



Delft University of Technology

Eindrapportage Project Windmaster De weg naar een adaptief investeringsbeleid

Wurth, Ton; Nikolic, Igor; Kwakkel, Jan; Sloot, Maarten; Cuppen, Eefje; Quist, Jaco

DOI

[10.4233/uuid:122661d9-65eb-4d3a-b91a-2721dcacaaba](https://doi.org/10.4233/uuid:122661d9-65eb-4d3a-b91a-2721dcacaaba)

Publication date

2019

Document Version

Final published version

Citation (APA)

Wurth, T., Nikolic, I., Kwakkel, J., Sloot, M., Cuppen, E., & Quist, J. (2019). *Eindrapportage Project Windmaster: De weg naar een adaptief investeringsbeleid*. Delft University of Technology.
<https://doi.org/10.4233/uuid:122661d9-65eb-4d3a-b91a-2721dcacaaba>

Important note

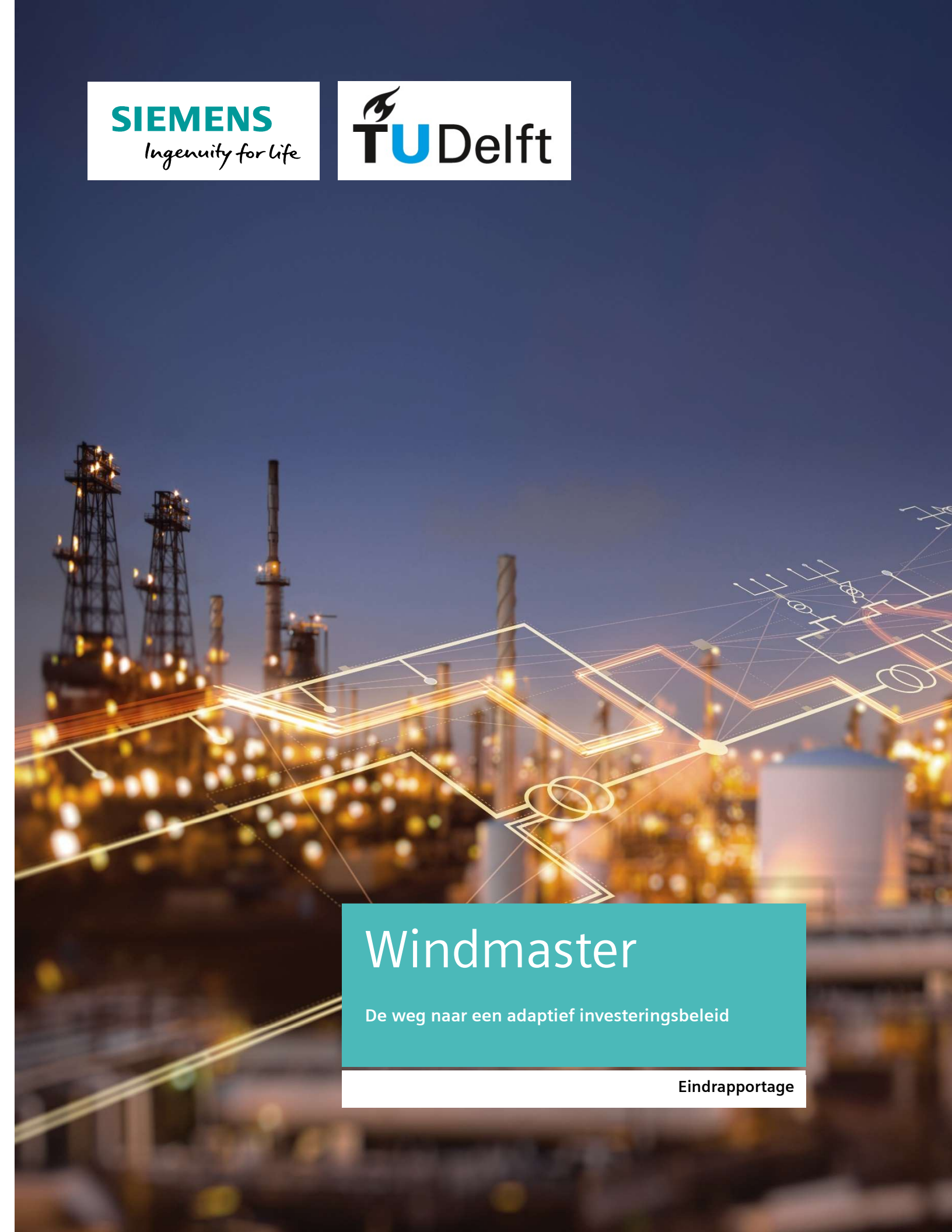
To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.



SIEMENS
Ingenuity for life

**TU**Delft

Windmaster

De weg naar een adaptief investeringsbeleid

Eindrapportage



Project Windmaster

De weg naar een adaptief investeringsbeleid

Datum & plaats: 7-6-2019, Den Haag

Opdrachtgevers: Gasunie, TenneT, Stedin, Port of Rotterdam, Provincie Zuid-Holland

Auteurs: Ton Wurth, Igor Nikolic, Jan Kwakkel, Maarten Sloot, Eefje Cuppen, Jaco Quist

Omslagillustratie: Siemens Nederland N.V. ©

Confidential

Samenvatting

Nederland is op weg naar een CO₂-neutrale samenleving in 2050. Zo ook het haven industrieel cluster van Rotterdam (HIC). Om dat te bereiken zal de energievoorziening de komende jaren moeten veranderen. Deze verandering heeft een grote impact op de energie-infrastructuur. In het Windmaster project wordt gefocust op de huidige aardgas-, H₂- en elektriciteits infrastructuur binnen het HIC.

Het plannen van infrastructuur kent lange implementatie- en afschrijvingstermijnen waardoor het voor de infrabeheerders bij wijze van spreken vandaag 2030 is en overmorgen 2050. Gezien de vele onzekerheden rondom de toekomstige energieconsumptie en -productie in het HIC en de rest van Europa vraagt dit om een nieuw investeringsparadigma. Een paradigma dat moet voorkomen dat groene industrie in de toekomst niet gefaciliteerd kan worden. Dat een nieuw investeringsparadigma nodig is, blijkt onder andere uit het feit dat zonneparken in het noorden van het land niet aangesloten kunnen worden op het elektriciteitsnet als gevolg van capaciteitsknelpunten. Zonder verandering in het investeringsparadigma is de kans groot dat andere groene industrie in de toekomst niet kan worden aangesloten op de benodigde energie-infrastructuur en als gevolg daarvan zich niet kan vestigen in het HIC.

Het hoofddoel van het Windmaster project is om te onderzoeken of een participatieve multi-model aanpak inzicht kan creëren in welk investeringsbeleid tot een robuuste adaptieve investeringsstrategie voor de energie-infrastructuur leidt. Het investeringsbeleid is het reguleringskader waarbinnen infrabeheerders haar strategisch netplanningsproces moeten uitvoeren. Dit beleid is bepalend voor de uiteindelijke ontwikkeling van transportcapaciteit in energie-infrastructuur.

Binnen het Windmaster project is samen met de stakeholders (TU Delft, Siemens, TenneT, Stedin, Gasunie, Havenbedrijf Rotterdam, Provincie Zuid-Holland, Deltalinqs en ISPT) gewerkt aan een multi-model dat inzicht geeft in de effectiviteit van investeringsbeleid voor de ontwikkeling van energie-infrastructuur. Het multi-model is tot stand gekomen door intensieve participatie van alle stakeholders tijdens verschillende workshops en interviews.

De gekozen aanpak is verwant aan de modelleringsaanpak die het adaptief watermanagement beleid voor het Nederlandse Deltaprogramma ondersteunt¹. Deze aanpak kenmerkt zich door het verkennen van veel verschillende mogelijke toekomsten en het ontwerpen van adaptief beleid op deze mogelijke toekomsten.

De kernfunctionaliteit van het ontwikkelde multi-model bestaat uit een scenariogeneratie model en een geïntegreerd gedrags- en technisch model. Het eerste model is in staat om op een gestructureerde manier een grote hoeveelheid verschillende energietransitiepadscenario's te genereren. Het laatste model representeert het strategisch netplanningsproces van infrabeheerders dat onder invloed van investeringsbeleid tot investeringen in de energie-infrastructuur leidt.

Met het ontwikkelde multi-model kan de effectiviteit van verschillend investeringsbeleid worden onderzocht. Daarnaast leiden de simulaties met het multi-model tot identificatie van robuuste *no regret* investeringen.

De volgende hoofdconclusies kunnen worden getrokken:

- De multi-model aanpak is in staat om verschillende investeringsbeleidsopties voor de ontwikkeling van energie-infrastructuur met elkaar te vergelijken.
- De multi-model aanpak is in staat om eerste inzichten in robuuste of zogenoemde '*no regret*' investeringskeuzes te creëren.
- De samenwerking tussen de infrabeheerders is een randvoorwaarde voor een succesvolle ontwikkeling van het multi-model.

De volgende aanbevelingen voor vervolgactiviteiten komen voort uit het project:

- Het verdiepen van de multi-model aanpak met de focus op elektriciteits-, H2- en aardgasinfrastructuur voor het HIC. Doel is om tot een eerste versie van adaptief investeringsbeleid te ontwikkelen dat aan beslissers ter besluitvorming kan worden voorgelegd.
- Het verbreden van de multi-model aanpak naar de nationale elektriciteits-, H2- en aardgasinfrastructuur via een *proof of concept*.
- Het creëren van randvoorwaarden (zoals het inrichten van een dataplatform) voor een snelle en effectieve ontwikkeling van robuuste multi-modellen.

Voorwoord

Voor u ligt het eindrapport van Windmaster; een Proof of Concept (PoC) rondom integrale systeemanalyse van het industriële cluster in de Rotterdamse haven, inclusief scenario's voor een duurzame energie-infrastructuur. Aangezien we zeer waarschijnlijk geen tweede kans krijgen om de klimaatproblematiek aan te pakken, is het van cruciaal belang *nu* de goede keuzes te maken die de gewenste impact hebben op midden- en langetermijn.

In opdracht van Provincie Zuid-Holland, Havenbedrijf Rotterdam, GasUnie, TenneT en Stedin hebben Siemens en de TU Delft deze opgave aangevat. Een complex verhaal waarin diverse aspecten een rol spelen. Naast het technische vraagstuk waar we op de TU Delft met zo'n 900 wetenschappers aan werken, zijn er ook dringende maatschappelijke, economische en beleidsvraagstukken die binnen het Delft Energy Initiative opgepakt worden. Antwoorden vinden op complexe integrale vraagstukken is een van de fundamenteën van de faculteit TBM van de TU Delft. Met onderdelen als Deep Uncertainty Analysis, Agent Based Modeling en Institutionele analyse in het curriculum, leidt zij ingenieurs op die in staat zijn oplossingen te vinden voor complexe vraagstukken zoals de energietransitie.

Windmaster is een mooi voorbeeld van de manier waarop we de energietransitie kunnen aanpakken. Naast een nauwe samenwerking tussen de verschillende stakeholders binnen het Rotterdamse industriële cluster is er een gezamenlijke betrokkenheid van wetenschap, overheid en bedrijfsleven. Het geeft richting aan toekomstige scenario's en tegelijkertijd kan de gemeenschappelijke basis nu al gebruikt worden om tot concrete implementatie over te gaan. We hebben namelijk geen tijd te verliezen.

Het energietransitie vraagstuk kent nog vele uitdagingen waarop we zeker nog niet alle antwoorden hebben gevonden. Ik beschouw Windmaster dan ook niet als afgerond, maar juist als een basis van hoe we met elkaar in een langdurige samenwerking, operationeel en strategisch, de klus gaan klaren op weg naar een groen welvarend Nederland.

Prof.dr.ir. Paulien Herder

Engineering Systems Design in Energy

Voorzitter Delft Energy Initiative

Inhoud

1. Inleiding.....	7
2. Probleemanalyse.....	8
2.1 Aanleiding en context	8
2.2 Achtergrond	9
2.3 Afbakening.....	10
2.4 Probleemstelling	11
3. Methodologie	12
3.1 Gevolgde aanpak ontwikkeling multi-model	12
3.2 XLRM raamwerk	13
3.3 Multi-model	14
4. Scenarioruimteverkenning met Exploratory Modeling	18
5. Analyseresultaten experimenten	20
6. Conclusies.....	23
7. Aanbevelingen	25
Bibliografie	26
Bijlagen - Inhoudsopgave.....	28

1. Inleiding

Het haven-industrieel cluster van Rotterdam (HIC) speelt al sinds jaar en dag een belangrijke rol in de Nederlandse en Europese economie. Met een verwerkingscapaciteit van ca. 100 miljoen ton aan ruwe olie per jaar (Port of Rotterdam, 2016) vormt de haven een van de grootste spelers onder de olieverwerkende havens in de wereld. Een belangrijk aspect dat gepaard gaat met het verwerken van ruwe olie is een grote vraag naar energie. De energievraag in het HIC kan worden onderverdeeld in een warmte-, elektriciteits- en H₂-vraag. Om aan deze energievraag te voldoen, wordt vooral gebruik gemaakt van de omzetting van de fossiele bronnen aardgas, olie en kolen. Met het Parijsakkoord en het aankomende Nederlandse klimaatakkoord in ogenschouw, zal het HIC haar CO₂-emissie significant moeten beperken om bij te dragen aan het CO₂-emissiereductie doel in Nederland (49% in 2030 en verdere reductie richting 2050).

Om te kunnen voorzien in de vraag naar hernieuwbare energie wordt een groei van offshore windaanlanding in het HIC verwacht. Dit vermogen wordt aangesloten in het havengebied en wordt, indien er niks anders mee wordt gedaan, verder getransporteerd en gedistribueerd. Echter, over de toekomstige vraag naar energie in de vorm van de dragers elektriciteit en H₂, bestaat onzekerheid. Deze vraag hangt onder andere af van de toekomstige verandering in de industriële energievraag in het algemeen en van de mate waarin de verschillende energie-infrastructuren aangepast kunnen worden om energie in de vorm van bepaalde dragers bij de eindgebruiker af te leveren. Welke energie-infrastructuur ontwikkeld moet worden in het om onder andere de groei van offshore windaanlanding in het HIC te accommoderen, is momenteel onduidelijk. Dit vraagstuk vormde de aanleiding voor het starten van het project Windmaster.

De onzekerheid van vraag en aanbod ontwikkeling van energiedragers in het HIC leidt tot een strategische netplanningsuitdaging voor de infrastructuurbeheerders. Daarbij geeft het vigerende investeringsbeleid dat de kaders biedt voor de strategische netplanning voor deze infrastructuurbeheerders, de randvoorwaarden waarbinnen zij tot een strategisch investeringsplan kunnen komen. De uitdaging is om een zodanig investeringsbeleid te ontwikkelen dat de energie-infrastructuur het HIC kan ondersteunen.

Het hoofddoel van het Windmaster project is om te testen of een participatieve multi-model aanpak inzicht kan creëren in welk adaptief investeringsbeleid tot een robuuste adaptieve investeringsstrategie voor energie-infrastructuur in het HIC leidt.

Een samenwerkingsverband tussen industrie, infrastructuurbeheerders, technologiebedrijven, universiteiten en kennisinstellingen is tot stand gebracht om dit complexe vraagstuk aan te pakken. In vier maanden tijd zijn een methode en model ontwikkeld om onzekerheden rondom het ontwikkelen van de energie-infrastructuur in het HIC te verkennen. Dit door gezamenlijke socio-technische simulaties van de energie infrastructuur ontwikkeling te creëren, de bijbehorende diepe onzekerheid systematisch te verkennen en gezamenlijk begrip, inzicht en handelingsperspectief te ontwikkelen. In dit rapport wordt ingegaan op de opzet van het participatief proces, de opbouw van het model en zal worden afgesloten met de belangrijkste inzichten en een beschrijving van mogelijke vervolgstappen.

2. Probleemanalyse

In dit hoofdstuk zal het probleem waarop in het Windmaster project is gefocust, worden geanalyseerd. Uit deze analyse volgen de doel- en probleemstelling van het project.

2.1 Aanleiding en context

De energietransitie in Nederland zorgt voor een ingrijpende verandering in de energievoorziening van zowel de industrie als de gebouwde omgeving. Waar vroeger olie en aardgas de belangrijkste energiebronnen vormden, worden wind- en zonne-energie steeds belangrijker. Het grootschalig toepassen van hernieuwbare energiebronnen in Nederland zorgt voor een verandering in de energiemix van energiedragers binnen de Nederlandse energievoorziening. Deze energiedragers hebben drie hoofdvormen namelijk; chemische energie (moleculen), elektrische energie (elektronen) en thermische energie (warmte). Op dit moment voorzien koolwaterstoffen uit moleculen (aardolie en aardgas) in het overgrote deel van de energiebehoefte. Met een groeiend aanbod van energie uit wind en zon, die primair in de vorm van elektronen beschikbaar komt, is het noodzakelijk dat de energie-infrastructuur omgevormd zal moeten worden zodat het de toekomstige energiemix kan accommoderen. Het is echter onzeker hoe de toekomstige energiemix er uit gaat zien en welke energiedrager precies aan welke eindbehoefte en hoeveelheid kan en zal voldoen. Deze onzekerheid zorgt voor een uitdaging bij het plannen van uitbreidingsinvesteringen in de verschillende energie-infrastructuren en het ontwikkelen van investeringsbeleid.

Het verkennen van onzekerheden vormt een steeds belangrijker thema binnen de energietransitie. De hoge mate van complexiteit en verwevenheid van energie productie, consumptie, regulering en verschillende vormen van infrastructuur geeft een grote onzekerheid over hoe de energietransitie zich zou kunnen ontploffen. Dit wordt onderkend door de infrabeheerders en leidt tot de vraag naar methodieken om effectief om te gaan met deze onzekerheden. Vragen als: "Welke uitbreidingsinvesteringen in energie-infrastructuur zijn nu nodig om de veelheid aan mogelijke transitiepaden tijdig te kunnen faciliteren? En welke voorinvesteringen zijn nu nodig om later, als duidelijk wordt dat er versnelde groei van benodigde transportcapaciteit plaatsvindt, de benodigde uitbreidingsinvesteringen versneld te kunnen realiseren? Welk reguleringskader is effectief voor het creëren van een adaptieve investeringsstrategie voor infrastructuur die gericht is op toekomstige waarde creatie?", horen bij deze onzekerheden. Het beantwoorden van deze vragen vraagt om een nieuwe aanpak waarbij het verkennen van onzekere transitiepaden centraal staat.

Het beheren en investeren in de energie-infrastructuur in Nederland hoofdzakelijk de taak van de netwerkbedrijven. Naast de netwerkbedrijven spelen bij het investeringsproces ook overheden zoals de provincie Zuid-Holland en het havenbedrijf Rotterdam een belangrijke rol. Zij dragen bij aan onder andere het versnellen van het investeringsproces in de energie-infrastructuur. Daarnaast sturen zij op het creëren van een aantrekkelijk vestigingsklimaat voor bedrijven. Het havenbedrijf is gebaat bij een goede energie-infrastructuur om een gunstig vestigingsklimaat voor industrie te behouden. De provincie is op haar beurt verantwoordelijk voor het realiseren van een innovatieve economie en schone energie (Provincie Zuid-Holland, 2019). Door de onzekerheid over de toekomstige energiemix is er geen inzicht in welke investeringskeuzes in de energie-infrastructuur robuust zijn en effectief bijdragen aan een gewenste toekomst van het HIC.

2.2 Achtergrond

Dat het huidige investeringsbeleid niet altijd tot de gewenste resultaten leidt, blijkt bijvoorbeeld uit huidige problematiek zoals het niet kunnen aansluiten op het elektriciteitsnet van zonneparken in het noorden van het land. Met deze ontwikkeling hadden de infrastructuurbeheerders en overheid in het verleden onvoldoende rekening gehouden bij het strategisch plannen van de infrastructuur.

De vraag is hierbij welke aanpak kan leiden tot het bepalen van effectief investeringsbeleid voor energie-infrastructuurbeheerders binnen de context van diepe onzekerheid omtrent toekomstige ontwikkelingen.

In de watermanagement wereld wordt beleid gevoerd om toekomstige waterstijging tijdig de baas te kunnen zijn binnen een context van diepe onzekerheden. Nederland is hierin koploper met het Deltaprogramma (Rijksoverheid - Deltacommissaris, n.b.). In de aanpak van het Deltaprogramma staat adaptief deltamanagement centraal; er wordt ver vooruit gekeken naar de relevante opgaven die impact hebben op het doel waarvoor het Deltaprogramma is opgericht, namelijk bescherming tegen hoog water, zorgen voor voldoende zoet water. Met die kennis worden steeds maatregelen genomen die op dat moment nodig en betaalbaar zijn. Daarbij wordt flexibel ingespeeld wordt op nieuwe kansen en nieuwe inzichten die zich openbaren.

Om tot het adaptief deltamanagement te komen, wordt gebruik gemaakt van een multi-model aanpak waarbij het verkennen van onzekere scenario's centraal staat. De uitdaging om tot effectief adaptief investeringsbeleid voor energie-infrastructuur in het HIC te komen is gelijksoortig aan de uitdaging om tot adaptief beleid binnen het Deltaprogramma te komen, ook al is de complexiteit van de uitdaging vele malen hoger.

Dit concept van adaptief beleid onder diepe onzekerheid vormde mede de aanleiding voor het ontwikkelen van een visie voor een multi-model aanpak ter ondersteuning van de warmtetransitie in industriële clusters. Dit in het kader van het EU Horizon 2020 onderzoeksvoorstel genaamd 'Heatmaster'. Hierin staat het verkennen van mogelijke toekomstige scenario's door middel van participatief multi-modelering centraal. Het project Windmaster, waarin de effectiviteit van een participatieve multi-model aanpak is getoetst voor het realiseren van adaptief investeringsbeleid voor energie-infrastructuur in het HIC, is afgeleid van de visie van 'Heatmaster'.

Uit de literatuur blijkt dat het verkennen van onzekerheden met technieken als 'deep uncertainty exploring' kan leiden tot het maken van robuuste investeringskeuzes (Lempert et al. 2006). Keuzes gemaakt onder diepe onzekerheid kenmerken zich door onbekendheid over het betreffende systeem, haar grenzen en de onbekendheid over de wenselijke uitkomsten van de keuze. Keuzes onder diepe onzekerheid worden gemaakt in dynamische interactie met het systeem en zijn onderling sterk afhankelijk van elkaar. Vanuit een analytisch perspectief betekent dat er veel verschillende keuze-uitkomsten zijn met elk hun eigen mate van wenselijkheid (Kwakkel et al. 2014). Het maken van keuzes en het plannen onder diepe onzekerheid vraagt om een iteratieve benadering waarin gezamenlijk leren een essentiële rol speelt (Nikolic, 2018).

Robuuste besluiten kenmerken zich door het hebben van een meer analytisch dan intuïtief karakter. Om tot robuuste beslissingen te komen, is een systematische aanpak om kritieke onzekerheden in verschillende toekomstscenario's te kunnen verkennen nodig (Croskerry, 2009). Hierbij zal adaptief beleid gevoerd moeten worden, dat in de loop van de tijd

aangepast kan worden als de uitwerking van onzekerheden hiertoe aanleiding geeft (Haasnoot et al. 2013) (Kwakkel et al. 2015).

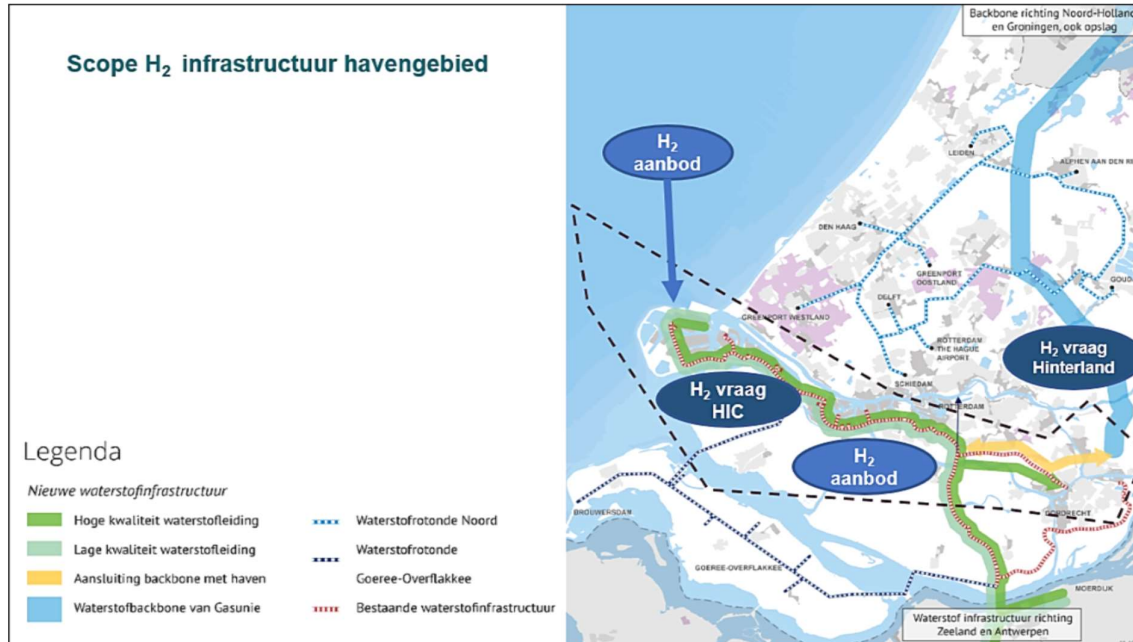
Voor het verkrijgen van inzicht over de prestatie van verschillende soorten infrastructuur, onder verschillende beleidsopties in verschillende toekomstscenario's is een combinatie van modellen nodig. In een zogenaamde *multi-model ecology* kunnen afzonderlijke relevante systeem elementen (besluitvorming, elektriciteitsnet, gasnet, etc) door verschillende interacterende sub-modellen. Multi-modeleren, met een zogenoemde "Lego blokjes" benadering is in staat om flexibel de relevante details en dynamiek van de echte wereld weer te geven, en mogelijk als allerbelangrijkst, maakt het mogelijk om gezamenlijk parallel te werk te gaan en bestaande modellen en simulatie te hergebruiken (Bollinger, 2015).

Het project Windmaster geeft stakeholders de kans om op kleinere schaal kennis te maken met het proces van het opzetten van een multi-model en begrip te creëren voor de waarde hiervan voor het ontwikkelen van robuust investeringsbeleid binnen de context van de grote onzekerheid die de energietransitie met zich meebrengt.

2.3 Afbakening

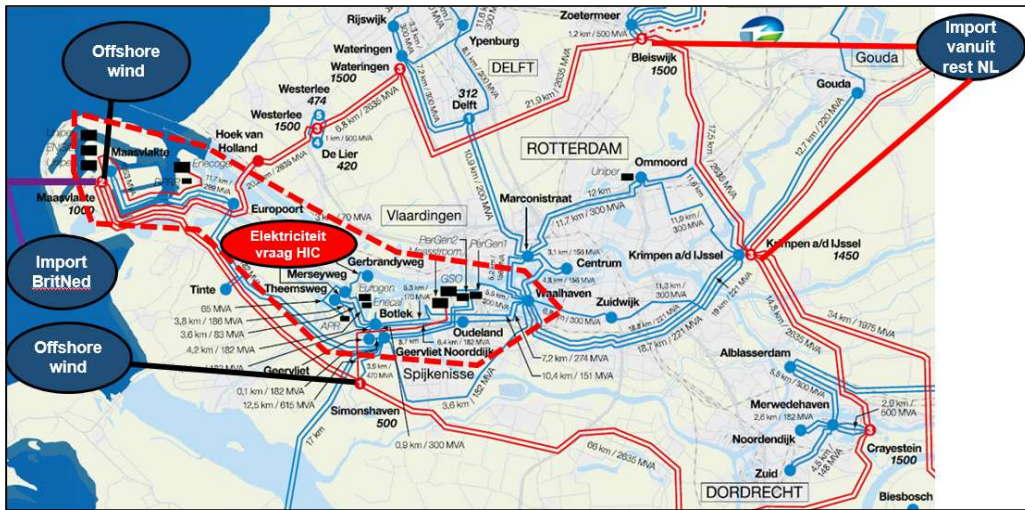
De focus van het project Windmaster ligt primair op de elektriciteits- en H₂-infrastructuur van het HIC. Deze systeemafbakening is gezamenlijk vastgesteld in de beginfase van het project. De keuze voor de op infrastructuur gerichte scope komt voort uit de kerncompetenties van de organisaties die participeren in het project. De volgende energie-infrastructuren worden in beschouwing genomen:

- Het huidige aardgas/toekomstig H₂-net van GTS (Gasunie)



Afbeelding 1: Toekomstig H₂ net HIC (Wijk, Rhee, Reijerkerk, Hellinga, & Lucas, 2019)

- Het elektriciteitsnet (10 / 23 / 25 / 66kV) van Stedin
- Het elektriciteitsnet (150kV en 380kV) van TenneT



Afbeelding 2: Het elektriciteitsnet van TenneT in en rond het HIC (TenneT, 2019)

Partijen

Binnen project Windmaster zijn de volgende partijen betrokken: Gasunie, Stedin en TenneT als netwerkbedrijven, Provincie Zuid-Holland en het havenbedrijf als aanjager en facilitator en als laatste Deltalinqs en ISPT als vertegenwoordigers van de (proces)industrie.

2.4 Probleemstelling

De probleemstelling luidt als volgt:

Welke aanpak leidt tot adaptief investeringsbeleid dat een robuuste adaptieve investeringsstrategie voorinfrastructuur faciliteert t.b.v. de energietransitie in het HIC?

Hoofdvraag

- Heeft de participatieve multi-model aanpak die voortvloeit uit de binnen het Heatmaster voorstel ontwikkelde visie, voldoende potentieel voor het toetsen van de effectiviteit van verschillende investeringsbeleidsalternatieven op het faciliteren van de ontwikkeling van een robuuste, adaptieve investeringsstrategie voor elektriciteits- en H₂-infrastructuur voor het HIC?

Doelstellingen

- Inzicht verkrijgen in het potentieel van de participatieve multi-model aanpak voor het toetsen van de effectiviteit van investeringsbeleidsalternatieven. Dit t.b.v. het faciliteren van een robuuste, adaptieve investeringsstrategie voor elektriciteits- en H₂-infrastructuur voor het HIC.
- Eerste inzichten in robuuste investeringskeuzes voor elektriciteits- en H₂-infrastructuur
- Verdere verkenning van de waarde van samenwerking van de verschillende infrastructuurbeheerders voor het ontwikkelen van een toekomstbestendige energie-infrastructuur voor het HIC.

3. Methodologie

In dit hoofdstuk zal eerst de aanpak die gebruikt is voor de ontwikkeling van het multi-model kort worden toegelicht. Daarna zal het raamwerk van het te ontwikkelen multi-model worden toegelicht. Vervolgens zullen de gebruikte modellen worden beschreven.

3.1 Gevolgde aanpak ontwikkeling multi-model

Het Windmaster project was verdeeld in twee fasen, namelijk een kwalitatieve (fase 1) en een kwantitatieve fase (fase 2). De kwalitatieve fase leverde de noodzakelijke input voor de kwantitatieve fase waarin het kwantitatieve multi-model is uitgewerkt. Daarnaast speelde de kwalitatieve fase door haar participatieve karakter een belangrijke rol om tot een gezamenlijk gedragen doelstelling te komen. Figuur 3.1 geeft een overzicht van de deelactiviteiten per fase.

Fase 1: Input verzamelen multi-model en ontsluiten systeemkennis (participatief proces met stakeholders)

- Visievorming en backcasting
- Business canvas ecosysteem
- Systeemdecompositie

Fase 2: Ontwerp multimodel, programmeren en proof of concept simulatie

- Hackathon
- Programmeren en simuleren
- Sensemaking workshop

Figuur 3.1: Overzicht geplande deelactiviteiten (Zie bijlage 2 voor een uitleg van de activiteiten)

Fase 1

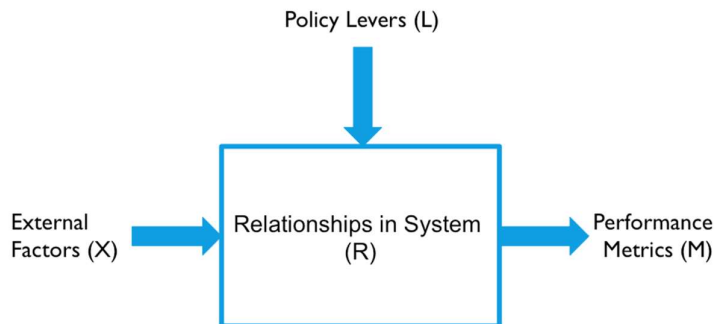
In de kwalitatieve fase is er gefocust op het expliciet maken verschillende toekomstvisies van de deelnemers op het HIC en het creëren van een precieze gezamenlijke vocabulaire om over de evolutie van de energie infrastructuur in de HIC te kunnen praten. De visievorming en backcasting waren gericht op het definiëren van gezamenlijke toekomstvisies en hoe deze gerealiseerd kunnen worden. Het business ecosysteem model diende binnen het Windmaster project om een eerste beeld te schetsen van de mogelijke scenarioruimte van transitiepaden. Het resultaat van het business ecosysteem model bestaat uit een netwerk van verschillende organisaties (entiteiten) en hun bijbehorende businessmodellen. Door de gelimiteerde tijd is het in de praktijk niet gelukt om de resultaten van het business ecosysteem model te gebruiken als input voor de sensemaking workshop. In bijlage 5 is een rapport te vinden van de business ecosysteem analyse. In bijlage 2 worden de activiteiten in de kwalitatieve fase verder beschreven.

Fase 2

In de kwantitatieve fase is er gefocust op het bouwen van de kwantitatieve technische en gedragsmodellen, het opzetten van de multi-model ecosysteem raamwerk (datastructuren, inter-model communicatie protocollen) en creëren van de scenarioruimte. De hackathons waren gericht op gedetailleerd definiëren van de scenarioruimte en investeringsgedrag. Tijdens het programmeren en simuleren werd het model daadwerkelijk gebouwd en zijn met behulp van de verzamelde data simulaties gedaan. In de sensemaking workshop zijn de resultaten van deze simulaties besproken en geëvalueerd.

3.2 XLRM raamwerk

Het XLRM raamwerk (figuur 3.1) beschrijft de kaders van het systeemvraagstuk dat met behulp van de multi-model aanpak wordt beschouwd. Dit raamwerk vormt de basis voor het ontwikkelde multi-model ten behoeve van robuuste besluitvorming.



Figuur 3.1: Het XLRM raamwerk

In het XLRM raamwerk worden de volgende elementen onderscheiden:

- Exogene factoren (**eX**ogenous) zijn factoren die buiten de invloedssfeer van beslissers vallen maar die desalniettemin van belangrijke invloed zijn op het succes van hun (beleids)strategieën.
- Beleidshendels (**L**ever) zijn specifieke handelingen en ingrepen die in verschillende combinaties alternatieve strategieën vormen die beslissers willen verkennen.
- Relaties (**R**elations) zijn formele wiskundige en algoritmische regels op basis waarvan het systeem en - in het bijzonder de eigenschappen hiervan - evolueert. Dit wordt beïnvloed door de beleidshendels en de aanwezigheid van onzekere **eX**ogene invloeden. Een bepaalde keuze voor relaties en exogene onzekerheden bepaalt de toekomstige toestand van het systeem.
- **M**etrics zijn de KPI's die door beslissers en andere stakeholders gebruikt worden om de wenselijkheid van verschillende toekomstige systeemtoestanden te beoordelen. Hiermee kan het succes van een bepaalde beleidshendel die via de **R**elaties en onder invloed van **eX**ogene onzekerheden tot **M**etrics leidt, worden bepaald.

Tabel 3.2: de binnen het Windmaster project ingevulde elementen van het XLRM raamwerk

Element	Toegepast binnen het Windmaster project
X	Scenario's van relevante transitiepaden voor energieproductie en –vraag
L	Verschillende investeringsbeleidsalternatieven voor infrabeheerders: reactief, huidig, proactief en collaboratief
R	Multi-model waarin infrabeheerders investeren in netuitbreidingen en al dan niet tijdig capaciteitsknelpunten kunnen oplossen
M	Metrics t.a.v. de effectiviteit van investeringsbeleid: • CAPEX ontwikkeling infrabeheerders • Aantal haalbare transitiepaden. (De CO₂-besparing is aan een transitiepad gekoppeld en kan evt. als extra metric meegenomen worden). • Benuttingsgraad van de infrastructuur

Tabel 3.2 licht toe hoe het XLRM raamwerk is toegepast voor het ontwikkelde multi-model binnen het Windmaster project.

NB. Als bijvangst van simulatie experimenten met het multi-model kunnen repeterende investeringspatronen geïdentificeerd worden bij analyses van simulatie-runs. Deze

repeterende investeringspatronen leiden tot inzicht in welke investeringen in veel verschillende toekomsten kunnen renderen. Dit geeft vervolgens inzicht in robuuste investeringen in infrastructuur die onderdeel uit kunnen maken van een adaptieve investeringsstrategie.

3.3 Multi-model

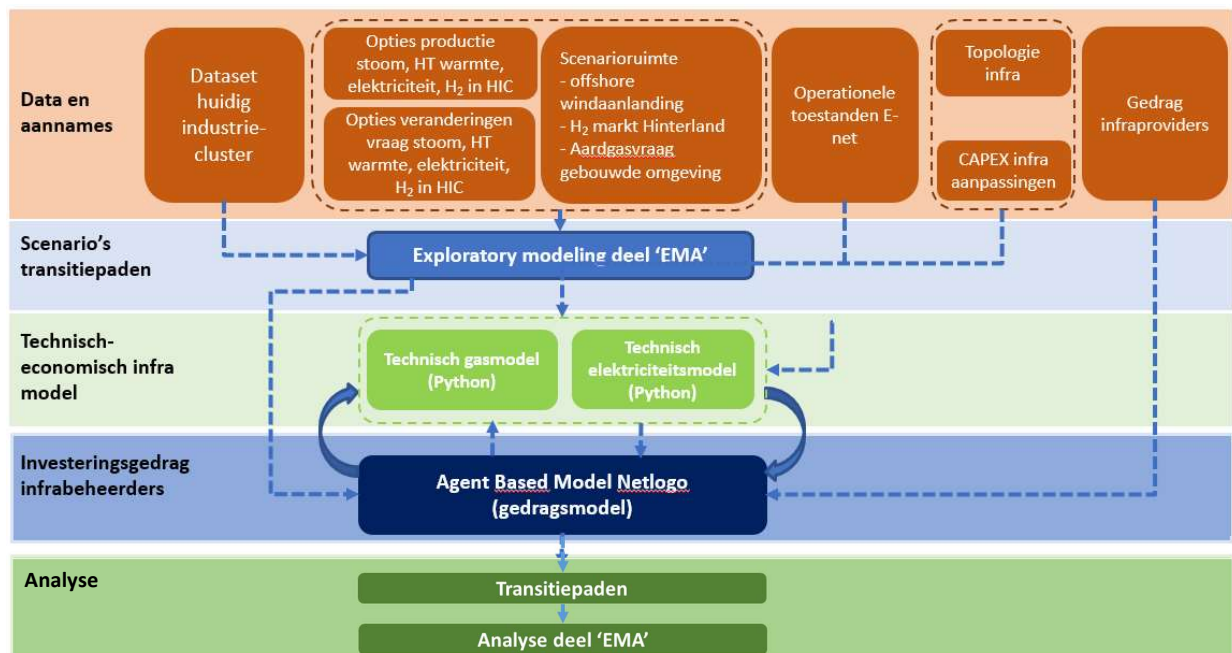
In deze paragraaf zal worden beschreven hoe deze transitiepaden voortvloeien uit verschillende gekoppelde modellen; het multi-model. Hieronder wordt het gehele multi-model beknopt toegelicht. De individuele modellen worden in bijlage 1.1 t/m 1.4 uitgebreid toegelicht.

3.3.1 Werking multi-model

Figuur 3.3 geeft een overzicht van het ontwikkelde multi-model, de sub-modellen en hun interacties:

1. *Exploratory modeling* scenario model
2. Technisch-economische inframodel (met sub-modellen voor gas en elektriciteit)
3. Gedragsmodel (Agent Based Model)

De 3 sub-modellen worden gevoed met verschillende datasets en aannames. De verschillende lagen van het model worden op de volgende pagina verder uitgelegd.



Figuur 3.3: Overzicht van het multi-model

Data, aannames en scenario-ontwikkeling

De transitiepadscenario's voor energieproductie- en vraag worden met behulp van 'Exploratory Modeling and Analysis Workbench' of kortweg EMA workbench, gegenereerd. Deze software wordt gebruikt voor het genereren van toekomstscenario's uit de scenarioruimte, uitvoeren van simulatie experimenten en verzamelen en analyseren van uitkomsten. Input voor de scenarioruimte zijn de volgende data:

- Dataset die de huidige energievoorziening in het industriecluster Rotterdam weergeeft
- Mogelijke opties van veranderingen in het industriecluster voor de productie van stoom, Hoge Temperatuur warmte, elektriciteit en waterstof
- Mogelijke opties van veranderingen in het industriecluster voor de vraag naar stoom, Hoge Temperatuur warmte, elektriciteit en waterstof
- Mogelijke opties van veranderingen in het sluiten van fabrieken en het stichten van nieuwe fabrieken (synthetische brandstof fabrieken op basis van 'CO₂ uit lucht')
- Mogelijke veranderingen in de aanlanding van offshore wind in het industriecluster, de elektriciteitsimport via BritNed en de aardgasvraag van de gebouwde omgeving die via de hoofdbackbone van GTS geleverd wordt.

Technisch-economisch inframodel

Met behulp van het technisch-economisch inframodel voor H₂ en elektriciteit wordt de capaciteitsbehoefte per tijdseenheid per gegenereerd transitiepad berekend. Hiervoor gebruikt het technisch model data en aannames omtrent de huidige infrastructuur en mogelijke operationele toestanden van het elektriciteitssysteem. De output zijn de capaciteitsknelpunten in het H₂- en elektriciteitsnetwerk en de mogelijke oplossingen om de knelpunten te verhelpen met bijbehorende CAPEX en realisatietijden.

Met behulp van het technisch model wordt op basis van een sluitende H₂- en elektriciteitsbalans zowel de zee-zijdige H₂-import als de elektriciteitsuitwisseling met de rest van Nederland berekend (zie bijlage 1.2 en 1.3).

NB 1. In het Windmaster multi-model is aangenomen dat het H₂-aanbod bestaat uit de combinatie van H₂-productie in het HIC en zee-zijdige H₂-import. Het is aangenomen dat er geen landzijdige H₂-import ontstaat naar het HIC.

NB 2. Het is aangenomen dat er geen capaciteitsknelpunten kunnen optreden in het huidige aardgastransportnet binnen het HIC. Het hergebruiken van het huidige aardgastransportnet binnen het HIC voor H₂ transport is meegenomen als potentiële optie voor het creëren van H₂ transportcapaciteit. De randvoorwaarde voor het hergebruik van (een gedeelte van) het GTS aardgastransportnet is dat er geen aardgasklant meer op dit netsegment is aangesloten.

Investeringsgedrag infrabeheerders

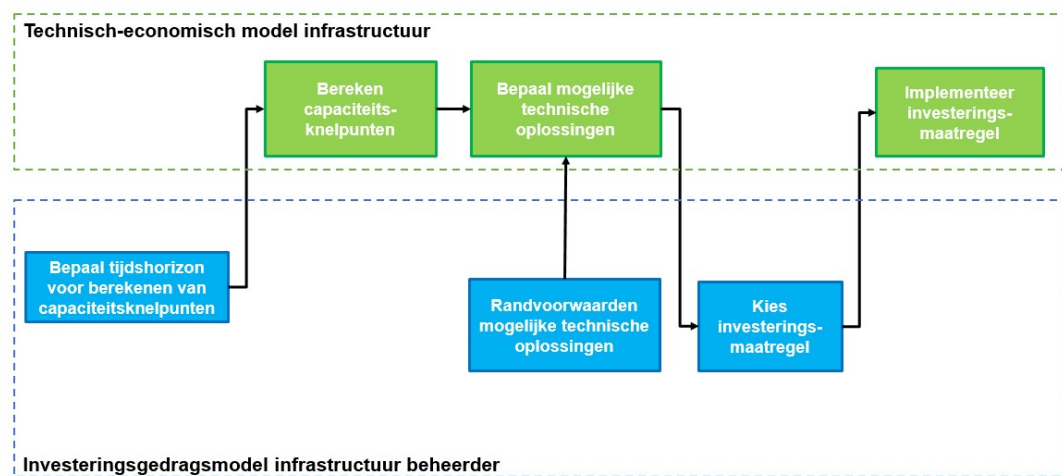
In het gedragsmodel zijn verschillende infrabeheerders als agent gecreëerd. Deze agenten vertonen per investeringsbeleid een ander type strategisch netplannings- en investeringsgedrag. Tijdens een simulatie vindt elk jaar binnen een transitiepad communicatie tussen het gedragsmodel en het technische model plaats (zie figuur 3.4). Dit gebeurt op de volgende wijze:

De infrabeheerder (agent) heeft een beperkte tijdshorizon waarbinnen zij vooruit mag kijken. Hiermee is zij bewust van mogelijke toekomstige veranderingen in vraag op haar netwerk. Een agent vraagt het technisch model om, op basis van huidig netwerk, de 'fysieke' werkelijkheid van het model, de capaciteitsknelpunten in het netwerk en de (theoretische)

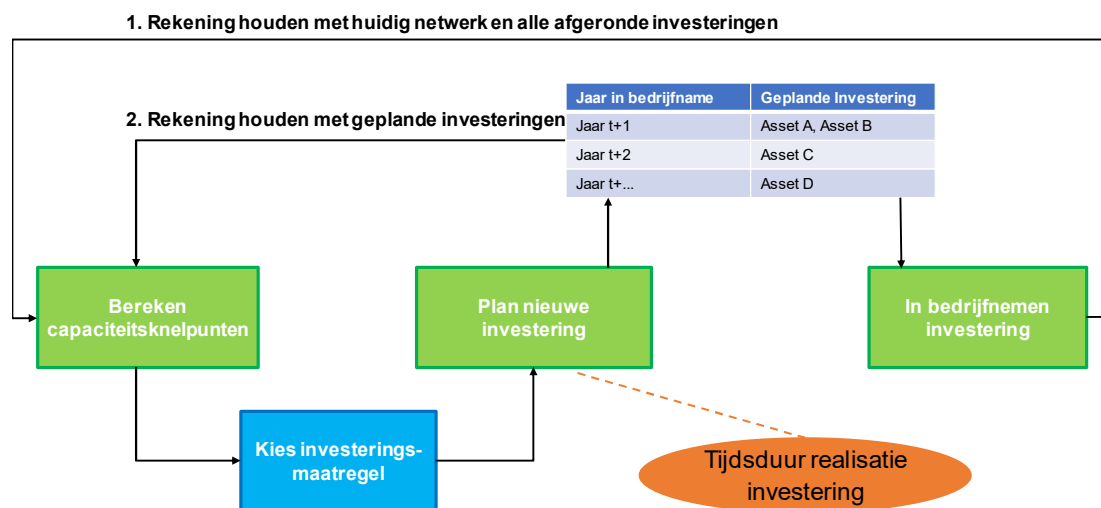
investeringsopties die nodig zijn om het knelpunt op te lossen. Hierbij houdt het technisch model rekening met de in het jaar van berekening nieuw gerealiseerde infrastructuur en de geplande investeringen. Indien er capaciteitsknelpunten zijn, bepaalt het technisch model de mogelijke technische oplossingen om de knelpunten te verhelpen. De mogelijke oplossingen worden in de vorm van zogeheten investeringssets aangeboden aan de infrabeheerder agent.

Vervolgens kiest de infrabeheerder welke investeringssets dienen te worden uitgevoerd, op basis van haar (op dat moment opgelegde) investeringsbeleid. De gekozen investeringsset(s) worden uitgevoerd door de technische modellen opdracht te geven om de 'fysieke' werkelijkheid te veranderen, rekening houdend met de nodige bouwtijd. In figuur 3.5 is deze dynamiek weergegeven.

Hierdoor verandert de 'fysieke' werkelijkheid en in het volgende jaar. Als de infrabeheerder vervolgens opnieuw vraagt om de capaciteitsknelpunten bij nieuw 'ontdekte' toekomstige vraag, krijgt ze een ander antwoord.



Figuur 3.4: Interactie tussen investeringsgedragsmodel en technisch model tijdens een simulatie experiment (verkenning van een transitiepad onder een bepaald investeringsbeleid)



Figuur 3.5: Gemodelleerd mechanisme t.a.v. geplande en gerealiseerde investeringen

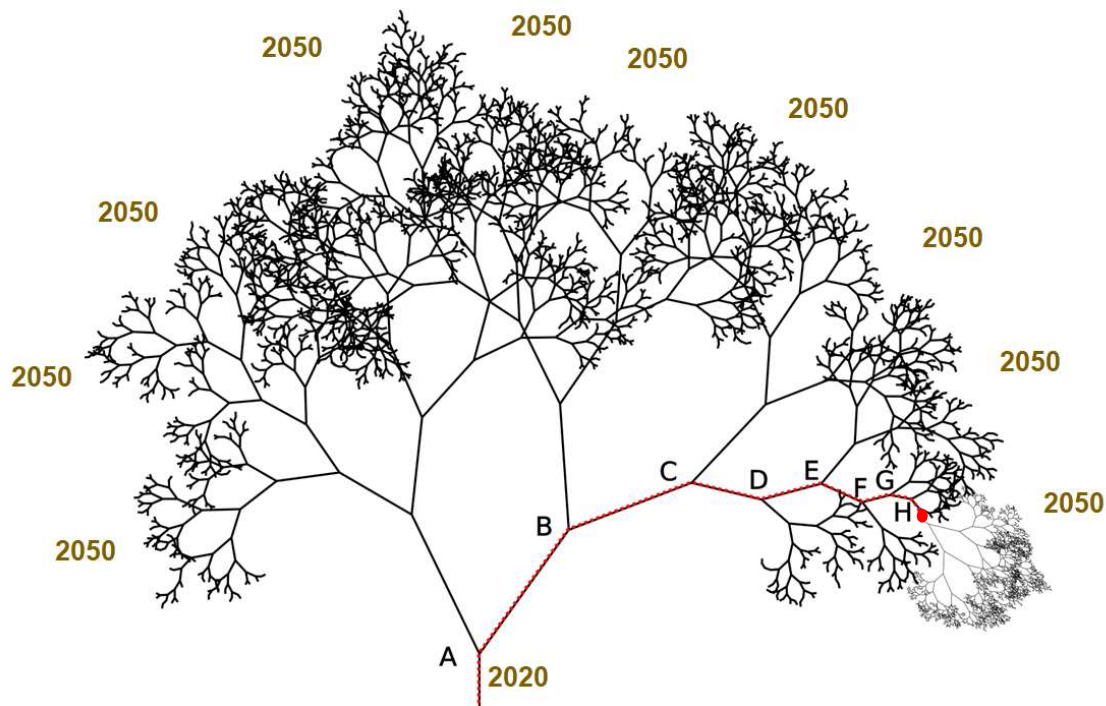
Analyse

In hoofdstuk 4 wordt het verkennen van de scenarioruimte gedetailleerd besproken. Per verkenning van een transitiepad (experiment) worden verschillende kenmerken van het betreffende transitiepad opgeslagen. Dit zorgt ervoor dat de gedefinieerde KPI's bepaald kunnen worden voor de uitgevoerde set van experimenten. De analyses worden gedaan met behulp van de 'analytics' module binnen EMA workbench. Een transitiepad bestaat uit een reeks van jaarlijkse gebeurtenissen in de periode van 2020 t/m 2050 (de tijdstap van het model is één jaar). Door de transitiepaden te analyseren kan de effectiviteit van verschillend investeringsbeleid van infrabeheerders onderzocht worden, gegeven de hoeveelheid mogelijke toekomstige exogene ontwikkelingen. Dit stelt infrabeheerders en hun (toezichthoudende) stakeholders (EZK, ACM, aandeelhouders, financiële markt) beter in staat om te beslissen over noodzakelijke veranderingen van het investeringsbeleid. Naast een concreet beeld van welk type investeringsbeleid wenselijk is, kunnen de simulaties met het multi-model ook besluitvormingsprocessen ondersteunen. Dit zijn bijvoorbeeld besluitvormingsprocessen om tot een adaptieve investeringsstrategie voor infrastructuur te komen. Door veel simulatie-experimenten uit te voeren, wordt duidelijk welke uitbreidingsinvesteringen nodig zijn in verschillende transitiepaden. De uitbreidingsinvesteringen die vaak voorkomen vormen dan robuuste (*no regret*) investeringen aangezien ze renderen in veel verschillende mogelijke toekomsten.

Daarnaast kan geanalyseerd worden welke exogene ontwikkelingen tot significant andere infrastructuurle eisen leiden. Deze ontwikkelingen (indicatoren) zullen dan gemonitord moeten worden gedurende de energietransitie, zodat tijdig de investeringsstrategie voor infrabeheerders aangepast kan worden om 'alle' mogelijke toekomsten te kunnen faciliteren.

4. Scenarioruimteverkenning met Exploratory Modeling

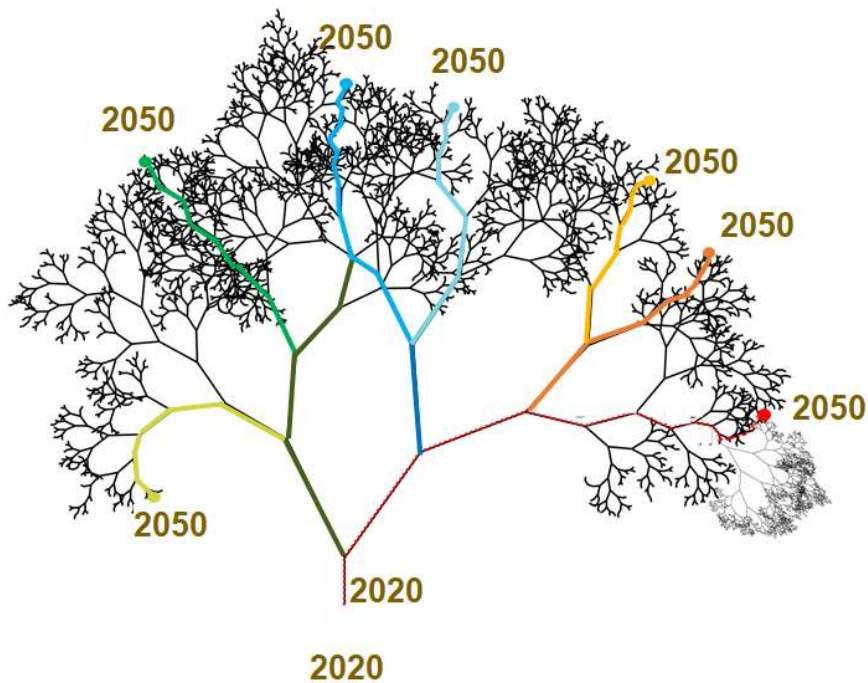
Met behulp van het Exploratory Modeling model wordt een scenarioruimte opgebouwd van mogelijke transitiepaden die relevant zijn voor het testen van de effectiviteit van verschillende beleidsopties voor de energie-infrastructuur in het HIC. De scenarioruimte wordt opgebouwd door de variatie voor alle geïdentificeerde onzekerheden met elkaar te combineren. Een specifieke combinatie van veranderingen van de geïdentificeerde onzekerheden leidt tot een specifiek transitiepad. De rode route van A t/m H in figuur 4.1 is een voorbeeld van een dergelijk specifiek transitiepad. De complete boom in figuur 4.1. is een visuele weergave van de gehele scenarioruimte die opgebouwd wordt met scenariogeneratie via het Exploratory Modeling model.



Figuur 4.1: Visuele weergave van een complete scenarioruimte waarbij de rode route (van A t/m H) een specifiek transitiepad representeert.

Door elk mogelijk transitiepad met behulp van een simulatie te verkennen, kan een compleet beeld verkregen worden over de te verwachten prestatie van een specifieke beleidsoptie. De in het Windmaster model opgebouwde scenarioruimte bestaat uit meer dan 10.000.000.000 mogelijke transitiepaden (zie bijlage 1.1 voor de details over hoe deze ruimte is opgebouwd). Het verkennen van al deze transitiepaden is een tijdrovende exercitie, zelfs met de huidige beschikbare rekenkracht.

Er bestaan verschillende wiskundige methodes om een set van experimenten te selecteren die de hele scenarioruimte voldoende representeren. Zoals figuur 4.2 laat zien, kunnen de belangrijkste verschillende transitiepaden worden verkend met een relatief beperkt aantal simulaties. Hierdoor kan de rekentijd voor het analyseren van een scenarioruimte van transitiepaden drastisch worden teruggebracht.



Figuur 4.2: Selectie van experimenten in de scenarioruimte

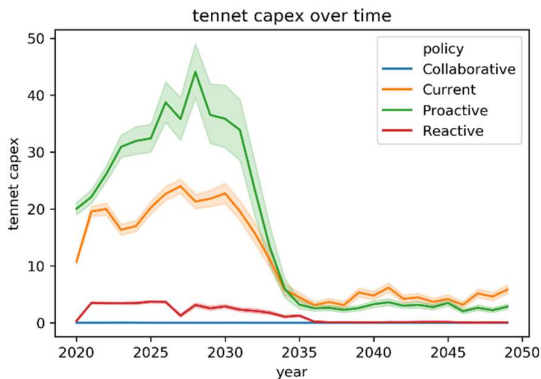
Binnen het project is d.m.v. uniforme, willekeurige trekking uit de scenarioruimte een set van 1000 transitiepaden geselecteerd. Deze transitiepaden vormden de basis van de uitgevoerde computer experimenten. Per beleidsoptie zijn dus 1000 transitiepaden verkend. Aangezien er vier beleidsopties onderzocht zijn, houdt dit in dat er totaal 4000 simulaties uitgevoerd zijn met het multi-model. Doordat dit te weinig experimenten zijn om de gehele opgespannen scenarioruimte te vertegenwoordigen, kunnen er geen inhoudelijke conclusies verbonden worden over de effectiviteit van verschillende beleidsopties. Hiervoor is immers een grotere, statistisch verantwoorde set van experimenten nodig die de gehele scenarioruimte voldoende goed representeert.

5. Analyseresultaten experimenten

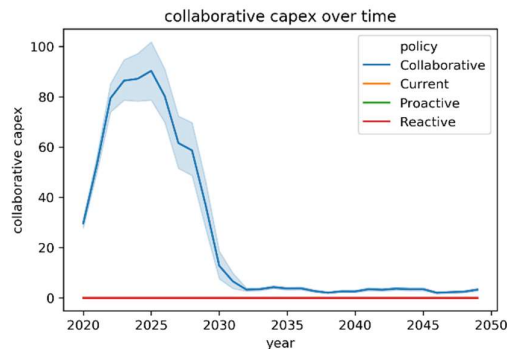
In dit hoofdstuk volgt een samenvatting van de analyseresultaten voor de uitgevoerde experimenten. Ze zijn bedoeld om een beeld te geven over welk type uitkomsten gegenereerd worden bij een diepe onzekerheidsanalyse met een multi-model. Zoals eerder vermeld kunnen er geen inhoudelijke conclusies worden verbonden aan de huidige model uitkomsten. De voornaamste redenen hiervoor zijn dat de sub-modellen (beleid en technisch) in de PoC zijn sterk vereenvoudigde representaties van het systeem zijn, de scenario's niet in voldoende mate van detail uitgewerkt zijn en niet genoeg simulaties uitgevoerd zijn voor een statistisch verantwoorde analyse. Echter, de uitkomsten zijn consistent en geven inzicht in het potentieel van de multi-model aanpak voor het ontwikkelen van effectief investeringsbeleid ten behoeve van een toekomstvaste energie-infrastructuur voor het HIC.

De resultaten zijn voor elke infrabeheerder en de collaboratieve infrabeheerder weergegeven in de volgende grafieken:

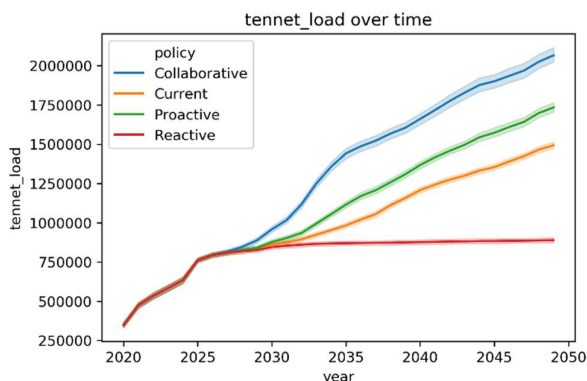
- CAPEX per jaar, per beleidsoptie (5.1 en 5.2)
- Capaciteits- en loadontwikkeling per jaar, per beleidsoptie (Figuur 5.3 en 5.4)



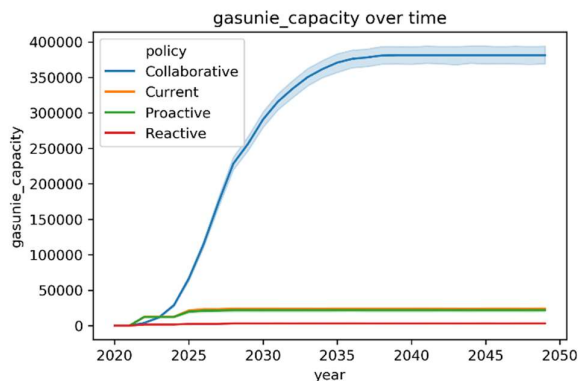
Figuur 5.1: CAPEX ontwikkeling in de tijd voor TenneT-infrastructuur voor **1000** experimenten per beleidsoptie per jaar (Capex in miljoenen).



Figuur 5.2: Collaboratieve CAPEX ontwikkeling over de tijd voor **1000** experimenten. (Capex in miljoenen)



Afbeelding 5.3: Load ontwikkeling in de tijd voor TenneT-infrastructuur voor **1000** experimenten per beleidsoptie per jaar.



Figuur 5.4: Gerealiseerde capaciteitsontwikkeling in de H2-infrastructuur in de tijd voor **1000** experimenten per beleidsoptie per jaar.

Figuur 5.5 geeft voor een specifieke set aan experimenten het cumulatieve resultaat weer van uitbreidingsinvesteringen die minimaal één keer voorkomen in de periode 2020-2050. Op de x-as zijn de type investeringen afgebeeld, op de y-as zijn de vier type beleidsopties uitgezet waarbij per beleidsoptie 1000 experimenten, c.q. verkenningen zijn uitgevoerd. Een experiment is wit gemaakt indien de investeringsoptie in dat experiment minimaal éénmaal werd gerealiseerd. Indien een specifieke investeringsoptie in veel experimenten wit is gekleurd, betekent dit dat deze investering in veel verschillende transitiepaden rendoert. In het voorbeeld in figuur 5.5 lijkt de investering in de categorie 380kV-lijnveld in alle verschillende transitiepaden noodzakelijk.

NB. Voor een adaptieve investeringsstrategie is het onvoldoende om het inzicht te hebben dat investeringen in de categorie 380 kV-lijn velden robuust lijken. Hiervoor is inzicht nodig op specifiek investeringsoptie niveau zoals het 380 kV-lijn veld in het Maasvlakte 380 kV-station.

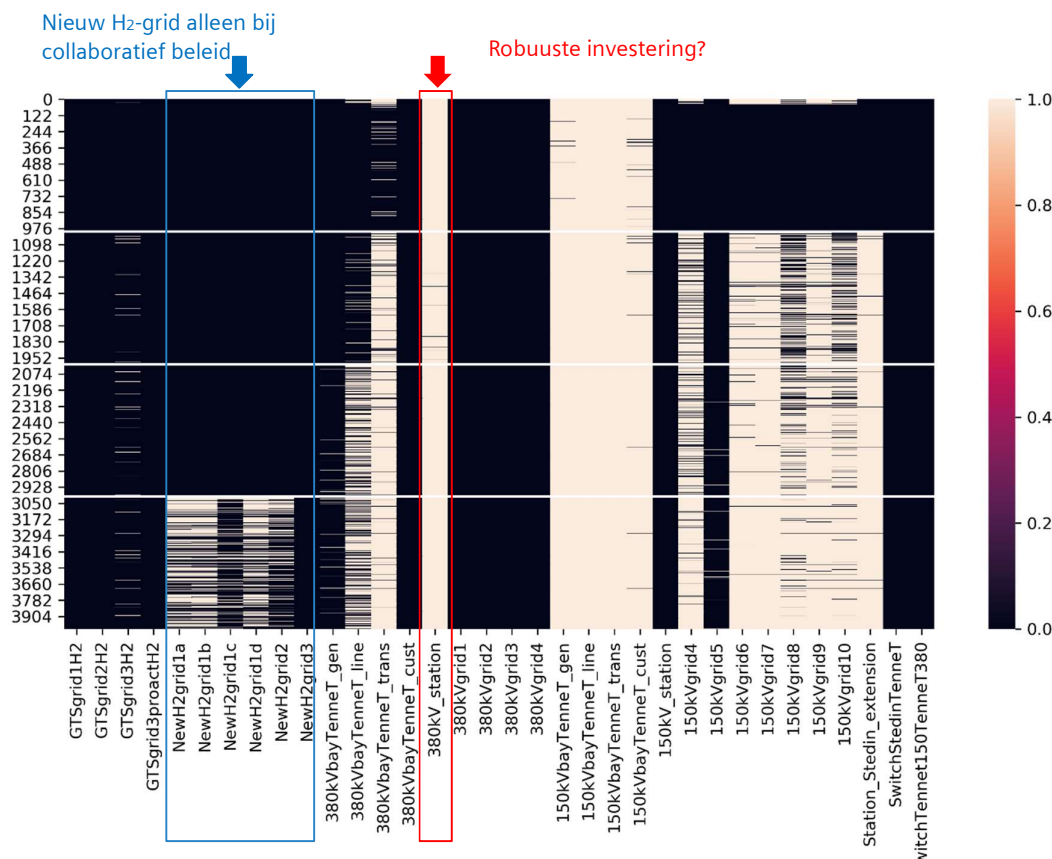
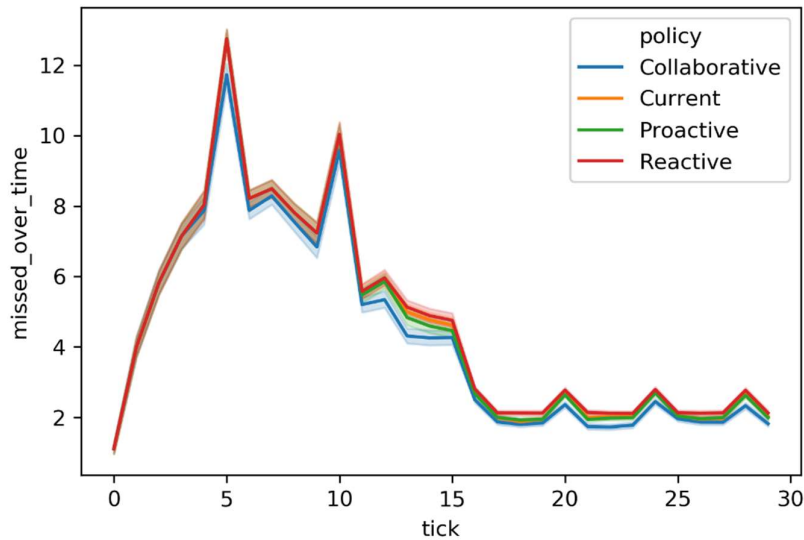


Fig. 5.5: Digitale vingerafdruk van de verschillende investeringsbeleidsopties: Een cumulatief resultaat van investeringen over periode 2020-2050 die minimaal 1 keer voorkomen, als functie van de vier beleidsopties. Het aantal experimenten per beleidsoptie is **1000**.

In figuur 5.5. komt ook naar voren dat er investeringsopties zijn die alleen uitgevoerd kunnen worden bij een specifieke beleidsoptie. Vanuit figuur 5.5 zou geconcludeerd kunnen worden dat alleen bij collaboratief beleid investeringen worden gedaan in een nieuw H2-grid.

In figuur 5.6 is per beleidsoptie het aantal gemiste investeringen voor 1000 experimenten per investeringsbeleid. Een gemiste investeringen wordt hier gevormd door een nieuwe energievraag vanuit de industrie waaraan niet kan worden voldaan. Met een dergelijke analyse kan invulling worden gegeven aan de metric 'Aantal haalbare transitiepaden' (zie

tabel 3.2 in hoofdstuk 3). In dit geval wijken de policies weinig af vanwege de programmeringskeuzes in de proof-of-concept fase.



Figuur 5.6: Verdeling van de totaal aantal gemiste investeringen bij 1000 experimenten (1 tick representeert 1 jaar)

Hiernaast zijn er meer zinvolle analysemogelijkheden die uitgevoerd kunnen worden met de dataset met simulatieresultaten die door de uitvoering van de experimenten is gecreëerd. Dit vereist echter een substantiële hoeveelheid tijd, waardoor dit buiten de scope van het project is geplaatst. Het project Windmaster is bedoeld om een PoC model te construeren waarmee de potentie en te verwachten resultaten van een dergelijke multi-model aanpak kunnen worden aangetoond.

6. Conclusies

In dit hoofdstuk worden aan de hand van de doelstellingen van het Windmaster project een aantal conclusies getrokken.

Doelstelling 1:

Inzicht verkrijgen in het potentieel van de multi-model aanpak voor het toetsen van de effectiviteit van investeringsbeleidsalternatieven. Dit t.b.v. het faciliteren van een robuuste, adaptieve investeringsstrategie voor elektriciteits- en H₂- en aardgasinfrastructuur voor het HIC.

Geconcludeerd kan worden dat het ontwikkelde multi-model in staat is om verschillende investeringsbeleidsalternatieven voor de ontwikkeling van energie-infrastructuur met elkaar te vergelijken. De essentiële functionaliteiten van het ontwikkelde multi-model zijn:

- Het gestructureerd kunnen verkennen van transitiepaden d.m.v. het Exploratory Modeling scenario model
- De simulatie van het strategisch netplanningsproces van infrastructuurbeheerders onder verschillend investeringsbeleid d.m.v. de interactie tussen het Agent Based Model en het technische model

Daarnaast kan geconcludeerd worden dat een aantal bouwstenen van het ontwikkelde multi-model hergebruikt kan worden indien het Windmaster project een vervolg krijgt.

De systematisch gedimensioneerde **scenarioruimte** bevat een aanzienlijk deel van de relevante dimensies voor het te onderzoeken adaptieve beleid. Binnen deze ruimte is de aanlanding van offshore wind één van de essentiële variabelen. Door het participatief karakter van de modelaanpak zijn een aantal niet direct vanzelfsprekende relevante variabelen voor de scenarioruimte ontdekt. Één hiervan is de H₂-marktontwikkeling in het Hinterland die vanuit het HIC bediend kan worden. Voor de ontwikkeling van een adaptief investeringsbeleid (en -strategie) voor H₂-infrastructuur in het HIC is het van belang om deze ontwikkeling mee te nemen.

Het **multi-model communicatie protocol** en haar basisconcepten zijn goed schaalbaar. Deze inzichten zullen bijdragen aan het ontwerp van een volgende stap.

Doelstelling 2:

Eerste inzichten in robuuste investeringskeuzes voor de elektriciteits- en H₂- en aardgasinfrastructuur.

De multi-model aanpak is in staat om eerste inzichten in robuuste investeringskeuzes te creëren die renderen in veel mogelijke transitiepaden. Zoals reeds genoemd, kunnen door de gelimiteerde scope van het Windmaster project nu geen inhoudelijke robuuste investeringskeuzes worden geïdentificeerd.

Doelstelling 3:

Verdere verkenning van de waarde van samenwerking van de verschillende infrabeheerders voor het ontwikkelen van een toekomstbestendige energie-infrastructuur voor het HIC.

De samenwerking tussen de infrabeheerders geeft wederzijds inzicht en begrip in elkaars werkprocessen. Dit inzicht en begrip is een randvoorwaarde voor het creëren van een robuust multi-model.

Andere inzichten die tijdens het Windmaster project zijn ontstaan:

- Het proactief vrijmaken van een GTS-backbone (vier GW capaciteit) in het HIC ten behoeve van H₂ transport lijkt aantrekkelijk om verder te verkennen. Hierbij kunnen de samenwerkende partijen elkaar helpen om deze kans daadwerkelijk te verzilveren;
- Identificatie van de belangrijke kans voor de haven van Rotterdam om zowel doorvoerhaven van H₂ te worden als een positie te verwerven in de H₂-verwerkende industrie (van oliehaven naar H₂-haven). De tijdige ontwikkeling van voldoende H₂-transportcapaciteit voor het via de haven van Rotterdam kunnen bedienen van de H₂-markt in het Hinterland vormt hiervoor een randvoorwaarde.

7. Aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden drie aanbevelingen gedaan die volgen uit het Windmaster onderzoek.

1. *Verdieping van de multi-model aanpak met de focus op elektriciteits-, H₂- en aardgasinfrastructuur voor het HIC*

Aanbevolen wordt om deze multi-model aanpak verder op te schalen met minimaal de huidige partijen die hebben bijgedragen aan het Windmaster project. Doel hierbij is om tot een robuust multi-model te komen. Op basis hiervan kan een eerste versie van adaptief investeringsbeleid en een bijpassende adaptieve strategische investeringsstrategie worden vastgesteld voor de elektriciteits- en H₂-infrastructuur voor het HIC.

2. *Verbreding van de multi-model aanpak naar de nationale elektriciteits-, H₂- en aardgasinfrastructuur*

Aanbevolen wordt om een PoC multi-model te ontwikkelen voor de ontwikkeling van adaptief investeringsbeleid en een bijpassende adaptieve investeringsstrategie voor elektriciteits-, H₂- en aardgasinfrastructuur in Nederland.

Naast de potentiële ontwikkelingen in alle industriële clusters zal het multi-model onder meer mogelijke ontwikkelingen in de gebouwde omgeving en op het gebied van mobiliteit mee moeten kunnen nemen.

3. *Creëren van randvoorwaarden voor een snelle ontwikkeling van robuuste multi-modellen*

Binnen bovenstaande initiatieven zal aandacht besteed moeten worden aan het creëren van de volgende randvoorwaarden die leiden tot een versnelling in het ontwikkelen van robuuste multi-modellen:

- 1 Inrichten van een dataplatform¹ als basis voor het multi-model
- 2 Inrichten van een multi-model platform met bijbehorend communicatie protocol
- 3 Het geschikt maken van bestaande modellen voor inpassing binnen de te ontwikkelen multi-model architectuur.
- 4 Institutionaliseren van een systematische samenwerking d.m.v. van het benoemen van een beheerder/eigenaar van het proces en platform, met expliciete taken, verantwoordelijkheden en middelen. Dit onder regie van de overheid.

¹ De ontsloten data van energiegebruikers, producenten en verschillende type infrastructuur in het HIC is op dit moment de meest complete publiek beschikbare dataset van deze aard. De data structuur waarin de relevante technische, economische en geografische informatie bij elkaar gebracht is, geeft een robuust startpunt voor opschaling.

Bibliografie

- (sd). <https://www.deltacommissaris.nl/deltaprogramma/wat-is-het-deltaprogramma>.
- Bollinger, L. D. (2017). Multi-model ecologies for shaping future energy systems: Design patterns and development paths. . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Croskerry, P. (2009). A universal model of diagnostic reasoning. *Academic medicine*, 1022-1028.
- Kwakkel, J. H., Haasnoot, M., & Walker, W. E. (2014). Developing Dynamic Adaptive Policy Pathways: A computerassisted approach for developing adaptive strategies for a deeply uncertain world. *Climatic Change*, 132(3), 373-386. doi:10.1007/s10584-014-1210-4
- Kwakkel, J. H., Haasnoot, M., & Walker, W. E. (2015). Developing dynamic adaptive policy pathways: a computer-assisted approach for developing adaptive strategies for a deeply uncertain world. *Climatic Change*, 2015.
- L. Andrew Bollinger, I. N. (2015). Multimodel Ecologies: Cultivating Model Ecosystems in Industrial Ecology. *Journal of Industrial Ecology*.
- Lempert, R. J., Groves, D. G., Popper, S. W., & Bankes, S. C. (2006). A General, Analytic Method for Generating Robust Strategies and Narrative Scenarios. *Management Science*, 514-528.
- Nikolic, I. (2018). *Heatmaster*. Delft: TU Delft.
- Port of Rotterdam. (2016). *Facts and figures on the Rotterdam energy port and petrochemical cluster*. Rotterdam: Port of Rotterdam Authority.
- Provincie Zuid-Holland. (2019). *Over ons*. Opgehaald van www.zuid-holland.nl: <https://www.zuid-holland.nl/overons/>
- Rijksoverheid - Deltacommissaris. (n.b.). *Wat is het deltaprogramma*. Opgehaald van Deltacommissaris: <https://www.deltacommissaris.nl/deltaprogramma/wat-is-het-deltaprogramma>
- van Bruggen, A., Kwakkel, J., & Nikolic, I. (2019). Modeling with Stakeholders for Transformative Change. *Sustainability*, 11(3).
- Walker, W. E., Kwakkel, J. H., ter Maat, J., & Haasnoot, M. (2013). Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global Environmental Change, Volume 23, Issue 2*, 485 - 498.
- Wijk, A. v., Rhee, G. v., Reijerkerk, J., Hellinga, C., & Lucas, H. (2019). Naar een groene waterstofeconomie in Zuid-Holland, een visie voor 2030, een advies aan de Provincie Zuid-Holland. *Naar een groene waterstofeconomie in Zuid-Holland, een visie voor 2030, een advies aan de Provincie Zuid-Holland* (p. 20). n.b.: n.b.

Bijlagen

Bijlagen - Inhoudsopgave

Bijlage 1.1: Gedetailleerde uitleg ontwikkelde Exploratory modeling model	29
Bijlage 1.2: Gedetailleerde uitleg ontwikkelde technisch gasinfrastructuur model	40
Bijlage 1.3: Gedetailleerde uitleg ontwikkelde technisch elektriciteitsinfrastructuur model	43
Bijlage 1.4: Gedetailleerde uitleg ontwikkelde gedragsmodel (Agent Based Model)	47
Bijlage 1.5: Topologie van huidige GTS aardgasnet binnen HIC	49
Bijlage 1.6: Schematische weergave netwerk t.b.v. H ₂ transportcapaciteit bepaling	50
Bijlage 1.7: Berekening H ₂ transportcapaciteit	51
Bijlage 1.8: In dataset te beschouwen <i>conversion assets</i> voor de berekening van verandering van huidige H ₂ transportvraag b	54
Bijlage 1.9: In dataset te beschouwen <i>conversion assets</i> voor de berekening van verandering van huidige H ₂ transportvraag c	55
Bijlage 1.10: in dataset te beschouwen <i>conversion assets</i> voor de berekening van huidige H ₂ transportvraag	56
Bijlage 1.11: realisatietijden voor transportcapaciteit bouwstenen	56
Bijlage 1.12: Topologie van het 380 kV-net	58
Bijlage 1.13: Topologie van het 150 kV-net met stations Maasvlakte, Europoort, Botlek, Merseyweg, Theemsweg en Gerbrandyweg	59
Bijlage 1.14: Topologie van het 150 kV-net met stations Geervliet, Waalhaven en Vondelingenweg	60
Bijlage 1.15: Topologie van Stedin-net binnen het Windmaster model	61
Bijlage 1.16: Toegepaste methodiek voor het bepalen van de elektriciteit transportcapaciteit behoefte	62
Bijlage 1.17: gebruikte netwerktopologie voor capaciteitsberekeningen voor het TenneT-net. De ingetekende vermogensstromen (MW) dienen ter illustratie	64
Bijlage 2: Deelactiviteiten	65
Bijlage 3.1: Tijdlijn & tabel meer fossiel	73
Bijlage 3.2: Tijdlijn & tabel meer fossiel	74
Bijlage 3.3: Tijdlijn & tabel minder fossiel	75
Bijlage 3.4: Tijdlijn & tabel minder fossiel	76
Bijlage 4: Uitwerking enquêtes	77
Bijlage 5: Business Ecosysteem Model	98

Bijlage 1.1: Gedetailleerde uitleg ontwikkelde Exploratory modeling model

Met behulp van het Exploratory modeling model worden transitiepad scenario's gegenereerd voor de periode tussen 2020 en 2050. Startpunt van een transitiepad is de huidige situatie in het HIC. Vervolgens kunnen er vanaf 2021 veranderingen plaatsvinden van de gedefinieerde onzekere factoren. Als eerste wordt de huidige dataset beschreven die de energiesituatie van het HIC in beeld brengt. Vervolgens wordt dieper ingegaan op de meegenomen onzekerheden die de scenarioruime opspannen.

Dataset voor weergave energievoorziening van het huidige HIC

De energievoorziening van de huidige energie-intensieve industrie in het industriecoluster Rotterdam is op basis van openbare bronnen en aannames samengevat in een dataset. Deze dataset vormt het startpunt van de scenariogeneratie binnen het Windmaster model.

Om tot deze dataset te komen zijn verschillende openbare bronnen geraadpleegd zoals o.a. verschillende milieueffectrapportages, de CO₂-uitstoot data van DCMR en rapporten van het Havenbedrijf Rotterdam. Door middel van het combineren van verschillende data en het gebruik van verschillende energiebalans berekeningen is de huidige dataset tot stand gekomen.

Voor 33 sites met de grootste CO₂-uitstoot binnen het industriecoluster, is de vraag naar de volgende energiedragers ingeschat:

- Elektriciteit
- Stoom
- HT warmte (hoogwaardige warmte die m.b.v. fornuizen wordt geproduceerd)
- H₂

De productie van deze energiedragers binnen het industriecoluster is ook ingeschat.

Naast de energieproductie- / en -vraag binnen het industriecoluster, is de verbinding van de sites met 'centrale' energie-infrastructuur in de dataset opgenomen. Deze energie-infrastructuur voor elektriciteit en waterstof gaat uit van de infrastructuur topologieën die in bijlagen 1.5, en 1.12.t/m 1.15 zijn weergegeven.

Ter illustratie is in tabel 1.A een voorbeeld gegeven van een deel van de dataset.

Tabel 1.A: voorbeeld van dataset structuur voor energieproductie en –vraag en de koppeling met infrastructuur knopen

Site's location within industrial cluster	Site ID [String]	Conversion asset ID [String]	Asset description – human readable form – [String]	Owner – [String]	Feedstocks of conversion assets– list of allowed strings, separated by : [Coal,Natgas, Refgas,Petcokes, Resuct,Oilrest,Waste, Electricity,Steam: HTheat:LHeat:H2]	Feedstocks input for conversion asset – MW, per feedstock, separated by :	Conversion efficiency to electricity [fraction], a list of numbers separated by : in the same order as the feedstocks field	Conversion efficiency to steam [fraction], a list of numbers separated by : in the same order as the feedstocks field	Conversion efficiency to HT heat [fraction], a list of numbers separated by : in the same order as the feedstocks field	Conversion efficiency to LT heat [fraction], a list of numbers separated by : in the same order as the feedstocks field	Conversion efficiency to H2 [fraction], a list of numbers separated by : in the same order as the feedstocks field	Conversion efficiency to Natgas [fraction], a list of numbers separated by : in the same order as the feedstocks field	Utilization @ max. capacity [fraction of time], of conversion asset	CO2 emission factor [kg CO2/GJ feedstock], of conversion asset, separated by : per feedstock type	
MV_B	Bungeloders_MVB	D1	Demand_Bungeloders_MVB	Bungeloderscrokiaan	Electricity:Steam	10:7	0	0	0	0	0	0	0.91	0.00	
MV_B	Neste_MVB	D2	Demand_Neste MVB	Neste	Electricity:Steam:H2	10:16:119	0	0	0	0	0	0	0.91	0.00	
MV_B	Lyondell_MVB	D3	Demand_Lyondell_MVB	Lyondell covestro	Electricity:Steam:Steam	10:228:6	0	0	0	0	0	0	0.91	0.00	
MV_B	Bungeloders_MVB	C1	Natgas_boiler	Bungeloderscrokiaan	Natgas	9	0	0.85	0	0	0	0	0.91	56.60	
MV_B	Lyondell_MVB	C2	Natgas_boiler	Lyondell covestro	Natgas	85	0	0.85	0	0	0	0	0.91	56.60	
MV_B	Uniperpp3_MVB	C3	Coal_powergen	Uniper	Coal	2391	0.46	0	0	0	0	0	0.62	94.60	
MV_B	Uniperucml_MVB	C4	Natgas_cogen	Uniper	Natgas	128	0.31	0.49	0	0	0	0	0.80	56.60	
MV_B	Uniperucml_MVB	C5	Natgas_boiler	Uniper	Natgas	128	0	0.85	0	0	0	0	0.80	56.60	
MV_B	Engiecoal_MVB	C6	Coal_powergen	Engie	Coal	1739	0.46	0	0	0	0	0	0.62	94.60	
MV_B	GTSendpointbackbone1_MV	GTS1a	Node_GTSgrid	GTS	Natgas	20000	0	0	0	0	0	0	1	0.73	0.00
MV_B	GTSconnection_backbone1_MV	GTS1b	Node_GTSgrid	GTS	Natgas	438	0	0	0	0	0	0	1	0.73	0.00
MV_B	Stedinsubstation_MVB	Stedin MV	Substation_Stedin	Stedin	Electricity	240	1	0	0	0	0	0	0.73	0.00	

Incoming Lines to conversion asset, list of unique strings of line names, separated by :	Outgoing Lines from conversion asset, list of unique strings of line names, separated by :. NULL if none, i.e. if asset is demand
StedinMVd1InternalElectricity:c1d1InternalSteam	NULL
StedinMVd2InternalElectricity:MV_Steam1d2InternalSteam:Air liquefiedH2_1d2InternalH2	NULL
StedinMVd3InternalElectricityd3:MV_Steam1d3InternalSteam:c2d3InternalSteam	NULL
GTS1bc1InternalGas	c1d1InternalSteam
GTS1bc2InternalGas	c2d3InternalSteam
Coalsupplyc3InternalCoal	c3MV_TenneT380InternalElectricity
GTS1bc4InternalGas	c4MV_TenneT150InternalElectricity:c4MV_SteamgridInternalSteam
GTS1bc5InternalGas	c5MV_SteamgridInternalSteam
Coalsupplyc6InternalCoal	c6MV_TenneT380InternalElectricity
GTSgrid1a	NULL
GTSgrid1b	GTS1bc1InternalGas:GTS1bc2InternalGas:GTS1bc4InternalGas:GTS1bc5InternalGas:GTSgrid1a
TenneT150MVStedinMV	StedinMVd1InternalElectricity:StedinMVd2InternalElectricity:StedinMVd3InternalElectricity:StedinMVd39InternalElectricity

De volgende data zijn per site verzameld (zie tabel 1A):

- Data over de site waar de energieproductie/-vraag betrekking op heeft.
- Aanduiding van de specifieke conversie asset op een site met een uniek ID. Een conversie asset kan het volgende betreffen:
 - Finale energievraag van een site. Dit type conversie asset is aangeduid met ID 'D' gevolgd door een uniek nummer.
 - Energieproductie eenheid waarin een bepaalde energiedrager (feedstock) wordt omgezet naar een of meerdere andere energiedragers (met een bepaalde efficiency). Dit type conversie asset is aangeduid met ID 'C' gevolgd door een uniek nummer
 - Energie-infrastructuur knooppunt. Dit type conversie asset is aangeduid met een ID met een unieke naam die een specifiek knooppunt van een centrale infrastructuur aangeeft.
- Benoeming van de eigenaar van de conversie asset
- Aanduiding van de feedstocks van de conversie assets
- Aanduiding van de maximale capaciteit, aangegeven in [MW], waarmee een conversie asset kan worden gevoed. Indien de conversie asset een finale energievraag betreft, geeft dit de maximale vraag van de site aan voor de aangegeven feedstocks
- Aanduiding van de conversie efficiency van de feedstocks naar andere energiedragers, uitgedrukt in de fractie van de maximale feedstock capaciteit. Indien het een finale energievraag betreft, is een conversie efficiency van '0' ingevoerd voor de verschillende conversie opties.

Indien het een infrastructuur knooppunt betreft, is er een conversie efficiency van '1' ingevoerd voor de conversie efficiency naar de energiedrager die door de infrastructuur wordt getransporteerd.

- Aanduiding van de benuttingsgraad van een conversie asset en de CO₂-emissiefactor van de feedstock (uitgedrukt in kg CO₂ / GJ feedstock). Deze data kunnen gebruikt worden voor de berekening van de jaarlijkse CO₂-emissie van een conversie asset.
- Ingaande infrastructuur 'verbinding' naar de conversie asset. Dit is een unieke aanduiding van een infrastructuurverbinding die aangesloten is op een conversie asset.
- Uitgaande infrastructuur 'verbinding' van een conversie asset. Dit is een unieke aanduiding van een infrastructuurverbinding die aangesloten is op een conversie asset.

Tabel 1.B laat de data zien die gebruikt zijn voor het beschrijven van de infrastructuur 'verbindingen'. De koppeling met de conversie assets wordt hierin weergegeven. Daarnaast wordt de capaciteit van de verbinding (in MW) en de eigenaar van de verbinding aangeduid.

Tabel 1.B: Beschrijving van datastructuur van infrastructuur verbindingen

Line ID unique [string]	From – conversion asset – unique [string]	To – conversion asset – unique [string]	Feedstock carried	Maximum capacity link [MW]	Owner
StedinMvd1InternalElectricity	StedinMV	D1	Electricity	13	Stedin
c1d1InternalSteam	C1	D1	Steam	9	Bungeloderscroklaan
StedinMvd2InternalElectricity	StedinMV	D2	Electricity	13	Stedin
StedinMvd3InternalElectricity	StedinMV	D3	Electricity	13	Stedin
c2d3InternalSteam	C2	D3	Steam	8	Lyondellcovestro
GTS1bc1InternalGas	GTS1b	C1	Natgas	11	GTS
GTS1bc2InternalGas	GTS1b	C2	Natgas	9	GTS
GTS1bc4InternalGas	GTS1b	C4	Natgas	160	GTS
GTS1bc5InternalGas	GTS1b	C5	Natgas	160	GTS

Tabel 1.C geeft inzicht in de grootte van de gebruikte dataset.

Tabel 1.C: Kenmerken van de dataset van het huidig industriecluster

Kenmerk	Aantallen
Aantal beschouwde sites	33
Aantal conversie assets, type finale energievraag	33
Aantal conversie assets, type energieproductie	74
Aantal conversie assets, type infrastructuur knooppunt	55
Aantal infrastructuurverbindingen	277

Meegenomen onzekerheden

De scenarioruimte voor transitiepaden is opgespannen door de definitie van een aantal onzekerheden. Deze onzekerheden worden in tabel 1.D opgesomd.

Tabel 1.D: meegenomen onzekerheden in de opgespannen scenarioruimte

VERVANGING VAN PRODUCTIE VAN STOOM, HT WARMTE, ELEKTRICITEIT EN H2 BINNEN HIC				
Huidig	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 4
Stoomketel	Hybride huidig	Hybride H2	E-boiler	H2-boiler
Fornuis	Hybride huidig	Hybride H2	E-fornuis	H2-fornuis
WKK	Hybride huidig	E-boiler	H2-boiler	
On site elektriciteit productie	Switch naar H2 feedstock			
Kolencentrales	Switch naar biomassa feedstock	Sluiten centrale		
Aardgascentrales	Switch naar H2 feedstock			
SMRs	SMR-CCS	Waterelektrolyse		
VERANDERING VAN VRAAG NAAR STOOM, HT WARMTE, ELEKTRICITEIT EN H2 BINNEN HIC				
Categorie	Variatie 1	Variatie 2	Variatie 3	
Verandering huidige sites	Uitfaseren Koch, Gunvor	Groei / krimp Neste	Groei / uitfaseren BP	
Nieuwe synthetische brandstofproductie uit 'CO2 uit lucht'	Groei aantal fabrieken in de tijd	Locatie Maasvlakte of Botlek		
OVERIGE VERANDERINGEN				
Categorie	Variatie 1	Variatie 2		
Verandering offshore windaanlanding	Capaciteiten in de tijd	Locatie Maasvlakte 380 kV of Simonshaven 380 kV station		
H2 markt Hinterland	Capaciteiten in de tijd			
Nieuwe Waterelektrolyse in HIC	Capaciteiten in de tijd	Locatie Maasvlakte of Botlek		
Nieuwe SMR-CCS in HIC	Capaciteiten in de tijd	Locatie Maasvlakte of Botlek		
Aardgasvraag gebouwde omgeving Rdam	Wegvallen vraag op huidige GTS backbone HIC in de tijd			

Opties voor verandering van productie van stoom, HT warmte, elektriciteit en H₂ binnen HIC

Een deel van de scenarioruimte ontstaat door mogelijke veranderingen in de productie van stoom, hoge temperatuur (HT) warmte, elektriciteit en H₂ binnen het HIC. Om deze mogelijke veranderingen mee te nemen in de scenariogeneratie is een logica meegenomen waarin per huidige technologie een aantal alternatieve technologieën zijn beschreven die de huidige technologie in de toekomst zouden kunnen vervangen.

In de huidige situatie wordt bijvoorbeeld op verschillende industriële sites stoom geproduceerd met behulp van aardgas gestookte ketels. In de toekomst kunnen deze aardgas gestookte stoomketels vervangen worden door een alternatieve stoomproductie technologie. De volgende alternatieve technologieën zijn hiervoor beschouwd binnen Exploratory Modeling in het Windmaster model:

1. Hybride stoomketel. In deze optie wordt op een site naast de huidige aardgas gestookte ketel een E-boiler (elektrische boiler) geïnstalleerd met dezelfde stoomproductie capaciteit. Gedurende het jaar zal de stoomproductie met deze technologie configuratie plaatsvinden door een combinatie van stoomproductie met de aardgasgestookte ketel en stoomproductie door de E-boiler (of combinaties hiervan).
2. Hybride H₂ ketel. In deze optie is de huidige aardgas gestookte ketel vervangen door een stoomketel die gevoed wordt door H₂ ('H₂-boiler' met dezelfde stoom productiecapaciteit als de huidige stoomketel) en een E-boiler (met dezelfde stoom productiecapaciteit als de huidige stoomketel). Gedurende het jaar is de operatiemodus analoog aan de hybride stoomketel configuratie
3. E-boiler. In deze optie is de huidige aardgas gestookte ketel vervangen door een E-boiler met dezelfde capaciteit. De operatie van deze E-boiler is gelijk aan de huidige operatie van de aardgasgestookte ketel
4. H₂-boiler. In deze optie is de huidige aardgas gestookte ketel vervangen door een H₂-boiler met dezelfde capaciteit. De operatie van deze H₂-boiler is gelijk aan de huidige operatie van de aardgasgestookte ketel

Aangenomen is dat de keuze voor een bepaalde alternatieve technologie bepaald wordt door beleids- en technologie ontwikkelingen die ervoor zorgen dat een bepaalde technologie dominant wordt t.o.v. de alternatieve technologie opties voor alle industriële sites. In Exploratory Modeling is dit meegenomen door aan te nemen dat de verandering naar een bepaalde alternatieve technologie in een tijdsperiode van 5 jaar voor alle sites plaatsvindt. Zo ontstaan er scenario's van transitiepaden waarin de omschakeling van de huidige aardgasgestookte stoomketel naar een van de alternatieve stoomproductie technologieën plaatsvindt voor alle sites (met aardgasgestookte stoomketels).

Daarnaast is een bepaalde 'transitiepadlogica' aangenomen. Hierbij kunnen de 'hybride H₂ ketel', E-boiler en H₂-boiler' in 2050 als technologie aanwezig zijn in het HIC. Tevens is aangenomen dat indien een site één van deze stoomproductie technologieën heeft geïmplementeerd, deze site niet meer zal overschakelen naar een andere stoomproductie technologie.

Daarentegen is de optie 'hybride stoomketel' een overgangstechnologie waarvan aangenomen is dat deze niet meer in 2050 aanwezig kan zijn. Deze technologie kan alleen in de eerste jaren van de beschouwde transitieperiode op sites worden geïmplementeerd en heeft een aangenomen levensduur van 15 jaar. Na het einde van de economische levensduur zal de site overschakelen naar stoomproductie met een hybride H₂ ketel, E-boiler of H₂-boiler.

De hierboven beschreven logica voor transitie opties is ook toegepast voor de volgende categorieën productie eenheden binnen Exploratory Modeling:

- Fornuizen
- WKKs
- On site elektriciteitsproductie eenheden
- Kolencentrales
- Aardgascentrales
- SMRs
- Kolencentrales
- Aardgascentrales
- SMRs (Steam Methane Reformers): H₂-productie eenheden die aardgas omzetten in H₂.

Hieronder worden de details van de meegenomen onzekerheden verder toegelicht.

Opties voor alternatieven van stoomproductie met stoomketel

Het volgende is aangenomen:

- De stoomproductie capaciteit met de alternatieve technologie configuratie blijft gelijk t.o.v. de huidige situatie
- Bij een hybride configuratie wordt aangenomen dat de stoomproductie capaciteit van de E-boiler gelijk is aan de huidige stoomproductiecapaciteit. I.g.v. een H₂ hybride configuratie is de stoomproductiecapaciteit van de H₂-boiler gelijk aan de huidige stoomproductiecapaciteit
- Bij de E-boiler en H₂ -boiler configuratie is de stoomproductiecapaciteit gelijk aan de huidige stoomproductiecapaciteit

Tabel 1.E laat de gebruikte conversie efficiency en het eerste jaar dat een optie mogelijk gerealiseerd is zien voor de stoomproductie eenheden.

Indien in een bepaald transitiepad gekozen wordt voor een bepaalde optie (bijvoorbeeld een E-boiler), dan worden vervolgens alle aardgas gestookte en restolieproduct gestookte stoomketels vervangen door deze optie in een tijdsperiode van 5 jaar. Deze logica is ook toegepast voor de vervangingsopties voor conversie assets die stoom, HT warmte, elektriciteit en H₂ produceren.

Tabel 1.E: gebruikte conversie efficiency van stoomproductie eenheden

Stoomproductie eenheid	Categorie	Eerste jaar van mogelijke introductie	Conversie efficiency	Bron data conversie efficiency
Aardgasgestookte stoomketel	Huidig	n.v.t.	85%	N. Borghout, 2015, PhD thesis 'Deployment pathways for decarbonizing industry and electricity generation' - System analysis of the techno-economic feasibility and implementation of CO ₂ capture and transport for different geographical scales
Restolieproduct gestookte stoomketel	Huidig	n.v.t.	85%	Aanname
E-boiler	Optie	2020	85%	Aanname
H ₂ -boiler	Optie	2020	85%	Aanname

Opties voor alternatieven van HT warmte productie met fornuizen

Het volgende is aangenomen:

- De HT warmte productie capaciteit met de alternatieve technologie configuratie blijft gelijk t.o.v. de huidige situatie
- Bij een hybride configuratie wordt aangenomen dat de HT warmteproductie capaciteit van het E-fornuis gelijk is aan de huidige HT warmteproductie capaciteit. I.g.v. een H₂ hybride configuratie is de HT warmte productiecapaciteit van het H₂-fornuis gelijk aan de huidige HT warmte productiecapaciteit
- Bij de E-fornuis en H₂ -fornuis configuratie is de HT warmteproductie capaciteit gelijk aan de huidige HT warmte productiecapaciteit

Tabel 1.F laat de gebruikte conversie efficiency zien voor de HT warmte productie eenheden.

Tabel 1.F: Gebruikte conversie efficiency van HT warmteproductie eenheden

HT warmte eenheid	Categorie	Eerste jaar van mogelijke introductie	Efficiency	Bron data
Aardgas gestookt fornuis	Huidig	n.v.t.	80%	N. Borghout, 2015, PhD thesis 'Deployment pathways for decarbonizing industry and electricity generation' - System analysis of the techno-economic feasibility and implementation of CO ₂ capture and transport for different geographical scales
Restolie product gestookt fornuis	Huidig	n.v.t.	80%	Aanname
E-fornuis	Optie	2030	80%	Aanname
H ₂ -fornuis	Optie	2020	80%	Aanname

Opties voor alternatieven van stoomproductie met WKKs

Het volgende is aangenomen:

- De stoomproductie capaciteit met de alternatieve technologie configuratie blijft gelijk t.o.v. de huidige situatie
- Bij de hybride configuratie wordt aangenomen dat de stoomproductie capaciteit van de E-boiler gelijk is aan de huidige stoomproductie capaciteit.
- Bij de E-boiler en H₂ -boiler configuratie is de stoomproductie capaciteit gelijk aan de huidige stoomproductie capaciteit. In deze optie is de WKK in zijn geheel vervangen door een E-boiler / H₂-boiler waardoor eveneens de elektriciteitsproductie capaciteit van de WKK verdwijnt.

Tabel 1.G laat de gebruikte conversie efficiency zien voor de WKKs en de alternatieve stoomproductie eenheden.

Tabel 1.G: Gebruikte conversie efficiency van stoomproductie eenheden die huidige stoomproductie vanuit WKK kunnen vervangen

Stoomproductie eenheid	Categorie	Efficiency	Bron data
Aardgas gestookt gestookt WKK	Huidig	49% of 62%, afhankelijk van WKK	Dataset HIC
Restolie gestookt WKK	Huidig	49% of 62%, afhankelijk van WKK	Dataset HIC
E-boiler	Optie	85%	Zie hierboven
H ₂ -boiler	Optie	85%	Zie hierboven

Opties voor alternatieven van elektriciteitsproductie met on site elektriciteitsproductie eenheden

Het volgende is aangenomen:

- De aardgas / restolieproduct gevoede on site elektriciteitsproductie eenheden kunnen overgezet worden naar H₂ gevoede elektriciteit productie eenheden. De conversie efficiency van deze elektriciteit productie eenheden blijft hierbij ongewijzigd. De overzetting kan plaatsvinden vanaf 2020.

Opties voor alternatieven van elektriciteitsproductie met kolencentrales

Het volgende is aangenomen:

- Een kolencentrale kan uitgefaseerd worden in de periode tussen 2022 en 2030 indien deze niet in deze periode naar een biomassacentrale wordt omgebouwd.
- Anderzijds kan een kolencentrale in de periode tussen 2022 en 2030 omgebouwd worden naar een biomassacentrale. De conversie efficiency van de betreffende centrale blijft hierbij ongewijzigd. Aangenomen is dat een biomassa centrale tot 2050 in operatie blijft.

Opties voor alternatieven van elektriciteitsproductie met aardgas gestookte centrales

Het volgende is aangenomen:

- De aardgas gestookte elektriciteitscentrales kunnen omgebouwd worden naar H₂ gestookte elektriciteit centrales. De conversie efficiency van deze elektriciteitscentrales blijft hierbij ongewijzigd. De huidige gascentrales kunnen omgebouwd worden in de periode van 2025 tot 2040.

Opties voor alternatieven van elektriciteitsproductie met aardgas / restolie gevoede SMRs

Het volgende is aangenomen:

- De huidige SMR kan vervangen worden door een water elektrolyser met dezelfde feedstock capaciteit als de huidige SMR. De water elektrolyser heeft een aangenomen efficiency van 75% en leidt tot een additionele elektriciteitsvraag. SMR-CCS kan tussen 2022 en 2030 gerealiseerd worden. Water elektrolyse capaciteit kan gerealiseerd zijn vanaf 2028.

- Alternatief is dat de huidige SMR uitgerust kan worden met CCS. In het huidige model is aangenomen dat het toepassen van CCS geen impact heeft op additionele elektriciteit- of stoomvraag voor de SMR conversie asset.

Verandering van de energievraag van huidige sites

In tabel 1.H is het overzicht gegeven van de meegenomen mogelijke veranderingen van productiecapaciteit van huidige sites. De meegenomen data zijn gebaseerd op expert opinion.

Tabel 1.H: Aannames over mogelijke veranderingen in productiecapaciteit van huidige sites binnen het HIC

Site	Mogelijke verandering
Koch	Uitfaseren in periode tussen 2025 – 2030
BP	Indien geïnvesteerd wordt in hydrocracker capaciteit, dan geen uitfaseer optie voor BP. Indien niet geïnvesteerd wordt in hydrocracker capaciteit, dan uitfaseren in de periode tussen 2028 – 2050
Gunvor	Uitfaseren in periode tussen 2025 – 2030
Neste	Geen verandering OF 2% groei vanaf 2030 OF 2% krimp vanaf 2030

Nieuwe synthetische brandstofproductie uit 'CO₂ uit lucht'

Voor de productie van synthetische brandstoffen gebaseerd op CO₂ uit lucht als koolstofbron, is aangenomen dat er maximaal 5 fabrieken in het HIC gevestigd kunnen worden. Vanaf 2032 kan om het jaar een fabriek worden gevestigd in het HIC. Er is aangenomen dat de productie van CO₂ uit lucht onderdeel uitmaakt van de synthetische brandstof fabriek. De fabrieken kunnen zowel op Maasvlakte of op Botlek gesitueerd worden.

De gebruikte databron voor de synthetische brandstofproductie fabriek is:
"Agora Verkehrswende, Agora Energiewende and Frontier Economics (2018): The Future Cost of Electricity-Based Synthetic Fuels."

Tabel 1.I: Specificatie van de model synthetische brandstoffabriek

Vloeibare brandstofproductie [PJ/jaar]	H ₂ vraag [GW]	Elektriciteitsvraag [GW]
100	4.3	1.8

Offshore windaanlanding

Tabel 1.J laat de aangenomen windaanlanding scenarioruimte zien die meegenomen is in het Windmaster model

Tabel 1.J: Scenarioruimte voor offshore windaanlanding in HIC

Windaanlanding locatie	Aanlandcapaciteit in 2030 [GW]	Aanlandcapaciteit in 2050 [GW]
380 kV Maasvlakte station	3	Tussen 3 - 13
380 kV Simonshaven station	2	Tussen 2 - 12

De groei van windcapaciteit in de periodes tussen 2020 en 2030 is m.b.v. een S-curve gefit. Hetzelfde is gedaan voor de periode tussen 2030 en 2050.

H₂ -markt Hinterland

Het volgende is aangenomen over de mogelijke H₂ -markt ontwikkeling in het Hinterland:

- Vanaf 2030 kan deze markt gaan groeien. In 2050 is deze markt tussen 30 en 172 GW groot. In het 30 GW vraag eindbeeld voor 2050 is o.a. aangenomen dat de productie van synthetische brandstoffen niet in Noord-West Europa plaatsvindt. In dit eindbeeld importeert Noord-West Europa deze brandstoffen. In het 172 GW energievraag eindbeeld, vindt de productie van synthetische brandstoffen voor de Noord-West Europese markt wel plaats in Noord-West Europa. Tevens is hierbij aangenomen dat 50% van de totale H₂ vraag in Noord-West Europa ingevuld wordt door levering van H₂ via de Rotterdamse haven.

Nieuwe Waterelektrolyse in HIC

Het volgende is aangenomen over de mogelijke nieuwe waterelektrolyse fabrieken in het HIC:

- De maximale totale capaciteit van nieuwe waterelektrolyse fabrieken in het HIC is 11 GW H₂ productiecapaciteit . Deze capaciteit kan worden opgebouwd in de periode vanaf 2028
- Een individuele waterelektrolyse fabriek heeft een H₂ productie capaciteit van 750 MW. De conversie efficiency van elektriciteit (feedstock) naar H₂ is 75% (aanname).
- Nieuwe plants kunnen zowel op de Maasvlakte als in de Botlek worden gevestigd.

Nieuwe SMR-CCS in HIC

Het volgende is aangenomen over de mogelijke nieuwe SMR-CCS fabrieken in het HIC:

- De maximale totale capaciteit van nieuwe SMR-CCS fabrieken in het HIC is 4 GW H₂ productiecapaciteit. Deze capaciteit kan worden opgebouwd in de periode van 2022 tot 2030
- Een individuele SMR-CCS plant heeft een H₂ productie capaciteit van 300 MW. De conversie efficiency van aardgas (feedstock) naar H₂ is 75% (aanname).
- Nieuwe fabrieken kunnen zowel op de Maasvlakte als in de Botlek worden gevestigd.

Aardgasvraag gebouwde omgeving Rotterdam

Aangenomen is dat de aardgasvraag van de gebouwde omgeving in Rotterdam en omstreken die gevoed wordt vanuit de GTS hoofd backbone die door het HIC loopt, wegvalt in de periode van 2030-2045.

Bijlage 1.2: Gedetailleerde uitleg ontwikkelde technisch gasinfrastructuur model

Aangenomen is dat er geen overcapaciteit in de huidige H₂ infrastructuur van Air Liquide en Air Products aanwezig is. Verder is aangenomen dat deze infrastructuren tot het einde van de simulatieperiode (2050) aanwezig zullen zijn en benut zullen worden voor H₂-transport.

Dit betekent dat binnen het model alleen de extra H₂ transportcapaciteit ten opzichte van de huidige situatie met een alternatieve H₂-infrastructuur zou moeten worden ingevuld. Extra H₂-transportcapaciteit kan worden verkregen door:

1. Het hergebruik van GTS-backbones die momenteel voor aardgastransport worden gebruikt
2. Nieuw aan te leggen H₂-backbones

Ad 1). Het industriecluster wordt gevoed door een hoofdbackbone voor aardgastransport die zich ter hoogte van Wijngaarden afsplitst van het hoofdaardgasnet van GTS. Deze hoofdbackbone heeft een transportcapaciteit van ca. 20 GW (zowel voor aardgas als voor H₂) en loopt door tot de westzijde van Maasvlakte. De totale lengte van deze backbone is ca. 70 km. Ter hoogte van Pernis splitst deze hoofdbackbone zich in twee zijtakken met verschillende lengte, beiden met een capaciteit van vier GW (zie bijlage 1.5).

Op de drie GTS-backbones zijn verschillende industriële partijen aangesloten. Naast deze partijen is de gebouwde omgeving van een deel van Rotterdam en omstreken aangesloten op de hoofdbackbone.

De verwachting is dat de aanwezige transportcapaciteit voor aardgas voldoende blijft in elke mogelijke toekomst. Dit betekent dat er geen noodzaak is voor het berekenen van de transportcapaciteitsbehoefte voor aardgas met het technisch model.

De backbones kunnen na modificatie in de toekomst ingezet worden voor H₂-transport. Een voorwaarde voor het beschikbaar zijn van een backbone voor H₂-transport is dat er geen aardgasklant meer op deze backbone is aangesloten.

Transitiepad scenario's

Tijdens de verkenning van transitiepaden zal afhankelijk van het betreffende scenario, een nieuwe H₂-transport capaciteitsvraag ontstaan als gevolg van mogelijke veranderingen in H₂ vraag en aanbod:

1. Nieuw H₂-aanbod aan de westzijde van Maasvlakte. Dit nieuwe H₂-aanbod kan bestaan uit zeezijdige H₂-import, H₂-productie op Maasvlakte via waterelektrolyse (groene waterstof) en/of H₂-productie op Maasvlakte via SMR-CCS (blauwe waterstof).
2. Nieuw H₂ aanbod in de Botlek door H₂-productie via waterelektrolyse en/of H₂-productie via SMR-CCS (blauwe waterstof).
3. Verandering in de H₂-vraag door het veranderen van huidige assets naar assets die gevoed worden door H₂ waarbij de functie van de conversie asset niet verandert. Een conversie asset is een installatie die (een) energiedrager(s) omzet in andere energiedragers. Een voorbeeld van dit type H₂-vraag verandering is het vervangen van een aardgas gestookte stoomketel door een H₂-gestookte stoomketel.
4. Verandering van de energievraag van verschillende sites binnen het industriecluster:
 - Groei of krimp van de productiecapaciteit van Neste
 - Het mogelijk uitfasen van Gunvor

- De mogelijke groei van BP door een investering in hydrocracking-capaciteit
 - Het mogelijk uitfasen van BP indien geen investering in hydrocracking-capaciteit plaatsvindt
5. Het bijplaatsen van synthetische brandstof fabrieken op basis van 'CO₂ uit lucht' waarbij aangenomen is dat CO₂-afvang uit lucht plaatsvindt op de site van de synthetische brandstof fabriek. Synthetische brandstof fabrieken kunnen zowel op de Maasvlakte en/of in de Botlek worden geplaatst.
 6. Nieuwe H₂ -vraag vanuit de markt in het hinterland. Deze markt kan bediend worden vanuit H₂-levering via de Rotterdamse haven. Om deze markt te bedienen zal voldoende H₂ transportcapaciteit aanwezig moeten zijn die H₂ vanuit de haven (invoedpunten Maasvlakte / Botlek) naar de Wijngaarden aansluiting op het hoofdgasnet van GTS kan transporteren.

In het Windmaster model is aangenomen dat de bestaande H₂-productie vanuit de vergasser van Shell en de brine elektrolyzer van Nouryon (chloorfabriek) t/m 2050 in operatie blijven (einde van de simulatieperiode). De bestaande H₂ productie-eenheden met SMR technologie zullen aangepast of vervangen worden tijdens een transitiepad. Het aanpassen gebeurt door het toepassen van CCS (blauwe H₂) en het vervangen gebeurt door het installeren van water elektrolysecapaciteit.

Bepaling van de H₂ transportcapaciteit behoefte

In een transitiepad scenario wordt de verandering van H₂-vraag en -aanbod gedurende de scenarioperiode (2020-2050) gedefinieerd. Dit leidt tot een additionele H₂-transportcapaciteitsbehoefte. Deze behoefte wordt voor 4 leidingsegmenten berekend (zie bijlage 1.6).

- **H₂ transportvraag a:** de benodigde H₂ transportcapaciteit in het Maasvlakte gebied
- **H₂ transportvraag b:** de benodigde H₂ transportcapaciteit in het Europoort gebied
- **H₂ transportvraag c:** de benodigde H₂ transportcapaciteit in het Botlek-Pernis gebied
- **H₂ transportvraag d:** de benodigde H₂ transportcapaciteit in het gebied tussen de oostzijde van Pernis en de Wijngaarden aansluiting op het hoofdgasnet van GTS

De in het model toegepaste methode voor het berekenen van capaciteitsknelpunten voor de leidingsegmenten is beschreven in bijlage 1.7.

Technische opties voor het oplossen van H₂ transportcapaciteit knelpunten

Tabel 1.K laat de verschillende opties zien die zijn meegenomen voor het oplossen van H₂-capaciteitsknelpunten.

Tabel 1.K: meegenomen opties voor het oplossen van H₂ capaciteitsknelpunten

Optie ID	Beschrijving	CAPEX [Meuro]
GTSgrid1H2	Hergebruik backbone 1 GTS: 20 GW, 70 km, segment a + b + c + d	11
GTSgrid2H2	Hergebruik backbone 2 GTS: 4 GW, 23 km, segment b + c	4
GTSgrid3H2	Hergebruik backbone 3 GTS: 4 GW, 7 km, segment c	1
GTSgrid3proactH2	Hergebruik backbone 3 GTS: 4 GW, 7 km, segment c	2
NewH2grid1a	Nieuwe H ₂ backbone: 20 GW, 3 km, segment a	9
NewH2grid1b	Nieuwe H ₂ backbone: 20 GW, 15 km, segment b	43
NewH2grid1c	Nieuwe H ₂ backbone: 20 GW, 10 km, segment c	29
NewH2grid1d	Nieuwe H ₂ backbone: 20 GW, 42 km, segment d	120
NewH2grid2	Nieuwe H ₂ backbone: 20 GW, 70 km, segment a+b+c+d	200
NewH2grid3	Nieuwe H ₂ backbone: 40 GW, 70 km, segment a+b+c+d	350

De in tabel 1.K genoemde opties vormen bouwstenen voor het oplossen van capaciteitsknelpunten. Er zijn meerdere denkbare oplossingen mogelijk voor het oplossen van een bepaald capaciteitsknelpunt:

- Het hergebruik van een leidingsegment van GTS, eventueel in combinatie met een of meerdere van de oplossingsbouwstenen voor het realiseren van nieuwe H₂ leidingsegmenten.
- De combinatie van kleine bouwstenen NewH2grid1a, NewH2grid1b, NewH2grid1c en NewH2grid1d
- Het kiezen voor een nieuwe backbone die alle segmenten bestrijkt (a+b+c+d), eventueel in combinatie met het hergebruik van leidingen en het kiezen voor een of meerdere kleine bouwstenen NewH2grid1a, NewH2grid1b, NewH2grid1c en NewH2grid1d.

Voor een bepaald capaciteitsknelpunt kunnen dus verschillende oplossingssets van investeringen worden bedacht. Deze oplossingssets hebben een bepaalde CAPEX en leiden tot een bepaalde overcapaciteit in verschillende leidingsegmenten. Het technisch model berekent een aantal oplossingssets van investeringen. De infrabeheerder in het investeringsgedragsmodel kiest vervolgens, afhankelijk van het investeringsbeleid, welke oplossingsset gerealiseerd moet worden.

De opties GTSgrid1, GTSgrid2 en GTSgrid3 zijn alleen beschikbaar indien er geen aardgasverbruiker meer op deze backbone is aangesloten.

De optie GTSgrid3proactH2 kan vanaf het begin van de simulatieperiode worden ingezet bij investeringsbeleidsopties 'proactief' en 'collaboratief' (zie bijlage 1.4). Hierin wordt verondersteld dat GTS-backbone 3 proactief beschikbaar gemaakt wordt voor H₂-transport. Dit kan bewerkstelligd worden door bestaande aardgasklanten op een andere GTS-backbone aan te sluiten of door te stimuleren dat de huidige op deze backbone aangesloten industriële klanten overstappen van aardgas naar een andere energiebron.

Bijlage 1.11 laat per bouwsteen voor het oplossen van capaciteitsknelpunten de realisatietijden zien waarmee rekening is gehouden in het model. Deze realisatietijden zijn afhankelijk van het investeringsbeleid waaronder infrabeheerders opereren.

Bijlage 1.3: Gedetailleerde uitleg ontwikkelde technisch elektriciteitsinfrastructuur model

De huidige elektriciteitsvraag van de energie-intensieve industrie in Rotterdam wordt ingevuld door elektriciteitslevering vanuit meerdere bronnen. Een deel van deze elektriciteitsproductie-eenheden bevinden zich op de sites van de bedrijven. De hiermee geproduceerde elektriciteit wordt direct aan consumenten op de sites geleverd. Indien de elektriciteitsproductie groter is dan de elektriciteitsvraag op de site, wordt de overtollige elektriciteit ingevoed op het elektriciteitsnet.

Een ander deel van de elektriciteitsproductie-eenheden bevindt zich op bedrijfsterreinen die enkel als functie hebben om *utilities* te produceren. Deze elektriciteitsproductie-eenheden voeden het elektriciteitsnet. Daarnaast kan elektriciteit, afkomstig van elektriciteitsproductie-eenheden buiten het industriecluster via het elektriciteitsnet aan het industriecluster geleverd worden.

In bijlagen 1.12 t/m 1.15 is de gebruikte topologie van het elektriciteitsnet dat binnen de scope van het Windmaster model valt weergegeven. De gebruikte topologie van het elektriciteitsnet is afgeleid vanuit openbare bron (*via <https://www.hoogspanningsnet.com/netkaart/algemeen>*). Voor het doel van het project is dit voldoende. Wanneer besloten wordt om het model robuuster te maken en voor daadwerkelijke besluitvormingsondersteuning in te zetten, dan ligt het voor de hand om de actuele topologie van het elektriciteitsnet binnen het model te gebruiken.

Topologie 380 kV-net

Bijlage 1.12 geeft de topologie van het 380 kV-net weer. Het beschouwde 380 kV-net heeft een vermaasde structuur.

Op station 380 kV Maasvlakte wordt elektriciteit ingevoed afkomstig van de MPP3 (Uniper) en Engie kolencentrales. Daarnaast voedt de Enecogen gascentrale ook in op dit station. Een deel van de offshore windproductie zal ingevoed worden op dit station. De BritNed verbinding is ook aangesloten op dit station. Via deze verbinding kan elektriciteit uitgewisseld worden met het Verenigd Koninkrijk. Het 380 kV Maasvlakte station is via lijnverbindingen verbonden aan de 380 kV-stations Simonshaven en Bleiswijk. Daarnaast is het station verbonden met het 150 kV-station Maasvlakte.

Op station 380 kV Simonshaven wordt elektriciteit ingevoed afkomstig van de Maasstroom gascentrale. Een deel van de offshore-windproductie zal ingevoed worden op dit station. Het 380 kV Simonshaven station is via lijnverbindingen verbonden aan de 380kV-stations Maasvlakte en Krimpen. Daarnaast is het station verbonden met het 150kV-station Botlek.

380 kV-station Bleiswijk is verbonden met 380 kV-stations Maasvlakte en Simonshaven. Daarnaast is dit station verbonden met het virtuele knooppunt 'import vanuit de rest van NL'. Via dit virtuele knooppunt vindt de uitwisseling van elektriciteit plaats met de rest van het TenneT 380kV-net.

380 kV station Krimpen is verbonden met 380 kV-stations Bleiswijk en Simonshaven. Daarnaast is dit station verbonden met het virtuele knooppunt 'import vanuit de rest van NL'. Tevens is dit station verbonden aan het 150 kV-station Waalhaven.

Per 380 kV-station kunnen verschillende veldtypes onderscheiden worden:

1. Generatieveld: verbindt het station met een elektriciteitsproductie-eenheid

2. Lijnveld: verbindt het station met een 380 kV-lijn die verbonden is met een lijnveld van een ander 380 kV-station
3. Transformatorveld: verbindt het station met het onderliggende 150 kV-station
4. Klantveld: verbindt het station met een individuele site met een netto piekvraag > 300 MW

In het Windmaster model zijn de benodigde stations-gerelateerde investeringen (velden, nieuwe stations) buiten beschouwing gelaten vanwege tijdsgebrek. De investeringsdynamiek van verbindingen is daarentegen wel meegenomen.

Topologie 150 kV-net

In bijlagen 1.13 en 1.14 is de topologie van het beschouwde 150 kV-net weergegeven. De 150 kV-stations Maasvlakte, Botlek en Waalhaven zijn verbonden met het bovenliggende 380 kV-net. Op verschillende 150 kV-stations wordt elektriciteit ingevoerd vanuit elektriciteitsproductie eenheden. Daarnaast zijn de Stedin stations aangesloten op de 150 kV-stations, evenals een aantal relatief grote klanten.

Voor 150 kV-stations kunnen dezelfde veldtypes onderscheiden worden als voor 380 kV-stations. Ook voor het 150 kV-net is in het huidige Windmaster model alleen naar de investeringsdynamiek van de verbindingen gekeken en niet naar de stations-gerelateerde investeringsdynamiek (velden, nieuwe stations).

Topologie Stedin-net (66, 25, 23, 10 kV)

In bijlagen 1.13 en 1.14 zijn de 'Stedin'-stations weergegeven binnen de topologie van het 150 kV-net. Bijlage 1.15 laat de klantaansluitingen zien op de verschillende Stedin-stations.

N.B. Deze klantverbindingen zijn afgeleid van een openbare bron (via <https://www.hoogspanningsnet.com/netkaart/algemeen>). Een individuele klant kan in de praktijk daadwerkelijk op een ander Stedin station aangesloten zijn.

Transitiepad scenario's

Tijdens de verkenning van transitiepaden zal afhankelijk van het betreffende scenario, een nieuwe elektriciteit transport capaciteitsvraag ontstaan als gevolg van mogelijke veranderingen in elektriciteitsvraag en -aanbod:

1. Nieuw elektriciteitsaanbod op 380 kV-stations Maasvlakte en Simonshaven door additionele aanlanding van offshore-wind.
2. Verdwijnen van elektriciteitsaanbod op 380 kV-station Maasvlakte door het eventueel sluiten van één of beide kolencentrales van Uniper of Engie. Indien deze kolencentrales naar biomassa omschakelen zal de het elektriciteitsaanbod op station Maasvlakte blijven.
3. Verandering in de elektriciteitsvraag door het veranderen van huidige conversie assets naar conversie assets die gevoed worden door elektriciteit waarbij de functie van de conversie asset niet verandert. Een voorbeeld hiervan is het vervangen van een aardgas gestookte stoomketel door een E-boiler.
4. Verandering van de energievraag van verschillende sites binnen het industriecluster:
 - Groei of krimp van productiecapaciteit van Neste
 - Mogelijk uitfasen van Gunvor
 - Mogelijk uitfasen van BP indien geen investering in hydrocracking-capaciteit plaatsvindt
5. Het bijplaatsen van synthetische brandstoffabrieken op basis van 'CO₂ uit lucht' waarbij aangenomen is dat de CO₂-afvang uit lucht plaatsvindt binnen de synthetische

brandstoffabriek. Synthetische brandstoffabrieken kunnen zowel op Maasvlakte en/of op Botlek worden geplaatst. Het plaatsen van een synthetische brandstof fabriek heeft een groei van de elektriciteitsvraag op 380 kV-station Maasvlakte of Simonshaven tot gevolg. Dit is afhankelijk van de locatie waar de fabriek geplaatst wordt. Plaatsing op Maasvlakte leidt tot groei van de elektriciteitsvraag op het 380 kV-station Maasvlakte; plaatsing op Botlek leidt tot groei van de elektriciteitsvraag op 380 kV-station Simonshaven.

6. Plaatsing van water elektrolysecapaciteit. Deze capaciteit kan bijgebouwd worden ter vervanging van bestaande SMR-fabrieken of als additionele H₂ productiecapaciteit op zowel op de Maasvlakte als in de Botlek. Nieuwe waterelektrolysecapaciteit op Maasvlakte zal tot additionele elektriciteitsvraag leiden op 380 kV-station Maasvlakte. Nieuwe capaciteit in de Botlek leidt tot extra elektriciteitsvraag op 380 kV-station Simonshaven.

De elektriciteitsvermogensbalans wordt gesloten middels het virtueel 380 kV-knooppunt 'import vanuit de rest van NL'. Het kan zo zijn dat overschotten elektriciteit geëxporteerd worden van het HIC naar de rest van Nederland.

Bepaling van de elektriciteit transportcapaciteit behoefte

De volgende informatie is randvoorwaardelijk voor het kunnen bepalen van capaciteitsknelpunten in het elektriciteitsnet:

1. De maximale elektriciteitsvraag en -aanbod van individuele afnemers en invoeders die op het beschouwde elektriciteitsnet zijn aangesloten
2. De mogelijke operationele toestanden van het elektriciteitssysteem als gevolg van door de tijd heen variërend vraag – en aanbod van individuele afnemers en invoeders

Ad 1) de startsituatie in combinatie met de mogelijke veranderingen in vraag en aanbod van elektriciteit vanuit Exploratory Modeling levert per transitiepad deze gewenste informatie op

Ad 2) idealiter worden de mogelijke operationele toestanden van het elektriciteitssysteem op uurbasis gesimuleerd om de gedurende een jaar mogelijk te verwachten capaciteitsknelpunten in het elektriciteitsnet in beeld te brengen. Een situatie waarbij gebruik wordt gemaakt van de maximale windaanlanding capaciteit in het industrieel cluster leidt bijvoorbeeld tot een andere transportcapaciteit behoefte in het netwerk in vergelijking met een situatie waarbij er geen elektriciteit op het elektriciteitsnet wordt ingevoerd via de windaanlandingsverbinding.

In het Windmaster model wordt slechts één operationele toestand per jaar per scenario berekend. Deze operationele toestand wordt als maatgevend voor de capaciteitsbehoefte in het elektriciteitsnet verondersteld. Voor de PoC is dit voldoende. Echter, om het model daadwerkelijk te kunnen gebruiken als besluitvormingsondersteunend gereedschap is het noodzakelijk om meerdere operationele toestanden voor het elektriciteitssysteem door te kunnen rekenen.

Operationele toestanden

De operationele toestand die in het huidige model gebruikt is als maatgevend voor de capaciteitsknelpunt berekeningen gaat uit van de volgende operationele toestanden van groepen van individuele afnemers en invoeders:

- De maximale netto piekvraagcapaciteit van afnemers (sites). Deze netto piekcapaciteit wordt berekend door de maximale productiecapaciteit op een site af te trekken van de maximale piekvraag van deze site. Op veel sites is geen elektriciteitsproductie eenheid aanwezig zodat daar de netto piekvraag capaciteit gelijk is aan de piekvraag capaciteit.

- Maximale elektriciteitsproductie van kolen-/biomassacentrales (Uniper, Engie)
- Geen elektriciteitsproductie van gascentrales (Enecogen, Maasstroom, Rijnmond)
- Maximale capaciteit van offshore wind invoeding op 380 kV stations Maasvlakte en Simonshaven
- Ofwel maximale invoeding vanuit BritNed (1 GW) ofwel maximale afname via BritNed (1 GW), afhankelijk van het scenario.
- De import vanuit de rest van NL volgt vervolgens uit de elektriciteitsbalans waarbij met het volgende rekening is gehouden:
 - De piekvraagcapaciteit op een 'Stedin-station' is de som van de netto piekvraagcapaciteit van afnemers vermenigvuldigd met de gelijktijdigheidsfactor van 0.8.
 - De piekcapaciteit op een TenneT-station is berekend vanuit de elektriciteitsbalans per knooppunt waarbij een gelijktijdigheidsfactor van 1 is aangenomen.

De toegepaste methodiek voor het bepalen van de elektriciteit transportcapaciteit behoefte is beschreven in bijlage 1.16.

Technische opties voor het oplossen van elektriciteitstransport capaciteitsknelpunten

Voor het oplossen van capaciteitsknelpunten zijn bouwstenen voor capaciteitsuitbreidingsinvesteringen gedefinieerd. In de modellering is aangenomen dat de topologie van het elektriciteitsnet constant blijft gedurende de gehele simulatieperiode. Tabel 1.L laat de gebruikte investeringsbouwstenen zien.

Tabel 1.L: bouwstenen voor uitbreidingsinvesteringen binnen het elektriciteitsnet

Optie ID	Capaciteit per bouwsteen [MW]	CAPEX per bouwsteen [Meuro]
Station_Stedin_extension	80	5
150kVgrid4	110	36
150kVgrid5	110	54
150kVgrid6	110	12
150kVgrid7	110	12
150kVgrid8	110	21
150kVgrid9	110	30
150kVgrid10	110	39
380kVgrid1	880	245
380kVgrid2	880	90
380kVgrid3	880	290
380kVgrid4	880	115

ID Station_Stedin_extension is de standaard bouwsteen die wordt gebruikt voor het uitbreiden van een 'Stedin station'.

Bij de bepaling van de additionele capaciteit voor bouwstenen 150kVgrid4 t/m 150kVgrid10 en 380kVgrid1 t/m 380kVgrid4 is rekening gehouden met een factor van 0.35 waarmee de actuele capaciteit van een toegevoegde verbinding wordt vermenigvuldigd. Dit om rekening te houden met de N-1 situatie en de hoeveelheid reservevelden die aangehouden worden bij het ontwerp van het elektriciteitsnet.

Bijlage 1.4: Gedetailleerde uitleg ontwikkelde gedragsmodel (Agent Based Model)

In het gedragsmodel zijn 4 agenten aangemaakt die de volgende infrabeheerders representeren:

- TenneT
- GTS
- Stedin
- Haven-infrabeheerder

TenneT, GTS en Stedin beheren hun huidige netwerken. Tevens is in dit model aangenomen dat GTS toekomstige nieuwe H₂-netwerken in het HIC beheert. De Haven-infrabeheerder is een verzonden infrabeheerder die bestaat uit een samensmelting van de huidige organisaties TenneT, GTS, Stedin, Havenbedrijf Rotterdam en de provincie Zuid-Holland. Deze infrabeheerder beheert alle beschouwde infrastructuur in het HIC.

In het gedragsmodel zijn de agenten zo gedefinieerd dat ze het strategisch netplanningsproces kunnen uitvoeren waarbij ze per investeringsbeleid ander gedrag vertonen. De agenten hebben de volgende karakteristieken:

- Ze willen een bepaalde tijd vooruit kijken om potentiële gebeurtenissen die impact hebben op de door hen beheerde infrastructuur te kunnen signaleren.
- Ze hebben een jaarlijks investeringsbudget dat ze uit kunnen geven aan uitbreidingsinvesteringen om capaciteitsknelpunten (al dan niet tijdig) op te kunnen lossen.
- Ze zijn geneigd om al dan niet te sparen voor grote uitbreidingsinvesteringsopgaven in de toekomst
- Ze streven een bepaald investeringsdoel na. Bijvoorbeeld het realiseren van zoveel mogelijk overcapaciteit om voorbereid te zijn op in de toekomst mogelijk grote groei in benodigde transportcapaciteit
- Ze werken al dan niet actief samen met de omgeving om realisatietijden van infrastructuur uitbreiding te verkorten.
- Ze nemen bepaalde uitbreidingsinvesteringen in ogenschouw als mogelijke oplossing voor capaciteitsknelpunten

Per investeringsbeleidsoptie variëren de karakteristieken van de gedefinieerde agenten. Dit leidt tot andere netplanningsgedrag en dus een andere strategische netplanning per investeringsbeleidsoptie.

De volgende beleidsopties zijn gedefinieerd: 'reactief', 'huidig', 'proactief' en 'collaboratief'. De beleidsopties 'reactief', 'huidig' en 'proactief' zijn van toepassing op de individuele infrabedrijven TenneT, GTS en Stedin. De beleidsoptie 'collaboratief' is alleen van toepassing op de Haven-infrabeheerder.

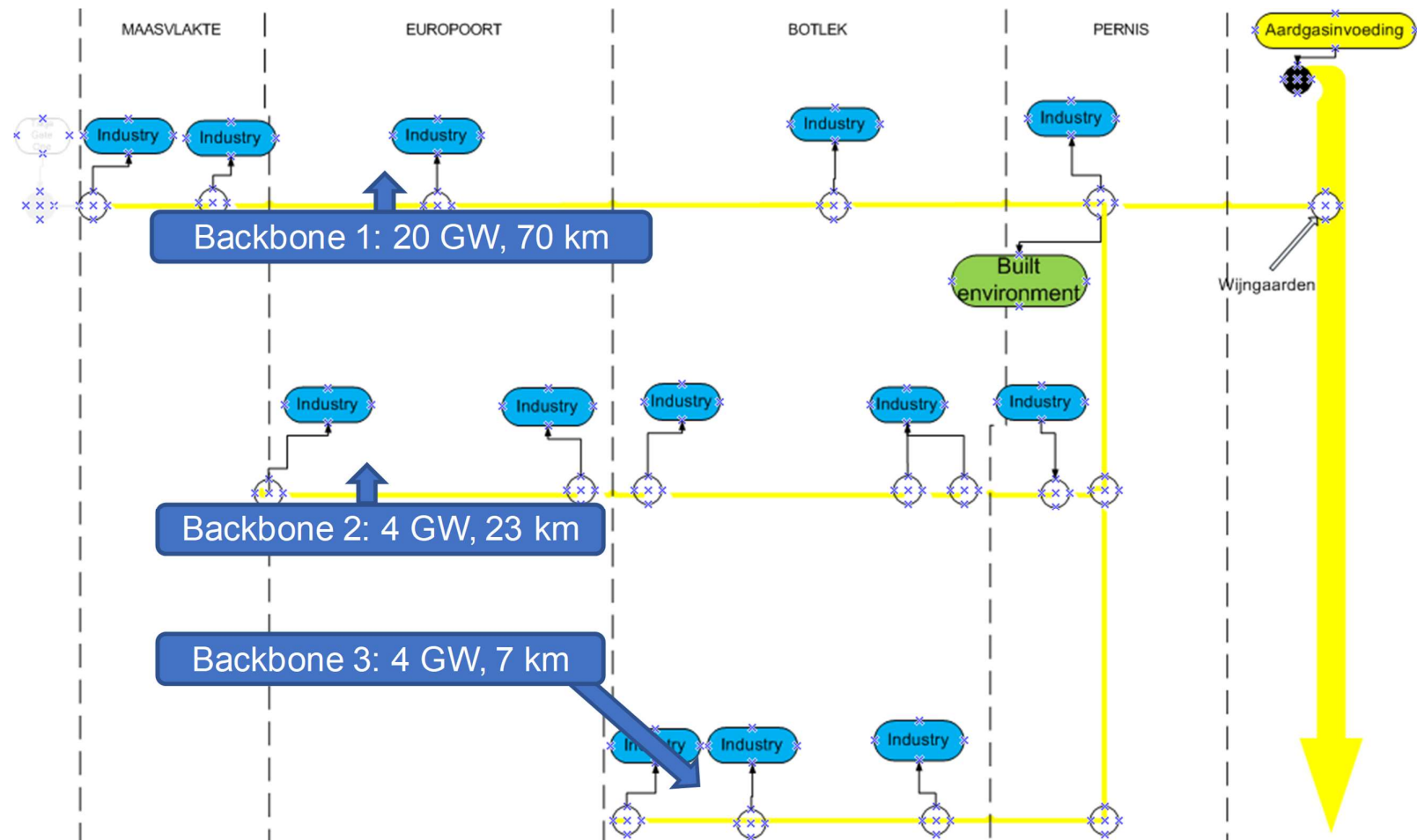
Tabel 1.M vat per beleidsoptie de gehanteerde karakteristieken van de gedefinieerde agenten samen.

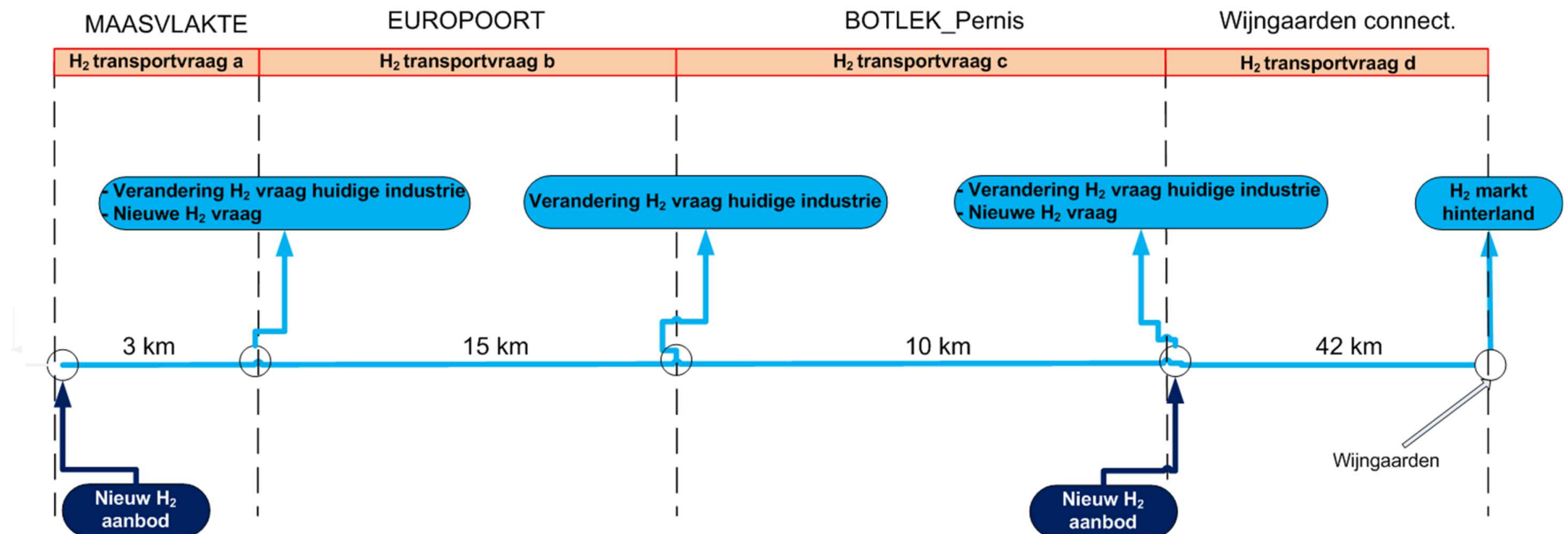
Een aantal grote uitbreidingsinvesteringen wordt alleen beschouwd bij proactief en collaboratief beleid. Dit zijn de investeringen in een 40 GW nieuwe H₂ backbone in het HIC en het proactief vrijspelen van een vier GW aardgasbackbone voor H₂ transport in het HIC.

Tabel 1.M: samenvatting van de agent-karakteristieken per beleidsoptie

Beleids optie 'Reactief'				
	TenneT	GTS	Stedin	Haveninfrabeheerder
Tijdshorizon: aantal jaren vooruit kijken bij netplanning	0	0	0	n.v.t.
Jaarlijks nieuw CAPEX budget [Meuro/j]	50	50	3	n.v.t.
Investeringsvoorkeur	Realisatie van kleinste overcapaciteit	Realisatie van kleinste overcapaciteit	Realisatie van kleinste overcapaciteit	n.v.t.
Mogelijkheid tot sparen?	Nee	Nee	Nee	n.v.t.
Beleids optie 'Huidig'				
	TenneT	GTS	Stedin	Haveninfrabeheerder
Tijdshorizon: aantal jaren vooruit kijken bij netplanning	10	10	3	n.v.t.
Jaarlijks nieuw CAPEX budget [Meuro/j]	100	100	5	n.v.t.
Investeringsvoorkeur	Zoveel mogelijk klanten tevreden stellen (gezien tijdshorizon)	Zoveel mogelijk klanten tevreden stellen (gezien tijdshorizon)	Zoveel mogelijk klanten tevreden stellen (gezien tijdshorizon)	n.v.t.
Mogelijkheid tot sparen?	Ja	Ja	Ja	n.v.t.
Beleids optie 'Proactief'				
	TenneT	GTS	Stedin	Haveninfrabeheerder
Tijdshorizon: aantal jaren vooruit kijken bij netplanning	20	20	10	n.v.t.
Jaarlijks nieuw CAPEX budget [Meuro/j]	150	150	8	n.v.t.
Investeringsvoorkeur	Realisatie van grootste overcapaciteit	Realisatie van grootste overcapaciteit	Realisatie van grootste overcapaciteit	n.v.t.
Mogelijkheid tot sparen?	Ja	Ja	Ja	n.v.t.
Beleids optie 'Collaboratief'				
	TenneT	GTS	Stedin	Haveninfrabeheerder
Tijdshorizon: aantal jaren vooruit kijken bij netplanning	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	20
Jaarlijks nieuw CAPEX budget [Meuro/j]	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	411
Investeringsvoorkeur	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	Zo snel mogelijk transportcapaciteit creëren
Mogelijkheid tot sparen?	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	Ja

Bijlage 1.5: Topologie van huidige GTS aardgasnet binnen HIC



Bijlage 1.6: Schematische weergave netwerk t.b.v. H₂ transportcapaciteit bepaling

Bijlage 1.7: Berekening H₂ transportcapaciteit

Bijlage 1.6 geeft een schematische weergave van het netwerk dat gebruikt is voor de berekening van de H₂ transportcapaciteitsbehoefte.

Berekening 'H₂ transportvraag a'

'H₂ transportvraag a' (in MW) is gelijk aan de totale H₂-aanbodscapaciteit die aan de oostkant van Maasvlakte beschikbaar is. In formulevorm:

H₂-transportvraag a = nieuw H₂-aanbod op Maasvlakte (verg. 1),

waarbij 'nieuw H₂-aanbod op Maasvlakte' gelijk is aan het totaal van nieuw gecreëerde SMR-CCS capaciteit, water elektrolyse capaciteit en H₂-importcapaciteit.

Berekening 'H₂ transportvraag b'

De H₂-transportvraag b (in MW) kan als volgt worden berekend (verg. 2):

ALS (verandering van huidige H₂ vraag b + nieuwe H₂ vraag b) > nieuw H₂ aanbod op Maasvlakte,

DAN

H₂ transportvraag b = nieuw H₂ aanbod op Botlek – H₂ markt hinterland – verandering van huidige H₂ vraag d – nieuwe H₂ vraag d – verandering van huidige H₂ vraag c,

ANDERS

ALS (verandering van huidige H₂ vraag b + nieuwe H₂ vraag b) = nieuw H₂ aanbod op Maasvlakte,

DAN

H₂ transportvraag b = 0,

ANDERS

ALS (verandering van huidige H₂ vraag b + nieuwe H₂ vraag b) < nieuw H₂ aanbod op Maasvlakte,

DAN

H₂ transportvraag b = nieuw H₂ aanbod op Maasvlakte – verandering van huidige H₂ vraag b – nieuwe H₂ vraag b

In bijlage 1.8 is aangegeven welke conversie assets uit de dataset beschouwd moeten worden voor de berekening van 'verandering van huidige H₂ vraag b'. Per conversie asset wordt het verschil van de H₂ vraag in een bepaald jaar vergeleken met de initiële H₂ vraag in 2020. De 'verandering van huidige H₂ vraag b' wordt vervolgens berekend door de individuele verschillen van conversie assets te sommeren.

De 'nieuwe H₂ vraag b' is de H₂-vraag van synthetische brandstof fabrieken die op Maasvlakte worden gesticht (afhankelijk van het scenario). Het 'nieuwe H₂-aanbod op Maasvlakte' is de totale waterstofproductiecapaciteit die gecreëerd wordt op Maasvlakte. Deze bestaat uit de som van productiecapaciteit van geïnstalleerde SMR-CCS eenheden, water elektrolyse eenheden en zeezijdige H₂ -import.

'H₂ markt hinterland' is de marktvraag in het achterland die bediend kan worden met H₂ aanbod vanuit de haven van Rotterdam welke in het hoofdnet van GTS wordt ingevoerd.

'H₂ transportvraag c'

'H₂ transportvraag c' (in MW) wordt berekend volgens de volgende vergelijking (verg. 3):

ALS (H₂-markt hinterland + verandering huidige H₂-vraag d + nieuwe H₂-vraag d) > nieuw H₂-aanbod op Botlek,

DAN

H₂-transportvraag c = nieuw H₂-aanbod op Maasvlakte – verandering huidige H₂-vraag b – nieuwe H₂-vraag b – verandering huidige H₂-vraag c,

ANDERS

ALS (H₂-markt hinterland + verandering huidige H₂-vraag d + nieuwe H₂-vraag d) = nieuw H₂-aanbod op Botlek,

DAN

H₂ transportvraag c = 0,

ANDERS

ALS (H₂-markt hinterland + verandering huidige H₂-vraag d + nieuwe H₂-vraag d) < nieuw H₂-aanbod op Botlek,

DAN

H₂-transportvraag c = nieuw H₂-aanbod op Botlek – verandering huidige H₂-vraag d – nieuwe H₂-vraag d – H₂-markt hinterland

In bijlage 1.9 staan de conversie assets die beschouwd zijn voor de berekening van 'verandering van huidige H₂-vraag c'.

Per conversie asset wordt het verschil van de H₂-vraag in een bepaald jaar vergeleken met de initiële H₂-vraag in 2020. De 'verandering van huidige H₂ vraag c' wordt vervolgens berekend door de individuele verschillen van conversie assets te sommeren.

Het 'nieuw H₂-aanbod op Botlek' is de totale waterstofproductiecapaciteit die gecreëerd wordt op Botlek die bestaat uit de som van productiecapaciteit van geïnstalleerde SMR-CCS-eenheden en water elektrolyse-eenheden.

In bijlage 1.10 staan de conversie assets die beschouwd zijn voor de berekening van de 'verandering van huidige H₂-vraag d'. Per conversie asset wordt het verschil van de H₂ vraag in een bepaald jaar vergeleken met de initiële H₂ vraag in 2020. De 'verandering van huidige H₂-vraag d' wordt vervolgens berekend door de individuele verschillen van conversie assets te sommeren.

'H₂-transportvraag d'

De 'H₂-transportvraag d' is gelijk aan de H₂ marktvraag hinterland.

Bepaling van H₂-transportcapaciteit knelpunten

Per leidingsegment wordt de grootte van het transportcapaciteit knelpunt als volgt berekend:

H₂ transportcapaciteit knelpunt a = H₂-transportvraag a – geïnstalleerde transportcapaciteit a (verg.4),

'waarbij geïnstalleerde transportcapaciteit a' de transportcapaciteit is van backbones in het Maasvlakte gebied. Deze geïnstalleerde capaciteit is de som van parallel geïnstalleerde backbones die dit traject overspannen. Indien de berekende waarde voor 'H₂ transportcapaciteit knelpunt a' positief is, dan is er daadwerkelijk sprake van een capaciteitsknelpunt. Indien deze waarde negatief is, dan is er nog voldoende transportcapaciteit in het leidingsegment beschikbaar om de transportvraag te accommoderen.

Op analoge wijze worden 'H₂-transportcapaciteit knelpunt b', 'H₂-transportcapaciteit knelpunt c' en 'H₂-transportcapaciteit knelpunt d' berekend (verg. 5 t/m 7):

H₂-transportcapaciteit knelpunt b = H₂-transportvraag b – geïnstalleerde transportcapaciteit b (verg.5),

H₂-transportcapaciteit knelpunt c = H₂-transportvraag c – geïnstalleerde transportcapaciteit c (verg.6),

H₂-transportcapaciteit knelpunt d = H₂-transportvraag d – geïnstalleerde transportcapaciteit d (verg.7).

Bijlage 1.8: In dataset te beschouwen *conversion assets* voor de berekening van verandering van huidige H₂ transportvraag b

To be considered conversion assets for calculation of: ChangecurrentH2demandb					
		Conversion asset			
MV_B	Neste_MVB	D2	Demand_Neste MVB	AssetType	ChangecurrentH2demandb
MV_B	Bungeloders_MVB	C1	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandb
MV_B	Lyondell_MVB	C2	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandb
MV_B	Uniperucml_MVB	C4	Natgas_cogen	Cogen	ChangecurrentH2demandb
MV_B	Uniperucml_MVB	C5	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandb

Bijlage 1.9: In dataset te beschouwen *conversion assets* voor de berekening van verandering van huidige H₂ transportvraag c

To be considered conversion assets for calculation of: ChangecurrentH2demandc					
	Conversion asset				
Eur_A	BP_refinery_EurA	D4	Demand_BP_EurC		ChangecurrentH2demandc
Eur_A	BP_refinery_EurA	C7	Natgas_furnace	Furnace	ChangecurrentH2demandc
Eur_A	BP_refinery_EurA	C8	Refgas_furnaceBP	Furnace	ChangecurrentH2demandc
Eur_A	BP_refinery_EurA	C9	Petcoke_furnaceBP	Furnace	ChangecurrentH2demandc
Eur_A	BP_refinery_EurA	C10	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandc
Eur_A	BP_refinery_EurA	C11	Refgas_boilerBP	Boiler	ChangecurrentH2demandc
Eur_A	BP_refinery_EurA	C12	Petcoke_boilerBP	Boiler	ChangecurrentH2demandc
Eur_A	Enecogen_EurA	C13	Natgas_powergen	Powergen	ChangecurrentH2demandc
Eur_A	Indorama_EurA	C14	Natgas_cogen	Cogen	ChangecurrentH2demandc
Eur_A	ADM_EurA	C15	Natgas_cogen	Cogen	ChangecurrentH2demandc
Eur_A	ADM_EurA	C16	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandc
Eur_B	Gunvor_EurB	D7	Demand_Gunvor_EurB		ChangecurrentH2demandc
Eur_B	Gunvor_EurB	C17	Natgas_furnace	Furnace	ChangecurrentH2demandc
Eur_B	Gunvor_EurB	C18	Refgas_furnaceGunvor	Furnace	ChangecurrentH2demandc
Eur_B	Gunvor_EurB	C19	Petcoke_furnaceGunvor	Furnace	ChangecurrentH2demandc
Eur_B	Gunvor_EurB	C20	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandc
Eur_B	Gunvor_EurB	C21	Refgas_boilerGunvor	Boiler	ChangecurrentH2demandc
Eur_B	Gunvor_EurB	C22	Petcoke_boilerGunvor	Boiler	ChangecurrentH2demandc
Eur_C	Alco_Energy_EurC	C23	Natgas_cogen	Cogen	ChangecurrentH2demandc
Eur_C	Caldic_EurC	C24	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandc
Eur_C	Exxonmobil_EurC	C25	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandc
Eur_C	Koch_EurC	C26	Natgas_furnace	Furnace	ChangecurrentH2demandc
Eur_C	Koch_EurC	C27	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandc

Bijlage 1.10: In dataset te beschouwen *conversion assets* voor de berekening van huidige H₂ transportvraag

To be considered conversion assets for calculation of: ChangecurrentH2demandd					
	Conversion asset				
Bot_A	Ducor_BotA	C28	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandd
Bot_A	Air_Liquide_BotA	C29	Natgas_cogen_Enecl	Cogen	ChangecurrentH2demandd
Bot_A	Air_Liquide_BotA	C30	Natgas_cogen_Eurogen	Cogen	ChangecurrentH2demandd
Bot_A	Invista_BotA	C33	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandd
Bot_A	Almatis_BotA	C34	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandd
Bot_A	Climax_BotA	C35	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandd
Bot_A	Air_Products_BotA	C36	Natgas_cogen	Cogen	ChangecurrentH2demandd
Bot_A	Lyondell_BotA	C37	Natgas_cogen	Cogen	ChangecurrentH2demandd
Bot_A	Tronox_BotA	C39	Natgas_furnace	Furnace	ChangecurrentH2demandd
Bot_A	Cabot_BotA	C40	Resfuel_powergenCabot	Powergen_baseloadindust	ChangecurrentH2demandd
Bot_A	Cabot_BotA	C41	Resfuel_furnaceCabot	Furnace	ChangecurrentH2demandd
Bot_A	Cabot_BotA	C42	Natgas_furnace	Furnace	ChangecurrentH2demandd
Bot_A	EKC_BotA	C43	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandd
Bot_A	Nouryon_BotA	C44	Natgas_cogen	Cogen	ChangecurrentH2demandd
Bot_A	Nouryon_BotA	C45	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandd
Bot_A	Shinetsu_BotA	C47	Natgas_furnace	Furnace	ChangecurrentH2demandd
Bot_B	Exxonmobil_BotB	C50	Refgas_boilerExxonmobil	Boiler	ChangecurrentH2demandd
Bot_B	Exxonmobil_BotB	C51	Refgas_furnaceExxon	Furnace	ChangecurrentH2demandd
Bot_B	Exxonmobil_BotB	C52	Refgas_cogen Exxon	Cogen	ChangecurrentH2demandd
Bot_A	Hexion_BotA	C53	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandd
Bot_B	Aluchemie_BotB	C54	Natgas_furnace	Furnace	ChangecurrentH2demandd
Bot_B	Aluchemie_BotB	C55	Resfuel_furnaceAluchemie	Furnace	ChangecurrentH2demandd
Per	Cerexagri_Per	C56	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandd
Per	Arkema_Per	C57	Natgas_furnace	Furnace	ChangecurrentH2demandd
Per	Wilmar_Per	C58	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandd
Per	Hexion_Per	C59	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandd
Per	Maasstroom_Per	C60	Natgas_powergen	Powergen_flexible	ChangecurrentH2demandd
Per	Rijnmond_Per	C61	Natgas_powergen	Powergen_flexible	ChangecurrentH2demandd
Per	Shell_Per	C63	Refgas_cogen Pergen	Cogen	ChangecurrentH2demandd
Per	Shell_Per	C64	Petcoke_cogen Pergen	Cogen	ChangecurrentH2demandd
Per	Shell_Per	C66	Natgas_powergen	Powergen_baseloadindust	ChangecurrentH2demandd
Per	Shell_Per	C67	Refgas_powergen Shell	Powergen_baseloadindust	ChangecurrentH2demandd
Per	Shell_Per	C68	Petcoke_powergen Shell	Powergen_baseloadindust	ChangecurrentH2demandd
Per	Shell_Per	C69	Natgas_boiler	Boiler	ChangecurrentH2demandd
Per	Shell_Per	C70	Refgas_boilerShell	Boiler	ChangecurrentH2demandd
Per	Shell_Per	C71	Petcoke_boilerShell	Boiler	ChangecurrentH2demandd
Per	Shell_Per	C72	Natgas_furnace	Furnace	ChangecurrentH2demandd
Per	Shell_Per	C73	Refgas_furnaceShell	Furnace	ChangecurrentH2demandd
Per	Shell_Per	C74	Petcoke_furnaceShell	Furnace	ChangecurrentH2demandd

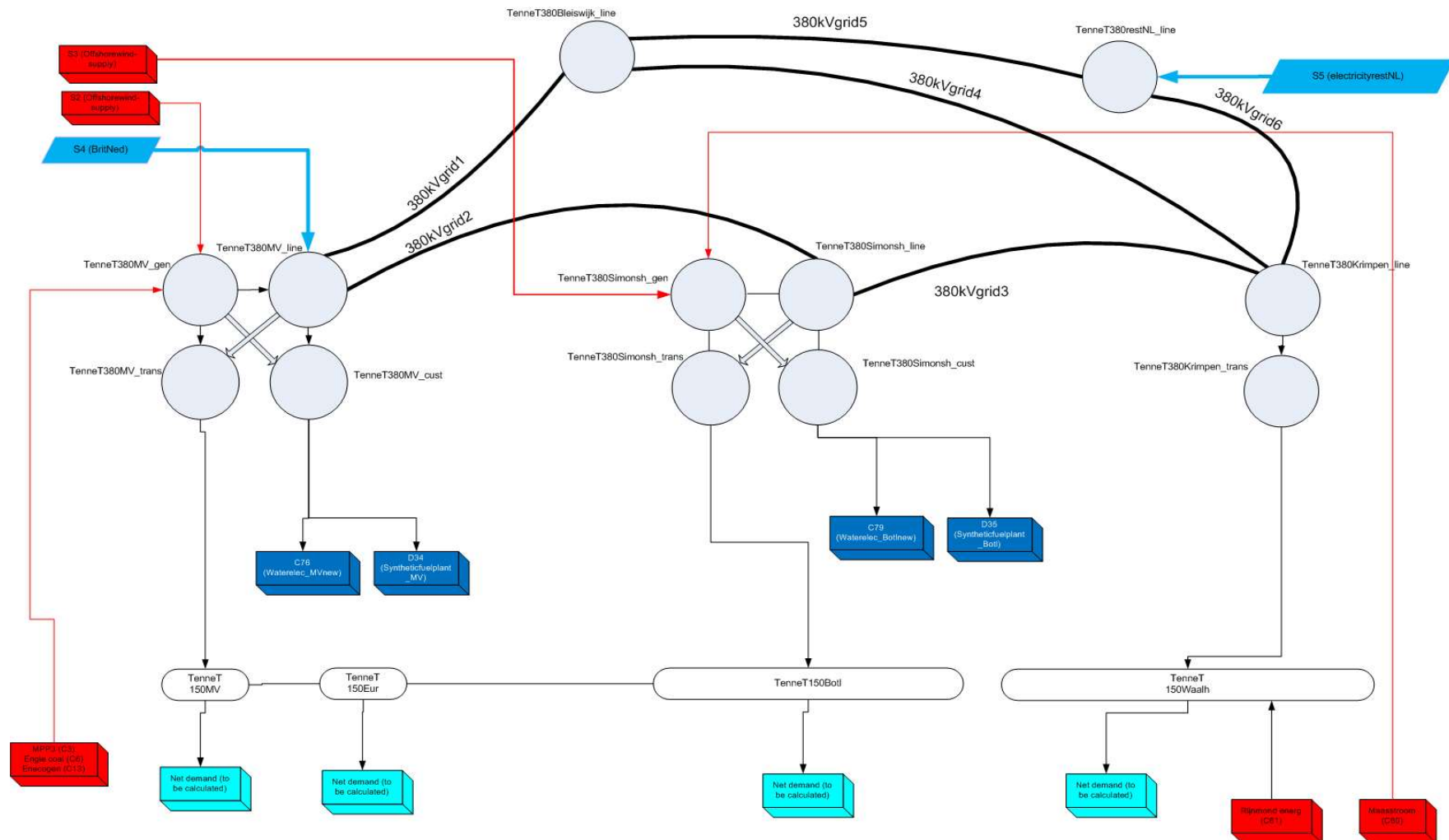
Bijlage 1.11: Realisatietijden voor transportcapaciteit bouwstenen

Realisatietijden per investeringsbeleid per investeringsbouwsteen [jaar]

Optie ID	Reactief	Huidig	Proactief	Collaboratief
GTSgrid1H2	3	3	2	2
GTSgrid2H2	2	2	2	2
GTSgrid3H2	2	2	2	2
GTSgrid3proactH2	0	0	3	2
NewH2grid1a	4	3	2	2
NewH2grid1b	5	4	3	2
NewH2grid1c	5	4	3	2
NewH2grid1d	6	5	4	3
NewH2grid2	8	7	6	4
NewH2grid3	0	0	8	5
Station_Stedin_extension	5	4	3	2
150kVgrid4	7	5	4	3
150kVgrid5	7	5	4	3
150kVgrid6	7	5	4	3
150kVgrid7	7	5	4	3
150kVgrid8	7	5	4	3
150kVgrid9	7	5	4	3
150kVgrid10	7	5	4	3
380kVgrid1	13	10	8	6
380kVgrid2	13	10	8	6
380kVgrid3	13	10	8	6
380kVgrid4	13	10	8	6

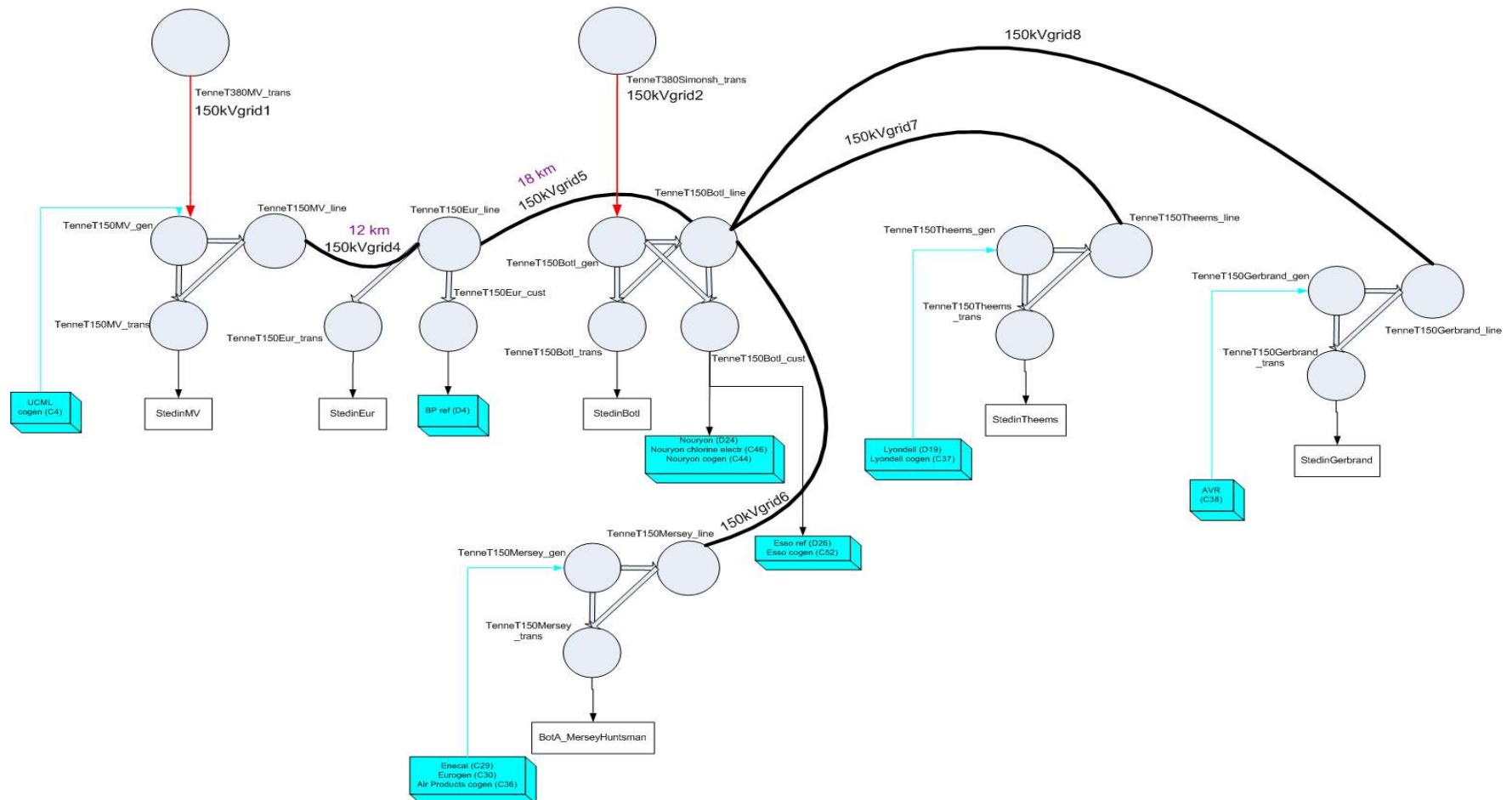
Bijlage 1.12: Topologie van het 380 kV-net

Grid topology 380kV stations TenneT380MV, TenneT380Simonsh, TenneT380Krimpen, TenneT380restNL



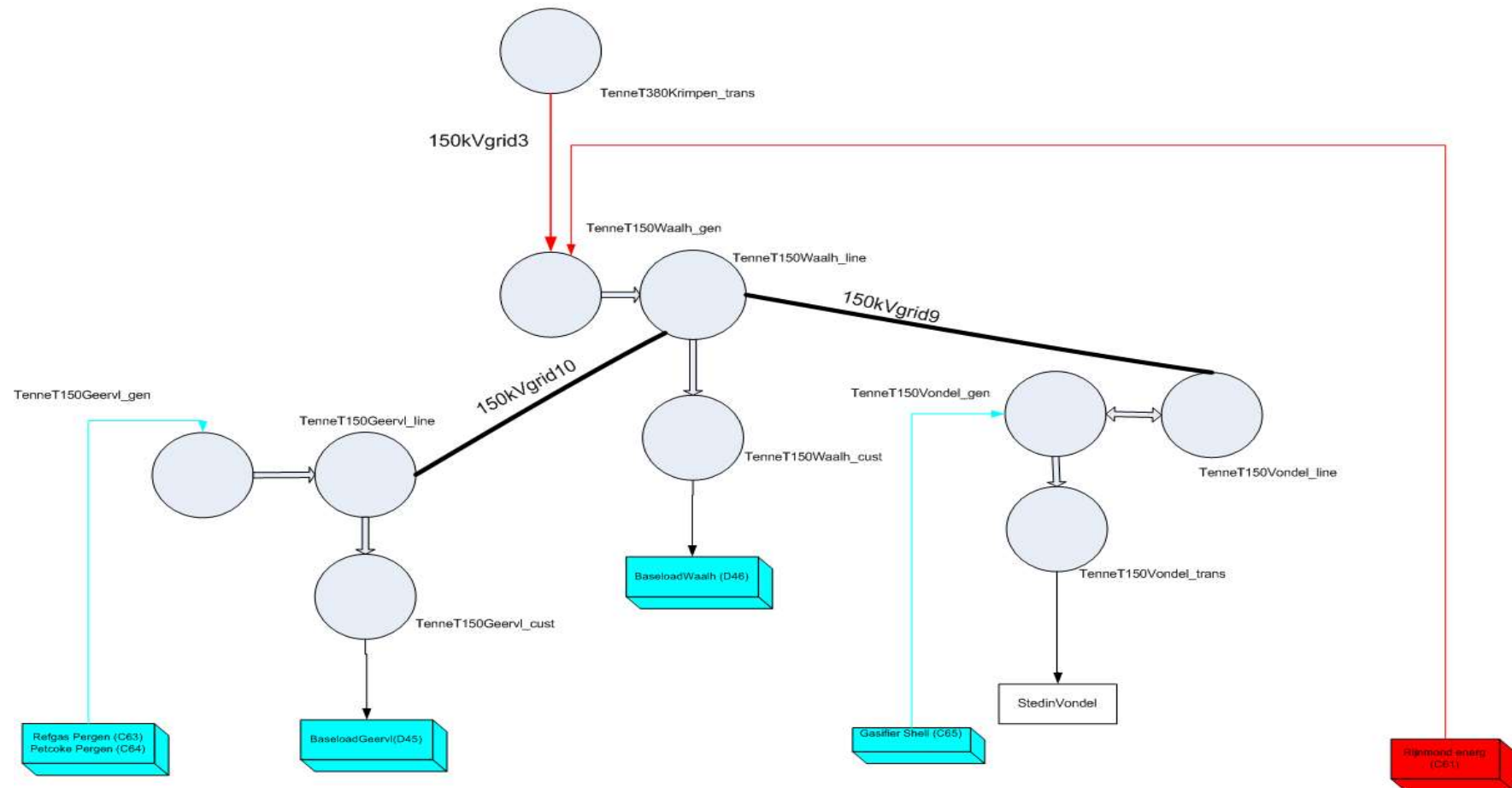
Bijlage 1.13: Topologie van het 150 kV-net met stations Maasvlakte, Europoort, Botlek, Merseyweg, Theemsweg en Gerbrandyweg

Grid topology 150kV stations TenneT150MV, TenneT150Eur, TenneT150Botl, TenneT150Mersey, TenneT150Theems, TenneT150Gerbrand



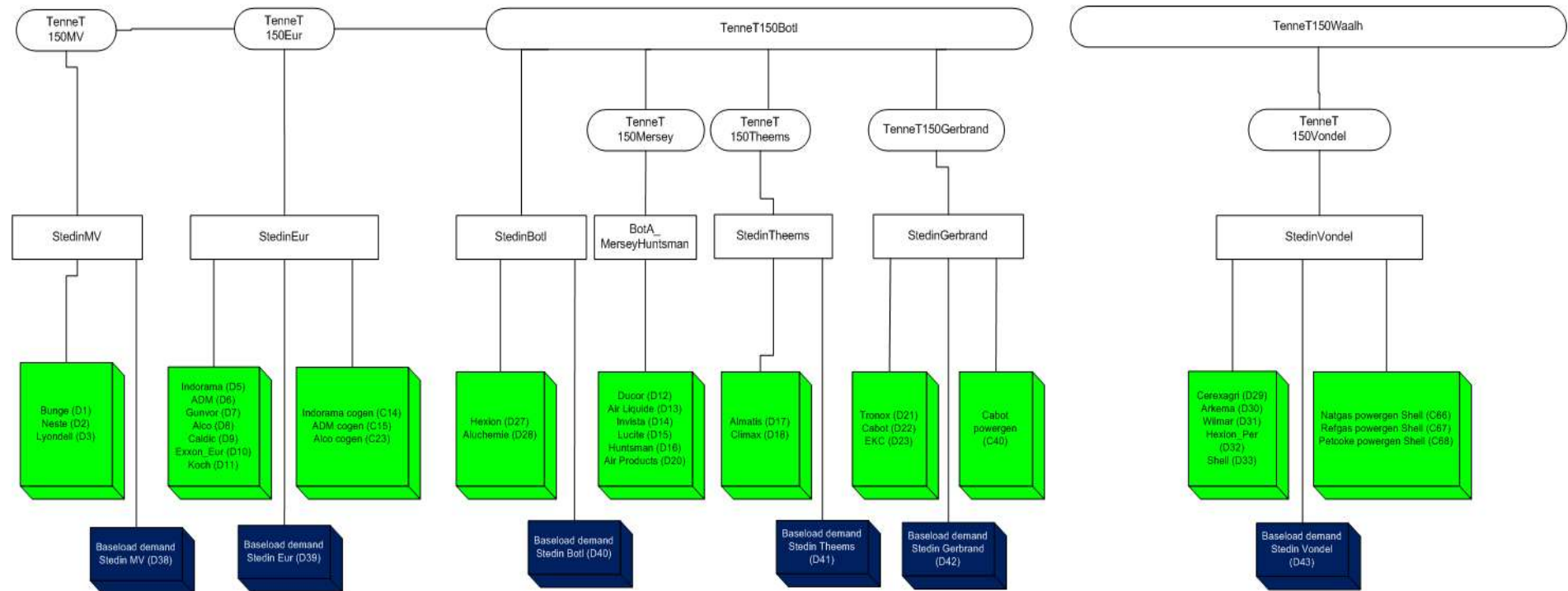
Bijlage 1.14: Topologie van het 150 kV-net met stations Geervliet, Waalhaven en Vondelingenweg

Grid topology 150kV stations TenneT150Waalh, TenneT150Geervl, TenneT150Vondel



Bijlage 1.15: Topologie van Stedin-net binnen het Windmaster model

Grid topology Stedin grid Windmaster model



Bijlage 1.16: Toegepaste methodiek voor het bepalen van de elektriciteit transportcapaciteit behoefte

Stedin-stations

Elk jaar tijdens een transitiepad worden vanuit het Exploratory Modeling model verschillende veranderingen in de energievoorziening van het industriecluster geïntroduceerd. Met name mogelijke alternatieven voor de stoom- of HT-warmte voorziening kunnen tot een elektriciteit piekvraagverandering leiden op Stedin-station niveau. Dit a.g.v. het elektrificeren van de *utility* productie. Daarnaast kunnen de uitfasering van Koch, Gunvor en BP tot een vermindering van de elektriciteitsvraag leiden. De piekvraagcapaciteit voor Stedin-stations wordt als volgt berekend:

- Bereken de individuele netto piekvraag van een site.
 - Indien de netto piekvraag van een site > 50 MW, dan verdwijnt deze piekvraag op het Stedin-station (deze aansluiting verhuist naar het bovenliggende 150 kV-station)
 - Netto piekvraag van een site = de piekvraag van de site – maximale *on site* elektriciteitsproductie.
- Piekvraag Stedin station = som (individuele piekvraag van sites) * 0.8, waarbij 0.8 de gelijktijdigheidsfactor is. De *baseload* voor een Stedin station geldt hierbij ook als individuele piekvraag.

Aangenomen is dat de elektriciteitsproductie-eenheden op maximale capaciteit produceren op het moment dat de piekvraag van de site waarop deze productie-eenheden staan maximaal is. Andere denkbare operationele situaties die mogelijk tot capaciteitsknelpunten voor Stedin-stations leiden, zijn in het huidige Windmaster model niet meegenomen.

N.B.) de baseload op een Stedin-station wordt constant verondersteld gedurende de simulatieperiode van 2020 – 2050.

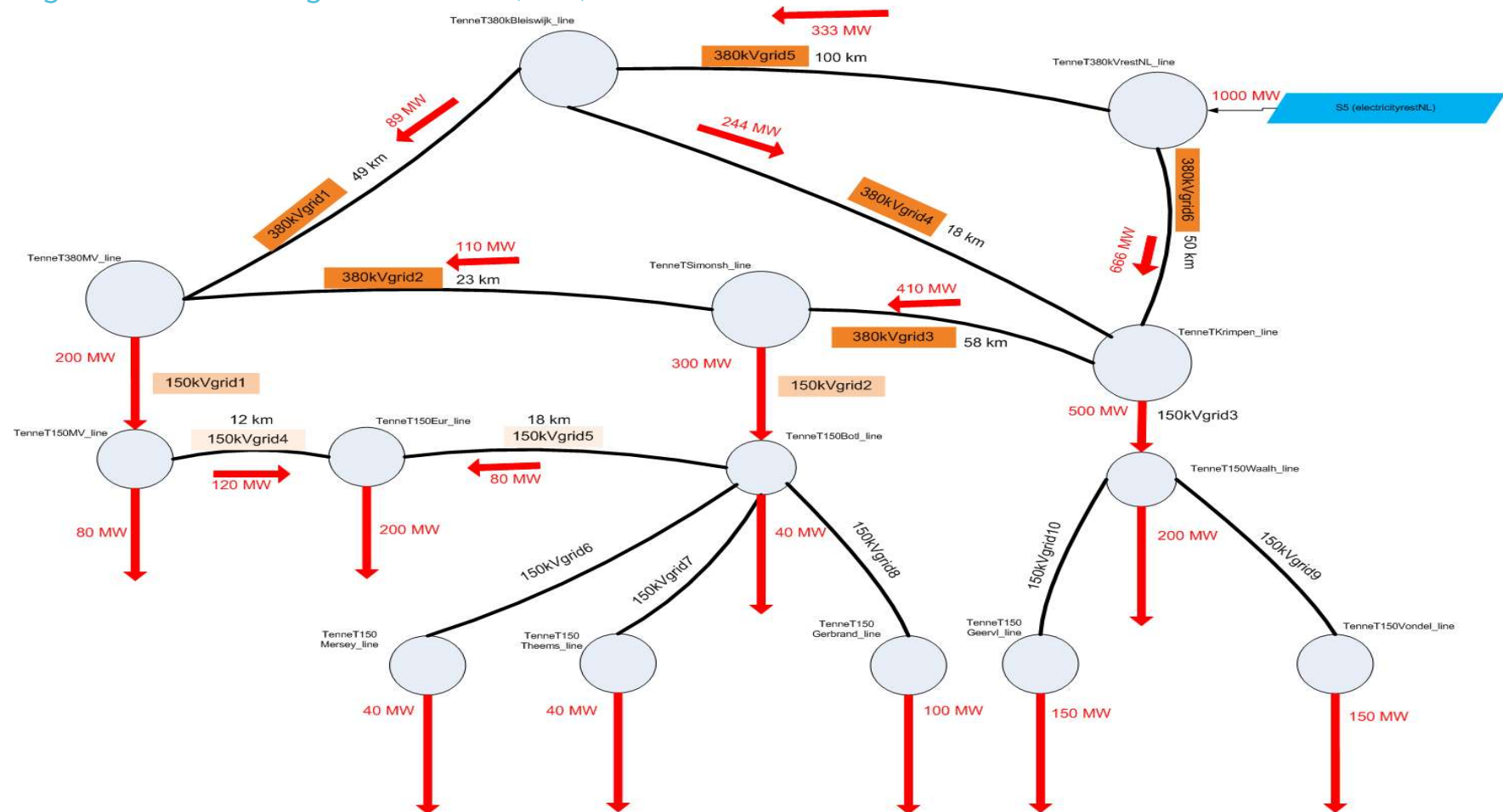
150 kV- en 380 kV-net

De in bijlage 1.17 weergegeven topologie van het TenneT-net vormt de basis voor de capaciteitsberekeningen. De volgende stappen worden doorlopen om de capaciteitsvraag voor verschillende TenneT-verbindingen te bepalen.

- Stap 1: Bereken de vraag van de individuele knooppunten van de volgende 150 kV-stations d.m.v. een vermogensbalans:
 - TenneT150Mersey_line
 - TenneT150Theems_line
 - TenneT150Gerbrand_line
 - TenneT150Geervl_line
 - TenneT150Vondel_line
 - TenneT150Waalh_line
- Stap 2: Bereken de capaciteiten van de volgende 150 kV-verbindingen (op basis van stap 1 gegevens):
 - 150kVgrid6

- 150kVgrid7
- 150kVgrid8
- 150kVgrid9
- 150kVgrid10
- 150kVgrid3 (o.b.v. o.a. 150kVgrid9 en 150kVgrid10)
- Stap 3: Bereken de capaciteitsvraag van individueel 150 kV-knooppunt TenneT150Eur_line
- Stap 4: Bereken 150kVgrid4 en 150 kVgrid5 o.b.v. de onderlinge lengteverhoudingen van 150kVgrid4 en 150kVgrid5 en de vraag van 150 kV-knooppunt TenneT150Eur_line
- Stap 5: bereken de capaciteitsvraag van individuele knooppunten TenneT150MV_line en TenneT150Eur_line
- Stap 6: Bereken de capaciteit van de 150 kV-verbindingen 150kVgrid1 en 150kVgrid2
- Stap 7: Bereken S5 vanuit de overall vermogensbalans. S5 kan zowel leveren op het netwerk als afnemen van het netwerk
- Stap 8: Bereken de capaciteitsvraag van de individuele knooppunten van de volgende 380 kV-stations:
 - TenneT380MV_line
 - TenneT380Eur_line
 - TenneT380Bleiswijk_line
 - TenneT380Krimpen_line
 - TenneT380restNL_line
- Stap 9: Bereken de benodigde capaciteiten van de 380 kV-verbindingen via eenvoudige netwerkberekeningen. Hierbij worden de flows (Q) berekend voor 380kVgrid1, 380kVgrid2, 380kVgrid3 en 380kVgrid4 m.b.v. de 'Q*L' methodiek. De Q (MW) wordt per knoop verdeeld over meerdere lijnen, omgekeerd evenredig met de lengte van de lijn.

Bijlage 1.17: Gebruikte netwerktopologie voor capaciteitsberekeningen voor het TenneT-net. De ingetekende vermogensstromen (MW) dienen ter illustratie



Bijlage 2: Deelactiviteiten

In dit hoofdstuk worden de deelactiviteiten binnen project Windmaster toegelicht. Het project is verdeeld in twee fasen, namelijk een kwalitatieve en een kwantitatieve fase. In de kwalitatieve fase is er gefocust op de verschillende toekomstvisies van de deelnemers op het HIC. In de kwantitatieve fase is er gefocust op het opbouwen van de kwantitatieve technische en gedragsmodellen om de knelpunten en bijbehorende maatregelen in infrastructuur te kunnen simuleren.. De kwalitatieve fase leverde de noodzakelijke input voor de kwantitatieve fase, waarin het kwantitatieve multi-model is uitgewerkt. Daarnaast had de kwalitatieve fase, door haar participatieve karakter, een belangrijke rol om tot een door alle projectdeelnemers gedragen doelstelling voor het Windmaster-project te komen.

2.1 Visioning workshop

2.1.1 Doel

Het eerste doel van de visioning workshop was het gezamenlijk ontwikkelen van meerdere visies en transitiepaden voor het energiesysteem van industriecluster Rotterdam-Moerdijk voor 2030. De visies zijn wenselijke toekomstbeelden, maar worden in het Windmaster project gebruikt om mogelijke toekomsten te verkennen. Door deze visies zo uiteenlopend mogelijk te maken kan een grotere bandbreedte van onzekerheden worden meegenomen. De visies vormen later input voor de modelsimulatie en analyse van diepe onzekerheden en mogelijkheden (exploratory modeling). Vervolgens werd bekeken wat de onzekerheden betekenen voor het ontwikkelen van adaptieve investeringsstrategieën.

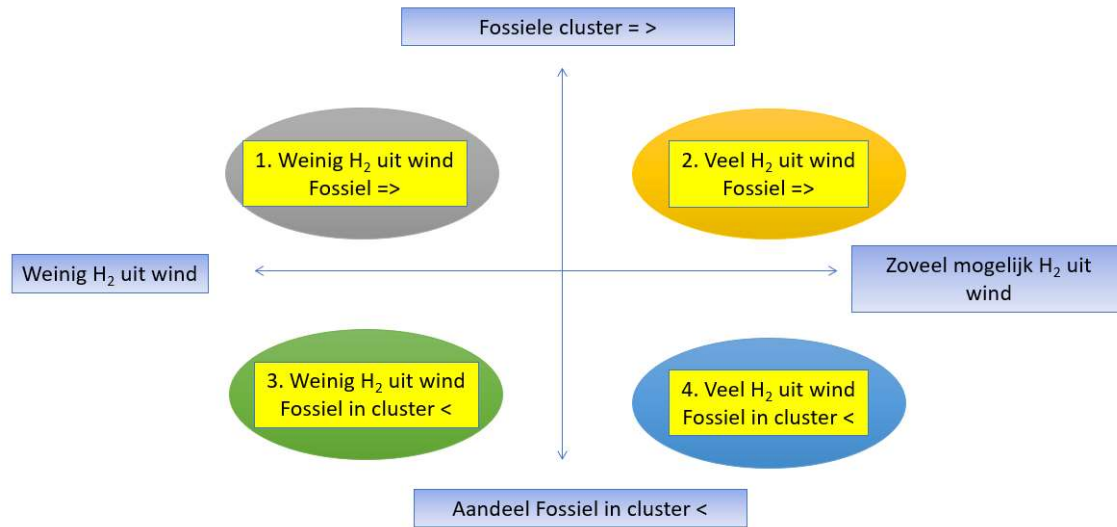
Het tweede doel was het vergroten van begrip en inzicht in de mogelijkheden, condities en dilemma's voor verduurzamingsdoelen en de bijbehorende transitiepaden voor 2030.

2.1.2 Gehanteerde methode

Er is gekozen om de workshop te verdelen in twee delen. In het eerste deel werd ingegaan op de overlap en de verschillen in de problematiek van de deelnemende partijen omtrent de decarbonisatie van het havengebied van Rotterdam. In het tweede deel werd er gewerkt aan de ontwikkeling van gezamenlijke toekomstbeelden en visies. De tijdshorizon van deze visies liep tot 2030. Later in het project is de tijdshorizon naar 2050 uitgebreid, omdat deze horizon na overleg beter bleek te passen bij de ambitie van de stakeholders. Om deze toekomstbeelden en visies te kunnen maken werd de groep ingedeeld in de volgende twee groepen die zich elk bezig hielden met het uitwerken van een van de volgende visies:

- Zoveel mogelijk H₂ uit wind , afnemende hoeveelheid fossiel
- Zoveel mogelijk H₂ uit wind , toenemende hoeveelheid fossiel

Deze twee visies komen voort uit het kwadrant dat te zien is in figuur 4.1. Omwille van de groepsgrootte is er gekozen om twee in plaats van vier visies uit te werken. De keuze voor twee visies met het karakteristiek 'veel H₂ uit wind' komt voort uit het besluit om de aanlanding van windenergie en de benutting van de aardgasinfrastructuur een belangrijke rol binnen de scope te laten spelen.



Figuur 4.1: Verschillende opties voor energievoorziening in het HIC binnen de Windmaster scope.

Voorafgaand aan de workshop is een enquête gehouden. Het doel van de enquête was om vooraf informatie te verzamelen over relevante factoren, relevante actoren & hun belangen, en de motivaties & voorkeuren van de betrokkenen in het project. Dit diende als basis voor de gesprekken in het eerste deel van de workshop.

2.1.3 Resultaten

De resultaten van de workshop bestonden uit de twee opgestelde toekomstvisies tot 2030 en de gezamenlijke problemen en onzekerheden. Om deze toekomstvisies te maken zijn eerst de resultaten uit de enquête verzameld en verspreid. Deze zijn resultaten zijn te vinden in bijlage 4.

Toekomstvisie 1: Veel H₂ uit wind, afnemende hoeveelheid fossiel

"Begin 2020 zullen recycled plastics hun intrede doen. Deze duurzame plastics wordt geproduceerd met behulp van recyclingtechnieken zoals waste to chemicals. In 2030 zullen enkele fabrieken met olie als feedstock sluiten, waaronder raffinaderijen. Hierdoor wordt het HIC (tijdelijk) kleiner. Elektriciteitsproductie uit kolen wordt uitgefaseerd. Wind op zee zorgt voor de productie van groene waterstof. In 2030 wordt vijf GW energie van off-shore windparken verwacht. Eerst zal blauwe waterstof een belangrijke positie innemen in de komende jaren. De CO₂ die vrijkomt bij de productie hiervan zal worden afgevangen met een infrastructuur zoals voorgesteld wordt in het Porthos² project. Voor het gebruik van blauwe waterstof zal er een infrastructuur moeten komen welke later gebruikt kan worden voor het transport van groene waterstof. Bij maximale productie zal een tot twee GW windenergie zal zorgen voor de aanvoer van waterstof. De overgebleven drie GW van de totale vijf GW van wind op zee, kan worden omgezet in elektriciteit, warmte en stoom. Buffercapaciteit kan worden geleverd door opslag van gecomprimeerde waterstof of de productie van synthetische brandstoffen. De waterstofinfrastructuur zal worden beheerd door een onafhankelijke partij zoals de Gasunie. De komende jaren zal de cultuur meer waterstof georiënteerd worden en zullen de infrabeheerders pro-actief hierin gaan investeren."

Toekomstvisie 2: Veel H₂ uit wind, toenemende hoeveelheid fossiel

"Groei in fossiel betekent een toename van investeringen in olieraffinaderijen in de haven van Rotterdam. Deze groei zal gepaard gaan met een stijgende vraag naar waterstof door het toepassen van hydrocracking. De verwachting is dat hierdoor de vraag naar waterstof toeneemt met 660 MW_H₂. In de periode tot 2030 zal er tevens een methanolfabriek worden gebouwd. Dit zal leiden tot nog eens een extra waterstofvraag van bijna 300 MW (piekvermogen). De huidige gascentrales zullen overschakelen op waterstof. Deze centrales zullen fungeren als back-up in tijden van weinig wind. Omdat er een toename ontstaat in de zware olieconversiecapaciteit, ontstaat er tevens een toename in restgassen. Deze gassen zullen gebruikt worden voor additionele warmtevraag. In deze visie wordt er vanuit gegaan dat bestaande SMR's van olieraffinaderijen worden vervangen door waterelektrolyzers. Bestaande SMR's van gasproducenten (Air Liquide, Air Products) blijven bestaan tot ca. 2030. Er wordt weinig cultuurverandering verwacht bij de industrie, maar het vervangen van SMR door waterstofcapaciteit is een voorbeeld is van een stap in de richting van een 'groener' bewustzijn in de industrie. De infrastructuurbeheerders zullen moeten investeren in waterstofinfrastructuur. Om tijdig een waterstofinfrastructuur gereed te hebben zullen waarschijnlijk voorinvesteringen gedaan moeten worden die in de "business-as-usual" besluitvorming bij infrabedrijven niet gedaan worden."

²<https://rotterdamccus.nl/het-project/>

2.2 Backcasting workshop

2.2.1 Doel

Het doel van de backcastingworkshop is als volgt: Het uitwerken van toekomstvisies ontwikkeld in de visioning workshop om consensus te bereiken over de scope van het model.

2.2.2 Gehanteerde methode

De visies die voor 2050 zijn opgesteld in de eerste komen tot stand door een aantal veranderingen. In deze workshops werden de verwachte veranderingen gepositioneerd op de kaart van het HIC (zie afbeelding 4.2).



Afbeelding 4.2: Veranderingen op de kaart van Rotterdam.

Vervolgens zijn deze veranderingen in een tabel gecategoriseerd in de onderdelen: technische infra, economie & beleid, cultuur & gedrag en organisatorisch. Nadat de toekomstige veranderingen in het havengebied waren gecategoriseerd en gedefinieerd zijn deze veranderingen per visie in een tijdlijn gezet (zie bijlage 3.1 t/m 3.4). In deze tijdlijn is de volgorde van de veranderingen weergegeven, waardoor de contouren van een transitiepad zichtbaar worden. Deze volgorde is van essentieel belang voor de investeringen die gedaan moeten worden in de infrastructuur. Het representeert de stappen die moeten worden genomen om bij de ontwikkelde visies uit te komen. Dit proces wordt ook wel 'backcasting' genoemd.

2.2.3 Resultaten

De resultaten van deze workshop zijn de eerder genoemde tijdlijnen (zie bijlage 3.1 t/m 3.4) met daarin de volgorde van de verschillende veranderingen en de eigenschappen van de scope.

Tijdlijnen

Een aantal veranderingen komt in beide tijdlijnen terug namelijk:

- Regulering van H₂ netten vanuit de overheid rond 2020
- Toepassing van "Waste to chemicals" tussen 2020 en 2025.
- Een operationele landelijke GTS backbone in 2030
- Voorbereiding op installatie met 1GW elektrolysecapaciteit in 2030

Deze veranderingen zijn later meegenomen als input voor de dimensionering van de scenarioruimte.

Consensus over de scope

Er is besloten om de scope van het model te beperken tot de H₂/aardgasinfrastructuur en de elektriciteitsinfrastructuur van TenneT en Stedin. Dit besluit vond plaats op basis van de verwachte veranderingen en de impact hiervan op de energie-infrastructuur. Na het maken van de visies tot 2030 is besloten dat de tijdshorizon zal lopen tot 2050, omdat een tijdshorizon tot 2030 als te beperkt werd ervaren.

2.3 Business eco-systeem model

2.3.1 Doel

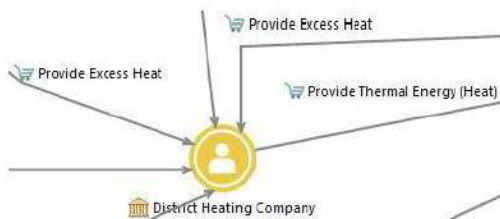
Het doel van het maken van het business model eco-systeem was als volgt: Inzicht in de verschillende businessmodellen van de stakeholders. Deze input wordt uiteindelijk gebruikt om niet alleen de technisch-sociologische impact van mogelijke aanpassingen in de energie-infrastructuur voort te brengen maar ook de economische.

2.3.2 Gehanteerde methode

Het business eco-systeem model (BEM) bevat verschillende elementen:

Entiteiten

De entiteiten representeren de verschillende organisaties binnen het HIC (zie figuur 4.3 voor een voorbeeld).



Figuur 4.3: Een entiteit en haar relaties

Business modellen

De business modellen beschrijven de relaties tussen twee entiteiten. Deze relaties zijn transactueel van aard en bestaan uit het uitwisselen van bijv. goederen, diensten of resources. Het business model wordt vormgegeven met behulp van het business model canvas (Osterwalder et al. 2010).

Een derde belangrijke bevinding is het ontkoppelen van de opwek en de consumptie van energie. Dit ontkoppelen creëert kansen voor opslag en conversie van hernieuwbare energie als de transport capaciteit ontoereikend is. Dit kan worden bewerkstelligd door de toepassing van diverse power-to-molecules concepten.

De zoutcavernes in noord-oost Nederland bieden bijvoorbeeld de mogelijkheid voor waterstof opslag.

De rest van de uitkomsten is te lezen in hoofdstuk 3 van bijlage 5.

2.4 System decomposition en hackatons

2.4.1 Doel

Het doel van de systeemdecompositie was het verzamelen van relevante informatie over het investeringsgedrag en -proces in de organisaties van de stakeholders. Het type investeringen dat wordt beoogd zijn investeringen in de uitbreiding, verzwaring of vervanging van hun infrastructuur.

2.4.2 Gehanteerde methode

Voor de systeemdecompositie werd een workshop georganiseerd waarin voornamelijk kwalitatief het investeringsgedrag werd vastgelegd. Dit gebeurde door het houden van een open dialoog in twee verschillende groepen. De ene groep hield zich bezig met het definiëren van verschillende investeringsopties voor uitbreiding van het gas- en elektriciteitsnet. De andere groep hield zich bezig met het uitwerken van het investeringsproces van de eigen organisatie op een geordende manier zodat de processtappen in het gedragsmodel geïntegreerd kunnen worden. Deze groepen werden halverwege gewisseld.

Om de verkregen kwalitatieve resultaten toe te kunnen passen in een model zullen de resultaten verder gekwantificeerd moeten worden. Dit gebeurde in twee zogeheten hackatons. Ook tijdens de hackatons werden de stakeholders in twee groepen verdeeld. Echter, de groepsindeling was nu als volgt: een groep voor de infrabeheerders (TenneT, Stedin, Gasunie) en een groep voor de provincie Zuid-Holland en het havenbedrijf Rotterdam. Op deze manier konden de infrabeheerders ingaan op de technologische aspecten van het te vormen multi-model en konden het havenbedrijf

en de provincie ingaan op het effect van hun rol als facilitators op de ontwikkelingen binnen het HIC.

2.4.3 Resultaten

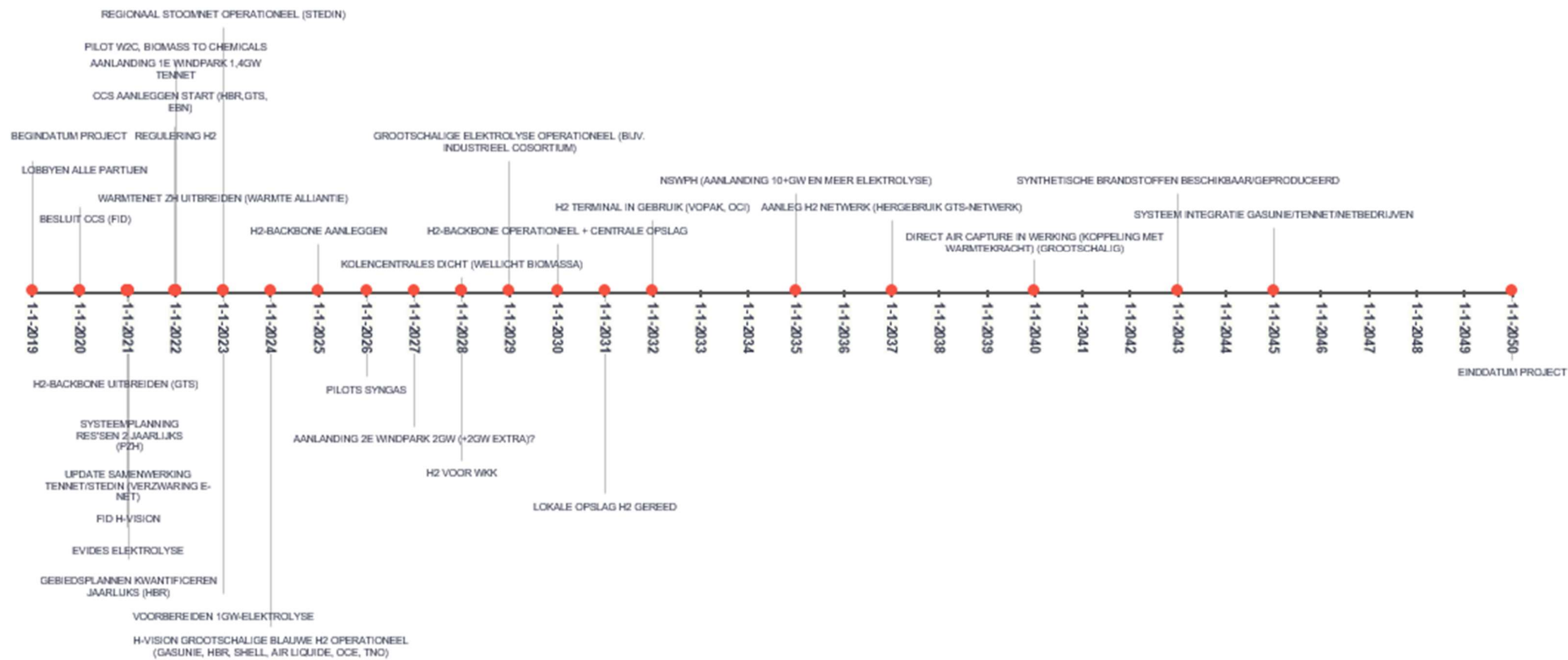
Het resultaat van de groep die zich bezig hield met het definiëren van de verschillende investeringsopties bestond uit een lijst met verschillende investeringsopties zoals te zien is in tabel 1.K en 1.L in resp. bijlage 1.2 en 1.3. Het resultaat van de groep die zich bezig hield met het uitwerken van het investeringsproces leverde de investeringslogica op die gebruikt werd om het gedragsmodel mee te ontwerpen.

De resultaten van de hackatons is informatie over de verschillende realisatietijden voor het realiseren van een investering (bijlage 1.11), de topologieën van de infrastructuur (*gas*: bijlage 1.5, *elektriciteit*: bijlage 1.12 t/m 1.17), de input voor het opstellen van de load-flow berekeningen (bijlage 1.2 en 1.3).

Een ander resultaat is het inzicht in het investeringsproces en de verschillende investeringsopties van de verschillende netbedrijven. Dit werd voornamelijk veroorzaakt door het voeren van de open dialogen. Door bijvoorbeeld investeringsopties in het gasnet en in het

elektriciteitsnet met elkaar te vergelijken op eigenschappen zoals CAPEX en transportcapaciteit ontstonden nieuwe gemeenschappelijke inzichten. Deze inzichten helpen om bijvoorbeeld dubbele investeringen of over-investeren voorkomen.

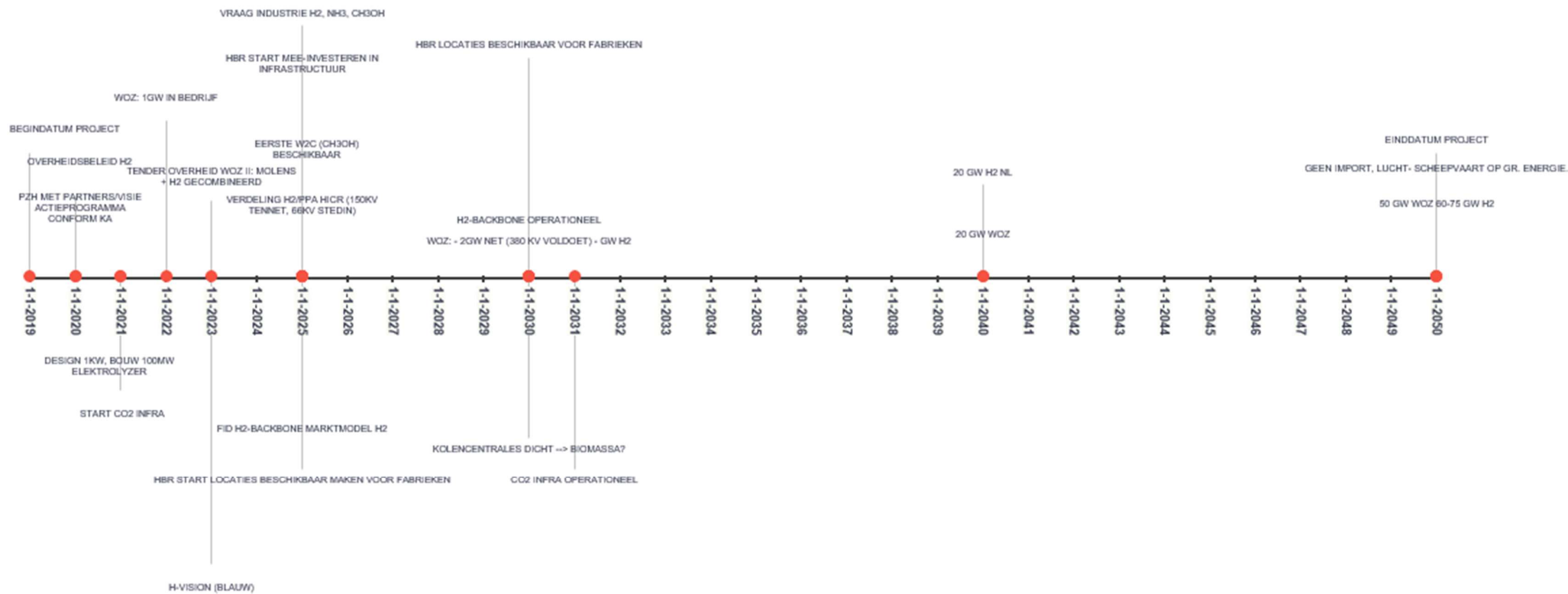
Bijlage 3.1: Tijdlijn & tabel meer fossiel



Bijlage 3.2: Tijdlijn & tabel meer fossiel

Meer H ₂ , meer fossiel			
	Wat?	Hoe?	Wie?
Technische infra	- H₂ terminal - P2H - Opslag - Grootschalige elektrolyse - Aanlanding wind - Bronnen op warmte rotonde - Aanpassing bedrijven - Verzwaring e-net - H₂-leiding - CCS + H₂	- Verzwaren e-net - Aanleggen H₂ backbone - Opschalen elektrolyse - Innovatie - Warmte rotonde ZH - Porthos project	- Bedrijven - Gasunie, TenneT, Stedin - HBR - Evides (elektrolyse, AKZO)
Economie & beleid	- Regulering aanpassen (Hergebruik CH₄ net) - Voorinvesteringen mogelijk maken - ETS-systeem (systeemintegratie)	- Ruimte reserveren - Lobbyen - Samenwerking Gasunie, TenneT, etc. - Kwantificeren van de uitdaging	- Deltalinks, PZH, gem. R'dam - VNO-NCW (Lobby groepen) - FME - VNPI/VNCI - Kennisinstellingen
Cultuur & gedrag	- Marktstimulering groen te worden - Flexibel gebruik van stroom/H₂ - Besparen	- Overheidscampagnes - Industrie positief neerzetten - Transparant zijn - Regionale Energie Strategie	- Overheid op nationaal niveau - EU
Organisatorisch	- Deltaplan of via gemeenten - Coördineren RES'sen - (Lokaal <-> Globaal)	- Aansluiten bij RES'sen - Klimaatakkoord monitoren	- Alle partijen: "Ed Nijpels"

Bijlage 3.3: Tijdlijn & tabel minder fossiel



Bijlage 3.4: Tijdlijn & tabel minder fossiel

Meer H ₂ , minder fossiel			
	Wat?	Hoe?	Wie?
Technische infra	- Wind op zee → MV2 → ½ net. ½ H₂ Centrales uit - Kleine raffinage sluiten of transformeren - W2C → Inzamelen/sorteren	H ₂ : - Net naar klanten (regio + backbone) - Duur → Premie Electrolyzer E-boilers, MDR, WP, Stoomnet, Restwarmte net.	- H₂ consortium: Infra + powersector + HBR - Drive powersector industrie (H₂ rijden ontwikkelen)
Economie & beleid	- H₂ economie blauw + groen - CO₂ prijs + stimuleren groen Gaswet (H ₂) CCS markt CO ₂ (CTS+Import)	- Aanpassing H₂ gebruik in kassen - Netbeheer pro-actief investeren	Overheid
Cultuur & gedrag	Temporiseren culturele omslag maatschappij & industrie	Omslag bij investeerders/aandeelhouders (PGGM, Banken)	H ₂ acceptatie bij mobiliteit/elders
Organisatorisch	Markt, overheid - H₂ mob. Infra(weg en scheepvaart) ARRA – Havens + achterland	Investeren in tank infra voor mobiliteit en scheepvaart	Durfinvesteerders en overheidsupport

Bijlage 4: Uitwerking enquêtes

1A. Namens welke organisatie bent u in Windmaster betrokken?

Deltalinqs

1B. Wat is de motivatie voor u en uw organisatie van om deel te nemen aan windmaster?

Bijdrage aan een economisch haalbare industrieel energietransitie met behoud van concurrentiekracht van de industrie en met ruimte voor nieuwe activiteiten.

1C. Wat zijn uw verwachtingen voor (de ontwikkeling van) een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven? Op welke termijn verwacht u dat dit gerealiseerd kan zijn?

Gaat gefaseerd gebeuren. Technisch is het via waterstof en directe elektrificatie mogelijk. 50% CO2 reductie per 2030 is zeker haalbaar - ook qua tijdsplanning met turnarounds - maar kost uiteraard vrij veel (20-80€/t CO2). De concurrentie met imports uit landen zonder carbon-burden zal wel belemmerend werken in deze eerste fase. Richting 2050 zal er bij voldoende WOZ een grote infrastructurele verandering nodig zijn: verzwarende van het e-net en een waterstofinfrastructuur. Ik zie nog lange tijd fossiele grondstoffen noodzakelijk voor plastic, gebruik van recycled plastic via synthese gas route is redelijk veelbelovend. Directe CO2 als grondstof op grote schaal zal m.i. nog lang op zich laten wachten.

1D. Welke voorkeuren heeft uw organisatie voor het toekomstige low-carbon energiesysteem in de Rotterdamse haven, en wat is uw belang bij de toekomstige energie infrastructuur?

Deltalinqs streeft naar behoud van concurrentiekracht van de havenbedrijven en dus een sensible transitie.

1E. Wie zijn de belangrijkste stakeholders voor de toekomstige energie infrastructuur voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven en wat zijn hun belangen? Zijn er ook belangrijke stakeholders buiten het Windmaster project en wat zijn hun belangen?

Tennet, Stedin, GasUnie, HbR: infrastructuur investering

Leveranciers van WP en boilers etc: marktaandeel en technology ontwikkeling

Grote bedrijven zoals AVR, Shell, Esso, BP, Akzo, Lyondell, Huntsman: beschermen van hun concurrentiekracht, willen input in (on)mogelijkheden.

Gemeente Rotterdam, PZH: werkgelegenheid versus klimaatdoelstellingen

1F. Aan welke voorwaarden en criteria moet de toekomstige low-carbon energie infrastructuur in de Rotterdamse haven voldoen?

Behoud van globale concurrentiekracht; hoge betrouwbaarheid van levering

1G. Wat zijn de belangrijkste onzekerheden voor de ontwikkeling van een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven op de lange termijn (voorbij 2030)?

CO2 prijsstelling; internationale commitments; energiebelastingen; subsidies

2A: Wat zijn de belangrijkste drivers voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

Technologisch: betrouwbaarheid van het energie-systeem

Economisch: misschien niet met een lage TVT, maar zeker leidend tot een zekere TVT

Internationale CO2 prijsstelling

Bereidheid van klanten om meer te betalen voor producten van CO2-arme bronnen

Drang van de samenleving naar een schonere omgeving, maar dan wel bereidheid hier ook financiële offers voor te doen (minder van een duurdere consumptie bijv).

2B: Wat zijn de belangrijkste barrières voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

Mogelijkheid voor bedrijven om hun vestiging in NL te verplaatsen naar buitenland

Gebrek aan bereidheid bij consument te betalen aan schonere producten (zolang er goedkopere alternatieven zijn)

Ruimtegebrek

Geschiktheid van bestaande leidingen voor energietransport

Samenwerking om energie te delen is moeizaam (eigenbelang)

3A: Welke andere belangrijke factoren kunnen positieve, stimulerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

Subsidies voor de moeizame eerste fase, waarbij fossiel goedkoper is dan hernieuwbaar. Internationale benchmark nodig om op feiten gebaseerd te kunnen rekenen.

3B: Welke andere belangrijke factoren kunnen negatieve, belemmerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

Concurrentie tussen alternatieven. Een zeker masterplan kan helpen de voor de samenleving goedkoopste infra te bepalen.

Heeft u nog overige opmerkingen?

Electrification via warmtepompen heeft op dit moment de hoogste tractie, maar stabiliteit van het grid (opslag van e- of heat) is essentieel.

1A. Namens welke organisatie bent u in Windmaster betrokken?

Siemens

1B. Wat is de motivatie voor u en uw organisatie van om deel te nemen aan windmaster?

Bijdrage leveren, vanuit technologisch bedrijf, aan de energietransitie uitdagingen, en door deze deelname ook weer terugkoppeling krijgen van de mogelijke transitiepaden, de beweegredenen te weten, en daardoor weer terugkoppeling geven aan centrale R&D en innovatie.

1C. Wat zijn uw verwachtingen voor (de ontwikkeling van) een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven? Op welke termijn verwacht u dat dit gerealiseerd kan zijn?

Zo wie zo uitdagend, en verwachting dat via WindMaster, en met door tonen van de kracht van de onderliggende methodieken/modellen, we hier een bijdrage kunnen leveren in de discussies hierover.

Aan ene kant verwachting dat het nog wel eens (heel) lang kan duren, cq. de doelstellingen zelfs niet(nooit) gehaald worden, aan de andere kant een disurtieve gebeurtenis (mogelijk vanuit onverwachte hoek), die keerpunt vormt. In geval van laatste, toch niet eerder dan 2030 dat er een structurele kentering plaatsvindt.

1D. Welke voorkeuren heeft uw organisatie voor het toekomstige low-carbon energiesysteem in de Rotterdamse haven, en wat is uw belang bij de toekomstige energie infrastructuur?

Niet echt voorkeur, en ook niet echt een belang te noemen.

1E. Wie zijn de belangrijkste stakeholders voor de toekomstige energie infrastructuur voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven en wat zijn hun belangen? Zijn er ook belangrijke stakeholders buiten het Windmaster project en wat zijn hun belangen?

Eindgebruikers in de vorm van industrieën, bestaande als ook nieuwe partijen (de unknowns), en overheid. Belang van Industrie is "security of supply" & betaalbaar, waardoor R'dam een interessante vestigingsplaats is/blijft. Belang voor overheid is economisch, ikv werkgelegenheid.

Deze stakeholders zijn direct (Provincie) en indirect aanwezig binnen WindMaster (Deltalinqs, ISPT, DOW). Zijn deels ook niet aanwezig in vorm van met name de centrale overheid.

1F. Aan welke voorwaarden en criteria moet de toekomstige low-carbon energie infrastructuur in de Rotterdamse haven voldoen?

"security of supply", betaalbaar. Naast energie zullen industrieën ook andere overwegingen hebben om voor R'dam als vestigingsplaats te kiezen, wo beschikbaarheid skilled mensen, aan- en afvoer van goederenstromen, etc.

1G. Wat zijn de belangrijkste onzekerheden voor de ontwikkeling van een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven op de lange termijn (voorbij 2030)?

Goede vraag!

Stabiel overall masterplan (Deltaplan), die investeerders zekerheid geven.

2A: Wat zijn de belangrijkste drivers voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

In eerste instantie (i) politiek (energieakkoord). Ervan uitgaande dat de 5GW dan min of meer een gegeven zijn, zal een goede economische invulling (iii) hiervan de tweede driver zijn.

2B: Wat zijn de belangrijkste barrières voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

Economisch (iii) in de vorm van de (on)zekerheid van de (lange) termijn kosten.

3A: Welke andere belangrijke factoren kunnen positieve, stimulerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

1. Overall stabiel Masterplan, e.g. met garanties (van overheid) van kostenplafond.
2. Positieve showcase.

3B: Welke andere belangrijke factoren kunnen negatieve, belemmerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

Mogelijke recessie (enkele indicatoren wijzen hier op). 2. Een havengebied blijkt niet langer een interessante vestigingsplaats te zijn vanwege andere beslissingscriteria (naast energie). 3. Instabiel beleid (e.g. versnipperd beleid - centraal - provinciaal - RES, die niet aligned zijn/liken , missen van regie - van centrale overheid?).

Heeft u nog overige opmerkingen?

1A. Namens welke organisatie bent u in Windmaster betrokken?

Havenbedrijf Rotterdam

1B. Wat is de motivatie voor u en uw organisatie van om deel te nemen aan windmaster?

We willen graag dat de energieinfrastructuur op orde is om veranderingen in energiestromen in de haven te kunnen opvangen

1C. Wat zijn uw verwachtingen voor (de ontwikkeling van) een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven? Op welke termijn verwacht u dat dit gerealiseerd kan zijn?

Mijn verwachtingen zijn positief, wel geleidelijke transitie, ivm mondiale concurrentiepositie, koploper maar niet te ver voor de troepen uit om jezelf niet in de voet te schieten. In 2050 CO2 neutraal.

1D. Welke voorkeuren heeft uw organisatie voor het toekomstige low-carbon energiesysteem in de Rotterdamse haven, en wat is uw belang bij de toekomstige energie infrastructuur?

eerst stoom, warmte en CCS netwerk, tegelijkertijd electrificatie waar mogelijk en tegelijkertijd ontwikkeling waterstof

1E. Wie zijn de belangrijkste stakeholders voor de toekomstige energie infrastructuur voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven en wat zijn hun belangen? Zijn er ook belangrijke stakeholders buiten het Windmaster project en wat zijn hun belangen?

Alle netbeheerders, overheden, bedrijven in de haven, NGO's. Ja overheden (beleids en financieel instrumentarium) en NGO's (politieke en maatschappelijke beïnvloeding).

1F. Aan welke voorwaarden en criteria moet de toekomstige low-carbon energie infrastructuur in de Rotterdamse haven voldoen?

Onder meer open acces, zodat nieuwe bronnen in de toekomst kunnen aansluiten.

1G. Wat zijn de belangrijkste onzekerheden voor de ontwikkeling van een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven op de lange termijn (voorbeeld 2030)?

Angst dat (dure) infra die je nu aanlegt niet effectief is omdat deze wordt ingehaald door nieuwe ontwikkelingen en inzichten

2A: Wat zijn de belangrijkste drivers voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

1. CO2 reductie
2. goed, concurrerend en toekomstbestendig vestigingsklimaat van de haven

2B: Wat zijn de belangrijkste barrières voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

geen duidelijk beleid rijksoverheid, onrendabele top (kosten gaan voor baten uit; geen zekerheid vraag en aanbod), onduidelijk wie hiervoor de rekening moet betalen.

3A: Welke andere belangrijke factoren kunnen positieve, stimulerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

Verandering in energieprijzen per energiesoort inclusief beprijzing CO2, electrificatie van de industrie.

3B: Welke andere belangrijke factoren kunnen negatieve, belemmerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

Financieringsprobleem, geen passende regelgeving

Heeft u nog overige opmerkingen?

1A. Namens welke organisatie bent u in Windmaster betrokken?

E&S/TBM/TuDelft

1B. Wat is de motivatie voor u en uw organisatie van om deel te nemen aan windmaster?

Ik wil alles begrijpen van (transities van) industriële clusters

1C. Wat zijn uw verwachtingen voor (de ontwikkeling van) een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven? Op welke termijn verwacht u dat dit gerealiseerd kan zijn?

Juist omdat het huidige energie- EN INDUSTRIEsysteem goed functioneert, verwacht ik dat een gehele omslag naar low-carbon (wat is hier eigenlijk de definitie van?) pas na 2050 mogelijk zal zijn. Rotterdam zal wel een aantal aansprekende projecten op kortere termijn realiseren (voor 2025). Naar mijn verwachting zullen deze projecten nog niet significant ingrijpen op de kern van het probleem nl het significant verminderen van fossiele koolstof aan de invoerzijde van de haven.

1D. Welke voorkeuren heeft uw organisatie voor het toekomstige low-carbon energiesysteem in de Rotterdamse haven, en wat is uw belang bij de toekomstige energie infrastructuur?

Ik kan niet namens mijn organisatie spreken, maar het is een lastig systeem om te veranderen. Naast de maatschappelijke noodzaak is het voor de universiteit natuurlijk ook een aanleiding voor onderzoek (inclusief financiering)

1E. Wie zijn de belangrijkste stakeholders voor de toekomstige energie infrastructuur voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven en wat zijn hun belangen? Zijn er ook belangrijke stakeholders buiten het Windmaster project en wat zijn hun belangen?

De eigenaren van de raffinaderijen.

1F. Aan welke voorwaarden en criteria moet de toekomstige low-carbon energie infrastructuur in de Rotterdamse haven voldoen?

Een gezonde internationale concurrentie positie van de bedrijven die dan gevestigd zijn is een belangrijk criterium. Het creëren van een internationaal level playing field zal er waarschijnlijk nooit komen. Wellicht zal er een beetje "vals" gespeeld moeten gaan worden.

1G. Wat zijn de belangrijkste onzekerheden voor de ontwikkeling van een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven op de lange termijn (voorbij 2030)?

Europees CO2-beleid.

2A: Wat zijn de belangrijkste drivers voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

Onder een driver versta ik een reden waarom de beoogde shareholders van de energie-infrastructuur willen dat de verandering plaats vind. De belangrijkste driver is een afname in de kosten van electriciteitsproductie binnen de gegeven kaders en onzekerheden, die voor een groot deel totstand komen door de stakeholders. Geld dus, behalve als de overheid besluit shareholder te worden!

2B: Wat zijn de belangrijkste barrières voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

De benodigde investering, de lange tijd tussen beslissing en realisatie, het overstijgende multi actor aspect, de verschillende tijdsconstanten tussen beslissingen maken bij overheden en bedrijven,

3A: Welke andere belangrijke factoren kunnen positieve, stimulerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

Een ramp, waaruit het belang van "Moeten veranderen" duidelijk wordt. Het inzicht dat je de ervaringen als first mover wereldwijd kan toepassen om daar weer geld aan te verdienen.

3B: Welke andere belangrijke factoren kunnen negatieve, belemmerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

Desintegratie van Europese- en wereldrelaties. Bepaalde verkiezingsuitslagen.

Heeft u nog overige opmerkingen?

1A. Namens welke organisatie bent u in Windmaster betrokken?

TenneT

1B. Wat is de motivatie voor u en uw organisatie van om deel te nemen aan windmaster?

De energietransitie vereist actie van verschillende partijen, die zelden unilateraal een echte stap richting een duurzaam energiesysteem kunnen zetten. Iedereen is afhankelijk van elkaars acties. Windmaster levert een bijdrage aan het begrip over hoe besluiten van verschillende partijen elkaar beïnvloeden en biedt daarmee een inzicht in afhankelijkheden. Ik voorzie dat daarmee 'de eerste stap' voor partijen makkelijker wordt, bijv. doordat 'kleine acties' sneller ondernomen worden die daarmee een kettingreactie van acties (van andere partijen) in gang kan zetten.

1C. Wat zijn uw verwachtingen voor (de ontwikkeling van) een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven? Op welke termijn verwacht u dat dit gerealiseerd kan zijn?

Grofweg 2050.

1D. Welke voorkeuren heeft uw organisatie voor het toekomstige low-carbon energiesysteem in de Rotterdamse haven, en wat is uw belang bij de toekomstige energie infrastructuur?

Het oogpunt van TenneT is om maatschappelijke keuzes ten aanzien van de energietransitie/het energiesysteem te faciliteren waar het elektriciteitsinfrastructuur betreft. De investeringen die in elektriciteitsinfra moeten worden gedaan staan echter niet op zichzelf, maar moeten passen in een totaalbeeld. Voor ons is het daarom van belang om te weten hoe dit totaalbeeld eruit komt te zien, zodat wij 'ons stukje' consistent en op tijd kunnen uitvoeren, zonder het risico te lopen enerzijds onnodige investeringen te doen en anderzijds een vertragende factor (infrastructurele uitbreidingen vergen vaak extreem veel tijd) te zijn.

1E. Wie zijn de belangrijkste stakeholders voor de toekomstige energie infrastructuur voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven en wat zijn hun belangen? Zijn er ook belangrijke stakeholders buiten het Windmaster project en wat zijn hun belangen?

Industrie (incl. HbR als overkoepelende partij) met als belang hun internationale concurrentiepositie, netbeheerders (gas, elektriciteit, waterstof, ...) met als belang duidelijkheid (investeringen op tijd kunnen aanvangen en geen onnodige investeringen doen). Maar ook de burger: het tempo van de algehele energietransitie (en daarmee de kostenverdeling over de tijd heen) moet acceptabel blijven, omdat je anders mogelijk de actiebereidheid ondermijnt (denk aan banen, belastingen, netbeheerderskosten).

1F. Aan welke voorwaarden en criteria moet de toekomstige low-carbon energie infrastructuur in de Rotterdamse haven voldoen?

Voorwaarden en criteria zijn denk ik vooral van betrekking op het tempo: gedurende de transitie moeten bedrijven internationaal concurrerend kunnen blijven.

1G. Wat zijn de belangrijkste onzekerheden voor de ontwikkeling van een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven op de lange termijn (voorbij 2030)?

Technologische ontwikkeling en de daarmee gepaard gaande economische implicaties (denk aan bijv. electrolyzers, waarvan levensduur/kosten nog altijd hoogst onduidelijk zijn). Internationale snelheid van de energietransitie: als iedereen achterblijft, is het riskant om grotere stappen te zetten gedurende de transitieperiode.

2A: Wat zijn de belangrijkste drivers voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

Politieke en maatschappelijke bereidheid om ook echt 5 GW offshore neer te zetten bij R'dam voor 2030. Technologische ontwikkeling van m.n. elektrolyzers.

2B: Wat zijn de belangrijkste barrières voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

Waterstofimport: wellicht importeren we in 2030 spotgoedkope waterstof uit Rusland en Saudi-Arabië, die met bijv. CCS uit aardgas of met zon-PV geproduceerd is. Zie verder 2A: de genoemde punten werken als aanjagers als ontwikkelingen snel gaan een positief uitvallen, maar kunnen ook als barrières werken als deze achterblijven.

3A: Welke andere belangrijke factoren kunnen positieve, stimulerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven? Waarde van en mogelijkheid tot het verdienen van geld aan flexibiliteitsopties: als er geld te verdienen valt aan opslag (in welke vorm ook en al dan niet met een conversiestap) komt de benodigde infra logischerwijs makkelijker van de grond. Van belang in deze context is ook het marktontwerp: wordt dit mogelijk gemaakt of tegenwerkt? Een gebrek aan vertrouwen in het functioneren van de markt en/of een politieke reactie op bijv. (tijdelijk) hoge prijzen kan verstoringen werken. Denk hierbij ook aan de discussie over 'energy only' markten versus capaciteitsmarkten in de elektriciteitssector: als je de mogelijkheid van partijen tot het verdienen van geld aan flexibiliteit dempt door in tijden van schaarste geen hoge prijzen te accepteren (=een gevolg van het achterhouden van bijv. conventionele productiecapaciteit), kun je onvoldoende geld verdienen aan opslag en komt dit simpelweg niet van de grond. In de elektriciteitssector wordt vaak heel angstig gedaan over de mate waarin de energy only market nog functioneert in een systeem met overwegend zero-variable-cost productie (zon, wind), maar volgens mij is deze angst ongegrond zolang de vraag flexibel is: door vraag ten behoeve van opslag en conversie zal er toch bijna altijd een prijs >0 ontstaan. Maar daar moet wel wat tegenover staan: af en toe een periode met schaarsteprijzen om de boel rendabel te maken.

3B: Welke andere belangrijke factoren kunnen negatieve, belemmerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

Internationale ontwikkelingen m.b.t. waterstof of andere energiedragers: zie het verhaal bij 2B over waterstofimport.

Heeft u nog overige opmerkingen?

Ik had het al even genoemd, maar: vergeet vooral de "importscenario's" niet. Misschien gaan we al die zon en wind wel helemaal niet zelf doen, maar importeren we in de toekomst net zoals nu gewoon het grootste deel van onze energie in de vorm van een met duurzame bronnen opgewekte drager.

1A. Namens welke organisatie bent u in Windmaster betrokken?

ISPT

1B. Wat is de motivatie voor u en uw organisatie van om deel te nemen aan windmaster?

ISPT organiseert programma's voor verduurzaming van de proces industrie. Systeem integratie, gebruik van duurzame energie, productie van waterstof, circulaire economie staan allemaal centraal in onze programma's en zijn kern elementen in Systeem Integratie en in Windmaster

1C. Wat zijn uw verwachtingen voor (de ontwikkeling van) een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven? Op welke termijn verwacht u dat dit gerealiseerd kan zijn?

Ik verwacht dat aanlanding van groene stroom snel op gang gaat komen en vanaf 2025 significant toeneemt. Uitfasering van fossiel zal rond dezelfde tijd belangrijk worden. Tegen 2065 zal kernfusie belangrijk worden en een rol gaan krijgen in het Nederlandse energiesysteem. Grootschalige waterstof productie en elektrificatie zal dan een grote rol spelen in de industrie.

1D. Welke voorkeuren heeft uw organisatie voor het toekomstige low-carbon energiesysteem in de Rotterdamse haven, en wat is uw belang bij de toekomstige energie infrastructuur?

Groene stroom uit regionale opwek, toegepast voor grondstoffen en directe energie bron in de industrie, hand-in-hand met geleidelijke uitfasering van fossiele industrie en groei circulaire koolstof. ISPT belang is aan de basis staan van de ontwikkeling van de technologie voor gebruik van groene energie in de industrie van de nabije toekomst.

1E. Wie zijn de belangrijkste stakeholders voor de toekomstige energie infrastructuur voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven en wat zijn hun belangen? Zijn er ook belangrijke stakeholders buiten het Windmaster project en wat zijn hun belangen?

Alle Rotterdamse industrie, energie sector, infrastructuur en utility sector (power, gas, water, heat), grote industrie niet gevestigd maar wel geïnteresseerd.

1F. Aan welke voorwaarden en criteria moet de toekomstige low-carbon energie infrastructuur in de Rotterdamse haven voldoen?

0 CO2 emissie, vrij van fossiele grondstoffen, minimale eco footprint, maximale duurzaamheid, goede economische parameters

1G. Wat zijn de belangrijkste onzekerheden voor de ontwikkeling van een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven op de lange termijn (voorbij 2030)?

timing van installatie van opwek en industrieel gebruik van grootschalige groene energie (electronen EN moleculen) - buying power in andere dan de industrie sector op gelijke schaal (mobiliteit en wonen in competitie met industrie, buitenland dat goedkope NL stroom wegekoopt) waardoor groene stroom voor industrie (te) duur blijkt (ten opzichte van huidige prijsniveau)

2A: Wat zijn de belangrijkste drivers voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

III - beschikbare technologie op GW schaal voor opname van groene stroom - II deze technologie betaalbaar voor handen hebben - IV sociaal maatschappelijk - betaalbaar zonder te grote maatschappelijke weerstand anders gaat I politiek geen steun geven...

2B: Wat zijn de belangrijkste barrières voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

3A: Welke andere belangrijke factoren kunnen positieve, stimulerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

3B: Welke andere belangrijke factoren kunnen negatieve, belemmerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

vragen 2 en 3 zijn erg open, geven geen richting, dat vind ik moeilijk...kader ontbreekt een beetje...

Heeft u nog overige opmerkingen?

1A. Namens welke organisatie bent u in Windmaster betrokken?

Stedin Groep

1B. Wat is de motivatie voor u en uw organisatie van om deel te nemen aan windmaster?

Het beter leren begrijpen van veranderingen in de industrie als gevolg van de energie- en grondstoffen transitie met een tweeledig doel. 1) beter kunnen anticiperen op de verandering (toename/afname) van elektronen transport op het Elektriciteitsnet van Stedin in de haven. 2) beter kunnen anticiperen en kansen benutten in het ontwikkelen van nieuwe energie transport infrastructuur

1C. Wat zijn uw verwachtingen voor (de ontwikkeling van) een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven? Op welke termijn verwacht u dat dit gerealiseerd kan zijn?

2035 - 2040

1D. Welke voorkeuren heeft uw organisatie voor het toekomstige low-carbon energiesysteem in de Rotterdamse haven, en wat is uw belang bij de toekomstige energie infrastructuur?

We hebben geen expliciet voorkeur op het gebied van energiedragers of oplossingen. Ons belang is om onze bestaande (elektriciteits) infrastructuur zo efficiënt mogelijk gereed te maken voor de toekomstige behoefte en om ons zodanig te positioneren dat we ook een rol kunnen spelen in het ontwikkelen van nieuwe (gereguleerde en niet-gereguleerde) transport infrastructuur

1E. Wie zijn de belangrijkste stakeholders voor de toekomstige energie infrastructuur voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven en wat zijn hun belangen? Zijn er ook belangrijke stakeholders buiten het Windmaster project en wat zijn hun belangen?

EZK - behoud van duurzame economische activiteit in NL

PZH en Gemeente Rotterdam - duurzame economische activiteit en werkgelegenheid in de regio

Gemeente Rotterdam - aandeelhouder van Stedin en Havenbedrijf - bedrijven moeten goed voorbereid zijn op risico's van de transitie

Energie producenten - grotere vraag naar duurzame proces energie

Netwerkbedrijven - moeten methoden ontwikkelen om samen met toezichthouders flexibel genoeg te zijn om in te spelen op toekomstige infrastructuur behoefte van de industrie

Toezichthouders - moet continu het regulieringskader aanpassen aan de veranderende omgeving en mogelijk een vernaderende rol van netwerkbedrijven

Havenbedrijf - aantrekkelijke vestigingsklimaat bieden voor nieuwe duurzame industrie

Industriële partijen - betaalbaarheid van innovatie en transitie om competitief en duurzaam te kunnen blijven produceren

1F. Aan welke voorwaarden en criteria moet de toekomstige low-carbon energie infrastructuur in de Rotterdamse haven voldoen?

betrouwbaar, betaalbaar, open acces, transparant markmodel, doorbreken van kip-ei dilemma's,

1G. Wat zijn de belangrijkste onzekerheden voor de ontwikkeling van een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven op de lange termijn (voorbij 2030)?

financiering van voorinvesteringen en afdekken van onrendabele top risico's in open-acces infrastructuur bij onzekere richting klanten op gebied van energiedragers en grondstoffen.

2A: Wat zijn de belangrijkste drivers voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

De belangrijkste drivers zijn ecologische doelen (Parijs Akkoord), die vertaald (moeten) worden naar beleidsmatige prikkels (NL Klimaatakkoord en ondersteunende maatregelen)

2B: Wat zijn de belangrijkste barrières voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

De belangrijkste barrières zijn politiek en maatschappelijk draagvlak: worden de maatregelen en (juridische en financiële) instrumenten uit het (nog verder uit te werken) klimaatakkoord door een meerderheid van de 2e kamer en andere belangrijke stakeholders (milieuorganisaties, vakbonden) ondersteund

3A: Welke andere belangrijke factoren kunnen positieve, stimulerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

- een leidende rol van (aan Nederland gelieerde) industriële partijen (Nouryon, Shell) die NL zien als een testlocatie voor innovatieve productie methoden
- gezamenlijke NW Europese (UK, DE, NL, BE) inzet op waterstof waardoor kostprijzen dalen
- opschaling van elektrificatie technologie elders in de wereld (China) waardoor kostprijzen dalen

3B: Welke andere belangrijke factoren kunnen negatieve, belemmerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

- vertragende regelgeving en marktordening voor nieuwe grootschalige energie transport infrastructuur
- ruimtelijke beperkingen voor trace en conversie park ontwikkeling
- snelle (technische en economische) ontwikkeling van remote renewable alternatieven (H2 import)

Heeft u nog overige opmerkingen?

1A. Namens welke organisatie bent u in Windmaster betrokken?

Gasunie

1B. Wat is de motivatie voor u en uw organisatie van om deel te nemen aan windmaster?

De onderwerpen systeemintegratie, transitiepaden, waterstof en opslag behoren tot de kernvragen van de langetermijnplanning van Gasunie.

1C. Wat zijn uw verwachtingen voor (de ontwikkeling van) een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven? Op welke termijn verwacht u dat dit gerealiseerd kan zijn?

De verwachting is dat dit vooral gebaseerd zal zijn op de grootschalige inzet van waterstof (als grondstof en voor warmte). Gasunie mikt op 2030 voor het gereedkomen van een waterstofnetwerk dat de Rotterdamse haven zal verbinden met ander industriegebieden en met wind op zee.

1D. Welke voorkeuren heeft uw organisatie voor het toekomstige low-carbon energiesysteem in de Rotterdamse haven, en wat is uw belang bij de toekomstige energie infrastructuur?

Voorkeur voor grootschalige inzet van waterstof als grondstof en voor warmte. Gasunie is van plan een "waterstofbackbone" te ontwikkelen met een transportcapaciteit van 15 GW of meer, waardoor de industriegebieden onderling verbonden worden en tevens verbonden worden met ondergrondse opslag van waterstof in zoutcavernes.

1E. Wie zijn de belangrijkste stakeholders voor de toekomstige energie infrastructuur voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven en wat zijn hun belangen? Zijn er ook belangrijke stakeholders buiten het Windmaster project en wat zijn hun belangen?

TenneT, Gasunie Transport Services en het regionale netbedrijf.

1F. Aan welke voorwaarden en criteria moet de toekomstige low-carbon energie infrastructuur in de Rotterdamse haven voldoen?

Systeemintegratie van elektriciteit, waterstof en methaan is essentieel om tot een optimale oplossing te komen. Hybride oplossingen moeten niet over het hoofd worden gezien.

1G. Wat zijn de belangrijkste onzekerheden voor de ontwikkeling van een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven op de lange termijn (voorbij 2030)?

De toekomstige vraag naar waterstof en de locaties en groottes van elektrolyse-stations.

2A: Wat zijn de belangrijkste drivers voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

De markt voor waterstof als grondstof en warmte. De mogelijkheid om processen te elektrificeren.

2B: Wat zijn de belangrijkste barrières voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

Maatschappelijke weerstanden tegen opslaglocaties, tegen grootschalige elektrolyse en gevoelens van onveiligheid t.a.v. waterstof als brandstof.

3A: Welke andere belangrijke factoren kunnen positieve, stimulerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

De publieke opinie is erg voor verduurzaming van de industrie. Uitstralen dat de industrie dat wil kan dus helpen.

3B: Welke andere belangrijke factoren kunnen negatieve, belemmerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

De kosten ervan, zeker als die voor rekening van de burger komen.

Heeft u nog overige opmerkingen?

Ik ben erg benieuwd naar de methode om transitepaden te modelleren in combinatie met de effecten op het energietransportsysteem.

1A. Namens welke organisatie bent u in Windmaster betrokken?

Stedin

1B. Wat is de motivatie voor u en uw organisatie van om deel te nemen aan windmaster?

Motivatie Stedin: eerste concrete studie binnen de samenwerking van infrastructuurpartijen en belanghebbenden binnen het industriecluster Rotterdam. Beter begrijpen welke waarde de methodieken van TU Delft en Siemens kunnen hebben voor het creëren van strategische besluitvormingsinformatie. Persoonlijke motivatie: initiatief om kennis van partijen bij elkaar te brengen waarbij ik verwacht dat hiermee een start gemaakt wordt in het voor langere tijd op kennis gerichte samenwerking met als doel om de energietransitie te versnellen. Het bijdragen aan het versnellen van de energietransitie en het creëren van maatschappelijke waarde is voor mij persoonlijk een belangrijke drijfveer.

1C. Wat zijn uw verwachtingen voor (de ontwikkeling van) een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven? Op welke termijn verwacht u dat dit gerealiseerd kan zijn?

Tot 2030: met name decarboniseren van de utilities en waterstof die de huidige industrie van (zie energie akkoord analyse van het HIC en VNPI rapport december 2017). De basis van de oliegebaseerde keten blijft nog behoorlijk overeind. Mogelijk uitbreiding van BP met hydrocracker (in dat geval verstevigen van BP's raffinaderij). Mogelijk sluiten van BP (indien geen hydrocracker), Gunvor en Koch. Indien CCS wordt uitgerold zal voor langere tijd de oliegebaseerde keten in Rotterdam blijven (concurrentievoordeel tov andere locaties). Dit zal mogelijk remmend werken op het aantrekken van 'groene industrie' (door mogelijk ruimtegebrek en het laat creëren van een 'groene groeikern'). Alternatieve ontwikkeling is het inzetten op het creëren van een 'groene groeikern'. Hierbij hoort het stimuleren dat demo's en opschaling van water elektrolyse in Rdam komen. Tevens hoort hierbij het stimuleren van het creëren van circulaire waardeketens voor koolwaterstof gebaseerde producten. En het strategisch serieus verkennen van waardevolle transitiepaden waarbij publieke partijen er proactief voor zorgen dat de kansen op het aantrekken van groene industrie worden gemaximaliseerd. Het realiseren van adaptief strategisch investeringsplannen voor energie infrastructuur is hier onderdeel van.

Na 2030: uitfasen van resterende olieraffinaderijen Shell en Exxon. Indien CCS-keuze niet gemaakt is in periode voor 2030 zullen deze raffinaderijen eerder sluiten t.o.v. de situatie dat CCS is uitgerold. In dat laatste geval is kans groot dat laatste olieraffinaderijen in NW-Europa in Rotterdam staan. Petrochemische plants zullen ook naar andere grondstoffen (niet fossiel) moeten. Dit betekent mogelijk een ingrijpende verandering van de huidige industrie. Mogelijk zullen huidige fabrieken sluiten (keteneffecten zijn hier denkbaar indien een belangrijke lokale groeikern in het industriecluster gedisinvesteerd wordt). Indien Nederland te laat inspeelt op echte transformatie naar een op hernieuwbare bronnen en circulaire economie, bestaat de kans dat de 'groene industrie' niet in Rotterdam komt. Dit scenario betekent dat er na de oliegebaseerde industrie in Rotterdam geen industrie in Rotterdam komt.

Indien overheden, publieke en commerciële partijen proactief samenwerken op kennis, strategie en investeringen, waarbij gestuurd wordt op het creëren van waarde richting 2050, dan kan in Rotterdam een nieuwe 'groene industrie' opbloeien: recycling van kunststoffen, gebruik van plastic afval als grondstof, synthetische brandstoffen voor vliegvervoer en scheepvaart. O.a. grootschalige water elektrolyse en mogelijke grootschalige 'CO2 uit lucht afvang' passen binnen dit plaatje. Voorwaarde hiervoor is een energievoorziening in Rotterdam die beschikbaar, betrouwbaar en betaalbaar is. Een geschikte energie-infrastructuur is hiervan een element. Deze geschikte energie-infrastructuur kan ontwikkeld worden via een adaptief investeringsplan voor deze energie-infrastructuur (sluit aan bij de kern van het Windmaster project)

1D. Welke voorkeuren heeft uw organisatie voor het toekomstige low-carbon energiesysteem in de Rotterdamse haven, en wat is uw belang bij de toekomstige energie infrastructuur?

Mij zijn geen specifieke voorkeuren bekend vanuit de organisatie. Stedin beheert het elektriciteitsnet op netvlakken 66 KV en lager in de Haven. Verder beheert Stedin het Stoomnetwerk Botlek. Het uitnuttigen van deze assets is een 'lokaal belang' van Stedin. Mogelijk wil Stedin ook een rol spelen in andere energie-infrastructuur in de Rotterdamse haven. Stedin, als publieke partij, heeft als belang om een positieve bijdrage te leveren aan de energietransitie in Nederland.

1E. Wie zijn de belangrijkste stakeholders voor de toekomstige energie infrastructuur voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven en wat zijn hun belangen? Zijn er ook belangrijke stakeholders buiten het Windmaster project en wat zijn hun belangen?

Multinationals die andere technologie willen toepassen om tot CO2-reductie te komen. Dit zijn de multinationals die momenteel in het industriecluster fabrieken bezitten. Tevens kunnen er ook andere multinationals / dezelfde multinationals interesse hebben om een nieuwe fabriek in Rotterdam te stichten. Het belang voor deze multinationals

is een betrouwbare, goedkope en tijdig beschikbare energie-infrastructuur die onderdeel uitmaakt van de voor hen noodzakelijke energievoorziening.

Rijksoverheid is andere belangrijke stakeholder. Publieke partijen worden gereguleerd/gestuurd door de (Rijks)overheid. De (Rijks)overheid heeft belang bij een kosteneffectieve ontwikkeling / beheer van energie infrastructuur. Momenteel wordt echter met name gestuurd op de korte termijn financiële resultaten en wordt minder gestuurd op het op langere termijn creëren van economische kansen doordat de energie-infrastructuur tijdig geschikt is voor het accommoderen van 'groene industrie'. Dit lange termijn belang voor de Nederlandse samenleving, lijkt minder aandacht te krijgen dan dat het verdient.

Overige semi-publieke / private partijen die impact hebben op transitiepaden. Deze partijen kunnen ook transitiepaden blokkeren/mogelijk maken. Het goed begrijpen van de (on)mogelijkheden van deze partijen leidt tot onzekerheidsreductie in investeringen voor infrastructuurbedrijven. Dit begrip biedt tevens kansen op aantrekkelijke nieuwe business cases door bijvoorbeeld het hergebruik van bestaande assets voor een nieuwe duurzame toepassing. Bijvoorbeeld het tijdig geschikt maken van olieproducten pijpleidinginfrastructuur voor 'groene moleculen'.

Burgers en NGO's: de burgers en NGO's moeten goed en serieus betrokken worden bij besluitvormingstrajecten rondom beleid die sturing geven aan de energietransitie. De publieke opinie kan ervoor zorgen dat 'maatschappelijke waardevolle transitiepaden' niet haalbaar worden. Bijvoorbeeld doordat oppositie tot vertraging in de besluitvorming leidt terwijl een maatschappelijk waardevolle transitie waarschijnlijk een grootschalige ombouw van het industrie energiesysteem vereist. Deze ombouw is alleen haalbaar indien besluiten snel genomen worden en vervolgens ook makkelijk in de praktijk uitgevoerd kunnen worden. Breed draagvlak voor investeringsprogramma's t.b.v. de energietransitie is essentieel.

1F. Aan welke voorwaarden en criteria moet de toekomstige low-carbon energie infrastructuur in de Rotterdamse haven voldoen?

Kosteneffectieve, beschikbare en betrouwbare energie-infrastructuur die nog tijdig in de toekomst aangepast kan worden indien omstandigheden daartoe aanleiding geven (bijvoorbeeld het creëren van kansen voor het aantrekken van 'groene industrie in Rotterdam). Om dit te bereiken, is een adaptieve investeringsstrategie nodig die bewust omgaat met de diepe onzekerheden die gepaard gaan met mogelijk toekomstige ontwikkelingen.

1G. Wat zijn de belangrijkste onzekerheden voor de ontwikkeling van een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven op de lange termijn (voorbij 2030)?

Ik neem bij de beantwoording van deze vraag aan dat het te ontwikkelen low-carbon energiesysteem in staat is om deel uit te maken van een aantrekkelijke toekomstige energievoorziening die Rotterdam aantrekkelijk maakt als vestigingsplaats voor groene industrie. Belangrijkste onzekerheden die deze gewenste ontwikkeling van infrastructuur mogelijk in de weg staan:

- aanhoudende focus op korte termijn financieel resultaat bij het aansturen van infrastructuurbedrijven waardoor infrastructuurbedrijven niet tijdig in staat worden gesteld om een adaptief investeringsplan te maken en uit te voeren voor het ontwikkelen van de gewenste energie infrastructuur.
- benodigd leiderschap bij politiek leiders en leiders binnen ondernemingen (zowel publiek als privaat) om echt samen te gaan werken met andere partijen om businessmodellen te transformeren die leiden tot 'groene investeringen'. Het durven loslaten van bestaande verdienmodellen.
- Tevens het 'durven' investeren in kennis en competenties binnen organisaties op het vlak van het creëren van adaptieve lange termijn investeringsplannen en -beleid.
- Het creëren van voldoende draagvlak voor verstandige lange termijn investeringsplannen /-beleid bij beslissers (politiek en bedrijfsleven) en burgers. Het communicatieproces van 'experts' naar beslissers en burgers verdient veel meer aandacht om tot draagvlak te komen voor 'gewenste keuzes'. Tevens dienen 'experts' ook beter te begrijpen wat de maatschappij echt wenst. Het niet dichtn van het kennisgat tussen experts en beslissers/burgers is mijns inziens noodzakelijk voor het creëren van draagvlak. Het is meteen onzeker of het dichtn van het kennisgat voldoende lukt.

2A: Wat zijn de belangrijkste drivers voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

Politiek:

- beleid dat een langdurige samenwerking tussen infrabedrijven, overheid, kennisinstellingen en het bedrijfsleven mogelijk maakt om tot maatschappelijke wenselijke adaptieve investeringsstrategieën te komen waarvoor financiering beschikbaar is.

- beleid dat infrabedrijven, HbR in staat stelt om de adaptieve investeringsstrategie uit te voeren: voldoende financiële middelen beschikbaar stellen voor het tijdig uitvoeren van (voor)investeringen. Tevens beleid dat stuurt op het mogelijk maken van een maatschappelijk wenselijke energietransitie (en dus niet enkel op het korte termijn financieel resultaat).
- beleid dat datadeling tussen partijen vergemakkelijkt / afdwingt om inzicht te krijgen in waardevolle systeemopties.
- vergroten van de kennis op het vlak van energietransitie bij politiek, overheid en burgers.

Economisch: voldoende financiering voor het uitvoeren van de investeringsstrategie (zie hierboven)

Technologisch:

- digitalisering van infrastructuur om beter de beschikbare capaciteit in infrastructuur te benutten (leidt tot lagere kosten).
- creëren van een datahub waarbij verschillende partijen essentiële data delen die via geavanceerde modellen/analytics kunnen leiden tot inzichten die tot kosteneffectievere en meer haalbare energietransitieplannen leiden.
- creëren van kosteneffectieve technologieën die hergebruik van bestaande infrastructuur voor nieuwe toepassingen (van transport van fossiele naar transport van groene moleculen) kosteneffectief faciliteert.

Sociaal, maatschappelijk:

- het creëren van een groter draagvlak voor het oordeel van expertgroepen uit o.a. de academische wereld t.a.v. de strategische richting die gekozen zou moeten worden om tot een maatschappelijk wenselijke transitie te komen. Momenteel worden keuzes gemaakt die zeer grote impact hebben op de ontwikkeling van de maatschappij na de energietransitie. Deze keuzes worden nu gemaakt op basis van gelimiteerde inzichten in wat nu verstandige keuzes zijn om de transitie de gewenste kant op te sturen. De gemiddelde burger heeft te weinig inzicht in wat er werkelijk op het spel staat. Het vergroten van de kennis van de energietransitie bij burgers en het belang van de strategische keuzes in de komende 10 jaar voor de ontwikkeling van de maatschappij is hierbij wenselijk.
- het creëren van groter verantwoordelijkheidsgevoel om te zorgen dat toekomstige generaties ook het welzijn kunnen ervaren dat de huidige generaties (hebben) ervaren. Een maatschappij die dus meer gericht is op het toekomstig welzijn van de maatschappij.
- het zorgdragen voor 'potentiele verliezers' van de energietransitie. Indien 'potentiele verliezers' (bijvoorbeeld fossiele industrie) perspectief geboden wordt binnen de energietransitie, dan zal versnelling plaatsvinden van de energietransitie. Hetzelfde geldt voor compensatie van burgers die de energietransitie kosten niet kunnen dragen.

Ecologisch:

Infrastructuur zal de noodzakelijke versnelling naar een CO2-arm energiesysteem moeten faciliteren.

Beleidsmatig/juridisch:

- het creëren van sturing op lange termijn prestaties van infrastructuurbedrijven en het proactief bijdragen aan een wenselijke energietransitie. O.a. door financiële sturing meer op lange termijn te richten
- het oplossen van datadeling issues tussen partijen. Het stimuleren dat partijen kennis delen zodat gezamenlijk naar waardevollere systeemopties kan worden toegewerkt.

2B: Wat zijn de belangrijkste barrières voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

Politiek

- grote onzekerheden over mogelijke toekomstige ontwikkelingen doordat er geen duidelijke beleidskeuzes gemaakt worden (te weinig sturing vanuit overheden)
- het inspelen op onzekerheden voor burgers door politieke krachten die leiden tot minder maatschappelijke cohesie in plaats van de benodigde grotere maatschappelijke cohesie.
- vasthouden aan de korte termijn sturing op de energietransitie.
- geen leiderschap tonen in de wereld op het gebied van energietransitie.

Economisch

- Focus op korte termijn economische groei in plaats van de focus te leggen op het investeren in de energietransitie: penny wise, pound foolish.

Technologisch

- Modellen en kennis vanuit academische wereld en technologiebedrijven onvoldoende benutten voor het creëren van maatschappelijk wenselijke investeringsplannen.

Sociaal&maatschappelijk

- verdere individualisering en de focus op het welzijn van het hier en het nu.

- ..

Ecologisch

- Infrastructuur is een middel om een ecologisch wenselijke transitie mogelijk te maken. Mocht de sturing van infrabedrijven blijven op de korte termijn, dan wordt het risico groter op het niet ecologisch wenselijk verlopen van de energietransitie

3A: Welke andere belangrijke factoren kunnen positieve, stimulerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

Vergrote mondiale politieke wil om de energietransitie daadwerkelijk voor elkaar te krijgen.

3B: Welke andere belangrijke factoren kunnen negatieve, belemmerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

Een politieke beweging naar verminderde internationale samenwerking. Een toenemend populisme waarbij groepen eerder tegen elkaar worden opgezet dan dat maatschappelijke verbinding gezocht wordt om gezamenlijk de energietransitie vorm te geven.

Heeft u nog overige opmerkingen?

1A. Namens welke organisatie bent u in Windmaster betrokken?

Provincie Zuid-Holland

1B. Wat is de motivatie voor u en uw organisatie van om deel te nemen aan windmaster?

We zien energie-infrastructuur als een cruciale katalysator voor een emissievrij industrieel energie- en grondstoffsysteem.

1C. Wat zijn uw verwachtingen voor (de ontwikkeling van) een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven? Op welke termijn verwacht u dat dit gerealiseerd kan zijn?

Wij sluiten daarvoor aan bij de overwegingen in het ontwerp Klimaatakkoord en de rapportage van de regiotafel Rotterdam-Moerdijk, met de mijlpalen die daarin voor 2020, 2025, 2030 en 2050 zijn genoemd.

1D. Welke voorkeuren heeft uw organisatie voor het toekomstige low-carbon energiesysteem in de Rotterdamse haven, en wat is uw belang bij de toekomstige energie infrastructuur?

Onze voorkeur is een emissievrij grondstoffen- en brandstoffsysteem, inclusief de daarvoor benodigde energiebronnen, met het Haven-Industrieel Complex als de hub waar groene moleculen en te recycleren materialen uit de hele wereld aanlanden, geraffineerd en verwerkt worden tot groene halffabrikaten, en doorgevoerd worden naar de chemische industrie en de maakindustrie in heel Europa. Wij vertegenwoordigen het maatschappelijk belang van een schone, aantrekkelijke, klimaatbestendige leefomgeving waar onze burgers kunnen wonen en werken.

1E. Wie zijn de belangrijkste stakeholders voor de toekomstige energie infrastructuur voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven en wat zijn hun belangen? Zijn er ook belangrijke stakeholders buiten het Windmaster project en wat zijn hun belangen?

Individuele raffinaderijen en bulkchemische bedrijven, Deltalinqs, VNPI en VNCI: heldere keuzes voor waar ze op aanhaken. Havenbedrijf: maximale ontsluiting bedrijventerreinen voor meerdere composities. Gemeente Rotterdam, Provincie Zuid-Holland, Rijksoverheid: maatschappelijk belang van energie-infrastructuren als katalysator voor het industriële energie- en grondstoffsysteem van de toekomst. Stedin, TenneT, Gasunie: financieel verantwoorde bijdrage aan de energie- en grondstoffentransitie.

1F. Aan welke voorwaarden en criteria moet de toekomstige low-carbon energie infrastructuur in de Rotterdamse haven voldoen?

Laagste kosten gerekend over langere periode. Ruimte voor innovatie. Open. Niet-vrijblijvend aansluiten als dit aantoonbaar energie en kosten bespaard met acceptabele terugverdientijd.

1G. Wat zijn de belangrijkste onzekerheden voor de ontwikkeling van een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven op de lange termijn (voorbij 2030)?

Ontwikkelingen op wereldmarkt wat betreft low-carbon eisen. Onzekerheid over welke energiedragers en grondstoffenstromen dominant zullen worden.

2A: Wat zijn de belangrijkste drivers voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

1. Economisch. 2. Politiek. 3. Sociaal & maatschappelijk.

2B: Wat zijn de belangrijkste barrières voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

1. Juridisch-beleidsmatig. 2. Economisch. 3. Technologisch.

3A: Welke andere belangrijke factoren kunnen positieve, stimulerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

Internationale samenwerking met Nordrhein-Westfalen en Antwerpen.

3B: Welke andere belangrijke factoren kunnen negatieve, belemmerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?

Concurrentie met andere aanlandplaatsen voor offshore wind langs de West-Europese kust.

Heeft u nog overige opmerkingen?

1A. Namens welke organisatie bent u in Windmaster betrokken?

Port of Rotterdam

1B. Wat is de motivatie voor u en uw organisatie van om deel te nemen aan windmaster?

Optimale infrastructuur in de haven organiseren die klaar is voor de toekomst

1C. Wat zijn uw verwachtingen voor (de ontwikkeling van) een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven? Op welke termijn verwacht u dat dit gerealiseerd kan zijn?

In het begin zal oud en nieuw naast elkaar bestaan. Hergebruik zal in de toekomst mogelijk worden. Daarnaast zullen we anders/groter moeten gaan kijken naar andere infrastructuur, zoals elektra (loopt een studie voor), waterstof, ...

1D. Welke voorkeuren heeft uw organisatie voor het toekomstige low-carbon energiesysteem in de Rotterdamse haven, en wat is uw belang bij de toekomstige energie infrastructuur?

Het gaat om de bedrijven. Wij ondersteunen. Wuppertal en klimaatakkoord (o.a. tafel Rotterdam-Moerdijk) geeft sturing

1E. Wie zijn de belangrijkste stakeholders voor de toekomstige energie infrastructuur voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven en wat zijn hun belangen? Zijn er ook belangrijke stakeholders buiten het Windmaster project en wat zijn hun belangen?

Overheden (centraal en lokaal), NGO's, omwonende, de bedrijven in de haven, nieuwe bedrijven en indirect de personen/organisaties die de producten die via de haven afnemen.

1F. Aan welke voorwaarden en criteria moet de toekomstige low-carbon energie infrastructuur in de Rotterdamse haven voldoen?

Toekomstbestendig, aansluiten bij EU/Nationaal beleid, competentief, betrouwbaar, en beschikbaar

1G. Wat zijn de belangrijkste onzekerheden voor de ontwikkeling van een low-carbon energie systeem in de Rotterdamse haven op de lange termijn (voorbij 2030)?

Na 2030 is heel veel nog onzeker. We willen naar 0% CO2 uitstoot. Blijft dit en maken we nu de juiste keuze die voor langetermijn gedragen worden.

2A: Wat zijn de belangrijkste drivers voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

CO2 vrij, minder afhankelijk van andere landen, (hopelijk) op termijn betere business case, aardgas problemen Groningen, (maatschappelijk) draagvlak, beschikbaarheid van de Noordzee, technologische vooruitgang in de sector

2B: Wat zijn de belangrijkste barrières voor het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 in de Rotterdamse haven voor de energie-intensieve industrie? Deze kunnen (i) politiek, (ii) economisch, (iii) technologisch, (iv) sociaal & maatschappelijk, (v) ecologisch, en (vi) juridisch-beleidsmatig zijn.

Huidige business case tegen alternatief, verandering dus weerstand, bestaande contracten, beschikbaarheid / snelheid van realisatie offshore wind (huidige 2030 plan is enkel vervanging elektriciteit), Landschapvervuiling en functies op zee,

3A: Welke andere belangrijke factoren kunnen positieve, stimulerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?**3B: Welke andere belangrijke factoren kunnen negatieve, belemmerende invloed hebben op het realiseren van een energie-infrastructuur voor conversie, opslag en gebruik van 5 GW offshore windenergie in 2030 voor de energie-intensieve industrie in de Rotterdamse haven?**

Import van duurzame energie/grondstoffen goedkoper blijkt/wordt (bv zon in Africa). Breakthrough technologies plijten voor andere ontwikkeling. Te weinig ruimte op de Noordzee.

Heeft u nog overige opmerkingen?

Bijlage 5: Business Ecosysteem Model

Energy Business Advisory

Proof of Concept

Windmaster

Christian Heuer Mubashir Bokhari
heuer.christian@siemens.com mubashir.bokhari@siemens.com

02.04.2019

©Siemens AG, 2019
SI DG SW&C PTI
All Rights reserved.

Project Representation

Martti van Blijswijk	TenneT
Patrice Pawiroredjo	Stedin
Harry van Dijk	Deltalinqs
Andreas Ten Cate	ISPT
Jarig Steringa	Gasunie

Disclaimer

This document is meant for the specific use by the Windmaster consortium partners and Siemens for the purpose of presenting the results of the work conducted by Siemens. It shall serve as documentation and illustrates how the ecosystem modeling approach could support the Windmaster project. It is in its entirety subject to Copyright Laws and shall be treated confidential by all parties.

Contents

1. Management Summary	5
2. Business Ecosystem Model	8
2.1. Elements	8
2.2. Purpose: A New Framework for Infrastructure Planning	11
2.3. Model Perspectives	12
3. Windmaster Business Ecosystem - Rotterdam Region	13
3.1. Role of 'Provincie Zuid-Holland'	14
3.2. Ecosystem Overview	16
3.3. Key Pathways	19
List of Figures	22
A. Business Models and Value Flows	24
B. Glossary	47

Chapter 1.

Management Summary

The upcoming Energy Transition in the Netherlands seeks to create a circular, low-carbon economy characterized by efficient energy consumption, carbon reduction, and large-scale integration of renewable energy. As a long-term structural change in the energy system, this transition implies a transformation of the entire ecosystem with new business models, new market entrants, and changing roles for existing market players.

The Port of Rotterdam has become the economic engine of this region in the last few decades by ensuring efficient resource utilization and value addition to the raw materials imported through the port. However, as a result of the push to reduce emissions and carbon consumption (e.g. Paris climate agreement), the existing equilibrium faces the risk of destabilization, loss of wealth creation potential, and declining productivity. In that context, the core challenges and concerns faced by the stakeholders in the Rotterdam region include the following:

Challenges:

- Integration of 6GW of renewable energy from offshore wind
- Carbon reduction targets
- Interdependence of different industries on hydrocarbons as primary feedstock
- Changing requirements of core sectors (electricity, industry, transportation, and the built environment)
- Role of new infrastructure for transporting / distributing energy carriers like carbon-compounds (CO₂ , CO), district heating, hydrogen, waste etc.
- Shifting paradigms in customer perceived value, social behaviors & value systems

Chapter 1. Management Summary

In Siemens' view, the way forward is to seek sustainable ways of transforming the entire ecosystem by not only identifying new value streams within the cluster, but also through addressing the social and political concerns of the stakeholders. This aligns well with the key objectives of the Windmaster project which are to:

- Develop a proof of concept of modeling approach Siemens-TU Delft for creation of adaptive investment plan for electricity and H₂ infrastructure
- Focus on energy infrastructure planning (electricity and H₂) and policies of infrastructure providers, while considering deep uncertainties due to energy transition.

In that context Business ecosystem modeling concepts can support stakeholders in identifying the most efficient transition pathways for the energy transition by:

- Identifying key stakeholders in the Port of Rotterdam's ecosystem
- Aligning on their individual key tasks, pain points, and their future visions
- Developing a multi-faceted comprehensive perspective of the ecosystem including:
 - Internal business models
 - Value Flows
 - Material streams
- Supporting the design of viable new business models that will lead to value creation from the systems point of view

Next to 'visioning workshop and backcasting' the structured approach of business ecosystem modeling will help 'cross-check' general assumptions and validate the potential transition pathways that impact the energy infrastructure under consideration.

Participants:

As part of the Windmaster project, Siemens organized a series of interview sessions with key stakeholders in the Rotterdam region including:

- TenneT
- Stedin
- Institute for Sustainable Policy Technology (ISPT)

Chapter 1. Management Summary

- Deltalinqs
- Gasunie
- Province of Zuid-Holland

As a result of these interview sessions, Siemens has applied its Business Ecosystem Model to the Port of Rotterdam region to model its keys stakeholders and their mutual interactions. A total of 25 distinct entities have been identified with their interconnected business models and value flows (included in [Appendix A](#)).

Key Pathways:

The Business Ecosystem Model, with its current and future attributes, has been built on the following 5 key pathways identified during the interview sessions (see [Section 3.3](#)):

1. Localization of Wealth Creation
2. Infrastructure as a Catalyst for Innovation
3. H₂ and Carbon-containing compounds (methanol, CO₂, liquid synthetic fuels) as buffering media
4. *Defossilization* rather than Decarbonization
5. From Commodities to Services

These 5 key pathways have been used to map the various entities and their relationships with each other within Rotterdam's regional cluster, while considering the complex dynamic interplay of social, economic, technical and geographic requirements.

As this is just the first iteration in a cyclical process, Siemens recommends further stakeholder validation and elaboration to refine the relationships between entities and identify better and more focused value flows for Rotterdam's future Business Ecosystem.

Chapter 2.

Business Ecosystem Model

This chapter describes the basics of Siemens' Business Ecosystem Model in terms of its elements, aspirations, and perspectives.

2.1. Elements

Which Model Elements?

Siemens Business Ecosystem Model consists of different model elements. This section introduces the key elements and the model terminology relevant for the project.

- **Entities**

Organizations operating within the ecosystem are classified in a comprehensive community ecosystem ontology. Groups of similar organizations form entity types with shared attributes and characteristics. The key attributes that differentiate entity types in the Siemens' business ecosystem relate to energy and include the overall energy profile, including types and quantities of energy consumed, peak power demand, energy uses (e.g. process heat, space heat, lighting, mechanical), and any amounts of shiftable load. This categorization of entities into types serves to highlight the nature of energy use within the community. In doing so, recognition of the unique needs of the various entities is brought to the forefront.

Business entities can deploy a single or multiple Business Models with other entities. The deployed Business Model is the transactional relation between different entities characterized by exchange of material, services, or equipment.

Chapter 2. Business Ecosystem Model

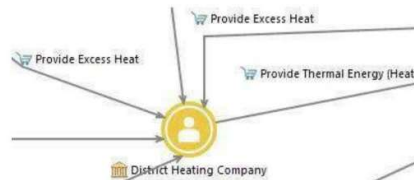


Figure 2.1.: Entity with transactional relations - Example District Heating Utility

Figure 2.1 shows the model icon as well as the possible interrelation with other entities of the ecosystem. Each connection line represents a Business Model describing the transactional relationship between two entities.

- **Business Models**

The Business Model Canvas¹ is an internationally established framework to describe and analyze Business Models. Within the Ecosystem model a Business Model describes the relation between two entities. A Business Model can be adopted by a single entity or several. Figure 2.2 recalls the structure of the canvas.



Figure 2.2.: Business Model Canvas

- **Value Flow**

¹See Osterwalder et al: Business Model Generation

Chapter 2. Business Ecosystem Model

The value flow analysis elaborates the business model canvas concept further by mapping the precise flow and creation of value within the business model, its core dependencies, and the attendant cost and revenue streams. Figure 2.3 illustrates how the value flow analysis can be used for identifying which partnerships are crucial for supporting which value proposition, which key resources and activities can be outsourced, and which cost elements can be minimized.

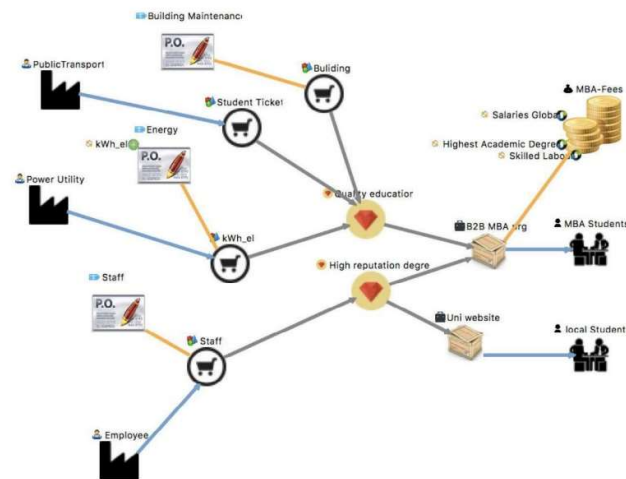


Figure 2.3.: Business Model Canvas

• Ecosystem Network

The Ecosystem network or “Ecosystem Overview” shows the entire interrelation between entities and their deployed Business Models. Figure 2.4 shows an example of an Ecosystem Overview extracted from an actual Business Ecosystem study to illustrate the model concept. The business entity with an outgoing arrow owns the particular business model indicated by the line, while the entity on the other end is the recipient which receives the material, service, or equipment for its own business needs.

Chapter 2. Business Ecosystem Model

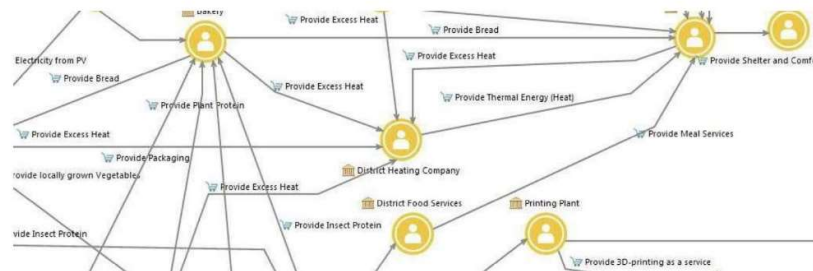


Figure 2.4.: Ecosystem Overview - Example extract

The different views of the same model allow managing complexity and providing a simultaneous focus on both, macro and micro aspects of any complex business ecosystem. The tooling also allows to analyze and synthesize scenario considerations, for example the impact of additional relations or effects of reductionism.

2.2. Purpose: A New Framework for Infrastructure Planning

The guiding principle of Siemens' Business Ecosystem Modeling (BEM) is to provide a new framework for effective and value-oriented infrastructure planning.

A successful infrastructure strategy requires a strong alignment among the stakeholders providing services around infrastructure and the participants consuming these services for value creation in the broader "ecosystem". To avoid trial and error in achieving this alignment, BEM provides a new approach to modeling and planning the interaction of the participants within the ecosystem. This approach considers multiple value flows (electricity, fuel, gas, carbon etc.) amongst ecosystem entities, maps the value flows to the relationships between entities, and enables identifying new mutually beneficial relationships which can increase value generation within the community (business) energy ecosystem.

BEM meta-modeling relies on a 'system-of-systems' approach and complex agent-based systems. This approach has first been published in 2016 during the CIREC conference². The BEM is designed around an Eclipse-based model to manage data

²"A new framework for infrastructure planning", Heuer et.al., CIREC, Helsinki, Finland, June 2016

Chapter 2. Business Ecosystem Model

inputs, systemic transactional relation and visualization. While the tool is programmed in an open source environment, the BEM meta-model and BEM tooling IPR are a property of Siemens Energy Business Advisory team.

2.3. Model Perspectives

Siemens Business-Eco-System Models has 5 perspectives (views) of the same model. This allows focusing on the respective relevant aspects of the complex eco-system interrelations:

1. **Ecosystem Overview**, shows all entities in transactional relation with one another. See also Figure [2.4](#)
2. **Business Model Canvas** - based on the management framework from Osterwalder & Pigneur
3. **Business Model Value Flow** - shows the actual relations of the Business Model elements amongst each other (See Fig [2.3](#))
4. **Value Creation Network (VCN)** - shows the Value network amongst partners and allows understanding and strengthening critical value conversion pathways.
5. **Value Currency Matrix (VCM)** - maps value currencies and their deployment supporting specific value propositions across the value creation network.

Note: Due to scope limitations VCN and VCM have been discarded from this initial project.

Chapter 3.

Windmaster Business Ecosystem - Rotterdam Region

Figure 3.1 shows an overview of the Business Ecosystem in the Rotterdam region where a total of 25 entities and business models have been modeled.

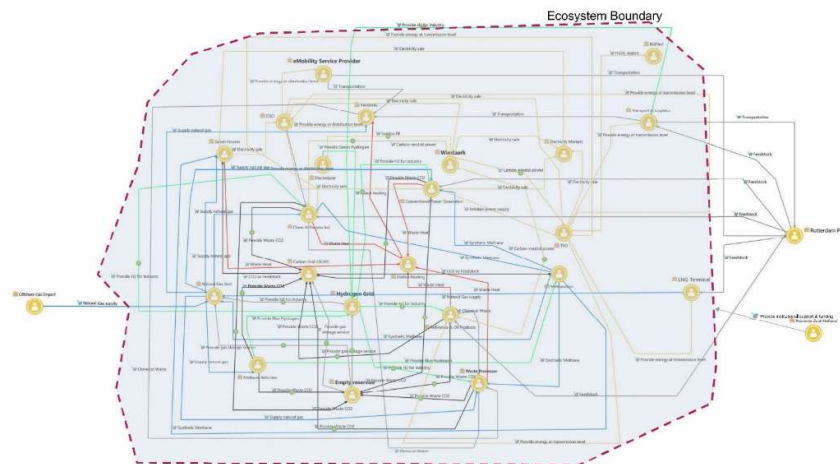


Figure 3.1.: Rotterdam Business Ecosystem Boundary

Please note that this overview is intended as a reasonable and non-exhaustive approximation of a highly complex ecosystem covering current and future interactions. Certain entities are included within the Ecosystem boundary due to their intensive mutual interactions, while other entities such as the offshore gas importing infrastructure, the Port Authority, and the province of Zuid-Holland have been

Chapter 3. Windmaster Business Ecosystem - Rotterdam Region

placed outside the infrastructure boundary to indicate their overall connection to the ecosystem without being intensely connected to all entities within the ecosystem.

3.1. Role of 'Provincie Zuid-Holland'

The province of Zuid-Holland is responsible for a quarter of all national energy consumption and about a third of national carbon emissions. Given the role of the Rotterdam region as an economic engine, the province is highly interested in cultivating innovation within the Rotterdam region by fostering the business ecosystem in order to reduce emissions and increase overall efficiency and productivity.

To institutionalize and formalize this role, the province has created different bodies and institutions such as Energy Innovation Board Zuid-Holland and Energy Innovation Delta among others. Through these bodies, the province carries out routine activities across four broad categories:

- **Connecting different stakeholders and entities**
 - At the port level to ensure alignment on different activities, e.g., regional energy strategies in different regions, developing hydrogen distribution infrastructure, developing heat distribution infrastructure etc.
 - At a regional level to integrate the port with other regions within Netherlands, and also with foreign regions
- **Infrastructure support and advice:**
 - Leveraging its neutral position to foster dialogue and information exchange between potentially competing business entities
 - Supporting public-private partnerships (PPPs) and ensuring open access to shared infrastructure resources
 - Providing advice on infrastructure requirements for developing strong gas and electricity backbones.
 - Providing advice on integrating different infrastructures, sector-coupling concepts, and relevant use cases (e.g. renewables integration and P2G concepts, developing a hydrogen infrastructure, connecting supply and demand of residual heat etc.)
- **Managing and enforcing a framework for permissions, inspections, and enforcement of land use policies:**

Chapter 3. Windmaster Business Ecosystem - Rotterdam Region

- Evaluating requests for permissions for new projects (e.g. large scale electrolysis plant for H₂ production)
- Collaborating with environmental protection agencies to assess environmental impact for new activities
- Developing guidelines and rules for such new projects
- Enforcement and controlling of policy compliance

- **Funding innovation:**

- Assisting universities and research centers with financial support (particularly through the universities in Leiden, Delft, and Rotterdam)
- Financing pilot projects, field labs, and test beds, particularly for green technologies
- Organizing conferences and symposiums to highlight industry insights and lessons learnt, potential challenges, and research breakthroughs

Although a key player, the province plays an indirect role within the broader ecosystem by supporting interactions between different stakeholders. These stakeholders include government agencies, non-governmental organizations, national policy-making bodies, research clusters, financial institutions, as well as private investors and entrepreneurs.

Future plans of the province include joint management of investments together with the port to further support green technologies and development of the H₂ infrastructure. These plans, however, require political approval and are subject to adjustments based on budgetary constraints.

Chapter 3. Windmaster Business Ecosystem - Rotterdam Region

3.2. Ecosystem Overview

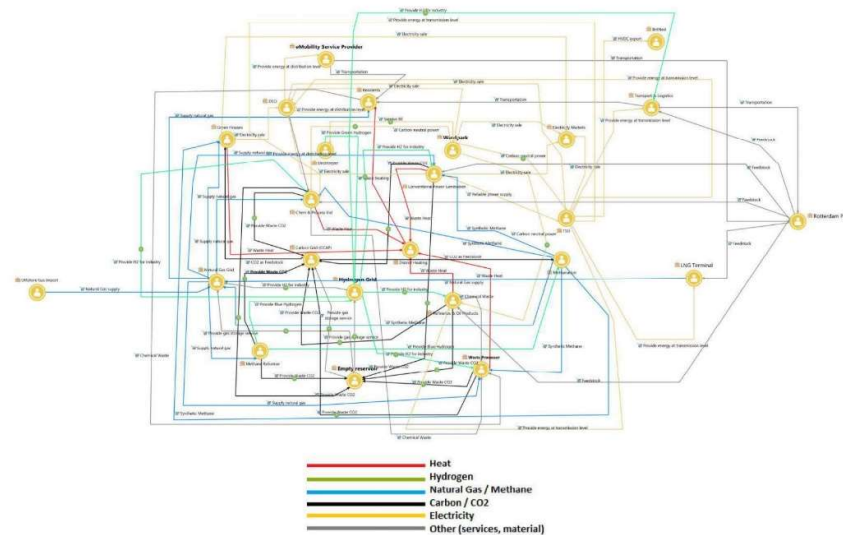


Figure 3.2.: Rotterdam Business Ecosystem Overview

New market players are indicated as Business Entities with **bold** titles. Future business models and interactions that require particular focus or initiation by new market players have been indicated by color-coded lines with a plus (+) sign. Additionally, different business models, value flows, and materials streams have been organized and color-coded into the following categories:

- Heat
- Hydrogen
- Natural Gas / Methane
- Carbon-compounds (e.g. CO₂)
- Electricity
- Other (services, material)

Chapter 3. Windmaster Business Ecosystem - Rotterdam Region

In order to develop the comprehensive Business Ecosystem Model for the Windmaster project, Siemens conducted a series of interview sessions with the following participating companies:

- **TenneT:** TenneT B.V. is the national electricity transmission system operator of the Netherlands, responsible for overseeing the operation of the 380 and 220 kV high-voltage grid throughout the Netherlands and its interconnections with neighboring countries. It is additionally responsible for the 150 kV grid in South Holland.
- **Stedin:** Stedin Group consists of five different business units: grid operator Stedin, infrastructure company Joulz and DNWG Group. DNWG Group is a grid operator consisting of two divisions: grid operator Enduris and infrastructure company DNWG. Together, the Stedin group is driven to achieve the goal of providing sustainable energy for everyone, ensuring that all customers have access to sustainable energy to live, work and run their businesses.
- **Deltalinqs:** Deltalinqs represents the joint interests of more than 95% of all logistics, port and industrial companies in the main port of Rotterdam with more than 700 companies from fourteen different sectors affiliated with Deltalinqs. Together these companies contribute 3% to the Gross National Product of the Netherlands and offer direct and indirect employment to more than 175,000 people.
- **Institute for Sustainable Process technology (ISPT):** ISPT is a co-operation between industry, universities, and knowledge institutes, which aims at speeding up innovation and making it more efficient. Apart from developing and extending new knowledge domains, the institute aims at the development, demonstration and application of breakthrough technologies with a special focus on process technology with the goal to improve the competitive position of the Dutch Process Industry.
- **Gasunie:** Gasunie Transport Services (GTS) is active in the Rotterdam region in providing gas transport, constructing new infrastructure, participating in new projects, and developing new services for its gas customers. Gasunie also provides the market with gas storage facilities (EnergyStock), the pipeline to England (BBL) and the LNG terminal Gate at Maasvlakte. In addition, it facilitates and stimulates the green gas market through its subsidiary Vertogas. Producers and traders in green gas can also use Vertogas for certification of their green gas.

Chapter 3. Windmaster Business Ecosystem - Rotterdam Region

- **Port of Rotterdam:** The Port of Rotterdam has five distinct port areas and three distribution parks that serve a broader hinterland region with around 40 million inhabitants. The key objective of the port authority is to ensure a smooth transition to a sustainable future in terms of energy efficiency, carbon reduction, and renewables integration, while maintaining its competitive edge as a world-class hub for logistics and industry. Through its tenancy relationships with the industrial complexes within the port area, the port authority seeks to develop, enhance, and utilize its infrastructure in a manner that makes the supply chain efficient, reduces emissions, and ensures safe and efficient shipping services.

The most commonly stressed objectives in the interview sessions were to ensure sustainable growth, reduce carbon emissions, and support integration of renewable energy through strengthening the competitiveness of Rotterdam's port and its industrial cluster. Taken together, this points to a significant room for aligning the future strategies of these companies.

3.3. Key Pathways

1. **Localization of Wealth Creation:** Although the workshop participants agreed that Rotterdam region's economy and industrial clusters have benefited from the industries in the hinterland, it was argued during the workshop sessions that the relationship has sometimes resulted in unequal distribution of benefits; i.e., Rotterdam serves primarily as the transport corridor for the hinterland where real value-addition and wealth creation happens. Future development strategies should focus more on localizing value creation within the area, in comparison to just serving as the energy transport corridor.

In that context, the planned infeed of 6GW of offshore wind energy should be treated as the local resource of the future, which if utilized appropriately within the cluster through value-added activities, can prove to be a significant boon to the local economy and society. Additionally, TenneT as the TSO will have to undertake significant infrastructure expansion to increase the bulk transport capacity if the entirety of future offshore wind energy (perhaps more than 6GW) were to be supplied to Germany and other countries. From that perspective, it is of strategic priority to maximize *local* value-creation and value addition by utilizing the offshore wind energy *within* Rotterdam's industrial cluster.

2. **Infrastructure as a Catalyst for Innovation:** In the past, the gas and power companies were monopolistic integrated utilities with a societally-accepted traditional role of driving innovation, providing key services, supporting the local economy, and investing in the area's infrastructure with a long-term perspective. With the unbundling and liberalization of the energy industry, gas and power utilities no longer play the same role in driving innovation. It is also obvious that no single entity shall be responsible in the future for driving innovation and investing in the local infrastructure.

Therefore, different ecosystem players must work together to not only drive innovation and ensure equitable distribution of costs, they must also work together to convince other stakeholders and society of the importance of infrastructure investment. But for that to happen, internal corporate risks and intra-company concerns must be addressed first to remove all hurdles to inter-company collaboration.

3. **H₂ and Carbon as Buffering Mediums:** Supplying the planned offshore wind energy directly to the energy transmission corridor for downstream

Chapter 3. Windmaster Business Ecosystem - Rotterdam Region

consumption without decoupling the generation and consumption of energy leaves significant value unexploited. This is especially sub-optimal during times of limited transport capacity which might lead to congestion and re-dispatching downstream consumption, resulting in high redispatch costs and surplus wind energy which must be curtailed and wasted.

By decoupling the generation and consumption of energy through intermediate energy-carrying ‘buffering’ mediums of H_2 and CO_2 creates the opportunity to store, convert, and reconvert surplus renewable energy for times when the transport capacity is limited. In that context, dedicated Hydrogen and CO_2 backbones ought to be considered to not only realize the power-to-gas and power-to-heat concepts, but power-to-X in its broadest definition by covering additional material flows such as waste, chemicals, and steel etc. Realization of such Power-to-X concepts are of intrinsic value in themselves, i.e., providing pathways for minimizing waste and creating additional value even during times when no surplus renewable energy is available. There is already progress being made on that theme, expedited by the depleting North Sea gas reserves which will lead to some gas reservoirs being available for Hydrogen or CO_2 storage.

4. **Defossilization rather than Decarbonization:** Since Carbon is a circular commodity within the Rotterdam ecosystem, it cannot be fully eliminated, especially considering some core industries rely on CO_2 as their primary feed-stock (e.g. Green Houses). Similarly, full electrification is an aspirational goal that cannot be fully achieved as some energy consumption categories cannot be fully electrified, e.g. oil refineries, plastics, and petrochemical industries. Hydrocarbon liquid fuels have high energy density and therefore are likely to be favorable energy carriers for fueling aviation and international shipping. Therefore, a more realistic focus should be on defossilizing selected energy consumption categories to the extent possible.
5. **From Commodities to Services:** As a natural extension of the concept of cross-silo industry collaboration, ecosystem entities in the Rotterdam area need to consider the end-use of their sold products, and thereby identify opportunities for increasing efficiencies across the value-chain by offering new services. For example, beyond selling kWh, electricity distribution companies should actively explore providing services to end-customers (district heating, cooling, hot water etc.). Similar analogies and use-cases exist for other industry sectors, which when adequately addressed, will not only add new value streams and revenue sources for the pioneering entity, they will also improve

Chapter 3. Windmaster Business Ecosystem - Rotterdam Region

overall system efficiencies.

List of Figures

2.1. Entity with transactional relations - Example District Heating Utility	9
2.2. Business Model Canvas	9
2.3. Business Model Canvas	10
2.4. Ecosystem Overview - Example extract	11
3.1. Rotterdam Business Ecosystem Boundary	13
3.2. Rotterdam Business Ecosystem Overview	16
A.1. Rotterdam Business Ecosystem Overview	24
A.2. Ecosystem Overview	25
A.3. Owner(s): Carbon Grid - CO ₂ as Feedstock	26
A.4. Owner(s): Green Houses, Windpark, Power Generation - Electricity sale	27
A.5. Owner(s): Port of Rotterdam - Feedstock	28
A.6. Owner(s): LNG Terminal - GasSupply	29
A.7. Owner(s): Windpark - Carbon-neutral Power	30
A.8. Owner(s): TSO - HVDC export	31
A.9. Owner(s): Methane Reformer - Provide Blue Hydrogen	32
A.10.Owner(s): DSO - Provide energy at distribution level	33
A.11.Owner(s): TSO - Provide energy at transmission level	34
A.12.Owner(s): Empty Reservoir - Provide gas storage service value	35
A.13.Owner(s): Electrolyzer - Green Hydrogen	36
A.14.Owner(s): Hydrogen Grid - Provide H ₂ for industry	37
A.15.Owner(s): Refiners, Process industry, Waste processor, Power generation, Methane Reformer - Provide Waste CO ₂	38
A.16.Owner(s): Conventional Power Generation - Reliable power supply	39
A.17.Owner(s): District Heating - Space heating	40
A.18.Owner(s): Gas Grid - Supply natural gas	41
A.19.Owner(s): Windpark - Surplus RE	42
A.20.Owner(s): Methanation Plant - Synthetic Methane	43
A.21.Owner(s): eMobility Service Provider, Transport & Logistics Hub - Transportation	44

List of Figures

A.22.Owner(s): Waste processor, Refineries, Process industry, Power generation, Green houses - Waste Heat	45
A.23.Owner(s): Provincie Zuid-Holland - Provide Institutional Support & Funding	46

Appendix A.

Business Models and Value Flows

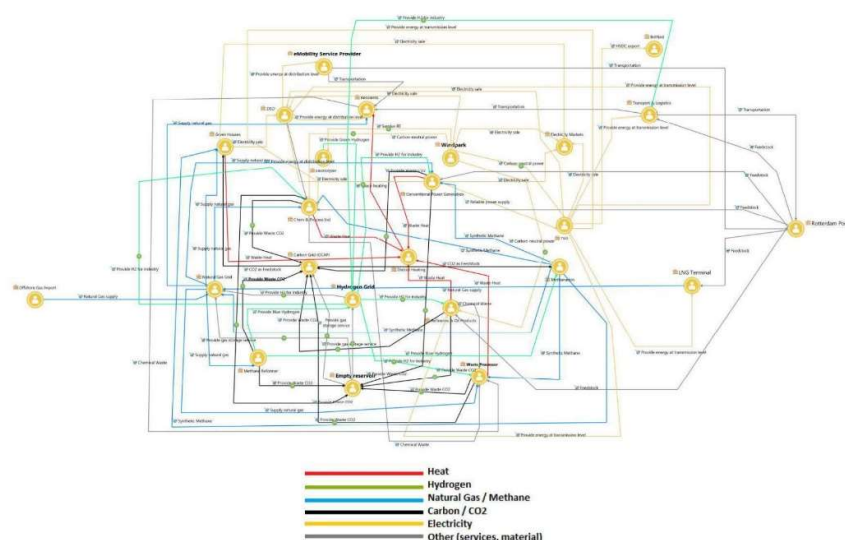


Figure A.1.: Rotterdam Business Ecosystem Overview

A total of 23 business entities and business models have been modeled in the broader ecosystem of the Rotterdam area. The following provides an overview of each of the business models together with its value flow:

Appendix A. Business Models and Value Flows

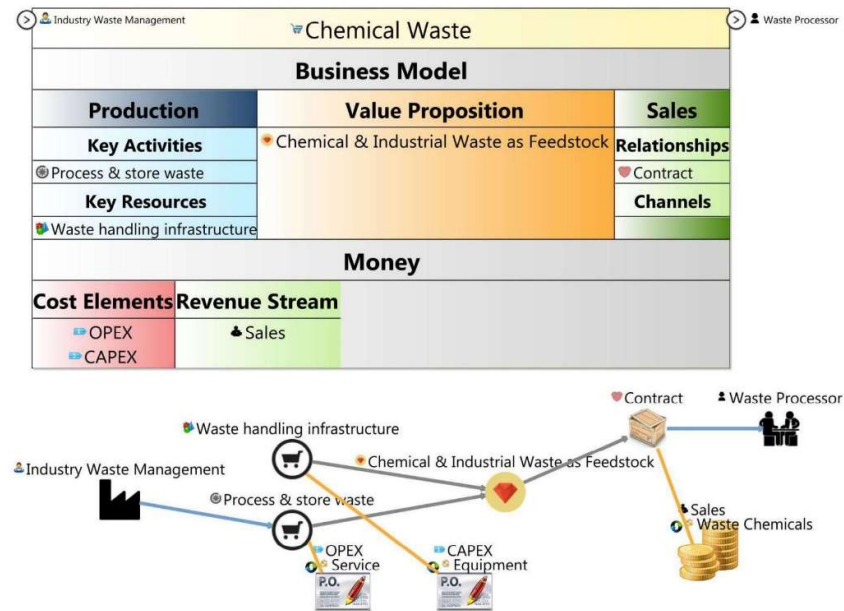
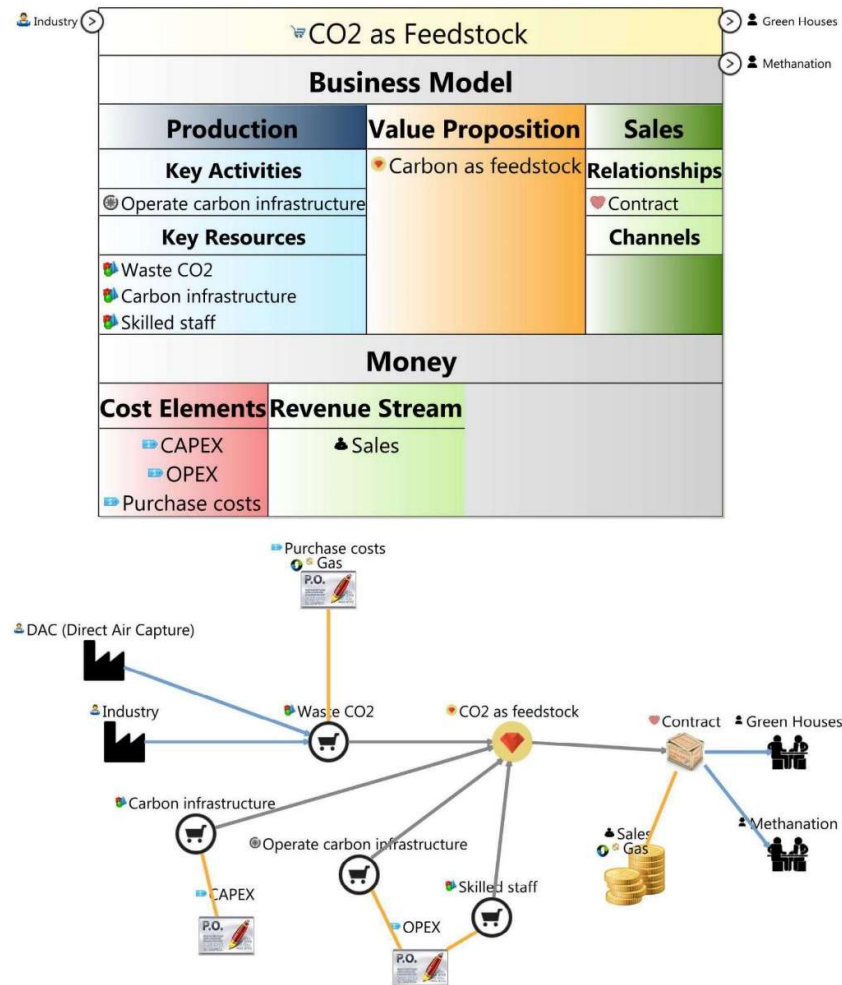


Figure A.2.: Ecosystem Overview

Appendix A. Business Models and Value Flows

Figure A.3.: Owner(s): Carbon Grid - CO₂ as Feedstock

Appendix A. Business Models and Value Flows

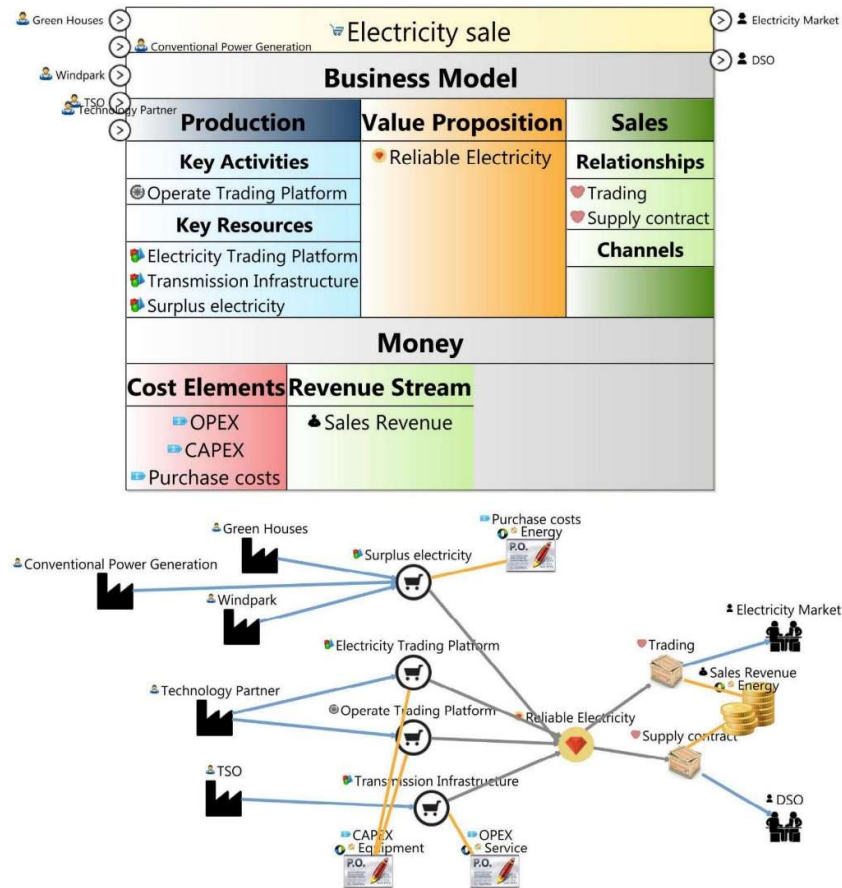


Figure A.4.: Owner(s): Green Houses, Windpark, Power Generation - Electricity sale

Appendix A. Business Models and Value Flows

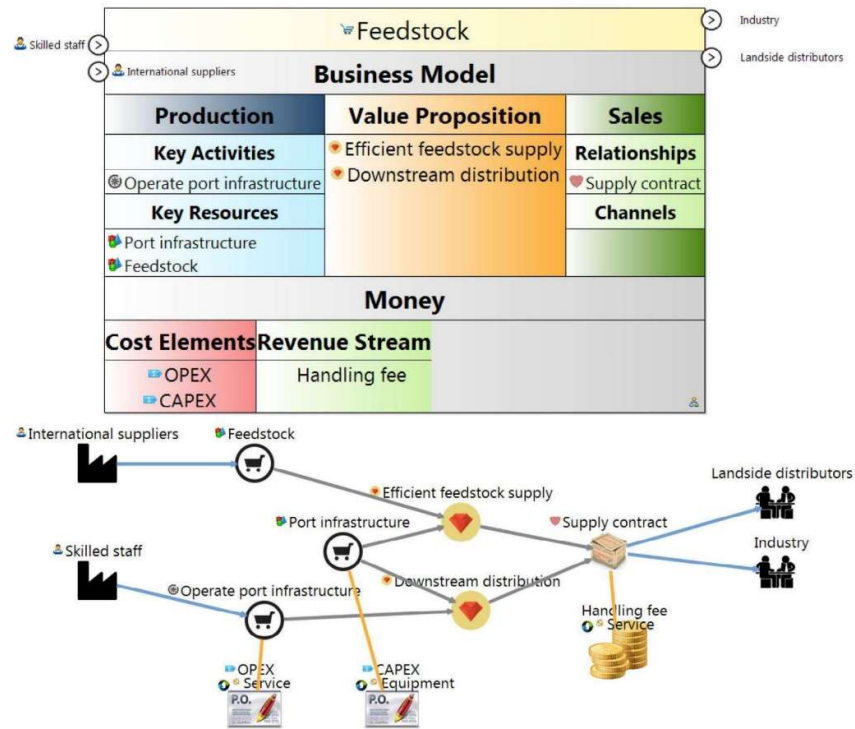


Figure A.5.: Owner(s): Port of Rotterdam - Feedstock

Appendix A. Business Models and Value Flows

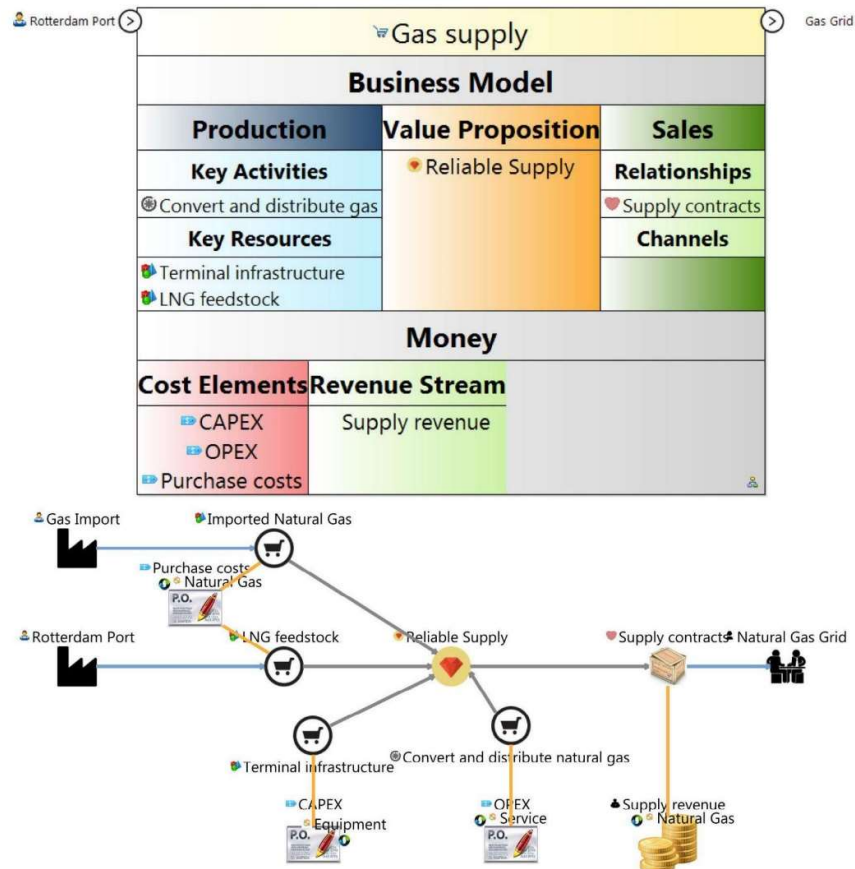


Figure A.6.: Owner(s): LNG Terminal - GasSupply

Appendix A. Business Models and Value Flows

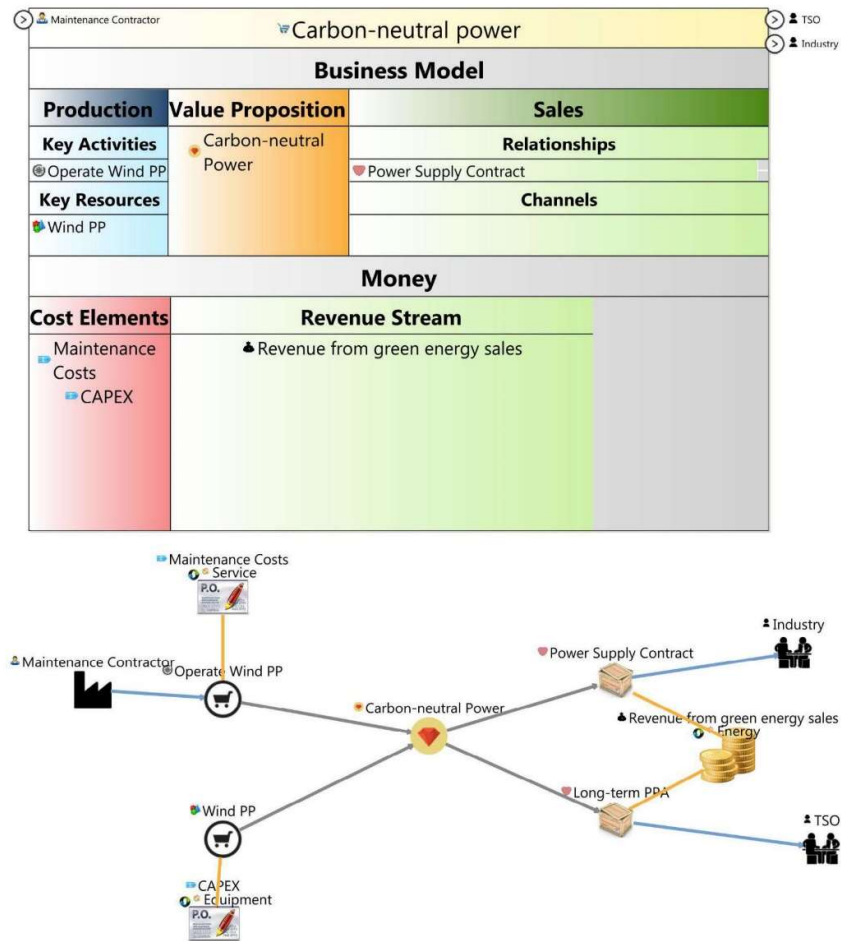


Figure A.7.: Owner(s): Windpark - Carbon-neutral Power

Appendix A. Business Models and Value Flows

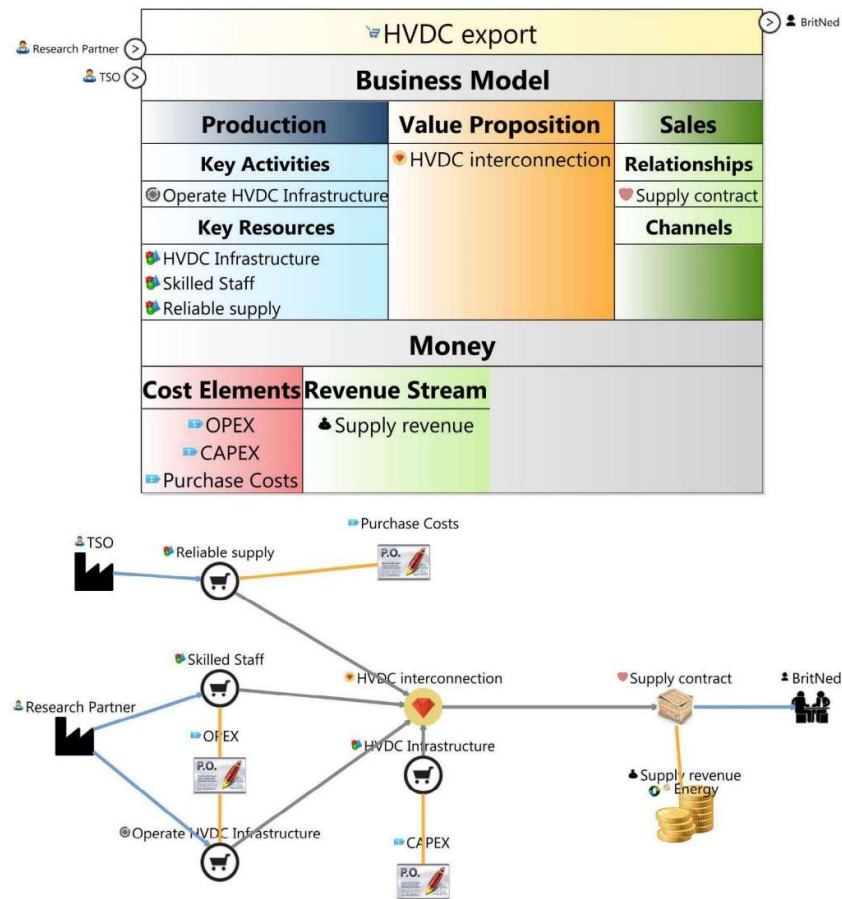


Figure A.8.: Owner(s): TSO - HVDC export

Appendix A. Business Models and Value Flows

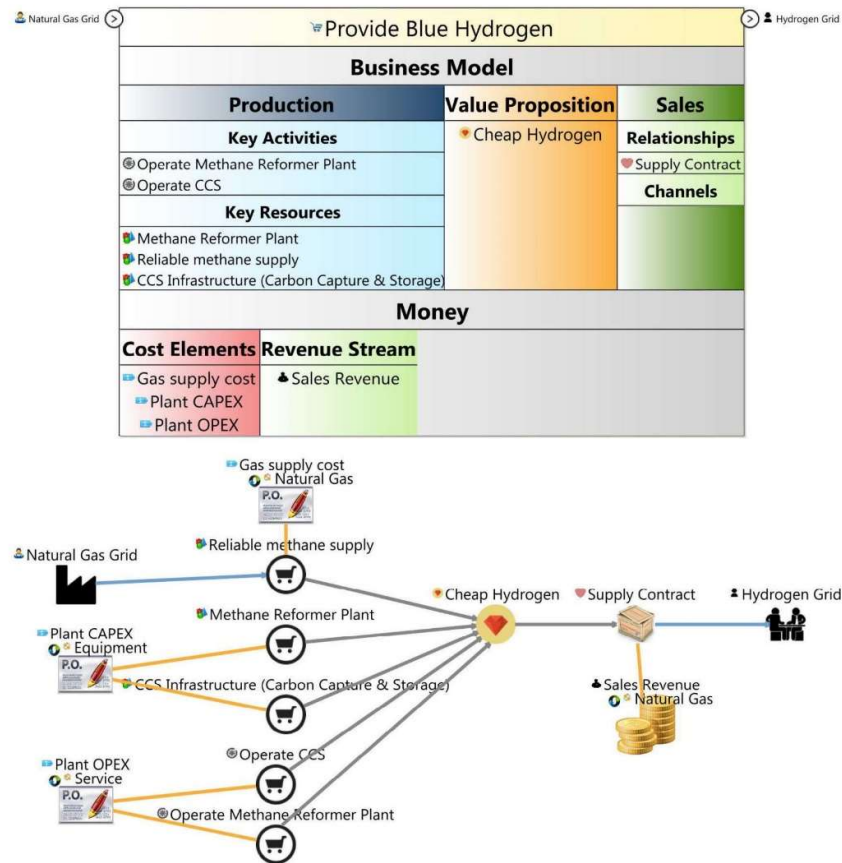


Figure A.9.: Owner(s): Methane Reformer - Provide Blue Hydrogen

Appendix A. Business Models and Value Flows

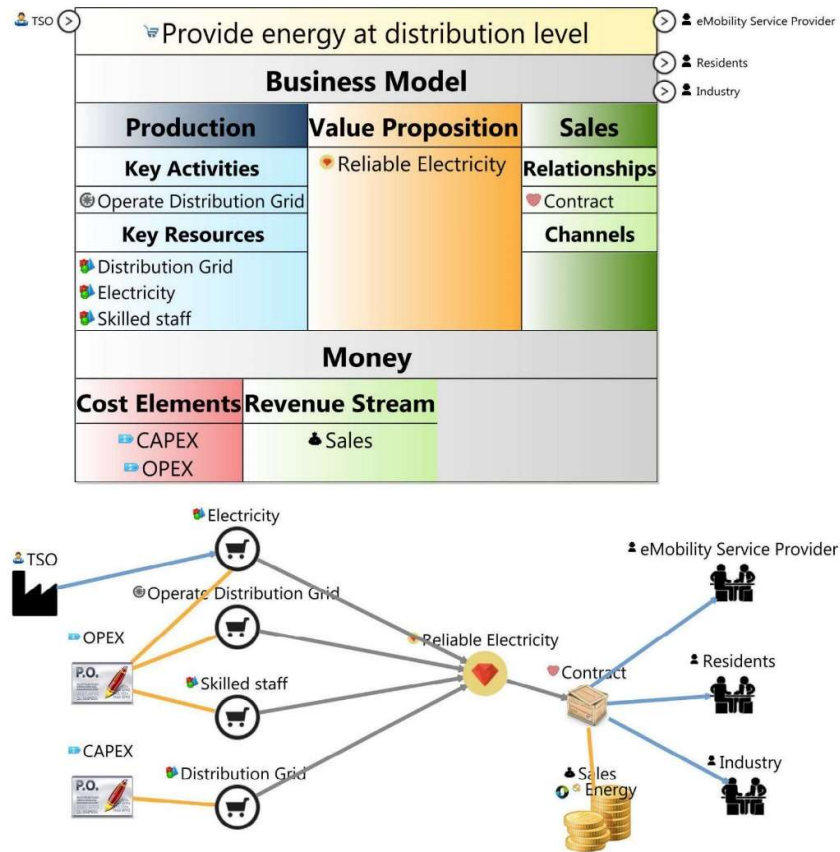


Figure A.10.: Owner(s): DSO - Provide energy at distribution level

Appendix A. Business Models and Value Flows

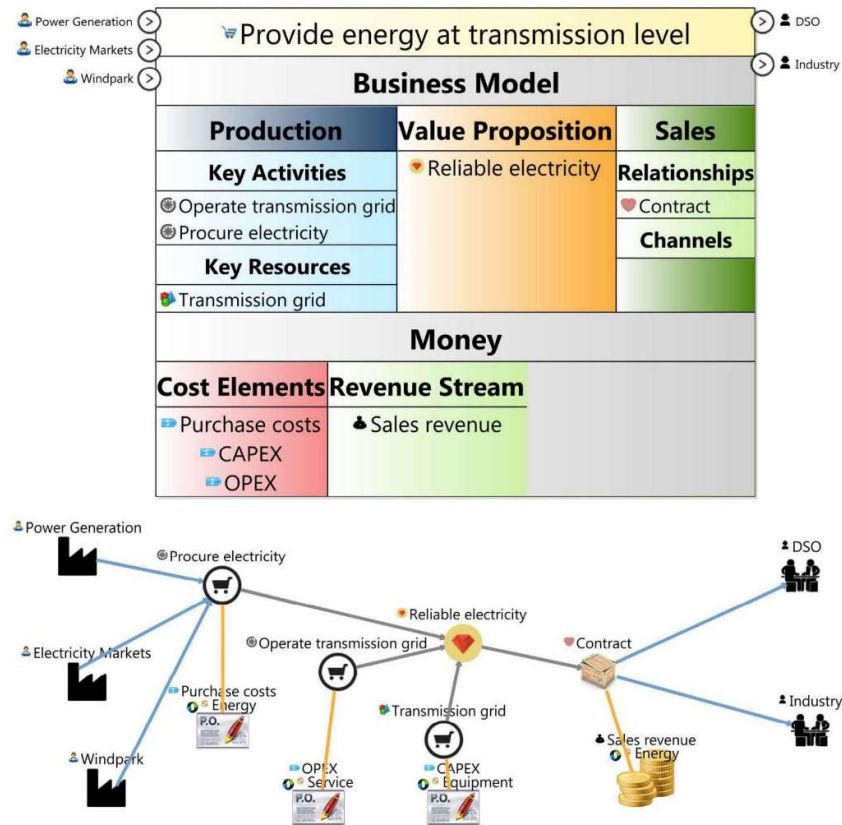


Figure A.11.: Owner(s): TSO - Provide energy at transmission level

Appendix A. Business Models and Value Flows

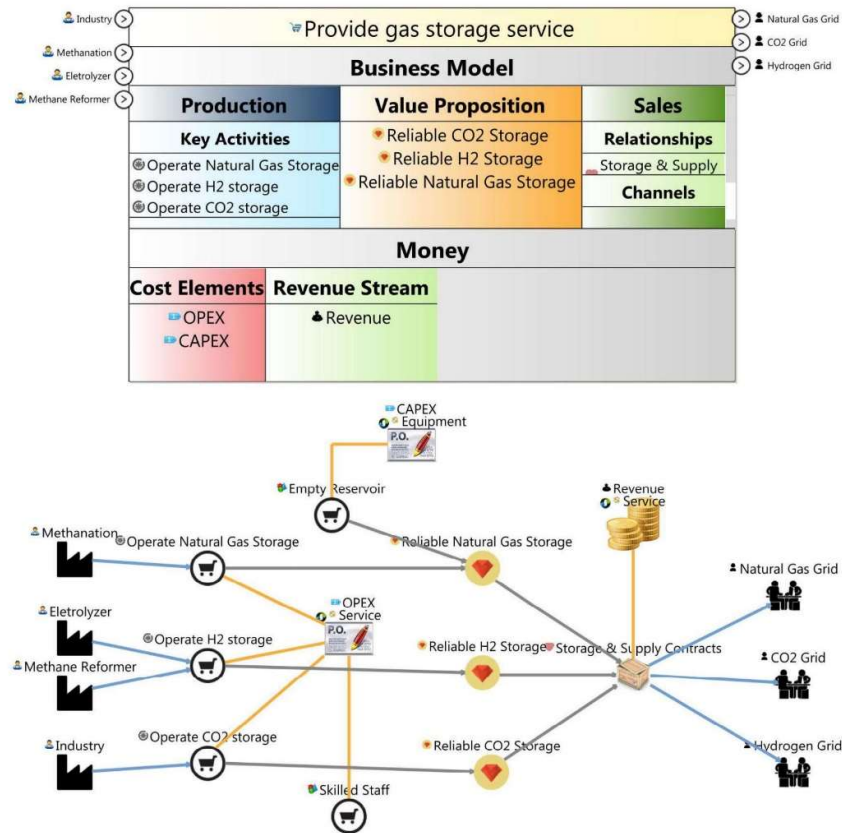


Figure A.12.: Owner(s): Empty Reservoir - Provide gas storage service value

Appendix A. Business Models and Value Flows

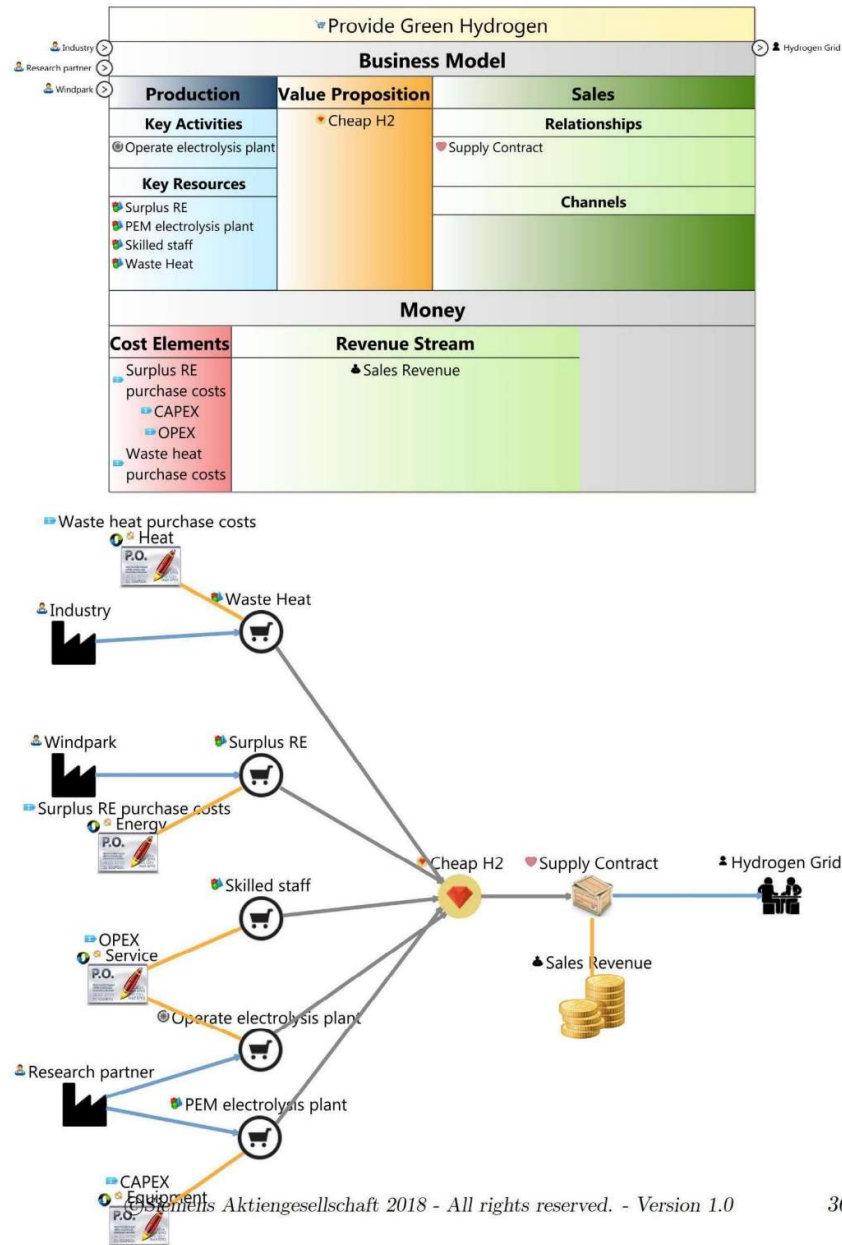
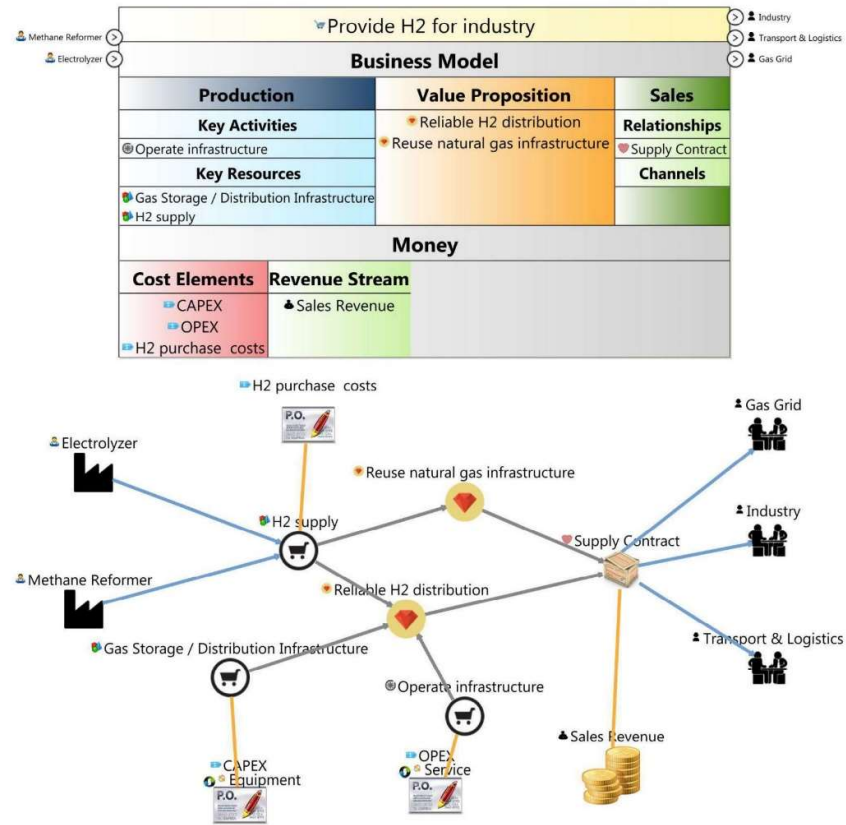


Figure A.13.: Owner(s): Electrolyzer - Green Hydrogen

Appendix A. Business Models and Value Flows

Figure A.14.: Owner(s): Hydrogen Grid - Provide H₂ for industry

Appendix A. Business Models and Value Flows

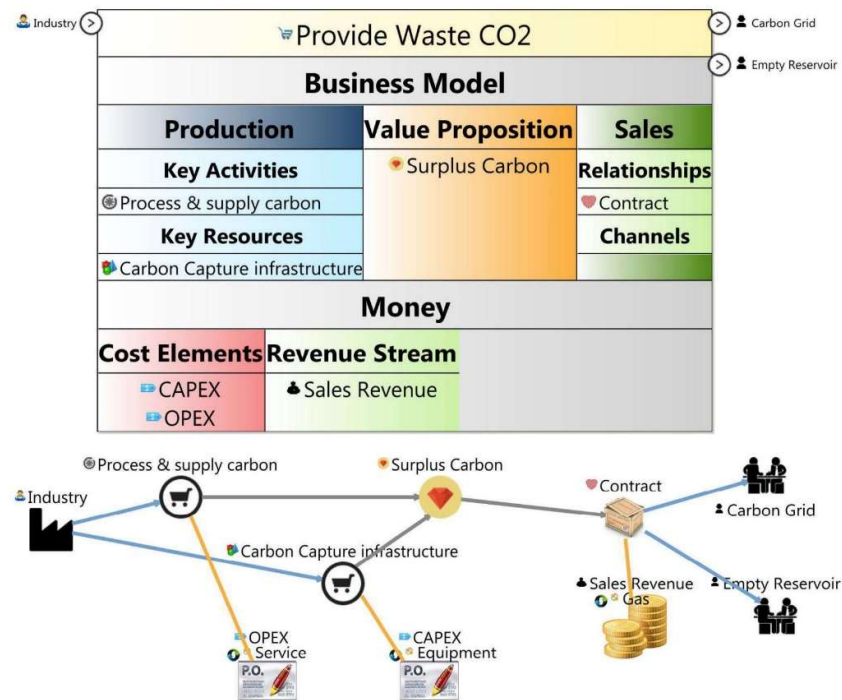


Figure A.15.: Owner(s): Refiners, Process industry, Waste processor, Power generation, Methane Reformer - Provide Waste CO₂

Appendix A. Business Models and Value Flows

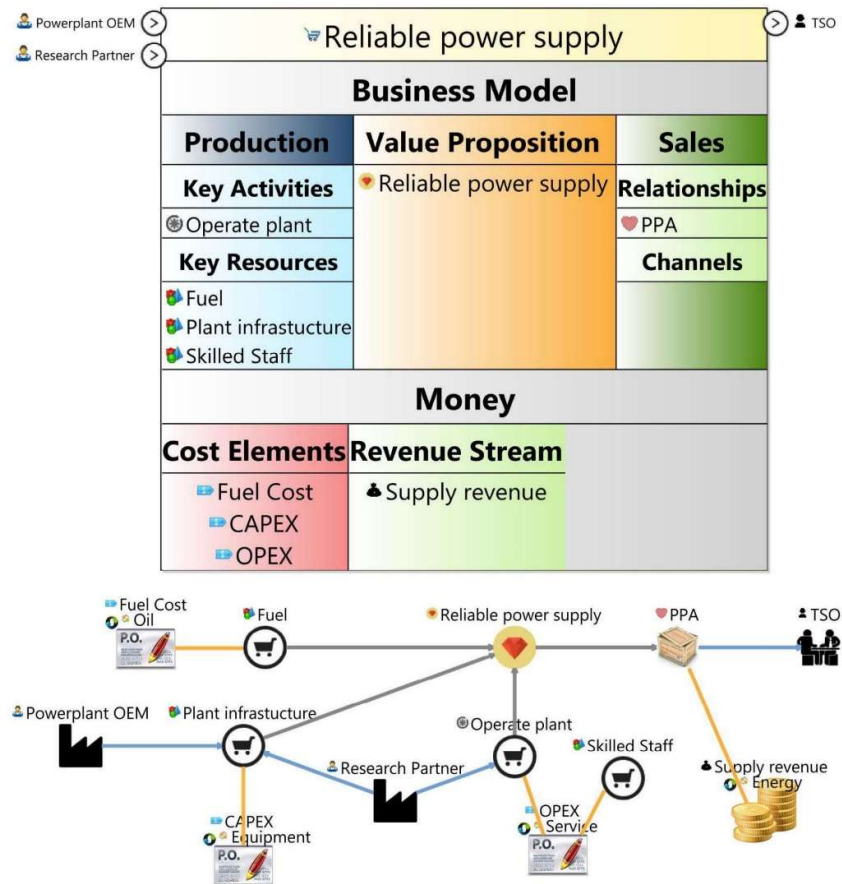
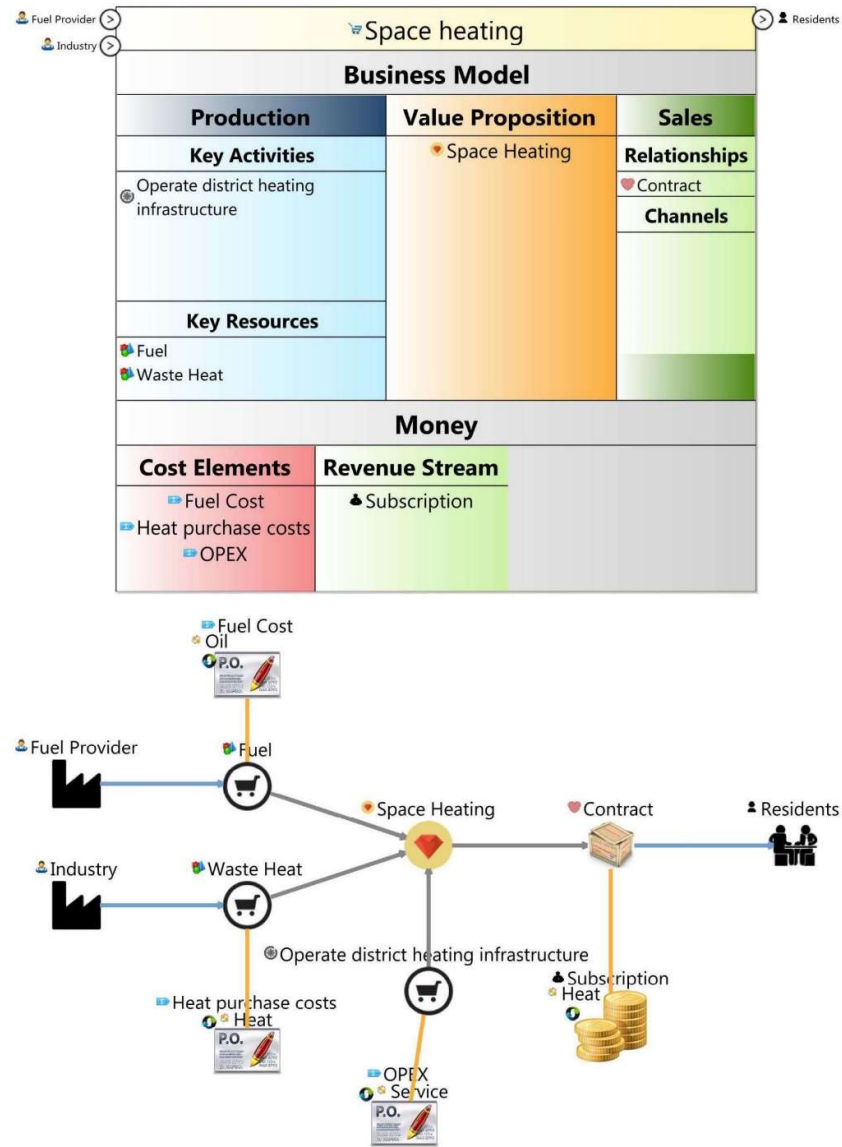


Figure A.16.: Owner(s): Conventional Power Generation - Reliable power supply

Appendix A. Business Models and Value Flows



© Figures A-17. Owner(s) District Heating - Space heating 1.0

Appendix A. Business Models and Value Flows

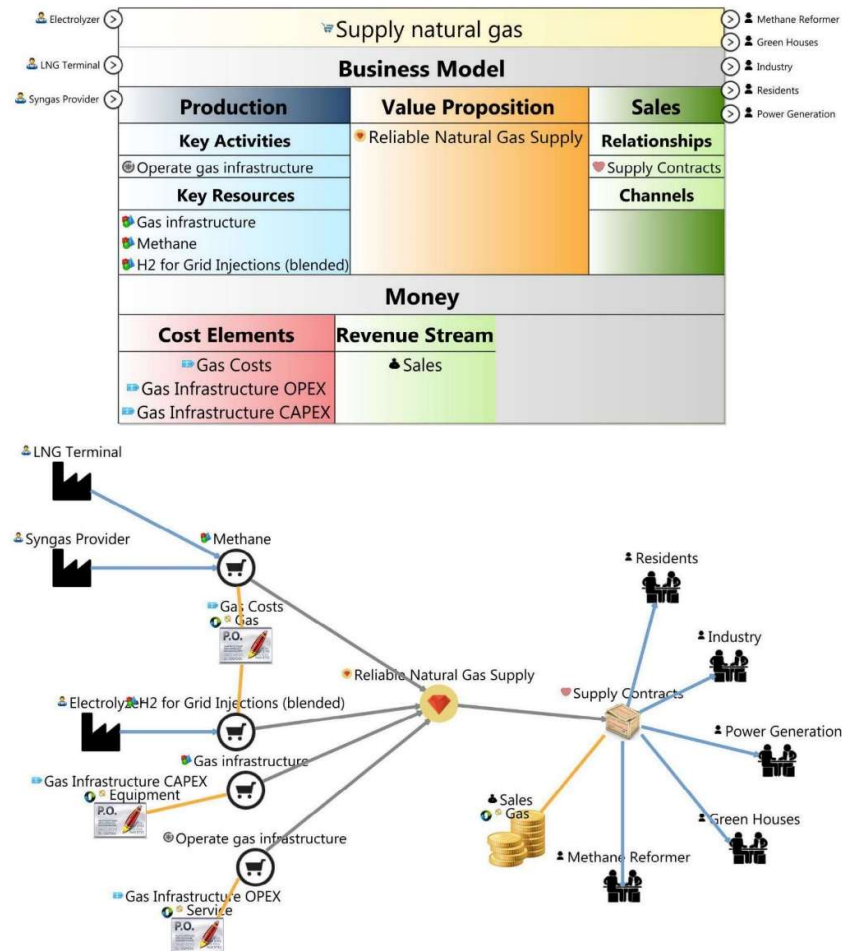


Figure A.18.: Owner(s): Gas Grid - Supply natural gas

Appendix A. Business Models and Value Flows

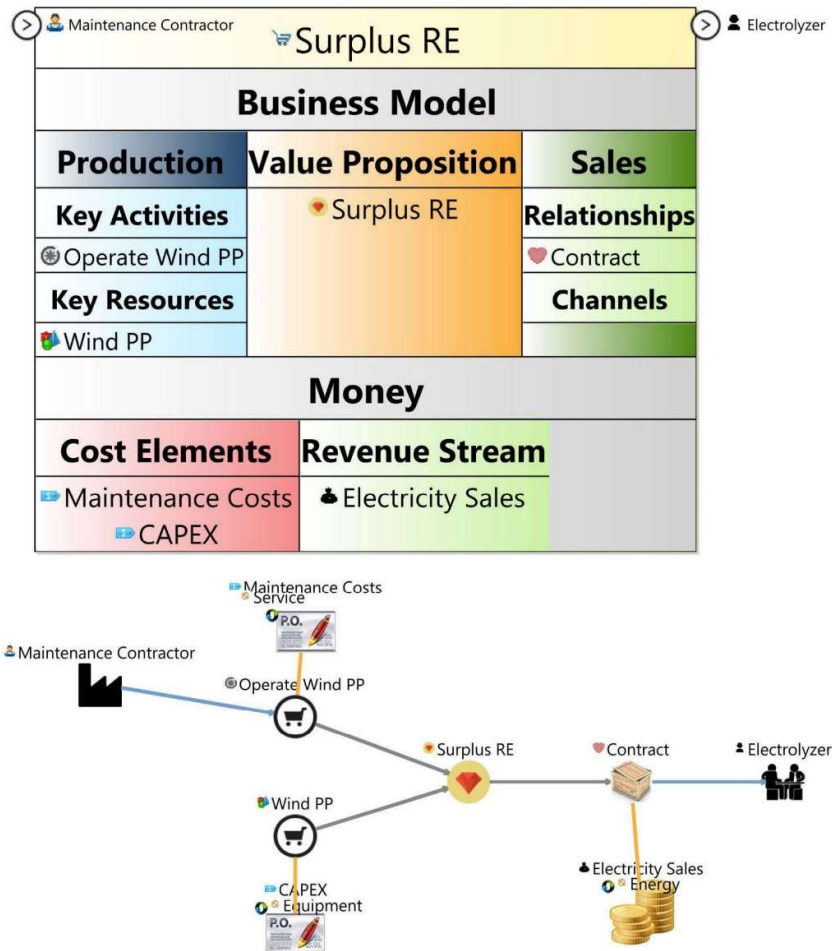


Figure A.19.: Owner(s): Windpark - Surplus RE

Appendix A. Business Models and Value Flows

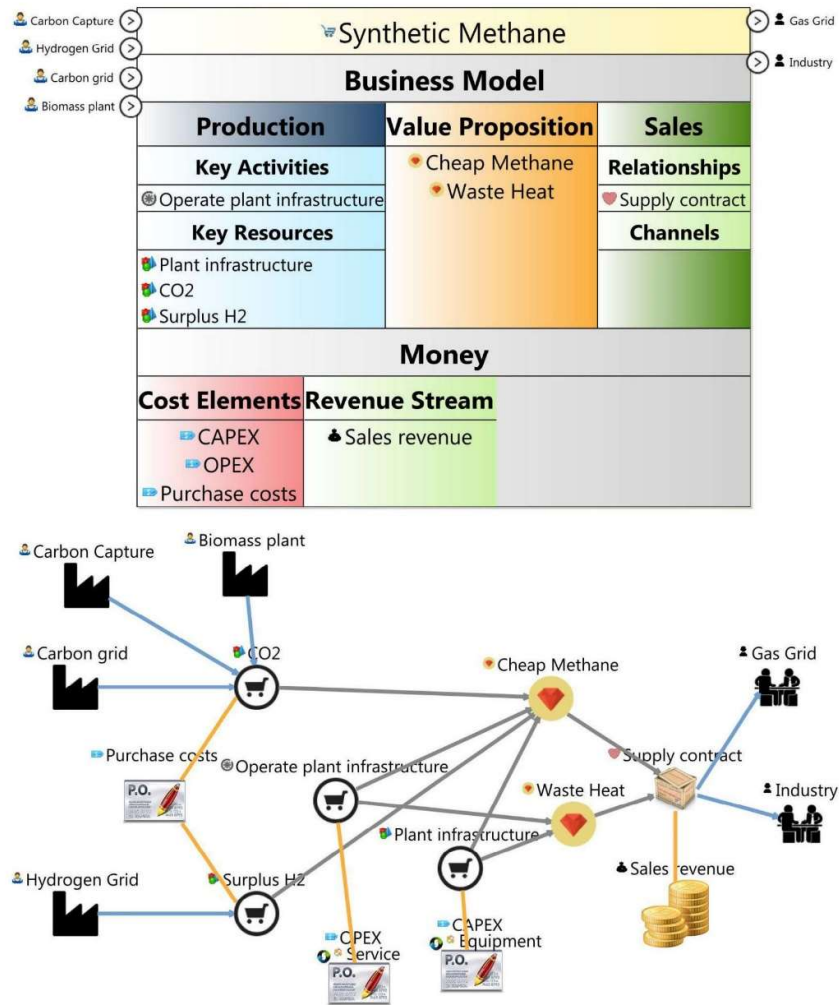


Figure A.20.: Owner(s): Methanation Plant - Synthetic Methane

Appendix A. Business Models and Value Flows

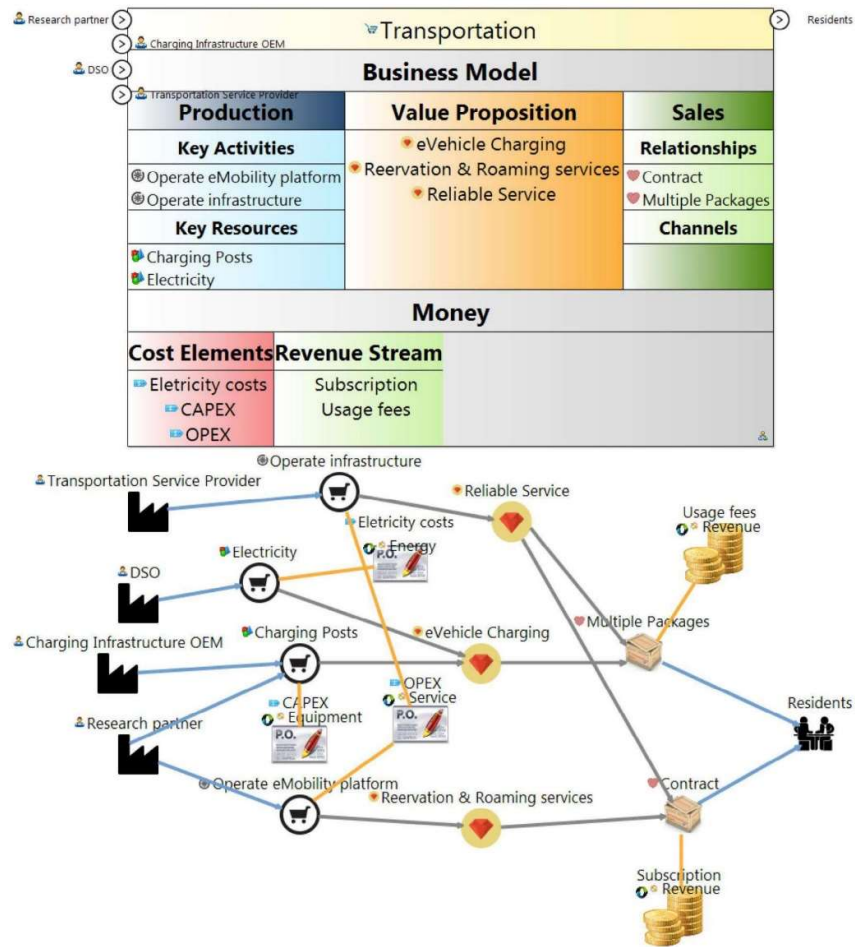


Figure A.21.: Owner(s): eMobility Service Provider, Transport & Logistics Hub - Transportation

Appendix A. Business Models and Value Flows

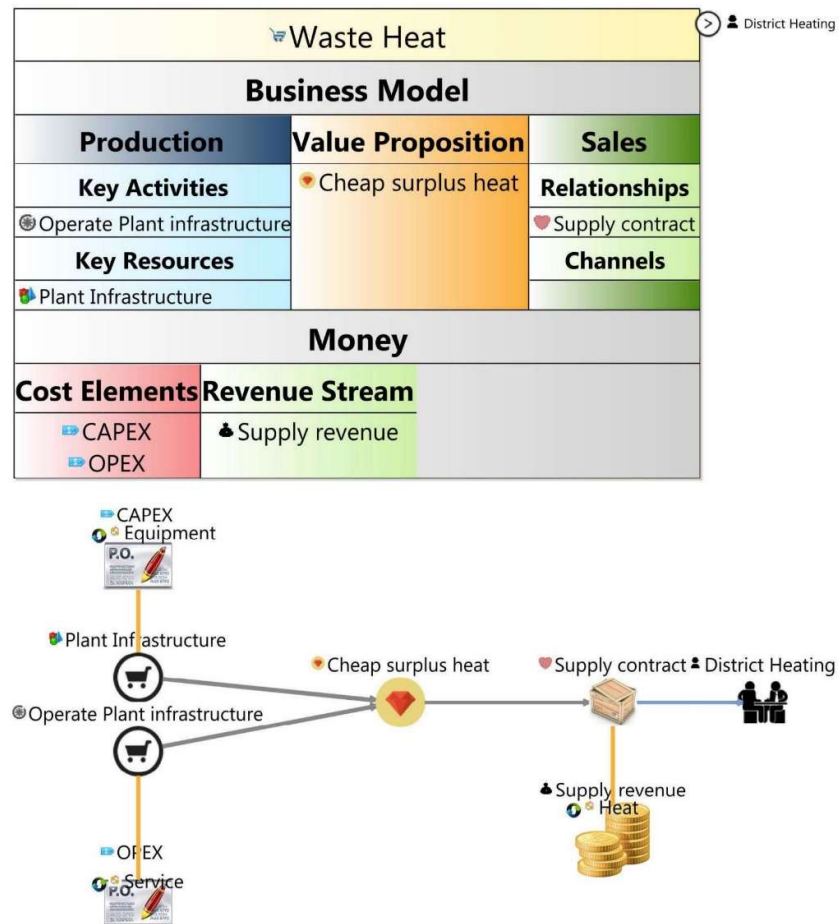


Figure A.22.: Owner(s): Waste processor, Refineries, Process industry, Power generation, Green houses - Waste Heat

Appendix A. Business Models and Value Flows

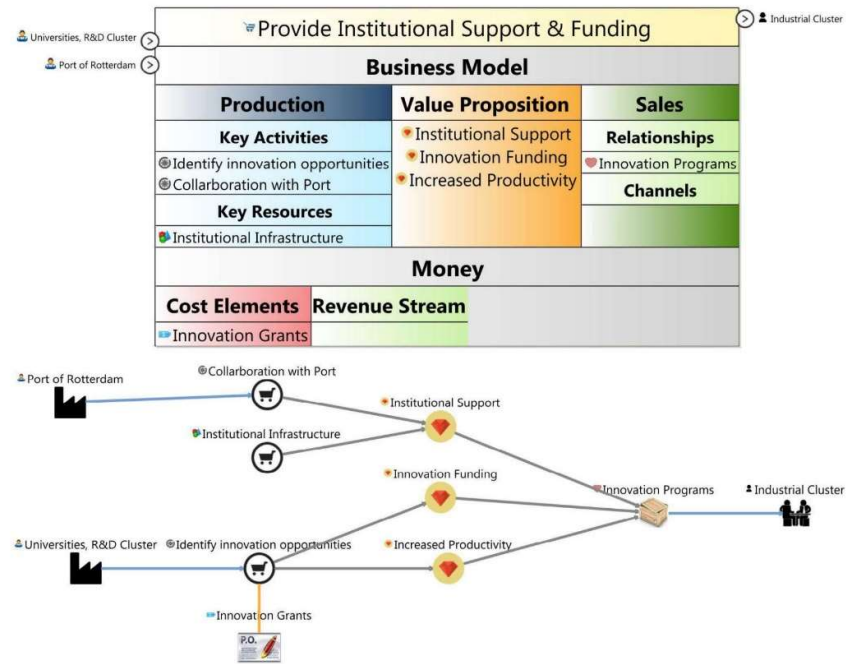


Figure A.23.: Owner(s): Provincie Zuid-Holland - Provide Institutional Support & Funding

Appendix B.

Glossary

Appendix B. Glossary

Abbreviation	Explanation
BEM	Business Ecosystem Model(ing)
CAPEX	Capital Expenditure
CPP	Critical-Peak-Pricing
DER	Distributed Energy Resources
DG	Distributed Generation
DSO	Distribution System Operator
DSM	Demand Side Management
EBA	Energy Business Advisory
FDI	Foreign Direct Investments
HV	High Voltage
IHD	In-Home-Display
IPR	Intellectual Property
IT	Information Technology
KPI	Key Performance Indicator
LNG	Liquefied Natural Gas
MV	Medium Voltage
OPEX	Operational Expenditure
OT	Operational Technology
TSO	Transmission System Operator

Appendix B. Glossary

www.siemens.com

All rights reserved. All trademarks used are owned by Siemens or their respective owners.

© Siemens AG 2019

Siemens AG

Energy Management
SI DG SW&C PTI
Freyeslebenstrasse 1
91058 Erlangen