen
Power to Gas (CH ₄)	550.000	60%	week/seizoen
Power to Gas to Power (H ₂)	830	40%	week/seizoen
CAES (conventional)	1,1 - 2,7	70%	dag / week
Pumped Hydro Storage	1,6 - 14	75%	dag/ week
Batteries (lood)	0,3	80%	uur/dag

De grootste systeemefficiëntie wordt gehaald als het geproduceerde H₂ wordt ingezet als procesgas of in toepassingen waar anders ook H₂ zou worden gebruikt. Voor waterstof geldt dat de beste prijs kan worden gehaald bij mobiliteitstoepassingen. Voor industriële toepassingen kan een prijs worden verkregen die ongeveer gelijk ligt aan 'traditioneel' H₂.

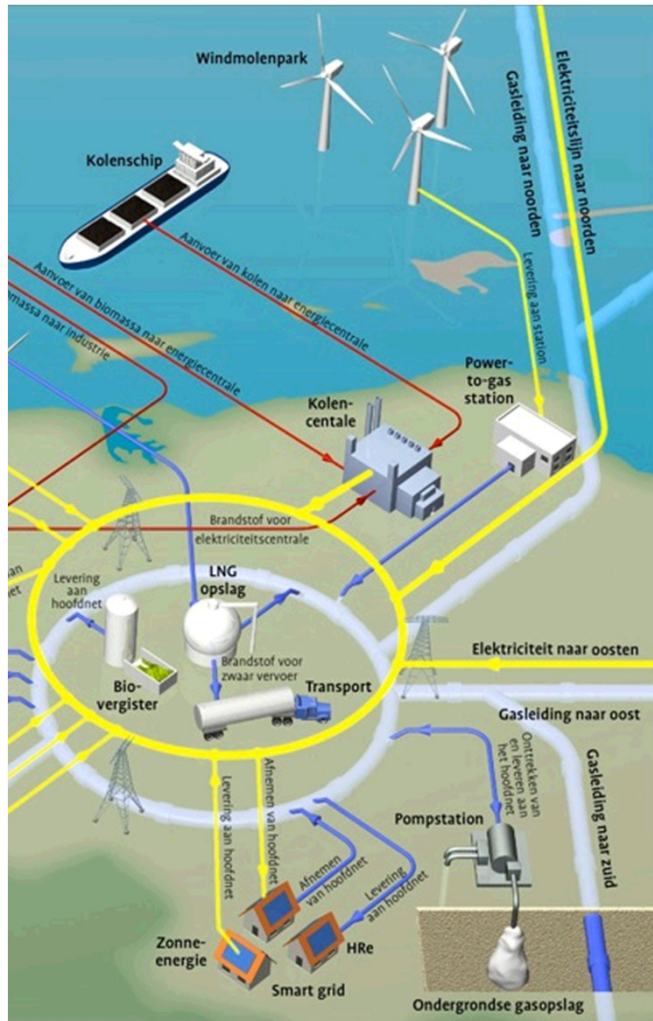
De meest kansrijke PtG inrichting is er één waarbij de verschillende functies van PtG worden gecombineerd en de business case bestaat uit meerdere componenten:

- Opvangen van overschotten elektriciteit
- Verkoop van H₂ aan mobiliteit, chemie
- Verkoop van O₂ aan chemie, energie
- Lange termijn opslag van H₂ t.b.v. periodes met energietekort (>2030)



Efficiënties bij energieopslag en conversie Bron: European Energy Storage Technology Development Roadmap towards 2030, EASE, 15-10-2013.

5.1 Filosofie Roadmap Power to Gas Groningen (1)



Bron: Bosatlas van de Energie, pagina 112-113

Energieprovincie Groningen, proeftuin voor Power to Gas

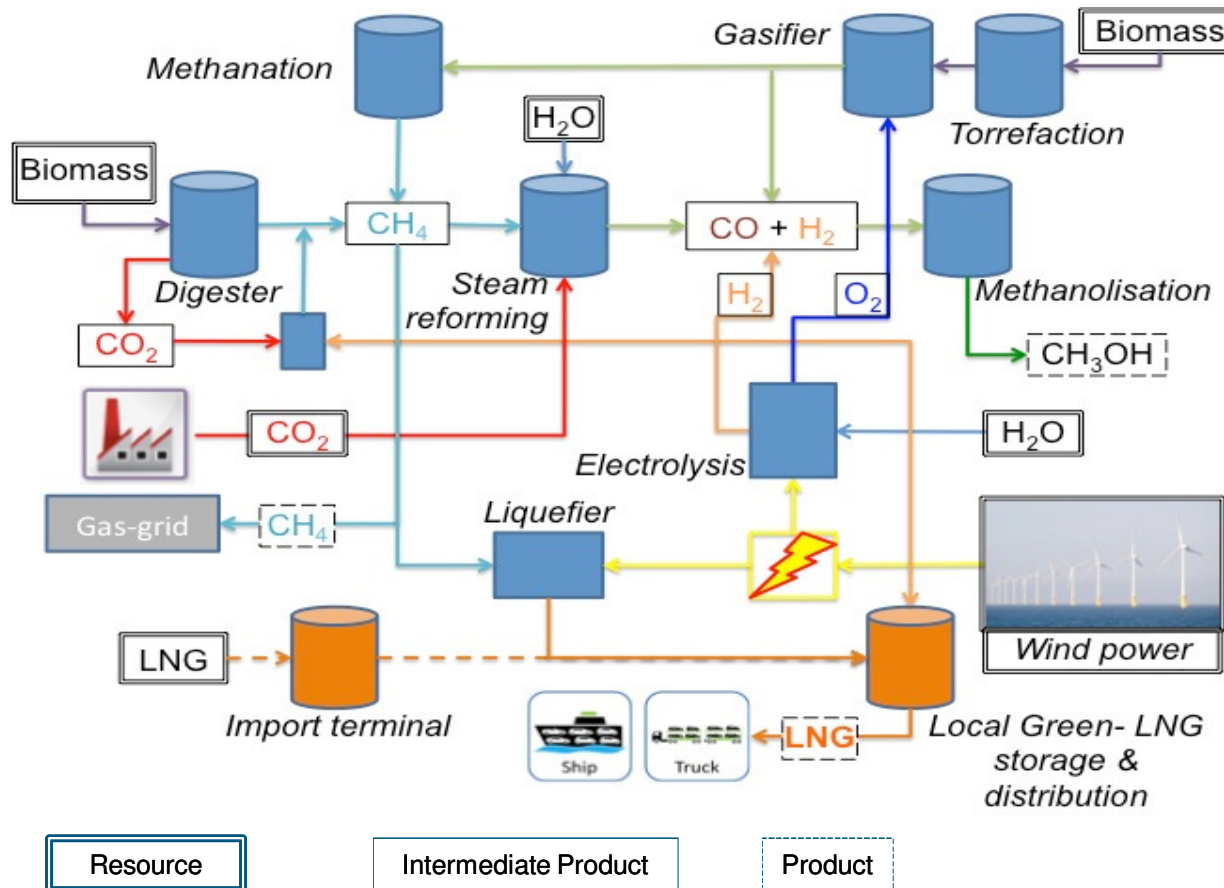
Voor een succesvolle introductie van Power to Gas is het noodzakelijk om naar condities, activiteiten en randvoorwaarden te zoeken die deze ontwikkeling faciliteren. De provincie Groningen heeft op dit vlak veel te bieden waardoor er een goede basis is voor activiteiten met Power to Gas. Het betreft de volgende punten:

- Onshore wind en mogelijke aanlanding van off-shore windelektriciteit
- Nabijheid van Duitsland waardoor relatief goedkope duurzame elektriciteit voorhanden is, in combinatie met goede interconnectie
- Chemische activiteiten en behoefte aan specifieke basischemicaliën
- Goede gasinfrastructuur en aanwezigheid van gasopslagen
- Goed ontwikkeld gaskenniscluster
- Bedrijvigheid waarbij gas een centrale rol speelt (industrie, energieopwekking)
- Plannen en activiteiten m.b.t. verduurzaming van energie, chemie, mobiliteit en gebouwde omgeving, evenals aanjagers en facilitators van deze ontwikkelingen zoals de provincie en Energy Valley
- Diverse vormen van 'organisatiegraad' met ambities op de genoemde terreinen (SBE, Energy Valley etc)
- Beschikbaarheid van publieke middelen via regionale, nationale en internationale programma's
- De regio Noord-Nederland wil uitvoering geven aan de nationale doelstelling voor energie. Met Power to Gas vergroot je het inpassingsvermogen van duurzame energie, en past daarmee bij deze doelstelling.
- Provincie stimuleert actief via kennisontwikkeling (o.a. Energy Academy) de ontwikkeling van bedrijvigheid en werkgelegenheid





Vanwege de beschikbaarheid van deze zaken, ligt het voor de hand om een roadmap Power to Gas in het Noorden te ontwikkelen, zodat zicht wordt verschaft op de acties die nodig zijn om de beschikbare kansen maximaal te benutten. Hiermee kan de Provincie een belangrijke bijdrage leveren aan de kennisontwikkeling rond energieopslag en synergie met de industrie

5.1 Filosofie Roadmap Power to Gas Groningen (2)

Power-to-gas past in de filosofie van Energy Valley, waarbij potentiële duurzame energiebronnen en -ontwikkelingen zijn verknoopt met toepassingsmogelijkheden. Deze filosofie streeft naar een maximale synergie tussen de verschillende systeemfuncties die de bedrijven in de regio Eemshaven / Delfzijl. Het maakt potentiële synergiekansen inzichtelijk. Zowel de productie van waterstof als de synthese van CH_4 is onderdeel van de filosofie. Het laat alleen de technische mogelijkheden zien, het gaat niet in op de commerciële haalbaarheid.



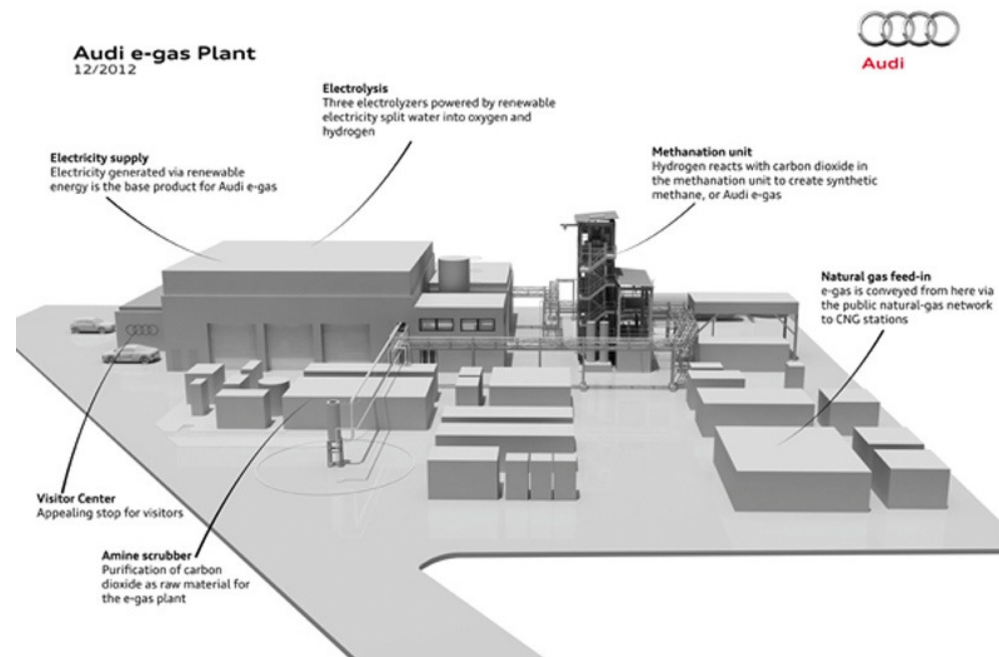
5.2 Relevante Projecten

Project	Omschrijving	Positie
	HyUnder is een Europees project dat de mogelijkheden voor grootschalige ondergrondse waterstofopslag onderzoekt. De gedachte hierachter is dat bij een sterk fluctuerend aanbod van elektriciteit grootschalige en langdurige energieopslag vereist is	De resultaten van HyUnder zijn relevant voor een PtG project omdat in de provincie de mogelijkheden voor PtG en gasopslag aanwezig zijn.
	Samenwerkingsverband van verschillende partijen om de mogelijkheden van PtG te onderzoeken rond de Noordzee. Projectleiding in handen van DNV GL (Groningen)	http://www.northseapowertogas.com
Systeemstudie voor p2g-routes (TKI Gas)	Onderzoekt de inpassing van PtG in het energiesysteem, rekening houdend met internationale ontwikkelingen. Uitvoering studie door ECN.	In een consortium van ca. 12 partijen wordt de potentie van PtG in de energiemix onderzocht. In de studie worden cases voor Groningen en Rotterdam uitgewerkt.
PtG Rozenburg 	Stedin heeft een kleinschalige PtG installatie (incl. methanisering) ontwikkeld met een capaciteit van 1 m ³ per uur. De installatie wordt in Rozenburg geplaatst waarbij de elektriciteit lokaal wordt opgewekt door een windmolens.	Stedin bouwt als netbeheerder op deze wijze praktische kennis op over PtG en de inpassing in het net.
	Het bedrijf Torrgas gaat een vergassingsinstallatie bouwen in Delfzijl om getorrificeerde biomassa om te zetten in syngas. Daarnaast is de ambitie een elektrolyser neer te zetten voor de productie van waterstof en zuurstof. Dit maakt het mogelijk uit groene stroom ook duurzaam CH ₄ te produceren. Het geproduceerde CH ₄ en waterstof zal onder meer worden afgezet in de chemische industrie in de directe omgeving.	Toepassing van PtG als add-on voor torrefactieproces. Potentieel om PtG als pilotproject in te zetten.

5.3 Relevante Projecten Duitsland (1)

Duitsland is het land dat voorop loopt wat betreft het ontwikkelen van Power to Gas projecten. Er zijn minstens 9 Power to Gas demonstratieprojecten operationeel die qua omvang en uitvoering kleine tot grote verschillen vertonen (zie volgende slide, verschillen qua omvang, wel of geen methanisering, al dan geen injectie in het aardgasnet). Daarnaast zijn 5-10 projecten in voorbereiding (planning, bouw). Voorts bestaan er verschillende R&D-installaties bij universiteiten en researchinstellingen.

Verschillende buurlanden (Oostenrijk, Zwitserland en Denemarken) hebben demonstratieprojecten in voorbereiding maar niet in de mate waarin dat in Duitsland gebeurt.

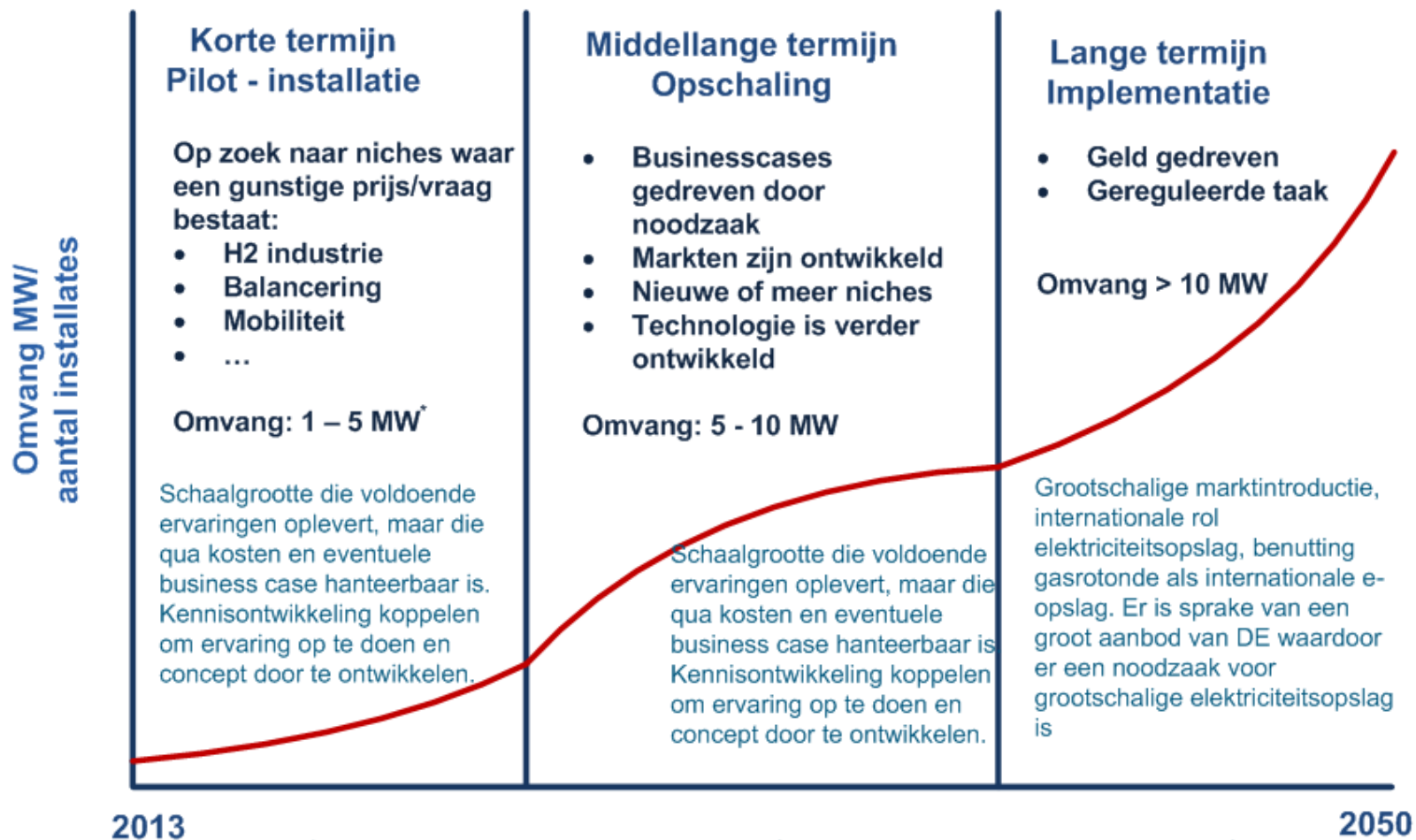


5.3 Relevante Projecten Duitsland (2)

Project	Omschrijving	Partners
Hybrid Power Plant Prenzlau	Demo van een systeem (500 kWe) waarbij 120 m ³ /h waterstof wordt geproduceerd uit wind die wordt omgezet in elektriciteit als daar vraag naar is. Tevens worden mogelijkheden onderzocht voor inzet in mobiliteit. Restwarmte gaat naar verwarming van woningen.	Enertrag, Total Deutschland (later stadium)
Windpark RH2-WKA	Demo van een systeem (1000 kWe) waarbij 200 m ³ /h waterstof wordt geproduceerd uit wind die weer in elektriciteit wordt omgezet bij tekorten. In een later stadium wordt naar afzet gekeken van warmte, waterstof en zuurstof.	WIND-Projekt, NOW, Haas Engineering, Architektbüro Karsten Klünder, Hydrogenics, Senergie
P2G-project Falkenhagen	Demo van een systeem (2000 kWe) waarbij 360 m ³ /h waterstof uit windenergie wordt geproduceerd. Waterstof wordt in het aardgasnet geïnjecteerd.	E.ON, Hydrogenics, Swiss Gas AG
CO2RRECT	Demo van een systeem (300 kWe) waarbij 50 m ³ /h waterstof wordt geproduceerd. I.c.m. CO ₂ worden basischemicaliën (methaan, methanol) geproduceerd.	Bayer, RWE, Siemens + vele kennispartners en publieke financiers
Methanisierung am Eichhof	Demo van een systeem (25 kWe) waarbij 6 m ³ /h waterstof uit elektriciteit wordt geproduceerd. Vervolgens wordt methaan gemaakt (4 m ³ /h) via gebruik van CO ₂ uit de biogasproductie.	IWES, ZSW, SolarFuel + diverse publieke financiers
Eucolino	Demo van een systeem (100 kWe) waarbij 20 m ³ /h waterstof uit elektriciteit wordt geproduceerd. Vervolgens wordt methaan gemaakt (5 m ³ /h) via gebruik van CO ₂ uit de biogasproductie.	Schmack, Viessmann
RWE Demo-anlage Ibbenbüren	Demo van een systeem (100 kWe) waarbij 20 m ³ /h waterstof uit wind- en zonne-energie wordt geproduceerd. Waterstof wordt in het aardgasnet geïnjecteerd.	RWE, CERAM Hyd
Demo Anlage der Thüga Gruppe	Demo van een systeem (320 kWe) waarbij 60 m ³ /h waterstof uit wind- en zonne-energie wordt geproduceerd. Waterstof wordt in het aardgasnet geïnjecteerd.	Thüga-consortium (ca. 15 partners)
Audi E-gas projekt	Demo van een systeem (6000 kWe) waarbij 1300 m ³ /h waterstof uit windenergie wordt geproduceerd dat wordt omgezet in 300 m ³ /h methaan (met CO ₂ uit biogas). Methaan wordt in auto's ingezet.	AUDI, EWE, SolarFuel, ZSW, IWES, MT Biomethan GmbH

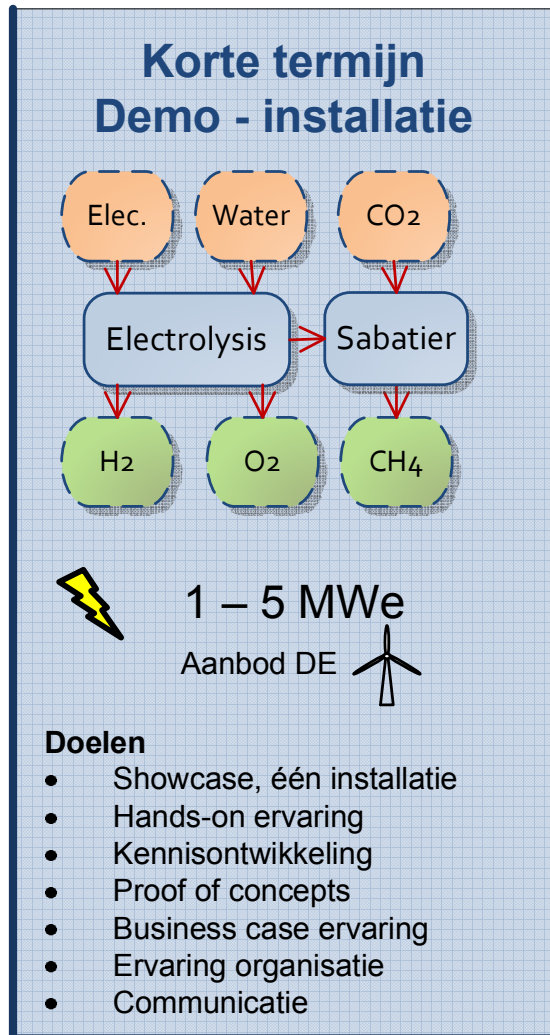
5.4 Roadmap Power to Gas in 3 stappen

De roadmap stelt een ontwikkeling voor in 3 stappen. Deze worden in onderstaande figuur en de volgende drie slides nader toegelicht. Het is mogelijk dat marktpartijen die in een specifieke niche opereren waar de business case al eerder rendabel is, al eerder op grootschalige projecten inzetten.



* Exacte schaalgrootte zal onder andere afhangen van lokaal aanbod elektriciteit, afzet waterstof/methaan, financiering pilot, etc.

6.1 Ontwikkelpad voor PtG: 1^e stap Pilotfase



Toelichting

Schaal:

Op de korte termijn (de periode tot omstreeks 2020) is het zinvol om een relatief kleinschalige pilotinstallatie te realiseren. Een goede schaalgrootte ligt in de ordergrootte 1 - 5 MWe. Deze schaalgrootte zal in ieder geval groot genoeg zijn om praktijkervaring onder realistische omstandigheden op te kunnen doen, en klein genoeg om financieel 'behapbaar' te zijn. Dit laatste zal sterk afhangen van de mogelijkheden om synergiën te bereiken (o.a. afzet van H₂ en bijproducten, prijs van ingekochte elektriciteit, belangen partners).

Doelen:

- Belangrijkste doel is ervaring opbouwen in de organisatorische aspecten, smeden van samenwerkingsverbanden, aangaan van commitment tussen partijen en uitwerken van de business cases. Technisch gezien zijn er weinig hindernissen.
- Ervaring opbouwen met het gehele concept, kennis ontwikkelen en toepassen
- Laten zien dat het kan teneinde vertrouwen te winnen voor de opschalingsfase
- Testen van businesscases/commerciële inzetbaarheid
- Bekijken waar de unieke kansen liggen voor Nederland en/of de regio (toepassingen, technologie, kennis etc)

Financiering:

- Een goede mix van privaat-publieke samenwerking met een sterk industrieconsortium
- Gebruik maken van bestaande installaties, infrastructuur en gebouwen.
- Optimalisaties zoeken met de chemie, industrie, energie-opwekking en -transport
- Partners die belang hebben bij demonstratie en willen investeren in zichtbaarheid

2013

2020

Deze roadmap richt zich voornamelijk op de realisatiemogelijkheden van deze eerste stap.

6.2 Ontwikkelpad voor PtG: 2^e stap Opschalingsfase

Toelichting

Schaal:

Op de middellange termijn (na 2020) is opschaling mogelijk naar grotere installaties (5-10 MWe) óf meer installaties (grotere aantallen, kleiner van omvang) van een haalbare standaardgrootte. Hierbij is het van belang dat de technologie zich in de pilotfase heeft bewezen en dat via onderzoek en ontwikkeling verbeteringen beschikbaar zijn die de kosten kunnen verlagen, efficiëntie kunnen verbeteren, of nieuwe (mogelijkheden voor de afzet van) producten genereren. In deze fase vindt een verdere optimalisatie en integratie plaats.

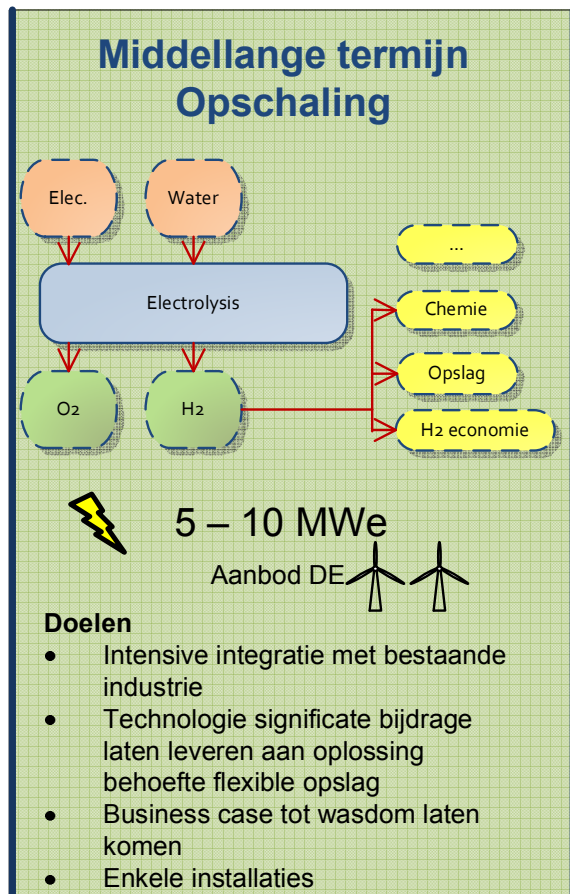
In deze fase is de 'omgeving' waarschijnlijk zo ontwikkeld dat nieuwe kansen gaan ontstaan, zoals meer en frequentere overschotten elektriciteit, hogere opbrengsten voor duurzame producten, CO₂-penalties etc. De fase leidt tot een bescheiden aantal installaties, aangezien de niches die bediend kunnen worden slechts van beperkte omvang zijn (de vraag naar duurzame waterstof zal niet zo groot zijn dat alle "overschotten" aan duurzame energie omgezet en afgezet kunnen worden als waterstof).

Doelen:

- Technologie tot wasdom brengen
- Specifieke niches zoeken voor de producten van Power to Gas (o.a. duurzame waterstof)
- Verbetering van de businesscase door nieuwe kansen, lagere kostprijs, groter aanbod duurzame energie (meer curtailment)

Financiering:

- Via de industrie, met publieke support
- Via goede business cases door goedkopere en betere technologie
- Door opbrengsten uit nieuwe mogelijkheden (prijs CO₂, prijs duurzame producten, prijs elektriciteit)



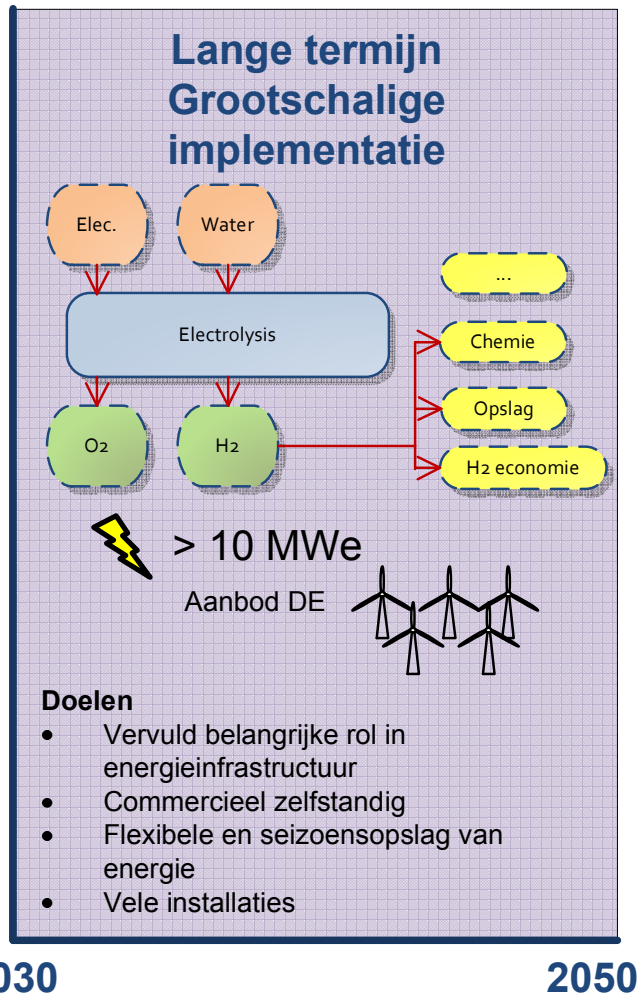
Doelen

- Intensive integratie met bestaande industrie
- Technologie significante bijdrage laten leveren aan oplossing behoefte flexibele opslag
- Business case tot wasdom laten komen
- Enkele installaties

2020

2030

6.3 Ontwikkelpad voor PtG: 3^e stap Implementatiefase



Toelichting

Schaal:

Op de lange termijn (na 2030) is de verwachting dat de marktinrichting zodanig is dat de business case positief is en/of dat de technologie via beleid en regelgeving mogelijk wordt gemaakt (gereguleerd domein). Als dat niet het geval is, zal de technologie waarschijnlijk niet rendabel te maken zijn. Power to Gas kan dan een belangrijke rol in de energie-infrastructuur vervullen waarbij flexibiliteit en seizoensopslag een integraal onderdeel vormen. Door de groeiende onbalans tussen aanbod en vraag van elektriciteit energie wordt energieopslag noodzakelijk.

Qua schaalgrootte zal de behoefte aan opslag en/of de verwachte mismatch tussen vraag en aanbod bepalend zijn. Afzetmarkten zijn goed ontwikkeld zoals de industrie of de mobiliteit (brandstofcelvoertuigen).

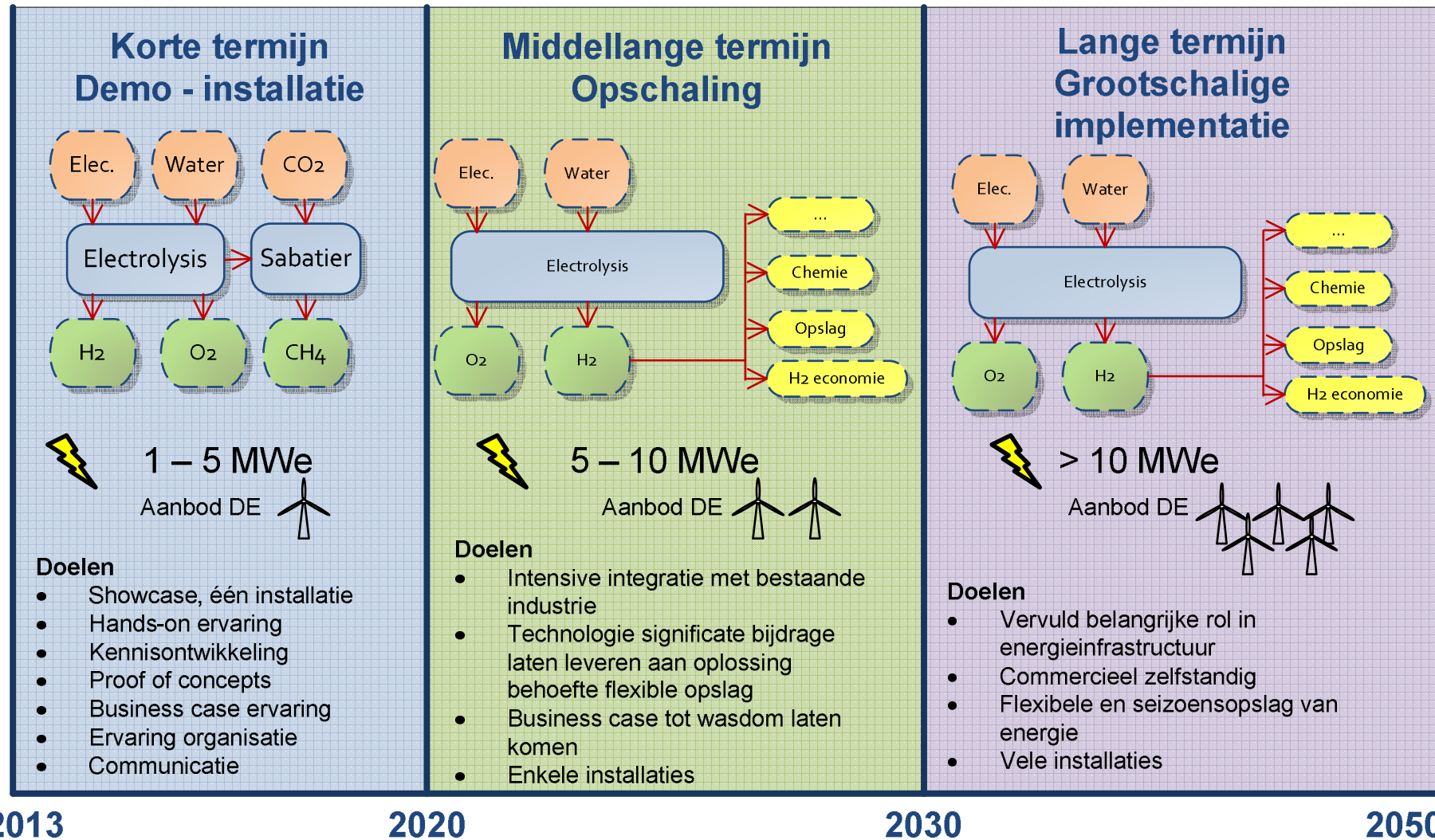
Doelen:

- Leveren van flexibiliteit op het elektriciteitsnet via de opslag van energie
- Mogelijk ook opvangen van seizoensfluctuaties

Financiering:

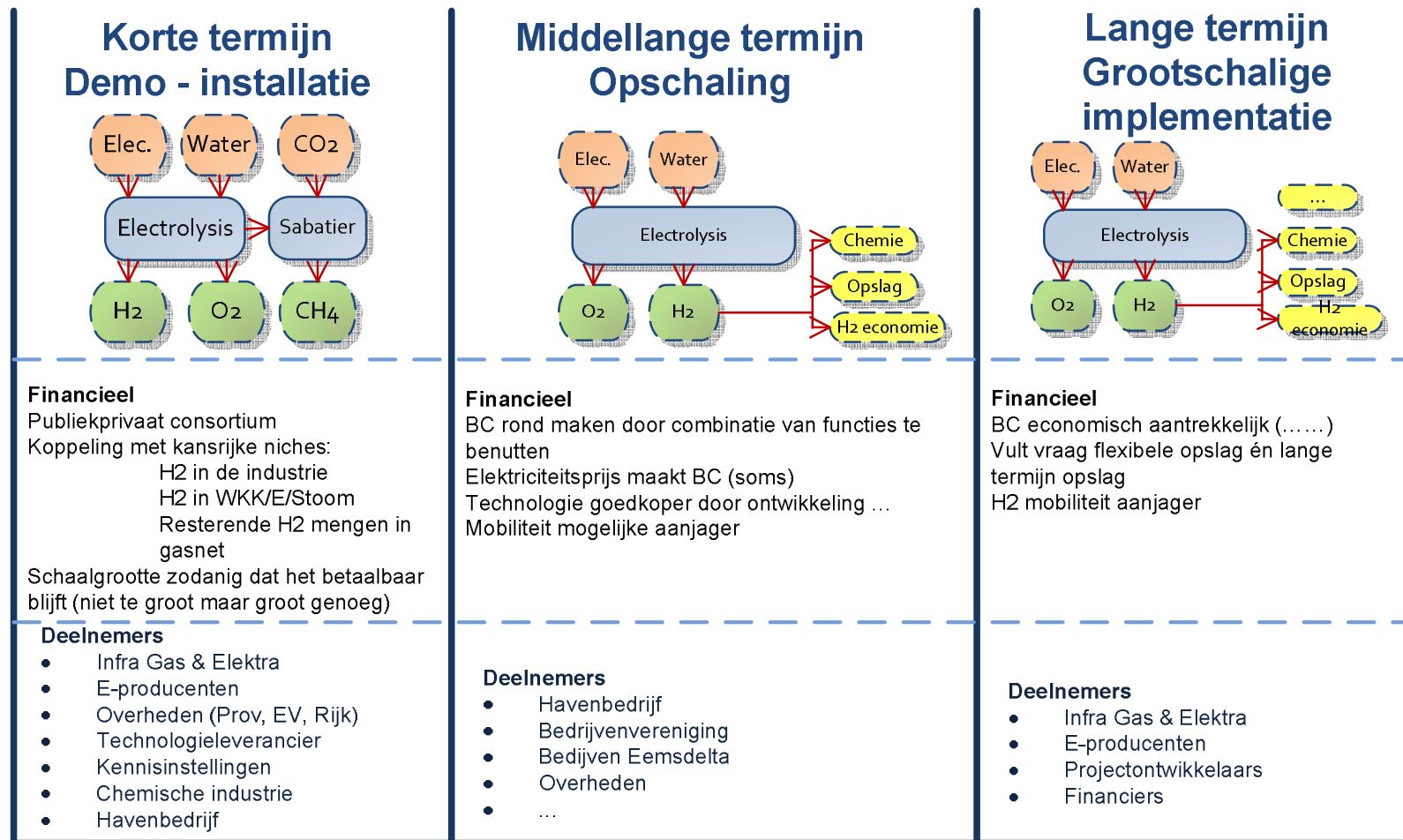
- Voornaamste inkomsten door levering dienst balancerend elektriciteitsnet
- Balancerend wordt geregeld via de APX markt, APX prijzen bepalen wanneer energieopslag rendabel wordt. Daarnaast geeft investeren in energieopslag aan programmaveerantwoordelijken de mogelijkheid minder risicovol te opereren op de APX markt omdat ze systematisch conservatieve inschatting kunnen geven van het geleverde vermogen omdat ze zelf eventuele overschotten kunnen opvangen. Vooral bij veel opgesteld RES vermogen kan dit financieel aantrekkelijk zijn. Bij welke implementatiegraad dit gaat spelen is in dit kader niet bepaald.
- Via businesscases of via regulering

6.4 Ontwikkelpad van pilot naar implementatie



6.5. Ontwikkelpad: stakeholders

Afhankelijk van de fase in de ontwikkeling zijn er verschillende stakeholders bij PtG betrokken. Onderstaande figuur geeft weer welk type partijen per fase betrokken kunnen zijn. Hierna concretiseren we deze partijen.



6.5.1 Stakeholders: Stroomleveranciers

Stakeholder	Belang	Positie
Eigenaar windpark	Belang bij maximaal rendement op de investering	Eigenaren van windparken ontvangen een vaste prijs per opgewekte MWh, hierdoor worden ze niet getroffen door lage energieprijzen bij overproductie. Op de langere termijn zal deze subsidiering mogelijk geen stand kan houden omdat de kosten te hoog worden als er grootschalig in duurzame energie wordt geïnvesteerd. In die situatie is energieopslag waarschijnlijk interessant voor eigenaren.
TenneT (landelijke E-netbeheerder)	Leveringszekerheid en systeemstabiliteit	TenneT ziet zichzelf primair als energietransporteur, niet als de partij die ook verantwoordelijk is voor energieopslag. Dit willen ze aan de markt overlaten, net zoals de huidige balancering. TenneT heeft hiervoor een markt gecreëerd met zichzelf als enige klant. Dit werkt goed, energieopslag zou hierin passen. TenneT wil graag dat deze markt zo transparant mogelijk is zodat zoveel mogelijk partijen kunnen participeren waardoor er voldoende aanbod is tegen een gunstige prijs.
Energiebedrijven (Programmaverantwoordelijken)	Optimale inpassing van duurzame energie (zon en wind), concurrerende prijs voor klanten, leveringszekerheid voor klanten,	Voor energiebedrijven kan opslag in de toekomst interessant zijn zodat elektriciteit bij een lage prijs kan worden opgeslagen en op een ander tijdstip tegen een hogere prijs worden verkocht. Hierdoor kunnen ze efficiënter op de APX energiemarkt van TenneT opereren wat kosteneffectief kan zijn zodra balanceringskosten toenemen t.g.v. toenemend aandeel RES.
....		

6.5.2 Stakeholders: H₂-afnemers/transporteurs

Stakeholder	Belang	Positie
Gasunie	Naarmate de gasproductie in NL afneemt, zal Gasunie zoeken naar mogelijkheden om de gasinfrastructuur optimaal in te zetten. Energieopslag en transport in de vorm van H ₂ of synthetisch CH ₄ is interessante optie.	Gasunie heeft aangegeven zeer geïnteresseerd te zijn in PtG en actief deel te nemen in een consortium. Zij wil niet de lead nemen omdat hun rol vooral facilitator is in de keten. De business case wordt pas echt interessant bij grootschalige opslag en daar is voorlopig geen sprake van. Omdat Gasunie een lange investeringshorizon heeft, willen ze nu aansluiten.
AkzoNobel	Heeft zoutcavernes beschikbaar voor H ₂ opslag.	Is als supporting partner betrokken bij het HyUnder-project dat nu ten einde loopt. Ziet potentie PtG voornamelijk in mobiliteit omdat daar de beste prijs voor H ₂ gekregen kan worden. Wil actief betrokken blijven bij PtG ontwikkelingen. In Delfzijl staat de MEB plant met een 30 MW electrolyser die 2 kton H ₂ per jaar produceert. Aandacht richt zich op mobiliteit en opslag.
Chemiebedrijven	Productie en/of inzet van 'groene' H ₂ . Inkoop van H ₂ en O ₂ .	Uit berekeningen blijkt dat de prijs van H ₂ uit PtG naar verwachting 2x zo hoog is als die van conventionele H ₂ (alleen kijkend naar H ₂ -productie). De functie 'balancing' is hiermee niet voldoende gevaloriseerd. De vraag is welke premiumprijs bedrijven willen betalen voor groene H ₂ . Eén bedrijf geeft aan dat de prijs maximaal de prijs kan zijn die ze nu betalen, omdat er additionele kosten moeten worden gemaakt om het H ₂ in te voeden. Uitgangspunt voor de BC zal moeten zijn dat de chemiebedrijven conventionele prijzen betalen voor het geproduceerde H ₂ .
Mobiliteitssector o.a. Audi	Gebruik van 'groen' H ₂ of duurzaam methaan voor toepassing in de mobiliteit.	In de mobiliteit is er een kans dat er een goede prijs zal worden betaald voor 'groene' H ₂ / CH ₄ . Dit zal de BC van een PtG-installatie positief beïnvloeden. Om mobiliteit werkelijk van de grond te laten komen, is er wel een sterke actieve rol van de overheid nodig.

6.5.3 Stakeholders: Overheden

Stakeholder	Belang	Positie
Provincie Groningen	<ul style="list-style-type: none"> • Energieprovincie • Creëren werkgelegenheid • Creëren goede vestigingscondities bedrijven • Bijdragen ontwikkeling kennissector 	De Provincie kan alleen faciliteren en drempels wegnemen en kan zelf niet als investeerder optreden. Kan wel belangrijke aanjager zijn door een projectorganisatie met de belanghebbende partijen op te zetten. M.b.t mobiliteit heeft de overheid een belangrijke rol. H ₂ aangedreven voertuigen zullen in eerste instantie door de overheid gestimuleerd moeten worden, zeker als er een infrastructuur moet komen. Ervaringen zijn er op dit gebied in Arnhem en Rotterdam
Energy Valley	Belang grotendeels gelijk aan die van de Provincie.	Energy Valley heeft veel ervaring met 'Financial Engineering' en kent de wegen naar de verschillende subsidiepotten. EV kan daarom een cruciale rol vervullen in het vinden van de financiering van pilotprojecten.
Ministerie van EZ	<ul style="list-style-type: none"> • Aandeelhouder TenneT • Rollende Agenda • Beperken kosten e-opslag • Stabiliteit van het e-netwerk • Grootschalige implementatie duurzaam mogelijk maken 	EZ faciliteert o.a. de benodigde innovaties via de Topsector Energie. Andere rollen zijn onbekend omdat EZ niet geïnterviewd is.
EAE / EDI / Kennisinstellingen / etc	Opleiden van studenten, onderzoek voor overheid.	Hebben kennis en breed netwerk, kunnen studenten specifieke onderzoeksvragen laten uitzoeken, kunnen kennis verder ontwikkelen zodat meer opties beschikbaar komen en technologie goedkoper en efficiënter kan worden.

6.5.4 Stakeholders: analyse en conclusies

Analyse

Uit de stakeholderanalyse komt naar voren dat veel partijen belangstelling hebben om met PtG aan de slag te gaan. Het ontbreekt momenteel nog aan een leidende partij. Commercieel gezien is PtG momenteel nog niet interessant genoeg om er zonder meer in te stappen, er bestaat echter een mogelijkheid om via de koppeling van interessante niches tot een interessante case te komen. Ook kan het voor partijen van strategisch belang zijn om hier in mee te financieren. De financiering van een eerste pilotproject zal dan een gezamenlijk inspanning moeten zijn die privaatspubliek wordt ondersteund. Er zijn veel publieke fondsen beschikbaar om de financiering in een pilot te ondersteunen. Vanwege het pleidooi voor een consortium van meerdere partijen, zal er een projectorganisatie nodig zijn om alle partners samen te laten werken en als consortium de installatie te realiseren.

Conclusies – opzet tot consortium

Om de eerste fase te concretiseren, zullen geïnteresseerde partijen bij elkaar moeten worden gebracht om een consortium te vormen. Het consortium zou uit de onderstaande type partijen kunnen bestaan. Vanwege confidentialiteit zijn er geen specifieke bedrijfsnamen opgenomen.

- Eigenaar windpark
 - Operator PtG installatie
 - Opslagcapaciteit en transport van H₂ en CH₄
 - Gebruikers H₂
 - Energie Handelsbedrijf
 - Kennisinstellingen
 - Facilitatoren
- Energy Academy Europe (Hanze, RUG, anderen)
Groningen Seaport, Energy Valley, Provincie Groningen

7. Uitwerking pilotfase van de PtG Roadmap (1)

De uitwerking van de pilotfase wordt hieronder systematisch opgebouwd zodat goed te volgen is welke logica achter de opbouw zit. Daarvoor zijn de volgende aspecten van belang:

1. Type pilotproject/technologie/schaalgrootte
2. Locatiekeuze en synergie
3. Betrokken partijen
4. Businesscase & Financiering
5. Timing



Ad 1. Type pilotproject

Bij een pilotproject ligt het voor de hand om technologie te kiezen die zo ver mogelijk ontwikkeld is. Elektrolyse lijkt hiervoor de aangewezen kandidaat. De twee voornaamste fabrikanten zijn Siemens en Hydrogenics waarbij de maximale schaalgrootte in de orde grootte van 6 MWe ligt. Dat pleit ervoor om qua schaalgrootte 6 MWe als uitgangspunt te nemen tenzij fabrikanten bereid zijn om andere schaalgrootten voor de pilot beschikbaar te stellen. Ter vergelijking: het grootste project in Duitsland (Audi-plant, Werlte) heeft een capaciteit van 6 MWe. Alhoewel er andere technologie in ontwikkeling is, zal die nog niet beschikbaar zijn voor een pilotproject op relevante schaal.

Suggesties voor de pilotfase:

- Schaalgrootte: bovengrens orde grootte 6 MWe industrieel (beschikbare technologie is beperkend, ondergrens orde grootte 0,5 MWe (zodanig dat schaal representatief is). Indien afwijkende grootten beschikbaar zijn die meerwaarde leveren, kan dat natuurlijk worden meegenomen.
- Technologie: PEM-elektrolyse is momenteel het meest marktrijp waardoor deze technologie de voorkeur geniet.

7. Uitwerking pilotfase van de PtG Roadmap (2)

Ad 2. Locatiekeuze en synergie:

Voor de locatiekeuze is het van belang om te bekijken waar de meeste synergiemogelijkheden liggen omdat die business case positief beïnvloeden. Op de korte termijn ligt een koppeling voor de hand met de industrie en de mogelijkheid om waterstof in het gasnet te injecteren. Bij de koppeling met de industrie zal de gangbare marktprijs voor waterstof leidend zijn, tenzij er een meerprijs wordt betaald voor duurzame waterstof. Bij injectie in het aardgasnet is het waarschijnlijk dat de aardgasprijs, omgerekend naar energiewaarde voor waterstof, leidend is. Daarnaast is het relevant om te bekijken welke andere producten bij de elektrolyse vrijkomen, met name zuurstof. Is er een koppeling te maken met de toepassing van zuurstof in de industrie of de energieconversie (bijvoorbeeld oxyfuelprocessen). Aanwending in de industrie ligt op de korte termijn voor de hand omdat er nog weinig oxyfuel-projecten zijn.

Kijkend naar de provincie Groningen ligt een koppeling met het Chemiepark Delfzijl voor de hand. Andere opties zijn de Eemshaven of industrieclusters in het Noorden (bijvoorbeeld Emmen, Coevorden) vanwege mogelijke afzetmarkten. Aan de productiekant geniet een locatie de voorkeur waar een koppeling kan worden gemaakt met duurzame elektriciteitsopwekking (waarschijnlijk wind) en de beschikbaarheid van faciliteiten (hoog/middenspanning, gasinfra, ruimte voor de installaties, beschikbare vergunningen, bestemmingsplan etc). Daarnaast is het gunstig als de afstand tot de afnemer van waterstof niet te groot is i.v.m. transportkosten en eventuele aanleg van infra.

Een ander belangrijk punt is dat de pilot uiteindelijk onderscheidend genoeg is in vergelijking met soortgelijke Power tot Gas projecten zodat op het innovatieve karakter kan worden gekapitaliseerd.

Suggesties voor de pilotfase:

- Voor de afzetlocatie van waterstof (en zuurstof) ligt Chemiepark Delfzijl en omgeving voor de hand.
- Voor de productielocatie is het verstandig om een koppeling te maken met een locatie waar ruimte, faciliteiten, aansluitingen, vergunningen etc. beschikbaar zijn, evenals duurzame elektriciteit (géén must).
- Als alternatief kan worden gekeken naar een bio-based variant waarbij uit biogas 'groen' aardgas wordt geproduceerd via Power to Gas, waarbij duurzame mobiliteit als afzetmark kan dienen.
- ...



7. Uitwerking pilotfase van de PtG Roadmap (3)

Ad 3. Betrokken partijen:

Het consortium van deze pilot zal waarschijnlijk uit meerdere partijen bestaan die samen de keten kunnen invullen vanaf de productie van duurzame elektriciteit, via elektrolyse, transport van waterstof en andere producten, naar de toepassing. Daarbij is het tevens van belang dat elke partij de mogelijkheid heeft om zijn eigen doelstellingen in deze pilot te verwezenlijken. De volgende typen partijen zijn noodzakelijk voor inrichting van de pilot:

- Producent van duurzame elektriciteit, waarbij een windparkeigenaar voor de hand ligt
- Technologieleverancier voor elektrolyse
- Operator: een partij die het bedienen van de Power to Gas-installatie op zich wil nemen en die bij voorkeur de beschikking heeft over een locatie met personeel, infrastructuur en vergunningen
- Netbeheerder/transporteur: een partij die het transport van waterstof en andere gassen voor zijn rekening wil nemen
- Afnemer: chemische industrie die waterstof en eventuele andere producten wil inzetten

Naast deze 'technische' partijen zijn anderen betrokken die verderop (o.a. financiers, kennispartners, ...) worden benoemd.

Suggesties voor de pilotfase (zie ook hoofdstuk 6 – stakeholders):

- Het consortium van betrokkenen bij een pilotproject zal uit verschillende spelers bestaan die de hele keten gezamenlijk kunnen afdekken



Aandachtspunten: Wie neemt in het consortium de leidende rol? Hoe worden de inkomsten gegenereerd en verdeeld?

7. Uitwerking pilotfase van de PtG Roadmap (4)

Ad 4. Business case & Financiering:

De business case voor een pilotproject is opgebouwd uit verschillende onderdelen:

Kosten: De belangrijkste kostenposten zijn:

- Elektrolyse-installatie: momenteel liggen de kosten voor een elektrolyse-installatie tussen de EUR 700 – 1.100 per kW geïnstalleerd vermogen. Verwacht wordt dat de kostprijs over enkele jaren omlaag kan gaan tot circa EUR 500 – 700 per kW geïnstalleerd vermogen.
- Integratie met bestaande faciliteiten

De productie van 1 kg H₂ kost circa 46 kWh aan elektriciteit.

Indicatieve kostencalculatie

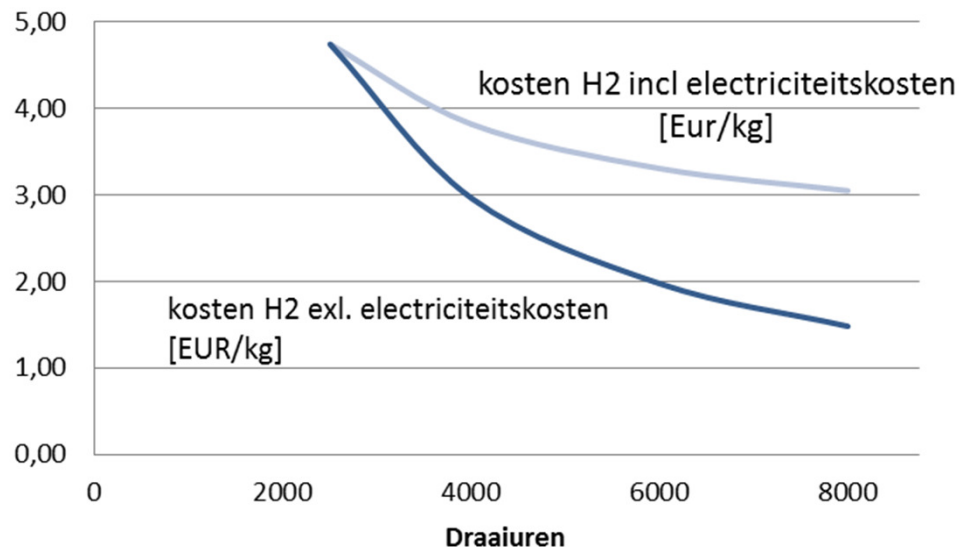
Opgesteld vermogen	5 MW
Kosten installatie	1.000 Eur/kW
Additionele investeringskosten	100% toeslag op de investeringen; Totale kosten 10 miljoen
Annuïteit	0,13 (afschrijving over 15 jaar bij 10% rente)
Jaarlijkse kosten	EUR 1.300.000,-
Draaiuren	2500 per jaar
Efficiëntie H ₂ productie	4,1 kWh/kg H ₂
Jaarlijkse productie H ₂	274.000 kg/jr
Kosten H ₂ per kg	4,74 EUR/kg (bij 2500 draaiuren/jaar)
Uitgangspunt: de eerste 2500 kWh is 'curtailment stroom' met een kostprijs van 0.	
Vanaf 2500 draaiuren/jaar wordt er stroom ingekocht tegen 0,05 EUR/kWh	



7. Uitwerking pilotfase van de PtG Roadmap (5)

Opbrengsten: de opbrengsten kunnen worden verdeeld over de verschillende functies die de PtG installatie vervuld:

- Balancering energienet: momenteel worden door netbeheerders aanzienlijke kosten gemaakt om het elektriciteitsnet te balanceren. Als de PtG installatie dit balanceringsprobleem deels kan oplossen (stroom afnemen als er een overschot is), vertegenwoordigt dit een waarde die gelijk is aan de kosten die anders voor de balancering gemaakt zouden moeten worden.
- Productie van duurzame H₂ en O₂: de productieprijs van deze industriële gassen zal boven de huidige marktprijs liggen (circa €1,50 per kg) dus deze producten zullen mogelijk onder de kostprijs aangeboden moeten worden.
- De opbrengsten zijn zeer afhankelijk van het aantal draaiuren dat de installatie kan maken. Zie ook de onderstaande figuur, gebaseerd op de indicatieve kostencalculatie van de voorgaande sheet.



- Lange termijn opslag van energie: dit is een dienst die opbrengsten genereert zodra het aanbod van duurzame energie op het net dermate fluctueert als gevolg van RES, dat er forse prijsschommelingen ontstaan waardoor het financieel uitkomt om in periodes van zeer lage energieprijzen energie op te slaan en bij hoge energieprijzen te verkopen. Het is niet te verwachten dat dit al tijdens de pilotfase regelmatig zal gebeuren

7. Uitwerking pilotfase van de PtG Roadmap (6)

Ad 5. Timing:

Momenteel is de timing voor een pilot goed omdat er voldoende animo is om met een goed consortium een pilot op te starten. Voorts is er reeds ervaring met Power to Gas in Duitsland waardoor daar advies kan worden ingewonnen. In de innovatie-instrumentaria is er ruimte voor Power to Gas waardoor er publieke support is voor Power to Gas.

Nu is de tijd rijp om te starten om lange termijn ambities te kunnen realiseren:

- Verwacht wordt dat de behoefte aan grootschalige energieopslag rond 2025 - 2030 urgent wordt. In Duitsland is de urgentie nu al veel groter, met een penetratie van zon en wind van 16%. Voordat het zover is, moet de wet- en regelgeving rond energieopslag geschikt gemaakt zijn

Een aantal partijen is al heel concreet met Power to Gas bezig:

- Torrgas kijkt naar een combinatie van torrefactie en Power to Gas
- Gasunie heeft recent al een opzet voor een pilot gestart met Greenpeace in Duitsland, maar door omstandigheden is deze pilot niet doorgedaan.
- Andere partijen hebben hun steun toegezegd aan een pilot
- In de regio rond het Chemiepark Delfzijl heeft Groningen Seaports gekeken naar de mogelijkheden van een syngasnetwerk.



7. Uitwerking pilotfase van de PtG Roadmap (7)

Algemeen

Techniek

De verwachting is dat naarmate er meer geïnvesteerd wordt in PtG installaties, de prijs van elektrolyse installaties omlaag gaat (naar EUR 500,- /kW) en de efficiëntie omhoog (naar 80%) met gunstige gevolgen voor de terugverdientijd.

Mogelijke variaties

Mogelijke variatie welke interessant kan zijn is de combinatie met biogas (zie ook 4.1.5). Biogas ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) kan met een PtG installatie worden opgewaardeerd waarbij het aanwezig CO_2 wordt omgezet in CH_4 door methanisatie via het Sabatierproces. Deze variatie wordt veel in Duitsland onderzocht (o.a. de Audi installatie).

Een andere mogelijkheid is het gebruik van syngas, een combinatie van CO en H_2 . Syngas komt bijvoorbeeld vrij bij torrefactie. Combinatie van het torrefactieproces en Power to Gas heeft het voordeel dat het syngas via het Sabatierproces met additioneel H_2 wordt omgezet in CH_4 en water. De overgebleven O_2 uit de elektrolyse kan worden ingezet bij de torrefactie.

Financieringsvraagstukken

Bij grootschalige energieopslag zal de financiering via de APX onbalans-markt van TenneT moeten gaan lopen. Energieopslagfaciliteiten kunnen daarmee ook programmaverantwoordelijke worden, of een samenwerking met Programmaverantwoordelijken aangaan. Ook in de pilotfase zou het additioneel inzicht geven indien er samengewerkt kan worden met een Programmaverantwoordelijke.

7. Uitwerking pilotfase van de PtG Roadmap (8)

Actieplan 2014 - 2020

1. Vorm een consortium van geïnteresseerde partijen

Een aantal partijen hebben interesse getoond in een pilot Power to Gas en geven aan dat het kansrijk lijkt om in een consortium de kaders voor een businesscase te verkennen. Er staat echter nog geen partij op om het voortouw hierin te nemen. De Provincie kan hier een rol in spelen door de eerste stappen naar consortiumvorming te faciliteren. Bijvoorbeeld door het aanstellen van een kwartiermaker, die partijen met elkaar in contact brengt en (onder goede afspraken) informatie met de partijen uitwisselt. Wanneer de uitkomsten van business cases van twee of meer partijen gezamenlijk perspectief bieden, kan dit vervolgens verder verdiept worden. Naast de Provincie kan ook Energy Valley als initiator optreden.

2. Realiseer de juiste randvoorwaarden voor een PtG pilot

Er is niet één partij die alleen alle juiste randvoorwaarden kan creëren. Per onderwerp, zoals locatiekeuze, vergunningen en lobby i.v.m. benodigde wet- en regelgeving kunnen specifieke partijen hun invloed uitoefenen. De randvoorwaarden moeten worden geïdentificeerd en de partijen die hier invloed op kunnen uitoefenen moeten voorzien van een goede en eenduidige boodschap.

- Vergunningen: Er zullen verschillende pijpleidingen, gasopslag en netwerkverbindingen moeten worden gelegd, o.a. voor waterstofgas. Hiervoor zullen de vergunningen geregeld moeten worden.
- Wettelijk kader: identificeer mogelijke knelpunten
- Voorwaarden: contractvorming tussen de deelnemende partijen. Omdat de businesscases een groot aantal partijen aangaat, zal er zorg voor moeten worden gedragen dat alle belangen en verantwoordelijkheden contractueel tussen de partijen goed is vastgelegd. Hier kan een onafhankelijke partij een rol spelen.

7. Uitwerking pilotfase van de PtG Roadmap (9)

Actieplan 2014 - 2020

3. Breng de financieringsmogelijkheden in kaart van zowel marktpartijen als publieke financiering

Marktpartijen moeten de mogelijkheden voor financiering die zij zien goed in kaart brengen. Daarnaast zijn er (inter)regionale, nationale en internationale subsidiemogelijkheden.

- Nationale subsidieprogramma's (zoals Gasbatenfonds, Waddenfonds, Topsector Energie)
- Internationale subsidieprogramma's (zoals Interreg, Horizon 2020 etc)
- Zowel de provincie Groningen en Energy Valley zijn hier goed in thuis.

4. Financiering

Vanwege het innovatieve karakter van het pilotproject en de daaraan verbonden risico's, zijn er mogelijkheden om de financiering in een privaat-publieke constructie te organiseren. Hierbij zijn de Europese staatssteunregels leidend. Voor R&D-projecten is financiering tot 50% (MKB 60%) haalbaar, voor pilotprojecten is maximaal 25-35% publieke financiering mogelijk. In bijlage 1 is een overzicht weergegeven van de publieke financieringsopties.

5. Energiesysteem van de toekomst

Energieopslag is een innovatie in het energiesysteem, waarbij goed nagedacht moet worden over de rol van de verschillende TSOs en DSOs, waarbij het indruk ontstaat dat hun verantwoordelijkheden en bevoegdheden op dit moment niet aansluiten bij het energiesysteem van de toekomst.

Het ontwikkelen van de pilot geeft antwoord op o.a. de openstaande vragen:

- Hoe zou een consortium voor PtG eruit moeten zien, welke partijen zouden betrokken moeten zijn?
- Hoe past de PtG technologie in de huidige energie-infrastructuur m.b.t. de technische inpassing?
- Welke belemmeringen zijn er op het vlak van wet- en regelgeving
 - Veiligheid rond de opslag en transport van H₂
 - ...
- Kennisontwikkeling rond de business case voor Power to Gas

7. Samenvatting pilotfase van de PtG Roadmap

Samenvatting

- Een aantal partijen bereid zich voor op het realiseren van een PtG-pilotinstallatie
- Mogelijk bieden nieuwe net opgestarte initiatieven kansen om aan te sluiten
- Publieke financiering kan worden ingezet om de nodige innovaties te ondersteunen en daarmee risico's te verkleinen om opties serieus in de praktijk te verkennen
- Kleinschalig wordt door de meeste partijen gezien als ordegrrootte 5 MW
- De zaken die moeten gebeuren zijn met name:
 - Bijeenbrengen van het consortium
 - Inzichtelijk maken van financieringsmogelijkheden
 - Stimuleren ontwikkeling door financiële mogelijkheden te creëren, bv door het verkrijgen van (Europese) subsidies
 - Faciliteren m.b.t. wet- en regelgeving
 - Lobby richting de centrale overheid
 - Creëren van maatschappelijk draagvlak



Provincie Groningen

- Ondersteuning bij publieke financiering
- Kenniscluster uitbouw ondersteunen
- Faciliteren vergunningverlening
- Nationaal draagvlak creëren
- Lobby richting nationale overheden

- Mobiliseren bedrijven
- Organisatie kenniscluster
- Ondersteuning financiering
- Lokaal draagvlak organiseren
- PR+communicatie ondersteunen
- Internationaal uitbreiden
- Inbedding interregionale activiteiten

Energy Valley

2013

2020

8. Koppeling pilotfase – kennisontwikkeling

Voor de ontwikkeling van het Power to Gas-concept is het interessant om de beschikking te hebben over een testinstallatie op kleinere schaal (schaalgrootte enkele kW) die gebruikt kan worden voor het ontwikkelen, testen en demonstreren van technologie-aanpassingen, nieuwe ideeën, integratiemogelijkheden met andere doeleinden en innovaties. Bij een pilotinstallatie op de schaal zoals hiervoor beschreven, is dat lastiger in de bedrijfsvoering in te passen omdat een continue bedrijfsvoering gewenst is uit kosten- en demonstratieoogpunt.

De koppeling van een testinstallatie met de pilotinstallatie is van belang omdat het mogelijk is om op een beter toegankelijke plaats (zijnde een niet-industriële/commerciële omgeving) te laten zien hoe het concept werkt. Ook kan het dan toegankelijk worden gemaakt voor samenwerkingsprojecten omdat de testinstallatie zich leent voor snelle aanpassingen. Op deze wijze kan kennis worden ontwikkeld in de Energy Valley regio, hetgeen de Noordelijke kennisinstellingen de kans biedt om een vooraanstaande positie op dit innovatieterrein op te bouwen met mogelijke spin-off naar regionale bedrijvigheid dan wel spin-out van nieuwe bedrijvigheid.

Gegeven de ambities van de Energy Academy Europe en EnTranCe en de belangstelling en deelname van de gasindustrie en andere energiespelers hierin, verdient het aanbeveling om de testinstallatie op deze locatie (EnTranCe) te vestigen. Dat zou uitstekend passen bij de Noordelijke ambities om innovaties in de praktijk, kennisontwikkeling en bedrijvigheid hand in hand te laten gaan. Bovendien zijn hier alle randvoorwaarden aanwezig: een goede locatie, vergunningen, aansluitingen, ruimte, personeel, studenten, regionale support etc.

Onze aanbeveling m.b.t. de koppeling pilotfase – kennisontwikkeling is om met het management van EnTranCe gesprekken te voeren om de mogelijkheid van deze koppeling en realisatie te verkennen. Eerste gesprekken hierover zijn zeer positief verlopen.

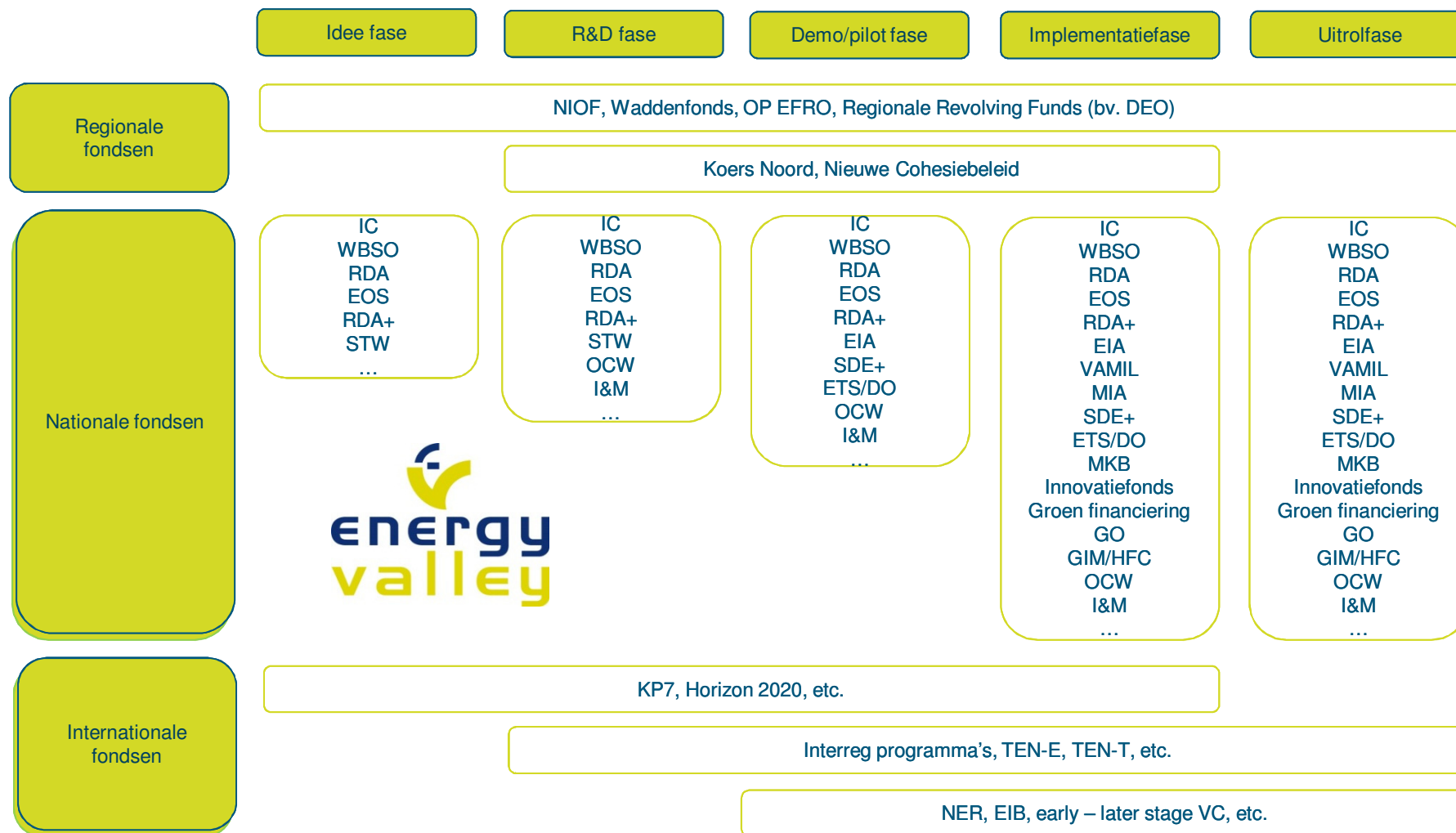
9. Actieplan voor middellange en lange termijn

Naast het initiëren van het consortium voor het pilotproject is het voor de langere termijn implementatie van Power to Gas nodig om nu zaken in beweging te zetten zodat potentiële blokkades voor grootschalige implementatie (zoals wet- en regelgeving) worden geadresseerd.

In de consultatieronde kwamen de onderstaande punten naar voren :

- In welke mate zijn de kosten voor het balanceren van het energienet te socialiseren? In Duitsland is dit het geval waardoor eerder investeringen op dit vlak worden uitgevoerd.
- Invoeden van H₂; welke concentraties zijn mogelijk volgens de wet, welke veranderingen in het aardgasnet worden de komende jaren voorzien m.b.t. de samenstelling van het gas?
- Verduidelijken van de reikwijdte van de taakstelling van TSOs en DSOs. In welke mate mogen Gasunie/Tennet als netbeheerders energie opslaan en een ander/nieuw product maken (zoals waterstof)? Is Power to Gas te definiëren als energieproductie of is het conversie? Welke rol hebben deze organisaties op de lange termijn m.b.t. de verduurzaming van het nationaal energienet? Welke ruimte hebben ze binnen de taakstelling vanuit de grootste aandeelhouder EZ?
- Inzicht verschaffen m.b.t. termijn waarop de subsidiëring van windenergie afgebouwd gaat worden. Dit verandert namelijk de business cases doordat er dan geen vaste prijs is meer voor duurzame energie, waardoor deze bronnen ook gevoeliger worden voor prijsfluctuaties. Hierdoor zal opslag van energie voor deze partijen veel interessanter worden.
- Wetgeving rond aansluiting van grootgebruikers
- Onderzoek naar het maatschappelijk draagvlak van energieopslag en specifiek grootschalige (ondergrondse) opslag van H₂ (analogie met CCS waar grote weerstand ontstond). Er zijn zorgen dat dit voor grootschalige H₂ opslag kan gelden.
- Studie naar de maatschappelijke kosten/batenanalyse van energieopslag. De studie kan duidelijk maken welke maatschappelijke kosten we in het vooruitzicht hebben wanneer er geen energieopslag wordt gerealiseerd. Denk hierbij aan de leveringszekerheid, aanleggen van interconnectors, verhogen capaciteit elektriciteitsnet. Een deel van deze gegevens zal ook uit de systeemstudie van ECN volgen.

Bijlage 1: Financiering (1)



Overig: TSE versnellertafel

Bijlage 1. Financiering (2)

