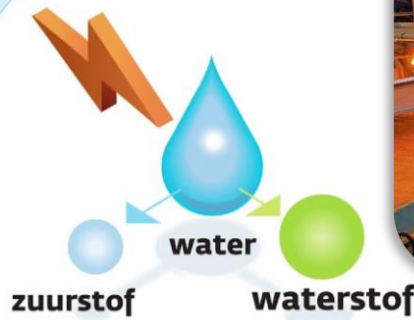
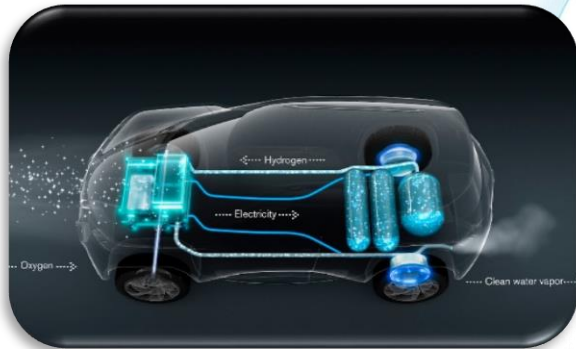


Master Scriptie
Environmental & Infrastructure Planning
Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen
Rijksuniversiteit Groningen

Waterstof stappenplan, routes naar een duurzame energiedrager

Case study: provincie Groningen tot 2050



Keywords:

Hydrogen, Dynamic Adaptive Policy Pathways, Energy Transition, Uncertainty, Transition Management

Colofon

Naam student: Fabian Kruiper
Studenten nummer: S2319063
E-mail: F.Kruiper@hotmail.com
Telefoonnummer: 06 29 57 30 89
Datum: 24 – 06 – 2018

Afbeeldingen voorblad:

V.l.n.r. www.youtube.com, <https://www.portofrotterdam.com/nl/nieuws-en-persberichten/coalitie-voor-stimulans-groene-waterstof>, www.youtube.com,
<https://bouwuitvoering.nl/duurzaam/waterstof-wezenlijk-onderdeel-energietransitie/>,
<https://opwegmetwaterstof.nl/2017/11/30/hogedrukgasnet-bruikbaar-voor-waterstof/>

Samenvatting

In de Jaren 70 was het al bekend, de fossiele brandstoffen raken op en de mensheid beschadigd de wereld als zij doorgaat met het in hoog tempo verbruiken van niet-duurzame grondstoffen. In de afgelopen veertig jaar zijn verschillende duurzame manieren van energieopwekking verder ontwikkeld, bijvoorbeeld waterkrachtcentrales, biomassa, kernenergie, windenergie en zonne-energie. Kernenergie zorgt niet voor luchtvervuiling maar heeft wel radioactief afval als restproduct, daarnaast hebben een aantal rampen, onder andere Tsjernobyl en Fukushima, ervoor gezorgd dat kernenergie niet meer als de oplossing wordt gezien (Hughes, 2005). Waterkrachtcentrales worden wereldwijd gebruikt voor het opwekken van duurzame energie maar kan alleen worden toegepast wanneer de fysieke omgeving dat toelaat (Hughes, 2005). Het gebruik van wind- en zonne-energie voor energieproductie is wel mogelijk in Nederland, er is in de laatste twintig jaar een duidelijke groei te zien van beide bronnen. Energieproductie door middel van wind- en zonne-energie is afhankelijk van weersomstandigheden, daardoor is de noodzaak van grootschalige energie opslagmethoden steeds belangrijker. Een optie voor het opslaan van energie is gebruik maken van waterstof. Waterstof is in overvloed aanwezig op aarde in de vorm van water, water kan met energie worden omgezet in waterstof en zuurstof. Waterstof reageert vervolgens met zuurstof weer tot water waarbij er energie vrijkomt, dit is een hernieuwbare en duurzame manier voor het opslaan van energie. Naast het produceren van waterstof uit water kan waterstof worden gemaakt door middel van steam methane reforming uit aardgas (CH_4). Verder is waterstof een restproduct bij een aantal chemische processen, onder andere bij de productie van chloor, wat extra kansen biedt voor het gebruik van waterstof. In dit onderzoek wordt gekeken naar de potentie van waterstof voor het opslaan van energie en als alternatief voor fossiele brandstoffen en batterijen. Vervolgens wordt de provincie Groningen gebruikt als casus voor het implementeren van waterstof als energiedrager op regionale schaal.

Voorwoord

Met het schrijven van mijn scriptie heb ik het einde bereikt van mijn Master Environmental & Infrastructure Planning. Gedurende mijn bachelor- en masteropleiding is mijn interesse voor duurzaamheid groter geworden. Studieonderdelen zoals Reinventing Environmental Planning, Dilemmas in infrastructure planning en het keuzevak Energy Transition & Innovation hebben deze interesse verder laten groeien. Daarnaast heeft mijn eigen persoonlijke interesse voor nieuwe innovaties een rol gespeeld bij de keuze voor een onderzoeksonderwerp. Vanuit deze interesse ben ik opzoek gegaan naar een bedrijf die bezig is met duurzaamheidsvraagstukken, zodat mijn onderzoek ook daadwerkelijk een relevant vraagstuk betreft. Via een ex-collega van de SAC ben ik in contact gekomen met Royal HaskoningDHV in Groningen. Zij hebben mij de mogelijkheid geboden om stage te lopen gedurende mijn masterproef, daarvoor wil ik hen bedanken, met in het speciaal Marc Jager, Michel Freerks en Jasper Homrighausen. De complexiteit van het energiesysteem in combinatie met een technische innovatie -waterstof- hebben ervoor gezorgd dat het een moeilijk onderzoek was, de begeleiding van dr. Ferry van Kann heeft mij daarbij veel geholpen. Daarnaast wil ik graag mijn dank uitspreken voor alle respondenten die tijd hebben vrij willen en kunnen maken voor de interviews. Verder wil ik graag mijn familie bedanken voor het aanmoedigen van mij en meedenken over mijn onderzoek. Als laatste wil ik ook mijn vrienden bedanken voor het sociale en niet-inhoudelijke proces.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Fabian Kruijer
Groningen, 24 juni 2018

Inhoudsopgave

VOORWOORD	4
1. INTRODUCTIE	8
1.1. ALGEMENE TRENDS	8
1.1.1. <i>De wereld verandert</i>	8
1.1.2. <i>Parijs klimaatakkoord</i>	9
1.1.3. <i>Nieuwe ontwikkelingen</i>	10
1.2. PROBLEEMDEFINITIE	12
1.2.1. <i>Gebrek aan inzicht</i>	12
1.2.2. <i>Onderzoeksdoelen</i>	13
1.2.3. <i>Relevantie voor de samenleving</i>	13
1.2.4. <i>Academische relevantie</i>	14
1.3. ONDERZOEKSVRAGEN	15
1.3.1. <i>Hoofdonderzoeksvraag</i>	15
1.3.2. <i>Deelonderzoeksvragen</i>	15
1.3.3. <i>Afbakening onderzoek</i>	15
2. THEORETISCH KADER:	16
2.1. TRANSITIEMANAGEMENT THEORIE	16
2.1.1. <i>Het Multi-level perspectief</i>	16
2.1.2. <i>Diffusion of innovation</i>	18
2.2. RATIONALITEITEN IN DE PLANOLOGIE	19
2.3. DIEPE ONZEKERHEID OVER DE TOEKOMST	22
2.3.1. <i>Dynamic adaptive policy pathways</i>	23
2.4. CONCEPTUEEL MODEL.....	26
3. METHODOLOGIE EN DATA VERZAMELING	28
3.1. INTRODUCTIE METHODOLOGIE	28
3.2. ONDERZOEKSONTWERP.....	30
3.2.1. <i>Keuze voor bepaalde methoden</i>	31
3.3. METHODES VAN ANALYSEREN	32
3.3.1. <i>Documenten analyse</i>	32
3.3.2. <i>Observaties</i>	33
3.3.3. <i>Interviews</i>	34
3.4. ETHISCHE DILEMMA'S EN BEPERKINGEN VAN HET ONDERZOEK	34
4. RESULTATEN	36
4.1. HET HUIDIGE ENERGIESYSTEEM.....	36
4.2. RESULTATEN VAN DE INTERVIEWS	40
4.2.1. <i>Vragen over de karakteristieken van het huidige energiesysteem</i>	40
4.2.2. <i>Vragen over waterstof en de energietransitie</i>	44
4.2.3. <i>Vragen over de verschillende betrokken partijen en hun belangen</i>	47
4.2.4. <i>Het volgen van ontwikkelingen op het gebied van waterstofinfrastructuur</i>	53

4.3.	ANALYSE VAN DE PROVINCIE GRONINGEN	54
5.	TOEPASSEN VAN DAPP AANPAK.....	56
5.1.	ACTIES VOORTKOMEND UIT EEN ANALYSE VAN DOCUMENTEN EN INTERVIEWS	56
5.2.	WATERSTOF STAPPENPLAN	60
6.	CONCLUSIE	65
6.1.	MEERDERE VERANDERINGEN.....	65
6.2.	PLANNEN MAKEN MET ONZEKERHEID.....	66
6.3.	GRONINGEN.....	68
7.	DISCUSSIE EN REFLECTIE.....	70
7.1.	REFLECTIE OP HET ONDERZOEK	71
7.2.	AANBEVELINGEN VERVOLGONDERZOEK.....	72
8.	REFERENTIES.....	73
8.1.	BIJLAGE A: INTERVIEW HANDLEIDING	79

Figuren

Figuur I: Multi-level perspectief. Herdrukt van “Transities vanuit sociotechnisch perspectief” Geels, F. en Kemp, R., 2000, p.17.	17
Figuur II: Vier soorten rationaliteiten. Aangepast van “Spatial Planning, Complexity and a World ‘Out of Equilibrium’” De Roo, G., 2012, p.146.	21
Figuur III: Stappenplan voor het maken van DAPP. Herdrukt van “Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world” Haasnoot et al., 2013, p.489.	25
Figuur IV: Conceptueel model	26
Figuur V: Beslissingsboom voor het bepalen van waterstof categorieën. Herdrukt van “Productieroutes Duurzame Waterstof” (ECN, 2016, p.12).	27
Figuur VI: Onderzoeksontwerp	30
Figuur VII: Gebruik van de onderzoeksmethoden in dit onderzoek	31
Figuur VIII: Concept stappenplan, in de interviews is deze voorgelegd aan de respondenten	39
Figuur IX: Belangrijkste stakeholders voor waterstof toepassingen, op basis van input van de respondenten.	48
Figuur X: Schematische weergave van een mogelijk toekomstig energiesysteem. Herdrukt van “The energy system today and in the future” IEA, 2015b, p.10.	51
Figuur XI: Waterstof routekaart op basis van gecombineerde informatie uit de interviews en documenten.	62

Tabellen

Tabel A: Lijst met documenten voor de documenten analyse (op alfabetische volgorde van auteur).	32
Tabel B: Overzicht van de observaties	33
Tabel C: Lijst met geïnterviewde personen	33
Tabel D: Analyse van het huidige energiesysteem op basis van de documenten analyse.	37
Tabel E: Acties met scores voor de routekaart, op basis van de documenten analyse.	38
Tabel F: Een overzicht van wat de respondenten beschrijven als een belangrijke rol voor waterstof in het energiesysteem.	46
Tabel G: De belangen van de respondenten en de bedrijven waaraan zij verbonden zijn.	47
Tabel H: Acties en doelen voor het waterstof stappenplan benoemd in de interviews.	50
Tabel I: Scorekaart van de beleidsacties met houdbaarheidsdatums.	60
Tabel J: Scorekaart van de verschillende toepassingen van waterstof in de vier sectoren.	61

Hoofdstuk 2, in het theoretisch kader worden theorieën en concepten uitgewerkt die de basis voor dit onderzoek vormen. Hoofdstuk 3 gaat in op de gekozen methoden die toegepast worden in dit onderzoek. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de documenten analyse en de interviews uitgewerkt. Hoofdstuk 5 bespreekt de verschillen en overeenkomsten tussen de documenten en interviews, vervolgens wordt een stappenplan gemaakt op basis van deze gegevens. Het zesde hoofdstuk zal de conclusies van dit onderzoek bevatten, daarna wordt als afsluiting gereflecteerd op het onderzoek in de discussie.

1. Introductie

1.1. Algemene trends

1.1.1. De wereld verandert

De wereld en de mensheid veranderen continue, de meeste veranderingen zijn niet direct te zien, maar zodra er naar een langere periode wordt gekeken worden de veranderingen zichtbaar. Hughes (2005) kijkt in zijn artikel 'Global Environmental History' naar een viertal belangrijke trends die te herkennen zijn. Ten eerste is de bevolking de afgelopen duizend jaar toegenomen van een paar miljoen mensen naar 7,6 miljard mensen in 2017 (McCrone et al., 2017). De verwachting is dat de wereldbevolking de komende decennia nog verder blijft toenemen, zie ook Raj & Singh (2012). Een grotere wereldbevolking heeft tot gevolg dat de druk op de voedselproductie toeneemt, verder neemt de vraag naar alle producten toe en om die te produceren is meer energie nodig (Meadows et al., 1972).

Het tweede punt dat Hughes aandraagt, is de toenemende globalisering en de gevolgen daarvan. Hij geeft aan dat het onder andere zorgt dat mensen minder afhankelijk zijn van de lokale omgeving voor levensonderhoud. De gevolgen van de toenemende druk op de aarde worden niet opgemerkt. Doordat mensen niet zien wat de gevolgen zijn van deze levensstijl reageren zij er ook niet op, bijna niemand past zijn manier van leven aan waardoor de druk op de aarde blijft toenemen. Globalisatie maakt het voor de mens makkelijker om zijn huidige levensstijl te behouden zonder daar direct de gevolgen van te zien of voelen (Hughes, 2005 en Armadori & Balzani, 2007). De productie van veel producten die verkocht worden in de westerse ontwikkelde landen wordt gedaan in ontwikkelingslanden. Belangrijk is om hierbij te vermelden dat ontwikkelingslanden meestal minder strenge wetgeving hebben. Door de minder strenge wetgeving hoeft er bij de productie minder rekening gehouden te worden met het milieu wat betekent dat de aarde er wel op achteruit gaat maar de westerse consument ziet en merkt er niets of weinig van (Meadows et al., 1972). Regionaal, nationaal en internationaal beleid heeft hier een belangrijke rol.

Ten derde zorgt de toenemende menselijke populatie ervoor dat andere diersoorten in de verdrinking komen, de grote versteende gebieden gebouwd door de mens zijn voor vele diersoorten niet de meest geschikte leefgebieden. De landbouw zorgt met de toenemende industrialisatie ervoor dat de biodiversiteit in rurale gebieden ook afneemt, dit zorgt er vervolgens weer voor dat nog meer diersoorten het moeilijk hebben of krijgen. De mens heeft vooral in de laatste paar eeuwen gezorgd voor snelle veranderingen, door dit hoge tempo van veranderingen en de grote schaal ervan kan natuurlijke evolutie van diersoorten moeilijk bijblijven, dit zorgt voor extra druk op de biodiversiteit in de wereld. Opwarming van de aarde bedreigt sommige dier- en plantensoorten daarnaast ook met uitsterven (Fischlin, in Raj & Singh 2012).

Als vierde en laatste noemt Hughes de verschillende energiebronnen die de mens heeft gebruikt in de geschiedenis, ook is de vraag naar energie alleen maar toegenomen. In de geschiedenis is een ontwikkeling te herkennen, zodra de mens een energiebron vindt gaat de mens op zoek naar een manier om deze energiebron te gebruiken, als eerste het gebruik van hout. Hout werd op grote schaal gebruikt voor het verwarmen van gebouwen, om op te koken en voor het smelten van metaal. Later werden kolen ontdekt, kolen hebben een hogere energiedichtheid dan hout, waardoor industrialisatie mogelijk werd toen de stoommachine werd uitgevonden. Vervolgens werden olie en gas ontdekt, deze

energiebronnen gaven de mens nieuwe mogelijkheden, bijvoorbeeld verbrandingsmotoren. De winning van olie en gas en vervolgens ook de verwerking ervan vindt plaats op locaties uit het zicht van de bevolking, vervolgens gaat het de hele wereld over, dit sluit aan op wat Hughes bij punt twee over globalisatie noemt. De winning van energie bevat dus een ruimtelijk component. Door een toenemende wereldbevolking in de komende decennia zal hoogstwaarschijnlijk ook de energievraag op mondiale schaal blijven toenemen, de vraag is welke energiebron de opvolger van olie en gas wordt. Het grote verbruik van olie en gas zorgt ervoor dat de beschikbaarheid van goedkope winning van olie en gas steeds verder afneemt (Raj & Singh, 2012). Paradoxaal zorgen prijsstijgingen ervoor dat er een grotere winbare voorraad aan fossiele energie is, deze voorraden zijn de moeilijker winbaar waardoor de prijs van deze brandstoffen hoger ligt. Wanneer een nieuwe energiebron goedkoper is in productie, opslag en transport heeft deze energiebron een goede kans om olie, gas en kolen te gaan vervangen. Andere redenen kunnen ook een rol spelen bij de keuze voor een andere energiebron, zo zijn maatschappelijke acceptatie, milieuschade en CO₂-uitstoot factoren die tegenwoordig vaker worden gebruikt bij de keuze voor een energiebron (Smil, in Hughes, 2005). Voor Europese landen is de noodzaak voor het zoeken naar alternatieven voor fossiele energiebronnen groter dan sommige andere landen, doordat er in Europa minder fossiele brandstoffen in de grond zitten. Met huidige technologieën, een stabiel gebruik en de momenteel bekende Europese voorraden, heeft Europa nog aardgas voor de komende 15 tot 20 jaar (WEC, 2013). Van steenkool en olie is voor een langere periode voldoende voorraad.

Klimaatverandering en energietransitie zijn actuele onderwerpen die regelmatig media-aandacht krijgen. Sinds de jaren zeventig wordt klimaatverandering genoemd in wetenschappelijk onderzoek, zie Meadows (1972). En energietransitie is sinds de jaren 90 een onderwerp dat steeds vaker genoemd wordt, Shell legde deze correlatie in 1986 al (Shell, 1986). Doordat er meer en meer onderbouwing komt voor de menselijke invloed op het klimaat worden beide onderwerpen steeds belangrijker voor het beleid dat de politiek voert.

1.1.2. Parijs klimaatakkoord

Tijdens de klimaatconferentie van december 2015 in Parijs is er een klimaatakkoord gesloten tussen 195 landen, de gemaakte afspraken moeten ervoor gaan zorgen dat klimaatverandering wordt afgeremd. Zo is afgesproken dat alle landen die mee doen aan het akkoord maatregelen nemen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen, het aandeel van hernieuwbare energie te vergroten en de energie-efficiëntie te verbeteren. De doelstelling voor 2020 is 20% energie uit hernieuwbare bron voor alle Europese landen. Er is vervolgens onderscheid gemaakt tussen landen, hiervoor is gekozen omdat er verschillen zijn tussen de Europese landen. Nederland heeft een doelstelling van 14% hernieuwbare energie in 2020, dat komt onder andere door een hoge energie intensiteit van de industrie in Nederland (Europese Unie, 2009). Daarnaast moeten alle landen ervoor zorgen dat het eindgebruik van energie door vervoer minimaal 10% uit hernieuwbare bron komt. De energie efficiëntie moet met 20% worden verbeterd in de periode van 2009 tot 2020. De CO₂-uitstoot van de Europese landen moet worden verminderd met 20% ten opzichte van de CO₂-uitstoot in 1990 (Europese Commissie, 2017a). Naast de doelstellingen voor 2020 zijn er ook langere termijn doelen gesteld, in 2050 moet de uitstoot van broeikasgassen met 80% zijn verminderd. Met deze maatregelen wordt ervoor getracht de opwarming van de aarde te beperken tot maximaal 2 graden Celsius en er wordt gestreefd naar het beperken van de opwarming tot 1,5 graden (Europese Commissie, 2017a).

De Europese Commissie (2017b) onderscheidt de volgende sectoren, energiesector, gebouwde omgeving, industriesector, transportsector en de landbouwsector. Daarbij geeft de Europese Commissie aan dat voor de transportsector circa 60% broeikasgas emissiereductie mogelijk moet zijn in 2050, 1990 is als referentiejaar gekozen. De gebouwde omgeving zou in staat moeten zijn om 90% minder broeikasgassen uit te stoten in 2050. Van de energiesector wordt de grootste reductie van emissies verwacht, namelijk bijna 100%. De industriesector moet 80% minder broeikasgassen gaan uitstoten in 2050. De landbouwsector zal door een groei van de bevolking het lastig krijgen met het reduceren van de broeikasgasemissie in de periode tot 2050, toch zal ook deze sector een bijdrage moeten leveren, de emissies van onder andere mest, kunstmest en dieren zullen moeten dalen. Ook kan worden gekeken naar de opslag van CO₂ uit de landbouwsector en kan een dieet met minder vlees de uitstoot van broeikasgassen verder verminderen (Europese Commissie, 2017b). Het verwezenlijken van een duurzamer energiesysteem is ingrijpend en complex, waarbij rekening gehouden moet worden met vele factoren. Een weloverwogen en bewuste keuze zal gemaakt moeten worden voor de precieze invulling van het verduurzamen. De omschrijving door Voogd (1995) van ruimtelijke planning: *“de systematische voorbereiding van beleidsvormende- en uitvoerende handelingen, die gericht zijn op het bewust interveniëren in de ruimtelijke orde en op de organisaties van deze interventies, ten einde ruimtelijke kwaliteiten te behouden en waar mogelijk te verbeteren.”* is vergelijkbaar met het vraagstuk wat voortkomt uit het klimaatakkoord. Het verduurzamen van het energiesysteem heeft namelijk ruimtelijke gevolgen, de winning van duurzame energie is meer zichtbaar en neemt meer ruimte in beslag.

Overige akkoorden en klimaatdoelen

De Europese Unie heeft met de invoer van het Emissie Handelssysteem een extra middel willen creëren voor het verminderen van de CO₂-uitstoot. Via het emissie handelssysteem van de Europese Unie moet worden betaald voor de uitstoot van CO₂, daarmee worden duurzame alternatieven relatief goedkoper. Echter stelt het IEA dat deze prijs per ton CO₂ te laag is om bedrijven daadwerkelijk te bewegen tot het investeren in maatregelen die CO₂-uitstoot reduceren (IEA, 2015a).

1.1.3. Nieuwe ontwikkelingen

Duurzame energiebronnen

Andere energiebronnen zijn windenergie, zonne-energie, biomassa, waterkracht en kernenergie. Kernenergie geniet niet de voorkeur door een aantal incidenten in de afgelopen 40 jaar waarin de risico's van kernenergie duidelijk werden (Hughes, 2005). Waterkracht biedt niet in alle landschappen een mogelijkheid, omdat er een rivier nodig is die voldoende verval heeft. Windenergie, zonne-energie & biomassa zijn mogelijk op de meeste locaties maar hebben ook vereisten zoals, voldoende windsnelheid, veel zonuren of een groot landoppervlak om aan de vraag te kunnen voldoen. Alternatieve energiebronnen zullen worden doorontwikkeld en mogelijk worden nieuwe energiebronnen ontdekt. Bij het ontwikkelen en verbeteren van nieuwe energiebronnen gaat de prijs omlaag, wat kan worden verklaard door een toename van kennis over een energiebron en een toename van het gebruik van die energiebron (IEA, 2015a). Op het moment dat een energiebron nog niet competitief is zal het gebruik ervan beperkt blijven, een stimulans is nodig om de energiebron competitiever te maken ten opzichte van andere energiebronnen.

Infrastructuur netwerken

Doordat er steeds meer duurzame elektriciteit wordt opgewekt fluctueert het aanbod van elektriciteit ook steeds meer. Terwijl de behoefte naar elektriciteit juist continue is. Daardoor komt er meer druk op de bestaande infrastructuur vooral tijdens piekaanbod, piekaanbod zijn momenten waarbij er heel veel wind en/of zonne-energie wordt geproduceerd. Huidige kolencentrales hebben lange opstart en uitzet tijden in vergelijking tot de snelle fluctuaties (TU Delft, 2009). Hierdoor zijn de momenten met veel aanbod van duurzame energie en weinig afname van elektriciteit risicovol en zo kan een overschot aan elektriciteit op het netwerk ontstaan, of visa versa een tekort. Om op momenten van piekaanbod voldoende transportcapaciteit te hebben zullen netbeheerder moeten investeren in extra capaciteit, wat substantiële kosten met zich mee brengt.

Energiedragers

Bij gebruik van fossiele energiebronnen is de opslag van energie niet een probleem omdat het in een moleculaire vorm aanwezig is. Bij duurzame energie uit zon, wind of water wordt energie geproduceerd in de vorm van elektronen, om deze elektrische energie op te kunnen slaan is er een opslagmethode nodig (Ball & Weeda, 2015). Zoals hierboven beschreven fluctueert het aanbod bij zonne- en windenergie, doordat de snelheid van de wind en de hoeveelheid zonnestraling verandert over de dag. Naast het investeren in meer netcapaciteit zijn investeringen in opslagmethodes nodig. Om aan de continue energiebehoefte van huishoudens en bedrijven te kunnen voldoen zijn balanceren van de fluctuerende duurzame energieproductie en langdurige energieopslag nodig (ECN & DNV-GL, 2014). De vraag naar langdurige energieopslag en balanceren zal toenemen naar mate het aandeel van duurzame energiebronnen toeneemt. Dat betekent dat niet alleen de energiebron verandert, maar ook de distributie en opslag van duurzame energie vergt een ander energiesysteem. Er zijn twee bekende opties die in de toekomst de opslag van duurzame energie kunnen mogelijk maken, het produceren van waterstof welke vervolgens kan worden opgeslagen; en de opslag van energie in batterijen.

Waterstof kan een mogelijk alternatief zijn voor het huidige gebruik van fossiele brandstoffen, waterstof heeft in tegenstelling tot fossiele brandstoffen geen vervuilende reststoffen bij gebruik en kan op een niet vervuilende manier worden geproduceerd (Winter et al. 1990). Winter et al. (1990) noemen waterstof een energiedrager die ook potentie heeft voor de opslag van grote hoeveelheden energie en de distributie van energie. Waterstof is alleen in verbindingen met andere stoffen aanwezig op aarde. Voor het toepassen van waterstof zal waterstof eerst geproduceerd moeten worden, een proces waarbij efficiëntie heel belangrijk is. Gebruik van batterijen voor de opslag van elektriciteit veroorzaakt geen CO₂-uitstoot, wel zijn er enkele verschillen te onderscheiden tussen het gebruik van batterijen en het gebruik van waterstof als energiedrager. Bij een batterij is de energiedichtheid afhankelijk van de gebruikte materialen en de beschikbare technieken, dit is voor alsnog een beperking als het gaat om grote hoeveelheden energie. Daarnaast kan bij langdurige energieopslag met batterijen energieverlies optreden. Ook het gewicht van een batterij speelt een rol wanneer fossiele brandstoffen in voertuigen worden vervangen door duurzame energiedragers (IEA, 2015b).

Fijnstof & luchtkwaliteit

Toenemende vervuiling van het milieu is gerelateerd aan de mate van het gebruik van fossiele energiebronnen. Naast het toenemen van de concentratie CO₂ in de lucht worden er ook andere stoffen uitgestoten bij de verbranding van fossiele energiebronnen. De uitstoot van stikstofoxiden

(NO_x), Zwaveloxiden (SO_x) en fijnstof zijn schadelijk voor de mens en milieu, daarom kan de uitstoot van deze stoffen het beste zoveel mogelijk worden beperkt (Dincer, 2000). De hoeveelheid methaan (CH₄) en CO₂ in de hogere luchtlagen zorgt voor een toename van het broeikas-effect, een proces waarbij de warmte op aarde deels wordt vastgehouden, bij een lagere hoeveelheid van deze stoffen in de atmosfeer straalt meer van deze warmte uit richting het heelal (Dincer, 2000). Duurzame energiebronnen zijn goed voor de luchtkwaliteit, opwarming van de aarde kan beperkt en de negatieve effecten op de gezondheid kunnen worden verminderd.

1.2. Probleemdefinitie

1.2.1. Gebrek aan inzicht

In de bovenstaande paragrafen is beschreven hoe de wereld aan het veranderen is. Een toenemende vraag naar energie, een toenemende druk op het milieu, nieuwe innovaties in verschillende sectoren en een wil om het energiesysteem te verduurzamen. Deze combinatie van factoren vraagt om een aanpak die rekening houdt met deze vele veranderingen. Door de vele factoren is de onzekerheid groot, fundamenteel van aard, wat het moeilijk maakt om een reëel beeld van de toekomst te vormen. Nieuwe innovaties worden ontwikkeld, daarmee komen huidige technologieën in de verdrinking, het aandeel energie uit duurzame bron groeit en kan fossiele energiebronnen gaan vervangen. Nieuwe technologieën vragen ook om nieuwe infrastructuur en faciliteiten, het is echter onduidelijk wat, waar, hoeveel en wanneer dat benodigd is. Dit onderzoek heeft een verkennend karakter, om dit onderzoek niet te breed of nietszeggend te laten worden is een zorgvuldige afbakening nodig. Hiervoor worden allereerst antwoorden gegeven op de 'waar', 'wanneer' en 'wat' vragen.

Waar

Voor de ruimtelijke afbakening is gekozen voor de Noord-Nederland met een focus op de provincie Groningen. Noord-Nederland profileert zich al jaren als de energievalei van Nederland, historisch gezien is dat ook zo, met het leveren van turf uit de veenkoloniën en sinds de jaren 50 ook met het leveren van aardgas uit voornamelijk de aardgasbel onder Slochteren (Gasunie, 2016).

Wanneer

Voor het doen van een verkenning wordt er naar verschillende mogelijkheden voor de toekomst gekeken. Hierbij is de periode tot 2050 een logische keuze, het klimaatakkoord van Parijs heeft duurzaamheidsdoelen gesteld voor het jaar 2050. De doelen uit het klimaatakkoord hebben een duidelijke opgave neergelegd voor de verschillende overheden en het bedrijfsleven. Met name voor de transportsector, energiesector en de industrie zijn de opgaven aanzienlijk (Europese Commissie, 2017b). Om daadwerkelijk aan de doelen voor 2050 te kunnen voldoen zal een passende strategie moeten worden gemaakt met bijpassend beleid.

Wat

Vanuit de hierboven beschreven veranderingen die gaande zijn, is er een noodzaak voor het verduurzamen van de Nederlandse energievoorziening. In dit onderzoek wordt gekeken naar de verschillende toepassingen van waterstof. Welke rol kan waterstof spelen in het verduurzamen van de Nederlandse en Groningse energievoorziening en aan welke toepassingen van waterstof moet prioriteit worden gegeven. Omwille van de beperkte beschikbare tijd voor dit onderzoek is gekozen om andere innovaties buitenbeschouwing te laten. Daarnaast is dit onderzoek een verkenning van de

mogelijkheden van waterstof, andere innovaties kunnen mogelijk een aanvullende rol spelen bij het verduurzamen van het energiesysteem.

1.2.2. Onderzoeksdoelen

De oliecrisis in de jaren 70 zorgde voor een zoektocht naar alternatieven. In 1974 werd de International Energy Agency (IEA) opgericht door zeventien landen met als doel alternatieven te vinden voor fossiele brandstoffen (Dignum, 2013). Onder andere Richard Williams (1975) opperde om waterstof te gebruiken als alternatief voor fossiele brandstoffen. Waterstof kreeg in 1977 een belangrijkere rol binnen de IEA toen de Hydrogen Implementation Agreement werd gesloten, echter nam de interesse in waterstof snel af toen de oliecrisis was afgelopen (Dignum, 2013). Tot nu toe speelt waterstof een relatief kleine rol in de samenleving, met uitzondering van specifieke sectoren zoals de chemische industrie waar waterstof wel gebruikt wordt voor specifieke productieprocessen. Het klimaatakkoord van Parijs versnelt de zoektocht naar alternatieven voor fossiele energie, het gebruik van waterstof als energiedrager is een mogelijke nieuwe innovatie voor het energiesysteem. Het doel van dit onderzoek is inzicht geven in de potentie van de energiedrager waterstof. Het hiervoor genoemde gebrek aan inzicht en overzicht vraagt om een analyse van de mogelijkheden. Daarom kijkt dit onderzoek naar de mogelijke toepassingen van waterstof in het gehele energiesysteem. Nadat de toepassingen van waterstof inzichtelijk zijn, kunnen keuzes worden gemaakt voor het inpassen van deze toepassingen. Hoe hoger de noodzaak is voor waterstof toepassingen, des te eerder het geïmplementeerd kan worden. Dit vereist wel een beleidsplan waarmee de overstap naar waterstof begeleid wordt. Om inzicht te krijgen in de mogelijkheden van waterstof als energiedrager wordt gebruikt gemaakt van het analyseren van documenten, observaties tijdens congressen en het interviewen van experts op het gebied van waterstof en energietransitie.

Dit onderzoek onderscheid daarbij vier sectoren van het energiesysteem, transport, industrie, gebouwde omgeving en de energiesector. Voor de analyse zijn 12 documenten geanalyseerd en vergeleken, observaties zijn gedaan op drie bijeenkomsten en elf interviews met experts zijn afgenomen. De experts komen van verschillende bedrijven en overheden waardoor alle kanten van het energiesysteem belicht wordt.

1.2.3. Relevantie voor de samenleving

Dit onderzoek is van meerwaarde voor de Nederlandse samenleving omdat het inzichtelijk maakt wat de kansen en belemmeringen zijn voor het toepassen van waterstof als energiedrager op regionale schaal. Bestuurders en planners zullen keuzes moeten maken voor het maken van beleid, meer inzicht in de kansen en belemmeringen maakt een betere afweging mogelijk, dit onderzoek draagt daaraan bij door het uitwerken van een implementatie stappenplan. Dit onderzoek is gericht op de regionale schaal, wanneer de verschillen tussen regio's worden meegenomen kan dit onderzoek de basis vormen voor andere regio's en/of provincies.

1.2.4. Academische relevantie

Het huidige energiegebruik van Nederland bestaat voor een substantieel deel uit aardgas, vooral de industriële sector is afhankelijk van aardgas voor proceswarmte. Ook de gebouwde omgeving gebruikt vooral aardgas, daar wordt het meestal gebruikt voor het verwarmen van huizen en bedrijfspanden door middel van een centrale verwarming. De transportsector gebruikt verschillende fossiele energiebronnen voor de aandrijving van voertuigen, deze energiebronnen worden verbrand in verbrandingsmotoren. De energiesector in Nederland is ook afhankelijk van fossiele energiebronnen, vooral kolen en aardgas (TNO, 2013). In het klimaatakkoord van Parijs zijn afspraken gemaakt over het reduceren van de hoeveelheid CO₂-uitstoot, om een reductie te realiseren zal de energiemix in Nederland veranderen en zal het aandeel van fossiele energiebronnen moeten dalen. Met andere woorden; het aandeel duurzaam opgewekte energie zal aanzienlijk moeten stijgen, wat weer andere problemen met zich meebrengt. Duurzame energie in de vorm van zonne- en windenergie is opvallender en meer zichtbaar in het landschap dan fossiele energie, daarom is het essentieel dat de locaties zorgvuldig worden uitgekozen. Dat is de ruimtelijke en planologische kant van dit vraagstuk. Daarnaast is duurzame energie lastig op te slaan doordat het alleen beschikbaar is in de vorm van elektriciteit of warmte, met uitzondering van biomassa welke wel in fysieke vaste vorm beschikbaar is. In Nederland is echter onvoldoende biomassa beschikbaar waardoor deze geïmporteerd moet worden, het transport van biomassa door middel van grote zeeschepen is vervuilend. Daarbij komt dat biomassa niet door iedereen als een volledig duurzame oplossing wordt gezien, biomassa is afkomstig van planten en wordt in kolencentrales verbrand voor elektriciteitsproductie, het laten groeien van deze planten kost een vele langere periode dan het verbranden.

De opslag van duurzame elektrische energie kan worden gedaan door middel van een chemische reactie zodat de duurzame energie wel kan worden opgeslagen. Waterstof is een geschikte optie omdat de chemische reactie geen koolstof bevat waardoor het CO₂-vrij is. Dit onderzoek is gericht op het inzicht geven in de potentie van de energiedrager waterstof, de omstandigheden waaronder dit onderzoek plaatsvindt is beschreven in de bovenstaande paragrafen. Het betreft een vraagstuk met vele veranderingen, nieuwe innovaties, klimaatverandering en een energiesysteem met meerdere sectoren die duurzamer moeten worden. Een aanpak die geschikt is voor het maken van plannen die onderhevig zijn aan grote veranderingen zoals klimaatveranderingen, is de Dynamic Adaptie Policy Pathways van Haasnoot et al. (2013). De Dynamic Adaptive Policy Pathways (DAPP) aanpak is ontwikkeld door Haasnoot et al. (2013) voor het plannen van ingrepen ter bevordering van de waterveiligheid in een afgebakend gebied. In dit onderzoek wordt getracht met de DAPP-benadering de potentie van waterstof in het energiesysteem van de provincie Groningen inzichtelijk te maken.

Voor het gebruik van waterstof als energiedrager geeft Agnolucci (2007) het belang aan van een goede infrastructuur voor de productie en het transporteren van waterstof. Daarnaast merkt Agnolucci (2007) ook op dat in de transportsector andere kansen liggen die onderbelicht zijn, hiermee doelt hij op het vrachtvervoer waarbij gewicht een belangrijke rol speelt. Andrews & Shabani (2012) benadrukken dat het ontwikkelen van waterstof opslaglocaties en tankstations voor 'zwaar' transport belangrijk zijn voor de toekomst en dat er meer onderzoek naar nodig is. Het is daarbij ook van belang dat productie van waterstof altijd voldoende is om de vraag aan te kunnen. Dit onderzoek zal daarom een brede kijk geven op de verschillende mogelijkheden van waterstof.

1.3. Onderzoeksvragen

1.3.1. Hoofdonderzoeksvraag

Dit onderzoek richt zich op het inzichtelijk maken van de potentie van de energiedrager waterstof. Daarvoor wordt gekeken naar de vier grootste sectoren van het energiesysteem. Vervolgens zal antwoord worden gegeven op de hoofdvraag van dit onderzoek:

Wat is de potentie van waterstof als energiedrager binnen het energiesysteem in de periode tot 2050, toegepast op de provincie Groningen?

1.3.2. Deelonderzoeksvragen

Plannen voor de toekomst en rekening houden met nieuwe innovaties.

- 1) Wat zijn de kenmerken van een transitie?
- 2) Hoe wordt een nieuwe innovatie verspreid in tijd en ruimte?
- 3) Hoe kan bij het maken van plannen rekening worden gehouden met onzekerheid?
- 4) Welke aanpak is geschikt voor plannen met diepe onzekerheid en kan tegelijkertijd inzicht geven in de potentie van waterstof?

Inventarisatie van mogelijkheden van waterstof en het energiesysteem.

- 5) Wat zijn de kansen en belemmeringen voor de energiedrager waterstof?
- 6) Welke acties (met bijbehorende randvoorwaarden) zijn nodig in de periode tot 2050 om een energiesysteem met waterstof te creëren?
- 7) Wat kan de energiedrager waterstof betekenen voor het energiesysteem van de provincie Groningen?

1.3.3. Afbakening onderzoek

Om klimaatverandering te beperken is het klimaatakkoord opgesteld met doelen voor 2050, vier sectoren worden genoemd die het grootste aandeel CO₂-reductie moeten gaan realiseren. In de **industriesector, bij energieproductie, in de gebouwde omgeving en in de transportsector** moet een substantiële CO₂-uitstoot vermindering worden gerealiseerd, dat kan alleen maar worden gedaan door minder fossiele brandstoffen te gaan gebruiken. Het gebruik van alternatieven voor fossiele brandstoffen kan worden gezien als een energietransitie, in dit onderzoek wordt gekeken naar de verschillende toepassingen van waterstof in deze 4 sectoren. Om de mogelijkheden van waterstof in beeld te krijgen worden waterstof gerelateerde innovaties van over de hele wereld beschouwd. Uiteindelijk worden de meest kansrijke toepassingen voor de provincie Groningen uitgewerkt in een strategisch plan, hierbij wordt 2050 als tijdshorizon gebruikt omdat de doelen van het klimaatakkoord ook dan behaald moeten zijn.

2. Theoretisch kader:

In hoofdstuk een is beschreven hoe de wereld ingrijpend aan het veranderen is. Omwille van klimaatverandering is het klimaatakkoord van Parijs gesloten, waarin doelen worden gesteld voor het verduurzamen van het energiesysteem. De vier belangrijkste sectoren wat betreft energieverbruik zullen in vergaande mate een overstap moeten gaan maken van fossiele brandstoffen naar duurzame alternatieven. Deze overstap heeft kenmerken van een transitie, aangezien het energiesysteem en daarmee ook de samenleving een transformatie zal moeten ondergaan. Om deze ingrijpende verandering van het energiesysteem te begrijpen worden in dit hoofdstuk een aantal theorieën besproken die inzichten geven in deze complexe overstap.

2.1. Transitie management theorie

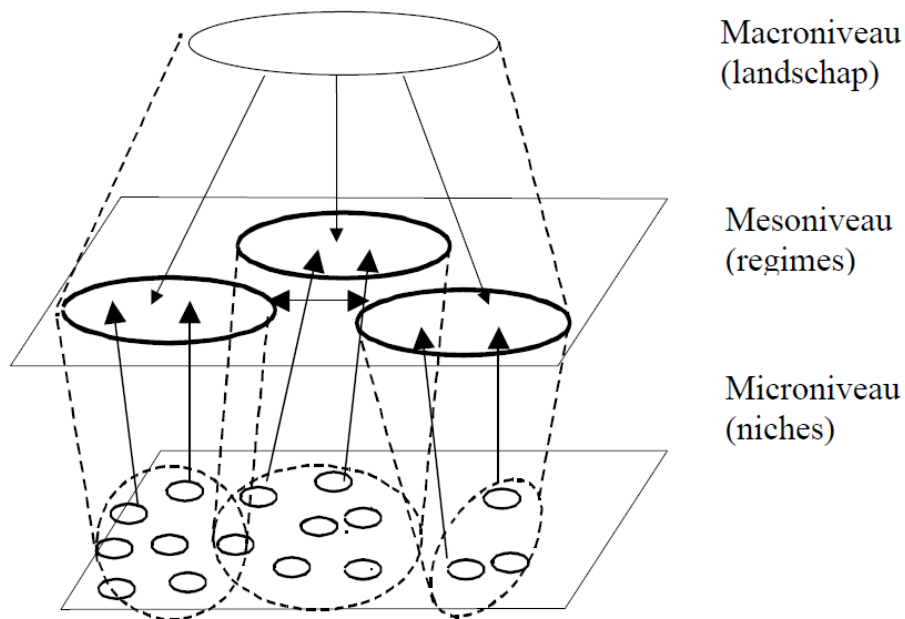
Transitie management is beschreven door Rotmans et al. (2001), zij beschrijven een transitie als een proces van verandering dat continue bezig is, de samenleving en het systeem transformeren daarbij op een structurele wijze. De manier waarop een transitie plaats vindt is niet eenduidig, een transitie heeft meerdere eigenschappen. Zo kunnen er verschillen zijn in de snelheid, de lengte(duur) en de schaal van de transitie. De Roo (2012) beaamt dit en voegt daaraan toe dat een transitie een betere benadering van de werkelijkheid is dan een scenario. De uitkomst van een transitie is ook niet onder controle te houden en wordt beïnvloed door vele factoren. Overheidsbeleid is een van de factoren die een transitie kan beïnvloeden, het is een van de mogelijkheden om een transitie een beetje in een bepaalde richting te sturen. De vele factoren die een transitie beïnvloeden zijn aanwezig in verschillende sectoren en domeinen, deze kunnen worden beschreven als push en pull factoren. Doordat sectoren niet losse entiteiten zijn maar juist verbonden en verweven met elkaar zijn, kunnen zij voor een versterkend effect zorgen. Een transitie vindt dan ook niet plaats in één sector maar gebeurt in meerdere sectoren tegelijkertijd (Rotmans et al, 2001).

Een transitie kan worden opgedeeld in vier fases, de voor-ontwikkelingsfase (pre-development), de opstijfphase (take-off), de versnellingsfase (acceleration) en de stabilisatie fase (stabilization). In de voor-ontwikkelingsfase gebeuren er kleine experimenten en veranderingen die nog niets structureels aan het huidige systeem veranderen. In de opstijfphase veranderen er meer zaken waardoor het systeem ook begint te veranderen en te verschuiven. De versnellingsfase is de fase waarin veranderingen op het gebied van economie, beleid, ecologie en sociaal-culturele normen reageren op elkaar en daardoor worden structurele veranderingen in het systeem zichtbaar. De stabilisatie fase vindt plaats wanneer het systeem tot rust komt, de veranderingen in de vorige fases worden de nieuwe standaard binnen het systeem (Rotmans et al., 2001). Gedurende de transitie en ook binnen de verschillende fases zijn er periodes van snelle en langzame veranderingen. De duur van een gehele transitie beslaat een periode van minimaal 25 jaar (Rotmans et al., 2001). De periodes voor de voor-ontwikkelingsfase en na de stabilisatiefase kunnen worden gezien als een tijd die relatief stabiel is, waarna onder de juiste omstandigheden weer een volgende transitie zal gaan beginnen.

2.1.1. Het Multi-level perspectief

De door Rotmans et al. beschreven transitie kan worden ingedeeld in verschillende fases, er zijn volgens Rotmans et al. (2001) de volgende niveaus te onderscheiden, het micro-, meso- en macroniveau. Het microniveau bestaat uit individuen en losse actoren, bijvoorbeeld een bedrijf of een activistische groep. In het mesoniveau zijn netwerk-organisaties, branche vertegenwoordigers en vakbonden te vinden. Het macroniveau bevat multinationals, nationale overheden en internationale organisaties (Rotmans et al., 2001). Deze drie niveaus komen nauw overeen met de indeling die Rip en

Kemp (1998) maakten en die ook door Geels en Kemp (2000) is uitgewerkt. In deze artikelen wordt gesproken over veranderingen en transitie van socio-technische systemen, in plaats van de micro-, meso- en macroniveaus hebben zij het over niches, regimes en socio-technische landschappen, zie figuur 1. Een transitie, zoals beschreven door Rotmans et al. (2001), ontstaat niet uit het niets. Geels & Schot (2007) beschrijven dat een transitie de grootste kans van slagen heeft als op de drie verschillende niveaus tegelijkertijd veranderingen plaatsvinden. Een transitie kan niet doelbewust gecreëerd worden, echter kan er wel worden gestuurd zodra er verschillende visies en ontwikkelingen elkaar ontmoeten en versterken (Geels & Schot, 2007).



Figuur 1: Multi-level perspectief. Herdrukt van "Transities vanuit sociotechnisch perspectief" Geels, F. en Kemp, R., 2000, p.17.

Op het macroniveau zijn de socio-technische landschappen te vinden, deze kunnen worden omschreven als de effecten die van buitenaf invloed hebben op het systeem. De socio-technische landschappen veranderen meestal traag en hebben daarnaast invloed op het meso- en microniveau (Geels & Kemp, 2000; Verbong & Geels, 2007). Het mesoniveau komt overeen met het socio-technische regime en bestaat uit 3 aan elkaar verbonden dimensies: netwerk van actoren, formele en informele regels, en technische elementen zoals infrastructuur. Deze worden vaak gekarakteriseerd door lock-in situaties waarbij het huidige systeem zichzelf in stand houdt (Rotmans et al., 2001). Lock-in situaties zijn te herkennen aan de volgende mechanismen; ten eerste, actoren in het huidige systeem hebben belangen bij het huidige systeem, het geeft hen zekerheid. In vele gevallen zullen machtige actoren hun macht gebruiken om het bestaande systeem te behouden (Geels & Schot, 2007) Ten tweede zorgen wetten en standaardisering voor stabilisatie en houden de focus op het huidige systeem. Ten derde zorgen de bestaande infrastructuur, machines en apparaten ervoor dat een overstap naar een nieuw systeem een zeer kostbare stap is, aangezien deze zullen moeten worden aangepast of vervangen (Walker, 2000; Verbong & Geels, 2007). Niches acteren op het microniveau, niches maken het mogelijk voor nieuwe innovaties om zich buiten het bestaande systeem te ontwikkelen. Niches ontstaan meestal door een klein netwerk van actoren die bereid is om te investeren in nieuwe technieken, dit is ook nodig omdat nieuwe technologieën initieel een slechte

verhouding tussen de prijs en het product hebben (Verbong & Geels, 2007). Het ontwikkelen van nieuwe technologieën is een proces waarbij leren en kennis verzamelen over de mogelijke toepassingen een belangrijke functie is van de niches (Geels & Kemp, 2000).

Een transitie is een proces dat over een langere periode plaats vindt, gedurende die periode zijn er snelle en trage fases en momenten. Er zijn vier fases te herkennen, de transitie gebeurt op verschillende schaalniveaus en is intersectoraal. Doordat een transitie zo groots, structureel, complex is en over een lange periode plaats vindt zijn de gevolgen niet te overzien, wat zorgt voor een grote onzekerheid over de toekomst. Geels & Kemp verwoorden het op de volgende manier, *“op korte termijn is technologische ontwikkeling redelijk voorspelbaar op lange termijn niet. Processen van technologische voortgang hebben een open einde, je weet niet waar je uitkomt”* (Geels & Kemp, 2000, p.7).

2.1.2. Diffusion of innovation

Dit onderzoek zoomt in op de rol van de energiedrager waterstof, waterstof wordt momenteel vooral op grote schaal gebruikt als grondstof voor de chemische industrie. Waterstof kan daarom worden beschouwd als een nieuwe innovatie in het energiesysteem, begrip van de ontwikkeling van innovaties is nodig voor het beantwoorden van de hoofdvraag.

Diffusie van innovatie theorie beschreven door Rogers (2003), geeft inzicht in hoe de verspreiding van innovaties over de ruimte en tijd verloopt. Er zijn vier onderdelen te onderscheiden bij het verspreiden van nieuwe innovaties; allereerst gaat het over een innovatie of nieuw concept, ten tweede wordt deze verspreid door middel van communicatie via meerdere kanalen, ten derde gebeurt dit over een bepaald tijdsbestek, en de verspreiding verloopt langs actoren van een sociaal systeem. Hierin zijn overeenkomsten tussen de theorie van Rotmans et al. (2001) en Rogers te herkennen, namelijk de verspreiding via meerdere kanalen kan worden gezien als een ontwikkeling die plaats vindt in verschillende sectoren over de gehele samenleving. Daarnaast is tijdsbestek ook een duidelijke variabele in de theorie van Rotmans et al. (2001).

Rogers (2003) verdeelt de eigenschappen van een innovatie in de volgende vijf categorieën, 1) relatief voordeel van een innovatie ten opzichte van huidige technologieën, 2) compatibiliteit van de innovatie met de huidige normen en waarden, 3) de techniek is gemakkelijk te begrijpen, 4) testbaarheid van de nieuwe innovatie door te experimenteren en als laatste 5) de zichtbaarheid van de innovatie in de samenleving. De bovenstaande elementen hebben invloed op het succes van een innovatie, het aantal mensen die overstappen van een bestaande technologie naar een nieuwe innovatie heeft ook invloed op het succes van een innovatie (Rogers, 2003). Deze eigenschappen kunnen worden gezien als de push en pull factoren die Rotmans et al. (2001) hebben beschreven. Overstappers naar de innovatie kunnen in vijf categorieën worden opgedeeld; vernieuwers, vroege overstappers, vroege meerderheid, trage meerderheid en de achterblijvers. Van deze categorieën zijn de vernieuwers en de vroege overstappers essentieel voor het succes van een innovatie, zij zorgen ervoor dat de innovatie kan worden verbeterd met feedback en dat de innovatie meer naamsbekendheid krijgt.

De vijf categorieën van innovatie overstappers sluiten aan bij het multifasemodel van Rotmans et al. (2001), zo worden er in de voor-ontwikkelingsfase experimenten gedaan die de potentie van een innovatie proberen aan te tonen. Bij deze experimenten zijn vooral vernieuwers betrokken, wanneer

vervolgens het product op de markt komt zullen de vernieuwers en de vroege overstappers als eerste bereid zijn om over te stappen op het nieuwe product, dit is te vergelijken met de opstijgfase van het multifasemodel. Wanneer het product een succes lijkt te zijn zal ook de vroege meerderheid geïnteresseerd raken in de innovatie en bereid zijn om over te stappen, dan komt de innovatie in de acceleratiefase van het multifasemodel terecht en neemt het aantal overstappers aanzienlijk toe. De late meerderheid volgt de rest en stapt ook over op de innovatie, de stabilisatiefase van het multifasemodel toont hiermee overeenkomsten. De achterblijvers stappen pas over wanneer de overgrote meerderheid van de samenleving de innovatie al heeft omarmd, ook zullen sommige achterblijvers nooit overstappen op de innovatie (Rogers, 2003).

Naast de overeenkomsten tussen transitie management en diffusion of innovation zijn er ook verschillen op te merken. De transitie management theorie geeft inzichten in de verandering van een systeem, de veranderingen vinden plaats op verschillende niveaus en in meerdere sectoren (Rotmans et al., 2001). Een innovatie ontstaat meestal in een specifieke sector, waarna het verder ontwikkeld wordt en later alsnog in andere sectoren kan worden toegepast (Rogers, 2003). Rogers beschrijft met zijn theorie het verloop van de ontwikkeling van een innovatie, dat speelt vooral af op het niche niveau van het multi-level perspectief. Bij beide theorieën spelen actoren een rol, Rogers heeft het over overstappers en richt zich daarmee vooral op individuen en bedrijven. Rotmans et al. daarentegen beschrijven ook het belang van netwerkorganisaties, overheden en internationale organisaties. De diffusion of innovation theorie geeft ook meer inzicht in de succesfactoren voor een innovatie, deze komen minder duidelijk naar voren in de transitie management theorie.

Geels & Schot (2007) doen een aanvulling op de transitie management theorie en het multi-level perspectief, daarin merken zij op dat het moment waarop een transitie begint veel invloed kan hebben op de uitkomst van de transitie. Zij hebben een viertal belangrijke parameters onderscheiden die de kansen van een innovatie helpen inschatten. 1. Experimenten hebben geleid tot ervaring met de innovatie, waardoor verdere ontwikkeling mogelijk is tot een eenduidig ontwerp. 2. Belangrijke en machtige actoren steunen de innovatie. 3. De prijs/kwaliteit verbetert en er zijn sterke aanwijzingen voor verdere verbeteringen. 4. Een innovatie wordt gebruikt in niches, wanneer het opgetelde marktaandeel groter dan 5% is kan de innovatie in de opstijgfase terechtkomen en doorgroeien (Geels & Schot, 2007). De constatering van Geels & Schot laten zien dat de theorie van Rogers en de transitie management theorie bij elkaar aansluiten. Een combinatie van beide theorieën geeft inzicht in hoe een nieuwe innovatie kan uitgroeien tot een product dat een groot marktaandeel heeft, vervolgens een belangrijk onderdeel van de samenleving kan worden en zo het oude systeem kan veranderen.

2.2. Rationaliteiten in de planologie

De transitie management theorie en de diffusion of innovation theorie maken duidelijk hoe veranderingen verlopen en ontwikkelen. In de periode tot 2050 zal de hele samenleving moeten gaan verduurzamen, het is een periode van meer dan 30 jaar, waarin omstandigheden kunnen veranderen. Een plan om het energiesysteem te verduurzamen die nu wordt uitgewerkt zou door nieuwe innovaties of veranderingen op macroniveau niet meer effectief kunnen zijn in 2040. Een veranderend energiesysteem heeft ook ruimtelijke gevolgen, doordat zonne- en windenergie veel zichtbaarder zijn dan fossiele energiebronnen zal het aanzicht van steden, dorpen en rurale gebieden flink veranderen.

Er zullen plannen moeten worden gemaakt waar de bevolking soms moeite mee zal hebben, daarom is een geschikte aanpak belangrijk.

Om plannen te kunnen maken die het beste aansluiten bij een veranderende wereld en die tegelijkertijd aansluiten bij de behoeften van de bevolking, is het van belang om een passende rationaliteit uit te kiezen. In de geschiedenis zijn er verschillende rationaliteiten te herkennen, Friedman (2002) onderscheidt drie soorten van rationaliteit. De eerste is die van de natuurwetenschap waarbij wordt gezocht naar universele waarheden door middel van empirisch onderzoek, ook wel instrumentele rationaliteit genoemd (Alexander, 2000). Deze denkwijze is modernistisch, universele waarheden hebben geen context nodig, door te kijken naar onderdelen van de wereld kan de gehele wereld worden begrepen (Allmendinger, 2009). Aanpassingen aan de omgeving zijn definitief, planners zijn dé experts in het aanbrengen van aanpassingen in de wereld, zij weten (feitelijk) wat het beste is voor het verbeteren van de wereld (De Roo, 2012).

Beperkte technische rationaliteit (*bounded rationality*) wordt onderscheiden als tweede soort, hierin wordt een stapsgewijze aanpak toegepast waarbij alle mogelijk alternatieven worden afgewogen. De tweede soort rationaliteit gaat uit van een aantal regels, normen en principes die stabiel zijn, op basis van deze regels kunnen empirische wetmatigheden worden getest. Echter kan met deze regels en principes niet met zekerheid worden gezegd wat de beste keuze is voor de toekomst, er ontbreken gegevens om dit met zekerheid te kunnen doen (Alexander, 2000). Er zijn overeenkomsten met het structuralisme, een structuralist gebruikt trends en achterliggende mechanismen om de complexiteit van de werkelijke wereld te verklaren, trendanalyses zijn ook basis voor scenario's (Allmendinger, 2009, p.185). Omdat alternatieven worden afgewogen is het niet één universele waarheid, hiermee is deze rationaliteit anders dan de technische rationaliteit (De Roo, 2012). Scenario planning valt onder de tweede soort rationaliteit, met de huidige geldende regels en principes wordt naar de toekomst gekeken en worden de mogelijke toekomst beelden in kaart gebracht (De Roo, 2012). Evaluatie wordt gebruikt om te monitoren wat de gevolgen zijn van de maatregelen, zo kan tussentijds worden gekozen voor alternatieve maatregelen om toch de gewenste toekomst te realiseren.

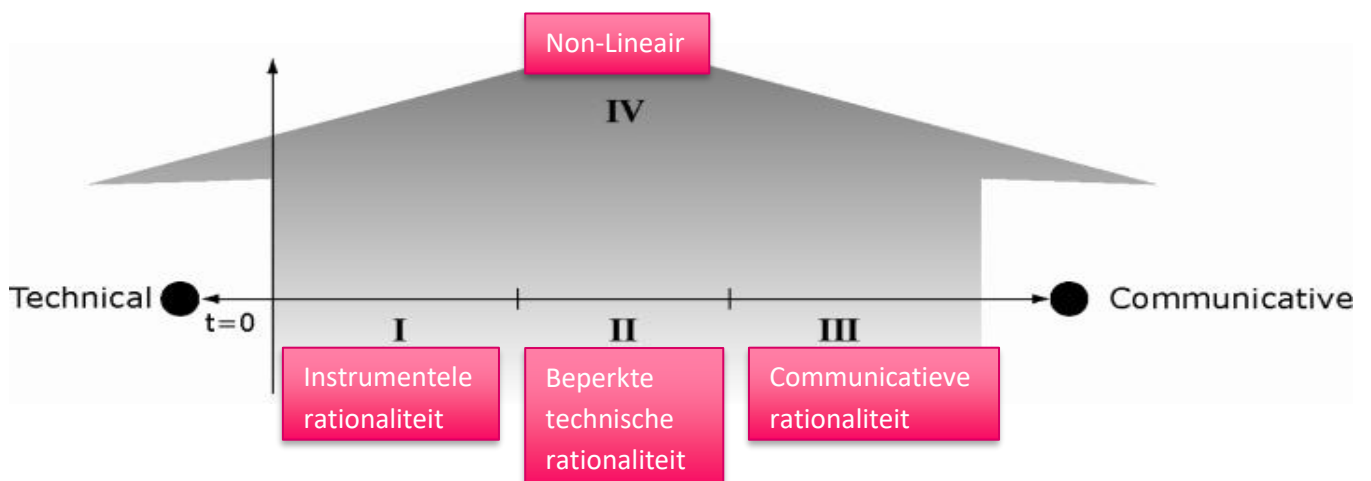
Bij de derde rationaliteit staat communicatie centraal, door discussie kan er overeen worden gekomen welke regels en principes als basis voor planning en handelen gelden. Hiervoor moet de discussie op een open en eerlijke manier verlopen, alleen dan kan met alle betrokken partijen tot een overeenkomst worden gekomen over de geldende regels en principes. Argumentatie is ook een belangrijk onderdeel van communicatieve rationaliteit, met argumentatie kan worden uitgelegd waarom bepaalde acties worden ondernomen (Alexander, 2000 en Friedman, 2002). Deze manier van denken is meer post-modernistisch dan de voorgaande twee rationaliteiten, inventarisatie van individuele behoeften en meer democratische processen zijn mogelijk met een communicatieve rationaliteit (Allmendinger, 2009).

Alle bovenstaande rationaliteiten komen niet overeen met het huidige praktijk. Een universele waarheid kan niet worden gevonden aangezien de geschiedenis al meerdere keren heeft aangetoond dat wetmatigheden in andere contexten niet bleken te kloppen, zo is bijvoorbeeld de relativiteitstheorie van Einstein tegenstrijdig met de zwaartekracht theorie van Newton (Friedman, 2002). Daarnaast wordt er niet altijd objectief omgegaan met de beschikbare feitelijke informatie, machtsrelaties zijn een factor die hierin een rol kunnen spelen (Allmendinger, 2009). Een beperkte technisch rationele denkwijze is ook niet de oplossing gebleken, het creëren van scenario's wordt

gedaan op basis van beschikbare informatie. Zodra de beschikbare informatie verandert, levert dat andere scenario's op. Interne evaluatie en feedback zorgen ervoor dat de scenario's vervolgens vernieuwd kunnen worden met de nieuwe informatie. Deze manier van plannen maken gaat uit van een lineaire ontwikkeling, door een bepaalde samenloop van omstandigheden kan echter ook een non-lineaire ontwikkeling plaatsvinden. Deze rationaliteit wordt daarom ook als ontoereikend beschouwd (De Roo, 2012). Communicatieve rationaliteit is ook niet mogelijk in de praktijk, het is vaak onderhevig aan onvolledige informatie en/of verkeerde informatie. Door verschillende vormen van misinformatie kan niet een eerlijke en open discussie worden gevoerd over de regels en principes, waardoor vervolgens ook de acties en keuzes die gemaakt worden niet op een communicatief rationele wijze gemaakt kunnen worden (Alexander, 2000).

Non-linear

In tegenstelling tot instrumentele rationaliteit, beperkte technische rationaliteit en communicatieve rationaliteit zijn complexe adaptieve systemen robuust en flexibel tegelijkertijd (De Roo, 2012). Byrne omschrijft dit als twee vormen van robuust zijn, het systeem is robuust in de zin dat het voor het grootste deel stabiel is; en ten tweede omdat het systeem radicaal kan veranderen terwijl de structuur van het systeem wel blijft bestaan (2003). Complexe adaptieve systemen passen zich aan en reageren op veranderingen in context, dat kan door middel van zelforganisatie en co-evolutie. De complexe adaptieve systemen hebben interacties op de verschillende niveaus van het multi-level perspectief, door de interacties kunnen de veranderingen in context worden waargenomen en past het systeem (de samenleving) zich aan. Dit kan worden bestempeld als de vierde rationaliteit, één waarbij complexiteit, tijd en non-lineaire ontwikkeling centrale onderdelen van de denkwijze zijn. Tijd is het element dat ontwikkelingen mogelijk maakt, geschiedenis en context beïnvloedt de uitkomst van de ontwikkelingen. Causaliteit is in complexe adaptieve systemen moeilijk te duiden door de vele interacties die plaatsvinden (De Roo, 2012). Allmendinger merkt op dat de praktijk niet modernistisch of postmodernistisch is maar onderdelen van beide denkwijzen bevat, wat nogmaals laat zien hoe complex planning is (2009).



Figuur II: Vier soorten rationaliteiten. Aangepast van "Spatial Planning, Complexity and a World 'Out of Equilibrium'" De Roo, G., 2012, p.146.

2.3. Diepe onzekerheid over de toekomst

In de voorgaande paragraaf 2.2 is beschreven welke rationaliteiten er zijn binnen de planologie. De overstap van fossiele energiebronnen naar duurzame energie is een ingrijpende verandering, door middel van planning kan deze transformatie worden begeleid en gefaciliteerd. De betrokkenheid van meerdere sectoren die van elkaar afhankelijk zijn maakt deze verandering complex.

In een volledig lineaire wereld kan er alleen beperkte ontwikkeling plaatsvinden, alles binnen de universele regels, welke door middel van empirisch onderzoek kunnen worden gecontroleerd (De Roo, 2012). In de 20^{ste} eeuw is kritiek ontstaan op de rol van de planner en of de planner wel daadwerkelijk een expert is. Planning werd gezien als een manier voor het verbloemen van een politieke agenda achter de 'expertise' van een planner. Ook de macht van planners werd ter discussie gesteld, omdat er veelal plannen werden gemaakt zonder dat de effectiviteit van die aanpak was bewezen. Het grootste probleem waar planning mee van doen had was de lineaire manier van plannen, waarbij ervanuit werd gegaan dat de bestaande trends in de komende jaren zouden doorzetten (Byrne, 2003). Echter is de werkelijkheid anders, er worden nieuwe dingen bedacht en ontdekt welke niet altijd binnen de huidige normen en waarden van de samenleving passen. Deze ontwikkelingen ontstaan doordat de wereld heel complex is, door het combineren van vele bronnen van informatie en denkracht met daarbij een bepaalde context kunnen er een of meerdere innovaties ontstaan. Deze innovaties en hoe die verder worden doorontwikkeld staat niet vast, het wordt beïnvloed door vele factoren waardoor nu niet te zeggen is wat de toekomst zal brengen (De Roo, 2012).

Door geen rekening te houden met onverwachte situaties en rigoureuze veranderingen was planning niet altijd effectief. Wanneer er wel rekening wordt gehouden met de complexe werkelijkheid vervult een planner niet de rol van een wetenschapper met een eenduidige oplossing, maar is de planner een manager van kennis en netwerken (Byrne, 2003). Daarom is in dit onderzoek gekozen voor beide benaderingen, eerst een wetenschappelijke benadering om processen en ontwikkelingen beter te begrijpen, en vervolgens een analyse van de beschikbare kennis en de betrokken stakeholders.

Doordat niet lineaire ontwikkeling invloed uitoefent op het maken van toekomstplannen kan worden gesteld, dat alle traditionele methoden om grip te krijgen op de onzekerheid die de lange termijn met zich mee brengt inadequaat zijn gebleken. Uitgebreide scenario's met veel achtergrondinformatie als input hebben moeite met het voorspellen van de verrassingen die de toekomst brengt. Ook gedetailleerde modellen die inzicht geven in de langere termijn toekomst kunnen hier niet goed uitsluitsel over geven. Walker merkt op dat het al mislukt bij de vraagstelling, het is onmogelijk om voorspellingen te doen dus kan er beter worden gezocht naar acties en maatregelen die het meeste kansrijk zijn in de toekomst (Walker, 2013). Vervolgens zet Walker (2013) vier manieren uiteen om met diepe onzekerheid om te gaan. In je plannen rekening houden met het ergste denkbare situatie (resistance), (resilience) zorgen dat het systeem snel kan herstellen van een onverwachte situatie, (static robustness) beleid maken dat in alle mogelijke omstandigheden stabiel werkt, (adaptive robustness) voorbereidingen treffen zodat beleid kan worden aangepast aan veranderingen.

Gedurende de vier fases van Rotmans et al. (2001) wisselt de snelheid waarmee de veranderingen plaatsvinden, een transitie is een lang proces en duurt in zijn geheel dan ook minimaal 25 jaar (Rotmans et al., 2001). Om tot een nieuwe stabiele periode te komen zijn er tijdens de transitie ook radicale veranderingen van wetten, beleid en culturele normen en waarden nodig. Tijdens een transitie kunnen

er ook externe gebeurtenissen plaatsvinden die de veranderingen kunnen versnellen of vertragen, voorbeelden hiervan zijn economische crisissen en een natuurrampen (Rotmans et al., 2001).

Externe gebeurtenissen en soms ook interne gebeurtenissen kunnen niet altijd worden beïnvloed door menselijk handelen, hierdoor is er een diepe onzekerheid over hoe de toekomst eruit zal komen te zien. Tegelijkertijd beïnvloeden ook de samenleving en het menselijk handelen het verloop van de veranderingen, hierdoor is de toekomst nog meer onzeker, Loorbach (2010) noemt dit de complexiteit van het systeem. Hier verbindt Loorbach de transitie management theorie met de niet lineaire rationaliteit.

Onzekerheid over de toekomst is fundamenteel, de omgeving om ons heen verandert voortdurend en de mens kan deze verandering wel beïnvloeden maar heeft er geen controle over. Context is essentieel voor goed beleid, beleid dat effectief is op een bepaalde locatie kan ineffectief zijn in een ander gebied. De formulering van het probleem kan ook bepalend zijn voor de mogelijke oplossingen. Vanuit verschillende perspectieven kunnen actoren andere voorkeuren hebben voor de mogelijke oplossingen (Kwakkel et al., 2016). Adaptief beleid biedt de optie om context afhankelijk beleid te voeren, daarmee kan beleid worden aangepast aan de lokale situatie en omgeving (Walker et al., 2001). Om veranderingen in de gaten te houden is monitoring van de omgeving nodig in combinatie met het verzamelen van informatie.

2.3.1. Dynamic adaptive policy pathways

Voor het analyseren van de potentie van waterstof en een plan voor waterstof gebruik in de provincie Groningen is een passende aanpak nodig. In de bovenstaande paragrafen zijn de omstandigheden beschreven die invloed hebben op hiervan. Het energiesysteem zal rigoureuus moeten veranderen van fossiele naar duurzame energiebronnen, hierbij moet rekening worden gehouden met de verschillende sectoren die elk haar eigen problemen heeft (Europese Commissie, 2017a en 2017b). Het uiterlijk van de omgeving en het landschap zal ook veranderen, het is een ruimtelijk vraagstuk waarbij windturbines, zonneparken en opslagmethodes een plek zullen moeten krijgen. Waterstof is een relatief nieuwe innovatie en in de toekomst kunnen nieuwe innovaties zorgen voor veranderingen, het is een complexe situatie waarbij onzekerheid een belangrijke rol speelt.

De Dynamic Adaptive Policy Pathways aanpak (hierna DAPP genoemd) is ontwikkeld door Haasnoot et al. (2013) met het doel plannen te kunnen maken in onzekere situaties, waarbij klimaatverandering, nieuwe innovaties, externe invloeden en sociale voorkeuren beslissingen beïnvloeden. Kwakkel et al. (2016) beaamen dat de DAPP-aanpak hiervoor geschikt is. Sociale factoren en klimaatverandering zijn op de lange termijn erg onvoorspelbaar, om huidige strategieën en managementplannen met de tijd mee te ontwikkelen kan deze aanpak worden gebruikt (Kwakkel et al., 2016). Haasnoot et al. hebben DAPP ontwikkeld voor het plannen van ingrepen die de waterveiligheid van een bepaald gebied bevorderen. Voor dit onderzoek is gekozen om DAPP toe te passen op regionale schaal, waarbij het toekomstige energiesysteem van de provincie Groningen als voorbeeld casus dient.

DAPP kan de toekomst niet voorspellen, maar het geeft een perspectief aan mogelijkheden (Haasnoot et al., 2013). De mate waarin een waterstof een rol gaat spelen in het energiesysteem is nog erg onzeker, mogelijk wordt het in enkele sectoren gebruikt. Door te kijken wat er met de huidige kennis mogelijk is schets deze verkenning een beeld voor beleidsmakers. De DAPP-aanpak bestaat uit een

stappenplan. Dit stappenplan zal als leidraad worden gebruikt in dit onderzoek. De volgende stappen worden onderscheiden door Haasnoot et al. (2013):

1. Omschrijven van het onderzoeksgebied, karakteristieken van het systeem, doelen en mogelijke beperkingen in de toekomst. Hierbij is het van belang dat indicatoren zoals houdbaarheidsdatums, doelen en onzekerheden van acties worden benoemd.
2. Probleemanalyse, het vergelijken van de huidige situatie met mogelijke toekomstige situaties. Het in beeld brengen van kansen en belemmeringen van de mogelijke acties moeten in acht worden genomen.
3. Het bepalen van mogelijke acties die kunnen worden gedaan zodat aan de randvoorwaarden wordt voldaan. Deze kunnen worden opgesteld aan de hand van de kansen en belemmeringen uit stap 2. Tijdens stap 3 is het belangrijk om zoveel mogelijk acties te bedenken, hierbij kan het helpen om te redeneren vanuit verschillende perspectieven.
4. Het evalueren van de opgestelde acties, dit kan worden gedaan met behulp van scorekaarten. De resultaten worden gebruikt voor het bepalen van de tijd waarin een actie nog effectief is. Vervolgens is ook te bepalen of een actie bepaalde belemmering heeft weg kunnen nemen en gebruik maakt van de geboden kansen.
5. Nu kunnen mogelijke pathways worden opgesteld met de informatie uit de voorgaande stappen. Een pathway bestaat uit een keten van acties, een nieuwe actie wordt ondernomen zodra de voorgaande stap niet langer effectief is. Er zijn meerdere pathways mogelijk, deze kunnen worden geëvalueerd op basis van prestatie scores. Sommige acties kunnen leiden tot uitsluiten van bepaalde volgende acties, omdat die stappen onlogisch zijn of in de praktijk niet uit te voeren zijn. Zo blijven er een aantal logische pathways over.
6. De keuze voor een voorkeurspathways. Welke vervolgens kunnen worden geplaatst binnen een bepaald perspectief of denkwijze. In dit onderzoek zal worden gekeken naar de verschillende sectoren voor het formuleren van de voorkeurspathways.
7. Het verbeteren van de robuustheid van de voorkeurs pathways, er zullen onvoorziene maatregelen moeten worden genomen, zodat kan om worden gegaan met deze veranderingen. Onvoorziene acties zijn op te delen in 3 soorten acties; correctieve, herstellende en profiterende acties. Deze hangen samen met een monitoringsysteem, welke detecteert wanneer er een volgende actie moet of kan worden ondernomen.
8. Een complete versie van het 'dynamic adaptive plan' kan worden gemaakt met alle input uit de vorige stappen. Daarmee kan antwoord worden gegeven op de vraag welke acties nu moeten worden gedaan en welke kunnen worden uitgesteld tot op een later moment.
9. Implementeren
10. Monitoren van het implementatie proces.

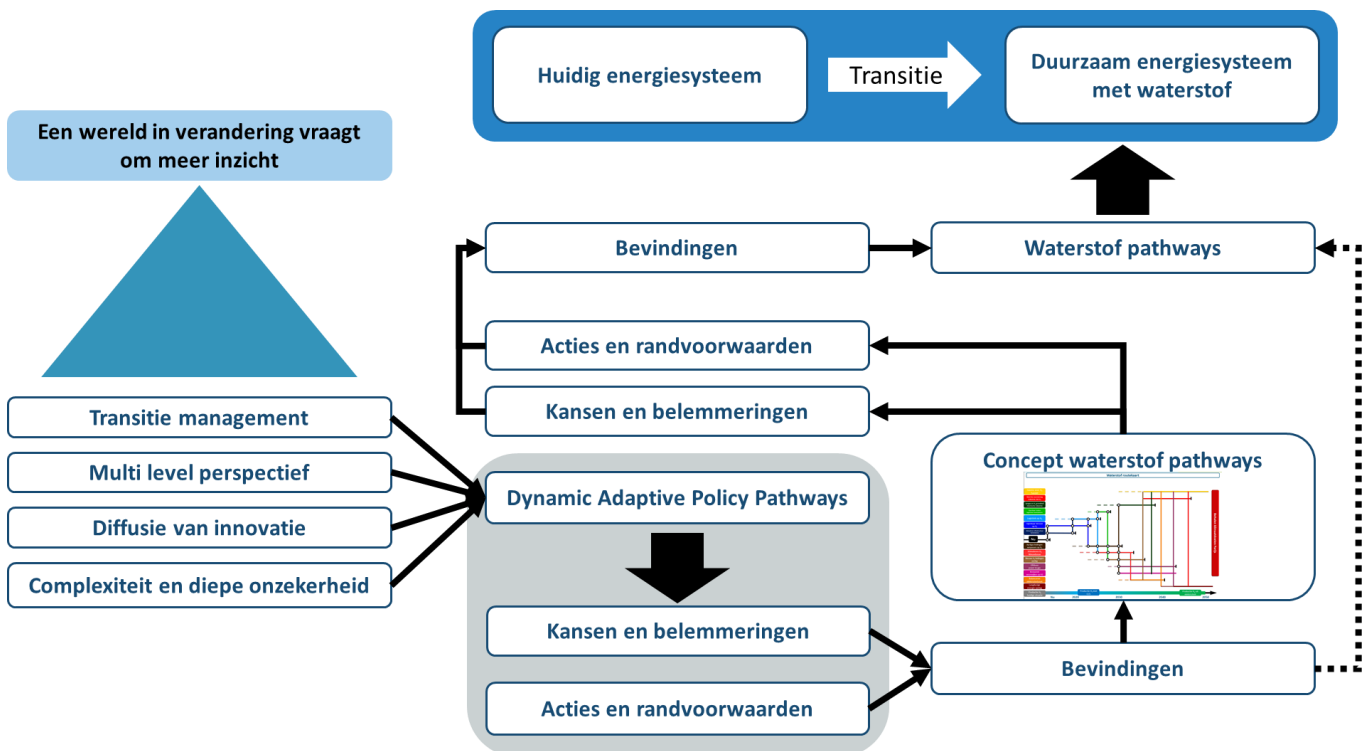


Figuur III: Stappenplan voor het maken van DAPP. Herdrukt van “Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world” Haasnoot et al., 2013, p.489.

Door op voorhand na te denken over wat er kan gaan gebeuren als een actie ontoereikend is, kunnen vervolgacties worden opgesteld. Bij het opstellen van een DAPP routekaart met pathways is het exacte moment van de actie minder belangrijk en kan worden gezien als een indicatie. Het monitoren van de effecten van de acties is hierbij een belangrijk element, daarmee kan nauwkeuriger worden vastgesteld wanneer moet over worden gegaan op de vervolgacties (Haasnoot et al., 2013). Kwakkel et al. (2015) voegen daaraan toe dat de keuze voor de indicatoren cruciaal is voor de effectiviteit van het monitoren, en daarmee ook voor het succes van de pathways. In sommige gevallen heeft een actie nog wel effect maar kan toch beter over worden gegaan op een vervolgactie; een voorbeeld hiervan is als er aan de randvoorwaarden voor de vervolgactie is voldaan. Ondanks een uitgebreide analyse van de kansen, belemmeringen en de acties die daaruit volgen, kunnen onvoorziene ontwikkelingen of nieuwe innovaties plaatsvinden. De diepe onzekerheid bij plannen maken voor de lange termijn kan dit verklaren (Walker, 2013). Een totaal nieuwe innovatie verandert een pathway van DAPP alleen in details, door adaptief met de acties om te gaan kan het vooraf stelde doel worden behaald (Haasnoot et al., 2013). De routekaart heeft een combinatie van robuuste en adaptieve aspecten, Byrne (2003) concludeerde het belang van beide aspecten bij het plannen in complexe en onzekere omstandigheden. Voor het maken van een definitieve routekaart kan een actieplan worden gemaakt, waarin beschreven staat welke acties direct moeten worden ondernomen en welke ontwikkelingen gemonitord moeten worden, aldus Kwakkel et al. (2016).

2.4. Conceptueel model

Hiervoor zijn meerdere theorieën besproken met betrekking tot de veranderingen die momenteel plaatsvinden in het energiesysteem, en de manier waarop veranderingen in de toekomst plaats kunnen gaan vinden. De transitie management theorie van Rotmans et al. 2001 legt uit welke stappen er te onderscheiden zijn. Het multi-level perspectief geeft inzicht in de verschillende niveaus waar de transitie plaatsvindt. Het doel van dit onderzoek is de potentie van waterstof in het energiesysteem van 2050 overzichtelijk weergeven. Waterstof is een nieuwe innovatie en geeft daarmee nieuwe mogelijkheden voor het energiesysteem. De diffusie van innovatie theorie verklaart de wijze waarop een nieuwe innovatie zich ontwikkelt en hoe het vervolgens een groot marktaandeel zou kunnen verkrijgen. Complexiteitstheorie beschrijft hoe onzekerheid een belangrijke rol speelt bij het maken van plannen. Walker (2013) beschrijft hoe plannen kunnen worden gemaakt voor complexe vraagstukken, een van de opties die hij aandraagt is het gebruik van adaptieve plannen. Een methode waarbij plannen worden aangepast aan de veranderende omstandigheden. Voor een duurzaam energiesysteem voor 2050 zullen er grote veranderingen nodig zijn ten opzichte van het huidige energiesysteem, in dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van DAPP. Gebruik van DAPP maakt het in de toekomst mogelijk om de plannen aan te passen aan nieuwe ontwikkelingen. Het verzamelen van informatie over de kansen, belemmeringen, acties en randvoorwaarden voor de acties is essentieel voor het opstellen van een stappenplan. De benodigde informatie wordt verzameld door middel van een documenten analyse en wordt vervolgens aangevuld en verbeterd door het afnemen van interviews. Het complete conceptuele model is te zien in figuur IV.

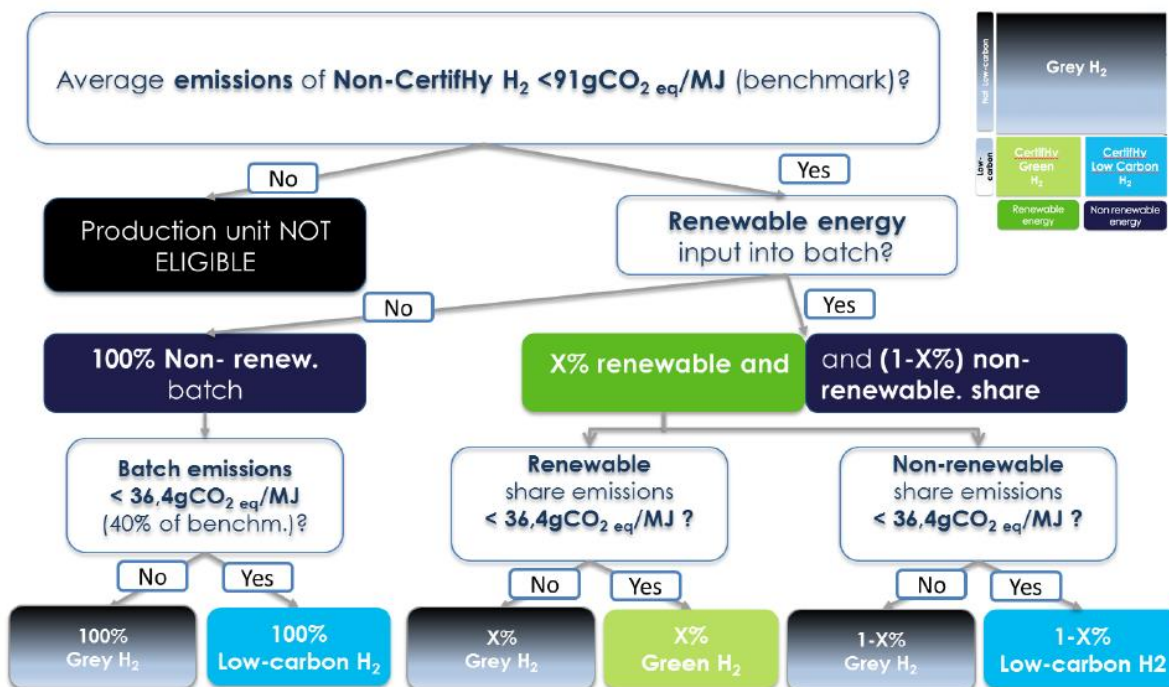


Figuur IV: Conceptueel model

Box 2.3: UITLEG VERSCHILLENDE SOORTEN WATERSTOF

Het Europese project CertifHy (2015) heeft gewerkt aan een definitie voor groene waterstof, de garantie van oorsprong is hierbij erg belangrijk voor het aantonen van een duurzaam productieproces. CertifHy maakt daarbij de onderstaande categorisering, daarbij is vanuit CO₂-reductie gekeken naar de verschillende productieprocessen van waterstof (ECN, 2016). De CO₂-uitstoot bij een Steam Methane Reforming (91 gram CO₂ per megajoule), momenteel de meest gebruikte productiemethode voor waterstof, is als referentiewaarde gekozen. De Europese duurzame energie regelgeving (RED) voor biobrandstoffen bepaald dat biobrandstoffen vanaf 2018 minstens 60 % minder CO₂-uitstoot moeten hebben dan fossiele brandstoffen. Deze regelgeving heeft CertifHy ook toegepast bij de categorisering van waterstof.

Grijze waterstof, kan uit duurzame of niet duurzame bron zijn, maar heeft meer dan 36,4 gram CO₂ per megajoule energie. Grijze waterstof wordt gelabeld als niet duurzame waterstof. Blauwe waterstof, ook wel 'Low-carbon H₂' genoemd, is waterstof afkomstig van wel- of niet-duurzame bron die minder dan 36,4 gram CO₂-uitstoot per megajoule tijdens productieproces. Het kan ook een energiemix van wel- en niet-duurzame bron betreffen. Groene waterstof, waterstof van duurzame bron, daarnaast is de uitstoot van CO₂ minder dan 36,4 gram per megajoule. Wanneer wordt voldaan aan beide eisen wordt de waterstof bestempeld als groene waterstof. Bij een mix aan bronnen wordt de hoeveelheid groene waterstof gelijkgesteld aan het percentage duurzame energiebronnen die is gebruikt voor de productie (ECN, 2016), zie ook figuur V.



Figuur V: Beslissingsboom voor het bepalen van waterstof categorieën. Herdrukt van "Productieroutes Duurzame Waterstof" (ECN, 2016, p.12).

3. Methodologie en data verzameling

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksmethoden besproken. Eerst wordt de methodologie in algemene zin uitgewerkt en wordt de keuze voor de DAPP-benadering uitgelegd. Vervolgens wordt het onderzoek ontwerp met bijbehorende methoden besproken. Paragraaf 3.3 geeft uitleg bij de gekozen methoden en licht de manier van gegevens analyse toe. De laatste paragraaf gaat in op de ethische dilemma's en beperkingen van dit onderzoek.

3.1. Introductie methodologie

Met dit onderzoek wordt antwoord gegeven op de hoofdvraag: *Wat is de potentie van waterstof als energiedrager binnen het energiesysteem in de periode tot 2050, toegepast op de provincie Groningen?* Voor het beantwoorden van deze vraag wordt gebruik gemaakt van kwalitatieve data. Door middel van een documenten analyse en interviews wordt de kwalitatieve data voor dit onderzoek verzameld, zo worden de mogelijkheden van waterstof in de vier sectoren -industrie, transport, gebouwde omgeving en energie- van het energiesysteem verkend.

In hoofdstuk twee is uitgelegd wat een transitie inhoudt en op welke wijze een transitie kan plaatsvinden, zie transitie management, multi-level perspectief en diffusie van innovatie theorieën. Een transitie is een complex fenomeen met een lange tijdsduur. En zoals Hughes (2005) heeft beschreven hebben in de afgelopen decennia meerdere veranderingen in verschillende sectoren plaatsgevonden. Dit onderzoek is gericht op de periode tot 2050, wat betekent dat diepe onzekerheid een factor is, waar rekening mee gehouden moet worden bij het plannen voor een langere periode. Bij de start van dit onderzoek was het plan om door middel van vier scenario's de verschillende toepassingen van waterstof te schetsen. Dit bleek lastig omdat de complexiteit en de lange termijn van dit vraagstuk het opstellen van scenario's bemoeilijkten. De diepe onzekerheid was niet te verenigen met scenario's zoals dat in scenario planning wordt gedaan. Om de potentie van waterstof inzichtelijk te kunnen maken en een implementatie planning voor de periode tot 2050 te kunnen maken is gekozen voor de DAPP-aanpak van Haasnoot et al. (2013). De DAPP-aanpak neemt onzekerheid mee bij het maken van plannen door adaptief om te gaan met veranderingen, zo kunnen plannen voor de toekomst worden gemaakt die zowel robuust als flexibel zijn.

DAPP is niet eerder in wetenschappelijk onderzoek toegepast op de rol van een nieuwe energiedrager, in dat opzicht is dit een verkennend onderzoek. Stebbins (2001) constateert dat verkennend onderzoek vaak gezien wordt als een voorbereidingsfase van onderzoek, echter kan het beter worden gezien als een manier om sociaalwetenschappelijk onderzoek uit te voeren. Hierbij is een belangrijk onderdeel het beschrijven van welke kennis er is opgedaan met het onderzoek.

Triangulatie -het gebruiken van meerdere bronnen- maakt onderbouwing van een onderzoek sterker en zo kunnen de effecten van vooroordelen worden verminderd (Bowen, 2009). Voor het schetsen van de potentie van waterstof en de rollen die waterstof kan spelen in het energiesysteem wordt eerst een documenten analyse gedaan. Het gebruik van documenten is volgens Merriam (1988 in Bowen, 2009) goed voor de reproduceerbaarheid van een onderzoek, documenten en rapporten zijn onveranderlijk. Daarnaast is er ook een grote hoeveelheid documenten over allerlei onderwerpen beschikbaar, dit geeft de mogelijkheid om veel informatie te vergelijken (Merriam, 1988 in Bowen, 2009). Het gebruik van documenten kan echter ook risico's hebben, doordat documenten niet zijn gemaakt voor onderzoeken kan het detailniveau beperkt zijn (Bowen, 2009). De selectie van documenten kan

beïnvloed worden door vooroordelen waardoor een eenzijdig beeld kan ontstaan (Yin, 1994 in Bowen, 2009). De Beïnvloeding van de keuze van documenten is geminimaliseerd door een bewuste keuze te maken voor het soort documenten. Voor de documenten analyse is gekozen voor onderzoeken van onafhankelijke organisaties en onafhankelijke adviesbureaus, doordat zij onafhankelijk zijn is het voor deze partijen van belang goed onderzoek te doen zonder dat zij daarbij een eigen voorkeur laten zien. Naast documenten geschreven door onafhankelijke partijen zijn er ook een vijftal overheidsrapporten gebruikt voor de documenten analyse, dat zijn de rapporten van de RVO, RLI, het ministerie van economische zaken en de SER.

Naast het analyseren van documenten kunnen interviews, en observaties bronnen van informatie zijn (Yin, 1994 in Bowen, 2009). In dit onderzoek is gekozen voor interviews als tweede bron van informatie. De interviews zijn afgenomen bij een diverse groep aan experts op het gebied van het energiesysteem en waterstof. Gekozen is voor semigestructureerde interviews. Deze vorm van interviewen gebruikt open vragen waardoor geen ja of nee antwoorden gegeven kunnen worden, ook geeft het de respondenten de ruimte om hun eigen visie en mening te beargumenteren. (Longhurst, 2010).

3.2. Onderzoeksontwerp

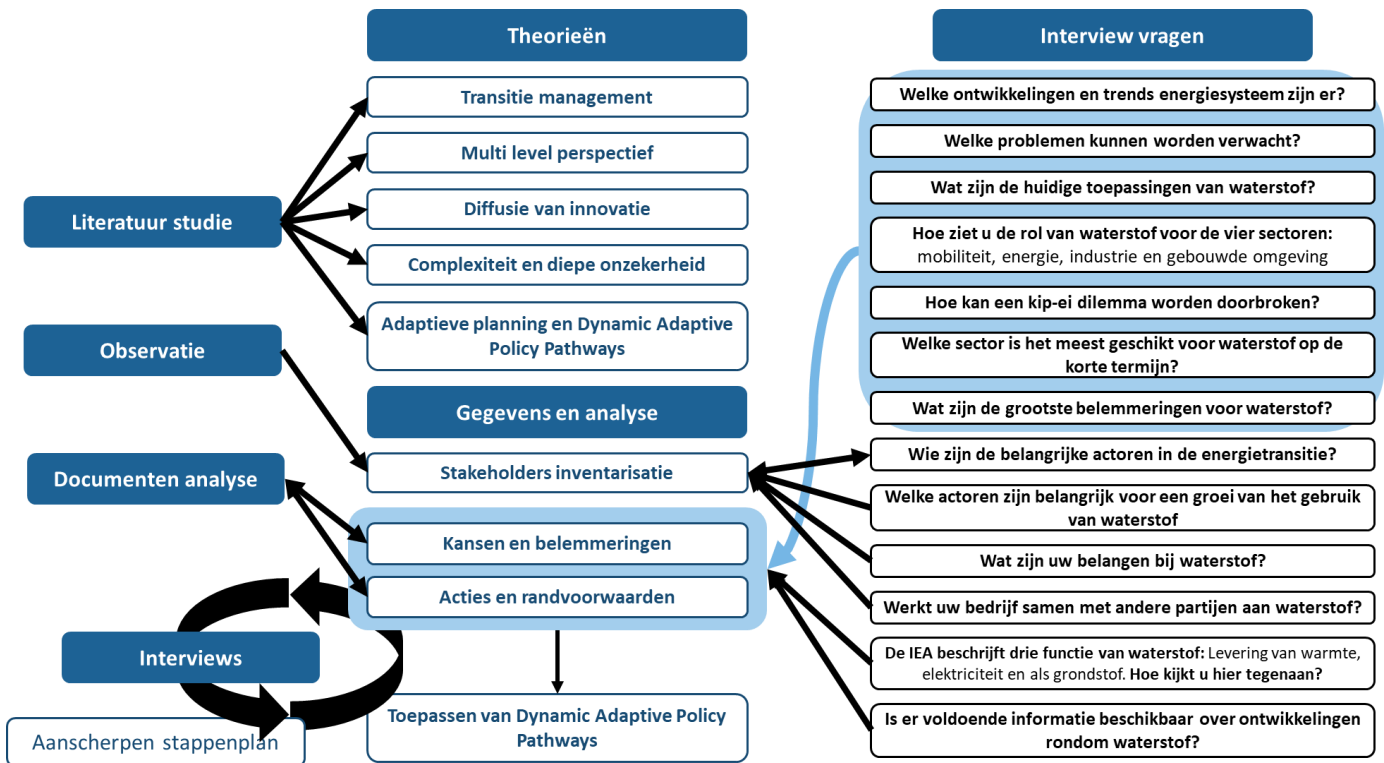
Voor dit onderzoek zijn er meerdere vragen geformuleerd, om antwoord te geven op deze hoofd- en deelvragen is er een structuur ontworpen. In figuur VI is het onderzoeksontwerp weergegeven. Aan de linkerkant zijn alle onderzoeksvragen te vinden, de rechterkant geeft de informatie weer die nodig is voor het beantwoorden van deze onderzoeksvragen. Hiermee ontstaat er gelijk een duidelijke structuur voor dit onderzoek. Wetenschappelijke theorieën leggen eerst een basis voor een beter begrip van de situatie betreffend de energietransitie, vervolgens wordt door middel van dataverzameling de werkelijke situatie in beeld gebracht. Uiteindelijk wordt getracht een antwoord te geven op de hoofdvraag en daarmee de potentie van waterstof te bepalen.

Wat is de potentie van waterstof als energiedrager binnen het energiesysteem in de periode tot 2050, toegepast op de provincie Groningen?



Figuur VI: Onderzoeksontwerp

3.2.1. Keuze voor bepaalde methoden



Figuur VII: Gebruik van de onderzoeksmethoden in dit onderzoek

Het onderzoek maakt gebruik van de DAPP, daarbij is een keuze gemaakt voor de eerste zes stappen van deze methode. In de stappen 7, 8, 9 en 10 wordt een analyse gedaan van de geïdentificeerde acties en stappen om deze vervolgens te implementeren. Omdat dit onderzoek is gericht op het verkennen van de mogelijkheden en de beschikbare tijd een beperkende factor is, kunnen de stappen 7 tot en met 10 niet in dit onderzoek worden behandeld. Zoals in paragraaf 3.1 staat vermeld, is gekozen voor het afnemen van interviews. Deze interviews dienen ter controle van de informatie verkregen uit de documenten analyse. De visie en mening van de respondenten wordt uitgevraagd en vergeleken met de constatering in de documenten. Daarnaast wordt de respondenten ook een stappenplan voorgelegd om de houdbaarheidsdatum en de randvoorwaarden voor de acties te bespreken, zodat deze kunnen worden aangescherpt.

3.3. Methodes van analyseren

3.3.1. Documenten analyse

In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van documenten van meerdere bronnen voor het bepalen van de kansen en belemmeringen voor de te nemen acties. Het is belangrijk om dan in acht te nemen dat deze gegevens zijn verzameld door iemand anders die zeer waarschijnlijk met andere doelen de gegevens heeft verzameld, daardoor kan de data minder geschikt zijn voor hergebruik (Yin, 1994 in Bowen, 2009). De documenten bekijken de mogelijkheden van een duurzaam energiesysteem. Dit onderzoek heeft hetzelfde doel maar de focus ligt daarbij specifiek op de toepassingen van waterstof.

De onderzoeken en rapporten zijn gevonden met gebruik van de zoekmachine Google, daarbij zijn de volgende zoektermen gebruikt: 'Energievoorziening', 'energiesysteem', 'energie', 'energieakkoord', 'energy', 'toekomst', 'toekomstvisie', '2050', 'future', 'duurzaam', 'CO2 neutraal', 'waterstof', 'hydrogen', 'roadmap', 'trias energetica', 'Nederland'.

Om onderscheid te maken tussen alle beschikbare documenten is gekozen voor het gebruik van rapporten geschreven door onafhankelijke instituten of overheidsinstanties. Daarnaast is geselecteerd op relevantie, de rapporten die het energiesysteem analyseren en ook de rol van waterstof daarin beschrijven zijn meegenomen in dit onderzoek.

#	Titel	Jaartal	Auteur(s)/uitgever
1	Net voor de toekomst	2017	CE-Delft
2	Energietrends 2013	2013	ECN
3	Exploring the role for power-to-gas in the future Dutch energy system	2014	ECN & DNV-GL
4	Hydrogen & fuel cells: opportunities for growth A roadmap for the UK	2015	E4Tech
5	Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells	2015	IEA
6	Energierapport transitie naar duurzaam	2016	Ministerie van economische zaken
7	Routekaart energie 2050	2011	PBL & ECN
8	Rijk Zonder CO2	2015	RLI
9	Infoblad Trias Energetica en energieneutraal bouwen	2013	RVO
10	Summary of energy agreement for sustainable growth	2013	SER
11	Een duurzame Brandstofvisie met LEF	2014	SER
12	Naar een toekomstbestendig energiesysteem voor Nederland	2013	TNO

Tabel A: Lijst met documenten voor de documenten analyse (op alfabetische volgorde van auteur).

3.3.2. Observaties

Stakeholder inventarisatie

Om inzicht te krijgen in wie er stakeholders zijn bij het uitrollen van de energiedrager waterstof is er gekozen om naar een drietal bijeenkomsten te gaan over energietransitie en waterstof. De onderstaande drie bijeenkomsten zijn gekozen omdat deze plaatsvinden in Noord-Nederland, energietransitie en waterstof als thema hebben en daarmee relevant zijn voor de provincie Groningen.

Bijeenkomst- of congresnaam	Waar	Wanneer
<i>Wind-meets-Gas congres</i>	Groningen	13 & 14 september 2017
<i>DKTI-regeling seminar</i>	Spier	19 oktober 2017
<i>Noordelijke Klimaatop</i>	Groningen	9 november 2017

Tabel B: Overzicht van de observaties

Om een genuanceerd beeld te kunnen krijgen van de zaken die spelen bij de overstap naar een duurzaam energiesysteem is gekozen om partijen uit de vier verschillende sectoren te interviewen. Ook is distributie van energie een steeds belangrijker onderwerp aan het worden, daarom is ook gekozen netbeheerders te bevragen. Beleidsmakers zijn ook belangrijke stakeholders aangezien zij een sleutelrol vervullen wanneer visie in beleid omgezet wordt. Verder is gekeken naar welke bedrijven in 2017 bedrijfsactiviteiten hebben waarin waterstof een belangrijke rol speelt.

De onderstaande selectie van respondenten bestaat uit partijen die een rol spelen in het energiesysteem van Noord-Nederland. Hiervoor is informatie gebruikt die verkregen is tijdens de documenten analyse, mede hebben de bezoeken aan bijeenkomsten bijgedragen aan het selecteren van de respondenten. De onderstaande respondenten van de interviews zijn benaderd via een email.

	Bedrijf/instantie	Naam	Categorie bedrijf	Sector	Wanneer
1	AkzoNobel	Joost Sandberg	Privaat	Industrie	8-1-2018
2	RUG / Energy Delta Institute B.V.	Catrinus Jepma	Onderzoeksinstituut	Energie	22-12-2017
3	Enexis (niet aanwezig op congres)	Sybe bij de Leij	Netbeheerder	Energie	19-12-2017
4	Gasunie	Koen Wiersma	Netbeheerder	Energie	04-01-2018
5	Green Planet	Wietse ter Veld	Privaat	Transport	02-02-2018
6	Groningen Seaports	Eertwijn van den Dool	Semioverheid	Industrie	26-01-2018
7	Holthausen	Stefan Holthausen	Privaat	Transport	27-02-2018
8	Ministerie van IenW	Dirk Schaap	Overheid	Transport en Gebouwde omgeving	24-01-2018
9	Provincie Groningen	Luuk Buit	Overheid	Alle	18-10-2017
10	Royal HaskoningDHV	Edward Pfeiffer	Privaat	Gebouwde omgeving en Transport	30-11-2017
11	TU-Delft / NIB	Ad van Wijk	Onderzoeksinstituut en Privaat	Energie	20-12-2017

Tabel C: Lijst met geïnterviewde personen

3.3.3. Interviews

Naast het gebruik van documenten wordt er ook gebruik gemaakt van interviews om data te verzamelen. De interviews in dit onderzoek zullen plaats vinden op een semigestructureerde wijze, wat de mogelijkheid geeft om een interview te sturen, maar ook ruimte laat voor een open antwoord van de respondent. Hiermee wordt voorkomen dat er ja of nee antwoorden worden gegeven, waardoor er uitleg en context in het antwoord naar voren komt (Longhurst, 2010). Om de juiste vragen te kunnen stellen tijdens een interview moet de interviewer zich eerst goed inlezen in het onderwerp, vervolgens kan het opstellen van vragen helpen goed voorbereid een interview af te nemen (Longhurst, 2010). Een interview kan het beste worden begonnen met vragen die voor de respondent vrij makkelijk te beantwoorden zijn, vervolgens is de volgorde van de vragen minder belangrijk (Longhurst, 2010). Daarom is gekozen de interviews te beginnen met algemene vragen over de respondent zelf en vervolgens wordt de respondenten gevraagd een algemene analyse van de energietransitie te geven. Deze algemene analyse geeft inzicht in de problemen van het huidige energiesysteem en welke problemen verwacht kunnen worden bij een overstap naar een duurzaam energiesysteem. Vragen over de verschillende toepassingen van waterstof in de vier sectoren helpen bij het bepalen van de potentie van waterstof per sector. Vervolgens is de respondenten gevraagd naar een tijdschijf voor de verschillende toepassingen zodat er een waterstof stappenplan kan worden gemaakt. Als laatste wordt de respondenten gevraagd naar samenwerkingsverbanden en de beschikbaarheid van informatie over waterstof. Longhurst (2010) beschrijft het belang van een locatie waarbij de respondent zich comfortabel voelt. Voor de locatie van de interviews is de respondenten gevraagd welke locatie zij prefereren, in bijna alle gevallen was dat de werklocatie van de respondent. Vanwege van een drukke agenda van een respondent is één interview op Schiphol afgenomen, daarmee is ingegaan op de wens van de respondent.

Interview guide

In de bijlage 1 zijn de vragen te vinden die gebruikt zijn voor het uitvoeren van de interviews. De vragen zijn op een semigestructureerde wijze gebruikt in de interviews, het dient als leidraad. De vragen gaan in op alle aspecten rondom de verschillende toepassingen van waterstof, sommige vragen kunnen daardoor in mindere mate relevant zijn voor enkele respondenten. Tijdens het interview kan worden gekozen om deze vragen in het kort te behandelen. De interviews zullen door middel van transcriberen en coderen worden verwerkt. De codes komen voort uit de interviewvragen. Hiermee worden de kansen en belemmeringen voor waterstof inzichtelijk gemaakt. De kansen en belemmeringen dienen als input voor de acties voor de DAPP-aanpak, welke vervolgens de basis vormen voor een routekaart voor waterstof in de provincie Groningen.

3.4. Ethische dilemma's en beperkingen van het onderzoek

In de documenten analyse is gekozen voor rapporten van onafhankelijke partijen of overheidsinstanties, deze partijen zijn niet bevooroordeeld bij het opstellen van een rapport. Daarnaast heeft een onafhankelijke partij baat bij een goede reputatie wat betreft onafhankelijk onderzoek. Om deze reden is gekozen een rapport van het Hydrogen Council buiten beschouwing te laten, het risico dat het gekleurde informatie bevat is substantieel.

Tijdens negen van elf interviews zijn alle vragen behandeld, bij de overige twee interviews konden niet alle vragen worden behandeld doordat de respondent minder dan een uur beschikbaar was voor het beantwoorden van alle vragen. In de interviews met Van Wijk en Pfeiffer zijn daardoor alleen de

algemene visie op de energietransitie en waterstof behandeld. De overige negen interviews duurden tussen de 70 minuten en 90 minuten. De respondenten zijn gevraagd omdat zij in het dagelijkse werk betrokken zijn bij de energietransitie of het gebruik van waterstof. Om de visie en kennis van de respondenten zo weinig mogelijk te beïnvloeden is hen geen informatie verschaft, ook is de respondenten niet gevraagd het interview voor te bereiden. Respondenten die betrokken zijn bij projecten met waterstof kunnen hierdoor bevooroordeeld zijn, hier schuilt het risico in dat zij niet objectief zijn over de verscheidene toepassingen waterstof. Hiermee is rekening gehouden bij het kiezen van de respondenten, bewust zijn respondenten van verschillende achtergronden gekozen zodat zij samen wel een goede afspiegeling van de werkelijkheid geven.

Voor het inventariseren van de belangrijke actoren zijn congressen en symposia bezocht, een beperkende factor is hierbij dat mogelijk niet alle actoren aanwezig zijn op deze bijeenkomsten. Om toch een scherp beeld van alle actoren te krijgen is de respondenten tijdens het interview ook gevraagd naar de actoren die hierin een rol spelen. Zo zijn op meerdere manieren de actoren in kaart gebracht, wat de onzekerheid doet afnemen.

Dit onderzoek heeft tot doel een verkenning te doen van de potentie van waterstof op een regionale schaal. Hiervoor moet echter wel eerst worden gekeken naar alle mogelijkheden, wat dit een breed onderzoek maakt. Omwille van de tijd en de grootte van dit onderzoek is daarom gekozen deze verkenning toe te passen op één regio. Ook de hoeveelheid documenten en interviews is omwille van de tijd beperkt tot twaalf en elf respectievelijk.

4. Resultaten

4.1. Het huidige energiesysteem

Op de volgende pagina is een overzicht te vinden met de karakteristieken van het huidige energiesysteem met daaraan gekoppeld welke doelen belangrijk zijn voor een duurzamer energiesysteem. Daarbij worden vervolgens de kansen en belemmeringen toegekend aan elke karakteristiek van het huidige energiesysteem. Nadat de karakteristieken, doelen, kansen en belemmeringen zijn uitgewerkt kunnen acties worden bepaald voor hoe het systeem kan worden verbeterd. In de eerste kolom wordt een omschrijving gegeven van de karakteristieken die beschreven staan in de documenten. De doelen zijn geformuleerd op basis van een analyse van de documenten door de onderzoeker, hierbij is rekening gehouden met de te behalen doelen van het Klimaatakkoord van Parijs. De kansen en belemmeringen zijn een interpretatie gemaakt door de onderzoeker, en komen voort uit de karakteristieken en doelen. In tabel E is in een overzicht weergegeven welke acties er ondernomen moeten worden op basis van de documentenanalyse.

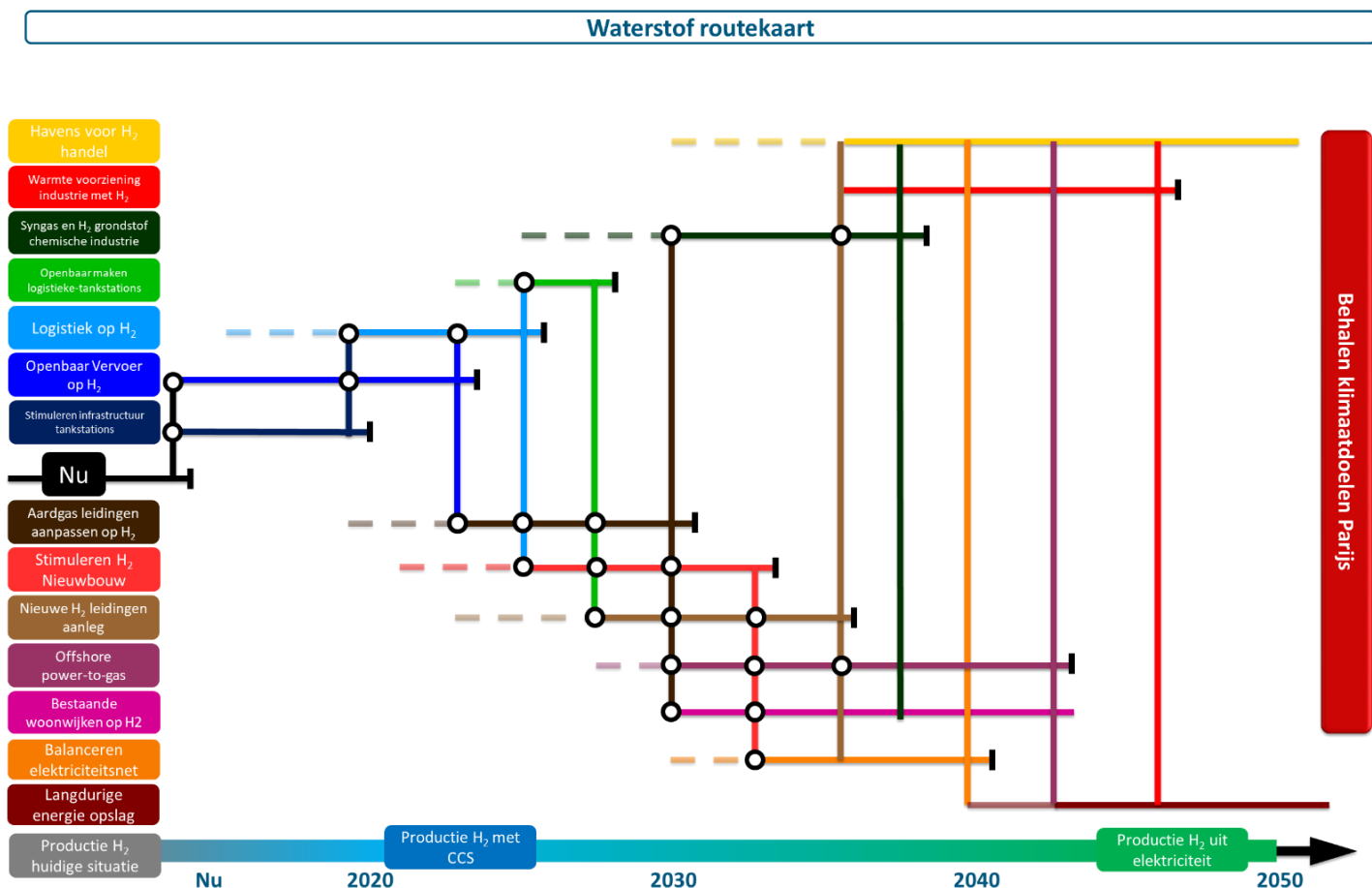
Karakteristiek van het systeem beschreven in documenten	Welke doelen komen voort uit de karakteristieken	Analyse van de karakteristieken		Document
		Kansen	Belemmeringen	
Ingericht op fossiele energiebronnen	Alternatief voor fossiele energie bieden, voor de levering van warmte en elektriciteit	Deze zijn ook goedkoop. Overstappen op fossiele bronnen die minder CO ₂ per hoeveelheid uitstoten	Op langere termijn zullen er alternatieven gevonden moeten worden	SER (2013) TNO (2013) ECN & DNV-GL (2014) SER (2014) IEA (2015b) E4tech (2016) Ministerie EZ (2016)
Trend: Toename van het aanbod duurzame energie	Het systeem moet piekbelasting aankunnen. Balanceren, door middel van tijdelijke opslag	Nederland heeft zelf de mogelijkheid om duurzame energie te genereren op de Noordzee. Goede locatie voor het aansluiten van windparken aan het netwerk op land	Weersafhankelijk; Mismatch tussen vraag en aanbod, fluctuaties. Hierdoor kan niet alle beschikbare duurzame energie worden benut	TNO (2013) ECN (2013) ECN & DNV-GL (2014) SER (2013) IEA (2015b) RLI (2015) E4tech (2016) CE-Delft (2017)
Centrale energieproductie (Relatief nieuwe energiecentrales)	Uitfaseren van fossiele energiecentrales en duurzame alternatieven bieden	Schaal voordelen, goedkopere elektriciteit	Minder flexibiliteit op elektriciteits-netwerk	TNO (2013) ECN (2013)
Veel energieverlies in gebouwde omgeving, isolatie nodig	Duurzaam alternatief voor centrale verwarming met aardgas	Energieverbruik gaat omlaag	Bestaande bebouwing vraagt om extra inzet	PBL & ECN (2011) SER (2013) RVO (2013) RLI (2015) Ministerie EZ (2016)
Geschikte infrastructuur ontbreekt	Infrastructuur nodig voor grootschalig waterstof transport	Het huidige aardgas-netwerk kan geschikt worden gemaakt (aanwezig voor chemische industrie; chloor & kunstmest)	Investeringen nodig in nieuwe infrastructuur en verbeteren bestaande infrastructuur	PBL & ECN (2011) SER (2014) Ministerie EZ (2016)
Luchtkwaliteit moet verbeterd worden	Reduceren luchtvervuiling	Mogelijkheden voor zero-emissie vervoer	Gezondheidsrisico's wanneer geen maatregelen worden genomen	SER (2014) E4tech (2016)
Het systeem moet reserves hebben voor een periode van 3 maanden	Noodreserves in de toekomst ook duurzaam	Duurzame energiereserves, kunnen worden aangevuld met eigen productie	Nederlandse productie van aardgas neemt af	IEA (2015b) E4tech (2016) CE-Delft (2017)
Nederlandse havens zijn belangrijk voor internationale energiesysteem	Nederlandse havens toekomst bestendig maken, dalende handel in fossiele energiebronnen	Nederland houdt een goede internationale handelspositie in de energiemarkt	Bestaande belangen en investeringen in de handel in fossiele energiebronnen	TNO (2013)

Tabel D: Analyse van het huidige energiesysteem op basis van de documenten analyse.

Doelen	Actie/interventie	Impact			Houdbaarheidsdatum en/of Randvoorwaarde	Kosten
		CO2 uitstoot / Lucht kwaliteit	Efficiëntie	Flexibiliteit		
Uitfaseren van fossiele energiecentrales en duurzame alternatieven bieden	Productie van duurzame energie vergroten; windparken, zonneparken en geothermie	++	++	--	Gebeurt nu, aanwezige relevante trend	-
Alternatief voor fossiele energie bieden, als warmtebron, elektriciteit en grondstof	Grondstof grootschalige industrie	++	--	++	2035	-
	Aanbouw waterstof tankstations voor een basis 'dekking' netwerk	+	--	+	Nu – 2025 Doorbreken kip/ei discussie	--
	Bron warmte hoge temperatuur industrie	++	-	o	2040	--
Reduceren luchtvervuiling	Openbaar vervoer op waterstof	+	+	o	Nu – 2025	-
	Logistiek sector rijdt op waterstof	++	+	o	2020 – 2030	-
	Waterstof tankstations van de logistiek openbaar maken	++	o	+	2025 - 2030	o
Infrastructuur nodig voor grootschalig waterstof transport	Gebruik van huidige aardgasleidingen voor waterstof transport	o	+	+	2020 – 2025	+
	Aanleg waterstof transportleidingen	o	o	+	Waterstof gebruik moet eerst omhoog 2030	-
Om kunnen gaan met grote verschillen in aanbod van elektrische energie Vraag en aanbod bij elkaar brengen, tijdelijke opslag	Gebruik van waterstof voor balanceren elektriciteitsnetwerk	++	--	++	Minimaal 20% duurzame energieproductie 2025 – 2030	--
Alternatief voor Centrale Verwarming met aardgas	Aardgasnetwerk bestaande gebouwde omgeving geschikt maken voor waterstof	+	+	o	Waterstof infrastructuur is nodig 2040 – 2050+	-
	Nieuwbouw wijken met waterstof infrastructuur	+	-	o	2030	--
Noodreserves in de toekomst ook duurzaam	Aardgasreserves vervangen door waterstof voor koude winters	+	--	+	Meerdere eisen	--
Nederlandse havens toekomst bestendig maken. Voorbereiden op dalende handel in fossiele energiebronnen	Internationale handel in waterstof faciliteren	+	-	+	2035 – 2050+	?

Tabel E: Acties met scores voor de routekaart, op basis van de documenten analyse.

In tabel D is weergegeven welke kansen en belemmeringen het huidige energiesysteem biedt voor waterstof. Op basis van de doelen besproken in figuur E, zijn vervolgens verschillende acties opgesteld die helpen de doelen te verwezenlijken. Om meer inzicht te krijgen in de acties worden impact-scores gegeven aan de acties, de impact is geduid met een viertal parameters: CO₂-uitstoot, efficiëntie, flexibiliteit en kosten. Deze analyse is een eigen interpretatie van de informatie uit de documenten. De houdbaarheidsdatums of randvoorwaarden voor de acties zijn bepaald aan de hand van de informatie uit de documenten. De doelen, acties, impact parameters en houdbaarheidsdatums vormen de basis voor een concept routekaart, zie figuur VIII.



Figuur VIII: Concept stappenplan, in de interviews is deze voorgelegd aan de respondenten

Toelichting bij de concept routekaart

Op de korte termijn worden vooral het belang gezien van investeren in infrastructuur, daarnaast komt ook duurzaam vervoer naar voren als een goede stap voor het reduceren van CO₂. Het aanleggen van nieuwbouwwijken ingericht op waterstof en nieuwe transportleidingen voor waterstof worden gezien als kansrijke vervolgstappen. Offshore waterstof productie uit windenergie is de sleutel tot een aanzienlijke toename in duurzame waterstofproductie. Waterstof kan ook worden toegepast als grondstof voor meer industriële processen zodat aardgas gebruik kan worden afgebouwd. Ook de bestaande gebouwde omgeving zal moeten beginnen met reduceren van het aardgas gebruik en dat kan door over te stappen op waterstof. Doordat de elektriciteitsproductie verduurzaamt neemt de noodzaak tot balanceren van het elektriciteitsnet ook toe. De prijs van waterstof wordt door verregaande technologische ontwikkeling lager, hierdoor wordt waterstof ook een interessante optie voor het verkrijgen van warmte voor productieprocessen. Het energiesysteem kan nog verder worden

verduurzaamd door waterstof toe te passen als energiereserve voor de wintermaanden waarin de energievraag naar warmte hoger ligt. Doordat het hele energiesysteem minder fossiele energiebronnen gebruikt zal ook de internationale handel in waterstof op grote schaal van de grond komen, hierin kunnen de Nederlandse havens een belangrijke rol spelen.

4.2. Resultaten van de interviews

Om de potentie van waterstof als energiedrager goed in beeld te kunnen krijgen zijn er 11 experts op het gebied van waterstof en energie geïnterviewd. De interviews zijn afgenomen in een semigestructureerde wijze. Er is de experts gevraagd naar het huidige energiesysteem en welke problemen de komende jaren zullen ontstaan betreffend het energiesysteem. Daarna wordt de rol van waterstof in het huidige systeem bekeken om vervolgens de potentie van waterstof in de toekomst uiteen te zetten. De vragen die aan de respondenten zijn gesteld worden *cursief* weergegeven, de respondenten in kwestie worden onderstreept.

4.2.1. Vragen over de karakteristieken van het huidige energiesysteem

Welke ontwikkelingen en trends rondom het energiesysteem zijn te herkennen?

De uitstoot van CO₂ moet worden teruggedrongen, hierover zijn ook internationale afspraken gemaakt. Van Wijk, Van den Dool en Holthausen benoemen dit ook als een van de belangrijkste redenen dat er veranderingen plaats gaan vinden de komende jaren. Het huidige energiesysteem is in zijn geheel gericht op het gebruik van fossiele energiebronnen, bij de verbranding van deze fossiele bronnen komt koolstof vrij in de vorm van CO₂, wat in de atmosfeer terecht komt. Buit: “De energietransitie is iets wat heel belangrijk is en wat ook wel door alle overheden zo gezien wordt ondertussen”. Alle experts onderschrijven dat er meerdere veranderingen staan te gebeuren omtrent het energiesysteem. Het gebruik van Nederlands aardgas zal als gevolg van bovenstaande ontwikkelingen omlaag moeten. Daarnaast zorgen aardbevingen in Oost-Groningen voor schade aan gebouwen wat leidt tot sociale onrust, de Nederlandse politiek merkt dit ook en is genoodzaakt de hoeveelheid aardgas die de NAM oppompt terug te dringen. Bedrijven zoals Gasunie en Holthausen die veel van doen hebben met fossiele gassen merken ook dat de markt aan het veranderen is. Wiersma: “De fossiele business zal langzamerhand gaan afnemen, dus zijn wij opzoek naar nieuw perspectief voor het bedrijf” en Holthausen: “hetgeen wat wij nu doen, dat bestaat straks niet meer. Ons product komt in de verdrukking”. Toch zal het gebruik van aardgas nog niet heel snel afnemen naar nul, een transitie naar duurzame energiebronnen zal vele jaren kosten.

In de periode tot 2050 wordt een grote toename van de hoeveelheid duurzame energie verwacht, met name de offshore windenergie productie zal hierin een grote rol spelen, de experts Van Wijk, Buit, Jepma & Wiersma geven aan dat dit een duidelijke ontwikkeling is. De Heer Jepma verwijst ook naar het energieakkoord waarbij de afspraak is gemaakt dat het opgestelde offshore vermogen van Nederland zal moeten stijgen naar 4,5 GW in 2030. Tegelijkertijd zullen er ook andere duurzame ontwikkelingen gaan plaatsvinden. Bij de Leij benoemt een aantal duurzame ontwikkelingen; “dat er meer geïsoleerd wordt, maar ook dat er meer zonnepanelen neergelegd worden”. De mogelijkheden voor warmtenetten voor de verwarming van gebouwen worden ook bekeken, het is nog niet duidelijk hoe die ontwikkeling in de toekomst vorm wordt gegeven. Bij de Leij verwacht veel van volledig elektrische woningen, andere experts zoals Jepma, Holthausen spreken dit tegen. Zij zien vooral problemen bij het verwarmen van de bestaande gebouwen door middel van elektriciteit, zij zien wel

kansen voor warmtenetten of brandstofcellen om te voldoen aan de warmtevraag. Bij de Leij verwacht dat aardgas nog lang een rol zal blijven spelen bij het verwarmen van bestaande gebouwen. Holthausen ziet ook dat fossiele energiebronnen nog lang een rol zullen blijven spelen, hij zegt er wel bij dat alles op alles gezet moet worden om het aandeel fossiele energiebronnen in 2050 zo klein mogelijk te krijgen.

De transportsector moet ook duurzamer worden, Schaap geeft aan dat er voor deze sector ook duidelijke doelen zijn. Vanaf 2025 mag het openbaar vervoer alleen nog maar zero-emissie voertuigen aanschaffen en dan hebben de openbaarvervoerbedrijven nog vijf jaar om de voertuigen op fossiele brandstoffen uit te faseren. In het afgelopen jaar heeft het aantal elektrisch aangedreven personenvoertuigen een groei doorgemaakt. Jepma omschrijft het als volgt: “Er is een enorme beweging gekomen richting de elektrische auto, met het idee dat daar stroom in moet. Alleen kan dat ook gewoon met waterstof, dat scheelt ook lange laadtijden en stopcontacten”. Het gebruik van waterstof als energiedrager voor de transportsector wordt door Holthausen en Jepma gezien als een kip-ei probleem. Een kip-ei probleem is een situatie waarbij er weinig ontwikkelingen gebeuren doordat verschillende partijen op elkaar wachten. Zo zien bijvoorbeeld Autofabrikanten nog maar beperkte mogelijkheden voor de verkoop van waterstofauto's beschrijft Jepma. Zij vinden dat de benodigde infrastructuur voor het 'normaal' gebruik van waterstofauto's nog ontbreekt. Aan de andere kant staan de bedrijven die de infrastructuur voor de fossiele voertuigen uitbaten, zij vinden dat het aantal waterstofvoertuigen nog veel te laag is om het aanleggen van infrastructuur rendabel te krijgen.

In chemische industriële processen wordt waterstof al veelvuldig gebruikt, alle experts verwachten dat de industriesector voorop zal lopen in het uitbreiden van waterstof toepassingen. Bij de Leij en Holthausen valt het op dat steeds meer bedrijven in spelen op de veranderingen die plaatsvinden in het energiesysteem, zo zijn er ook meer bedrijven geïnteresseerd in toepassingen van waterstof. Ook een groot chemiebedrijf zoals Akzo Nobel verwacht dat in de toekomst de vraag naar waterstof toe zal gaan nemen vanuit de industriesector. Door het vergroten van de schaal van productie verwacht Sandberg dat de productiekosten per kg waterstof omlaag zullen gaan. De eerste 5 tot 10 jaar zal waterstof geproduceerd via 'Steam Methane Reforming' (SMR) de overhand hebben, deze technologie is verder ontwikkeld en kan al op grote schaal worden toegepast. Om daadwerkelijk ook de CO₂-uitstoot te beperken zal SMR gecombineerd moeten worden met de opslag van CO₂, ook wel Carbon Capture and Storage (CCS) genoemd. Verder in de toekomst kan waterstof ook worden geproduceerd via elektrolyse van water, deze technologie kan door technologische ontwikkelingen en schaalvergroting op termijn competitief worden. In loop van de tijd zal er steeds meer groene waterstof worden gemaakt met elektrolyse processen aldus Buit, Sandberg en Wiersma. Wiersma voorziet ook in de toekomst een aanzienlijke vraag naar moleculen vanuit de industrie. Momenteel is 80% van onze energievraag in de vorm van moleculen, de verwachting is dat de energievraag van de toekomst uit 50 á 60 procent moleculen bestaat. De andere energievraag is in de vorm van elektronen, wat betekent dat er meer elektriciteit verbruikt zal worden door apparaten en machines. Jepma onderschrijft dit verhaal, hij beargumenteert dat de vraag naar moleculen aanwezig blijft omdat transport en opslag van moleculen makkelijker is in vergelijking tot elektriciteit; daarnaast zijn moleculen ook nodig voor de productie van apparaten en gebruiksvoorwerpen.

Welke problemen zijn er in het energiesysteem en welke problemen kunnen worden verwacht in het komende decennia?

Bij de trends komt naar voren dat de experts een groei van de hoeveelheid duurzame energie verwachten, het wordt niet alleen verwacht, maar het wordt ook door Van Wijk, Schaap & Holthausen gezien als een noodzaak. Zij noemen daarbij verduurzamen als de reden, immers is het ook afgesproken in het klimaatakkoord van Parijs. In Nederland is het rendement van een zonnepaneel relatief laag door de beperkte hoeveelheid zon. Jepma ziet een aanzienlijke potentie voor windenergie op de Noordzee (4,5 GW voor Nederland), maar door de weersafhankelijkheid van windenergie zullen ook andere bronnen nodig zijn. Belangrijk is dat Nederland grote stappen gaat maken in het verduurzamen van de energieproductie, in 2050 zal minimaal 55% van de energievoorziening duurzaam moeten zijn (EC, 2012). Meer duurzame energie betekent meer elektriciteit dat moet worden getransporteerd, het huidige elektriciteitsnetwerk benodigd grote investeringen om over voldoende capaciteit te beschikken en de knelpunten in het netwerk te verhelpen. Tegenover de groeiende vraag naar capaciteit in het elektriciteitsnet staat het gasnetwerk dat steeds minder gebruikt zal gaan worden. De levensduur van de gasinfrastructuur is echter nog niet bereikt, Jepma en Buit zien dat deze beide problemen elkaar kunnen verhelpen. Een belangrijk onderdeel wordt dan de power-to-gas technologie, welke door gebruik te maken van een elektrolyser elektriciteit kan converteren naar waterstof. Waterstof kan dan worden getransporteerd via het gasnetwerk ook kan waterstof worden opgeslagen voor gebruik bij verschillende toepassingen. De energiesector zal de bovenstaande problemen moeten verhelpen, tevens hebben de andere drie sectoren hun eigen problemen.

De transportsector ontwikkelt momenteel gestaag, dit wordt vooral veroorzaakt door het kip-ei dilemma stelt Jepma, tankstations hebben klanten nodig en andersom heeft een bestuurder een tankstation nodig. Bij het ontbreken van een van beide ontstaat een impasse. De potentie van waterstofvoertuigen is wel aanwezig, een van de redenen is dat het vervoer zero-emissie moet zijn in 2050. In Nederland zijn er subsidies beschikbaar om dit probleem sneller te verhelpen, zoals de DKTI-regeling en het Trans-Europese transportnetwerk (TEN-T) waarmee financiële middelen beschikbaar worden gesteld voor het bouwen van tankstation infrastructuur. Bedrijven met veel leaserijders kunnen een interessante markt gaan worden voor waterstof, hiervoor moet waterstof wel concurrerend worden met diesel. Sommige bedrijven zullen mogelijk al wel geïnteresseerd omwille van een duurzaam imago en het langere rijdbereik ten opzichte van een batterij-elektrisch voertuig.

Alle experts vinden dat de industriesector een grote potentie voor waterstof heeft. Volgens Jepma zorgt internationale concurrentie ervoor dat de chemische industrie nu grijze waterstof gebruikt, in de toekomst zal er een verschuiving gaan plaatsvinden naar 'blauwe' en groene waterstof. Blauwe en groene waterstof is met de huidige technologie te duur in vergelijking tot grijze waterstof, aldus Sandberg en Schaap. Met blauwe waterstof wordt bedoeld op waterstof die gemaakt wordt zoals grijze waterstof, door middel van steam methane reforming. Het verschil tussen blauwe en grijze waterstof is wat er wordt gedaan met de vrijgekomen CO₂, bij blauwe waterstof wordt deze CO₂ opgevangen en vervolgens opgeslagen. Er zijn verschillende processen waarmee in de huidige situatie waterstof wordt verkregen, wat resulteert in een variatie in de kwaliteit (puurheid). De ene toepassing van waterstof vraagt niet om dezelfde kwaliteit als de ander. Schaap vindt dat er onderzoek gedaan moet worden naar wat de gevolgen zijn van het gebruik van een lage waterstof kwaliteit, mogelijk leidt dat tot

nieuwe inzichten. Waterstof kan de voorziening van proceswarmte gebaseerd op aardgas vervangen zodra de productiekosten van waterstof aanzienlijk dalen.

In de gebouwde omgeving is het nog erg onduidelijk hoe verduurzamen eruit komt te zien. De opties zijn volledig elektrische gebouwen of een combinatie van verwarmen en elektriciteit, zo is het in de huidige situatie ook ingericht. Duurzaam verwarmen kan op verschillende wijzen, het vervangen van aardgas door groengas; of aardgas vervangen door waterstof in combinatie met een brandstofcel; of gebruik maken van een warmtenet waarbij verschillende duurzame warmtebronnen gebruikt kunnen worden. Netbeheerders weten niet goed waar zij moeten investeren, hiervoor is eenduidig beleid nodig dat samenhangt met een visie die duidelijk maakt hoe er verduurzaamd gaat worden. Bij de Leij en Jepma merken op dat het huidige beleid erg veranderlijk is doordat de politiek van mening veranderd, dit zorgt voor een erg onzeker investeringsklimaat voor netbeheerders en bedrijven.

In de periode tot 2050 zal er leiderschap nodig zijn van de nationale overheid. Buit verklaart dat de provincie en de gemeente hiervoor niet genoeg macht hebben, daarom zal Den Haag hiervoor de kaders moeten neerleggen. Gemeentes en provinciën hebben verschillende duurzaamheidsdoelen. Het behalen van die doelen kan op verschillende manieren worden ingevuld door beleidsmakers wat leidt tot verschillen in aanpak, voor landelijke netbeheerders is het hierdoor lastig om te komen tot standaardisatie. Bij de Leij zegt dat het onduidelijk en onoverzichtelijk wordt voor de netbeheerders, er wordt gevraagd om te veel maatwerk terwijl het een grootschalig probleem is dat moet worden aangepakt. Verdeeldheid is er niet alleen bij de regionale overheden, maar ook bij energiebedrijven voegt Van den Dool toe. Bedrijven zoals RWE, Nuon/Vattenvall & Engie hebben verschillende visies betreffend het verduurzamen. Ook hierbij zou visie en beleid van de nationale overheid kunnen zorgen voor sturing en duidelijkheid.

De energievoorziening van de toekomst wordt duurzamer, ook steeds meer fossiele energiebedrijven zien dat in en zullen hierin mee moeten gaan, aldus Wiersma en Bij de Leij. Holthausen en Jepma voegen daaraan toe, dat in het bijzonder de bedrijven die een rol spelen in de aardgashandel gaan inzien dat het huidige businessmodel niet toekomstbestendig is. Interesse voor waterstof als alternatief voor aardgas begint bij de energiebedrijven dan ook te groeien. Een toename van de hoeveelheid duurzame elektriciteit die geproduceerd en verbruikt wordt, heeft tot gevolg dat het moment van productie niet overeenkomt met het moment van verbruik. Om productie en verbruik van elektriciteit op elkaar af te stemmen gaat het steeds belangrijker worden dat grote hoeveelheden elektrische energie kunnen worden opgeslagen, benadrukt Van den Dool. Hij noemt het een probleem van energielogistiek en geeft aan dat waterstof hier mogelijk een rol in kan spelen. Het toenemende aandeel van duurzame energiebronnen heeft op de lange termijn ook gevolgen voor de hoeveelheid koolstof die beschikbaar is als grondstof voor de chemische industrie. Van den Dool en Jepma geven aan dat dit momenteel geen probleem is omdat fossiele energie wordt gebruikt wat koolstof bevat, echter resulteert dit weer in CO₂-uitstoot. Met duurzame energiebronnen zal er dus ook moeten worden gezocht naar duurzame koolstof voor de chemische industrie, koolstof uit biomassa zou voor een gesloten koolstofkringloop kunnen zorgen.

De Europese Unie en de Nederlandse overheid hebben de afgelopen jaren geld beschikbaar gemaakt voor onderzoeken, experimenten en pilots. Nieuwe inzichten en kennis worden hiermee opgedaan, een bijkomend probleem is dat niet alle verkregen informatie vervolgens openbaar gepubliceerd wordt. Schaap en Bij de Leij beschrijven dat sommige bedrijven die onderzoeken doen de verkregen

informatie beschouwen als bedrijfsgevoelige informatie waardoor het niet inzichtelijk is voor andere partijen. Het gevolg is dat dezelfde onderzoeken meerdere keren worden uitgevoerd terwijl die kennis er al wel was, het beperkte delen van informatie zorgt voor vertraging van het innovatieproces.

Welke toepassingen van waterstof zijn in het huidige energiesysteem aanwezig?

Van Wijk legt uit dat in het huidige energiesysteem waterstof wordt gebruikt voor de productie van ammoniak, als grondstof voor raffinaderijen en bij de productie van staal in hoogovens. Sinds kort rijden er ook een aantal waterstofvoertuigen in Nederland, deze worden veelal in pilots gebruikt zegt Jepma. Pfeiffer vult aan dat waterstofvoertuigen zo kunnen worden getest, en daarmee de voor- en nadelen in de praktijk inzichtelijk worden.

4.2.2. Vragen over waterstof en de energietransitie

De klimaatdoelen uit het klimaatakkoord van Parijs richten zich op **CO₂-reductie, energiebesparing en hoeveelheid duurzame energie**. Op de site van de Europese Commissie wordt aangegeven dat er 4 sectoren zijn die de uitstoot van broeikasgassen zullen moeten gaan reduceren, namelijk transport, industrie, gebouwen en de energiesector (en de Landbouw in mindere mate).

Welke rol ziet u voor waterstof weggelegd aan de hand van de klimaat doelen?

- ❖ Buit, Schaap & Van den Dool: Een duurzame energiedrager die als alternatief voor fossiele energiebronnen ingezet kan worden. Via deze rol kan waterstof ook veel betekenen voor de CO₂-reductie.
- ❖ Holthausen, Van den Dool & Wiersma: Elektrolyse geeft de mogelijkheid om elektriciteit om te zetten naar waterstof. De energiebehoefte in 2050 zal in toenemende mate elektriciteit zijn, een substantieel deel blijft echter in de vorm van moleculen. Moleculen kunnen makkelijker, in grote hoeveelheden en over langere perioden worden opgeslagen. Netbeheerders kunnen hierdoor vraag en aanbod beter met elkaar afstemmen.
- ❖ Schaap: Zonne- en windenergie produceren elektriciteit afhankelijk van de weersomstandigheden. Op het ene moment is er een productieoverschot en op andere momenten een tekort, via elektrolyse kan de energievraag worden gebalanceerd en opgeslagen. Dit is een voordeel ten opzichte van de huidige situatie waarbij windturbines en zonnepanelen worden uitgezet en de beschikbare energie niet wordt benut.
- ❖ Buit: Het hele energiesysteem vraagt om elektriciteit, warmte en energieopslag. Waterstof kan deze drie rollen vervullen, daarmee kan waterstof de sleutel zijn tot een volledig duurzaam systeem.
- ❖ Holthausen, Pfeiffer, Sandberg & Van den Dool: De chemische industrie heeft grondstoffen nodig voor het maken van allerlei producten, waterstof kan een duurzame grondstof worden als het duurzaam wordt vervaardigd. Duurzame koolstof kan worden verkregen uit biomassa, waterstof en koolstof vormen samen voor veel producten de basiselementen.
- ❖ Jepma & Schaap: De aardgasinfrastructuur in Nederland wordt in de toekomst steeds minder gebruikt, transport van waterstof door deze infrastructuur geeft het een tweede leven.

Bijkomend voordeel is dat er niet een geheel nieuwe infrastructuur voor waterstof hoeft worden opgetuigd.

- ❖ Buit: Nederland is momenteel voor de energievoorziening afhankelijk van landen die olie exporteren, voor aardgas zal Nederland ook steeds meer afhankelijk worden van het buitenland. Door in te zetten op waterstof kan Nederland in de toekomst deels onafhankelijk blijven van andere landen.

Regelmatig wordt het kip/ei dilemma genoemd bij de implementatie van waterstof, hoe kan dat doorbroken worden?

De productie van waterstofvoertuigen en waterstof moet omhoog, schaalvergroting lijdt tot kostenreductie. De aanschafkosten van brandstofcellen moeten ook omlaag, hiervoor geldt ook dat schaalvergroting een rol speelt, daarnaast moet de technologie nog verder worden doorontwikkeld. Om nu al de eerste proeven te doen met het gebruik van waterstof is subsidie nodig vanuit de overheid. Voor het bouwen van waterstoftankinfrastructuur is er momenteel al subsidie beschikbaar, de zogeheten DKTI-regeling, daarnaast zijn er ook Europese subsidies beschikbaar. Voor ondernemers en bedrijven is het van groot belang dat deze subsidies voor een langere periode gelden zodat zij meer investeringszekerheid hebben. Ook andere regelgeving en wetgeving rondom waterstof kan het beste stabiel zijn of in een toekomstplan worden uitgewerkt om investeerders aan te trekken. Naast het beschikbaar stellen van overheidsgeld voor innovatie kan ook worden overwogen om de fossiele alternatieven minder interessant te maken door deze zwaarder te belasten.

Hoe staat uw bedrijf tegenover de aanleg van een aantal waterstof tankstations om de toegankelijkheid van waterstof te faciliteren, zoals in Duitsland momenteel gebeurt? Is er ook een manier om dit via markt partijen te regelen?

Holthausen en Schaap, voor het doorbreken van het kip-ei dilemma zijn er eerst een aantal waterstoftankstations nodig. De Europese Synergy Call en de Nederlandse DKTI-regeling zijn belangrijke subsidies om een aantal waterstoftankstations te realiseren, Holthausen en Wiersma beamen dat. In Nederland kunnen wij veel leren van de aanpak die Duitsland gekozen heeft, het uitwerken van een volledig plan is hier een belangrijke stap in, voegt Sandberg toe. Ook is samenwerking tussen verschillende partijen een belangrijk onderdeel voor een succesvolle uitrol van waterstof in de transportsector. Holthausen geeft ook aan dat het in Duitsland niet vlekkeloos verloopt, zo zijn er al 100 waterstoftankstations maar rijden er nog geen 100 waterstof auto's. Het kleine aantal voertuigen maakt dat de tankstations niet rendabel zijn, een van de oorzaken hiervan is dat de Duitse automobiellindustrie nog geen waterstofauto's op de markt heeft gezet. Hiermee is de automobiellindustrie niet de gemaakte afspraak nagekomen.

Hoe ziet u de rol van waterstof voor de vier grootste energiesectoren? (Transport, industrie, gebouwde omgeving & energie)

	Welke rol heeft waterstof of welke rol kan waterstof spelen	Sector	Experts die dit benoemen
1	Vervangen van aardgas door waterstof, waterstof is dan een energiedrager (i.p.v. een brandstof). Naast elektriciteit blijven er moleculen nodig.	Transport, energie, gebouwde omgeving & industrie	Buit, Wiersma, Pfeiffer, Jepma
2	Grondstof voor de chemische industrie	Industrie	Wiersma, Buit
3	Met elektrolyse elektriciteitsoverschotten opvangen en energie opslaan met waterstof (balanceren). Waterstof kan vervolgens geconverteerd worden naar elektriciteit of warmte voor verschillende doeleinden.	Energie	Buit, Wiersma
4	Productie van waterstof op grote schaal (bulk); Transitie van SMR naar elektrolyse	Industrie & energie	Sandberg, Van den Dool
5	Auto's, vrachtwagens, bussen, treinen, vuilniswagens, drones en boten moeten zero-emissie worden, met een brandstofcel en waterstof is dat mogelijk. Waterstof biedt een alternatief voor de langere laadtijden en de beperkte capaciteit van accu's (gewicht speelt daarbij ook een rol).	Transport	Pfeiffer, Buit, Holthausen, Jepma, Schaap, Wiersma
6	Waterstof kan door middel van de transportsector meer bekendheid krijgen onder de bevolking waardoor acceptatie omhoog gaat	Transport	Pfeiffer, Sandberg, Wiersma, Schaap
7	Verwarming van woningen op wijkniveau via warmtenetten	Gebouwde omgeving	Van Wijk, Sandberg, Holthausen
8	Mogelijkheden tot hergebruik van de gasinfrastructuur in de gebouwde omgeving voor brandstofcellen bij individuele huishoudens	Gebouwde omgeving	Jepma, Pfeiffer

Tabel F: Een overzicht van wat de respondenten beschrijven als een belangrijke rol voor waterstof in het energiesysteem.

In welke sector ziet u waterstof als eerste groeien? Welke sectoren hebben vervolgens de meeste kansen voor het gebruik van waterstof?

In de chemische industrie en de transportsector zal de komende 10 jaar de meeste groei plaats gaan vinden. Dit onderschrijven meerdere experts in de interviews. Hierbij wordt ook vaak benoemd dat de transportsector kleine volumes benodigd en de industrie heeft hele grote volumes nodig om processen ook op grote schaal uit te kunnen voeren.

Hoe zeker of onzeker is het dat waterstof onderdeel van het energiesysteem zal worden?

Meerdere experts geven aan dat de kans dat waterstof een onderdeel van het energiesysteem zal gaan worden een serieuze mogelijkheid is. Zij zien kansen voor het balanceren van de toenemende hoeveelheid duurzame elektriciteit die wordt opgewekt met wind en zonne-energie. Ook overproductie van elektriciteit kan door middel van waterstof worden opgeslagen en voor verschillende toepassingen worden gebruikt. Maatschappelijke acceptatie en consistente wet- en regelgevingen zijn belangrijk bij het verwezenlijken van een energiesysteem met waterstof.

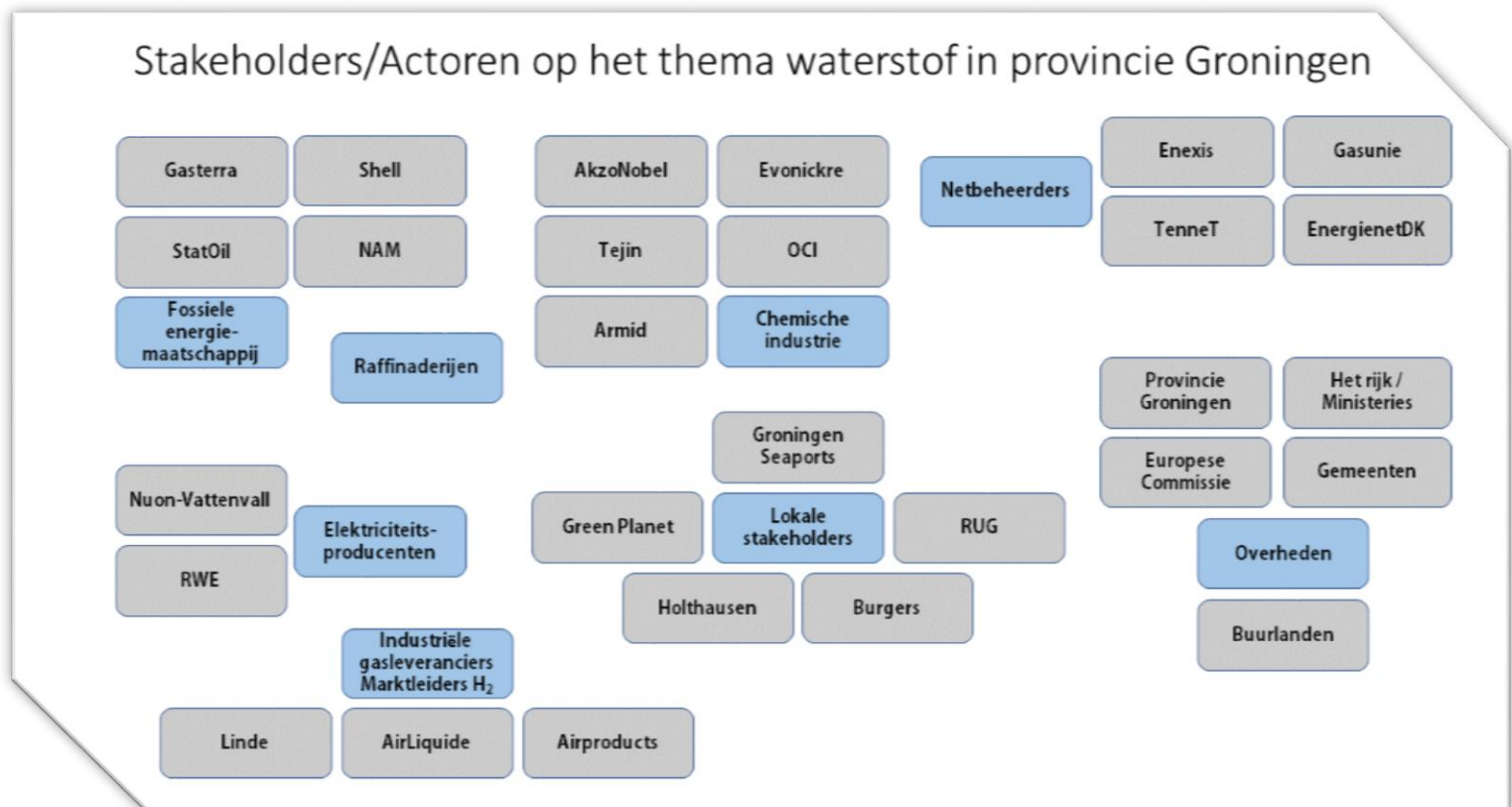
4.2.3. Vragen over de verschillende betrokken partijen en hun belangen

Wat zijn uw belangen binnen de transitie naar een waterstofinfrastructuur?

	Belangen	Bedrijf	Naam respondent
1	Voortrekker van het gebruik van waterstof	TU Delft & NIB	Van Wijk
2	Mee gaan met de nieuwe innovaties	RHDHV	Pfeiffer
3	Werkgelegenheid en positionering provincie	Provincie Groningen	Buit
4	Hoogleraar conversietechnieken, betrokken bij Horizon 20-20 en Store&Go	RUG & Energy Delta Institute	Jepma
5	Benutten van marktkansen	Akzo Nobel	Sandberg
6	Duidelijkheid voor toekomstige investeringen infrastructuur van Enexis	Enexis	Bij de Leij
7	Het hebben van een toekomstperspectief voor Gasunie als bedrijf, door het verduurzamen zal het aardgasverbruik af gaan nemen	Gasunie	Wiersma
8	Het stimuleren van groei in de haven van Delfzijl en de Eemshaven	Groningen Seaports	Van den Dool
9	Faciliteren verduurzamen transportsector	Ministerie IenW	Schaap
10	Tankstation dat mee wil met de nieuwste innovaties	Green Planet	Ter Veld
11	Handelt in industriële gassen, ziet in waterstof toekomstperspectief	Holthausen	Holthausen

Tabel G: De belangen van de respondenten en de bedrijven waaraan zij verbonden zijn.

Wat zijn volgens u de belangrijke stakeholders/actoren voor een groei van het gebruik van waterstof?



Figuur IX: Belangrijkste stakeholders voor waterstof toepassingen, op basis van input van de respondenten.

Werkt u samen met andere partijen? Wordt er kennis gedeeld binnen de samenwerking?

Samenwerkingen

- Buit geeft aan dat hij betrokken is bij een Greendeal; daarbij wordt een overeenkomst gesloten tussen bedrijven, provincies en gemeenten, samen willen zij een aantal experimenten met waterstof mogelijk maken. Daarbij wordt ook overlegd met verschillende ministeries van de nationale overheid.
- Door middel van gelijktijdige investeringen kan ervoor worden gezorgd dat concurrerende bedrijven investeren in het ontwikkelen van nieuwe innovaties. Aangezien dit een kostbare aangelegenheid is willen bedrijven niet dat de concurrentie van hun ideeën profiteert.
- Doordat het een nieuwe technologie is moet er ook worden samengewerkt met potentiële concurrenten. Daarmee wordt het meeliften ook beperkt, het ontwikkelen van technologieën kost eenmaal geld.
- Nationaal waterstofplatform
- Het delen van kennis is en blijft binnen samenwerking(en) een lastig dilemma, bedrijven die investeren in onderzoeken en innovaties hopen daarmee een competitief voordeel te behalen ten opzichte van de concurrentie. Het delen van de nieuwe informatie aan de buitenwereld ligt daarmee erg gevoelig.
- HyStock: Gasunie & TenneT, het project bij Zuidwending.

- Ook offshore plannen voor een eiland bij de Doggersbank wordt gedaan via een samenwerking met verschillende partijen. Gasunie, Tennet, EnergieNetDK
- Bij de Magnum centrale van NUON wil men een van de turbines op waterstof laten draaien. De waterstof in dit plan zal uit Noorwegen moeten komen en wordt via steamreforming verkregen uit Noors aardgas. Betrokken partijen: NUON, StatOil.
- DOW en YARA, twee chemie-industrie bedrijven zijn aan elkaar verbonden met een aardgasleiding van Gasunie, de leiding transporteert waterstof in plaats van aardgas. Met dit initiatief kan transport over de weg worden gestopt, het zorgt voor CO2-reductie, minder fijnstof uitstoot en ook wordt de drukte op de wegen verminderd.

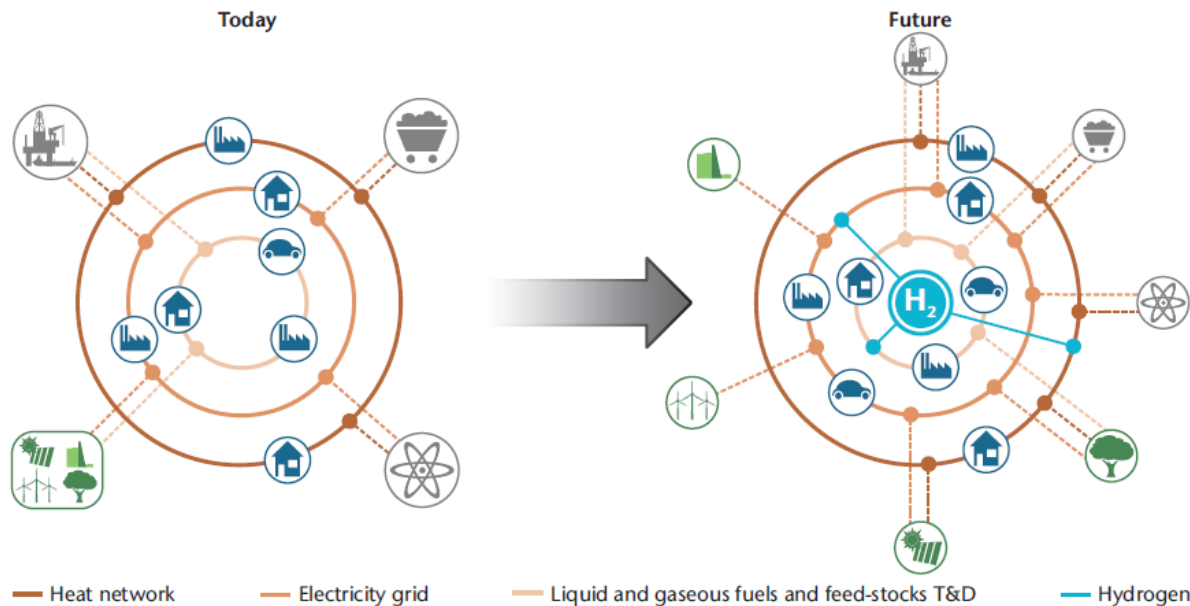
Welke maatregelen en acties zijn nodig	Sector en onderdeel	Doelen	Benoemd door welke expert(s)
Visie			
Langetermijnplanning en een energieakkoord	Alle sectoren en afstemming daartussen	Vergroening en verduurzamen	Buit, Jepma, Wiersma
Productie waterstof met CCS			Sandberg
Focus op de meest economisch haalbare toepassingen van waterstof		Betaalbaarheid	Van den Dool
De chemische industrie heeft in de toekomst wel duurzame grondstoffen nodig, biomassa kan hiervoor een bron zijn.	Industrie	Groene koolstof	Jepma
Subsidies			
DKTI-regeling	Distributie	Technologische innovatie stimuleren	Jepma, Wiersma
SDE-subsidie ook voor waterstof	Productie		
Greendeals	Distributie & Productie		
Regelgeving			
Vergunningen, planning	Distributie & afname	Coördinatie, meer duidelijkheid voor investeerders	Jepma, Wiersma, Holthausen
CO2 belasting, op Europese schaal			Holthausen
Schaalvergroting productie			
Duurzame elektrische-energieproductie	Productie voor alle sectoren	Economies of scale	Jepma, Buit, Sandberg, Bij de Leij, Wiersma
In het specifiek offshore windenergie			Jepma, Sandberg, Bij de Leij, Wiersma
Waterstofproductie			Sandberg, Jepma

Vergroten zichtbaarheid van waterstof			
	Afname	Bekendheid, Acceptatie en Veiligheid	Buit, Sandberg, Schaap
Energieopslag & balanceren			
	Distributie & opslag	Leveringszekerheid	Buit, Van den Dool, Bij de Leij, Wiersma, Jepma, Holthausen
Technologische ontwikkelingen			
Brandstofcel	Afname door transportsector & gebouwde omgeving	Innovatie en kosten reductie	Jepma, Holthausen
Elektrolyse (Levensduur apparaten)	Productie		Jepma, Sandberg, Bij de Leij, (Van den Dool)
Distributie			
Kunnen elektriciteitsnet verzwaringen worden beperkt of worden vermeden	Distributie	Kosten reductie	Bij de Leij, Jepma, Buit, Holthausen
Hergebruik gasinfrastructuur			Pfeiffer, Buit, Jepma, Sandberg, Bij de Leij, Wiersma, Holthausen
Waterstof hubs in Nederland		Grotere volumes	Sandberg
Waterstoftankstations ontwikkelen	Transportsector	Kip-ei dilemma doorbreken	Holthausen
Nieuwe waterstof leidingen	Distributie		Van den Dool
Warmtenetten en verwarming met brandstofcellen	Gebouwde omgeving	Duurzaam verwarmen	Van Wijk, Sandberg, Jepma, Holthausen, Pfeiffer

Tabel H: Acties en doelen voor het waterstof stappenplan benoemd in de interviews.

Kansen en business cases

Door onder andere de IEA wordt waterstof gezien als een brug tussen de levering van grondstoffen, warmte en elektriciteit hoe ziet u dit?



Figuur X: Schematische weergave van een mogelijk toekomstig energiesysteem. Herdrukt van "The energy system today and in the future" IEA, 2015b, p.10.

Waterstof als grondstof voor de chemie is nu al een duidelijke toepassing van waterstof, echter gaat het nu nog om grijze waterstof. In combinatie met groene CO₂ uit biomassa kan er groen syngas worden gemaakt, in de chemische industrie wordt nu ook al (grijs) syngas als grondstof gebruikt. Waterstof is een energiedrager die kan worden gebruikt voor de aandrijving van elektrische voertuigen. Een brandstofcel is nodig voor de omzetting van waterstof naar elektriciteit, bij dit proces komen water en warmte vrij waardoor waterstofvoertuigen niet schadelijk zijn voor het milieu.

Naast het gebruik van waterstof als grondstof door de chemische industrie, kan waterstof in de toekomst ook andere industrieën bedienen met waterstof om de warmtevrage van de industrie te verduurzamen. Via warmtenetten op wijkniveau kunnen ook huizen van warmte worden voorzien; waterstof kan bij een tekort aan beschikbare warmte worden verbrand om het warmtenet aan te vullen. Het elektriciteitsnetwerk kan ook gebruik maken van waterstof, door elektrolyse kan het netwerk worden gebalanceerd. Elektrolyse maakt ook opslag van grote hoeveelheden energie mogelijk, dit wordt momenteel gedaan door aardgas op te slaan. Ook het transport van waterstof heeft voordelen ten opzichte van elektriciteit, er kan gebruik worden gemaakt van het bestaand aardgasdistributie netwerk.

Verduurzamen kan door het elektrificeren van apparatuur en processen, sommige onderdelen zijn echter lastig te elektrificeren, een alternatief daarvoor is een duurzame energiedrager. Waterstof is een duurzame energiedrager die deze rol zou kunnen vervullen.

Welke businesscases rondom waterstof zijn momenteel het meest kansrijk?

Van den Dool geeft aan dat het hierbij allemaal gaat om economische haalbaarheid, en deze kan gestimuleerd worden of optimaler worden gemaakt. Door bijvoorbeeld de CO2 belasting te verhogen kunnen de fossiele alternatieven minder rendabel worden gemaakt. Maar ook de productie van groene waterstof zou kunnen gestimuleerd worden door de productie kosten omlaag te brengen. Holthausen ziet potentie voor het vervangen van dieselauto's met waterstofauto's, de meeste dieselauto's zijn bedrijfsauto's die grote afstanden per dag afleggen. Voor dit doeleinde zijn elektrische auto's minder geschikt omdat er in de routeplanning veel rekening gehouden moeten worden met laadlocaties en laadtijden. Het gebruiksgemak van een waterstofauto is dus groter, mits er meer waterstoftankstations beschikbaar zijn. Ook Wiersma ziet als eerste ontwikkelingen plaatsvinden in de transportsector, daarnaast verwacht hij ook dat in de chemische industrie de vraag naar waterstof blijft toenemen.

Jepma denkt dat de chemische industrie als eerste kansen heeft voor nieuwe toepassingen van waterstof. Daarnaast verwacht hij ontwikkelingen in de transportsector wat kan leiden tot een strijd tussen elektrische auto's en waterstofauto's. Sandberg verwacht ongeveer dezelfde ontwikkeling, wel voegt hij toe dat de transportsector belangrijk kan zijn in het creëren van draagvlak voor waterstof in de samenleving. Bij de Leij ziet waterstof in de toekomst als een algehele vervanger van aardgas, hij geeft hierbij wel de kanttekening dat de productievolumes eerst omhoog zullen moeten.

Hoe kan ervoor worden gezorgd dat die investeringen daadwerkelijk gaan plaatsvinden? En hoe kunnen deze worden opgeschaald?

Opschaling van de productie van waterstof gaat essentieel worden voor het omlaag brengen van de kosten van één kilo waterstof. Bijna alle experts benoemen het belang van grootschalige productie van waterstof. In de huidige situatie gebeurt dat vooral door middel van steamreforming, dit proces zorgt wel voor CO2-uitstoot in de lucht. Bij steamreforming kan de CO2 wel worden afgevangen om het vervolgens onder de grond op te kunnen slaan. Bij CO2 opslag gaat het om blauwe waterstof, er komt wel CO2 vrij bij het productieproces maar er is dus geen CO2-uitstoot in de lucht. Groene waterstof wordt geproduceerd via een proces genaamd elektrolyse, om dit op grote schaal toe te passen is verdere technologische ontwikkeling nodig. Daarnaast speelt ook de elektriciteitsprijs een belangrijke rol aangezien bij elektrolyse elektriciteit wordt ingezet voor het splitsen van water in zuurstof- en waterstofmoleculen. In Nederland zijn er plannen voor een elektrolyser van 1 MW en een van 20 MW (Gasunie. (2018). Van den Dool geeft aan dat er in het verleden al op een grotere schaal waterstof is geproduceerd door middel van elektrolyse. De elektrolyser heeft gestaan in Noorwegen en had een vermogen van 135 MW, deze is echter in de jaren 90 afgeschreven en afgebroken (NEL, 2017). Veiligheid in combinatie met regelgeving zijn ook twee aspecten die door meerdere experts worden bestempeld als belangrijk. De industriesector heeft al aangetoond dat het gebruik van waterstof veilig en zonder problemen kan. Op industrieterreinen gelden andere risicocontouren dan op de openbare weg of in steden, daarom is nieuwe regelgeving nodig die bepaald wat de eisen zijn voor veilig gebruik van waterstof door particulieren. Verder is maatschappelijke acceptatie van waterstof als energiedrager is een belangrijk aspect. Door duidelijke vergelijkingen te maken met de huidige fossiele brandstoffen en uit te leggen waarom het gebruik van waterstof ook nuttig is in combinatie met het elektrificeren van machines en apparaten.

Wat zijn de grootste belemmeringen voor het investeren in de waterstofinfrastructuur? Wat is het grootste risico?

- Er zijn wel kosten aan verbonden, dit is echter ook het geval bij andere duurzaamheidsprojecten. Naar mate de schaalgrootte toeneemt gaan de kosten relatief gezien omlaag.
- Onzekerheid over regelgeving en beleid is een van de grootste belemmeringen wat betreft investeringen. De overheid kan hierin een rol spelen door een lange termijnvisie voor Nederland op te stellen, het afstemmen van deze visie op de brandstofvisie en het energieakkoord is daarbij belangrijk.
- Bijvoorbeeld de wetgeving rondom het openbaar vervoer dat per 2025 zero-emissie moet worden, dit zorgt voor duidelijkheid bij partijen die moeten gaan investeren in nieuwe voertuigen. Ook beleid en regelgeving voor het gebruik van aardgasleidingen voor de distributie van waterstof moet duidelijk worden, het rapport van DNV-GL (2017) gaat in op de geschiktheid van de bestaande aardgasinfrastructuur.
- Maatschappelijke acceptatie van waterstof; veel mensen associëren het met grote risico's, terwijl de risico's niet veel anders zijn dan bij het gebruik van aardgas.
- Het creëren van duidelijke criteria verbonden aan de certificaten voor blauwe- en/of groene-waterstof. Hierbij is het belangrijk dat de normen en regels hetzelfde zijn in alle Europese landen, dat scheidt duidelijkheid en voorkomt verwarring, aldus Jepma.
- Ambities voor een volledig elektrische samenleving; de laatste decennia is er vol op ingezet op het volledig elektrificeren van huizen, auto's en industriële processen, wat tot gevolg zal hebben dat het huidige elektriciteitsnetwerk onvoldoende capaciteit heeft. Het investeren in het versterken van het elektriciteitsnetwerk brengt hoge kosten met zich mee. Daarom moet ook worden gekeken naar de mogelijke alternatieven. Waterstof gebruiken als een energiedrager is een alternatief met veel potentie aldus Van Wijk & Jepma. Het voordeel van waterstof is dat het getransporteerd kan worden via het bestaande aardgas netwerk, mist het aardgasnetwerk daarvoor geschikt gemaakt wordt. Van Wijk heeft berekend dat de investeringen voor het geschikt maken van het gasnetwerk bijna 10 keer goedkoper zijn dan de investeringen die nodig zijn het transport via elektriciteitskabels.

4.2.4. Het volgen van ontwikkelingen op het gebied van waterstofinfrastructuur

Is er genoeg informatie beschikbaar over trends en ontwikkelingen en over kosten en baten van een waterstofinfrastructuur?

De experts benoemen vaak het kip-ei dilemma wat hierbij een barrière is voor investeringen, dit doorbreken kan alleen wanneer er op de verschillende vlakken tegelijkertijd actie wordt ondernomen. Er moet worden geïnvesteerd in de tankstation infrastructuur, zodra de eerste paar tankstations worden gerealiseerd is de afname van waterstof bij de tankstations van belang voor de haalbaarheid van de business case. Ook de productie en beschikbaarheid van waterstof is nodig om dit initiatief tot een succes te maken. Subsidies zullen de eerste 5 tot 10 jaar nog nodig zijn om een deel van het verkeer

op waterstof te laten rijden en deze business case door te ontwikkelen naar een die zonder subsidie kan bestaan. Het is wel belangrijk dat het bedrijfsleven de ondernemersrisico's draagt, daarbij kunnen zij op de lange termijn ook weer de vruchten plukken.

Het laatste jaar zijn er een aantal initiatieven van de grond gekomen wat betreft infrastructuur voor waterstof. Het initiatief van Holthausen, Green Planet & Gasunie is gericht op het creëren van een waterstof tankstation infrastructuur. Dit initiatief is genaamd 'our number one element', en het sluit goed aan bij het EU CEF programma (TSO2020, 2017), dat geïnitieerd is van uit de Europese Unie. Ook de Nederlandse overheid probeert waterstof als energiedrager voor de transportsector te stimuleren door middel van de DKTI-regeling, met deze regeling worden experimenten gesubsidieerd zodat productontwikkeling kan worden versneld (RVO, 2017). Subsidie is hierbij ook essentieel omdat het nog een vrij nieuwe techniek is waar de ontwikkelingskosten de economische competitiviteit van de business case flink omlaaghaalt.

Holthausen en Sandberg letten op de ontwikkelingen in Duitsland en geven aan dat de situatie net wat anders is. In Duitsland heeft men een brede coalitie van overheid, autofabrikanten, Shell, Total en partijen zoals Linde en AirLiquide, samen zijn zij bezig 400 waterstoftankstations in Duitsland aan te aanleggen. De waterstoftankstations worden in 5 jaar aangelegd en moeten zorgen voor een basisnetwerk zodat er voldoende dekking is voor het gebruik van waterstofvoertuigen. Nederland kan van het Duitse voorbeeld leren in de zin dat zaken beter kunnen, maar ook dat sturing en visie van de gezaghebbende overheden belangrijk is voor het mandaat van het initiatief. Overheden kunnen de initiatieven stimuleren door wetgeving en door middel van het ruimte creëren voor pilots.

4.3. Analyse van de provincie Groningen

Voordat een waterstof routekaart kan worden gemaakt voor de provincie Groningen zal deze paragraaf een korte analyse geven van de huidige stand van zaken in de provincie Groningen. Daarvoor worden de vier belangrijkste sectoren geanalyseerd en besproken.

Transportsector

In de transportsector vinden enkele experimenten en ontwikkelingen plaats met waterstof, op 22 februari 2018 is het eerste waterstoftankstation in Noord-Nederland geopend in Delfzijl (Groningen Seaports, 2018). Deze is gebouwd om twee waterstofbussen van energie te kunnen voorzien, de locatie in Delfzijl is gekozen omdat Akzo Nobel daar waterstof als restproduct produceert. De waterstof komt vrij bij de productie van chloor en kan als duurzaam worden aangemerkt. Vanaf 2030 zullen alle openbaar vervoer bussen emissievrij moeten worden, daarom worden experimenten gedaan met waterstofbussen (FD, 2017). Tevens zijn er plannen voor het testen van een trein op waterstof, in 2019 zal tussen de stations Groningen en Zuidhorn een experiment gaan plaatsvinden (OVpro, 2018). Holthausen Groep is bezig met het ombouwen van conventionele voertuigen naar waterstofvoertuigen, zij hebben onder andere al een Tesla en een veegwagen omgebouwd (Dagblad van het Noorden, 2018).

IndustrieseCTOR

Waterstof wordt door de chemische industrie al jaren gebruikt voor de productie van kunstmest en methanol (RTV Noord, 2017). Waterstof voor de chemische industrie wordt gemaakt door middel van Steam Methane Reforming, dat wil zeggen het kraken van aardgas tot waterstof en CO₂. De meeste bedrijven doen de productie van waterstof nabij de locatie van de vervolg-processtappen, daardoor vindt er nauwelijks transport van waterstof plaats. De provincie Groningen heeft in Delfzijl relatief veel

chemische industrie, op het Chemie Park Delfzijl wordt dan ook waterstof geproduceerd. (Provincie Groningen, 2017). Ook wordt er op het Chemie Park Delfzijl door Groningen Seaports gewerkt aan een distributieleiding voor waterstof. Van den Dool heeft aangegeven dat Groningen Seaport daarmee de handel in waterstof wil faciliteren voor de industrie op het Chemie Park Delfzijl.

Energiesector

In 2016 heeft de provincie Groningen duurzaamheidsdoelen opgesteld, met 21%, 60% en 100% in 2020, 2035 en 2050 respectievelijk zijn deze doelen ambitieuzer dan de doelen van Nederland als geheel (Provincie Groningen, 2017). Het aandeel duurzame energie in 2016 was 15,6 procent, met grote aandelen voor windenergie en biomassa. Vooral de kolencentrales van RWE en gascentrale van Engie zorgen voor veel CO₂ uitstoot (ING Economisch Bureau, 2018). De provincie heeft ook meerder internationale elektriciteitsnet verbindingen met het buitenland, er zijn verbindingen met Noorwegen, Denemarken en Duitsland. Groningen is een energie intensieve provincie, door het aardgasreservoir in Slochteren is Groningen ook sinds de jaren 60 van belang voor heel Nederland. Met de aangekondigde afbouw van de aardgasproductie moet worden gezocht naar (duurzame) alternatieven. Ook in de toekomst zal Groningen een energie producerende provincie zijn, met komst van windparken en zonneparken op land en op zee (Provincie Groningen, 2017).

De distributie van energie wordt verzorgd door de Gasunie en TenneT, voor het verduurzamen van het energiesysteem zullen beide bedrijven een belangrijke rol spelen. Gasunie is ook betrokken bij een aantal experimenten met waterstof, in Zuidwending wil Gasunie duurzame elektriciteit gaan omzetten naar waterstof met een elektrolyser van 1 MW (Aardgasbuffer Zuidwending, 2018). Gasunie en Akzo Nobel hebben ook aangekondigd dat zij samen een elektrolyser van 20 MW willen gaan bouwen en daarmee willen zij schaalvergroting mogelijk maken (Gasunie, 2018).

Gebouwde omgeving

Het energieverbruik in huishoudens kan worden opgedeeld in elektriciteit en warmte, 84 procent van het energieverbruik is warmte. Het energieverbruik per huishouden ligt in de provincie Groningen hoger dan gemiddeld, dat valt te verklaren met de grootte en de leeftijd van de woningen. Isolatie is in deze woningen vaak verouderd waardoor het energieverbruik hoger uitvalt. Verder heeft de provincie Groningen relatief veel vrijstaande woningen in het buitengebied, deze verbruiken ook meer energieverbruik (Provincie Groningen, 2017). Een kwart van de huishoudens zal in 2030 aardgasloos moeten zijn volgens de plannen van het kabinet (Trouw, 2018). Het einddoel in 2050 is dat alle woningen aardgasloos worden. In Hogeveen zijn er plannen voor een experiment met een woonwijk op waterstof, daarbij is het plan dat waterstof in de warmtebehoefte van de woningen gaat voorzien (Stadszaken, 2018).

5. Toepassen van DAPP aanpak

In het voorgaande hoofdstuk zijn documenten geanalyseerd en is door middel van interviews informatie verzameld. De inzichten uit documenten en interviews dienen als input voor de DAPP aanpak, in dit hoofdstuk worden deze gebruikt voor het bepalen van de randvoorwaarden en houdbaarheidsdatums. Voor het bepalen van de randvoorwaarden en houdbaarheidsdatums is ook gekeken naar de vervolgacties, en wat daarbij de minimale vereisten zijn om aan de volgende actie te beginnen.

5.1. Acties voortkomend uit een analyse van documenten en interviews

Langetermijnvisie in combinatie met lange termijnbeleid

Zowel de experts als de documenten benadrukken dat lange termijnvisie en bijbehorend beleid belangrijk zijn voor het maken van stappen in de richting van een duurzame energievoorziening. In de lange termijnvisie moet worden beschreven hoe de vier sectoren gaan verduurzamen, op welke duurzame technologie zet men in en hoe worden de vervuilende energiebronnen afgebouwd. Van den Dool merkte op dat de chemische industrie in de toekomst duurzame grondstoffen nodig heeft in grote volumes. Groene waterstof kan geproduceerd worden via elektrolyse technologie en koolstof wat ook voor veel processen een belangrijke grondstof is, kan worden hergebruikt in plaats van als CO₂ in de lucht te worden uitgestoten. De prijs die betaald moet worden per ton CO₂-uitstoot is een instrument die invloed heeft op het gebruik van fossiele brandstoffen. Een mogelijke ingreep zou het instellen van een minimale CO₂ prijs kunnen zijn of het uit de handel nemen van emissierechten. Ingrepen in combinatie met een langetermijnvisie kunnen ervoor zorgen dat de CO₂ prijs steeds een beetje toeneemt, daarmee worden duurzame alternatieven geleidelijk competitiever.

Randvoorwaarden: Geen Houdbaarheidsdatum: 2020

Subsidies voor het stimuleren van duurzame investeringen

Uit de documenten analyse en de interviews komt naar voren dat subsidies nodig zijn om investeringen op gang te brengen en schaalvergroting te realiseren. Zowel door de experts als in de documenten wordt het subsidiëren van waterstoftankstations gezien als een belangrijke actie. De kosten voor de aanleg van tankstations voor waterstof zijn hoog en worden normaal gesproken terugverdiend door middel van de verkoop van brandstoffen, echter is er door het kip-ei probleem ook nog een beperkt aantal afnemers van waterstof. Subsidies kunnen het kip-ei probleem doorbreken, zodra er eenmaal een netwerk is van waterstoftankstations wordt het voor bedrijven en individuen steeds interessanter om voertuigen op waterstof aan te schaffen. Naar mate het aantal tankstations en voertuigen toeneemt kan de subsidie worden afgebouwd. Het is voor investeerders een minder risicovolle investering wanneer er een plan klaarligt voor een langere periode, aangezien er ook over een langere periode kan worden terugverdiend. Naast de transportsector heeft ook de gebouwde omgeving baat bij een subsidieprogramma.

De gebouwde omgeving moet ook verduurzamen, de energievraag kan worden opgedeeld in warmte en elektriciteit. De Rijksdienst voor Ondernemingen (RVO) adviseert om gebouwen te verduurzamen volgens het Trias Energetica principe. Ten eerste wordt er dan ingezet op het beperken van de energievraag, ten tweede wordt de voorkeur gegeven aan gebruik van duurzame energiebronnen, en ten derde wanneer fossiel energiegebruik onvermijdelijk is gebruik het dan zo efficiënt mogelijk (RVO, 2013). Isolatie is een manier om de energievraag van een gebouw te beperken, daarnaast kan ook worden gekeken naar de efficiëntie van apparaten in het gebouw. Ook de manier van het verwarmen

van gebouwen heeft hier invloed op, in de huidige situatie wordt veelal aardgas verbrand in de centrale verwarmingsketel. Verwarmen van gebouwen kan ook met waterstof en een brandstofcel of door middel van een warmtenet waarbij op wijkniveau warmte wordt gedistribueerd, daarnaast is er de warmtepomp welke vooral elektriciteit gebruikt. De experts zijn het hierover niet eens en ook in de documenten analyse werden de verschillende opties besproken. Bij de Leij verwacht dat de gebouwde omgeving volledig elektrisch gaat worden en gebouwen door middel van een warmtepomp verwarmd zullen worden. Jepma en Wiersma trekken dit in twijfel omdat volledig elektrische gebouwen veel van het elektriciteitsnetwerk vragen, wat betekent dat er flink geïnvesteerd moet worden in het elektriciteitsnetwerk. Daarbij kaarten zij aan dat het huidige aardgasnetwerk ook hergebruikt kan worden voor distributie van andere stoffen zoals waterstof.

Naast duurzame investeringen in het energiesysteem zijn ook innovatie en onderzoek van belang voor het succes van de toepassingen van waterstof. Brandstofcellen en elektrolyzers kunnen door onderzoek en verder innoveren worden verbeterd, zodat de efficiëntie en/of de kwaliteit kan worden verbeterd. Compressoren voor het opslaan van waterstof zijn een duur onderdeel in het energiesysteem, onderzoek naar nieuwe materialen kan hierbij voor een mogelijke doorbraak zorgen. Subsidies voor technologisch onderzoek zijn daarom belangrijk voor het verduurzamen van het energiesysteem.

Randvoorwaarden:

Langetermijnvisie

Houdbaarheidsdatum: 2040

Wet- en regelgeving en beleid op elkaar aan laten sluiten

Naast subsidies zijn ook wet- en regelgeving van belang bij het verduurzamingsvraagstuk. Wetten en regels kunnen werken als een stok achter de deur, zo kan de markt worden beïnvloed door minimale duurzaamheidseisen op te leggen. Marktpartijen staan over het algemeen niet positief tegenover wetgeving zoals deze, daarom is het op elkaar afstemmen van visie en beleid met wet- en regelgeving van belang. Door duurzaamheidsdoelen te koppelen aan een plan en deze op te leggen voor de middellange- en lange termijn weten bedrijven en investeerders in welke richting beleid zal ontwikkelen. Hiermee wordt duidelijkheid geschept waardoor de onzekerheid rond investeringen afneemt. Adaptief beleid is daarbij de sleutel tot effectieve wet- en regelgeving, zodat nieuwe innovaties kunnen bijdragen aan een duurzaam energiesysteem.

Randvoorwaarden:

Langetermijnvisie

Houdbaarheidsdatum: 2030

Schaalvergroting

Het maken van waterstofvoertuigen en brandstofcellen kan goedkoper worden door productie op grote schaal met machines. Waterstof speelt al een aanzienlijke rol in de chemische industrie, onder andere bij de productie van kunstmest. De benodigde waterstof voor de chemische industrie wordt veelal gedaan met SMR van aardgas door de industrie zelf, hierbij spelen de hoge transportkosten van waterstof vooral een belangrijke rol. Sandberg ziet grootschalige elektrolyse met duurzame elektriciteit als de manier om de kosten van groene waterstof te reduceren. Hiervoor is goedkope duurzame elektriciteit in grote hoeveelheden nodig, momenteel heeft Nederland iets meer dan 6% duurzame energie (CBS, 2016). Het aandeel duurzame energie zal dan ook omhoog moeten, de Europese Commissie gaat uit van een minimum van 55% in 2050 (EC, 2012).

De productie van duurzame energie zal moeten toenemen, bij een aandeel van 20% van de totale energieproductie ontstaan er soms overschotten aan duurzame elektriciteit. Tijdens een energie overschot daalt de energieprijs en kan waterstof worden geproduceerd tegen een lagere prijs. Wanneer er een lineaire groei plaatsvindt tussen nu en 2050 zal rond het jaar 2030 20% van de opgewekte energie duurzaam zijn.

Randvoorwaarden: minimaal 20% duurzame energie
Houdbaarheidsdatum: 2030

Vergroten bekendheid en zichtbaarheid van waterstof

Het spreekwoord ‘onbekend maakt onbemind’ geldt ook voor het gebruik van waterstof. Sandberg en Schaap spreken uit dat waterstof door vele mensen nog als een gevaarlijk gas wordt gezien. Dit is echter onterecht, aangezien waterstof niet veel verschilt met aardgas. In het dagelijks leven wordt aardgas voor vele doeleinden gebruikt, de meest bekende zijn het opwekken van elektriciteit, het verwarmen van huizen, koken op aardgas en als brandstof voor voertuigen. Waterstof kan precies voor dezelfde doeleinden worden gebruikt, met als voordeel dat groene waterstof niet in CO₂-uitstoot resulteert. De beide heren zien waterstofvoertuigen als een geschikte manier om waterstof in het dagelijks leven te gebruiken en de maatschappij te laten zien dat waterstof ook op een veilige manier kan worden gebruikt. Zo kan de energiedrager waterstof meer bekendheid en een zichtbare rol in de samenleving krijgen.

Randvoorwaarden: Waterstoftankstations voor waterstofvoertuigen
Houdbaarheidsdatum: 2023

Balanceren en opslag van energie met waterstof

Er worden steeds meer windturbines gebouwd en ook neemt de productie van zonne-energie toe, wat ook nodig is als Nederland haar doelen voor 2023 en 2050 wil gaan halen. Meer duurzame energie betekent echter ook dat de energievoorziening meer weersafhankelijk wordt. Op momenten met veel wind of zon wordt veel elektriciteit geproduceerd die op dat moment mogelijk helemaal niet nodig is, andere momenten kan er juist een tekort zijn aan duurzame elektriciteit. Opslag van energie wordt steeds belangrijker als gevolg van de weersafhankelijke energieproductie. Energieopslag in batterijen kan een oplossing zijn voor kleine schommelingen in energieproductie. Wanneer het echter nodig is om energie over een langere tijd of in grote hoeveelheden op te slaan zijn batterijen minder geschikt. Waterstof biedt hiervoor een uitkomst, moleculen kunnen lang worden opgeslagen en verliezen geen energie gedurende de opslag periode. Het maken van waterstof daarentegen vergt een omzetting waarbij warmte vrijkomt wat lastig te benutten is, het rendement van dit proces is daardoor zestig tot zeventig procent (Conibeer & Richards, (2007). Bij een aandeel van 30% duurzaam opgewekte elektriciteit ontstaat door de weersafhankelijkheid de noodzaak voor het balanceren van het elektriciteitsnet (Huber et al., 2014).

Randvoorwaarden: Minimaal 30% duurzame elektriciteit
Houdbaarheidsdatum: 2035

Distributie van energie mogelijk maken met waterstof

De verscheidenheid aan toepassingen van waterstof vraagt om het bijeen brengen van vraag en aanbod. Het bestaande aardgasnetwerk van netbeheerders in Nederland biedt kansen voor de distributie van waterstof. Met geringe aanpassingen kunnen de aardgasleidingen geschikt worden gemaakt voor het transporteren van waterstof. De Gasunie ziet de hoeveelheid aardgas die getransporteerd wordt in de komende decennia afnemen, waardoor de inkomsten zullen gaan dalen. Ook lokale netbeheerders, zoals Enexis in Groningen,

Randvoorwaarden: Grote waterstof productievolumes
Houdbaarheidsdatum: 2030

ondervinden dezelfde problemen en zijn bang dat zij hun huidige gasinfrastructuur versneld moeten gaan afschrijven. De Nederlandse staat is aandeelhouder van de Gasunie, daarom kan het ook vanuit economisch opzicht voor Nederland interessant zijn om de bestaande gasinfrastructuur een tweede leven te geven. Hergebruik van bestaande infrastructuur beperkt de grootte van de investering, daarnaast kan ook het aantal procedures worden beperkt doordat er minder vergunningen hoeven te worden aangevraagd. Elektrificatie, het andere duurzame alternatief, vraagt om een substantiële investering in extra transportcapaciteit. Op locaties waar aardgasinfrastructuur ontbreekt zal via andere manieren waterstof gedistribueerd moeten worden; dat kan met tubetrailers of bij grotere volumes kan er ook gekozen worden om nieuwe waterstofleidingen aan te leggen.

Groene en blauwe waterstof

In de huidige situatie worden er door de chemische industrie grote hoeveelheden aardgas gebruikt om waterstof te maken, raffinaderijen gebruiken waterstof voor olieproductie en waterstof is een belangrijke grondstof voor kunstmest. Om het energiesysteem te verduurzamen met waterstof zal deze wel op een CO₂ neutrale manier moeten worden geproduceerd. Voor de eerstkomende 10 jaar is een transitie van grijze naar blauwe waterstof van belang, daarnaast zal ook de productie van groene waterstof uit duurzame energiebronnen moeten worden uitgebouwd. Rond 2030 zal de volgende verduurzamingsstap gezet moeten worden, een overstap van blauwe waterstof naar groene waterstof.

<p>Randvoorwaarden: - Houdbaarheidsdatum: Blauwe waterstof: 2030-2035 Groene waterstof: >2050</p>

5.2. Waterstof stappenplan

Op basis van de interviews kunnen routes worden uitgestippeld voor de sectoren, in de toekomst moet nog blijken hoe de omstandigheden veranderen. Mogelijk kan er dan een andere route gekozen worden, die beter aansluit bij de omstandigheden. De politiek en de maatschappij kunnen beide veel invloed uitoefenen bij de implementatie van de routekaart.

Actie/interventie	Impact			Randvoorwaarde	Houdbaarheidsdatum	Kosten
	CO2-uitstoot	Efficiëntie	Flexibiliteit			
Langetermijnvisie opstellen	o	o	o	Geen	2020	o
Productie duurzame energie opschalen	++	+	--	Geen	>2050	--
Stimuleren H2 tankstation netwerk	o	-	+	Geen	2023	--
Subsidie H2 onderzoek en ontwikkeling	o	++	+	Geen	2040	-
Wet- en regelgeving verduurzamen	+	o	o	Geen	2032	o
Aardgasleidingen aanpassen op H2	o	o	+	Toekomstvisie	2036	-
Opschalen groene H2 productie	++	+	+	Productie duurzame energie minimaal 20% van totaal & geschikte leidingen voor distributie	Totdat alle grijze en blauwe waterstof zijn vervangen	-
Aanleg nieuwe H2 leidingen	-	+	+	Wet- en regelgeving, voldoende vraag naar waterstof transport	?	--

Tabel I: Scorekaart van de beleidsacties met houdbaarheidsdatums.

Legenda	
Score van variabele	Betekenis
++	Zeer positief
+	Positief
o	Neutraal
-	Negatief
--	Zeer negatief

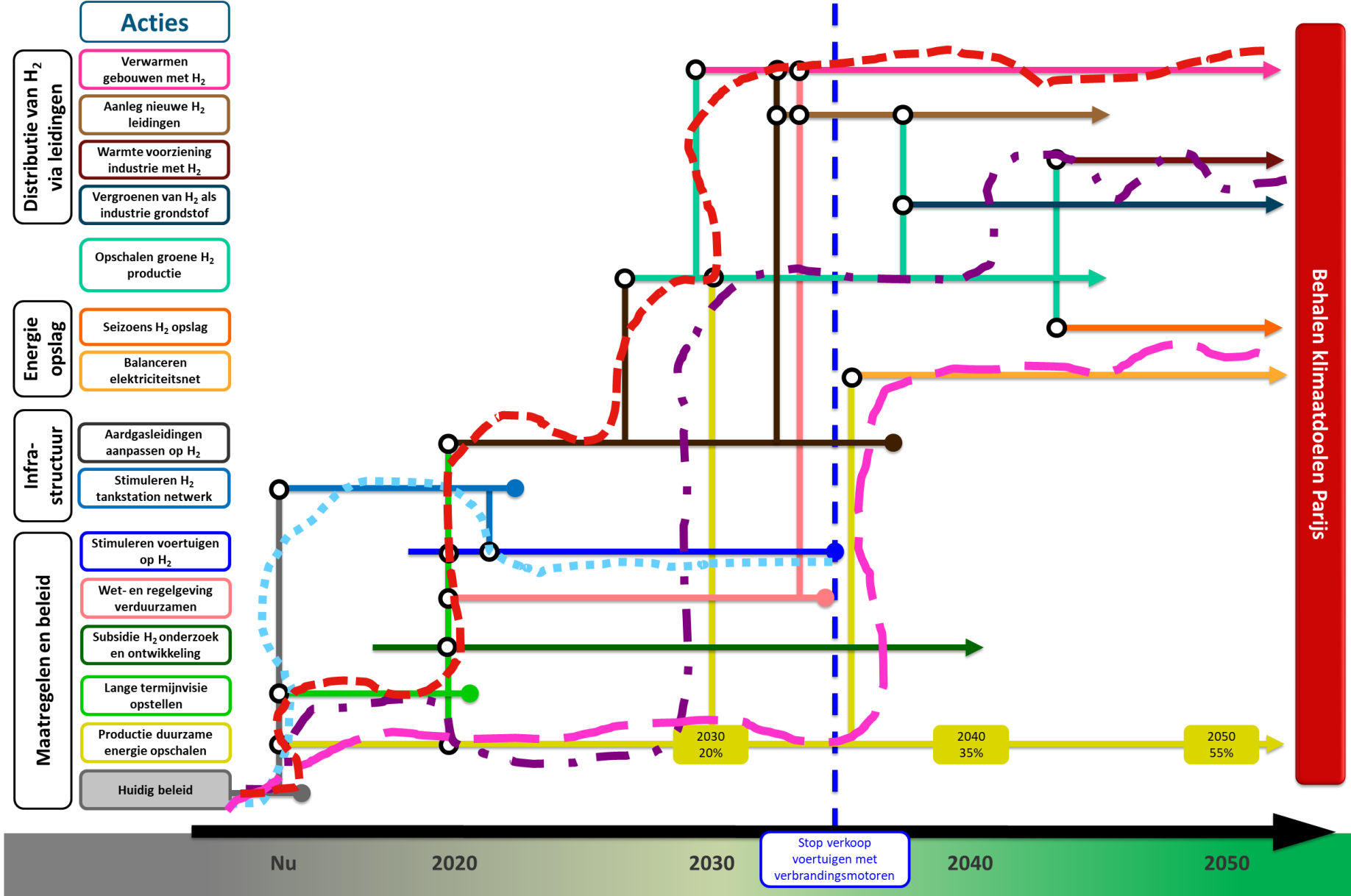
Waterstof toepassingen

Actie/interventie	Impact			Randvoorwaarde	Houdbaarheidsdatum	Kosten
	CO2-uitstoot	Efficiëntie	Flexibiliteit			
Stimuleren voertuigen op H2	++	+	+	H2 tankstations	2035, daarna stopt de verkoop van auto's met verbrandingsmotor	-
Verwarmen gebouwen met H2	+	o	+	Distributienetwerk voor H2 aanwezig & voldoende H2 aanbod	>2050	-
Balanceren fluctuatie van het elektriciteitsnet	+	-	++	Aandeel duurzame energie minimaal 30%	>2050	--
Vergroenen van H2 als industrie grondstof	++	-	+	Voldoende H2 aanbod	?	-
Warmtevoorziening industrie H2	++	--	o	Voldoende H2 aanbod	>2050	-
Seizoensopslag van energie in H2	++	-	++	Voldoende H2 aanbod	>2050	--

Tabel J: Scorekaart van de verschillende toepassingen van waterstof in de vier sectoren.

Legenda	
Score van variabele	Betekenis
++	Zeer positief
+	Positief
o	Neutraal
-	Negatief
--	Zeer negatief

Waterstof routekaart



Figuur XI: Waterstof routekaart op basis van gecombineerde informatie uit de interviews en documenten.

Voor de vier sectoren van het energiesysteem kunnen verschillende voorkeursroutes worden gekozen, hieronder staan op hoofdlijnen de belangrijkste stappen per sector genoemd.

Gebouwde omgeving route

1. Lange termijnvisie
2. Aardgasleidingen geschikt maken voor waterstof
3. Opschalen groene waterstof productie
4. Verwarmen van gebouwen

Industrie route

1. Lange termijnvisie
2. Opschalen duurzame energieproductie
3. Opschalen groene waterstof productie
4. Vergroenen van waterstof als industrie grondstof
5. Proceswarmte voor industrie d.m.v. waterstof

Energie route

1. Opschalen duurzame energieproductie
2. Balanceren tekorten en overschotten in elektriciteitsnet met waterstof
3. Seizoens-energieopslag met waterstof

Transport route

1. Stimuleren realisatie van waterstoftankstations
2. Stimuleren van waterstof voertuigen

Wat betekend deze routekaart voor de provincie Groningen?

De eerste acties zijn het opstellen van een lange termijnvisie, vergroten van de hoeveelheid duurzame energie en het stimuleren van waterstoftankstations. De lange termijnvisie schept duidelijkheid voor burgers, bedrijven en investeerder over de richting waarin het energiesysteem zich zal gaan ontwikkelen. Vergroten van de hoeveelheid duurzame energie is essentieel voor een duurzamer energiesysteem. De aanleg van waterstoftankstations zal nodig zijn om de transportsector over te kunnen laten stappen op zero-emissie voertuigen, financiële stimulans is hierbij nodig om het kip-ei probleem op te lossen. In de provincie Groningen is een pilot gestart met waterstof bussen, zo kan ervaring worden opgedaan en kunnen de barrières worden ontdekt.

Vervolgstappen zijn het aanpassen van wet- en regelgeving en subsidiëren van onderzoek en experimenten naar waterstof toepassingen. Voorbeelden die hierbij door de respondenten werden genoemd zijn: SDE-subsidie voor waterstof en standaardisatie van eisen voor waterstofauto's, tankstations en waterstof transport, ook werd CO₂-belasting als een belangrijke maatregel genoemd voor het relatief goedkoper maken van waterstof.

Vanaf 2020 kan worden begonnen met het geschikt maken van het huidige aardgasnet voor de distributie van waterstof. Kosten kunnen worden beperkt door regulier onderhoud te combineren met het verbeteren van de bestaande leidingen. Wanneer rond 2020 het aantal waterstoftankstations is toegenomen kan worden begonnen met het actief stimuleren van waterstofvoertuigen, deze maatregel is goed voor de luchtkwaliteit en reduceert tegelijkertijd de CO₂-uitstoot.

Een belangrijke stap is vervolgens de opschaling van groene waterstof productie, de productie kosten per kilogram zullen hierdoor dalen en ook van de verschillende toepassingen kunnen de kosten omlaag. Wanneer groene waterstof goedkoper wordt biedt het mogelijkheden voor gebruik in de gebouwde omgeving, energiesector en nieuwe toepassingen in de industriesector worden haalbaar. De eerste experimenten voor waterstof producten met elektrolyse zijn al aangekondigd door onder andere Gasunie.

De laatste stappen voor het energiesysteem te verduurzamen zullen bestaan uit het vergroenen van proceswarmte en langdurige energieopslag. Waterstof kan bij deze toepassingen de rol aardgas innemen, met het voordeel dat er geen CO₂-uitstoot meer plaatsvindt.

De provincie Groningen produceert circa 16 procent duurzame energie, met de plannen voor meer windenergie in de Noordzee zal dit aandeel verder gaan toenemen. Daarnaast beschikt de provincie Groningen ook over meerdere internationale energieverbindingen, de ligging is een soort energieknooppunt. Doordat energie altijd energie beschikbaar is omdat het via verschillende wegen kan worden aangevoerd, is de locatie van de provincie Groningen interessant voor de productie van waterstof.

6. Conclusie

Dit onderzoek is begonnen bij de vele veranderingen die plaatsvinden in de wereld, klimaatverandering, groeiende populatie, nieuwe innovaties en fossiele energievoorraden die opraken. Deze veranderingen in combinatie met het klimaatakkoord dat in Parijs gesloten is, leidt tot een grote opgave waarbij het energiesysteem in Nederland moet worden verduurzaamd. In 2050 moet 55 procent van de energie duurzaam worden opgewerkt (EC, 2012), in 2016 was dat 6 procent (CBS, 2018). De potentie van waterstof als energiedrager in een duurzaam energiesysteem en het maken van een beleidsplan voor het implementeren zijn onderzocht in dit onderzoek. Dit onderzoek kan het beste worden gezien als een verkenning, welke is onderbouwd met theorie, documenten en interviews.

6.1. Meerdere veranderingen

Om een grote verandering zoals een overstap van fossiele energiebronnen naar duurzame energiebronnen te kunnen realiseren is begrip van deze veranderingen belangrijk. De transitie management theorie en de diffusion of innovation theorie geven allebei verschillende inzichten. De diffusion of innovation theorie richt zich vooral op het niveniveau aangezien de focus ligt bij één innovatie en de impact daarvan. De transitie management theorie legt uit hoe een systeem een transitie kan doormaken en daarbij een structurele verandering kan ondergaan. Veranderingen op de verschillende niveaus van het multi-level perspectief die elkaar versterken zijn daarvoor nodig.

Op macroniveau vindt klimaatverandering plaats; klimaatverandering wordt door steeds meer partijen als een fenomeen gezien die actie benodigd, het Parijsakkoord is daar een voorbeeld van. Problemen op mesoniveau worden duidelijker zichtbaar; wet- en regelgeving is gericht op het bestaande fossiele energiesysteem, veiligheidsregels rondom het transport van waterstof zijn strenger dan bij aardgas transport waardoor concurrentie bemoeilijkt wordt. Bedrijven die veel verdienen aan fossiele energiebronnen, hebben geen urgentie om in te zetten op duurzamere alternatieven. De transportsector is afhankelijk van de tankstation infrastructuur, doordat er nog maar een heel beperkte hoeveelheid waterstof tankstations zijn wordt een overstap naar waterstofvoertuigen bemoeilijkt. In de gebouwde omgeving heeft een soortgelijk probleem, apparaten zijn niet geschikt voor het gebruik van waterstof waardoor er hogere investeringen nodig zijn. Ook op microniveau zijn veranderingen zichtbaar; bedrijven zoals Holthausen zien wel kansen voor voertuigen op waterstof. Onderzoeken en experimenten worden gedaan, voorbeelden hiervan zijn experimenten met waterstofbussen en onderzoeken naar het hergebruik van het aardgasnet. Daarnaast wordt in de chemische industrie al een langere tijd waterstof gebruikt voor onder andere de productie van kunstmest. Er kan geconcludeerd worden dat het energiesysteem een transitie naar een duurzaam systeem mogelijk is. De ontwikkelingen rondom waterstof kunnen het beste worden geplaatst in de voor-ontwikkelingsfase, aanwijzingen daarvoor zijn onderzoeken en experimenten naar de verschillende mogelijkheden van waterstof, ook zijn er nog geen grote veranderingen van het energiesysteem te herkennen.

Het energiesysteem verduurzamen is een complexe opgave. De niet lineaire rationaliteit is het meest geschikt voor het maken van plannen onder complexe omstandigheden (De Roo, 2012). Fundamentele onzekerheid is een belangrijke factor in het niet lineaire gedachtengoed, om plannen te kunnen maken die standhouden, kan een plan het beste robuust en flexibel tegelijkertijd worden gemaakt (Byrne, 2003). Walker (2013) voegt daaraan toe dat men beter geen voorspellingen van de toekomst kan doen, en dat er beter gezocht kan worden naar acties die het meeste kansrijk zijn in de toekomst.

6.2. Plannen maken met onzekerheid

De DAPP-aanpak is geschikt voor het maken van plannen voor de lange termijn, en kan in een complexe situatie omgaan met de vele factoren die invloed uitoefenen en daardoor veranderingen teweegbrengen (Haasnoot et al., 2013). DAPP bestaat uit een tiental stappen waarin een routekaart wordt ontwikkeld voor een vraagstuk. Dit onderzoek werkt de eerste zes stappen van DAPP uit, aangezien dit een verkennend onderzoek is worden de implementatie van de routekaart en het monitoren van de ontwikkelingen niet behandeld. In dit onderzoek is met de DAPP-aanpak de potentie van waterstof in een duurzaam energiesysteem onderzocht, welke is onderverdeeld in vier sectoren: de industriële sector, transportsector, energiesector en de gebouwde omgeving. Een analyse van de karakteristieken van het huidige energiesysteem dient als input voor het opstellen van de kansen en belemmeringen van een duurzaam energiesysteem. Om de karakteristieken van het huidige energiesysteem te duiden is een documenten analyse gedaan. Daarbij is naar voren gekomen dat het huidige energiesysteem is ingericht op centrale elektriciteitsproductie. Het grootste deel van de elektriciteitsproductie gebeurt nu met fossiele energiebronnen. De gebouwde omgeving gebruikt vooral aardgas voor het verwarmen van gebouwen, en de transportsector stoot veel broeikasgassen uit door de verbranding van benzine en diesel. Samenvattend, het gehele energiesysteem is georiënteerd op fossiele energiebronnen.

Door de complexiteit van de opgave bestaat er veel onzekerheid over mate waarin waterstof gebruikt gaat worden in het energiesysteem. Een toenemende duurzame (en meer decentrale) energieproductie kan zorgen voor fluctuaties op het elektriciteitsnet. Deze fluctuaties kunnen problemen met de netwerkcapaciteit tot gevolg hebben, investeringen in het net of alternatieven zijn daarom nodig. Uit de interviews is gebleken dat een gebrek aan visie en duidelijkheid in wet- en regelgeving zorgt voor onzekerheid voor investeerders. De DAPP-aanpak helpt bij het overzichtelijk weergeven van de acties op hoofdlijnen. Voorkeurs pathways bieden houvast voor investeerders, en alternatieve pathways kunnen worden gekozen zodra omstandigheden dusdanig veranderen.

In dit onderzoek is een verkenning gedaan naar de verschillende toepassingen van waterstof, zodat zo goed mogelijk antwoord gegeven kan worden op de hoofdvraag:

Wat is de potentie van waterstof als energiedrager binnen het energiesysteem in de periode tot 2050, toegepast op de provincie Groningen?

Nieuwe innovaties -zoals waterstof- hebben in eerste instantie een slechte prijs/kwaliteit verhouding, investeringen maken verdere ontwikkeling van innovaties mogelijk, aldus Geels & Schot (2007). Rogers (2003) wijst op het nut van experimenteren met innovaties, daarmee kan een innovatie worden getest waardoor de kans op succes wordt vergroot. Door onderzoek en procesontwikkeling kan een innovatie goedkoper worden, wanneer ook in de toekomst verdere kostendaling verwacht kan worden vergroot dat de succeskans van de innovatie (Geels & Schot, 2007). De respondenten verwachten dat een kostendaling voor de productie van waterstof in de komende jaren gaat plaatsvinden, enerzijds noemen zij technologische doorbraken voor elektrolyse en brandstofcellen; anderzijds worden schaalvoordelen als een belangrijke factor bestempeld.

De zichtbaarheid van een innovatie in de samenleving wordt ook door Rogers (2003) benoemd als een van de succesfactoren. De respondenten zien kansen in de transportsector voor het verbeteren van de zichtbaarheid en bekendheid van waterstof. Het negatieve imago van waterstof wordt door een aantal respondenten benoemd, zij gaven daarbij tegelijkertijd aan dat het negatieve imago onterecht

is, en dat maatschappelijke acceptatie belangrijk voor het succes belangrijk is. Schaap en Holthausen geven aan dat het gebruiksgemak van een waterstofvoertuig groter is dan bij een volledig elektrisch voertuig. Een waterstofvoertuig werkt op dezelfde wijze als een voertuig op benzine of diesel, hierdoor is geen gedragsverandering nodig. Het sluit aan bij de normen en waarden van de huidige samenleving, wat een van de succesfactoren is volgens Rogers (2003).

Een aantal andere factoren genoemd door Rogers en Geels & Schot komen minder duidelijk naar voren in de interviews. Waterstof wordt alleen op grote schaal gebruikt als grondstof voor de chemische industrie en in de raffinaderijen, verder is het gebruik van waterstof nog vrij beperkt. In de transportsector neemt het aantal waterstofvoertuigen langzaam toe, echter gaat dit nog om tientallen en geen duizenden, een marktaandeel van 5% is daarmee nog niet aan de orde. Invloedrijke stakeholders zoals de Gasunie, Shell en de Rijksoverheid zijn begonnen met het experimenteren met waterstof, maar deze partijen durven nog niet volledig in te zetten op waterstof. Akzo Nobel daarentegen spreekt wel duidelijk uit dat zij waterstof als de energiedrager voor de toekomst zien. Zo kan worden gesteld dat waterstof nog onvoldoende wordt gesteund door invloedrijke stakeholders. Waterstof verschilt met aardgas omdat het niet verbrandt hoeft te worden om energie op te leveren, dat kan met een brandstofcel. Het nadeel daarvan is dat het minder makkelijk valt uit te leggen aan potentiële gebruikers hoe waterstof werkt, met het gevolg dat mensen en bedrijven daardoor minder snel zullen overstappen op waterstof.

Een relatief voordeel van de ene technologie ten opzichte van de andere wordt door Rogers (2003) beschreven als een belangrijke succesfactor, hierbij wordt vaak naar de economische kant gekeken. Wanneer duurzaamheid als een essentiële eigenschap wordt beschouwd heeft waterstof een duidelijk voordeel. Een overzicht met de karakteristieken van het huidige energiesysteem kan teruggevonden worden in hoofdstuk 4. Op basis van de karakteristieken was het mogelijk om doelen met bijbehorende kansen en belemmeringen op te stellen. In de gebruikte documenten staan ook dezelfde trends beschreven, voor dit onderzoek zijn de acties alleen specifiek toegepast op het gebruik van waterstof. Stap 4 van de DAPP-aanpak is het evalueren van de opgestelde acties, hiervoor zijn interviews afgenomen.

De respondenten zijn allemaal deskundigen met praktijkervaring en kennis van het energiesysteem en toepassingen van waterstof. Zij gaven andere inzichten in de acties die nodig zijn voor een transitie naar een duurzaam energiesysteem. Het opstellen van een lange termijnplanning voor het verduurzamen van de Nederlandse samenleving springt daarin naar voren. Subsidies en andere regelgeving wordt meer benadrukt door de respondenten dan in de documenten.

De vele mogelijke toepassingen van waterstof in de vier sectoren maken waterstof een multifunctionele energiedrager. Waterstof kan worden ingezet als opslagmedium van energie, ook geeft het de mogelijkheid het elektriciteitsnet te balanceren. In de industriële sector kan waterstof in de toekomst dienen als vervanger van aardgas, ook kan waterstof voor vele productieprocessen worden ingezet als grondstof. Waterstofvoertuigen geven de transportsector een duurzaam alternatief die lange afstanden kan overbruggen in een kortere tijd. In de gebouwde omgeving kan waterstof gebouwen van warmte voorzien op verschillende manieren. Brandstofcellen kunnen elektriciteit en warmte leveren, een aangepaste verwarmingsketel kan waterstof verbranden voor warmte, of waterstof kan worden gebruikt voor het bijstoken van een warmtenet. De belangrijkste belemmering voor waterstof is de prijs die eraan verbonden is. Flinkke investeringen zijn nodig in distributie infrastructuur en subsidies zijn nodig om schaalvergroting te realiseren.

In de bovenstaande paragrafen is beschreven welke factoren invloed hebben op het succes van waterstof als energiedrager, daarnaast zijn ook de kansen en belemmeringen besproken. De transitie naar een duurzaam energiesysteem is noodzakelijk om de doelen van het Klimaatakkoord te kunnen halen. De opgave is complex en groot, maar hoe langer er wordt gewacht hoe moeilijker het wordt de doelen te halen. Ondanks deze noodzaak gebeurt er momenteel nog te weinig, een transitie zoals beschreven door Rotmans et al. (2001) heeft een lange periode nodig. Een transitie beginnen door de druk die uitgeoefend wordt vanuit het macroniveau, effecten van buiten het energiesysteem. Opwarming van de aarde is een effect dat druk uitoefent op het energiesysteem, echter is deze druk slecht voelbaar en zichtbaar. De transitie van het energiesysteem komt daardoor traag op gang. Alternatieven voor fossiele energiebronnen zijn beschikbaar en worden ook steeds goedkoper. De productie van wind- en zonne-energie is de afgelopen jaren toegenomen, deze duurzame energie komt in de vorm van elektronen. Het huidige energiesysteem bevat maar 20% elektronen, de overige 80% bestaat energie in de vorm van moleculen. Hoge temperaturen zijn lastig te creëren zonder het verbranden van moleculen, de verwachting is dat ook in de toekomst er een vraag naar moleculen blijft.

Essentiële onderdelen zijn het creëren van een visie voor het verduurzamen van het energiesysteem en een toename van de duurzame energieproductie. Waterstof biedt de mogelijkheid om een energiesysteem met veel duurzame energiebronnen van duurzame moleculen te voorzien. Daarnaast kan waterstof op verschillende manieren in meerdere sectoren worden ingezet, dit komt de flexibiliteit van het energiesysteem te goede.

6.3. Groningen

Om beleidsmakers en belangrijke stakeholders tot actie te bewegen, is ook gekeken naar de lokale mogelijkheden van waterstof. Hiervoor is de volgende deelvraag beantwoord:

Wat kan de energiedrager waterstof betekenen voor het energiesysteem van de provincie Groningen? Voor het beantwoorden van deze deelvraag is de DAPP-aanpak gebruikt. Het huidige energiesysteem in de provincie Groningen is georiënteerd op het gebruik van aardgas, aan de andere kant neemt de hoeveelheid duurzame energieproductie wel toe. De provincie zet in op duurzame initiatieven, waterstof is daarbij ook een belangrijk speerpunt. Akzo Nobel in Delfzijl maakt waterstof bij de productie van chloor, waterstof is in dit proces een restproduct. Met de aanleg van een waterstoftankstation in Delfzijl kan waterstof van Akzo Nobel voor de transportsector worden gebruikt. De afname van waterstof bij dit tankstation is gegarandeerd door twee waterstoffbussen die door het OV Bureau Groningen-Drenthe zijn aangeschaft. Holthausen heeft zich gespecialiseerd in het ombouwen van voertuigen naar een aandrijving met waterstof. Het bedrijf heeft met de ombouw van onder andere een veegwagen en een Tesla de nodige ervaring opgedaan.

Groningen Seaports is bezig met het maken van plannen voor een waterstofleiding over het industriegebied in Delfzijl, daarmee willen zij de distributie van waterstof voor de industrie mogelijk maken, en de toegankelijkheid van waterstof vergroten. Daarnaast is Gasunie bezig met het experimenteren met elektrolyse technologie, in Zuidwending gaan zij een installatie van 1MW plaatsen. Bovendien hebben Gasunie en Akzo Nobel samen aangekondigd een 20MW elektrolyser aan te gaan schaffen, zo willen zij de schaal gaan vergroten. Bedrijven die investeren in innovaties en experimenten komen overeen met de groep vernieuwers uit de theorie van Rogers (2003). In de transitie theorie worden dat niches genoemd waarin experimenten plaatsvinden. Het systeem

verandert nog niet structureel, de ontwikkelingen kunnen het best in de voor-ontwikkelingsfase van de transitie management theorie worden geplaatst (Rotmans, 2001). Maatregelen zoals het verplichten van zero-emissie aanbesteden voor het openbaar vervoer per 2030 kunnen mogelijk het energiesysteem wel in beweging brengen, dit is nu echter nog niet vast te stellen.

De lokale omstandigheden in de provincie Groningen zijn kansrijk voor het toepassen van waterstof, de politieke wil is er vanuit de provincie. In de provincie is het aandeel duurzame energie hoger dan het landelijke gemiddelde, wat betekent dat de urgentie voor het balanceren van het elektriciteitsnet groter is. Ook is de ruimtelijke ligging van Groningen gunstig, verbindingen met de elektriciteitsnetten van buurlanden maken het mogelijk om goedkope duurzaam energie te benutten voor de productie van waterstof.

7. Discussie en Reflectie

In dit hoofdstuk wordt door middel van een discussie gereflecteerd op de gekozen aanpak, gegevens, analyses en de gebruikte literatuur. Daarna bespreek ik mijn eigen ervaringen tijdens dit onderzoek. Ten slotte worden aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek en mogelijke aanvullingen.

Dit onderzoek is begonnen met de insteek meerdere scenario's voor waterstof uit te werken. Tijdens het literatuuronderzoek zijn een aantal problemen naar boven komen drijven. Het uitwerken van meerdere scenario's bleek moeilijk omdat fundamentele onzekerheden veel invloed kunnen uitoefenen op de uitkomsten van deze scenario's. Daarnaast was het dilemma om op basis van literatuur een keuze te maken voor vier scenario's, hierbij speelde mee dat op dat punt nog te weinig inhoudelijke kennis over het onderwerp was opgedaan. Vanuit planning theorie worden scenario's gezien als een beperkte technische rationaliteit, complexe problemen passen beter in een non-lineaire rationaliteit. Complexe vraagstukken vragen om robuuste en flexibele plannen (Byrne, 2003). Door de DAPP-aanpak van Haasnoot et al. (2013) te gebruiken worden aangrijppunten gecreëerd voor het plannen van complexe vraagstukken. Het DAPP-stappenplan is ontworpen voor het maken van plannen voor de waterplanning, daarbij kunnen heldere normen en randvoorwaarden voor waterveiligheid worden opgesteld. Het opstellen van een routekaart met meerdere pathways is in dit onderzoek gedaan in twee fases, eerst is een concept routekaart gemaakt met de informatie uit de documenten. Fase twee was het combineren van de informatie uit de documenten met de nieuwe inzichten verkregen in de interviews. Dit was voor een energiesysteem met waterstof lastig, doordat de vier sectoren allemaal verschillende randvoorwaarden hebben.

Transitiemanagement theorie sluit goed aan bij het probleem omdat het een energiesysteem betreft welke bestaat uit infrastructuur, infrastructuur is statisch en verandert lastig. Transitiemanagement theorie kijkt vooral naar de rode draad van de ontwikkelingen, om de potentie goed in beeld te kunnen brengen is echter een meer nauwkeurige analyse nodig. Vanuit het energiesysteem gezien is waterstof een nieuwe innovatie met vele mogelijke toepassingen, voor een complete analyse is ingezoomd op vier verschillende sectoren. Diffusion of innovation theorie gaat uit van één product of technologie als innovatie, waterstof is door de vele mogelijke toepassingen meer dan één technologie. Voorbeelden van technologieën voor waterstof zijn brandstofcellen, elektrolyse, opslagmethodes en waterstofleidingen. De focus van diffusion of innovation theorie komt overeen met het microniveau van het multi-level perspectief van de transitie theorie. Met het verbinden van beide theorieën tracht dit onderzoek de effecten van innovaties in een breder perspectief te plaatsen en daarmee de mogelijke impact van de innovatie uiteen te zetten. De transitiemanagement theorie is meer beschrijvende van aard, het bevat inzichten over de complexiteit van systemen en de vele factoren die meespelen. DAPP gaat uit van fundamentele onzekerheid en hoge complexiteit, DAPP biedt met het stappenplan de mogelijkheid om plannen te maken ondanks de diepe onzekerheid. Daarmee is een interessant theoretisch kader gecreëerd die nieuwe toepassingen geeft aan de bestaande theorieën.

Een diversiteit aan informatiebronnen is voor dit onderzoek gebruikt, documenten, interviews en het bezoeken van congressen. De selectie van documenten bracht moeilijkheden met zich mee, de beschikbaarheid van documenten over verduurzaming van het energiesysteem in combinatie met waterstof was vrij beperkt. Vele onderzoeken over verduurzaming ontbrak informatie over waterstof, daardoor zijn er twaalf documenten gekozen. Het gebruik van elf 'waterstof en energietransitie

experts' als respondenten kan de uitkomst van dit onderzoek hebben beïnvloed, desalniettemin is door de verschillende achtergronden van de respondenten een vrij evenwichtig beeld neergezet. Het gebruik van semigestructureerde interviews heeft veel informatie en inzichten opgeleverd voor dit onderzoek. Informatie uit de interviews is gegeneraliseerd tot hoofdpunten, onder andere kwamen subsidieregelingen relatief vaak naar voren, achteraf had het een meerwaarde kunnen zijn om iemand van het ministerie van economische zaken en klimaat te spreken over het subsidiebeleid. Ook hebben de interviews geholpen bij het aanscherpen van de kansen en belemmeringen van de verschillende acties.

Aan de ene kant doordat de provincie Groningen zelf relatief actief bezig is het stimuleren van het van duurzame innovaties zoals waterstof, komen meer experimenten met waterstofgebruik van de grond in Groningen. Aan de andere kant een gebrek aan visie in het landelijke beleid zorgt voor onzekerheid voor investeerders, wat tot gevolg heeft dat Nederland als geheel nog ver verwijderd is van het behalen van de klimaatdoelen. De ruimtelijke context heeft ook invloed op het gebruik van waterstof, onder andere de aanwezigheid van de chloorfabriek van Akzo Nobel hebben de kansen van waterstof in Groningen vergroot. Dit onderzoek linkt transitie theorie, innovatie theorie en complexiteit aan elkaar, met de DAPP-routekaart voor waterstof kunnen pathways worden gemaakt voor de verschillende sectoren. DAPP biedt de mogelijkheid stapsgewijs het energiesysteem duurzamer te maken.

7.1. Reflectie op het onderzoek

In het begin van dit onderzoek zou ik gebruik gaan maken van scenario planning. Toen ik met mijn scriptie vastliep omdat enerzijds de vier scenario's te veel overlap met elkaar hadden en anderzijds duidelijk werd dat scenario planning niet geschikt was voor complexe vraagstukken, moest ik opzoek naar een andere aanpak. Dit voelde als een flinke tegenslag. Nadat steeds duidelijker werd dat de DAPP-aanpak van Haasnoot et al. geschikt zou kunnen zijn voor het beantwoorden van de hoofdvraag was ik positief gestemd over het verdere verloop van mijn scriptie. Het afnemen van de interviews heeft meer moeite gekost dan ik van tevoren had verwacht. Meerdere oorzaken lagen hieraan ten grondslag, het overeenkomen van datums voor het afnemen van de interviews bleek met sommige respondenten meer tijd in beslag te nemen dan verwacht. Ook kostte het transcriberen van de interviews meer tijd dan verwacht. De interviews hebben wel veel informatie opgeleverd voor dit onderzoek. De DAPP-aanpak beschrijft zelf het gebruik van computermodellen voor het afstemmen van de houdbaarheidsdatums, in plaats van modellen zijn interviews gebruikt. Randvoorwaarden zoals beschreven door Haasnoot et al. definiëren een einddatum waarop een actie ontoereikend is geworden. De informatie van de respondenten in combinatie met de documenten analyse hebben geleid tot een schatting van de einddatums. Soms bleken deze einddatums moeilijk in te schatten, daarom is ook gekeken naar een minimale vereiste van de volgende acties, daarmee zijn de schattingen van de einddatums nauwkeuriger geworden.

Er zijn nog verbeterpunten, zo hebben de breedte van het onderzoek en het onderwerp geleid tot een vrij algemene conclusie. Toch is bewust gekozen voor een analyse van het gehele energiesysteem omdat dit tot andere inzichten leidt dan een analyse van één sector. Zo zijn bijvoorbeeld de sectoren met elkaar verbonden en ze hebben ook invloed op elkaar.

Ik heb de keuze gemaakt om mijn masterscriptie in het Nederlands te schrijven, daarmee is de internationale relevantie verminderd. Dit onderzoek heeft echter een focus op Nederlandse energiesysteem en Groningen in het specifiek, daarmee hoop ik Nederlandse beleidsmakers beter te bereiken. Ik ben trots op wat ik neer heb gezet en ik heb er veel van geleerd. Er zijn nog vele vragen onbeantwoord gebleven waarvan ik hieronder er een aantal beschrijf.

7.2. Aanbevelingen vervolgonderzoek

In de interviews kwamen subsidies veelal naar voren, vanuit dat oogpunt... onderzoek naar wat de meest effectieve subsidies zijn voor het stimuleren van duurzaamheid. Ook de visie van het ministerie van Economische zaken en klimaat zou hierbij tot verdere inzichten kunnen leiden.

Het gebruik van computermodellen voor het analyseren van de houdbaarheidsdatums van de acties wordt door de DAPP-aanpak voorgeschreven, de potentie van waterstof zou in een vervolgonderzoek ook via deze wijze in kaart worden gebracht.

Als vervolg op dit onderzoek zouden ook de vervolg stappen van DAPP kunnen worden onderzocht, dan moeten er echter wel eerst nieuwe ontwikkelingen plaatsvinden rondom de verduurzaming van het energiesysteem. In de stappen 7 tot en met 10 van de DAP- aanpak moet een monitoringsysteem worden opgesteld, dat is nodig om de effecten van de acties te kunnen analyseren en aanpassingen te maken waar nodig. Ook zal vervolgens daadwerkelijk tot implementatie van de voorkeurs-pathways overgegaan moeten worden.

8. Referenties

- Aardgasbuffer Zuidwending. (2018) *Waterstofproject*. Beschikbaar via: <https://www.agbzw.nl/projecten/waterstofproject>
- Agnolucci, P. (2007). Hydrogen infrastructure for the transport sector. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32(15 SPEC. ISS.), 3526–3544. <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2007.02.016>
- Alexander, E. R. (2000). Rationality Revisited: Planning Paradigms in a Post-Postmodernist Perspective. *Journal of Planning Education and Research*, 19(3), 242–256. <http://doi.org/10.1177/0739456X0001900303>
- Allmendinger, P. (2009). *Planning theory*. Planning, environment, cities, Second Edition. Palgrave Macmillan, New York.
- Andrews, J., & Shabani, B. (2012). Re-envisioning the role of hydrogen in a sustainable energy economy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(2), 1184–1203. <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.09.137>
- Armaroli, N., & Balzani, V. (2007). The future of energy supply: Challenges and opportunities. *Angewandte Chemie - International Edition*, 46(1–2), 52–66. <http://doi.org/10.1002/anie.200602373>
- Ball, M., & Weeda, M. (2015). The hydrogen economy - Vision or reality? *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(25), 7903–7919. <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.04.032>
- Bowen, G. A. (2009). Document Analysis as a Qualitative Research Method. *Quality Research Journal*, 9(2), 27–40. <http://doi.org/10.3316/qrj0902027>
- Byrne, D. (2003). Complexity theory and planning theory: A necessary encounter. *Planning Theory*. <http://doi.org/10.1177/147309520323002>
- CBS. (2016) *Hernieuwbare energie*. Beschikbaar via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatschappij/natuur-en-milieu/groene-groei/grondstoffen-efficientie/indicatoren/hernieuwbare-energie>
- CE-Delft. (2017). *Net voor de Toekomst*.
- CertifHy (2015). *Technical Report on the Definition of 'CertifHy Green' Hydrogen*.
- Conibeer, G. J. & Richards, B.S. (2007) A comparison of PV/elektrolyser and photoelektric technologies for use in solar to hydrogen energy storage systems. *International Journal of Hydrogen Energy*. 32(14) 2703-2711.
- Dagblad van het Noorden (2018) *Groene 'waterstoffabriek' in Groningen: auto's nu echt duurzaam*. Beschikbaar via: <http://www.dvhn.nl/groningen/Groene-waterstoffabriek-in-Groningen-auto%E2%80%99s-nu-echt-duurzaam-videos-22862749.html>

De Jong, K. P., & Van Wechem, H. M. H. (1995). Carbon: Hydrogen carrier or disappearing skeleton? *International Journal of Hydrogen Energy*, 20(6), 493–499. [http://doi.org/10.1016/0360-3199\(94\)00081-A](http://doi.org/10.1016/0360-3199(94)00081-A)

De Roo, G. (2011). Spatial Planning, Complexity and a World ‘Out of Equilibrium’: Outline of a Non-linear Approach to Planning. *Complexity and Planning Systems: Assemblages and Simulations*, 129–165.

Dignum, M. (2013). The power of large technological visions: the promise of hydrogen energy (1970-2010). Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven. DOI: 10.6100/IR759497

Dijkema, G., Lukszo, Z., Verkooijen, A., Vries, L. de, Weijnen, M. (2009). *De regelbaarheid van elektriciteitscentrales*. TU Delft.

Dincer, I. (2000). Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(2), 157–175. [http://doi.org/10.1016/S1364-0321\(99\)00011-8](http://doi.org/10.1016/S1364-0321(99)00011-8)

DNV-GL (2017) *Verkenning waterstofinfrastructuur*. DNV-GL, Groningen.

ECN. (2013) *Energie Trends 2013*. Beschikbaar via: <https://www.ecn.nl/publicaties/PdfFetch.aspx?nr=ECN-E--13-056>

ECN. (2016) *Productieroutes Duurzame Waterstof*. ECN, Amsterdam.

ECN; DNV-GL. (2014). *Exploring the role for power-to-gas in the future Dutch energy system*.

Europese Commissie. (2017a) *2020 Climate and Energy package*. Bezocht op 5-03-2018, beschikbaar via: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en

Europese Commissie. (2012) *Energy roadmap 2050*.

Europese Commissie. (2017b) *2050 Low-carbon Economy*. Bezocht op 5-03-2018, beschikbaar via: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en

Europese Unie. (2009) *Richtlijn 2009/28EG van het Europees Parlement en de Raad*. Beschikbaar via: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>

E4Tech. (2015). *Hydrogen and Fuel Cells: Opportunities for Growth*.

FD. (2017) *Schone bussen met groene waterstof*. Beschikbaar via: <https://fd.nl/advertorial/enecogroep/1228978/schone-bussen-met-groene-waterstof>

Friedman, M. (2002). Kant, Kuhn, And The Rationality Of Science. *Philosophy of Science*, 69(2), 171–190. <http://doi.org/10.1086/341048>

Gasunie. (2018) *AkzoNobel en Gasunie onderzoeken 20 megawatt waterelektrolyse-unit voor opwekking groene waterstof*. Beschikbaar via: <https://www.gasunie.nl/nieuws/akzonobel-en-gasunie-onderzoeken-20-megawatt-waterelektrolyse-uni>

Gasunie (2016) *Nederlandse Gasunie, Nadere informatie*. Gasunie, Groningen. Beschikbaar via: https://www.geoweek.nl/assets/upload/Informatie_Nederlandse_Gasunie.pdf

Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, 36(3), 399–417. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>

Geels, F., & Kemp, R. (2000). “Transities vanuit sociotechnisch perspectief.” Report for the Dutch Ministry of Environment. *Universiteit Twente, en Maastricht: MERIT*, 63.

Groningen Seaports (2018) *Tankstation voor waterstof in Delfzijl geopend*. Beschikbaar via: <https://www.groningen-seaports.com/nieuws/tankstation-waterstof-delfzijl-geopend/>

Haasnoot, M., Kwakkel, J. H., Walker, W. E., & ter Maat, J. (2013). Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global Environmental Change*, 23(2), 485–498. <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.12.006>

Huber, M., Dimkova, D., & Hamacher, T. (2014). Integration of wind and solar power in Europe: Assessment of flexibility requirements. *Energy*, 69, 236–246. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.109>

Hughes, J. D. (2005). *Global Environmental History: The Long View*, 2(3), 293–308.

IEA. (2015b). *Technology Roadmap*. http://doi.org/10.1007/SpringerReference_7300

IEA. (2015a). *World Energy Outlook 2015*. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1787/weo-2015-en>

ING Economisch Bureau. (2018) *Utrecht de schoonste economie, Zeeland de meest vervuilende. Grote verschillen in provinciale klimaatscore*. Beschikbaar via: https://www.ing.nl/media/ING_EBZ_Utrecht_de_schoonste_economie_Zeeland_de_meest_vervuilende_tcm162-139651.pdf

Kwakkel, J. H., Walker, W. E., & Haasnoot, M. (2016). Coping with the Wickedness of Public Policy Problems: Approaches for Decision Making under Deep Uncertainty. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(3), 01816001. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000626](http://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000626)

Longhurst, R. (2010). Semi-structured Interviews and Focus Groups. In *Key methods in geography*, Second Edition, 103–115. London: Sage Publications.

Loorbach, D. (2010). Transition Management for Sustainable Development: A Prescriptive, Complexity-Based Governance Framework. *Governance*, 23(1), 161–183. <http://doi.org/10.1111/j.1468-0491.2009.01471.x>

McCrone, A., Moslener, U., D’Estais, F., & Grünig, C. (2017). Global Trends in Renewable Energy Investment 2017. *Frankfurt School UNEP Collaborating Centre for Climate and Sustainable Energy Finance*, 90. Retrieved from <http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsrenewableenergyinvestment2017.pdf> %0A<http://fs-unep-centre.org/publications/global-trends-renewable-energy-investment-2017>

Meadows, D. H. M. (1972). *The Limits to Growth. The Club of Rome*, 211. <http://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1972.tb05230.x>

Ministerie van Economische Zaken. (2016). *Energierapport, transitie naar duurzaam*. Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.

NEL. (2017) Nel Hydrogen Electrolyser. Beschikbaar via: http://nelhydrogen.com/assets/uploads/2017/01/Nel_Electrolyser_brochure.pdf

OVPRO (2018) Langdurige test met waterstoffrein in Groningen komt in 2019. Beschikbaar via: <https://www.ovpro.nl/trein/2018/01/04/langdurige-test-met-waterstoffrein-volgt-in-2019-in-groningen/>

PBL & ECN. (2011). *Naar een schone economie in 2050: routes verkend*.

Provincie Groningen. (2017) *Energiegebruik*. Beschikbaar via: <https://energiemonitor.provincie-groningen.nl/startpagina/energiegebruik/energiegebruik-bedrijven-en-instellingen>

Raj, B., & Singh, O. (2012). Global Trends of Fossil Fuel Reserves and Climate Change in the 21st Century. In *Fossil Fuel and the Environment*. <http://doi.org/10.5772/38655>

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2013). *Infoblad Trias Energetica*, 4–5. <http://doi.org/RVO-072-1401/FD-DUZA>

Rip, A., & Kemp, R. (1998). Technological change. *Human Choice and Climate Change*, 2(Vol. 2: Resources and Technology), 327–399. <http://doi.org/10.1007/BF02887432>

RLI. (2015). *Rijk zonder CO2, Naar een Duurzame Energievoorziening in 2050*.

Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations*. Vijfde Editie. The Free Press: New York.

Rotmans, Jan; Kemp, René; Van Asselt, M. (2001). More evolution than revolution: transition management in public policy. *Foresight*, 03(01), 15-31. <http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/03684920610675157>

RTV Noord. (2017) 'Groene waterstof biedt Noorden een gouden kans' Beschikbaar via: <https://www.rtvnoord.nl/nieuws/178199/Groene-waterstof-biedt-Noorden-een-gouden-kans>

RVO. (2017) *Subsidieregeling Demonstratie Klimaattechnologieën en -innovaties in transport (DKTI-Transport)*. Beschikbaar via: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2017/10/Handleiding%20DKTI-Transport.pdf>

SER. (2014). *Een duurzame brandstofvisie met LEF*.

SER. (2013). *Energy Agreement for sustainable growth*.

Shell (1986) *The Greenhouse Effect*. Shell, Den Haag.

Stadszaken. (2018) *Hoogeveen krijgt waterstofwijk*. Beschikbaar via: <http://www.stadszaken.nl/klimaat/energie/1607/hoogeveen-krijgt-waterstofwijk>

Stebbins, R. A. (2001) *Exploratory Research in the Social Sciences*. Sage University Paper Series on Qualitative Research Methods, Vol. 48. Thousand Oaks, CA: Sage.

TNO. (2013). *Naar een toekomstbestendig energiesysteem voor Nederland*. TNO Nederland.

TSO 2020 (2018) *Elektric "Transmission and Storage Options" along TEN-E and TEN-T corridors for 2020*. Beschikbaar via: <http://tso2020.eu/>

Trouw. (2018) *Twee miljoen huizen moeten voor 2030 van het aardgas af*. Beschikbaar via: <https://www.trouw.nl/groen/twee-miljoen-huizen-moeten-voor-2030-van-het-aardgas-af~a0bd9c22/>

Verbong, G. P. J., & Geels, F. W. (2010). Exploring sustainability transitions in the electricity sector with socio-technical pathways. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(8), 1214–1221. <http://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.04.008>

Verbong, G. P. J., & Geels, F. W. (2007). The ongoing energy transition: Lessons from a socio-technical, multi-level analysis of the Dutch electricity system (1960-2004). *Energy Policy*, 35(2), 1025–1037. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.02.010>

Voogd, H. (1995). *Facetten van de Planologie*. Samson H.D. Tjeenk Willink, Tweede editie, Alphen aan de Rijn.

Walker, W. E., Lempert, R. J., & Kwakkel, J. H. (2008). Deep uncertainty uncertainty in model-based decision support, 1(1).

Walker, W. E., Rahman, S. A., & Cave, J. (2001). Adaptive policies, policy analysis, and policy-making. *European Journal of Operational Research*, 128(2), 282–289. [http://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00071-0](http://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00071-0)

Williams, R.D. (1975). The hydrogen energy system. *Journal of Environmental Systems*, 5, 3. SAGE Publications. DOI: 10.2190/0H1K-8GU7-NC5H-1LX0

Winter, C.-J., Klaib, H., & Nitsch, J. (1990). Hydrogen as an Energy Carrier : What Is Known? What Do We Need To Learn? A consideration of the parameters. *International Journal of Hydrogen Energy*, 15(2), 79–91.

World Energy Council. (2013) *World Energy Resources*. World Energy Council, London.

8.1. Bijlage A: Interview handleiding

Interviewvragen voor waterstof stappenplan

Interview guide

Om te beginnen schets ik de het doel van dit onderzoek met de bijbehorende achtergrond. Hierbij wordt ook aangegeven dat dit onderzoek specificeert op de energietransitie en ruimtelijk afbakening is de provincie Groningen. De interviewvragen worden een beetje aangepast om beter aan te sluiten bij de gesprekspartner.

- Is het akkoord dat dit interview wordt opgenomen? U kan altijd nog tijdens het gesprek aangeven dat informatie niet openbaar mag worden gemaakt.

Algemene vragen over de positie van het bedrijf/organisatie/beleid binnen de transitie naar waterstof

- Kan u uzelf kort introduceren?
- Wat is uw rol en wat is de rol van [bedrijf/organisatie] binnen de energietransitie?

Vragen over de karakteristieken van het huidige energiesysteem

- Welke trends rondom het energiesysteem zijn te herkennen?
- Welke problemen zijn er in het energiesysteem en welke problemen kunnen worden verwacht in het komende decennia?
- Welke toepassingen van waterstof zijn in het huidige energiesysteem aanwezig?

Vragen over waterstof en de energietransitie

De klimaatdoelen uit het klimaatakkoord van Parijs richten zich op **CO₂ reductie, energiebesparing en hoeveelheid duurzame energie**. Op de site van de Europese Commissie wordt aangegeven dat er 4 sectoren zijn die de uitstoot van broeikasgassen zullen moeten gaan reduceren, namelijk mobiliteit, industrie, gebouwen en de energiesector (en de Landbouw in mindere mate).

- Welke rol ziet u voor waterstof weggelegd aan de hand van de klimaat doelen?
- Hoe ziet u de rol van waterstof voor deze vier sectoren? (mobiliteit, industrie, gebouwen & energie)
- Regelmatig wordt het kip/ei dilemma genoemd bij de implementatie van waterstof, hoe kan dat doorbroken worden?
- Hoe staat uw bedrijf tegenover de aanleg van een aantal waterstof tankstations om de toegankelijkheid van waterstof te faciliteren, zoals in Duitsland momenteel gebeurt? Is er ook een manier om dit via markt partijen te regelen?

Acties/interventies voor waterstof

- In welke sector ziet u waterstof als eerste groeien? Welke sectoren hebben vervolgens de meeste kansen voor het gebruik van waterstof?
- Hoe zeker of onzeker is het dat waterstof onderdeel van het energiesysteem zal worden?

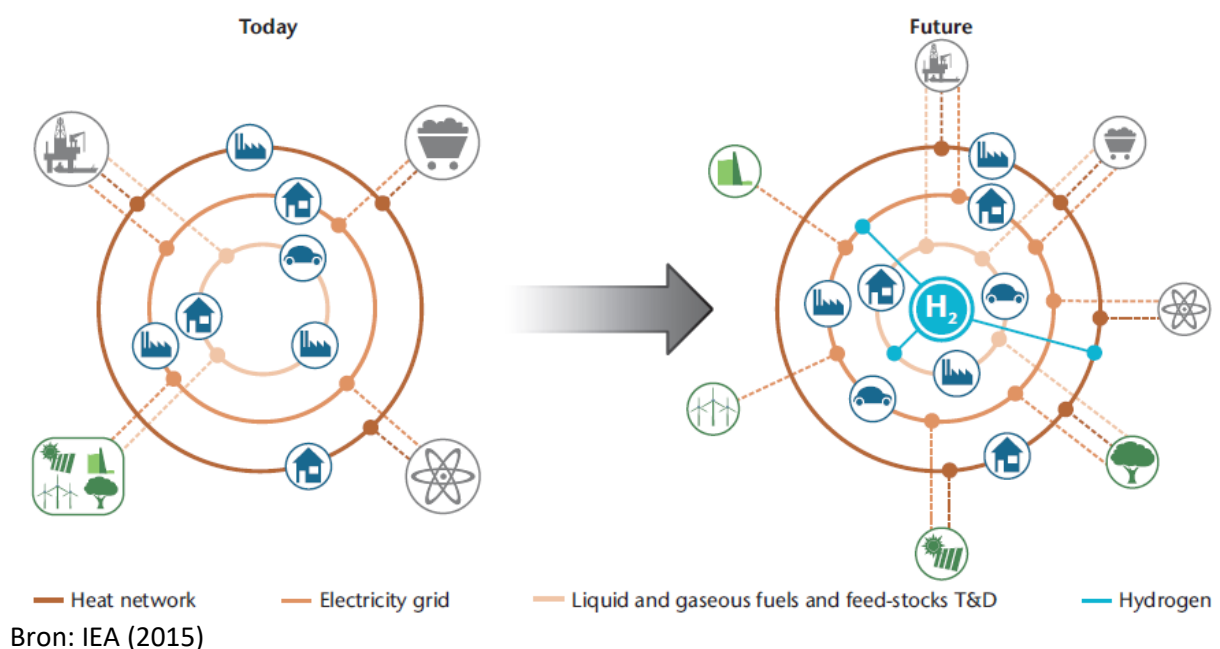
De verschillende betrokken partijen en hun belangen

- Wat zijn uw belangen binnen de transitie naar een waterstofinfrastructuur?
- Wat zijn volgens u de belangrijke stakeholders/actoren voor een groei van het gebruik van waterstof?
- Werkt u samen met andere partijen? Wordt er kennis gedeeld binnen de samenwerking?

Wat vindt u van het onderstaande stappenplan? → Bij gevoegd figuur volgende pagina

Kansen en business cases

- Door onder andere de IEA wordt waterstof gezien als een brug tussen de levering van grondstoffen, warmte en elektriciteit hoe ziet u dit?



- Welke businesscases rondom waterstof zijn momenteel het meest kansrijk ?
- Hoe kan ervoor worden gezorgd dat die investeringen daadwerkelijk gaan plaatsvinden? En hoe kunnen deze worden opgeschaald?
- Wat zijn de grootste belemmeringen voor het investeren in de waterstofinfrastructuur? Wat is het grootste risico? Randvoorwaarden

Het volgen van ontwikkelingen op het gebied van waterstofinfrastructuur

- Is er genoeg informatie beschikbaar over trends en ontwikkelingen en over kosten en baten van een waterstofinfrastructuur?
- Aan welke informatie/kennis/gegevens heeft u behoefte om de kans op investeringen te vergroten?

Laatste vraag:

- Vragen naar contact gegevens voor meer interviews

Waterstof routekaart

