



RIJDEN OP WATERSTOF

Het realiseren van een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland

MASTERSCRIPTIE
Augustus 2018
Marin Epema
Rijksuniversiteit Groningen
Royal HaskoningDHV

Details

Titel:	Rijden op Waterstof
Ondertitel:	Het realiseren van een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland
Auteur:	Marin Epema
Studentnummer:	S2171937
Opleiding:	MSc Environmental and Infrastructure Planning Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen Rijksuniversiteit Groningen
Begeleider:	Dr. F.M.G. Van Kann (Rijksuniversiteit Groningen)
In opdracht van:	Royal Haskoning DHV
Begeleider:	Dhr. M. Jager (Royal HaskoningDHV)
Periode:	Oktober 2017 – augustus 2018
Versie:	Concept volledige scriptie
Inleverdatum:	13 augustus 2018
Afbeelding voorkant:	Eurologport (2017)

Dankwoord

Anno 2018 wordt in Nederland al op grote schaal waterstof geproduceerd door de industriesector. Voor mij was het lange tijd onbekend welke mogelijkheden waterstof de maatschappij zou kunnen bieden in de richting van een duurzame toekomst. Vol bewondering kijk ik naar landen zoals Japen en Duitsland, waar waterstof al wordt toegepast in de gebouwde omgeving en in de mobiliteit. Hoe meer ik over waterstof lees, hoe enthousiaster ik word. Toch blijf ik ook kritisch; er is nog een lange weg te gaan voor we in Nederland een 'waterstofeconomie' bereiken.

Door de kennis die ik tijdens mijn opleiding Environmental and Infrastructure Planning aan de Rijksuniversiteit in Groningen heb opgedaan en door de kennis die ik tijdens mijn stage bij Royal HaskoningDHV heb opgedaan, ben ik gaan begrijpen hoe het kan dat het realiseren van een waterstofeconomie niet van de ene op de andere dag plaats kan vinden. Het is een transitie en om deze transitie te laten slagen is begeleiding, samenwerking en het delen van kennis hard nodig.

De afgelopen maanden heb ik 'de wereld van de waterstof' op nauwe voet kunnen volgen en beter leren kennen. Zo heb ik een beter beeld gekregen van de kansen en mogelijkheden die waterstof biedt en heb ik een beeld gekregen van de dilemma's waar men tegen aan loopt.

Deze kijk in 'de wereld van waterstof' had ik niet kunnen krijgen zonder de kansen die ik heb gekregen vanuit Royal HaskoningDHV. Mijn dank gaat uit naar Marc Jager en Rick Sieling voor hun begeleiding tijdens mijn scriptie en voor de praktijkervaring die ik heb kunnen krijgen. Ook wil ik Marc en Rick, maar ook Michael Freerks en Daan Smit bedankt voor de feedback en waardering die ik heb gekregen binnen het bedrijf. Ook wil ik Fabian Kruiper bedanken voor de prettige samenwerking die ervoor heeft gezorgd dat ik het beste uit mezelf kon halen en dat ik geïnspireerd bleef om op onderzoek uit te gaan.

Vanuit de Rijksuniversiteit Groningen zou ik allereerst graag Ferry van Kann willen bedanken die mij tijdens de gehele periode dat ik aan het werk ben geweest voor mijn scriptie heeft begeleid. Ferry was ten alle tijden bereid mij te helpen en gaf zeer waardevolle feedback. Natuurlijk wil ik ook de medestudenten bedanken waar ik tijdens de masterstudie ontzettend veel contact mee heb gehad en heel veel steun van heb gekregen.

Samenvatting

De negatieve gevolgen van het gebruik van fossiele energiebronnen is onder de aandacht gekomen door klimaatverandering en door het besef dat fossiele energiebronnen in de toekomst op zouden kunnen raken. Om verdere klimaatverandering te voorkomen en om het gebruik van fossiele energiebronnen te beperken, is een transitie nodig naar een nieuw energiesysteem; een energiesysteem waarin fossiele energiebronnen worden vervangen door duurzame energiebronnen. Met oog op deze doelstelling, zouden in de mobiliteitssector, voertuigen op fossiele brandstoffen kunnen worden verplaatst voor waterstof-elektrische voertuigen. Heden ten dage is het marktaandeel van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland nog laag ten opzichte van voertuigen op fossiele brandstoffen en batterij-elektrische alternatieven. Omdat de realisatie van de waterstofinfrastructuur grote aanpassingen vereist op het gebied van regulatie, onderhoud, voorzieningen, gebruikspatronen en culturen en moralen, zijn deze aanpassingen in alle lagen van een maatschappij voelbaar en kan dit leiden tot belemmeringen tot realisatie. Momenteel wordt de realisatie van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland belemmerd door relatief hoge investeringskosten en hoge onzekerheid over rendement van investeringen op lange termijn. Hierdoor ontstaat er een kip-ei dilemma, waarbij er zowel aan de vraagzijde als aan de aanbodzijde nauwelijks investeringen in de infrastructuur plaatsvinden. In dit onderzoek is onderzocht op welke manier deze belemmeringen kunnen worden overkomen. Uit de resultaten blijkt dat de belemmeringen kunnen worden overkomen door intersectorale samenwerking, waarbij door middel van het opstarten van projecten, de aanbodzijde en vraagzijde tegelijkertijd worden gerealiseerd. Binnen deze intersectorale samenwerkingen en projecten, is het van belang dat er regievoering is op het borgen van kennisdeling en risicodeling. Daarnaast is regievoering van belang voor het benutten van kansen binnen intersectorale samenwerking en voor het optimaliseren van samenhang binnen gezamenlijke projecten.

Inhoudsopgave

Details	2
Dankwoord.....	3
Samenvatting	4
1 Inleiding tot het onderzoek	7
1.1 <i>Aanleiding van het onderzoek.....</i>	8
1.1.1 Tijd voor verandering	8
1.1.2 De politieke agenda	8
1.1.3 Structurele veranderingen.....	9
1.2 <i>Probleemstelling van het onderzoek.....</i>	11
1.3 <i>Doelstelling en vraagstelling van het onderzoek</i>	12
1.4 <i>Maatschappelijke en academische relevantie</i>	13
1.4.1 Maatschappelijke relevantie	13
1.4.2 Academische relevantie	14
1.5 <i>Leeswijzer</i>	14
2 Achtergrondinformatie en specificaties.....	15
2.1 <i>Een nieuw energiesysteem in Nederland.....</i>	16
2.1.1 Waterstof als veelbelovende ontwikkeling	16
2.1.2 Het produceren, transporteren en opslaan van waterstof	17
2.2 <i>Toepassingen van waterstof.....</i>	17
2.2.1 Gebruik van Waterstof in de mobiliteitssector	18
3 Theoretisch kader	19
3.1 <i>Duurzame innovaties.....</i>	20
3.2 <i>Systeembenadering van duurzame innovaties</i>	21
3.2.1 Meerdere fases binnen een transitie.....	22
3.2.2 Dynamieken binnen het socio-technisch systeem.....	24
3.3 <i>Het opschalen van innovaties</i>	25
3.3.1 Diffusie van innovaties	26
3.3.2 Het multi-level perspectief toegepast op de waterstofinfrastructuur.....	28
3.3.3 Het effect op verandering van het socio-technische systeem	29
3.4 <i>Transitiemanagement</i>	30
3.4.1 Strategische actieagenda	30
3.4.2 Tactische transitieagenda.....	31
3.4.3 Operationele agenda.....	31
3.4.4 Reflectie.....	31
3.4.5 De visie en acties van betrokken actoren.....	31
3.5 <i>Conceptueel model.....</i>	32

4 Methodologie	34
4.1 <i>Methode van onderzoek</i>	35
4.2 <i>Algemene onderzoeksstrategie</i>	35
4.3 <i>Methode van dataverzameling</i>	36
4.3.1 <i>Onderzoekdeel 1: Documentanalyse, literatuuronderzoek en participatieonderzoek</i>	36
4.3.2 <i>Onderzoekdeel 2: Semigestructureerde interviews en participatief onderzoek</i>	37
4.3.3 <i>Strategie interviews</i>	38
4.3.4 <i>Structuur interviews</i>	38
4.3.5 <i>Methode van data-analyse</i>	39
4.4 <i>Het selecteren van relevante actoren</i>	40
4.5 <i>Ethiek</i>	41
5 Resultaten	42
5.1 <i>Inleiding tot de resultaten</i>	43
5.2 <i>Data-analyse interviews</i>	44
5.2.1 <i>Toekomstperspectief en visie waterstofinfrastructuur</i>	44
5.2.2 <i>Functies en belangen binnen het landschap, regime en niche</i>	46
5.2.3 <i>Manieren om onzekerheden te verkleinen</i>	49
5.2.4 <i>Manieren om investeringskosten te beperken</i>	50
5.2.5 <i>Randvoorwaarden om te investeren</i>	52
5.3 <i>Acties voor transitie management</i>	53
5.3.1 <i>Strategische actieagenda – visies en doelen op lange termijn</i>	53
5.3.2 <i>Tactische transitieagenda – acties op korte termijn</i>	54
5.3.3 <i>Operationele experimenten</i>	55
5.3.4 <i>Evaluatie</i>	56
6 Conclusie, discussie en reflectie	57
6.1 <i>Conclusie</i>	58
6.1.1 <i>Beantwoorden van de deelvragen</i>	58
6.1.2 <i>Het overkomen van belemmeringen: richting take-off</i>	60
6.2 <i>Discussie</i>	62
6.3 <i>Reflectie</i>	63
7 Literatuur	65
Appendix Interviewguide en codering Interviews	72
<i>Appendix I: Algemene interviewguide</i>	73
<i>Appendix II: Codering interview</i>	75

1

Inleiding tot het onderzoek

1.1 Aanleiding van het onderzoek

1.1.1 Tijd voor verandering

Toen een groot deel van de wereld zich tot een industriële maatschappij ontwikkelde, groeide op globaal niveau de economie, groeide de bevolking en groeide tegelijkertijd de globale vraag naar energie (IPCC, 2014(1)). Om in deze energievraag te kunnen voorzien werden fossiele energiebronnen zoals steenkool, aardolie en aardgas gebruikt voor het opwekken van elektriciteit en voor het produceren van warmte. Waar fossiele energiebronnen de maatschappij lange tijd economische voorspoed hebben kunnen geven, kwam rondom de jaren '70 van de vorige eeuw vanuit de wetenschap steeds meer aandacht voor de nadelige gevolgen van het gebruik van deze bronnen.

Het gebruik van fossiele energiebronnen heeft de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer drastisch hebben doen laten toenemen (IPCC, 2014 (1)). Hierdoor is de kwaliteit van het milieu en de leefbaarheid van de omgeving voor mens en dier zwaar onder druk komen te staan. Zo tast zure regen de gebouwde omgeving aan en kunnen luchtvervuilende broeikasgassen leiden tot gezondheidsklachten onder de bevolking. Daarnaast wordt de toename van de concentratie koolstofdioxide (CO₂) in verband gebracht met een veranderend klimaat. De gevolgen van klimaatverandering zijn ongeëvenaard: de biodiversiteit neemt af, de zeespiegel stijgt en er komen steeds vaker extreme weersomstandigheden voor (IPCC, 2012).

Er is nog een ander probleem met betrekking tot het gebruik van fossiele energiebronnen geïdentificeerd: fossiele energiebronnen zouden op een bepaald moment in de toekomst op kunnen raken en zijn zeer beperkt hernieuwbaar (IPCC, 2014 (1)).

Om verdere gevolgen van het gebruik van fossiele energiebronnen, luchtvervuiling en klimaatverandering te voorkomen, pleiten veel wetenschappers voor een koolstofarme en duurzame toekomst, waarin de kwaliteit van het milieu en leefbaarheid van de omgeving worden gewaarborgd en waarbij toch kan worden voorzien in de globale energievraag. Dit pleidooi vanuit de wetenschap kreeg vervolgens een steeds hogere prioriteit op de internationale en nationale politieke agenda.

1.1.2 De politieke agenda

Op 12 december 2015 werd in Parijs het klimaatakkoord getekend door maar liefst 195 verschillende landen. Door het tekenen van dit akkoord zijn de ondertekenende landen gebonden aan de ambities van de Verenigde Naties om verdere luchtvervuiling en klimaatverandering te beperken. Het streven hierbij is om de gemiddelde globale temperatuurstijging onder de twee graden Celsius te houden ten opzichte van het pre-industriële tijdperk en om te voorkomen dat de temperatuur verder stijgt met 1.5 graden Celsius (UNFCCC, 2015).

Als het gaat om het gebruik van fossiele energiebronnen en uitstoot van broeikasgassen, dan worden vijf verschillende sectoren onderscheiden: de mobiliteitssector, de gebouwde omgeving, de energiesector, de industriële sector en de agrarische sector. (McKinsey & Company, 2016). Iedere sector heeft een eigen aandeel in intensiviteit van benutting van fossiele energiebronnen en uitstoot van schadelijke broeikasgassen. (IPCC, 2014(2)). Voor de ondertekenende landen ligt hier de taak om te komen tot maatregelen die de doelstelling van het klimaatakkoord kunnen bereiken. Het is daarmee aan de ondertekenende landen zelf om voor de vijf verschillende sectoren invulling te geven aan de gestelde doelstelling in het klimaatakkoord.

Ook Nederland ondertekende het klimaatakkoord en is daarmee gebonden aan de gestelde doelstellingen. Sterker nog, Nederland deed er een schepje bovenop. Waar het klimaatakkoord stelt dat de uitstoot van CO₂ voor 2030 moet worden verlaagd met 40%, wil de overheid van Nederland de CO₂-uitstoot van Nederland voor 2030 met 49% omlaag hebben (Kabinet Nederland, 2017).

Dit betekent dat er in Nederland nog grote stappen moeten worden gezet. Ondanks dat Nederland de energie-efficiëntie de afgelopen jaren heeft verbeterd, blijft Nederland een grootgebruiker van fossiele energiebronnen (McKinsey & Company, 2016). Slechts 6% van de Nederlandse energieproductie is momenteel afkomstig uit hernieuwbare bronnen zoals windenergie, zonne-energie en biomassa (McKinsey & Company, 2016).

1.1.3 Structurele veranderingen

Om te kunnen voldoen aan de doelstellingen van het klimaatakkoord van Parijs zullen er daarom verstrekkende maatregelen genomen moeten worden in de vijf genoemde sectoren en zullen er een structurele veranderingen moeten plaatsvinden op het gebied van het opwekken van energie en consumptie van energie (McKinsey & Company, 2016). McKinsey & Company (2016) omschrijven de volgende voorbeelden van veranderingen die plaats zullen moeten vinden binnen de verschillende sectoren.

1. Op het gebied van de gebouwde omgeving zal er veel aandacht moeten zijn voor duurzame verwarming van huizen en voor energiemanagement op wijkniveau.
2. In de industrie zal in eerste instantie een belangrijke rol zijn weggelegd voor het afvangen en opslaan van CO₂ (CCS) om te zorgen dat deze CO₂ niet vrijkomt in de atmosfeer. Daarnaast zijn er veel kansen voor het verhogen van de efficiëntie van industriële processen en de zoektocht naar alternatieve grondstoffen.
3. In de mobiliteitssector zal het transport moeten gaan rijden op elektrische alternatieven of op andere CO₂-neutrale alternatieven.

De doelstellingen van het klimaatakkoord van Parijs en het Nederlandse regeerakkoord zullen niet worden bereikt zonder maatregelen op het gebied van de mobiliteitssector (IPCC, 2014 (2)) Door wereldwijde toename van welvaart en door bevolkingsgroei, zou de CO2-uitstoot in de mobiliteitssector in de toekomst kunnen gaan verdubbelen wanneer er geen actie wordt ondernomen (IPCC, 2014 (2)). Het anticiperen op bevolkingsgroei en toenemende drukte in combinatie met verduurzaming biedt grote uitdagingen op het gebied van ruimtelijke planning. Hierbij kan worden gedacht aan het creëren van innovatieve en duurzame stadsplannen en aan het realiseren van infrastructurele voorzieningen voor duurzame alternatieve brandstoffen (Mckinsey & Company, 2016). Vanwege deze uitdagingen op het gebied van ruimtelijke planning, zal in deze scriptie verder in worden gegaan het verduurzamen van de mobiliteitssector in Nederland.

1.1.4 De mobiliteitssector in Nederland

De Nederlandse overheid stelt twee harde eisen als het gaat om de mobiliteitssector: per 2025 moet al het openbaar vervoer in Nederland CO2-neutraal zijn en per 2030 mogen er geen voertuigen die gebruik maken van fossiele brandstoffen meer worden verkocht (Kabinet Nederland, 2017). Om deze doelstelling te bereiken zouden er in Nederland rondom 2030 ongeveer drie miljoen nul-emissie voertuigen moeten rondrijden (SER, 2014). De Nederlandse overheid onderscheidt hierbij vier soorten nul-emissie voertuigen die een alternatief voor voertuigen rijdend op fossiele brandstoffen zouden kunnen zijn: elektrisch vervoer in de vorm van batterij-elektrisch en waterstof-elektrisch en vervoer op hernieuwbare gassen en biobrandstoffen. Om te zorgen dat de doelstelling van de Nederlandse overheid kan worden bereikt voor de mobiliteitssector, stelt de overheid dat voor deze brandstoffen "marktintroductie en marktontwikkelingsprogramma's voor diverse vormen van elektrische aandrijving in personen- en vrachtverkeer moeten worden gerealiseerd, inclusief laad- en waterstoftankinfrastructuur en gerelateerde diensten, plus de aansluiting op het verdere energiesysteem" (SER, 2014). Voor batterij-elektrische voertuigen is ten opzichte van 2011 al een aanzienlijk aantal publieke en private laadpunten gerealiseerd. Er waren in 2017 al ruim 28.000 laadpalen voor elektrische voertuigen te vinden. 665 van deze laadpalen bestaan uit publieke snel-laadpalen die zich langs snelwegen bevinden (Bovag, 2017). Uit deze gegevens blijkt dat er voor batterij-elektrische voertuigen reeds een aanzienlijk aantal publieke en private laadpunten zijn gerealiseerd. Een andere vorm van elektrisch rijden kan worden gevonden in waterstof-elektrische voertuigen.

Tabel 1: Marktaandeel tankstations Nederland (Bovag, 2017)

Aantal tankstations en vulpunten alternatieve brandstoffen							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tankstations	4.206	4.215	4.216	4.199	4.198	4.184	4.164
Laadpalen	1.826	3.611	5.750	11.860	14.152	21.010	28.414
Snellaadpalen	15	63	100	254	363	472	665
CNG (Gecomprimeerd aardgas)	97	108	134	136	136	140	158
LNG (Vloeibaar aardgas)	1	1	4	4	4	3	16
Waterstof	-	1	2	3	3	3	3

De verwachting is dat waterstof als brandstof de CO₂-uitstoot in de mobiliteitssector drastisch kan doen verlagen (Farla et al., 2010). Op 18 december 2017 kopte het nieuwsblad over de energietransitie, genaamd 'Energiea' het volgende: "Waterstof als energiedrager staat nog in de kinderschoenen". Deze constatering van Energiea kan worden erkend uit een analyse van gegevens over het huidige marktaandeel van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland (zie tabel 1 en paragraaf 1.2).

1.2 Probleemstelling van het onderzoek

Een aantal autofabrikanten zoals Toyota en Hyundai hebben de eerste personenvoertuigen met brandstofcel voor waterstof gemaakt en beschikbaar gesteld voor verkoop. Daarnaast hebben meerdere bedrijven, zoals VDL en Hyundai, de eerste waterstoftrucks gefabriceerd met brandstofcel als range-extender (TKI-Gas, 2017). Desalniettemin zijn het aantal personenvoertuigen, vrachtwagens en bussen nog relatief laag ten opzichte van vervoersmiddelen op andere brandstoffen.

Begin 2018 reden er in Nederland meer dan 8 miljoen personenvoertuigen rond (CBS, 2018). Van deze 8 miljoen voertuigen reden eind 2017 slechts 38 personenvoertuigen op waterstof rond (TKI-Gas, 2017). Daarnaast reden er eind 2017, 10 waterstofbussen rond en reden er nog geen treinen en vrachtwagens rond. Het precieze aantal speciale voertuigen dat in Nederland rondrijdt is niet bekend. In tabel 1 is te zien dat in het jaar 2011 het eerste tankstation voor waterstofvoertuigen is gerealiseerd in Nederland. Anno 2018 zijn er in Nederland slechts 3 tankstations bij gekomen. Deze vier wateroftankstations maken slechts 4% uit van de totale tankinfrastructuur in Nederland (Bovag, 2017). Maar liefst 86% van de totale tankinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland is bestemd voor fossiele brandstoffen (berekening gebaseerd op tabel 1, Bovag, 2017).

Om te kunnen voldoen aan de doelstellingen van het klimaatakkoord van Parijs is het van belang dat de infrastructuur voor fossiele brandstoffen, verandert naar een infrastructuur voor duurzame brandstoffen, zoals waterstof. Hierbij is het cruciaal dat innovaties op het gebied van de waterstofinfrastructuur opschalen (Geels, 2005) en een hoger marktaandeel verkrijgen. Voor sommige innovaties is het relatief gemakkelijk om toegepast en opgeschaald te worden in een maatschappij, echter de mobiliteitssector is complex, omdat veranderingen in deze sector voelbaar zijn in alle lagen van de maatschappij. Het opschalen van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector vereist dan ook grote maatschappelijke veranderingen ten opzichte van de bestaande infrastructuur (Kemp, 1994). Hierdoor gaat in Nederland de opschaling van innovaties op het gebied van de waterstofinfrastructuur gepaard met belemmeringen.

1.3 Doelstelling en vraagstelling van het onderzoek

In dit onderzoek zal worden onderzocht wat de belemmeringen zijn voor het komen tot een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland. Vervolgens zal worden onderzocht op welke manier deze belemmeringen zouden kunnen worden overkomen, zodat het marktaandeel van de waterstofinfrastructuur kan worden vergroot en er op grote schaal een netwerk voor de waterstofinfrastructuur ontstaat in Nederland. De hoofdvraag van dit onderzoek luidt als volgt:

“Op welke manier kunnen de belemmeringen met betrekking tot het realiseren van een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland worden overkomen?”

Het onderzoek zal zich voor het beantwoorden van de hoofdvraag richten op de modaliteiten die als geschikt worden geacht voor gebruik van waterstof. Hierbij gaat het om het zwaarder vervoer zoals bussen, treinen, vrachtwagens en speciaal vervoer (ambulance, afvalwagens, veegwagens) en het zwaardere personenvervoer. De keuze voor deze vervoersvormen wordt toegelicht in paragraaf 2.2.1.

Ter ondersteuning van de hoofdvraag zal in dit onderzoek in het eerste deel worden onderzocht wat de karakteristieken zijn van het realiseren van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland. Hierbij zal eerst een inzicht worden gegeven in het belang van een duurzaam energiesysteem en van een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector. Daarna zal worden onderzocht in welke fase van realisatie de waterstofinfrastructuur zich bevindt en van welke factoren de realisatie afhankelijk is. Als laatste zal worden onderzocht wat de belemmeringen zijn voor het komen tot de infrastructuur. In het tweede deel van het onderzoek zal worden onderzocht wat de visie is van betrokken actoren op de realisatie van de infrastructuur en zal worden onderzocht hoe betrokken anticiperen op de belemmeringen voor het komen tot de infrastructuur.

In tabel 2 is een overzicht gegeven van de twee genoemde onderzoekdelen en de daarbij behorende deelvragen die zullen worden beantwoord in dit onderzoek. Om de structuur van dit onderzoeksrapport te verduidelijken, is in de rechterkolom van tabel 2 weergegeven in welk hoofdstuk iedere deelvraag wordt beantwoord.

Deelvraag	Hoofdstuk
Deel 1: De karakteristieken van de realisatie van een waterstofinfrastructuur	
1. Wat is het belang van het komen tot een duurzaam energiesysteem in Nederland?	1
2. Wat is het belang van het komen tot een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector?	1 en 2
3. In welke fase van de transitie naar een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector bevindt Nederland zich?	3
4. Van welke factoren is de opschaling van duurzame innovaties voor een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector afhankelijk?	3
5. Wat zijn de grootste belemmeringen om te komen tot een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector?	3
Deel 2: De betrokken actoren bij de realisatie van de waterstofinfrastructuur en hun visie op de realisatie	
6. Welke actoren zijn betrokken bij de realisatie van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland?	4
7. Wat is de visie van de betrokken actoren met betrekking van het realiseren van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector? <ul style="list-style-type: none"> • Wat is het toekomstbeeld over de ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur in Nederland? • Wat is het belang en functie van verschillende actoren? 	5
8. Hoe anticiperen betrokken actoren bij het realiseren van een waterstofinfrastructuur op belemmeringen? <ul style="list-style-type: none"> • Op welke manieren kan onzekerheid met betrekking tot investeringen in de waterstofinfrastructuur worden verlaagd? • Op welke manier kunnen kosten voor investeringen worden verlaagd? • Op welke manier wordt er gepioneerd en geëxperimenteerd? • Wat zijn de randvoorwaarden om te investeren? 	5

Tabel 2: Overzicht deelvragen

1.4 Maatschappelijke en academische relevantie

1.4.1 Maatschappelijke relevantie

Waterstof kan een rol spelen in het CO₂-neutraal maken van de mobiliteitssector. Vanwege deze reden is groot belang weggelegd voor het realiseren van een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector. Om te zorgen voor een schonere en leefbaardere maatschappij voor huidige en toekomstige generaties, is het vervangen van een infrastructuur voor fossiele

brandstoffen tot een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector daarom wenselijk en wellicht zelfs noodzakelijk. Echter, er is nog een lange weg te gaan voordat er een waterstofinfrastructuur wordt gerealiseerd. De realisatie vereist namelijk grote aanpassingen en een transitie van een maatschappelijk systeem. Hierdoor kan de realisatie van een waterstofinfrastructuur tientallen jaren duren. Om een schone en leefbare wereld te bereiken en om de doelstellingen van het klimaatakkoord van Parijs te bereiken, zou de transitie daarom zo snel mogelijk op gang moeten worden gebracht (Moliner et al., 2016).

1.4.2 Academische relevantie

Het realiseren van CO₂-neutrale mobiliteit is van groot belang om te voldoen aan de doelstellingen van het klimaatakkoord van Parijs. Een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector zou kunnen bijdragen aan het bereiken van deze doelstellingen. Om een waterstofinfrastructuur te kunnen realiseren, is het van groot belang dat er innovaties plaatsvinden op het niche-niveau en dat innovaties opschalen om een verandering van het bestaande socio-technische systeem teweeg te kunnen brengen (Schot & Geels, 2008). Dit vereist maatschappelijke veranderingen en een transitie (Geels, 2011; Kemp et al., 2007 (2)). Inzichten en dynamieken van verschillende actoren binnen een socio-technisch systeem volgens het multi-level perspectief, hebben bewezen een zinvolle manier te zijn voor het begrijpen van hoe een transitie plaatsvindt (Whitmarsh, 2012). Door dit begrip kan een transitie op een meer effectieve manier gestuurd worden in de richting van het gewenste doel.

1.5 Leeswijzer

Het eerstvolgende hoofdstuk (hoofdstuk 2) zal een toelichting geven op de achtergrond en specificaties van waterstof over het algemeen en voor gebruik in de mobiliteitssector. Hierin zal dieper in worden gegaan op de mogelijkheden van waterstof voor het toekomstige energiesysteem en op de mogelijkheden van waterstof in de mobiliteitssector. Na een omschrijving van de achtergrond en specificaties van waterstof zal het theoretisch kader aan bod komen. Hierin komen theorieën over duurzame innovaties en transities aan bod. In het vierde hoofdstuk zullen de methodes die gebruikt zijn voor het onderzoek worden omschreven. In hoofdstuk vijf zullen de resultaten worden gegeven, waarna vervolgens in hoofdstuk zes, in de conclusie een antwoord zal worden gegeven op de hoofdvraag voor dit onderzoek. Daarna volgt een discussie van de resultaten. Het onderzoek sluit af met een discussie over de resultaten en met een weergave van de gebruikte literatuur en verkregen data.

2

Achtergrond- informatie en specificaties

2.1 Een nieuw energiesysteem in Nederland

Om te kunnen voldoen aan de doelstelling van het klimaatakkoord van Parijs zullen er in Nederland structurele veranderingen moeten plaatsvinden op het gebied van het opwekken van energie en consumptie van energie. Deze veranderingen zullen moeten gaan plaatsvinden in vijf verschillende sectoren, te weten: de agrarische sector, de industriële sector, de energiesector, de gebouwde omgeving en de mobiliteitssector (McKinsey & Company, 2016). Volgens McKinsey & Company (2016) zal over het algemeen het aanbod in elektriciteit moeten gaan toenemen. Deze elektriciteit zal op een duurzame manier moeten worden opgewekt door bijvoorbeeld windenergie, zonne-energie of biomassa. Om een aanzienlijk deel van de opwekking van energie te laten komen uit duurzame bronnen, zal er veel moeten worden geïnvesteerd in offshore windparken. De voorbereiding op dit nieuwe energiesysteem brengt een aantal aandachtspunten met zich mee (McKinsey & Company, 2016). Er zal moeten worden onderzocht hoe hernieuwbare energiebronnen het beste geïntegreerd kunnen worden in de energiemix. Hierbij worden vier belangrijke aandachtspunten en uitdagingen voor de toekomst geïdentificeerd: hoe gaan we om met variatie in productie van duurzame energie? Hoe slaan we duurzaam opgewekte energie op? Hoe zetten we energie om? Hoe transporteren we energie?

2.1.1 Waterstof als veelbelovende ontwikkeling

Waterstof zou een oplossing kunnen bieden voor de toekomstige uitdagingen als het gaat om het integreren van hernieuwbare energiebronnen in de energiemix. Waterstof is geen nieuw fenomeen en wordt in Nederland al op grote schaal geproduceerd als bijproduct in de chemische sector. Momenteel wordt de waterstof voornamelijk gebruikt als grondstof voor de chemie (Ball & Weeda, 2015). Waterstof is als energiedrager het lichtste element in het periodieke systeem en is daarnaast het meest voorkomende element in het universum (Winter, 2009). Het is altijd gekoppeld aan een ander element, waardoor energie nodig is om via elektrolyse waterstof los te krijgen van een ander element (Winter, 2009).

In een visionair beeld over waterstof wordt een drietal mogelijkheden van waterstof geschetst (Van Wijk, 2017; Sharma & Goshal, 2015). 1) Elektriciteit zou kunnen worden opgeslagen in de vorm van waterstof. Op deze manier zouden eventuele pieken en dalen in het aanbod van elektriciteit kunnen worden opgevangen en biedt het, het elektrische systeem meer veerkracht. 2) Waterstof kan eenvoudig en goedkoop worden opgeslagen en gedistribueerd. 3) Waterstof zou een grote rol kunnen gaan spelen in het zorgen voor een koolstofarme toekomst in vier van de vijf genoemde sectoren (McKinsey & Company, 2016).

2.1.2 Het produceren, transporteren en opslaan van waterstof

Waterstof heeft de potentie om voor een waardeketen van productie tot gebruik volledig CO₂-neutraal te zijn (Conte et al., 2001). De kans dat een gehele waardeketen van opwekking van energie CO₂-neutraal is, hangt af van de manier waarop waterstof wordt geproduceerd (Ball & Weeda, 2015). Er zijn meerdere manieren waarop waterstof kan worden geproduceerd (Winter, 2009): als eerste kan waterstof op een niet CO₂-neutrale (grijze) manier worden geproduceerd doormiddel van stoom reforming vanuit aardgas. Het is mogelijk om het grijze productieproces van waterstof CO₂-neutraal te maken. Hiervoor zal de CO₂ die vrijgekomen is, moeten worden afgevangen en opgeslagen (CCS) (blauwe waterstof). Voor het bereiken van een CO₂-neutrale toekomst is vooral groene productie van waterstof interessant. Groene waterstof is namelijk van productie tot toepassing vrijwel geheel CO₂-neutraal. In het geval van groene waterstof, wordt waterstof geproduceerd door middel van elektriciteit vanuit energiebronnen zoals windenergie, zonne-energie en biomassa. Deze elektriciteit kan vervolgens worden gebruikt voor elektrolyse om water van zuurstof te scheiden. Hierbij wordt waterstof geproduceerd. De manier waarop waterstof vervolgens wordt getransporteerd of gedistribueerd is afhankelijk van de afstand tussen de locatie van productie van waterstof en de hoeveelheid waterstof die moet worden vervoerd (ECN, 2006). Hierbij gaat transport van waterstof gepaard met energieverliezen (ECN, 2006).

2.2 Toepassingen van waterstof

Als het gaat om toepassingen voor waterstof, dan worden de volgende toepassingen voor vier verschillende sectoren omschreven (TKI-Gas, 2017).

Ten eerste kan waterstof een rol spelen in de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving en het zou gebruikt kunnen worden voor het koken en andere huishoudelijke vereisten. Ten tweede kan waterstof in de industriesector fungeren als een belangrijke grondstof en kan het gebruikt worden als vervanger voor aardgas voor hoge temperatuurwarmte en voor het genereren van energie. Ook kan waterstof worden gebruikt als brandstof voor de industriesector en voor de mobiliteitssector. Wanneer waterstof in toenemende mate wordt toegepast in het nieuwe energiesysteem, dan zal de maatschappij zich richting een 'waterstofeconomie' ontwikkelen. Om de waterstofeconomie daadwerkelijk een kans te kunnen geven in de maatschappij, is het van groot belang dat er maatschappelijk bewustzijn is en dat er voldoende kennis is over de mogelijkheden die waterstof zou kunnen bieden. Binnen de waterstofeconomie vervult de mobiliteitssector hierin een belangrijke rol (Ball & Wietschel, 2009). Waterstof als alternatieve brandstof in de mobiliteitssector zou namelijk de zichtbaarheid van de rol van waterstof voor de maatschappij inzichtelijk kunnen maken.

2.2.1 Gebruik van Waterstof in de mobiliteitssector

Al rond de 19^e waren de eerste ontwikkelingen op het gebied van het gebruik van waterstof in combinatie met brandstofcellen in de mobiliteitssector uitgevoerd (Carette et al., 2001). Brandstofcellen vormen de 'motor' van een waterstofvoertuig doordat een brandstofcel elektriciteit kan genereren uit waterstof. Rijden op waterstof biedt een drietal voordelen ten opzichte van het rijden op fossiele brandstoffen:

1. Het rijden op waterstof biedt de mogelijkheid om vanaf het tanken tot en met het rijden CO₂-neutraal te zijn – van **tank to wheel**. Afhankelijk van de manier waarop waterstof wordt geproduceerd, biedt rijden op waterstof zelfs de mogelijkheid om van productie van waterstof tot het rijden op waterstof CO₂-neutraal te zijn – van **well to wheel**. Na het omzetten van waterstof in elektriciteit komt alleen water uit de uitlaat vrij als uitstoot (Ball & Wietschel, 2009).
2. Het rijden op waterstof is vrijwel geheel geruisloos (Sinigaglia et al., 2017).
3. Het rijden op waterstof zou nog een ander voordeel kunnen bieden dat belangrijk kan zijn voor een CO₂-neutrale toekomst. Voor personenauto's geldt dat auto's gemiddeld maar zo'n vijf procent van de tijd worden gebruikt en dat de auto in de overige tijd stil staat. Omdat een waterstofvoertuig een elektrisch voertuig is, biedt dit de mogelijkheid om ten tijde van stilstand, nog steeds elektriciteit op te wekken. Door de auto te koppelen aan bijvoorbeeld een woning of een bedrijfspand, kan een huishouden in elektriciteit worden voorzien door het voertuig. Het gemiddelde vermogen dat een auto kan leveren is 10kW. Met dit wattage kan met een auto gemiddeld 10 huizen worden voorzien van elektriciteit (Van Wijk, 2017).
4. Waterstof heeft een hoge energiedichtheid waardoor de energie-efficiëntie van waterstof hoog ligt (Sharma & Goshal, 2015).
5. Personenvoertuigen op waterstof hebben een gemiddelde theoretische actieradius van ongeveer 600 kilometer

De voordelen die waterstof biedt voor de mobiliteit zullen naar waarschijnlijkheid niet voor alle vormen van modaliteit gelden. In literatuur worden voornamelijk de volgende modaliteiten als geschikt geacht voor waterstof (SER, 2014, Dominkovic et al., 2018 en Agnolucci, 2007). Het zwaardere vervoer zoals bussen, bestelbusjes, vrachtwagens en treinen zouden geschikt kunnen zijn voor waterstof en de zwaardere personenauto's die vaak langere afstanden rijden. De reden voor de keuze voor deze vormen van modaliteiten kan als volgt worden verklaard: het gemiddelde gewicht van een brandstofcel is lager dan van een accupakket. Voor het zwaardere vervoer is het daarom qua energieverbruik niet efficiënt om veel gewicht toe te voegen. Een brandstofcel zou in dat geval een betere optie zijn (Dominkovic et al., 2018). Daarnaast is de brandstofcel interessant voor voertuigen die langere afstanden rijden, omdat de actieradius voor het rijden op waterstof-elektrisch momenteel hoger ligt dan voor batterij-elektrisch

3

Theoretisch kader

3.1 Duurzame innovaties

Om de mobiliteitssector op waterstof te kunnen laten rijden zal er op grote schaal een netwerk van infrastructuur voor waterstof moeten worden gerealiseerd. Als het gaat om waterstof, dan kan de waterstofinfrastructuur worden omschreven als voorzieningen voor productie van waterstof tot distributie en levering van waterstof voor eindgebruik bedoeld (Kim & Moon, 2008). Voor het komen van duurzame oplossingen, zoals een waterstofinfrastructuur, is het komen tot duurzame innovaties een succesfactor geworden (Noseleit, 2017).

Duurzame innovaties worden in meerdere disciplines besproken, zoals onder andere in evolutionaire economie, ecologische economie, milieukunde, natuurkunde en management. Binnen deze disciplines worden duurzame innovaties op verschillende manieren omschreven. In Van den Bergh et al. (2011) worden duurzame innovaties omschreven als innovaties met een duidelijk doel of richting op het verminderen van impact op het milieu. Kemp & Pearson (2007) in Van den Bergh et al. (2011) omschrijven duurzame innovaties als een product of proces van productie, service, management of marktstrategie die nieuw en anders is voor de organisatie en die resulteert in een reductie van risico's voor het milieu in vergelijking met andere alternatieven. Verder worden innovaties richting een CO₂-neutraal energiesysteem vaak omschreven als radicale innovaties die oplossingen bieden die compleet anders zijn dan producten die reeds in de markt worden aangeboden (Walsh, 2012, Wilson & Tyfield, 2018). In Shakeel et al (2017) wordt omschreven dat de ontwikkeling van nieuwe technologieën gepaard gaat met het bereiken van nieuwe combinaties die de maatschappij nieuwe voordelen en mogelijkheden kunnen bieden voor een schonere en leefbaardere omgeving. Wanneer deze nieuwe technologieën worden aangeboden in de markt in een winstgevende setting in de vorm, dan kan er gesproken worden over een innovatie.

Vanuit neoklassiek en traditioneel oogpunt wordt innovatiebeleid als belangrijk middel gezien om te zorgen dat duurzame innovaties daadwerkelijk tot stand komen. Innovatiebeleid richt zich hierbij op het stimuleren van basisonderzoek naar innovatie, op het bieden van subsidies aan bedrijven voor onderzoek en ontwikkeling en op het beschermen van opkomende industrieën (Alkemade et al, 2011). Innovaties worden hierbij gezien als belangrijke economische stimulans, waarbij innovatiebeleid gericht is op het voorkomen van het falen van introductie van een innovatie in de markt (Alkemade et al., 2011; Nill & Kemp, 2009).

Als reactie op innovatiebeleid kwam vanuit de wetenschap het besef dat innovaties niet alleen zouden moeten worden gestuurd door neoklassiek en traditioneel innovatiebeleid. Innovatiebeleid zou zich namelijk te veel richten op het economisch belang (Alkemade et al., 2011) en daarnaast zou het niet gedetailleerd genoeg zijn en zou het te statisch zijn (Nill & Kemp, 2009). Voor het effectief stimuleren van innovaties zou er daarom rekening moeten worden gehouden met dynamische maatschappelijke factoren, waarbij het stimuleren van innovatie gepaard zou moeten gaan met het stimuleren van maatschappelijke verandering (Nill & Kemp, 2009).

3.2 Systeembenadering van duurzame innovaties

Innovaties zouden vanuit een breder maatschappelijk perspectief moeten worden bekeken, omdat innovaties vaak oplossingen bieden die ver van de realiteit van de huidige maatschappij liggen (Alkemade et al., 2011). Vanuit dit perspectief zou duurzame innovatie alleen kunnen worden gestimuleerd door rekening te houden met fundamentele sociale, culturele, institutionele en economische factoren die van invloed zijn op het teweegbrengen van verandering (Van den Berg et al., 2011). Het toepassen van deze innovaties vereist daardoor grote maatschappelijke veranderingen.

Een maatschappij kan worden beschouwd als een socio-technisch systeem dat beschikt over bepaalde gebruiken, technologieën, markten, culturen en infrastructuur (Geels, 2006). Door middel van duurzame innovaties kan een bestaand socio-technisch systeem onder druk worden gezet om te veranderen naar een nieuw socio-technisch systeem dat bestaat uit nieuwe vaardigheden, processen en systemen (McDermott et al., 2002). Dergelijke transformaties van het ene socio-technische systeem naar het andere worden doorgaans aangeduid met de term 'transitie' (Geels, 2011; Kemp et al., 2007(2)). Vanuit dit perspectief vereist het ruimtelijk plannen en realiseren van een waterstofinfrastructuur een transitie van het ene socio-technische systeem naar het andere.

Doordat veranderingen en innovaties op het gebied van de mobiliteitssector voelbaar zijn in alle lagen van de maatschappij, zijn deze veranderingen constant onderhevig aan interne en externe invloeden (De Roo, 2010). Deze interne en externe invloeden komen van actoren uit verschillende niveaus en domeinen binnen een maatschappij en hebben allen hun eigen idealen, perspectieven, normen en waarden die het proces beïnvloeden door verandering te stimuleren, versnellen of door het tegen te houden (Loorbach, 2010). Vanuit dit perspectief kan de mobiliteitssector omschreven worden als een complex systeem (De Roo, 2010).

Volgens Van der Brugge et al. (2005) zijn er drie theorieën die de karakteristieken van een transitie binnen complexe systemen beschrijven. Op het gebied van het verloop en de snelheid die gepaard gaat met transitie kan een transitie worden geanalyseerd vanuit het multi-fase perspectief. Op het gebied van de verschillende maatschappelijke niveaus en domeinen die een transitie beïnvloeden, kan het multi-level perspectief worden toegepast. Als laatste biedt transitie management een perspectief op het sturen van een transitie op basis van de analyse van het multi-fase en multi-level perspectief.

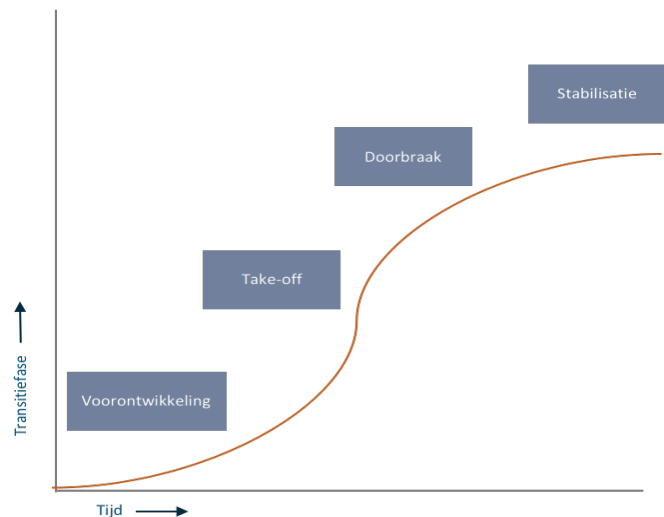
Inzichten over een transitie vanuit het multi-level en het multi-fase perspectief kan begrip over hoe transities plaatsvinden doen laten toenemen. Hierdoor kan een transitie meer effectief worden gestuurd in de gewenste richting van ontwikkeling.

3.2.1 Meerdere fases binnen een transitie

Een transitie kan worden beschouwd als een proces dat gepaard gaat met continue veranderingen binnen een maatschappij (Rotmans et al., 2001). Binnen een transitie vinden verschillende ontwikkelingen vanuit verschillende maatschappelijke domeinen naast elkaar plaats. Deze ontwikkelingen kunnen elkaar versterken wanneer ze samen komen. Pas als deze ontwikkelingen samen komen, dan zal een transitie plaatsvinden (Rotmans et al., 2001). Echter, deze ontwikkelingen vinden vaak niet in alle domeinen tegelijkertijd plaats en ze vinden vaak ook niet op hetzelfde moment en in dezelfde richting plaats. Daarom is een transitie vaak een gradueel proces waarin de grootte van verandering kan verschillen en waarin de snelheid van verandering ook kan verschillen (Rotmans et al., 2001). Omdat transities gepaard gaan met grote maatschappelijke veranderingen, kan een transitie tientallen jaren duren (Moliner et al., 2016).

Hierdoor is een transitie lastig te determineren en is het lastig om een transitie te sturen door middel van vooraf bepaalde oplossingen (Loorbach, 2010). Op conceptueel niveau, worden vier verschillende fases van een transitie onderscheiden (zie figuur 1) (Rotmans et al., 2001):

- 1) De voorontwikkelingsfase: dit is de fase waarin de status quo van de maatschappij wel aan het veranderen is, maar dit nog niet duidelijk zichtbaar is.
- 2) De take-off fase: dit is de fase waarin een verandering los begint te komen en het socio-technische systeem begint te transformeren.
- 3) De fase van doorbraak: dit is de fase waarin veranderingen binnen een maatschappij al duidelijk zichtbaar zijn doordat ze op cultureel, economisch, ecologisch en institutioneel niveau langzaam worden geaccepteerd.



Figuur 1: Fases van een transitie (gebaseerd op Rotmans et al., 2001)

- 4) De fase van stabilisatie: in deze fase neemt de snelheid van de verandering af en is er een nieuw dynamisch equilibrium van het socio-technische systeem bereikt.

De rollen die actoren spelen binnen een transitie, verschillen per fase van een transitie (Loorbach, 2010). Voor het effectief sturen van een transitie in de gewenste richting is het daarom bevorderlijk om te bepalen in welke fase van een transitie een bepaalde ontwikkeling zich bevindt.

Voor de mobiliteitssector in Nederland geldt dat de huidige maatschappij die afhankelijk is van het gebruik van fossiele brandstoffen onder druk is komen te staan door toenemende politieke beleidsmaatregelen voor het beperken van additionele en door de mens veroorzaakte klimaatverandering. Het realiseren van een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector zou een mogelijke oplossing kunnen bieden waarbij de mogelijkheden van waterstof in combinatie met de efficiëntie van brandstofcellen voor het transformeren van energie in elektriciteit worden benut (Marban & Solis, 2007). In de inleiding is reeds aan bod gekomen dat er al meerdere innovaties zijn gedaan op het gebied van waterstof, maar dat het marktaandeel van een waterstofinfrastructuur in Nederland momenteel nog laag is ten opzichte van de infrastructuur voor fossiele brandstoffen en andere duurzame alternatieven. Kortom, in Nederland betekent dit dat er voor de verschillende modaliteiten een grotendeels nieuwe infrastructuur voor waterstofvoertuigen zal moeten worden gerealiseerd. Dit betekent dat het bestaande socio-technische systeem verregaande aanpassingen moet ondergaan ten opzichte van de status quo. Gebaseerd op Geels (2005) is in tabel 3 een voorbeeld gegeven van een aantal socio-technische veranderingen die op zullen moeten treden ten gunste van het realiseren van een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland. Vanuit dit perspectief gaat dit onderzoek ervan uit dat een dergelijke systeemverandering nodig is voor het realiseren van een waterstofinfrastructuur.

Vanwege het feit dat er al innovaties voor waterstof klaar zijn voor introductie in de markt, maar deze nog niet een hoog marktaandeel hebben weten te krijgen, bevindt de ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland zich tussen het voorontwikkelingsstadium en het take-off stadium in.

Socio-technisch systeem	Transitie
Regulatie en beleid	Het ontmoedigen van CO ₂ -uitstoot en het stimuleren van waterstofvoertuigen
Onderhoud	Ervaring opdoen in het onderhouden van waterstofvoertuigen
Voertuigen en verkooppunten	Het creëren van aanbod van waterstofvoertuigen en het aanbieden van waterstofvoertuigen bij verkooppunten
Productie en industrie	Het creëren van aanbod in de nodige technieken voor het gebruiken van waterstofvoertuigen
Tankstations	Locaties voor mogelijkheden om waterstof te tanken
Gebruikspatronen en voorkeuren	Gewenning aan nieuwe methoden van tanken en rijden
Cultuur en moralen	Het belang in kunnen zien van CO ₂ -neutraal vervoer

Tabel 3: Maatschappelijke veranderingen waterstofinfrastructuur (gebaseerd op Geels, 2005)

3.2.2 Dynamieken binnen het socio-technisch systeem

In moderne Europese democratieën is de sturing op een maatschappij heden ten dage niet alleen vanuit een centrale overheid afkomstig is. In tegenstelling, komt besluitvorming tegenwoordig voort uit gedecentraliseerde invloeden vanuit markten, overheden en maatschappij tezamen (Loorbach, 2010). Besluitvorming wordt op deze manier niet meer alleen van bovenaf gestuurd, maar ook van onderaf. In literatuur wordt dit begrip vaak aangeduid met de term 'governance' (Kooiman, 1993 in Loorbach, 2010). Governance maakt dat besluitvorming tegenwoordig een gevarieerd proces is door betrokkenheid en besluitvorming van actoren op meerdere schaalniveaus en vanuit meerdere maatschappelijke domeinen (Loorbach, 2010). Met deze informatie in het achterhoofd, is een begrip van processen van besluitvorming nodig voor het begrijpen van hoe een transitie plaatsvindt.

Het multi-level perspectief geeft meer begrip van deze processen door een beschrijving te geven van de processen van verandering vanuit meerdere lagen van een socio-technisch systeem (Geels, 2005). Een maatschappij wordt hierbij beschreven als een socio-technisch systeem van verschillende sociale groepen, waarbij de links tussen deze groepen een socio-technisch systeem onderhouden en reproduceren (Geels, 2005). Deze groepen handelen onafhankelijk van elkaar, maar interacteren met elkaar op de verschillende niveaus (Geels, 2005).

De niveaus bestaan uit een landschap op macroniveau, uit een regime op mesoniveau en uit een niche op microniveau (Nykvist & Whitmarsh, 2008). Onderstaand, in figuur 2, worden de verschillende niveaus weergegeven. Daarna volgt een omschrijving van de verschillende niveaus (Geels, 2005).



Figuur 2: Niveaus van een transitie (gebaseerd op Nykvist & Whitmarsh, 2008)

Op het macroniveau zijn socio-technische landschappen gelokaliseerd. Het socio-technische landschap omvat bijvoorbeeld de mate van economische ontwikkeling, historische afhankelijkheid, globalisatie, cultuur en de mate van afhankelijkheid van een socio-technisch systeem. Dergelijke eigenschappen van het landschap veranderen langzaam en kunnen daardoor grote invloed hebben op de snelheid van een transitie. Daarnaast is het landschap nauwelijks te beïnvloeden, doordat het een exogeen milieu is.

Op het mesoniveau bevinden zich de socio-technische regimes. Op dit niveau vinden activiteiten plaats die de verschillende niveaus aan elkaar koppelen en met elkaar laten coördineren. Binnen het regime bevinden zich regels, normen en waarden en gebruiken die gelden binnen een bepaald maatschappelijk systeem. Het mesoniveau is groot en beschikt over stabiliteit van structuren en regels en heeft daardoor veel invloed op het socio-technische systeem. De actoren die binnen de waterstofinfrastructuur onder het socio-technische regime, zijn onder andere tankstationhouders, klanten en autofabrikanten (Van Bree et al., 2010).

Op het microniveau bevinden zich de technische niches waar technologische ontwikkelingen plaatsvinden. Niches zijn erg belangrijk omdat ze de mogelijkheid bieden voor het experimenteren met technologische ontwikkelingen door middel van leren door te doen. Het microniveau is klein en beschikt over instabiele regels die nog 'in de maak' zijn (Geels en Schot, 2007). Wanneer op het microniveau netwerken groter worden en regels meer stabiel, dan kan het microniveau doorgroeien tot het mesoniveau (Geels & Schot, 2007). Oftewel, dan kunnen innovaties een groter marktaandeel verkrijgen binnen het socio-technische systeem. De actoren die binnen de waterstofinfrastructuur onder het niche vallen, zijn vaak samenwerkingen tussen verschillende partners, zoals onder andere overheden, autofabrikanten en tankstationhouders (Van Bree et al., 2010).

3.3 Het opschalen van innovaties

Ontwikkelingen en veranderingen in een socio-technisch systeem komen uiteindelijk voort uit een wisselwerking en co-evolutie tussen dynamieken op verschillende niveaus, waarbij de verhoudingen tussen markten, organisaties, politiek en maatschappij zullen moeten veranderen (Rotmans et al., 2001 in Loorbach, 2010 en Geels, 2005).

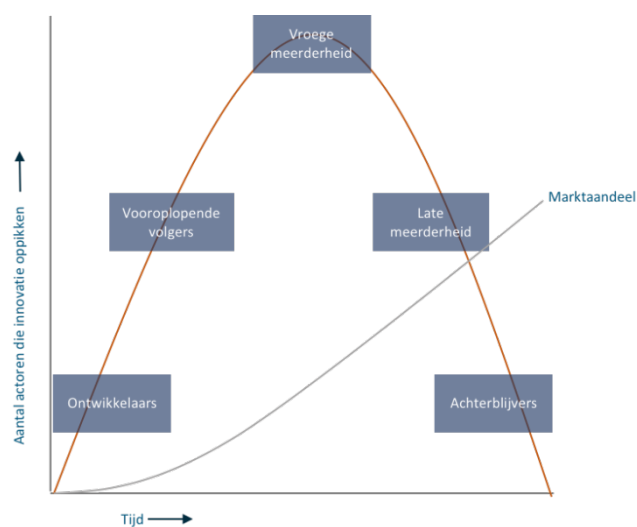
Ontwikkelingen op het nicheniveau staan centraal in het begrijpen van socio-technische transitie (Nykqvist & Whitmarsh, 2008). Het nicheniveau wordt namelijk beschouwd als het niveau waarop radicale innovaties plaatsvinden. (Schot & Geels, 2008). Wanneer innovaties op het gebied van de waterstofinfrastructuur weten op te schalen naar het regime, dan kan de waterstofinfrastructuur een groter marktaandeel verkrijgen en kan het, het bestaande systeem van fossiele brandstoffen veranderen tot een andere (Schot & Geels, 2008; Geels, 2005; Rugierro et al., 2018). Ondanks dat het nicheniveau van groot belang is voor een transitie, zal het opschalen van innovaties alleen plaatsvinden als het regime en landschap in eenzelfde richting ontwikkelen (Schot & Geels, 2008).

Het multi-level perspectief omschrijft hoe niche-ontwikkelingen een transitie kunnen beïnvloeden. Echter, het multi-level perspectief geeft geen omschrijving van hoe innovaties op het niche-niveau succesvol opschalen tot het regimeniveau. Theorie over diffusie van innovatie geeft hierover meer inzicht. Begrip van diffusie van innovatie is van belang, omdat het succes van innovaties van invloed is op het plaatsvinden van een transitie.

3.3.1 Diffusie van innovaties

Schot & Geels (2008) omschrijven dat activiteiten op het nicheniveau daadwerkelijk klaar zijn voor opschaling tot het regime, wanneer: 1) processen van leren en experimenteren zijn ontwikkeld tot een dominant productontwerp, 2) een aantal actoren met veel macht binnen het regime hun steun hebben betuigd aan het nieuwe product en 3) wanneer de prijs/kwaliteit verhouding van het product is verbeterd en 4) wanneer het product binnen de markt meer dan 5% marktaandeel heeft verkregen. Op zijn beurt is de mate van opschaling van innovaties vanaf het nicheniveau naar het regime afhankelijk van twee factoren (Walsh, 2012). Ten eerste is het opschalen afhankelijk van de mate waarin innovaties worden gestimuleerd in de markt door het creëren van aanbod en ten tweede is opschaling afhankelijk van de mate waarin er vanuit de maatschappij vraag is naar de innovaties. Vraag naar innovaties en aanbod van innovaties zal toenemen wanneer een innovatie zijn meerwaarde in een markt kan vervullen om op deze manier de markt te overtuigen dat de innovatie nodig is (Walsh, 2012).

De basis voor het beschrijven van de diffusie van een innovatie kan gevonden worden in de communicatie en evaluatie over toepassingen van innovaties. Deze communicatie en evaluatie van producten vindt in fases plaats, die verwijzen naar de verschillende schaalgroottes waarop een nieuwe technologie wordt toegepast (Rogers, 2010). In figuur 3 zijn de verschillende fases in schematisch overzicht gebracht. Na het figuur volgt een uitleg van de verschillende fases van diffusie van innovatie.



Figuur 3: Diffusie van innovatie (Gebaseerd op Rogers, 2010)

Diffusie fase 1

In de eerste fase is een nieuwe technologie nog niet op grote schaal toegepast. In dit stadium zijn het voornamelijk ontwikkelaars en frontrunners die nieuwe innovaties oppikken. Vaak zijn dit personen die hoge opleidingen hebben gevolgd en die bereid zijn een risico te nemen door het introduceren van een nieuw product (Rogers, 2010).

In deze fase kunnen er nog veel twijfels zijn over het nieuwe product (Wei & Chin in Dagdougi, 2012) en kan het zijn dat deze nieuwe producten nog niet goed passen in een bestaand systeem. In deze fase van ontwikkeling zijn nieuwe producten vaak nog onderontwikkeld, nog niet op grote schaal getest en zijn er nog veel aanpassingen nodig (Kemp et al., 2007 (1)). Daarnaast zijn de voorkeuren van consumenten ten opzichte van het nieuwe product vaak nog onderontwikkeld (Kemp et al., 2007 (1)).

Diffusie fase 2, 3 en 4

In het tweede stadium worden nieuwe ontwikkelingen opgepikt door een aantal volgers om vervolgens in het derde stadium te worden opgepikt door een vroege meerderheid. De schaalgrootte waarop een technologie wordt toegepast wordt uiteindelijk steeds groter en de actoren die betrokken zijn bij de realisatie worden steeds meer. Hoe groter de schaal is waarop een nieuwe techniek is toegepast, hoe meer ervaring er is ontstaan met het nieuwe product (Rao & Kishore, 2010) en hoe meer een product zich praktisch heeft bewezen naar de consument (Kemp et al., 2007 (1)). Uiteindelijk geldt dat hoe groter de schaal is waarop een nieuw product is toegepast, hoe goedkoper het nieuwe product zal worden vanwege een vergroot rendement (Safarzyńska & Van den Bergh, 2010).

De waterstofinfrastructuur in Nederland bevindt zich momenteel tussen fase 1 en 2 van diffusie. Zoals naar voren is gekomen in de voorgaande paragrafen, zijn er al innovaties gedaan op het gebied van de waterstofinfrastructuur die klaar zijn voor verkoop. Echter, de innovaties hebben in Nederland nog geen grote schaal van toepassing kunnen bereiken.

In de eerste fase en tussen de eerste en tweede fase van diffusie, lijden innovaties vaak onder relatief hoge kosten van investeringen ten opzichte van al bestaande systemen. Bestaande systemen hebben al voordelen kunnen krijgen van schaalvoordelen, kosten, prestaties, kennis en routines (Hekkert et al., 2007). Innovaties hebben nog geen rendement kunnen verkrijgen met het bereiken van schaalvoordelen (Safarzyńska & Van den Bergh, 2010). In het geval van de waterstofinfrastructuur in Nederland geldt dat de prijzen van een brandstofcel en voertuigen relatief hoog liggen ten opzichte van al bestaande technieken. De kosten voor een waterstofauto liggen anno 2018 rondom de 70.000 euro (Toyota) en de kosten voor een leasecontract voor een waterstofauto liggen rondom de 3000 á 4000 euro per maand. (Leasemaatschappijen). Door deze hoge initiële kosten van ontwikkeling is de waterstofinfrastructuur heden ten dage nog niet competitief met de bestaande infrastructuur (Sharma & Goshal, 2015).

3.3.2 Het multi-level perspectief toegepast op de waterstofinfrastructuur

Op het landschapsniveau zijn er een aantal trends die de ontwikkeling van waterstof zowel kunnen tegenhouden als kunnen stimuleren. Welvaart neemt toe, waardoor wordt verwacht dat de vraag naar mobiliteit daardoor ook zal toenemen (IPCC, 2014(2)). Deze ontwikkelingen kunnen de ontwikkeling naar waterstof tegenhouden, omdat ze normen en regels in het bestaande regime intact houden en daardoor weinig implicaties bieden om te veranderen (Nykvist & Whitmarsh, 2008). Aan de andere kant is klimaatverandering en schaarste van fossiele energiebronnen een grote drijfveer om te veranderen naar duurzame mobiliteit, zoals waterstof. In Nederland zijn de doelen met betrekking tot klimaatverandering duidelijk: de CO₂-uitstoot moet in Nederland met 49% omlaag worden gebracht voor het jaar 2030 (Kabinet Nederland, 2017). Voor het openbaar vervoer geldt dat het vervoer per 2025 volledig CO₂-neutraal moet zijn. Voor personenvoertuigen en vrachtvervoer geldt een andere eis; per 2030 mogen er geen nieuwe voertuigen meer op de markt worden gebracht die gebruik maken van fossiele brandstoffen (Kabinet Nederland, 2017). Doordat politiek beleid klimaatverandering poogt te beperken in de vorm van beleid en doelstellingen, zal de druk op het niche en het regime worden gelegd om te veranderen en om te innoveren. Vanuit het regime kan de opschaling van innovaties worden tegengehouden doordat actoren op dit niveau, zoals bestaande bedrijven, gebruikers en beleidsmakers, gebonden zijn aan bestaande normen en regels binnen een socio-technisch systeem. Deze normen en regels coördineren en beïnvloeden handelingen van actoren binnen het systeem en zorgen voor stabiliteit van het systeem. Schot & Geels (2007) omschrijven handelingen op het mesoniveau als een soort spel. Strategieën die zouden afwijken van de geldende 'spelregels' binnen een systeem zouden grote consequenties kunnen hebben voor actoren.

In een maatschappij zoals de Nederlandse worden veel diensten overgelaten aan marktpartijen en zijn veel diensten zelfs afhankelijk van de markt (Allmendinger & Haughton, 2012 in Waterhout et al., 2013). Deze marktgerichte invalshoek is ook te bespeuren op het gebied van planologie in Nederland (Waterhout et al., 2013). Dit betekent dat ondanks dat de Nederlandse overheid de ontwikkeling van CO₂-neutrale innovaties zou stimuleren via beleid en financiële instrumenten, de ontwikkeling ervan voor een groot deel aan de markt overgelaten. Voor bedrijven zou afwijken van de geldende normen en regels een kwestie van dood of leven kunnen zijn. Zo kan het voor de businesscase van een tankstationhouder die jarenlang alleen fossiele brandstoffen verkoopt, een groot risico zijn om nieuw soort brandstoffen aan te bieden. Uit veiligheid zullen bedrijven, overheden en andere actoren daarom nauwelijks geneigd zijn om te veranderen, maar zullen hun handelingen daarom veelal het bestaande systeem juist onderhouden (Rugierro, 2018; Nykvist & Whitmarsh, 2008). Het gevolg hiervan is dat bestaande socio-technische systemen door padafhankelijkheid een lock-in veroorzaken voor duurzame innovaties (Nykvist & Whitmarsh, 2008).

Aan de andere kant omschrijven Geels & Schot (2007) dat klimaatverandering ervoor zorgt dat het regime instabieler wordt en dat het regime op zoek gaat naar manieren om het probleem van klimaatverandering verder te voorkomen. Zo is het in de mobiliteitssector in Nederland zo dat er meerdere alternatieve brandstoffen door de overheid worden genoemd als alternatief voor diesel en benzine. Deze alternatieven zijn biobrandstoffen, waterstof en accu-elektrische voertuigen (SER, 2014). Ondanks dat de overheid meerdere soorten alternatieven in beleid naar voren laat komen als alternatief voor diesel en benzine, laat de overheid de ontwikkeling ervan aan de markt over. Omdat er in Nederland momenteel nog geen dominant alternatief voor diesel en benzine is gevonden die de onbetwiste oplossing voor klimaatverandering lijkt te zijn, ontstaan er meerdere kleine niche innovaties. Doordat er niche ontwikkelingen zijn op meerder verschillende onderdelen, is er veel onzekerheid over wat het beste alternatief is om in te investeren. Het succes van investeringen worden pas duidelijk door bekendmaking van cijfers over het rendement van investeringen. Echter, doordat mensen maar beperkt rationeel zijn en niet beschikken over complete informatie, is het lastig op het rendement en consequenties van investeringen op lange termijn in te schatten (Safarzysnka & Van den Bergh, 2010).

Uiteindelijk bepalen percepties op basis van persoonlijke cognitieve factoren van actoren de inschattingen over het toekomstige rendement (Budde et al., 2012). Deze inschattingen over het toekomstige rendement bepalen vervolgens de strategieën die bedrijven zullen gaan hanteren. Dit kan worden gecontesteerd door andere actoren die functioneren binnen eenzelfde organisatie, maar ook door actoren die functioneren buiten een bepaalde organisatie (Budde et al., 2012). Dit impliceert dat het komen tot een gemeenschappelijke gedeelde visie over het toekomstperspectief van de waterstofinfrastructuur, zekerheid over rendement van investeringen zal vergroten.

3.3.3 Het effect op verandering van het socio-technische systeem

Door relatief hoge investeringskosten voor de waterstofinfrastructuur en door onzekerheid van rendement van investeringen in de waterstofinfrastructuur op de lange termijn, zal er nauwelijks aanbod van infrastructuur zijn in de vorm van tankstations en levering van waterstof en zal er nauwelijks vraag ontstaan in de vorm van het aanschaffen van voertuigen. Tegelijkertijd zal er geen aanbod van de infrastructuur ontstaan als er geen vraag is en zal er geen vraag ontstaan als er geen aanbod is (zie figuur 4). Dit wordt omschreven als het kip-ei dilemma (Agnolucci, 2007) en speelt zich af tussen de tankstationhouders, de potentiële klanten en tussen de autofabrikanten (Van Bree et al., 2010). Een dergelijke belemmering is typerend voor een transitie naar een nieuw maatschappelijk systeem (Safarzysnka & Van den Bergh, 2010).

3.4 Transitie management

Het nicheniveau, waarop duurzame innovaties plaatsvinden, is van groot belang voor de ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur. Het opschalen van duurzame innovaties is daarbij essentieel voor het daadwerkelijk bereiken van een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland. Voor het succesvol opschalen van deze duurzame innovaties, zouden de vereiste maatschappelijke veranderingen die daarbij zullen moeten optreden niet uit het oog moeten worden verloren. Transitie management biedt hiervoor een veelbelovend perspectief op het managen van een transitie (Nill & Kemp, 2009).

Transitie management is voor het stimuleren van opschaling van belang, omdat het omschrijft welke activiteiten op de verschillende niveaus van het multi-level perspectief moeten plaatsvinden voor het coördineren van actoren vanuit verschillende niveaus en voor het accelereren van een transitie (Loorbach, 2010). Omdat transitie management toegepast kan worden om een transitie te accelereren, is transitie management voornamelijk belangrijk in de eerste twee fases van een transitie volgens het multi-fase perspectief.

Duidelijkheid over een langetermijnvisie en doelstellingen (ongeveer 25 jaar) is van belang voor het opstellen van beleid en voor het bepalen van acties op korte termijn.

De timing van interventies is bij transitie management van groot belang (Kemp et al., 2007 (2)). Doelstellingen zouden hierbij flexibel moeten zijn om in te kunnen spelen op de complexiteiten en mogelijke veranderingen die zullen gaan plaatsvinden. Wanneer structuren en systemen veranderen, dan is het van belang dat hierop wordt geanticipeerd door beleid en doelstelling aan te passen (Kemp et al., 2007 (2)).

Transitie management onderscheidt vier verschillende activiteiten voor het coördineren van actoren op verschillende niveaus: de strategische actieagenda, de tactische transitieagenda, de operationele agenda en evaluatie en reflectie (Loorbach, 2010).

3.4.1 Strategische actieagenda

Een transitie kan worden gestimuleerd door acties op strategisch, tactisch, operationeel en evaluerend niveau. Allereerst wordt er een transitiearena vormgegeven waarin strategische activiteiten worden vormgegeven zoals visies, lange termijn doelen. Binnen de strategische arena worden frontrunners gevormd met verschillende perspectieven op een transitie. Hierbij is de aanname dat transities gecoördineerd worden door het overeenstemmen van visies en activiteiten van verschillende betrokken actoren (Geels en Schot, 2007). Hierbij wordt gewerkt aan het ontwikkelen van een 'cultuur' voor transitie. Het is hierbij van belang te komen tot vergelijkbare probleemdefinities om op deze manier te komen tot vergelijkbare interpretaties van oplossingen tot de problemen (Geels en Schot, 2007). Voor deze activiteit is het van belang dat frontrunners worden gemobiliseerd om duurzame innovaties te ontwikkelen en te stimuleren.

3.4.2 Tactische transitieagenda

Op het tactische niveau wordt de transitieagenda geformuleerd. Hiermee worden stimulerende activiteiten bedoeld die voortkomen uit belangen van betrokken actoren. Het biedt een transitie een praktisch perspectief doordat op dit niveau regels, beleid, instituties en netwerken worden gevormd (Loorbach, 2010). De activiteiten zijn gericht op het bereiken van een lange termijn doelstelling en worden uitgevoerd door concrete activiteiten die een kortere tijdsperiode omvatten van zo ongeveer 5 á 15 jaar (Loorbach, 2010). Hierbij is het belangrijk te werken in coalities en netwerken om te voorkomen dat er fragmentatie van besluitvorming en actievoering ontstaat.

3.4.3 Operationele agenda

Het operationeel niveau gaat om experimenten uitvoeren met een korte termijn ambitie voor het stimuleren van innovaties om uiteindelijk opschaling verder mogelijk te maken. 'Learning by doing' is hierbij het uitgangspunt door het creëren van beschermde niches. Een niche is hierbij een samenwerking tussen meerdere actoren die gaan experimenteren en op een transparante manier kennis delen en risico's delen. Het gaat hierbij om een samenwerking tussen meerdere actoren die allemaal verschillende perspectieven hebben op een transitie (Loorbach, 2010). De idee achter de niche-experimenten is om door succes en falen van experimenten, steeds meer ervaring op te doen (Kemp et al., 2007 (2)). Hierdoor zal een innovatie steeds verder klaar zijn voor opschaling.

3.4.4 Reflectie

Als laatste worden reflectieve acties geformuleerd waarin het evalueren en monitoren van progressie centraal staat. Hierbij is het van belang dat de uitkomsten van korte-termijn acties worden bijgehouden om te bepalen of deze nog in de gewenste richting ontwikkelen.

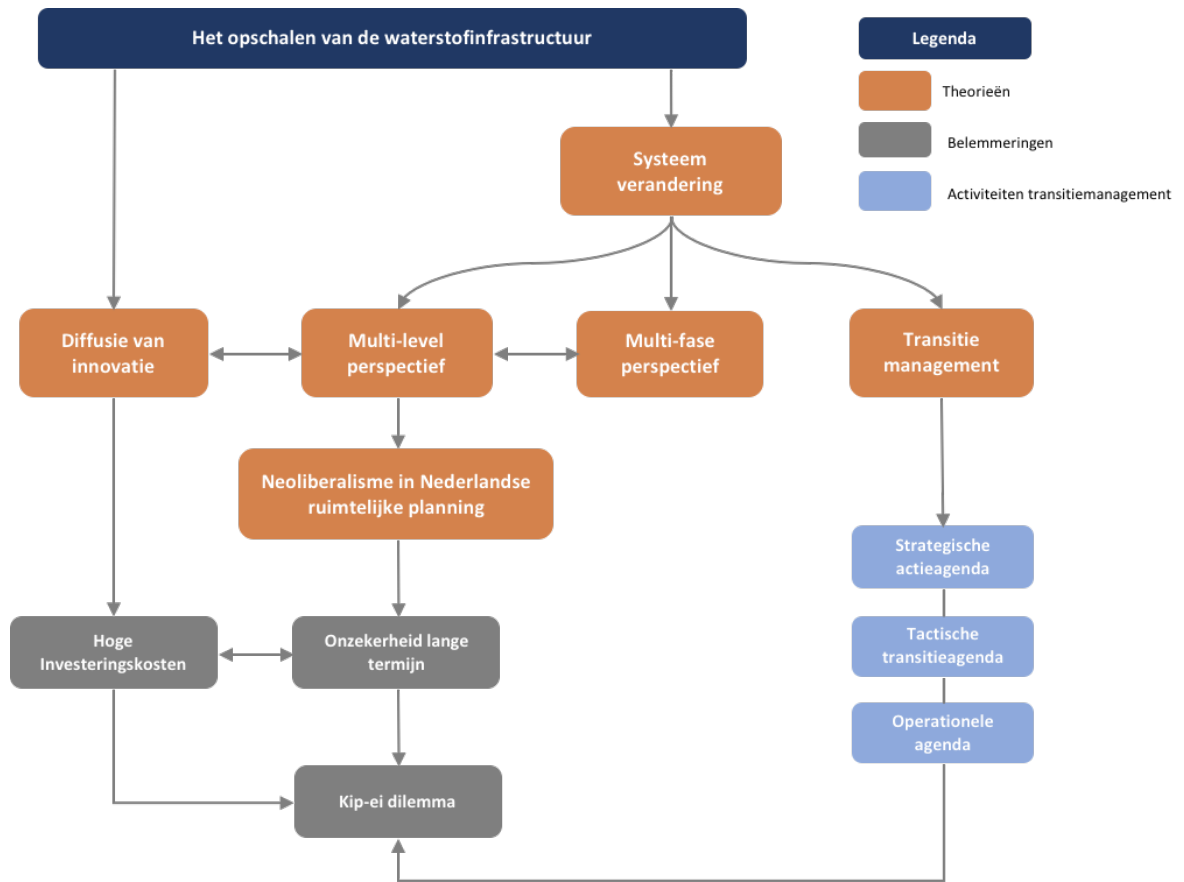
3.4.5 De visie en acties van betrokken actoren

Het doorbreken van het kip-ei dilemma kan ervoor zorgen dat innovaties voor de waterstofinfrastructuur kunnen worden opgeschaald. In het geval van het kip-ei dilemma binnen de waterstofinfrastructuur gaat het hierbij om tankstationhouders, potentiële klanten en autofabrikanten. Echter, onderzoek naar het doorbreken van het kip-ei dilemma zou zich niet moeten isoleren van andere actoren die indirect te maken hebben de realisatie van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector en het doorbreken van het kip-ei dilemma (Van Bree et al., 2010). Met de inzichten van de voorgaande paragrafen over transitie in het achterhoofd, zou het realiseren van de waterstofinfrastructuur en het doorbreken van het kip-ei dilemma vanuit een breed socio-technisch perspectief moeten worden bekeken (Van Bree

et al., 2010). Hierbij is het van belang om inzichten te krijgen in de patronen en interacties van actoren (Geels, 2005) die betrokken zijn bij het realiseren van de waterstofinfrastructuur. Voor het verhelpen van het kip-ei dilemma, zullen dynamieken vanuit verschillende domeinen en actoren moeten worden gecoördineerd en worden gestuurd in de gewenste richting voor een transitie. Dit kan worden gedaan door activiteiten op de vier verschillende onderdelen van transitie management. Hierbij zou er ten eerste inzicht moeten worden gekregen op de visie van de betrokken actoren. Er is namelijk in paragraaf 3.3.2 geconstateerd dat de visie op de ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur de doelstellingen en strategische acties van actoren beïnvloedt. Dit zal leiden tot activiteiten op het strategische niveau. Ten tweede is het van belang om te komen tot korte termijn acties die zijn gekoppeld aan de lange-termijn visie. Dit zal leiden tot activiteiten op het tactisch en operationele niveau.

3.5 Conceptueel model

De bevindingen van het theoretisch kader zijn in het conceptueel model weergegeven (zie figuur 4). In de voorgaande paragrafen is beschreven dat het cruciaal is dat innovaties op het gebied van de waterstofinfrastructuur worden opgeschaald voor het laten plaatsvinden van een transitie. Deze transitie zal in alle lagen van de maatschappij voelbaar zijn. Hierdoor kunnen dynamieken en actoren op verschillende niveaus van een maatschappij de opschaling van de waterstofinfrastructuur en daarmee de transitie naar een waterstofinfrastructuur negatief beïnvloeden. Hierbij is geconstateerd dat er tegenwoordig vanaf het landschap druk wordt gezet op het bestaande socio-technische systeem door klimaatverandering. Echter, doordat ontwikkelingen op het gebied van duurzame innovaties voor de mobiliteitssector aan de markt worden overgelaten en doordat er momenteel nog geen dominant alternatief voor fossiele brandstoffen aanwezig is in Nederland, ontstaan er meerdere competitieve niches. Dit resulteert in hoge onzekerheid met betrekking tot het investeren in de waterstofinfrastructuur. Doordat innovaties op het gebied van de waterstofinfrastructuur in Nederland nog geen hoog marktaandeel hebben ten opzichte van de infrastructuur voor fossiele brandstoffen, zijn de investeringskosten nog relatief hoog. De bovengenoemde belemmeringen leiden ertoe dat er een kip-ei dilemma ontstaat, waarin actoren een afwachtende houding aan zullen nemen in het doen van investeringen. Er vindt op deze manier geen vraag en geen aanbod van de infrastructuur plaats. Door het toepassen van transitie management kunnen belemmeringen worden overkomen.



Figuur 4: Conceptueel model

4

Methodologie

4.1 Methode van onderzoek

In dit onderzoek zal de volgende hoofdvraag worden beantwoord: *“Op welke manier kunnen de belemmeringen voor realisatie van een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland worden overkomen?”* Het beantwoorden van deze hoofdvraag vraagt om een diepgaand onderzoek naar de karakteristieken van het proces van realisatie van de waterstofinfrastructuur. Een kwalitatieve onderzoekbenadering is hierbij het meest geschikt.

In de voorgaande hoofdstukken is naar voren gekomen dat de maatschappij een complex systeem is. Numerieke en kwantitatieve onderzoeksmethoden zijn niet in staat de complexiteit van een maatschappelijk systeem te vatten. Kwalitatief onderzoek is daarentegen wel in staat deze complexiteiten te vatten (Ley, 1974; Seamon, 1979 in Clifford et al., 2016).

Volgens Marshall (2006) bestaat kwalitatief onderzoek uit vier verschillende manieren van onderzoek doen. Ten eerste kan de onderzoeker deelnemen in de onderzoeksetting, ten tweede kan de onderzoeker observaties uitvoeren, als derde kan de onderzoeker interviews afnemen en als laatste kan de onderzoeker documentanalyses uitvoeren. Binnen dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van de eerste, derde en vierde onderzoeksmethode.

Het kwalitatieve onderzoek is gericht op Nederland. Hiervoor zijn twee redenen. Ten eerste is er in Nederland nog een lange weg te gaan voordat er aan de doelstellingen vanuit het Klimaatakkoord van Parijs en het Regeerakkoord kan worden voldaan. In deze fase kan de waterstofeconomie en een belangrijke rol spelen, waarbij de mobiliteitssector het draagvlak voor waterstof kan vergroten. Ten tweede wordt Nederland in zijn geheel als onderzoeksgebied onderzocht omdat de focus vanuit nationaal beleid ligt op het creëren van een nationaal plan voor het realiseren van een waterstofinfrastructuur. Beschikbaarheid van de infrastructuur op zoveel mogelijk locaties is een vereiste voor realisatie door het behalen van schaalvoordelen.

4.2 Algemene onderzoeksstrategie

Om antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag, zijn meerdere deelvragen opgesteld die onder te verdelen zijn in twee onderdelen. Het eerste deel omvat een omschrijving van de karakteristieken van de realisatie van een waterstofinfrastructuur en de grootste belemmeringen die daarbij gepaard gaan. Het tweede deel omvat een onderzoek naar de visie van betrokken actoren over de realisatie van de waterstofinfrastructuur en het omvat een onderzoek naar hoe betrokken actoren bij de waterstofinfrastructuur anticiperen op deze belemmeringen. Het eerste deel van het onderzoek zal worden verricht door middel van documentanalyse, participatief onderzoek en literatuuronderzoek. Het tweede deel van het onderzoek zal worden verricht door middel van interviews en participatief onderzoek. In paragraaf 4.3 worden de strategieën per methode van dataverzameling nader uitgelegd.

4.3 Methode van dataverzameling

4.3.1 Onderzoekdeel 1: Documentanalyse, literatuuronderzoek en participatieonderzoek

De eerste onderzoekstap bestaat uit een onderzoek naar de noodzaak van de waterstofinfrastructuur en een omschrijving van de huidige situatie in Nederland met betrekking tot het opschalen van de infrastructuur.

Om hierin inzicht te krijgen is als eerste een onderzoek gedaan naar het huidige energiesysteem en de manier waarop waterstof aan een nieuw energiesysteem kan bijdragen. Algemene kennis van de energietransitie is essentieel om de rol van waterstof in het energiesysteem te kunnen begrijpen. Op deze manier is een algemeen beeld van de energietransitie verkregen. Daarna is onderzocht welke doelstellingen en visie de Nederlandse overheid heeft met betrekking tot duurzaamheid, waterstof en met waterstof in de mobiliteitssector. De documentanalyse heeft een beeld gegeven van de huidige ontwikkelingen op het landschapsniveau van de realisatie van een waterstofinfrastructuur. Als laatste is een inzicht in de huidige situatie en de belemmeringen met betrekking tot realisatie van de infrastructuur verkregen door de recente documenten van het Topconsortium Kennis en innovatie - gas te lezen en door conferenties en seminars bij te wonen. Onderstaand (tabel 4) wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste gelezen beleidsdocumenten en documenten van kennisinstellingen.

Document	Omschrijving
McKinsey & Company – Accelerating the energy transition (2016)	In dit document worden meerdere mogelijke routes richting een CO ₂ -neutraal Nederland weergegeven voor verschillende sectoren
Het Regeerakkoord Nederland (2017)	Dit document geeft een overzicht van de toekomstplannen van Nederland. Het document omschrijft onder andere de doelstellingen op het gebied van duurzaamheid
De SER-brandstofvisie (2014)	In dit document wordt de visie van de Nederlandse overheid gegeven op de ontwikkelingen van verschillende soorten alternatieve brandstoffen. Zo wordt onder meer een beeld gegeven van de potentie van waterstof in Nederland
TKI-Gas (2017)	Dit document spitst zich toe op waterstof en laat een overzicht zien van alle huidige initiatieven in Nederland op het gebied van waterstof
TKI-Gas – Routekaart Waterstof (2017)	In dit document wordt de huidige situatie met betrekking tot waterstof beschreven met daarnaast een visie op hoe waterstof zich in Nederland zou moeten gaan ontwikkelen

Tabel 4: Overzicht documenten

Door middel van een stage bij Royal HaskoningDHV is er een beeld van de praktijkwereld van de waterstof ervaren. Hierbij is deelgenomen aan meerdere conferenties, seminars en werksessies over waterstof. Participatief onderzoek is een goede onderzoeksmethode om fenomenen te onderzoeken in een setting waarbij betrokken actoren aanwezig zijn. Op deze manier kan de onderzoeker een compleet begrip krijgen voor bepaalde fenomenen. (Breitbart in Clifford et al., 2016). Door het participatieve onderzoek is een praktisch besef van de belemmeringen ontstaan en is er een beeld ontstaan van wie de betrokken actoren bij de waterstofinfrastructuur zijn en hoe deze actoren met elkaar interacteren. Op deze manier is een inzicht verkregen in de huidige ontwikkelingen van het regime

Datum	Activiteit
11 oktober 2017, Bunnik	Waterstofvoertuigen als Businesscase
9 november 2017, Groningen	Noordelijke Klimaatop
14 december 2017, Soest	Een overzicht van ontwikkelingen van waterstof
20 december 2017, Groningen	Duurzame subsidies
21 maart 2018, Groningen	Waterstof in de praktijk

Tabel 5: Conferenties en seminars

en niche ontwikkelingen met betrekking tot de realisatie van de waterstofinfrastructuur. Er is deelgenomen aan de volgende vijf conferenties en seminars die te zien zijn in tabel 5.

4.3.2 Onderzoekdeel 2: Semigestructureerde interviews en participatief onderzoek

Door middel van interviews en participatief onderzoek is achterhaald wat de visie van betrokken actoren op de op welke manier belemmeringen met betrekking tot het commercialiseren van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector kunnen worden overkomen en wat de visie. De vragen zijn door middel van semigestructureerde interviews aan de actoren voorgelegd. Semigestructureerde interviews zijn geschikt om complexe sociaaleconomische inzichten naar boven te krijgen (Longhurst in Clifford, 2016). Een semigestructureerd interview is een informeel gesprek met een ander persoon, waarbij er een vragenlijst wordt gemaakt die niet volledig vastligt (Longhurst in Clifford, 2016). Doordat de vragenlijst niet vastligt is flexibiliteit binnen het interview mogelijk voor zowel de geïnterviewde als de interviewer. Hierdoor is het mogelijk dat andere relevante onderwerpen aan het licht komen. Uiteindelijk kan dit ertoe leiden dat er meer gedetailleerde informatie naar boven komt. Er zijn in totaal 11 interviews afgenomen met actoren vanuit verschillende maatschappelijke niveaus en domeinen. Tien van de interviews zijn face-to-face afgenomen en een van de interviews is telefonisch afgenomen. De interviews duurden gemiddeld een uur. Het interview met Groningen Seaports is afgenomen door Fabian Kruiper, student aan de Rijksuniversiteit Groningen. Er is toestemming gegeven vanuit Groningen Seaports en Fabian Kruiper voor het secundaire gebruik van de resultaten van het interview.

4.3.3 Strategie interviews

In dit onderzoek wordt in het tweede onderzoekdeel onderzocht wat de visie is van betrokken actoren op de realisatie van de waterstofinfrastructuur en op welke manier de betrokken actoren anticiperen op belemmeringen met betrekking tot de realisatie van de infrastructuur. De interviews met betrokken actoren zijn opgedeeld in zes verschillende onderwerpen die hun basis vinden in de belemmeringen die zijn geconstateerd in dit onderzoek. De interviews zijn volgens het onderstaande schema opgebouwd (figuur 5).

De toekomstvisie omvat een omschrijving van de verwachtingen en het toekomstbeeld van de waterstofinfrastructuur in Nederland en een omschrijving van de functies en rollen die actoren hierbinnen spelen en/of zouden moeten spelen. De antwoorden op deze vraag leiden tot een invullen van doelstellingen op de lange termijn binnen de strategische actieagenda van transitie management.

De manier waarop betrokken actoren anticiperen op belemmeringen met betrekking tot de realisatie van de waterstofinfrastructuur leidt tot de invulling van korte termijn acties op het tactische en operationele niveau van transitie management.



Figuur 5: Strategie interviews

4.3.4 Structuur interviews

Om een zo compleet mogelijk beeld van het overkomen van belemmeringen voor realisatie van de waterstofinfrastructuur te verkrijgen, zijn actoren geselecteerd die ieder op een andere manier met de realisatie van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector te maken hebben. Om een algemeen beeld te kunnen krijgen van de waterstofinfrastructuur en de verschillende belangen zijn als eerste interviews afgelegd met meer overkoepelende organisaties, zoals het waterstofplatform, een professor van de Rijksuniversiteit Groningen en met een adviseur van een adviesbureau die geen bestuurlijk of economisch belang hebben vanuit het perspectief van een bedrijf of overheid. Hierdoor werd beter duidelijk welke rol de verschillende stakeholders zouden moeten spelen binnen de infrastructuur. In de regio Amsterdam wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheden die de waterstofinfrastructuur

zou kunnen bieden. Het interview met het Amsterdam Economic Board is afgenomen om met als doel inzicht te krijgen in welke ontwikkelingen er in de regio spelen en hoe verschillende actoren met elkaar interacteren om de infrastructuur te kunnen commercialiseren. De overige interviews zijn afgenomen met bedrijven en overheden die functioneren binnen de niche van waterstof en die allen werken aan het realiseren van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector. In tabel 6 is een overzicht gegeven van de actoren die zijn geïnterviewd en de functie van de actoren binnen de waterstofinfrastructuur.

De structuur van de interviews van de algemene interviews verschilde ten opzichte van de interviews met bedrijven. De interviews met het waterstofplatform, de Rijksuniversiteit en het adviesbureau zijn opgesteld met als doel een visionair beeld te krijgen van hoe de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector eruit zou moeten komen te zien. Deze drie actoren hebben geen directe invloed op de investeringen die worden gedaan in de infrastructuur. Op basis van de drie algemene interviews was het mogelijk meer gerichte en kritische vragen te stellen aan de daaropvolgende stakeholders vanuit een bedrijf of overheid.

4.3.5 Methode van data-analyse

Alle interviews zijn opgenomen en handmatig getranscribeerd. De interviews zijn zo snel mogelijk na afloop van het interview getranscribeerd en gecodeerd. Tijdens het interview zijn aantekeningen gemaakt op de momenten dat er naar het idee van de onderzoeker belangrijke informatie naar boven kwam of wanneer er informatie naar boven kwam waarop de onderzoeker wilde doorvragen. Alle interviews zijn in hun volledigheid getranscribeerd. De antwoorden op de interviewvragen zijn onderverdeeld op basis van de verschillende onderwerpen voor de interviewvragen die zijn gesteld aan de actoren (zie figuur appendix II). Omdat de deelonderwerpen voor de interviews van dit onderzoek op basis van de theoretische achtergrond voorafgaand aan de interviews zijn bepaald, is er een deductieve methode voor het coderen van interviews gebruikt.

4.4 Het selecteren van relevante actoren

De relevante actoren zijn geselecteerd door deel te nemen aan conferenties en seminars over de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector. Op deze conferenties en seminars waren belanghebbenden vanuit verschillende maatschappelijke niveaus (landschapniveau, regimenniveau en nicheniveau) aanwezig die de realisatie van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland beïnvloeden. Zo waren er overheden, beleidsmakers, potentiële investeerders, onderzoekers en innovators aanwezig. In tabel 6 is een overzicht gegeven van de geïnterviewde actoren en hun functie met betrekking tot het realiseren van de waterstofinfrastructuur.

	Actoren	Functie	Bedrijf/ organisatie
Interview 1	Robert Dencher	Het zorgen voor het op elkaar afstemmen van vraag een aanbod binnen de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector	Waterstof Platform
Interview 2	Catrinus Jepma	Expert op het gebied van energietransitie vanuit de Rijksuniversiteit Groningen	Rijksuniversiteit Groningen
Interview 3	Edward Pfeiffer	Adviseur op het gebied van de energietransitie. Heeft praktische ervaring met het managen van een energietransitie	Royal HaskoningDHV
Interview 4	Marcel Hollen	Het faciliteren van leasecontracten voor het gebruiken van waterstofvoertuigen	FrieslandLease
Interview 5	Dirk Schaap	Het creëren van maatschappelijk en politiek besef van de functie van waterstof in de mobiliteitssector in een nieuw energiesysteem	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Interview 6	Francois Hemmerlin	Expert op het gebied van het faciliteren van compressietechnieken voor het opslaan van waterstof	Resato
Interview 7	Richard Hoving	Adviseur binnen het Amsterdam Economic Board. Momenteel bezig met het stimuleren van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteit in de regio Amsterdam	Amsterdam Economic Board
Interview 8	Joost Sandberg	Expert op het gebied van het faciliteren, produceren en converseren van waterstof	Akzo Nobel
Interview 9	Eertwijn van den Dool	Zijn momenteel bezig met duurzaamheid van de industrie in de Eemshaven. Ze rijden in een waterstofauto middels een leasecontract	Groningen Seaports
Interview 10	Stefan Holthausen	Expert op het gebied van het opslaan en distribueren van waterstof. De focus ligt momenteel op het ombouwen van voertuigen naar waterstof en op het realiseren van tankinfrastructuur	Holthausen
Interview 11	Wietse ter Veld	Het realiseren van een tankstation voor waterstof in Pesse	Green planet

Tabel 6: Geïnterviewde actoren

4.5 Ethiek

Voorafgaand en tijdens het interview moet ethiek worden gerespecteerd. Voorafgaand is aan de actoren duidelijk geïnformeerd dat de informatie vanuit het interview zou worden gebruikt voor dit onderzoek. Daarnaast is aan de actoren voorafgaand aan het interview een overzicht gegeven van de onderwerpen die tijdens het interview besproken zouden worden. De actoren zijn daarmee akkoord gegaan. Bij het beschrijven van de resultaten van het onderzoek is zoveel mogelijk rekening gehouden met privacy van geïnterviewde actoren. Zo zijn de namen van bedrijven niet genoemd in de resultaten en is het niet altijd te achterhalen wie, welk antwoord heeft gegeven. Het type bedrijf dat een bepaald antwoord heeft gegeven is in de resultaten wel bekend gemaakt. Op deze manier zou in veel gevallen kunnen worden achterhaald door welk bedrijf een bepaald antwoord is gegeven. Echter, de geïnterviewde actoren zijn akkoord gegaan met de verwerking van de door hun gegeven antwoorden in deze scriptie.

5

Resultaten

5.1 Inleiding tot de resultaten

Op basis van de in het theoretisch kader geconstateerde belemmeringen van de realisatie van de waterstofinfrastructuur in Nederland, wordt in hoofdstuk vijf een antwoord gegeven op deelvraag zeven en acht van dit onderzoek. Deze deelvragen en de daarbij horende deelonderwerpen zijn weergegeven in tabel 7. De antwoorden op de deelvragen vormen een invulling aan acties op het strategisch, tactisch en operationeel niveau van transitie management. Bij transitie management is evaluatie in iedere fase van een transitie van belang.

Deel 2: De betrokken actoren bij de realisatie van de waterstofinfrastructuur en hun visie op de realisatie
<p>7. Wat is de visie van de betrokken actoren met betrekking van het realiseren van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector?</p> <ul style="list-style-type: none">• Wat is het toekomstbeeld over de ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur in Nederland?• Wat is het belang en functie van verschillende actoren?
<p>8. Hoe anticiperen betrokken actoren bij het realiseren van een waterstofinfrastructuur op belemmeringen?</p> <ul style="list-style-type: none">• Op welke manieren kan onzekerheid met betrekking tot investeringen in de waterstofinfrastructuur worden verlaagd?• Op welke manier kunnen kosten voor investeringen worden verlaagd?• Op welke manier wordt er gepioneerd en geëxperimenteerd?• Wat zijn de randvoorwaarden om te investeren?

Tabel 7: Deelvragen onderzoekdeel 2

In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk zal een overzicht worden gegeven van de data-analyse op basis van de codering van de afgenomen interviews. In de daaropvolgende paragraaf zullen de uitkomsten van de data-analyse worden toegepast als activiteiten op het strategisch, tactisch en operationeel niveau van transitie management. Voor het opschalen van de waterstofinfrastructuur wordt hierbij in gegaan op het accelereren van de infrastructuur van de voorontwikkelingsfase naar de take-off fase.

5.2 Data-analyse interviews

5.2.1 Toekomstperspectief en visie waterstofinfrastructuur

De ontwikkeling van waterstof en de toepassing voor verschillende soorten modaliteiten

- Alle geïnterviewde actoren geven aan dat diesel en benzine met zekerheid zullen gaan verdwijnen uit het Nederlandse straatbeeld. Dit wordt veroorzaakt door beleid en regelgeving vanuit de overheid.
- Alle geïnterviewde actoren geven aan dat elektrisch rijden het meest toegepaste alternatief voor diesel en benzine zal gaan worden. Ook groengas zal worden toegepast, maar het marktaandeel van groengas zal niet zo groot worden als elektrisch rijden.
- Alle geïnterviewde actoren geven aan dat batterij-elektrische voertuigen een geschikt alternatief vormen voor voertuigen die momenteel rijden op benzine. Dit zijn vaak de voertuigen die kortere afstanden rijden en relatief lichter in gewicht zijn.
- Alle geïnterviewde actoren geven aan dat waterstof-elektrische voertuigen een geschikt alternatief zullen vormen voor voertuigen die momenteel rijden op diesel. Dit zijn vaak de voertuigen die langere afstanden rijden en relatief zwaarder in gewicht zijn. Daarnaast geven alle actoren aan dat er een grote zekerheid is dat het zwaarder vervoer over zal gaan op waterstof-elektrisch.
- De tankstationhouder geeft aan dat het personenvervoer en busvervoer op waterstof zich in Nederland waarschijnlijk het eerste zal ontwikkelen en daarna pas het vrachtvervoer. Vrachtvervoer zal naar verwachting ongeveer 5 jaar achterlopen. De reden hiervoor kan worden gevonden in het feit dat het aanbod aan personenvoertuigen op waterstof momenteel groter is dan het aantal vrachtwagens.
- Om de waterstofinfrastructuur te realiseren, zal er een moment moeten komen dat de infrastructuur vergelijkbare en concurrerende prijzen hanteert ten opzichte van de infrastructuur voor fossiele brandstoffen heden ten dage. De expert op het gebied van opslag en distributie van waterstof geeft hiervoor een voorbeeld: diesel kost momenteel ongeveer 1 euro per liter. Een bus rijdt ongeveer 1/3. Een liter diesel zou dan 0,35 cent kosten. Met waterstof kun je 1/10 rijden. 1 kilogram waterstof mag dan 0,35 eurocent per kW kosten, dus in totaal €3,50 aan de tank. Pas dan zou de prijs concurrerend kunnen zijn. Bij een prijs van €0,04 per kWh elektriciteit zou waterstof voor 3 á 4 euro kunnen worden verkocht.

Groene waterstof versus grijze en blauwe waterstof

- Alle geïnterviewde actoren geven aan dat grijze waterstof niet wenselijk is voor het bereiken van een CO₂-neutrale toekomst. Echter, geven de actoren aan dat het toepassen van grijze waterstof in de mobiliteitssector een logische transitiestap is om het gebruik van waterstof in de mobiliteitssector op gang te krijgen. Hetzelfde geldt

voor blauwe waterstof. Groene waterstof is het uiteindelijke einddoel. Grijs en blauw waterstof zijn momenteel namelijk nog goedkoper dan groene waterstof. Door grijs en blauw waterstof nu alvast toe te passen in de mobiliteitssector, kan er al een start worden gemaakt met het opschalen van de infrastructuur op een relatief goedkope manier ten opzichte van groene waterstof.

- Actoren die gespecialiseerd zijn in productie en conversie van waterstof geven aan dat zij verwachten dat groene waterstof in de toekomst goedkoper zal zijn dan grijs waterstof. Wanneer aardgas duurder wordt en duurzame elektriciteit goedkoper wordt, dan zal groene waterstof dalen in prijs.

Het omslagpunt voor het toepassen van waterstof in de mobiliteitssector

- Alle geïnterviewde actoren verwachten dat de ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector tot aan 2030 langzaam zal ontwikkelen. Na 2030 zal een groot aantal van de huidige dieselrijders op waterstof rijden. Rondom 2040 á 2050 zal de markt voor waterstof volwassen zijn. Hierbij rijdt het zwaardere personenvervoer op waterstof en rijdt het vrachtvervoer en busvervoer grotendeels op waterstof. Na 2050 zouden er naar verwachting ongeveer 60.000 waterstof personenvoertuigen rondrijden.
- Tankstationhouders verwachten dat rondom 2030 de businesscase voor het investeren in tankinfrastructuur voor waterstof sluitend zou kunnen zijn en dat investeringskosten in tankinfrastructuur niet meer hoeven worden gesubsidieerd.
- Tankstationhouders en specialisten op het gebied van voertuigen op waterstof, verwachten dat er nog dit jaar een toename zal zijn in vraag naar waterstofvoertuigen
- De overheid verwacht dat de vraag naar de waterstofinfrastructuur snel zal gaan toenemen wanneer er in 2020 een aanbod van 20 tankstations is gerealiseerd in Nederland.
- Alle geïnterviewde actoren geven aan dat het leasen van waterstofvoertuigen de meest rendabele optie is voor het rijden op waterstofvoertuigen. Er rijden al een aantal voertuigen op leasecontracten rond in Nederland. De leasemaatschappij geeft aan dat deze voertuigen onder een leaseperiode van vier jaar vallen. Het tweede leven van een waterstofvoertuig is heel belangrijk. Pas dan weet je of kosten hoog of laag zijn uitgevallen. De uitkomst van deze leaseperiode zal uitkomsten bieden over de meerwaarde van het gebruik van waterstof in de mobiliteitssector. Als de uitkomst positief is, dan zal dit de vraag naar waterstofvoertuigen positief gaan beïnvloeden. Als dit negatief is, dan heeft dit grote, negatieve impact op de ontwikkeling van waterstofvoertuigen.

Belemmeringen voor de ontwikkeling van waterstof in de mobiliteitssector

- Alle geïnterviewde actoren geven aan dat de automobiellindustrie voor waterstofvoertuigen erg terughoudend is om voertuigen te leveren aan Nederland. Aan de andere kant geven een aantal bedrijven aan dat wanneer de automobiellindustrie de concurrentie begint te voelen, dat ze dan wel in beweging komen. De belangrijkste belemmering is daarom momenteel of er wel genoeg gebruikers van de voertuigen zullen zijn.
- Alle geïnterviewde actoren geven aan dat de automobiellindustrie een grote blokkade is voor de realisatie van de infrastructuur. Hierbij wordt aangegeven dat zij hebben vastgehouden aan oude technieken en dat zij een onjuist beeld hebben over de toekomstige ontwikkeling van waterstof. Ze experimenteren wel, maar komen vervolgens niet tot een markt. De verwachting is dat de automobiellindustrie binnenkort wel in actie komt, vanwege regelgeving op het gebied van het gebruik van fossiele brandstoffen. Hierbij geeft de specialist op het gebied van distributie en opslag en de leasemaatschappij aan dat grote autofabrikanten nog geen markt zien in waterstofvoertuigen. Het aantal waterstofvoertuigen is niets in vergelijking met wat ze al produceren aan voertuigen met verbrandingsmotor.
- Het adviesbureau geeft aan dat er aan de vraagzijde nog weinig interesse is voor voertuigen op waterstof. Veel bedrijven die in het bezit zijn van grote leasevloten, hebben waterstof nog niet in beeld. Waterstof wordt zelfs nauwelijks in overweging genomen als het gaat om duurzaam vervoer.
- Alle geïnterviewde actoren geven aan dat in de maatschappij weinig interesse is voor waterstof omdat waterstof relatief onbekend is, duur is en als onveilig wordt beschouwd.
- Heel veel bedrijven zullen nog wachten met investeren en wachten af hoe de investering bij andere bedrijven verloopt. Hierbij wordt genoemd dat de ontwikkeling van de batterij-techniek de ontwikkeling van waterstofvoertuigen in de weg kan staan.

5.2.2 Functies en belangen binnen het landschap, regime en niche

Druk op het bestaande systeem

- Alle geïnterviewde actoren geven aan dat de mobiliteitssector in Nederland over zal gaan op duurzame vervoersvormen door regelgeving omtrent fossiele brandstoffen
- Alle geïnterviewde actoren geven aan dat de overheid een belangrijke rol heeft om te zorgen dat waterstof op grote schaal kan worden geproduceerd en kan worden toegepast. Hierbij wordt aangegeven dat overheden duurzame initiatieven zouden moeten subsidiëren en dat overheden een lange-termijn visie zouden moeten opstellen om betrokken actoren zekerheid te bieden over investeringen. Zo geven actoren aan dat investeringen die bedrijven doen, worden gedaan voor langere tijd. Een

vrachtwagen wordt bijvoorbeeld aangeschaft voor een termijn van zeven jaar. Voor deze zeven jaar zou er dan ook zekerheid moeten zijn over de accijnzen. De leasemaatschappij geeft daarnaast aan dat zij durven te investeren in waterstofvoertuigen als zij weten dat de waterstofvoertuigen in de komende jaren fiscaal aantrekkelijk zullen zijn. In een dergelijke situatie zijn zij bereid te investeren zonder dat er vraag is naar het voertuig. Echter, door fiscale aantrekkelijkheid weten zij dat deze vraag in de toekomst wel zal gaan ontstaan.

- Naar verwachting zal beleid voor mobiliteit in steden een grote rol gaan spelen in het stimuleren van duurzame mobiliteit. Doordat overheden beleid opstellen voor het CO2-neutraal maken van binnensteden, wordt op deze manier de energietransitie versneld.
- Alle geïnterviewde actoren geven aan dat pioniers belangrijk zijn voor het opschalen van innovaties. Uiteindelijk zullen pioniers degene zijn die het aandurven om investeringen te doen in de waterstofinfrastructuur.
- Een bedrijf dat gespecialiseerd is in distributie en opslag van waterstof, geeft aan dat zij als pioniers in de waterstof van belang zijn om de mismatch tussen vraag en aanbod op te lossen. Zo bouwt het bedrijf voertuigen om tot waterstofvoertuigen. Op deze manier zorgen ze ervoor dat het aantal voertuigen op waterstof in Nederland op gang komt.
- Daarnaast geven de geïnterviewde actoren aan dat het van belang is dat grote bedrijven aansluiten om opschaling daadwerkelijk mogelijk te maken. Als het gaat om grote bedrijven, dan doelen de actoren op grote fleetowners die bereid zijn een leasevloot op waterstofvoertuigen te realiseren. De overheid geeft aan dat er grotere bedrijven moeten aansluiten bij de waterstofinfrastructuur, omdat er wordt verwacht dat pioniers op een bepaald moment de vraag naar de waterstofinfrastructuur niet meer aankunnen en geen oplossingen kunnen bieden wanneer er problemen optreden met betrekking tot de realisatie van de waterstofinfrastructuur. Realisatie van de infrastructuur kan daarmee vastlopen als grote bedrijven niet meegaan.
- De overheid geeft aan dat educatie van groot belang is om te zorgen dat de realisatie van een waterstofinfrastructuur daadwerkelijk zal plaatsvinden. Hierbij zullen er mogelijkheden moeten komen om studenten te leren over de werking van waterstof en brandstofcellen. Daarnaast zullen studenten moeten leren over onderhoud en restwaarde van voertuigen.
- De geïnterviewde pioniers, zoals Holthausen en Greenplanet op het gebied van de waterstofinfrastructuur geven aan dat er met grote interesse naar hen wordt gekeken door andere bedrijven.

Wederzijdse afhankelijkheid

- Meerdere malen komt in de interviews naar voren dat het in het huidige stadium van ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur niet gunstig is om te denken in concurrentie. Hierbij wordt aangegeven dat het van belang is om pioniers bij elkaar te brengen om op deze manier het delen van kennis en risico's beter mogelijk te maken.

- Meerdere actoren geven aan dat actoren bij de realisatie van de waterstofinfrastructuur van elkaar afhankelijk zijn. Wanneer het ene bedrijf aangeeft te gaan investeren in de infrastructuur, dan zal het andere bedrijf dit ook overwegen. Enkele voorbeelden die worden gegeven: leasebedrijven durven te investeren wanneer zij weten dat een ander bedrijf een tankstation zal gaan plaatsen. Als het gaat om afhankelijkheid, dan wordt meerdere malen gewezen naar de automobiellindustrie. Hier wordt ook gewezen op de macht die de automobiellindustrie heeft. De automobiellindustrie zou normen stellen voor voertuigen. Dit verplicht vervolgens bedrijven om de infrastructuur op een dusdanige manier te ontwikkelen, ten gunste van de voorwaarden van de automobiellindustrie. Hierdoor verplicht de automobiellindustrie andere bedrijven om hogere investeringskosten te betalen. Leasemaatschappijen geven daarnaast aan dat er weinig ervaring met waterstofvoertuigen is, waardoor het lastig is om kosten van onderhoud in restwaarde in te schatten. Hierbij zijn leasemaatschappijen voor een groot deel afhankelijk van de informatie die de automobiellindustrie over het voertuig aan de leasemaatschappijen weergeeft.
- De overheid geeft aan dat het gebruik van waterstof in de mobiliteitssector uiteindelijk het draagvlak voor de waterstofeconomie zal gaan vergroten.
- Het helpt als de overheid gebruiker wordt van de waterstofinfrastructuur door in waterstofvoertuigen te gaan rijden. De overheid is op dit moment al personenvoertuigen aan het testen. Ook heeft de overheid meerdere speciale voertuigen laten ombouwen tot waterstofvoertuig. Het is van belang dat over dergelijke ontwikkelingen wordt gecommuniceerd naar de maatschappij. Overheden hebben hierin een voorbeeldfunctie en deze moeten zij vervullen.
- Het waterstofplatform geeft aan dat leasemaatschappijen, fleetowners en de automobiellindustrie intensief zouden moeten samenwerken om te zorgen dat potentiële vraag naar de infrastructuur kan worden bediend.
- Alle geïnterviewde actoren geven aan dat actoren binnen alle sectoren waarin waterstof kan worden toegepast van elkaar afhankelijk zijn. Het realiseren van een waterstofinfrastructuur van de mobiliteitssector kan daarbij niet los worden gezien van de industriesector, omdat waterstof voornamelijk in deze sector kan worden geproduceerd.
- Het bedrijf dat gespecialiseerd is in distributie en opslag van waterstof geeft aan dat het van belang is om iedereen op een lijn te krijgen. Om dit te bereiken zou je macro-economisch al het landelijk beleid op een lijn moeten krijgen. Zo zou duurzame elektriciteit op macroniveau moeten worden gegenereerd.

5.2.3 Manieren om onzekerheden te verkleinen

Intersectorale samenwerking

- Uit interviews met meerdere bedrijven wordt het belang van samenwerking op landelijke schaal en op lokale schaal duidelijk. Op landelijke schaal, omdat een landelijk en misschien zelfs Europees netwerk voor waterstofinfrastructuur nodig is. Lokaal, omdat bedrijf en klant op regionaal niveau dicht bij elkaar zijn gevestigd, waardoor beter in kan worden gespeeld op de wensen van beide partijen en meer maatwerk kan worden geleverd aan klanten.
- Uit de interviews met actoren wordt duidelijk dat er veel behoefte is aan samenwerken en aan het delen van risico's. Wanneer er problemen zijn, dan is het van groot belang dat je ze samen kunt oplossen. Dit hoeft niet eens altijd op papier te staan, zo lang er maar wederzijds vertrouwen, respect en openheid is binnen deze samenwerkingen.
- Naast vertrouwen, respect en openheid is het in deze fase van een transitie van groot belang dat kennis wordt gedeeld.
- Alle geïnterviewde actoren geven aan dat samenwerking een belangrijke factor is in het doorbreken van het kip-ei dilemma. Als pionier gaat het niet lukken om alleen het kip-ei dilemma te doorbreken. Publieke en private partijen moeten tot consortia komen om tegelijkertijd vraag en aanbod te realiseren. Hierbij gaan investeringen alleen werken met meervoudige businesscases en niet met enkelvoudige businesscases.
- Alle geïnterviewde actoren geven aan dat de overheid een lange termijnvisie op de ontwikkeling van waterstof zou moeten opstellen. Zo zou de overheid meer duidelijkheid moeten geven over het beprijzen van CO₂-uitstoot en op het al dan niet vrijstellen van accijnzen voor waterstofvoertuigen voor langere periode. Veel bedrijven gebruiken Duitsland als voorbeeld van een land waar de waterstofinfrastructuur op een slimme manier is gestimuleerd. In Duitsland hebben ze een lange-termijn strategie voor waterstof opgesteld die tot stand is gekomen door publiek-private samenwerking. Daarin is bepaald dat er de komende 10 á 15 jaar geen accijnzen over waterstof komen. Daarnaast wordt een groot deel van de operationele kosten van investeringen door de Duitse overheid gesubsidieerd.
- De overheid geeft aan dat het van belang is om in samenwerking te zorgen dat de waterstofinfrastructuur in Nederland op de kaart komt te staan voor grote bedrijven binnen de automobiellindustrie, zoals Toyota en Hyundai, maar ook bedrijven zoals VDL. Om een 'launching market' te kunnen zijn zal er een aanzienlijk aanbod tankstations in Nederland moeten zijn gerealiseerd. Hierbij wordt ervanuit gegaan dat de automobiellindustrie Nederland als een launching market zal beschouwen wanneer er in 2020 ongeveer 20 tankstations in Nederland zijn gerealiseerd.

Het zorgen voor ervaring

- De leasemaatschappij geeft aan dat de potentiële klant altijd in ogenschouw moeten worden genomen bij het opdoen van ervaring met waterstofvoertuigen. De klant bepaalt namelijk of waterstofvoertuigen wel of niet gaan doorbreken. Hierbij is het uitgangspunt dat als je wilt dat een klant gebruik gaat maken van een waterstofvoertuig, dan zal het product zo comfortabel mogelijk moeten worden gemaakt voor de klant. Hierbij moet ingespeeld worden op de behoeften van de klant; het gaat om maatwerk. Een klant wil uiteindelijk ook geld kunnen gaan verdienen aan zijn investering. In samenwerking met de klant zal het proces van ervaring opdoen voor zowel het bedrijf als de klant zo comfortabel mogelijk moeten zijn. Daarnaast zou het proces van bestelling tot levering van producten voor de waterstofinfrastructuur zo kort mogelijk moeten duren. Voor het bestellen van waterstofvoertuigen kan het formele proces van bestelling van een waterstofvoertuig binnen een dag klaar zijn. De besteltijd van het voertuig kan langer duren. Dat is afhankelijk van de beschikbaarheid van de voertuigen in Europa. Als de voertuigen in Europa aanwezig zijn, dan hoeft het maar een paar weken te duren. Moeten ze nog worden gefabriceerd, dan kan dit maanden duren. Als het gaat om compressietanks, dan is de besteltijd momenteel ongeveer 4 tot 6 maanden. Hierbij wordt aangegeven dat het proces veel sneller zou kunnen en zou moeten.
- Tankstationhouders geven aan dat er veel pilots zullen moeten worden uitgevoerd, waarbij er moet worden geprobeerd om lokale fleetowners bij deze pilots te betrekken.
- Alle actoren geven aan dat er nog veel ervaring nodig is op het gebied van vergunningen en veiligheid. Voordat de waterstofinfrastructuur optimaal kan functioneren zou beleid omtrent veiligheid en vergunningen moeten worden gestandaardiseerd.
- Daarnaast geven de professor van de universiteit en de waterstof producent dat het in de toekomst van belang is dat er een betrouwbaar systeem van garanties van oorsprong van waterstof ontstaat. Over dit systeem is momenteel nog veel onduidelijkheid over hoe een dergelijk systeem kan worden toegepast.

5.2.4 Manieren om investeringskosten te beperken

Schaal

- Pas als er massa komt, dan zullen de kosten van de infrastructuur dalen. Voorbeeld: wanneer zij voor een groot volume voertuigen de restwaarde en onderhoud kunnen inschatten, dan is voor hen het risico lager. Er zijn dan namelijk relatief minder uitschieters qua hoge onderhoudskosten en qua verlies. De leasemaatschappij geeft hierbij aan dat de kosten van restwaarde en onderhoud niet te hoog moeten worden ingeschat, omdat er dan geen marktconform leasetarief is.

- De overheid geeft aan dat wanneer er een waterstofinfrastructuur op grotere schaal wordt bereikt, dan kan er een concurrerende markt ontstaan. Hierdoor kunnen de investeringskosten van de infrastructuur naar beneden worden gebracht.
- Volgens het bedrijf dat gespecialiseerd is in compressietanks voor tankstations is het voor tankstationhouders van belang om te zorgen dat er zwaar vervoer komt tanken. Het zwaarder vervoer vraagt namelijk om een grotere hoeveelheid waterstof aan de tank. Hierdoor kan de businesscase van de tankstationhouder beter worden veiliggesteld. Volgens het bedrijf kan er met personenvervoer geen businesscase worden opgebouwd, omdat je dan 100 á 200 personen voertuigen per dag aan de tank nodig hebt voor een rendabele businesscase. Wanneer zwaarder vervoer eenmaal tankt, dan is het voor de businesscase niet meer van belang dat personen voertuigen komen tanken.
- Volgens het bedrijf dat gespecialiseerd is in compressietanks is het voor pioniers en ondernemers die betrokken zijn bij het realiseren van de waterstofinfrastructuur van belang dat ze zelf een steentje bijdragen aan het opschalen van de infrastructuur. Zo kunnen deze ondernemers zelf een voertuig aanschaffen en tanken.
- Bedrijven geven aan dat het, om ervoor te zorgen dat opschaling plaats kan vinden, van groot belang is om businesscases door te rekenen en om in gesprek te gaan met de overheid om onrendabele toppen te kunnen bekostigen.
- Het waterstofplatform en de specialisatie op het gebied van distributie en opslag van waterstof geven aan dat opschaling kan worden gestimuleerd wanneer de overheid een tender zou uitbrengen voor het realiseren van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector.
- Het bedrijf dat gespecialiseerd is in distributie en opslag van waterstof geeft aan dat het voor de mobiliteitssector van belang is dat voertuigen goedkoper worden. Dit kan worden gedaan door kosten voor brandstofcellen naar beneden te brengen. Het maken van een brandstofcel is niet ingewikkeld. Er moeten er alleen duizenden worden gemaakt om een kostenvoordeel te kunnen bieden. Er zijn berekeningen gedaan die uitwijzen dat wanneer je wereldwijd in totaal 500.000 brandstofcellen zou produceren, dat er dan echt wat gaat gebeuren met de prijs. Echter, vorig jaar zijn er wereldwijd nog maar 6500 verkocht in totaal.
- Meerdere actoren geven aan dat waterstofvoertuigen voordelen bieden ten opzichte van batterij-elektrische voertuigen. Waterstofvoertuigen hebben een grotere theoretische actieradius. Door potentiële klanten goed te informeren over deze voordelen zal de vraag naar de waterstofinfrastructuur toenemen. Publiciteit is daarmee erg belangrijk.

Locatie

- Het waterstof producerende bedrijf geeft aan dat het voor het realiseren van een tankinfrastructuur van belang is dat deze wordt gerealiseerd op locaties die zich dichtbij de productie van waterstof bevinden. Hierdoor is het distribueren van waterstof gemakkelijker en goedkoper. Zo geeft het waterstof producerende bedrijf aan dat er een aantal locaties zijn waarvan wordt verwacht dat daar grootschalige elektrolyse zal gaan plaatsvinden. Dit zijn Terneuzen, Geleen, Rotterdam, IJmuiden, Delfzijl. Dit worden de hubs van waaruit je tankstations kunt gaan realiseren. Met een omtrek vanaf 150km vanaf de hubs kun je de waterstof dan met tube trailers gaan vervoeren.
- Volgens het waterstofplatform is het voor de businesscases van tankstationhouders interessant om vraag te aggregeren. Met vraagaggregatie maak je een inschatting van het potentieel aantal afnemers van de tankinfrastructuur. Hierbij is het van belang in een coalitie te komen tot een strategie. Twee tankstations naast elkaar bouwen in de huidige fase van ontwikkeling niet wenselijk.
- Het bedrijf dat compressietanks levert voor tankstations geeft aan dat het voor meer draaglijke businesscases interessant is om te gaan werken met een groot en een klein tankstation. Het grote tankstation kan een groter aantal gebruikers aan dan het kleine tankstation. Het grote tankstation wordt dan ook gebouwd op de locatie waarvan op basis van vraagaggregatie wordt verwacht dat er relatief veel vraag naar waterstof aan de tank zal ontstaan. Het kleinere station plaats je op locaties waarvan wordt verwacht dat het zou kunnen uitgroeien tot een groot station. De idee is dat waterstof in nabijheid van het grote tankstation wordt geproduceerd. Deze waterstof wordt vervolgens vervoerd naar een kleiner tankstation.

5.2.5 Randvoorwaarden om te investeren

- Het bedrijf dat gespecialiseerd is in distributie en opslag van waterstof geeft aan dat duurzaamheid een belangrijk thema is binnen de huidige maatschappij. Bestaande bedrijven die zich jarenlang hebben gespecialiseerd in fossiele energiebronnen, zoals aardgas, moeten hierop inspelen. Anders dan houdt hun business op. Voor veel bedrijven die zich bezig hebben gehouden met aardgas is de keuze om over te stappen naar waterstof logisch. Zij hebben namelijk al ervaring met het werken met gassen. Kennis over het werken met gassen is in Nederland al aanwezig. Deze bedrijven zien toekomst in het investeren in waterstof om het bedrijf te kunnen laten bestaan. De stap om te investeren in de waterstofinfrastructuur is voor deze bedrijven kleiner.
- Alle geïnterviewde actoren weten dat er een groot risico wordt genomen bij het investeren in de waterstofinfrastructuur. Als de waterstofinfrastructuur los moet komen, dan moeten bedrijven blanco durven instappen en het gewoon doen.
- De geïnterviewde actoren geven bij het afwegen om te investeren aan veel vertrouwen te hebben in de toekomst van waterstof. Het bedrijf dat gespecialiseerd is in distributie

en opslag geeft aan dat binnen zijn netwerk veel bedrijven het marktpotentieel voor waterstof als gigantisch zien. Ze investeren daarom fors en gaan over van R&D naar productie.

- Bedrijven geven aan dat door te investeren in waterstof, het bedrijf een stuk promotie krijgt en zo voorop komt te lopen op het gebied van duurzaamheid. Op deze manier kunnen bedrijven een voorbeeld zijn voor andere bedrijven en kunnen ze marktleider worden. De tankstationhouder geeft aan dat investeringen in waterstof de kans opleveren om samen te werken in interessante projecten, waarin veel geleerd kan worden over de technieken op het gebied van waterstof. Hierdoor is het bedrijf in staat steeds meer te leren over waterstof en om een groot sociaal netwerk op te bouwen binnen de waterstofsectoren.
- De tankstationhouder gaf aan deel te hebben genomen in een subsidieproject die werd opgesteld vanuit de overheid. Een groot deel van de investeringen kon hierdoor worden gesubsidieerd. Voor het bedrijf trok deze mogelijkheid ze over de streep om te gaan investeren.
- De leasemaatschappij geeft aan dat een innovatie niet te pril mag zijn, want dan is het te risicovol om eraan te beginnen. Bij waterstof is dat niet het geval. De eerste voertuigen zijn er al en zijn al in gebruik bij klanten.

5.3 Acties voor transitie management

5.3.1 Strategische actieagenda – visies en doelen op lange termijn

Het opstellen van gedeelde visies wordt als belangrijk onderdeel gezien voor het stimuleren van een transitie. De visies die worden opgesteld beïnvloeden op hun beurt de strategische keuzes die door actoren worden gemaakt. Opvallend is, dat de geïnterviewde actoren allen eenzelfde soort visie hebben op de ontwikkeling van waterstof in de mobiliteitssector. De actoren weten hierdoor op welke manier ze de waterstofinfrastructuur willen opschalen.

Allen zijn ze het erover eens dat het zwaardere vervoer zal gaan rijden op waterstof-elektrische voertuigen. Tegelijkertijd zien de actoren eenzelfde soort 'ontwikkelroute' voor de transitie naar een waterstofinfrastructuur. Hierbij is de verwachting dat de infrastructuur vanaf 2030 grote stappen zal zetten richting een volwassen markt. Vanaf 2030 zal Nederland een opkomende markt zijn voor de waterstofinfrastructuur, waarin de Nederland een 'launching market' is voor de automobiellindustrie. Tussen 2040 en 2050 zal de waterstofinfrastructuur in Nederland een volwassen markt zijn. Met een volwassen markt bedoelen de geïnterviewde actoren dat dieselveertuigen zullen worden vervangen door waterstofvoertuigen. Grote bedrijven investeren in de infrastructuur en de concurrentie tussen bedrijven op het gebied van de waterstofinfrastructuur neemt toe, waardoor de prijs van de infrastructuur vergelijkbaar zal zijn met diesel en benzine van nu.

Naast het opstellen van gedeelde visies en doelstellingen in samenwerking met actoren die direct te maken hebben met de realisatie van de infrastructuur, is het van belang om een bredere visie op de ontwikkeling van waterstof op te stellen. Hierbij zullen er visies worden opgesteld waarbij de grenzen van de verschillende sectoren waarin waterstof kan worden toegepast worden overgestegen. De reden hiervoor kan worden gevonden in het feit dat actoren sterk van elkaar afhankelijk zijn. Opvallend is, dat in de interviews en conferenties sterk naar de overheid wordt gewezen. Potentiele investeerders geven aan dat er vanuit de overheid te weinig een perspectief wordt gegeven op de ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur in de vorm van regelgeving en beleid. Potentiele investeerders vragen daarbij voornamelijk om zekerheid over het vrijstellen van accijnzen op waterstofvoertuigen voor een lange termijn. Verder zijn tankstationhouders sterk afhankelijk van de industriesector waarin waterstof wordt geproduceerd. Om leveringszekerheid voor waterstof aan de tank te kunnen verzekeren, zullen tankstationhouders op de hoogte moeten zijn van de hoeveelheid productie van grijs, blauw en groene waterstof. Daarnaast is de mobiliteitssector een belangrijke factor in het creëren van draagvlak voor toepassing van waterstof in de verschillende sectoren. Hierbij zullen actoren kennis moeten delen en transparant zijn over ontwikkelingen op het gebied van waterstof. Op deze manier kan er beter geanticipeerd worden op belemmeringen en kansen die zich voordoen.

5.3.2 Tactische transitieagenda – acties op korte termijn

Het kip-ei dilemma is het grootste probleem dat zal moeten worden aangepakt. De geïnterviewde actoren geven aan dat in het huidige stadium van ontwikkeling, het komen tot samenwerkingen hierbij onontkoombaar is. Samenwerkingen zouden dan ook binnen het bedrijfsleven en door de overheid moeten worden gestimuleerd. Het delen van kennis en het delen van risico's zijn nodig om te komen tot een aanbod van de infrastructuur. Hierbij is het van belang om afspraken te maken over verantwoordelijkheden en om deze afspraken na te komen. Het risico van de ene actor is namelijk het risico van de andere actor.

De geïnterviewde actoren realiseren zich dat grote bedrijven in het huidige stadium van ontwikkeling nog niet aan zullen sluiten bij samenwerkingsverbanden. Het streven is om 'slimme' manieren te vinden om de kosten voor investeringen zo draaglijk mogelijk te houden voor alle actoren die in het huidige stadium van ontwikkeling betrokken zijn. Dit kan worden gedaan door middel van kleinschalige en lokale projecten, waarbij een tankstation wordt gerealiseerd op locaties waarvan wordt verwacht dat er de meeste vraag naar waterstof voor voertuigen zal ontstaan. Door middel van vraagaggregatie kan uitgerekend worden op welke locaties in Nederland er in potentie de grootste kans is op vraag naar waterstof. Momenteel zijn industriële clusters waar waterstof wordt geprobeerd de meest rendabele locatie. Op deze manier bevindt het tankstation zich vlakbij de bron van waterstof, waardoor de kosten voor het distribueren van waterstof kunnen worden beperkt. Door samenwerkingen aan te gaan met bijvoorbeeld het busvervoer en lokale bedrijven, kan ervoor worden gezorgd dat een aantal

bussen en een aantal personenvoertuigen op de locatie kunnen tanken. Andere interessante locaties zijn gelokaliseerd aan de randen van drukke steden. Hier liggen de inwoneraantallen hoger en wordt er verwacht dat er meer kans is op vraag naar waterstof. Op locaties waar veel vraag wordt verwacht, kan een groot tankstation worden gerealiseerd en op locaties waar minder vraag wordt verwacht kan een klein station worden gerealiseerd.

Op de bovenstaande manier zal de waterstofinfrastructuur zich steeds verder uitbreiden. Daarnaast biedt de bovenstaande aanpak de flexibiliteit om in te spelen op veranderingen op het landschap, regime of niche niveau. Het werken met een klein en een groot tankstation is een voorbeeld van hoe de flexibiliteit van het komen tot een waterstofinfrastructuur kan worden versterkt.

Wanneer er eenmaal een tankinfrastructuur van 20 tankstations is gerealiseerd, dan pas zullen grote bedrijven zoals autofabrikanten en bedrijven met een grote leasevloot investeren in de waterstofinfrastructuur. Omdat de automobielindustrie en grote leasevloten van groot belang zijn voor het realiseren van een volwaardige waterstofinfrastructuur in 2050, is het van groot belang dat Nederland de focus legt op het aantrekken en betrekken van deze grote bedrijven. Pas als grote bedrijven zijn aangehaakt, dan zal de markt volwassen kunnen worden (zoals is omschreven in de strategische agenda).

5.3.3 Operationele experimenten

Er zou kunnen worden gesteld dat waterstofinfrastructuur de fase van experimenteren al aan het voorbij gaan is. Er is al een aantal innovaties beschikbaar voor verkoop en met deze innovaties is al veel getest. Echter, de processen van productie tot aan levering achter een innovatie zijn vaak onderhevig aan gebrek aan ervaring. De processen van productie tot levering van een compressor zou bijvoorbeeld veel sneller en efficiënter kunnen verlopen. Deze ervaring wordt pas opgedaan, wanneer de vraag naar de innovaties gaat toenemen. Binnen intersectorale samenwerkingen, zouden projecten moeten worden opgestart om deze ervaring met regelgeving, onderhoud en vergunningen op het gebied van waterstof op te kunnen doen. Bij het uitvoeren van projecten, zouden potentiële klanten zo veel mogelijk moeten worden betrokken. Uiteindelijk wordt de infrastructuur gerealiseerd voor gebruik door klanten. Door te komen tot maatwerk, kan de infrastructuur zo aantrekkelijk mogelijk worden gemaakt voor de klant. Dit vergroot de kans op succes van de projecten.

5.3.4 Evaluatie

Het evalueren van opgestelde visies en acties is in ieder stadium van een transitie van belang. Voor het stapsgewijs realiseren van een waterstofinfrastructuur zullen de actoren transparant naar elkaar moeten zijn over de resultaten van de projecten, zodat binnen een ander project, of binnen een volgend project, kan worden geanticipeerd op deze resultaten. Op deze manier kunnen visies waar nodig worden bijgesteld. Bij het evalueren van deze projecten zou er ook communicatie over de resultaten moeten zijn in de vorm van publiciteit. Op deze manier kan het bewustzijn over de voordelen van waterstof worden overgebracht aan de maatschappij.

6

Conclusie, discussie en reflectie

6.1 Conclusie

In hoofdstuk zes volgt een overzicht van de antwoorden op de deelvragen van dit onderzoek en op de hoofdvraag van dit onderzoek. Daarna volgt een discussie van de resultaten en een reflectie op het onderzoeksproces. In paragraaf 6.1.1 volgt de beantwoording van de deelvragen. Op basis van de beantwoording van de deelvragen, volgt in paragraaf 6.1.2 de beantwoording van de hoofdvraag van dit onderzoek.

6.1.1 Beantwoorden van de deelvragen

Wat is het belang van het komen tot een duurzaam energiesysteem in Nederland?

De negatieve effecten van het gebruik van fossiele energiebronnen is onder de aandacht gekomen door de consequenties van klimaatverandering en door het besef dat fossiele energiebronnen in de toekomst op zouden kunnen raken (IPCC, 2012; IPCC, 2014).

Wat is het belang van het komen tot een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector?

Waterstof kan een oplossing bieden voor het integreren van duurzame energie in de energiemix. Waterstof is namelijk gemakkelijk en relatief goedkoop op te slaan en te distribueren. Daarnaast kan waterstof als CO₂-neutraal alternatief voor fossiele energiebronnen worden toegepast in de gebouwde omgeving, in de industriële sector en de energiesector. Ook kan waterstof worden gebruikt in de mobiliteitssector. Bij het rijden op waterstof komt alleen water vrij uit de uitlaat van het voertuig (Van Wijk, 2017; Sharma & Goshal, 2015).

In welke fase van de transitie naar een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector bevindt Nederland zich?

De transitie naar de waterstofinfrastructuur bevindt zich momenteel tussen de voorontwikkelingsfase en de take-off fase in. Meerdere innovaties worden al toegepast in de markt. Echter, deze innovaties hebben nog niet kunnen leiden tot een systeemverandering. De diffusie van innovatie bevindt zich momenteel tussen de eerste en de tweede fase in. De innovaties zijn opgepikt door een klein aantal bedrijven en pioniers.

Van welke factoren is de opschaling van duurzame innovaties voor een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector afhankelijk?

Duurzame innovaties op het gebied van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector vinden plaats op het nicheniveau. Om ervoor te zorgen dat deze innovaties succesvol worden opgeschaald tot het regimeniveau, zijn maatschappelijke veranderingen nodig. In literatuur wordt hierbij gesproken over een transitie van het ene socio-technische systeem naar het andere (Geels, 2006; Geels, 2011). Dit betekent dat het huidige socio-technische systeem dat grotendeels bestaat uit een infrastructuur voor voertuigen op fossiele brandstoffen, moet

veranderen naar een infrastructuur dat gericht is op waterstofvoertuigen. Dit vereist veranderingen op het gebied van regulatie en beleid, gebruikspatronen, cultuur en moralen, maar het vereist ook veranderingen op het gebied van onderhoud van voertuigen en aanbod en productie van voertuigen. De mate waarin de transitie plaatsvindt is afhankelijk van co-evolutie van ontwikkelingen, acties en interacties van actoren op het landschapsniveau, regimeniveau en nicheniveau (Geels, 2005; Loorbach, 2010).

Wat zijn de grootste belemmeringen om te komen tot een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector?

In dit onderzoek worden drie belemmeringen geconstateerd met betrekking tot de realisatie van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector.

1. Het bestaande energiesysteem van fossiele energiebronnen heeft de maatschappij lange tijd veel economische voorspoed gegeven. De infrastructuur voor deze fossiele energiebronnen is al aanwezig en veel bedrijven zijn hiervan afhankelijk (Hekkert et al., 2007). De diffusie van innovatie van de waterstofinfrastructuur bevindt zich momenteel tussen fase 1 en 2 in. Dit betekent dat de infrastructuur nog niet op grote schaal wordt toegepast en nog geen groot marktaandeel heeft. In dit stadium zijn de investeringskosten nog relatief hoog ten opzichte van de infrastructuur voor fossiele energiebronnen (Zafarzysnska & Van den Bergh, 2010; Hekkert et al., 2007).
2. Door klimaatverandering en de daaropvolgende politieke aandacht in de vorm van beleid, neemt de druk van het landschap op het regime toe. De bestaande infrastructuur voor fossiele energiebronnen komt onder spanning te staan en zal moeten veranderen. Momenteel is er in Nederland nog geen dominant alternatief voor fossiele brandstoffen gevonden. Doordat Nederland een neoliberale invalshoek op het gebied van infrastructuurplanning hanteert, wordt er weinig sturing gegeven aan het ontwikkelen van alternatieve brandstoffen. Hierdoor ontstaan er meerdere innovatieve niches die met elkaar moeten concurreren. Dit zorgt voor onzekerheid van actoren voor het investeren in de infrastructuur.
3. Het gevolg van hoge investeringskosten en van veel onzekerheid is dat investeringen op het gebied van vraag naar de waterstofinfrastructuur (vrachtvervoer, personenvervoer en speciale voertuigen) en aanbod van de waterstofinfrastructuur (tankinfrastructuur) lastig op gang komen.

Wat is de visie van de betrokken actoren met betrekking van het realiseren van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector?

De visie van de geïnterviewde betrokken actoren bij de waterstofinfrastructuur komt met elkaar overeen. De verwachting is dat de markt tot 2030 langzaam zal ontwikkelen. Vanaf 2030 zal Nederland een launching market zijn en zullen grote bedrijven investeren in de waterstofinfrastructuur. Deze grote bedrijven zijn nodig om de markt volwassen te maken.

Vanaf 2040 tot 2050 zal de markt volwassen worden. Hierbij wordt verwacht dat het zwaardere vervoer, zoals vrachtvervoer, speciaal vervoer en zwaardere personenvoertuigen dat mensen die momenteel op diesel rijden, over zullen gaan op waterstofvoertuigen.

Hoe anticiperen betrokken actoren bij het realiseren van een waterstofinfrastructuur op belemmeringen?

Bedrijven zullen in het beginstadium proberen de hoogte van investeringen op een 'slimme' manier zo laag mogelijk te houden. Investeringen worden gedaan op plaatsen waarvan wordt verwacht dat het, het meeste rendement zal opleveren. Zo zou vraag moeten worden geaggregeerd om te bepalen op welke locaties een tankstation zou moeten worden geplaatst. Afhankelijk van de verwachte vraag naar waterstof aan de tank, wordt bepaald of een groot tankstation of een klein tankstation zou moeten worden geplaatst. Hierbij zou aanbod van de waterstofinfrastructuur (tankinfrastructuur) en vraag naar de infrastructuur (vrachtvervoer, speciaal vervoer en personenvoertuigen) door middel van samenwerking, tegelijkertijd moeten worden gerealiseerd.

6.1.2 Het overkomen van belemmeringen: richting take-off

In deze paragraaf zullen de belangrijkste bevindingen van dit onderzoek worden omschreven en zal de hoofdvraag van dit onderzoek worden beantwoord. De volgende hoofdvraag zal in dit onderzoek worden beantwoord:

"Op welke manier kunnen de belemmeringen met betrekking tot het realiseren van een waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland worden overkomen?"

Door het bepalen van de transitiefase waarin de realisatie van de waterstofinfrastructuur zich bevindt en door te bepalen welke visie actoren hebben met betrekking tot de realisatie van de waterstofinfrastructuur, ontstaat er begrip over hoe een transitie plaatsvindt en is het op basis daarvan mogelijk om acties op het strategisch, tactisch en operationeel niveau van transitie management op te stellen.

Zo blijkt uit het theoretisch kader en uit de inleiding van dit onderzoek dat er vanuit het landschapsniveau druk wordt uitgeoefend op het bestaande socio-technische systeem dat gericht is op voertuigen op fossiele brandstoffen. Ook blijkt dat er al meerdere innovaties voor waterstof zijn gedaan op het nicheniveau. Echter, uit het huidige, lage marktaandeel blijkt dat de innovaties nog niet zijn opgeschaald tot het regimeniveau. Hierdoor bevindt de waterstofinfrastructuur zich tussen de voorontwikkelingsfase en de take-off fase van een transitie. Uit de resultaten van de interviews blijkt dat de druk vanuit het landschapsniveau op

het huidige socio-technische systeem ervoor heeft gezorgd dat pioniers op het nicheniveau zich klaarmaken om te gaan investeren in de waterstofinfrastructuur. Deze pioniers geven hierbij aan dat zij niet bang zijn om te investeren in de waterstofinfrastructuur, omdat de werking van waterstof zich technisch al deels heeft bewezen. Daarnaast geven zij aan dat zij door te investeren in de waterstofinfrastructuur een groen imago verkrijgen binnen de maatschappij. Dit kan hun concurrentiepositie versterken. Wanneer zij deze investeringen zo snel mogelijk doen, dan kunnen zij vooroplopen op het gebied van kennis en expertise over waterstof. Ook dit kan hun concurrentiepositie ten goede komen.

Ondanks dat er vanaf het landschapsniveau druk wordt uitgevoerd op het bestaande regime en ondanks dat er een aantal pioniers op het gebied van waterstof het aandurven om te investeren, zal het lastig zijn het marktaandeel van de waterstofinfrastructuur te vergroten. Dit komt doordat grote bedrijven, zoals de automobielenindustrie nog weinig aanhaken bij de realisatie van de waterstofinfrastructuur in Nederland. Daarnaast is er nog weinig bekendheid over waterstof bij het breder publiek.

Deze resultaten komen overeen met de bevindingen uit het theoretisch kader over dat er co-evolutie moet plaatsvinden van ontwikkelingen op het landschapsniveau, nicheniveau en regimeniveau voor het plaatsvinden van een transitie. Alle drie de niveaus zijn hierbij van elkaar afhankelijk. Op het moment dat ontwikkelingen op regimeniveau de realisatie van de waterstofinfrastructuur belemmeren, dan zal er zowel geen vraag als aanbod van de infrastructuur plaatsvinden (het kip-ei dilemma) en zal er geen transitie van het bestaande socio-technische regime plaatsvinden.

Uit de resultaten blijkt dat in de huidige transitiefase van de waterstofinfrastructuur, intersectorale samenwerking de speerpunt is voor het overkomen van belemmeringen met betrekking tot de realisatie van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland. Met intersectorale samenwerking wordt bedoeld dat er samenwerking plaatsvindt tussen sectoren waarin waterstof kan worden toegepast, te weten: de gebouwde omgeving, de mobiliteitssector, de energiesector en de industriële sector. Binnen deze intersectorale samenwerking is het voor het oplossen van het kip-ei dilemma van belang dat door middel van gezamenlijke projecten, vraag en aanbod van de waterstofinfrastructuur tegelijkertijd wordt gerealiseerd.

Uit de resultaten van de acties op strategisch, tactisch en operationeel niveau van transitie management blijkt dat voor het realiseren van de waterstofinfrastructuur voor de mobiliteitssector in Nederland, regievoering binnen intersectorale samenwerking en gezamenlijke projecten van belang is voor het zo efficiënt mogelijk laten verlopen van het ruimtelijk plannen van de realisatie.

Door middel van regievoering kan er ten eerste worden geborgd dat risico's voor investeringen in de waterstofinfrastructuur worden gedeeld. Hierdoor kan onzekerheid met betrekking tot investeringen worden verlaagd. Ten tweede kan door middel van regievoering worden geborgd dat er kennis wordt uitgewisseld binnen deze intersectorale samenwerkingen. Op deze manier

kunnen mogelijke kansen worden benut en kunnen ontwikkelingen op het gebied van de waterstofinfrastructuur worden gecommuniceerd aan het bredere publiek.

Ten derde kan door middel van regievoering worden geborgd dat samenhang tussen intersectorale projecten wordt geoptimaliseerd. Op deze manier kan ervoor worden gezorgd dat de hoogte van investeringskosten zoveel mogelijk kunnen worden beperkt. Zo blijkt uit de resultaten bijvoorbeeld dat in de huidige fase van de transitie, investeringen in de waterstofinfrastructuur zouden moeten worden gedaan op plaatsen waarvan wordt verwacht dat er relatief veel vraag naar waterstof aan de tank zou kunnen zijn. Hierbij is regievoering van belang om projecten te prioriteren en om te zorgen dat er concessies worden gedaan. In de huidige fase van de transitie wordt het namelijk niet handig geacht om twee waterstoftankstations naast elkaar te bouwen.

Volgens de resultaten zou de waterstofinfrastructuur hierbij tot aan 2030 moeten worden gerealiseerd in samenwerking met lokale pioniers en ondernemers, die gezamenlijk vraag en aanbod realiseren. Vanaf 2030 zou Nederland een 'launching market' kunnen zijn, waarbij de automobielenindustrie aanhaakt bij de waterstofinfrastructuur in Nederland en waarbij er meer bekendheid is over waterstof bij het bredere publiek.

6.2 Discussie

Naar aanleiding van de gebruikte methodologie, resultaten en conclusie van dit onderzoek, zijn een drietal discussiepunten te voeren. Het eerste discussiepunt gaat over de belangen van actoren, het tweede discussiepunt gaat over ontwikkelingen op het gebied van andere duurzame alternatieven, zoals batterij-elektrische voertuigen en het derde punt gaat over de organisatie van transitie management. De drie discussiepunten bieden tevens een aanleiding voor vervolgonderzoek.

Betrokken actoren bij het realiseren van een waterstofinfrastructuur delen de visie als het gaat om het doel en de ontwikkelroute naar een waterstofinfrastructuur. Voor de samenwerking tussen deze actoren onderling, kan deze gezamenlijke visie helpen om onzekerheid te verkleinen en om strategieën voor het ontwikkelen op te stellen. Hieraan moet worden toegevoegd dat een groot deel van deze actoren een groot belang heeft bij de realisatie van de waterstofinfrastructuur. Uit de antwoorden van de geïnterviewde actoren blijkt dat de automobielenindustrie en de consument (potentiële bestuurders van de waterstofvoertuigen) nog een afwachtende houding aannemen met betrekking tot het doen van investeringen. In dit onderzoek zijn de visies en meningen van de automobielenindustrie en de consument, over de ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur in Nederland, niet meegenomen. Dit onderzoek biedt daardoor geen compleet beeld van ontwikkelingen op het nicheniveau, regimeniveau en landschapsniveau. Het is dan ook de vraag of de resultaten en conclusie van dit onderzoek een adequate invulling geven aan acties op strategisch, tactisch en operationeel niveau. Daardoor is het daaropvolgend de vraag of de resultaten en conclusies van dit onderzoek adequate acties bevat die de transitie effectief kunnen sturen.

In het onderzoek is de ontwikkeling van andere duurzame alternatieven voor de mobiliteitssector in Nederland niet naar voren gekomen. De verklaring hiervoor is dat de geïnterviewde actoren allen een belang hebben bij de ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur in Nederland en daardoor voornamelijk focus legden op waterstof. Wanneer de automobielenindustrie en de consument ook waren geïnterviewd, dan had dit waarschijnlijk een meer kritische blik gegeven op de ontwikkeling van waterstof ten opzichte van andere alternatieven, zoals batterij-elektrisch. Het belang bij waterstof ligt voor de automobielenindustrie en de consument waarschijnlijk anders. In de inleiding is al naar voren gekomen dat er in Nederland al een aanzienlijk aantal infrastructurele mogelijkheden voor batterij-elektrische voertuigen is gerealiseerd. Voor de automobielenindustrie en de consument kan dit een reden zijn de ontwikkeling van batterij-elektrisch te voorkeuren ten opzichte van waterstof.

In de conclusie is naar voren gekomen dat intersectorale samenwerking het kip-ei dilemma zou kunnen oplossen. Om te zorgen dat de waterstofinfrastructuur kan opschalen zal vraag en aanbod tegelijkertijd moeten worden gerealiseerd in de vorm van het opstarten van projecten. Om te zorgen dat het opschalen van de waterstofinfrastructuur daadwerkelijk gaat plaatsvinden, is het van belang dat er regievoering op deze intersectorale samenwerking plaatsvindt. Uit zowel de interviews als de wetenschappelijke literatuur komt niet naar voren welke actor(en) binnen de realisatie van de waterstofinfrastructuur de functie van regievoering op zich zou moeten nemen. Vanuit dit perspectief zou transitie management in vervolgonderzoek kunnen worden aangevuld met een framework waarin de rollen en functies van betrokken actoren binnen de realisatie van de waterstofinfrastructuur worden onderzocht en beschreven.

6.3 Reflectie

Het doen van dit onderzoek heb ik over het algemeen als een positieve ervaring beschouwd. Door het schrijven van dit onderzoek heb ik geleerd om meer kritisch te zijn, om theorieën aan elkaar te relateren en om uitkomsten van interviews te reflecteren op theorie. Toch zijn dit naar mijn mening tegelijkertijd de lastigste onderdelen van het doen van onderzoek. Hoe meer ik las, hoe lastiger ik het vond om de relevante informatie voor mijn onderzoek te selecteren en te analyseren. Wanneer ik een betere selectie van relevante artikelen had kunnen maken, dan was dit de diepgang van mijn onderzoek ten goede gekomen. Daarnaast is de energietransitie, en in het specifiek waterstof, een onderwerp dat tijdens de masteropleiding Environmental and Infrastructure Planning nauwelijks aan de orde gekomen. Hierdoor ben ik tijdens mijn stage veel tijd kwijtgeraakt aan het begrijpen van de energietransitie en de rol van waterstof in deze transitie. Inmiddels heb ik meer ervaring op het gebied van de energietransitie en waterstof. Ik begrijp nu beter welke informatie relevant is en welke actoren relevant zijn voor de ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur. Als ik het onderzoek op dit

moment nog een keer zou moeten uitvoeren, dan zou ik veel sneller aan informatie zijn gekomen en zou ik veel gerichtere vragen kunnen stellen tijdens de interviews.

Het afnemen van interviews leek in het begin ontzettend makkelijk te gaan. In korte tijd heb ik veel interviews afgenomen, waaruit interessante data zijn voortgekomen. Waterstof is een relatief nieuw fenomeen in Nederland. Hierdoor ontbreekt het aan concrete projecten en aan concrete informatie over waterstof. Er is nog veel onbekendheid over waterstof. Hierdoor ontbrak het in de interviews vaak aan structuur. Doordat de interviews in een snel tempo zijn afgenomen met een gebrek aan theoretische basis, was het lastig om kritische vragen te stellen en om de antwoorden van de interviews af te bakenen en te structureren op basis van de hoofdvraag van dit onderzoek.

In de discussie is aan bod gekomen dat voor een compleet beeld van de visie en doelstellingen van betrokken actoren, potentiële klanten zoals burgers en bedrijven, zouden moeten worden betrokken bij het onderzoek. Helaas was het lastig potentiële klanten te vinden voor het onderzoek, omdat destijds weinig bedrijven interesse hadden in het rijden op waterstof. In de maanden juni en juli van 2018 is waterstof relatief vaker in het nieuws verschenen dan in de maanden daarvoor. Ontwikkelingen op het gebied van waterstof veranderen snel. Hierdoor was het voor het schrijven van dit onderzoek een uitdaging om op de hoogte te blijven van deze ontwikkelingen.

7

Literatuur

Agnolucci, P. (2007). Hydrogen infrastructure for the transport sector. *International Journal of Hydrogen Energy*. 32(15), pp. 3526 – 3544.

Alkemade, F., Hekkert, M.P. & Negro S.O. (2011). Transition policy and innovation policy: friends or foes? *Environmental innovation and societal transitions*. 1(1), pp. 125 - 129

Ball, M. & Weeda, M. (2015). The hydrogen economy – Vision or reality? *International Journal of Hydrogen Energy*. 40(25), pp. 7903 – 7919.

Ball, M. & Wietschel, M. (2009). The future of hydrogen – opportunities and challenges. *International Journal of Hydrogen Energy*. 34(2), pp. 615 – 627.

Bovag (2017). Aantal en marktaandeelen Nederlandse tankstations. [Geraadpleegd op 10-10-2017]. Verkrijgbaar via <https://bovagrai.info/auto/2017/brandstoffen/6-3-aantal-en-marktaandeelen-nederlandse-tankstations/>.

Budde, B., Alkemade, F. & Weber, M.K. (2012). Expectations as a key to understanding actor strategies in the field of fuel cell and hydrogen vehicles. *Technological Forecasting and Social Change*. Volume 79(6), pp. 1072 – 1083.

Carette, L., Friedrich, K.A. & Stimming, U. (2001). Fuel Cells – Fundamentals and Applications. *Fuel Cells*. 1(1), pp. 5 – 39.

CBS (2018). Personenauto's. [Geraadpleegd op 10-8-2018]. Verkrijgbaar via <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatschappij/verkeer-en-vervoer/transport-en-mobiliteit/infra-vervoermiddelen/vervoermiddelen/categorie-vervoermiddelen/personenauto-s>

Conte, M., Lacobazzi, A., Ronchetti, M. & Vellone, R. (2001). Hydrogen economy for a sustainable development: state-of-the-art and technological perspectives. *Journal of Power Sources*. Volume 100(1-2), pp. 171-187.

Clifford, N., Cope, M., Gillespie, T. & French, S. (Red.) (2016). Key Methods in Geography. 3^e Editie. Londen: SAGE.

Dagdougui, H. (2012). Models, methods and approaches for the planning and design of the future hydrogen supply chain. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(6), pp. 5318 – 5327.

De Roo, G. (2010). Being or Becoming. That is the question! Confronting Complexity with Contemporary Planning Theory. In De Roo, G. & Silva, E.A, A planners' encounter with complexity. (Pp. 19 – 40). Oxon: Routledge.

Dominkovic, D.F., Bacecovic, I., Pedersen, A.S. & Krajacic, G. (2018). The future of transportation in sustainable energy systems: Opportunities and barriers in a clean energy transition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 82, deel 2, pp. 1823 – 1838.

ECN (2006). Waterstof op weg naar de praktijk. [Geraadpleegd op 20-10-2017]. Verkrijgbaar via: https://www.ecn.nl/fileadmin/ecn/units/h2sf/pdf/waterstofdag/waterstof_6_april_dag_b_oekje.pdf

Energieia. (2017). Waterstof als energiedrager staat nog in de kinderschoenen. [online geraadpleegd op 6-1-2018]. Verkrijgbaar via <https://energieia.nl/energieia-artikel/40063202/waterstof-als-energiedrager-staat-nog-in-de-kinderschoenen>

Eurologport (2017). Hydrogen fuel for cell electric cars on the rise in Germany. [Online geraadpleegd op 12-8-2018]. Verkrijgbaar via <http://www.eurologport.eu/hydrogen-fuel-for-cell-electric-cars-on-the-rise-in-germany/>

Farla, J., Alkemade, F. & Suurs, R.A.A. (2010). Analysis of barriers in the transition toward sustainable mobility in the Netherlands. *Technological Forecasting and Social Change*. Volume 77(8), pp. 1260 – 1269.

Geels, F.W. (2005). Processes and patterns in transitions and system innovations: Refining the co-evolutionary multi-level perspective. *Technological Forecasting and Social Change*. Volume 72, pp. 681-696

Geels, F.W. (2006). The dynamics of transitions in socio-technical systems: A multi-level analysis of the transition pathway from horse-drawn carriages to automobiles (1860–1930). 17(4), pp. 445-476.

Geels, F.W. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental innovation and societal transitions*. 1(1), pp. 24 – 40.

Geels, F.W. & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*. 36(3), pp. 399-417.

Hekkert, M.P., Suurs, R.A.A., Negro, S.O., Kuhlmann, S. & Smits, R.E.H.M. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*. Volume 74, pp. 413 – 432.

IPCC (2014) 1. Climate change Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (core writing team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.) IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC (2014) 2. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press.

IPCC (2012). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical Support Unit Working Group III Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK). New York: Cambridge University Press.

Kabinet Nederland (2017). Het regeerakkoord: Vertrouwen in de toekomst.

Kemp, R. (1994). Technology and the transition to environmental sustainability: The problem of technological regime shifts. *Futures*. 26(10), pp. 1023 – 1046.

Kemp, R., Schot, J. & Hoogma, R. (2007) (1). Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: The approach of strategic niche management. *Technology Analysis and Strategic Management*. 10(2), pp. 175 – 198.

Kemp, R., Loorbach, D. & Rotmans, J. (2007) (2). Transition management as a model for managing processes of co-evolution towards sustainable development. *The International Journal of Sustainable Development & World Ecology*. Volume 14, pp. 78- 91.

Kim, J. & Moon, I. (2008). Strategic design of hydrogen infrastructure considering cost and safety using multiobjective optimization. *International journal of hydrogen energy*. 33(21), pp. 5887 – 5896.

Loorbach, D. (2010). Transition Management for Sustainable Development: A Prescriptive, Complexity-Based Governance Framework. *An International Journal of Policy, Administration, and Institutions*,. 23(1), pp. 161 – 183.

Marbán, G. & Solis, T.V. (2007). Towards the hydrogen economy? *International Journal of Hydrogen Energy*. 32(12), pp. 1625 – 1637.

Marshall, C. (2006). Data collection methods. In: designing qualitative research, 97 – 150. SAGE, California.

McDermott, C.M. & Connor, G.C. (2002). Managing Radical Innovations: an overview of emergent strategy issues. *Journal of Product Innovation Management*. Volume 19, pp. 424-438.

McKinsey & Company. (2016). Accelerating the energy transition: cost or opportunity? A thought starter for the Netherlands. [Geraadpleegd op 10-10-2017]. Verkrijgbaar via: <http://www.nvde.nl/wp-content/uploads/2016/09/Accelerating-the-energy-transition-McKinsey.pdf>.

Moliner, R., Lázaro, M.J. & Suelves, I. (2016). Analysis of the strategies for bridging the gap towards the Hydrogen Economy. *International Journal of Hydrogen Energy*. 41(43), pp. 19500 – 19508.

Noseleit, F. (2017). Renewable energy innovations and sustainability transition: How relevant are spatial spillovers? *Journal of regional science*. 58(3), pp. 1 – 33.

Nill, J. & Kemp, R. (2009). Evolutionary approaches for sustainable innovation policies: From niche to paradigm? *Research policy*. 38(4), pp. 668 – 680.

Nykvist, B. & Whitmarsh, L. (2008). A multi-level analysis of sustainable mobility transitions: Niche development in the UK and Sweden. *Technological Forecasting and Social Change*. 75(9), pp. 1373 – 1387.

Rao, K.U. & Kishore, V.V.N (2010). A review of technology diffusion models with special reference to renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14(3), pp. 1070 – 1078

Rogers, E.M. (2010). Diffusion of innovations. Simon and Schuster.

Rotmans, J., Kemp, R. & Van Asselt, M. (2001). More evolution than revolution: transition management in public policy. 3(1), pp. 15 – 31.

Ruggiero, S., Martiskainen, M. & Onkila, T. (2018). Understanding the scaling-up of community energy niches through strategic niche management theory: insight from Finland. *Journal of cleaner production*. 170, pp. 581 – 590.

Safarzyńska, K. & Van den Bergh, C.J.M. (2010). Demand-supply coevolution with multiple increasing returns: Policy analysis for unlocking and system transitions. *Technological Forecasting and Social Change*. 77(2), pp. 297 – 317.

SER (2014). Een duurzame brandstofvisie met LEF: De belangrijkste uitkomsten uit het SER-visietraject naar een duurzame brandstoffenmix in Nederland. [Geraadpleegd op 2-12-2017].

Te verkrijgen via:
<https://www.energieakkoordser.nl/~media/01303b49eab0429b88c79c3353683e9e.ashx>.

Shakeel, S.R., Takala, J. & Zhu, L.D. (2017). Commercialization of renewable energy technologies: A ladder building approach. *Renewable and Sustainable Energy reviews*. 78, pp. 855 – 867.

Sharma, S. & Ghoshal, S.K. (2015). Hydrogen the future transportation fuel: From production to applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 43, Pp. 1151-1158.

Sinigagli, T., Lewiski, F., Martins, M.E.S. & Cezar, J. (2017). Production, storage, fuel stations of hydrogen and its utilization in automotive applications-a review. *International Journal of Hydrogen Energy*. 42(39), pp. 24597-24611.

Schot, J & F. W. Geels. (2008) Strategic niche management and sustainable innovation journeys: theory, findings, research agenda, and policy. *Technology analysis and strategic management*. 20(5), pp. 537 – 554.

TKI Gas (2017). Overzicht van Nederlandse waterstofinitiatieven, -plannen en -toepassingen Input voor een Routekaart Waterstof. [Geraadpleegd op 20-2-2018]. Verkrijgbaar via: <https://topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/TKI%20Gas/publicaties/Overzicht%20waterstofinitiatieven%20TKI%20Gas%20dec%202017.pdf>.

UNFCCC. (2015). Adoption of the Paris Agreement. [Geraadpleegd op 4-11-2017]. Verkrijgbaar via: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>.

Van Bree, B., Verbong, G.P.J. & Kramer, G.J. (2010). A multi-level perspective on the introduction of hydrogen and battery-electric vehicles. *Technological forecasting and social change*. 77(4), pp. 529 – 540.

Van den Bergh, C.J.M., Truffer, B. & Kallis, G. (2011). Environmental innovation and societal transitions: Introduction and overview. *Environmental innovation and societal transitions*. 1(1), pp. 1 – 23.

Van der Brugge, R., Rotmans, J., & Loorbach, D. (2005). The transition in Dutch water management. *Regional Environmental Change*, 5(4), 164-176.

Walsh, P.R. (2012). Innovation Nirvana or Innovation Wasteland? Identifying commercialization strategies for small and medium renewable energy enterprises. *Technovation*. Volume 32, pp. 32-42.

Waterhout, B., Othengrafen, F. & Sykes, O. (2013). Neo-liberalization Processes and Spatial Planning in France, Germany, and the Netherlands: An Exploration. *Planning Practice and Research*. 28(1), pp. 141 – 159.

Whitmarsh, L. (2012). How useful is the Multi-Level Perspective for transport and sustainability research? *Journal of transport geography*. Volume 24, pp. 483 – 487.

Wilson, C. & Tyfield, D. (2018). Critical perspectives on disruptive innovation and energy transformation. *Energy Research and Social Science*. Volume 37, pp. 211 – 215.

Winter, C. (2009). Hydrogen energy — Abundant, efficient, clean: A debate over the energy-system-of-change. *International Journal of Hydrogen Energy*. 34(14), pp. S1-S52.

Wijk, Van, A. (2017). De Groene Waterstof- economie in Noord- Nederland. Noordelijke Innovation Board. Groningen: Zalsman Groningen.

Appendix

Interviewguide en
codering Interviews

Appendix I: Algemene interviewguide

Inleiding

Allereerst, vertel ik de achtergrond van het onderzoek en geef ik een introductie op de interviewvragen. Hierin geef ik aan dat het onderzoek zich richt op mobiliteit en dan specifiek op het ruimtelijk faciliteren van voorzieningen voor waterstofauto's/personenvervoer. De interviewvragen geven de strekking van het soort vragen aan. De vragen worden aangepast en geselecteerd op basis van de functie van een bedrijf/organisatie of specifiek beleid.

Specifieke vragen met betrekking tot de positie van het bedrijf/organisatie/beleid binnen de transitie naar waterstofinfrastructuur

1. Wat is de functie van uw bedrijf/organisatie/beleid?
2. Waarom is het bedrijf/organisatie/beleid opgericht?
3. Wat zijn de ambitie van het bedrijf/organisatie/beleid

De toekomst van waterstofinfrastructuur

1. Hoe ziet de toekomst van waterstofinfrastructuur er volgens u uit?
2. Hoe ziet u de waterstofinfrastructuur in Nederland het liefst voor u?
3. Hoe zeker of onzeker is het dat er een waterstofinfrastructuur van de grond zal komen?
4. Binnen welk tijdsbestek zal er een waterstofinfrastructuur zijn, en/of wanneer zou dit er moeten zijn?
5. Hoe belangrijk is grijs, blauw of groene waterstof voor u?

De verschillende betrokken partijen en hun belangen

1. Wie ziet u als belangrijke belanghebbenden binnen het komen tot een waterstofinfrastructuur?
2. Wat is uw rol binnen de transitie naar een waterstofinfrastructuur? Wat is uw kracht?
3. Wat is uw belang binnen de transitie naar een waterstofinfrastructuur?
4. Hoe zou de rolverdeling van betrokken partijen moeten zijn om te komen tot een waterstofinfrastructuur?
5. Wie zijn de frontrunners en wie de volgers?
6. Wat zou uw rol ten opzichte van andere betrokken moeten zijn om te komen tot een waterstofinfrastructuur?
7. Werken de verschillende partijen samen? Weten zij van elkaars initiatieven? Wordt kennis gedeeld? Zijn er tegenstrijdige belangen?
8. In hoeverre zijn actoren van elkaar afhankelijk in het komen tot een waterstofinfrastructuur?

Het investeren in waterstofinfrastructuur

1. Wat zijn volgens u belangrijke randvoorwaarden om te komen tot een volwaardige waterstofinfrastructuur?
2. Wat zijn voor u en specifiek voor uw bedrijf belangrijke randvoorwaarden voor investeringen?
3. Hoe ziet momenteel voor uw bedrijf/organisatie de businesscase voor het investeren in waterstofinfrastructuur eruit?
4. Hoe bepaalt u wanneer u zou investeren? Wanneer zou u willen investeren?
5. Waar moeten we beginnen met investeren?
6. Wat zijn de grootste belemmeringen en risico's voor het investeren in de waterstofinfrastructuur?
7. Hoe kunnen de kosten voor investeringen in waterstof omlaag worden gebracht?
8. Zijn jullie voorbereid op een toename van vraag naar jullie product?

Het omgaan met onzekerheden

1. Welke factoren beïnvloeden uw keuze om wel of niet te investeren in de waterstofinfrastructuur?
2. Bent u goed genoeg op de hoogte van deze factoren?
3. Bent u goed op de hoogte van trends en ontwikkelingen op het gebied van de waterstofinfrastructuur (marktanalyse)?
4. Hoe zouden de kosten van waterstof naar beneden kunnen worden gebracht?
9. Aan welke informatie/kennis/gegevens heeft u behoefte om de kans op investeringen te vergroten?

Belangrijke concepten op basis van literatuurstudie en op basis van het BOVAG seminar

- Internationale ontwikkelingen en leren van andere landen
- Subsidies
- Vergunningen en veiligheid
- Competitie en concurrentie
- Samenwerking, gedeelde visies en open kennis
- Robuuste businesscase en onrendabele top wegnemen
- R&D, Experimenteren en proeftuinen
- Samenhang/ co-evolutie van initiatieven
- Prijs van waterstof naar beneden krijgen
- Leiderschap
- Fasering
- Trendanalyses
- Prijsstabiliteit en prijsafspraken

Appendix II: Codering interview

De toekomst van waterstof in de mobiliteitssector in Nederland

FrieslandLease: Meer nadruk op gebruik van voertuigen dan op bezit van voertuigen

FrieslandLease: Keuze voor de soort brandstof zal in de toekomst belangrijker worden

FrieslandLease: Waterstof gaat een heel belangrijke brandstof worden in de toekomst. Het is belangrijk dat het duurzaam wordt geproduceerd, maar daar hebben wij verder geen invloed op. Grijs is ook prima

FrieslandLease: We zullen in de toekomst een mix van batterij-elektrisch en waterstof-elektrisch zien

FrieslandLease: De ontwikkeling van duurzame mobiliteit hangt heel erg van de automobielenindustrie af. Je ziet dat veel grote fabrieken al gaan investeren in duurzame mobiliteit. Waterstof hoort daar ook bij. Wij zien dat wel gebeuren. Diesel en benzine dat is straks gewoon over

FrieslandLease: Ik denk dat bedrijfswagens op waterstof een best grote markt kan worden

FrieslandLease: Je ziet dat voor het groter vervoer, batterij-elektrisch vaak geen fatsoenlijke actieradius biedt. Hier ligt voor waterstof een kans

Holthausen: Waterstof zal steeds belangrijker zijn. Maar waar gaat die molecuul naartoe? Wij dachten dat de mobiliteit de eerste afzetmarkt zou kunnen zijn. Daarom zijn we ons daarmee bezig gaan houden

Holthausen: Groengas is voor de mobiliteit momenteel de meest haalbare switch. Elektrisch is twee keer zo duur. Als je naar waterstof kijkt, dan is dat het duurste, vanwege de brandstofcel

Holthausen: Waterstof krijgt in de toekomst een kans, omdat de actieradius van batterij-elektrisch te kort is. In steden maakt dat niet uit, daar kun je opportunity charging doen. Ik verwacht niet dat de batterij-technologie in de toekomst nog grote stappen gaat maken. Waar de batterij stopt, daar gaat waterstof verder

Holthausen: Waterstof wordt het sowieso. Prive zul je kiezen voor een batterij-elektrische auto en zakelijk zal je kiezen voor een waterstofvoertuig

Holthausen: Eigenlijk zijn alle automerken wel een beetje aan het experimenteren met waterstof

Holthausen: Mijn verwachting is dat ontwikkelingen van waterstof in de mobiliteit de komende 10 jaar nog mondjesmaat zijn

Holthausen: Je wilt naar een referentieprijs. Kijk naar wat diesel nu kost (1 euro per liter). Een bus rijdt 1/3. 1 liter diesel zou dan 0,35 cent kosten. Met waterstof kun je 1/10 rijden. 1 kilogram waterstof mag dan 0,35 cent per kW kosten, dus 3,50 euro. Pas dan is het concurrerend

Holthausen: De industrie is belangrijk voor de waterstof. Maar de mobiliteit en industrie kunnen goed samengaan

Holthausen: De transportsector zal in eerste instantie dedicated stations krijgen waar dan nog geen normale auto's kunnen tanken. Op de langere termijn wil je die ook beschikbaar maken voor personenauto's. Dat zal nog wel 10 jaar nodig hebben

GreenPlanet: Onze insteek is dat de waterstof groen moet zijn. Daarvoor zijn we een samenwerking aangegaan om duurzaam elektriciteit op te wekken vanuit de Noordzee en om dit te transporteren naar land

GreenPlanet: Om de technische vereisten van het tankstation te kunnen bepalen hebben we een analyse gedaan van toekomstige ontwikkelingen. We hebben hierbij gekeken tot 2050. Wij denken dat in Nederland ongeveer 1/3 op waterstof zal gaan rijden. In 2030 zal dit rond de 10-15% liggen. Vanaf 2030 komt het pas echt op gang. Vanaf 2040 is het volwassen

GreenPlanet: We denken dat het vrachttransport zo'n 5 jaar achter komt te liggen om de personenauto's. De ontwikkeling van het commercieel vrachtvervoer ligt achter op personenauto's

GreenPlanet: We denken dat we in 2032 ongeveer 300kg waterstof per dag kunnen verkopen aan de tank. Dat zijn onze vereisten geworden en daarmee zijn we de markt op gegaan

GreenPlanet: Ik denk dat we momenteel op het omslagpunt staan van bedrijven die interesse zouden kunnen krijgen in waterstof. Ik denk dat er binnen enkele maanden beweging in zit

GreenPlanet: Wij verwachten dat rondom 2030 de businesscase sluitend zal zijn voor ons tankstation

Resato: De eerste stap is om lokaal experimenten en pilots te starten

Seaports: Voor zwaar vervoer gaat het zeker waterstof worden

Seaports: Hybrides gaan ook veel winnen. Waterstof met een klein batterijpakket. Dan heb je bij het wegrijden meteen veel power

Seaports: Batterijtechniek is een transitie, maar niet het eindstation

Akzo Nobel: Waterstof heeft de grootste potentie om volledig duurzaam te zijn

Akzo Nobel: We verwachten dat duurzame energie in de toekomst behoorlijk toe zal gaan nemen. We verwachten dan ook dat de prijs van groene waterstof flink zal gaan dalen

H2 Platform: Als er tankstations in de buurt zijn, dan willen veel leasemaatschappijen wel waterstof aanbieden

IenM: Van Wijk zegt dat groene waterstof in de toekomst goedkoper zal zijn dan grijze waterstof

IenM: Waterstof in de mobiliteit gaat uiteindelijk niet zorgen voor volume voor waterstof

IenM: De BEV en FCE zullen naast elkaar gaan bestaan. De ene bestemd voor het kleiner vervoer en de ander voor het groter vervoer

IenM: Denkt dat we over 10 jaar een redelijk segment waterstofauto's hebben rondrijden. Als je nu kijkt naar de verdeling diesel en benzine, dan zouden het in de toekomst 60000 waterstofauto's kunnen zijn.

IenM: Van de bussen zal minstens de helft op waterstof gaan rijden. De overheid is hierin concessieverlener. Daarmee hebben ze meer invloed

IenM: Trucks is lastiger. Er rijdt nog nauwelijks iets rond, maar dat zal ook wel komen

IenM: In de stadslogistiek kan waterstof een belangrijke rol gaan spelen. We zijn nu bezig met een GreenDeal

IenM: Er gaat een moment komen dat de prijs van waterstof vergelijkbaar is met diesel nu

Jepma: Voor het grote vervoer zal waterstof inherent superieur zijn aan batterij-elektrisch

Research and Development: pionieren en experimenteren

FrieslandLease: Je moet zelf heel erg achter de techniek staan; je moet er een toekomst in kunnen zien. Je kunt de klant niet enthousiast maken voor iets waar je zelf niet enthousiast over bent

FrieslandLease: We zorgen voor marktconforme leasetarieven voor waterstofauto's

FrieslandLease: Door te investeren in de waterstofauto krijgen wij een stukje promotie mee en lopen wij voorop

FrieslandLease: We hebben ook een afzetkanaal voor oude en gebruikte auto's nodig, bijvoorbeeld naar Rusland

FrieslandLease: Er moeten veel mensen zijn die verstand hebben van de technieken en inschattingen van onderhoud en restwaarde. Die kennis moet er zijn

FrieslandLease: Alles valt en staat met de autofabrikanten en de lobby vanuit de overheid

FrieslandLease: Risico van investeringen moet je in samenwerking kunnen dragen. Wanneer er problemen zijn, dan moet je dat samen kunnen oplossen. Dat hoeft niet op papier, zolang je er maar uit komt

FrieslandLease: Wij durven best waterstofauto's te bestellen als wij weten dat er binnenkort een tankstation komt

FrieslandLease: Vaak bestellen we auto's pas als er een contract is getekend. Maar bij auto's waarbij je weet dat ze fiscaal aantrekkelijk zijn, maar waarvan er maar weinig beschikbaar zijn, daarin durven wij wel te investeren. De klanten komen dan later wel

Holthausen: Door middel van een SWOT-analyse hebben wij bepaald: wat doen we, waar zijn we goed in en hoe kunnen we toekomstbestendig blijven. Hetgeen wat we nu doen, dat bestaat binnenkort niet meer

Holthausen: We zitten nog in de R&D-omgeving voor waterstof. Maar in principe zijn we wel bekend met het fenomeen 'gas'

Holthausen: Er is voor waterstof niet echt een opleiding. Je moet het gewoon doen

Holthausen: Het maken van een brandstofcel is niet ingewikkeld. Alleen je moet er duizenden tegelijk maken om het goedkoper te maken. Als ze op 500.000 per jaar gaan komen, dan gaat er echt wat gebeuren met de prijs. Vorig jaar zijn er wereldwijd 6500 verkocht...

Holthausen: Je moet het grootschalig aan gaan pakken. 20 tankstations in Nederland is eigenlijk te weinig, daar wordt het grote publiek niet enthousiast van

Holthausen: Waterstof, je moet het gewoon doen en je moet nu tempo gaan maken

Holthausen: In Duitsland hebben ze het slimmer aangepakt. Daar hebben ze een lange-termijn strategie bedacht in publiek-private samenwerking

Holthausen: In Duitsland hebben ze bepaald dat er de komende 10/15 jaar geen accijns over waterstof wordt geheven

Holthausen: Je moet behoorlijk veel lef hebben om over te stappen op waterstof

Holthausen: Om iedereen op een lijn te hebben, dan moet je het Europees aanpakken

Holthausen: We zijn een gasland. We hebben de kennis en de knowhow al

Holthausen: Je ziet ook dat scholen steeds vaker bezig zijn om waterstof toe te voegen aan hun lesprogramma

Holthausen: We zorgen dat er aandacht komt voor waterstof. Op deze manier kunnen we de schaal bereiken

Holthausen: Je kan het ook macro-economisch bekijken. Dan ga je op grote schaal duurzame elektriciteit produceren

Holthausen: Er is ontzettend veel aandacht voor wat wij aan het doen zijn en we krijgen ontzettend veel aanvragen

GreenPlanet: Je moet je nek uit durven te steken en risico te nemen

GreenPlanet: We zijn ermee bezig om te zorgen dat er afnemers komen voor ons nieuwe tankstations op waterstof. Hopelijk kunnen we dat voor elkaar krijgen via partners zoals leasemaatschappijen en bedrijven met een leasevloot. Ook Edward heeft zijn eigen autobedrijf. Wellicht kunnen we daar nog wat mee. We beginnen ook al wat contact te krijgen met bedrijven in de omgeving

GreenPlanet: Heeft al ervaring in de gaswereld en expertise in huis

GreenPlanet: We gaan samenwerkingen aan om te bekijken welke opties en scenario's er allemaal zijn en

GreenPlanet: Ik denk dat andere bedrijven nog wachten met investeren. Maar er is wel steeds meer interesse voor wat wij aan het doen zijn. Wij willen dat de markt voor tankstations in beweging komt. Zo komen er meer auto's en dat is voor ons ook weer gunstig

Resato: We willen dicht bij onze klant zijn. Vertrouwen, respect en openheid zijn belangrijke waarden voor ons. We zijn heel open in onze communicatie en we delen onze kennis. De klant krijgen we op waterstof door goed te informeren en door veel publiciteit te krijgen

Resato: We zoeken oplossingen die niet eenmalig zijn. We willen wel standaardisatie. Zo kunnen we beter iets rendabels en betrouwbaars maken

Resato: Het proces van bestelling tot levering duurt nu zo'n 4-6 maanden. Dit kan sneller er is nog een hoop te leren

Resato: Er moet een bedrijf komen dat series kan produceren. Een Holthausen alleen kan dat niet aan

Seaports: Voor het ombouwen naar waterstof worden de kosten al snel minder

RHDHV: Er is een bepaald gezond tempo voor een transitie die je moet volgen

Akzo Nobel: We kopen nu al duurzame energie in, zonder dat we er een businesscase op hebben berekend

Akzo Nobel: We kunnen het niet alleen doen. In deze fase van ontwikkeling denken we niet aan concurrentie

Akzo Nobel: We zijn actief betrokken bij het zorgen dat er tankstations komen. Door gebruik van waterstof in de mobiliteit kun je draagvlak gaan creëren

H2 Platform: We kaarten de urgentie van waterstof aan. Er is nog te weinig bekend over waterstof

H2 Platform: Twee tankstations naast elkaar bouwen is ook niet handig

IenM: In de mobiliteitssector kun je een hogere prijs vragen voor waterstof

Verschillende actoren en hun belangen en functie binnen de waterstofinfrastructuur

FrieslandLease: Elektrisch rijden is de toekomst en daar willen wij ervaring mee op doen. Als je die ervaring op wilt doen, dan moet je auto's gaan kopen en inzetten bij klanten

FrieslandLease: Goed kijken naar de behoeften van de klant. Maatwerk leveren die daarop in kan spelen

FrieslandLease: Het faciliteren van auto's aan klanten. Ook al brengen waterstofauto's risico's met zich mee; wij zijn er niet bang voor en durven er wel aan te beginnen. We schatten de restwaarde in voor over 4 a 5 jaar, en dat is met het onderhoud net zo

FrieslandLease: We zorgen voor marktconforme leasetarieven voor de waterstofauto's

FrieslandLease: Kan eventueel ook meewerken aan het verstrekken van tankpassen voor de waterstofauto's

FrieslandLease: Het formele proces van bestelling van een waterstofauto kan binnen een dag klaar zijn. De besteltijd van de auto kan langer duren. Dat is afhankelijk van de beschikbaarheid van de auto's in Europa. Als de auto's in Europa aanwezig zijn, dan hoeft het maar een paar weken te duren. Moeten ze nog worden gefabriceerd, dan kan dit maanden duren

FrieslandLease: Wij durven wel te pionieren

FrieslandLease: Er moet echt schaal komen voor de waterstofauto's. Ik vind dat een taak van de regering

Holthausen: We hebben in 2008 al het eerste tankstation gebouwd. Daarnaast zijn we ons bezig gaan houden met productie, opslag, distributie van waterstof en het realiseren van tankstations

Holthausen: Ook zijn we ons gaan bezighouden met voertuigen. We hebben ons verdiept in de brandstofcel techniek en zijn onze eerste voertuigen gaan ombouwen. Gewoon uitproberen en we zien wel.

Holthausen: We hebben de afgelopen jaren een tien a twintigtal projecten gedaan met waterstof. We hebben daarmee veel ervaring op kunnen doen

Holthausen: Er zijn verschillende soorten convergaties die je kunt doen met waterstof. Zo kun je een range extender bouwen op elektrische voertuigen met een batterij en kun je voertuigen maken met een elektromotor en een brandstofcel. Je haalt de batterij er dan tussen weg en dan komt het vermogen rechtstreeks op de motor

Holthausen: Wij helpen bedrijven en overheden die verder willen komen in de transitie. Wij grijpen in waar de automobielenindustrie het laat liggen. We lossen zo de mismatch tussen vraag en aanbod op

Holthausen: De overheid en grote fleetowners zijn belangrijke actoren. Maar ook steden kunnen de energietransitie versnellen

Holthausen: Heel veel bedrijven melden zich al voor waterstof. Maar je ziet wel dat veel van die bedrijven al vast zaten aan de gassector

Holthausen: Je ziet ook dat scholen steeds vaker bezig zijn om waterstof toe te voegen aan hun lesprogramma

Holthausen: De early adopters zijn al een beetje ervaring aan het opdoen met waterstofauto's. Deze mensen gaan het kip/ei dilemma doorbreken

GreenPlanet: We zijn ermee bezig om te zorgen dat er afnemers komen voor ons nieuwe tankstations op waterstof

GreenPlanet: Dat waterstoftankstation gaat er sowieso komen. We willen klaar zijn voor de toekomst en spelen hierop in door voor zowel zwaar als licht transport een tankstation te realiseren op waterstof. Dus voor 350 bar en voor 700 bar. Deze staan er tegelijkertijd

GreenPlanet: We willen aan alle lagen van de maatschappij laten zien welke verschillende opties er zijn voor duurzame brandstoffen

GreenPlanet: In de komende 3 jaar willen we 7 tankstations in het noorden gaan realiseren

GreenPlanet: Wij willen dat de markt voor tankstations in beweging komt. Zo komen er meer auto's en dat is voor ons ook weer gunstig

GreenPlanet: De overheid moet met een lange-termijn visie komen. Dat is in dit stadium erg belangrijk

Resato: Wij denken vanaf de oplossing voor de klant. Wat wil je doen en wat is je probleem? We proberen hierbij met de klant mee te denken in Operation Costs en hoe we de klant uiteindelijk kunnen helpen om geld te verdienen

Resato: We willen efficiënt produceren

Resato: We willen dichtbij onze klant zijn

Resato: We zoeken oplossingen die niet eenmalig zijn. We willen wel standaardisatie. Zo kunnen we beter iets rendabels en betrouwbaars maken

Seaports: BMW en Mercedes verwachten dat zij over een aantal jaren waterstof zonder hogedruk kunnen opslaan

Akzo Nobel: We willen op grote schaal groene waterstof gaan produceren

Akzo Nobel: We zijn actief betrokken bij het zorgen dat er tankstations komen. Door gebruik van waterstof in de mobiliteit kun je draagvlak gaan creëren

H2 Platform: Leasemaatschappijen, fleetowners en de automobieliindustrie zouden moeten samenwerken. Wij proberen partijen dicht bij elkaar te brengen

IenM: We vinden dat economische zaken meer actie op waterstof moet zetten

Belemmeringen

FrieslandLease: Bedrijven en klanten willen gewoon op diesel rijden. Klanten wachten vaak nog met het aanschaffen van een waterstofauto, omdat ze niet weten hoe de infrastructuur zich gaat ontwikkelen

FrieslandLease: Bij nieuwe auto's kunnen we de risico's van restwaarde en onderhoud moeilijk inschatten. We zijn daarin afhankelijk van de leverancier

FrieslandLease: Het aantal waterstofauto's dat door fabrikanten wordt geproduceerd is natuurlijk helemaal niets in vergelijking met hun totale productie van alle soorten auto's

FrieslandLease: Er zijn ontzettend weinig tankstations voor waterstof. Dan wordt het qua planning allemaal wel erg spannend. Dat is een belangrijke overweging

FrieslandLease: Bij nieuwe auto's kun je kinderziektes krijgen en dit kan uiteindelijk leiden tot ergernissen bij de klant

FrieslandLease: Voor klanten moet een auto praktisch zijn. Zij denken voornamelijk vanuit de portemonnee. Bedrijven zijn vaak nog huiverig voor nieuwe technieken

Holthausen: Qua onderhoud en techniek zullen onze klanten tegen problemen aan lopen. Die ervaring hebben zij nog niet

Holthausen: Bestaande autofabrikanten hebben vastgehouden aan oude technieken. Ze experimenteren wel, maar creëren geen markten. Wat daarachter zit, dat is de grote vraag. Ik denk dat het money-driven is. Maar ik denk dat de automobielenindustrie binnenkort wel in beweging gaat komen. Ik vind dat de automobielenindustrie verkeerd denkt. Ze denken dat particulieren op waterstof gaan rijden. Echt niet.

Holthausen: De kosten van vergroenen kunnen uiteindelijk bij de consument neer worden gelegd

Holthausen: Een voertuig koop je voor langere tijd. Een vrachtauto bijvoorbeeld voor 7 jaar. De overheid geeft zo lang geen zekerheid over belastingen. Op waterstof zit momenteel geen accijns. Voor ons gunstig om te investeren. Maar ik voel het al aankomen. Zodra de portemonnee van de overheid op is, dan komt de accijns er wel

Holthausen: Maatschappelijke acceptatie is nog een probleem. Vooral veiligheid is daarbij een probleem

Holthausen: Wij zijn niet helemaal voorbereid op toename in vraag. Het is hectisch

GreenPlanet: We weten nog niet goed hoe we om moeten gaan met distributie van waterstof. Onder welke druk kun je waterstof vervoeren en hoe zit het dan met de efficiëntie? Financieel zou dat nog een verlies kunnen zijn

GreenPlanet: Er zijn nog veel actoren die een belemmering vormen. Zoals de batterij-industrie die zich steeds verder ontwikkeld

Resato: De automobielenindustrie heeft bepaalde normen en daar moeten wij aan voldoen. Dat dwingt ons soms om duurdere technieken te ontwikkelen. De automobielenindustrie is erg machtig

RHDHV: Early innovators struikelen vaak over hun eigen benen en onderschatten de complexiteit van technieken

H2 Platform: Er is nog veel samenwerking en standaardisatie nodig op het gebied van vergunningen en veiligheid

Manieren om onzekerheid weg te nemen

FrieslandLease: Wij financieren de waterstofauto en nemen de risico's op ons. Wij nemen het risico van onderhoud en restwaarde inschatting. Op deze manier neem je een zorg bij de klant weg

FrieslandLease: na een leaseperiode van 4 jaar weet je of een auto veel kosten met zich meebrengt. Dit kan positief of negatief zijn. Als het positief is, dan gaat de auto een tweede leven leiden bij een nieuwe klant

FrieslandLease: Risico van investeringen moet je in samenwerking kunnen dragen. Wanneer er problemen zijn, dan moet je dat samen kunnen oplossen. Dat hoeft niet op papier, zolang je er maar uit komt. Je wilt niet naar elkaar gaan wijzen

FrieslandLease: Wij durven best waterstofauto's te bestellen als wij weten dat er binnenkort een tankstation komt

Holthausen: Wij helpen bedrijven en overheden die verder willen komen in de transitie. Wij grijpen in waar de automobiellindustrie het laat liggen. We lossen zo de mismatch tussen vraag en aanbod op

Holthausen: Qua onderhoud en techniek zullen onze klanten tegen problemen aan lopen. Die ervaring hebben zij nog niet. Wij zullen ze daarbij moeten helpen en we moeten daar ook mensen voor opleiden, want het is natuurlijk geen doen als alle klanten steeds weer terugkomen bij ons als er problemen zijn

Holthausen: Om iedereen op een lijn te hebben, dan moet je het Europees aanpakken

GreenPlanet: Je moet goed onderzoek doen om erachter te komen hoe het design van een tankstation eruit moet komen te zien. Er zijn verschillende insteekpunten die je kunt kiezen: klein of groot en voor verschillende modaliteiten. Je moet een goed perspectief op de toekomst hebben om hiervoor te kunnen kiezen

Resato: Pioniers moeten worden geholpen en lokale ondernemers moeten bij elkaar worden gebracht

IenM: met 20 tankstations zullen er veel meer bedrijven geïnteresseerd raken om hun leasevloot op waterstof te laten rijden

IenM: Als er in ieder geval zwaarder vervoer bij je tankstation komt, dan maakt het in principe niet zoveel uit of er auto's komen

IenM: Er zal eerst aanbod moeten worden gecreëerd: dus tankstations

IenM: OEM's moeten het idee krijgen dat Nederland een launching market is

Jepma: Het opzetten van een infrastructuur voor waterstof vraagt een coalitie van vele stakeholders waarbij vertrouwen erg belangrijk is

Jepma: Mobiliteit op waterstof hecht groot belang aan zekerheid vanuit de overheid over het vrijstellen van accijnzen op waterstof

Jepma: Het is van belang dat er een systeem met garanties voor oorsprong is en dat dat een betrouwbaar systeem is

Factoren die van invloed zijn op de overweging om te investeren en factoren die de hoogte van investeringen beïnvloeden en kunnen verlagen

FrieslandLease: We zorgen voor marktconforme leasetarieven voor de waterstofauto's. Je moet de exploitatiekosten niet te hoog maken, want dan betaal je een veel te hoog leasetarief

FrieslandLease: Ik zie puur in tijd en gemak. Pas als er massa komt, dan gaan de prijzen naar beneden

FrieslandLease: Wanneer wij in een groter volume restwaarde en onderhoud kunnen inschatten, dan is voor ons het risico lager, omdat we dan relatief minder uitschieters hebben qua onderhoudskosten en verlies

FrieslandLease: Het tweede leven van een waterstofauto is heel belangrijk. Pas dan weet je of de kosten van de waterstofauto hoog of laag zijn uitgepakt

Holthausen: Als er meer tankstations gaan instappen, dan zal dat wel een concurrerende markt gaan worden

Resato: Uiteindelijk moeten we komen tot een reductie van de investeringskosten en operationele kosten. Aan deze elementen kunnen wij iets doen

Resato: Een idee voor verlaging van kosten: werken met moeder en dochter stations. Het moederstation produceert waterstof en brengt het naar het dochterstation. Het moederstation kan meer gebruikers aan. Wanneer de dochter in gebruik toeneemt, dan kan dit worden omgevormd naar een moederstation

Resato: Waterstof kan goedkoper worden gemaakt door het eerst niet helemaal groen te produceren. Eerst beginnen met grijs

Resato: Je moet beginnen op de plaatsen waar waterstof goedkoper geproduceerd wordt

Resato: Een netwerk voor waterstof moet stap voor stap worden opgebouwd

Resato: Het groter vervoer zou sneller op waterstof over moeten gaan. Zij gebruiken veel waterstof en op die manier kan de prijs naar beneden gaan. De valley of death van investeringen wordt dan kleiner

Resato: Voornamelijk door het creëren van schaal is nog een hoop te winnen om kosten te kunnen verlagen

Resato: Doordat wij als ondernemer zelf afnemer worden van waterstof, kunnen wij de prijs weer een beetje drukken

Resato: Vraagaggregatie is ook heel belangrijk

Seaports: Financieel gezien gaan investeringen alleen werken met meervoudige businesscases en niet met enkelvoudige businesscases

Seaports: Door CO2 te belasten wordt waterstof relatief goedkoper

Seaports: Door de elektriciteit voor productie van waterstof goedkoper te maken, wordt waterstof relatief goedkoper

Seaports: Bij een prijs van 0,04 euro kWh elektriciteit, kan waterstof voor 3-4 euro worden verkocht

RHDHV: We moeten op zoek naar niches waarom je een businesscase kunt bouwen

Akzo Nobel: In de chemische sector zit een belangrijke kostenverlagende factor om waterstof voor de mobiliteit interessant te maken. In de chemie kun je zorgen voor schaalvoordelen van productie van waterstof

Akzo Nobel: Er zijn een aantal locaties waarvan wij verwachten dat daar grootschalige elektrolyse zal gaan plaatsvinden. Dit zijn Terneuzen, Geleen, Rotterdam, IJmuiden, Delfzijl. Dit worden de hubs van waaruit je tankstations kunt gaan realiseren

Akzo Nobel: Met een omtrek vanaf 150km vanaf de hubs kun je de waterstof dan met tube trailers gaan vervoeren

Akzo Nobel: Wil in gesprek met de overheid om businesscases voor mobiliteit door te rekenen om op deze manier de onrendabele top door te rekenen. De overheid zou hier dan op in kunnen spelen

Akzo Nobel: De overheid zou een tender kunnen uitbrengen voor de mobiliteit

Akzo Nobel: Voor de mobiliteit moet worden onderzocht hoe opschaling op een slimme manier kan

H2 Platform: Bij het bepalen van de locatie van een tankstation worden vraag en aanbod bekeken. We aggregeren de vraag

H2 Platform: De verschillende sectoren waarin waterstof kan worden toegepast moeten niet los van elkaar worden gezien

IenM: Met auto's ga je nooit een businesscase voor een tankstation opbouwen. Dat zal met het zwaarder vervoer gebeuren

IenM: Je zult ongeveer 100 a 200 auto's per dag nodig hebben voor een sluitende businesscase voor een tankstation

IenM: Voor afname zul je moeten gaan kijken naar een winstmarkt. Grotere fleetowners bijvoorbeeld

Randvoorwaarden om te investeren

FrieslandLease: Als klanten elektrisch willen rijden, dan bieden wij dat aan. Maar dan moet je er wel samen achter staan. Als elektrisch rijden niet geschikt is voor de doeleinden van de klant, dan moet je het niet doen

FrieslandLease: Als een klant een bepaalde behoefte heeft voor een brandstof en techniek, dan moet deze niet te pril zijn, want dan is het te tricky om ermee te beginnen. De eerste waterstofauto's lopen al bij klanten

FrieslandLease: Toyota wil pas investeren in waterstofauto's in het noorden als zij er zeker van zijn dat er in het noorden tankstations staan die zij goedkeuren

FrieslandLease: Resato wil pas in een waterstofauto rijden als er een tankstation staat in het noorden

FrieslandLease: Bedrijven worden door de overheid soms gedwongen om te investeren in een duurzaam bedrijvenpark

Holthausen: Wij zijn een bedrijf dat al gespecialiseerd was in het werken met gassen

FrieslandLease: De theoretische actieradius van de nieuwste waterstofauto is zo'n 800km. Daarom hebben wij al gezegd: wij willen zo een auto aanschaffen. Een auto moet een fatsoenlijke actieradius hebben

FrieslandLease: Als wij zo'n auto aanschaffen, dan is dat een stukje promotie en dan lopen wij voorop

FrieslandLease: Vaak bestellen we auto's pas als er een contract is getekend. Maar bij auto's waarbij je weet dat ze fiscaal aantrekkelijk zijn, maar waarvan er maar weinig beschikbaar zijn, daarin durven wij wel te investeren

Holthausen: Er kwam veel druk vanuit de overheid om naar zero-emissie te gaan. Dit ging sneller dan wij hadden gedacht. We moeten erin mee gaan. We konden wel snel switchen, omdat we toch al met gassen bezig waren

Holthausen: Bijvoorbeeld voor het OV. Als de overheid stelt dat je per 2025 geen kenteken meer krijgt als je op fossiele brandstoffen rijdt, dan houdt voor veel bedrijven de business op. Daarmee pushen ze de technologie

Holthausen: Op waterstof zit momenteel geen accijns. Voor ons gunstig om te investeren. Maar ik voel het al aankomen. Zodra de portemonnee van de overheid op is, dan komt de accijns er wel

Holthausen: Je moet behoorlijk veel lef hebben om over te stappen op waterstof

Holthausen: Volgens ons is het marktpotentieel gigantisch. Wij investeren daarom fors. De eerste tanklocatie is bijna gereed en daarna gaan we vertienvoudigen. Wij gaan van R&D naar productie. Er rijden in Nederland nu 33 voertuigen. Wij willen er 500 per jaar bij maken en dat kunnen we vanuit Hoogezand

Holthausen: Zodra ze de concurrentie voelen, dan komen ze wel in beweging

Holthausen: Ik moet een product hebben dat ik in de toekomst kan verkopen

Holthausen: We zijn een gasland. We hebben de kennis en de knowhow al

GreenPlanet: We zijn bezig met duurzaamheid en we willen dat uitbreiden

GreenPlanet: We kregen de mogelijkheid aan te haken bij een project TSO2020

GreenPlanet: Er horen investeringen bij, maar een groot deel wordt gesubsidieerd

GreenPlanet: We wilden bij het project aanhaken om te leren over de technieken en over de markt

GreenPlanet: We wilden graag de frontrunners zijn

GreenPlanet: We kregen 60% gesubsidieerd en uiteindelijk kwam daar nog wat bij. We zullen nu 10% zelf moeten investeren, maar dat levert je ook veel op. Zo doe je een groot netwerk op en kom je in aanraking met veel interessante technieken. Dat is onbeschrijfelijk

GreenPlanet: De keuze voor groene waterstof is voor ons belangrijk. Deze stap wordt financieel ook nog ondersteund

GreenPlanet: We willen de concurrentie voor zijn en een voorbeeld zijn

Seaports: Het helpt enorm als er vraag komt vanuit de overheid

Akzo Nobel: We willen een leiderschapsrol vervullen

H2 Platform: Auto's op waterstof kunnen ook warmte produceren

H2 Platform: Aan de CAPEX kant zijn er vaak niet veel problemen. Door subsidies kan dit wel gerealiseerd worden. De grootste bedreiging is de OPEX kant. Zijn er wel voldoende afnemers in de toekomst?

IenM: Bedrijven zullen vanuit bedrijfsbeleid om te vergroenen wellicht overgaan op waterstof. Voornamelijk het zwaarder vervoer

IenM: De overheid test waterstof en we willen laten zien dat het een degelijke auto is

Jepma: Overheden zullen als eerste gebruik maken van voertuigen op waterstof. Het mag ook wat kosten. Zij hebben een voorbeeldfunctie