

Eindrapport van project “Naar een Nationale multi-model infrastructuur voor integrale besluitvorming in de energie transitie”

Door dr. Ir. Igor Nikolic, TU Delft

Opgemaakt volgens de richtlijnen hier: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2024-01/Format-eindrapport-TSE.pdf>

Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, subsidieregeling Top Sector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

1. Gegevens project

1.1. Projecttitel

Naar een nationale multi-model infrastructuur voor integrale besluitvorming in de energietransitie (NMMIvB).

1.2. Projectnummer

TSE - TSYS120001

1.3. Penvoerder

Marc Boonstra (TU Delft), m.h.boonstra@tudelft.nl, +31614990349

1.4. Deelnemers

Naam Organisatie	Type organisatie	Voornaamste rol in het project
TU Delft	KO	Penvoerder en leider werkpakket 2
TNO	KO	Expert multi-modelling (leider werkpakket 3), expertise praktijkcasussen (leider werkpakket 4)
Universiteit Leiden	KO	Expert participatief proces, leider werkpakket 1
Hanzehogeschool	KO	Kennisoverdracht
Quintel	KB	Ontwikkeling concepten multi-modelling en validatie via casussen
Gasunie	GB	Support inhoudelijke aspecten CoP en validatie casussen
Alliander	GB	Support inhoudelijke aspecten CoP en validatie casussen
Stedin	GB	Support inhoudelijke aspecten CoP en validatie casussen
DNV (DNVGL bij aanvang van het project)	GB	Supportontwikkeling concepten multi-modelling en validatie via casussen
Quo Mare	KB	Ontwikkeling concepten multi-modelling en validatie via casussen
Kalavasta	KB	Ontwikkeling concepten multi-modelling en validatie via casussen

1.5. Projectperiode

01/09/2021-31/12/2023

2. Doelstelling van het project

2.1. Probleemstelling

Een lange termijnplanning van de energietransitie is alleen mogelijk wanneer betrokkenen gezamenlijk tot een integraal begrip van het systeem komen. Hierbij spelen transparante data, scenarioruimtes, modellen voor technische opties, inzicht in belangen en organisatorische randvoorwaarden een essentiële rol. Dit project is een eerste stap naar een Multi-Model infrastructuur: een modulair, generiek en geïntegreerd platform om modellen te verbinden, zodat energietransitie vraagstukken zoals de de Gemeentelijke Transitievisies Warmte, Regionale Energiestrategieën en de Integrale Infrastructuur Verkenning 2030-2050 makkelijker, sneller en dieper opgelost kunnen worden. Dit project is een eerste stap naar een kennis Infrastructuur voor energiesysteem studies.

2.2. Oorspronkelijke doelstelling

Het ontwikkelen en gebruik van multi-modellen voor integrale besluitvorming in de energietransitie kent vier met elkaar onlosmakelijk verweven aspecten:

1. **Sociale aspecten** Hoe gaan wij als mensen en organisaties om met verbinden van modellen en gebruiken van resultaten in besluitvorming? Informeel gezegd, gaat het om vragen zoals: *Wat willen we en waarom willen we multi-modellen eigenlijk? Wat zouden we hiermee kunnen?*
2. **Methodologische aspecten** Hoe moeten we modellen verbinden die daar niet oorspronkelijk voor bedoeld zijn en hoe gaan we om met de uitkomsten van zulke modellen? De vragen die hier een rol spelen zijn: *Mag je deze modellen zomaar koppelen? Wat betekent dat dan?*
3. **Technische aspecten** Hoe realiseren we de verbindingen tussen verschillende modellen, hoe zorgen we dat orkestratie correct plaatsvindt en hoe gaan we om met de (veelheid) van input en output data van model runs? Informeel gezegd gaat het om: *Hoe doe je dat koppelen eigenlijk? Zijn die multi-model runs wel correct gegaan?*
4. **Energiesysteem aspecten** Wat zijn de energietransitie vragen die we niet kunnen beantwoorden met enkele modellen? Welke inzichten brengt het koppelen van verschillende modellen? Informeel gezegd gaat het om: *Wat kunnen we nu zeggen over de energietransitie, wat daarvoor niet kon? Wat hebben we daarna?*

Deze vier aspecten zijn de thema's die samenkomen in dit project.

Het Multi-model.nl project onderzoekt, ontwerpt en implementeert een *minimum viable product* multi-model infrastructuur voor integrale besluitvorming in de energietransitie. Met deze infrastructuur worden bestaande modellen binnen een open technisch platform

gekoppeld om vervolgens met transparante, herhaalbare en toetsbare interacties inzichten te kunnen genereren ter ondersteuning van de besluitvorming over geïntegreerde energiesystemen. Het ontwerp, de ondersteuning en de uitleg van deze infrastructuur wordt gedragen door een brede Community of Practice van modellers, besluitvormers en onderzoekers.

2.3. Samenvatting van het eindresultaat van het project

MMViB project heeft een functionele, open-source multi-model infrastructuur opgeleverd, die in staat is om bestaande modellen, die op verschillende schalen werken en/of op verschillende operationele principes gebaseerd zijn transparant en systematisch te koppelen, en daarbij rekening kan houden met onzekerheid in in- en outputs.

Project heeft via 3 realistische voorbeelden laten van hoe modellen gekoppeld kunnen worden tot multi-modellen, heeft de basis gelegd voor een groeiende community of practice en heeft richtingen onderzocht voor toekomstige institutionalisering van het platform.

Er zijn animaties en infographics gemaakt voor leken, beschikbaar op de project website <https://multi-model.nl/> Uitgebreide documentatie is beschikbaar op <https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/> , en de broncode op <https://github.com/MultiModelling>

3. Uitvoering van het project

Het project is verlengd van 24 naar 28 maanden. Over de werkzaamheden in de eerste twee projectjaren is uitvoerig verslag gedaan in het tweede voortgangsverslag (M24) van september 2023. Het eindverslag dat nu voorligt, is gebaseerd op dit M24-rapport. Om dubbelingen te voorkomen en de leesbaarheid van het voorliggende rapport te vergroten, hebben we gekozen om de beschrijvingen per activiteit en resultaat uit het vorige rapport hier samengevat weer te geven. In grote lijnen heeft de laatste vier maanden van het project TU Delft vertraagde werkzaamheden uitgevoerd en heeft het consortium hard gewerkt aan de documentatie van de projectresultaten.

- Alle inhoudelijke resultaten van het project zijn gepubliceerd op <https://github.com/MultiModelling>
- Projectdocumentatie, resultaten en referenties zijn beschikbaar hier: <https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/>

Dit is levende documentatie, waarbij de verwachting is dat het zal groeien ook nadat het project formeel voorbij is. Verwachting is dat samen met de open source software deze documentatie een kiem zal vormen voor een groeiend multi-model ecosysteem.

3.1. Wijzigingen ten opzichte van het projectplan

Er zijn twee wijzigingen ten opzichte van het oorspronkelijke projectplan. Deze wijzigingen zijn lopende het project formeel doorgevoerd en geaccepteerd. Voor details verwijzen we naar die wijzigingsverzoeken. Hier een synopsis:

Wijziging 1 (juni 2021)

Als gevolg van de herberekening door RVO van de begroting bij het projectvoorstel is er op onderdelen aanzienlijk minder subsidie beschikbaar gesteld. Dit heeft geleid tot een drietal aanpassingen in de projectuitvoering die hoofdzakelijk het sociaalwetenschappelijk onderzoek betroffen:

1. WP:1: r:1 – CoP. Er zal een reductie van het aantal en diversiteit van betrokken partijen plaatsvinden, waarbij de focus gelegd zal worden op modellers en casus stakeholders.
2. WP:1: r:2 – Kwantificatie van de CoP. Dit resultaat zal niet geleverd kunnen worden.
3. WP:2: r:7 - Participatief proces voor integrale besluitvorming. Dit resultaat zal niet gerealiseerd worden volgens het oorspronkelijke plan, maar zal zich focussen op documenteren van de ondernomen activiteiten.

De activiteiten wp:4:r:10:a3, wp:4:r:11: a3 en wp:4: r:12: a3 “Analyseresultaten en validatie participatief beslisproces”, onderdeel van WP:4, zijn een logisch onderdeel van de WP:2: r:7, en zijn als zodanig ook niet uitgevoerd.

Wijziging 2 (januari 2023)

Projectpartner KALAVASTA gaf aan dat ze een deel van haar taken niet zou uitvoeren. Door het onverwachte afscheid van een medewerker met nauwe betrokkenheid in het project heeft Kalavasta niet meer de capaciteit om de oorspronkelijk bedachte diepe herstructurering van het model uit te voeren. In plaats, zullen ze zich alleen focussen integratie het bestaande model met het multi-model platform. Hierdoor valt 32.494,50 aan subsidie vrij. TNO, Quomare en Quintel zijn bereid gevonden alternatieve plannen te ontwikkelen in WP 2:

1. Uitbreiding van de EDR (lead: Quomare). In: WP:2: r:3 METHODES VOOR MULTI-MODELLEN (IO)
2. Building a ‘regionalisatie’ model (lead: Quintel). In: WP:2: r:4 CONCEPTUEEL RAAMWERK VOOR MULTI-MODELLEN (IO)

3.2. Werkpakket 1: Community of practice

Activiteiten en Resultaten	Deelnemers
Wp:1: r:1: a:1 Organiseren van een CoP	TU Delft/ DNV/Hanzehogeschool
Wp:1: r:1: a:2 Expertise en kennis over (multi-) modellen	TU Delft/DNV/Kalavasta/Quintel/Quo Mare /TNO
Wp:1: r:1: a:3 Energiedomein en casus expertise	TNO/Gasunie/Stedin/TU Delft
Wp:1: r:1: a:4 Multi-modellen in integrale besluitvorming en op- en uitschalen van de aanpak	TU Delft/TNO/Universiteit Leiden

Activiteiten en resultaten

Kern van de WP 1 bestond uit het organiseren van de Community of Practice (CoP), bundelen van expertise en kennis over (multi-)modellen en het energiesysteem en begrijpen en sturen van de sociale processen die in de kern van de multi-modellerings aanpak liggen. Tot slot richtte deze werkpakket zich op lange-termijn duurzaamheid en institutionaliseren van de CoP en projectresultaten, om zo de eerst stap richting een nationale multi-model infrastructuur te zetten.

Community of practice

Tijdens het project hebben wij gewerkt aan het organiseren van de Community of Practice. Het project is gepresenteerd tijdens het LEVE-platform symposium en het Topsector Energie symposium waarin het project aan een breed publiek van professionals geïntroduceerd is.

Tevens is de samenwerking met het EG-ETRM-netwerk verder ontwikkeld. Inzichten verkregen uit de ontwikkeling van de [model beschrijving template](#) in WP2 werden ingezet om de modeleergemeenschap en het modellenoverzicht dat zij publiceren beter te organiseren.

In het wetenschappelijke domein zijn er seminars voor de E-Refinery en PowerWeb netwerken gegeven, die het project aan een breed wetenschappelijk publiek hebben voorgesteld. Het project is een nauwe samenwerking met het NWO JustETrans-project aangegaan. JustETrans onderzoekt de rol van gerechtvaardigheid in participatieve multi-modeleringsprocessen voor integrale besluitvorming in de energie transitie en zal waar mogelijk gebruik maken van ons platform voor de te ontwikkelen multi-modellen de komende 3 jaar. Verder is er een samenwerking gestart met het NWO DEMOSSES-project, dat zich focust op multi-modellen voor elektriciteitsmarkten en integratie met technische modellen. Het door ons project ontwikkelde platform wordt overwogen als basisplatform voor dit project. Ook vindt er regelmatig overleg plaats rondom methodologische aspecten van het multi-modelleren.

Het projectplatform is geïntegreerd in het ingediende INFRASPLASTICITY-voorstel voor de NWO open call en is een kernonderdeel van het REFRAME NWO voorstel. Van beide projecten is nog niet bekend of ze gegund zullen worden.

Energiedomein en methodologische expertise

Het tweede jaar was gericht op de implementatie van casussen om de werking van de ontwikkelde multi-model infrastructuur te toetsen. Het doel van de casussen was om een vereenvoudigde doch realistische multi-modelopgave te creëren vanuit het energiesysteem perspectief. Tegelijkertijd wilden we bewust methodologisch de meest ingewikkelde situaties verkennen om zodanig het collectief leren over multi-modelleer-uitdagingen te maximaliseren. Projectpartners hebben intensief en constructief samengewerkt, waardoor er veel geleerd is over hoe men met multi-modellen moet omgaan en waar hun sterke en zwakke punten zijn.

Er is veel geleerd over de mogelijkheden van multi-modellen voor het beter begrijpen van het energiesysteem. Zoals eerder vermeld was de focus van de casussen sterk op methodologisch ingewikkelde modelcombinaties gericht en niet op energiesysteemdetails. Uit de vele gesprekken en workshops met de partners is duidelijk geworden dat er veel inzicht is gekomen in de bruikbaarheid van deze manier van werken voor toekomstige, inhoudelijk gerichte projecten.

Op- en uitschalen van de aanpak

Activiteit 4 van dit werkpakket betrof het op- en uitschalen van de aanpak van integrale besluitvorming door middel van multi-modellen. Door de benoemde projectwijzigingen zijn er geen directe activiteiten ondernomen. Echter, er zijn verschillende activiteiten ondernomen die onder de noemer van op en -uitschaling vallen.

Het platform en de inzichten waren opgenomen in de offerte van Siemens, RHDHV en TU Delft aan de Provincie Zuid-Holland om een *tool* te ontwikkelen voor het realiseren van de provinciale MIEK-plannen. Helaas werd dit project niet gegund aan het consortium. Wel kan gesteld worden dat het platform als voldoende bruikbaar gevonden werd door industriële partners die meededen in dit consortium.

Verder, een belangrijke ontwikkeling is de grote interesse van de “ESO – National Grid”, de Britse energie netbeheerder, in de multi-model platform en adaptieve grid planning methodes ontwikkeld in de [Gridmaster project](#). Inmiddels is een pilotproject gestart met een Brits consortium waarin Siemens Nederland en TU Delft meedoen om deze *tooling* in de UK-context toe te passen.

Institutioneel inrichten

Bijzonder aandacht verdient de activiteit 5 (wp:1: r:1: a:5) In samenwerking met TNO, de leiding van Topsector Energie, Systeemintegratie programma, Hanzehogeschool en het LEVE-platform zijn via systematische interviews met project partners en de bredere CoP behoeftes en mogelijkheden verzameld, om tot een bredere set ontwerpcriteria te komen voor institutionalisering. Hierbij is onder andere gebruik gemaakt van het BOMOS-raamwerk om drie concrete richtingen te identificeren. Daarnaast is er aan TU Delft een MSc-thesisonderzoek uitgevoerd die systematisch de uitdaging van duurzaam institutionaliseren van het platform heeft onderzocht. Samenvattend zijn er 4 opties onderzocht:

1. Onderbrengen bij TNO
2. Opzetten van een nieuwe commercieel bedrijf/stichting,
3. Onderbrengen bij de TU Delft
4. Onderbrengen bij EKZ/RVO

Onderstaande tabel geeft een hoog over overzicht van de geschiktheid van opties.

Overview of the factors influencing the choice on which stakeholder should manage the multi-model environment.

	TNO	Commercial company / group of stakeholders	TU Delft	EZK
Commercial interests	--	+ -	+	++
Conflicting interests	+ -	--	+	++
Innovation	++	+ -	++	--
Expertise	++	+ -	+	--
Data access	+	+ -	+	++
Transparency / accessibility	+ -	-	+	++
Independence	+ -	++	+	--
Flexibility	+ -	++	+	--
Regulations	+	+ -	+ -	++
Resources	+	+ -	-	++
Organizational structure	+ -	+ -	X	+ -
Security	+	+ -	+ -	++

Note:

- ++ indicates the highest suitability, and -- indicates the least suitability.
- "X" denotes that the organization cannot fulfill the specified factor.

In het kort, onderbrengen bij TNO en EKZ/RVO opties lijken meest kansrijk. Komende tijd zullen deze opties door TU Delft met Topsector Energie worden besproken en met de relevante stakeholders verkend. Verdere details zijn uitgewerkt in de [MSc thesis van Sjoerd Blom](#).

Gestructureerde en systematische observaties

Door de projectwijzigingen zou deze activiteit niet worden uitgevoerd. Echter, in de tweede jaar zijn we doorgedaan met het systematisch verzamelen van de enquêtes tijdens alle consortium bijeenkomsten. Er zijn plannen gemaakt om na afloop dat het project in het kader van de samenwerking met het JustETrans-project een verdere analyse van deze data te doen. Basis hiervan is vastgelegd in het rapport "Social learning in participatory multi-modelling: Crossing boundaries for multi-party collaboration" beschikbaar hier: https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/scientific/social_process/index.html#id1

3.3. Werkpakket 2: Methodes en toolkit

Activiteiten en Resultaten	Deelnemers
Wp:2: r:3: a:1 Methodes voor multi-modellen	TU Delft / DNV / Kalavasta / Quintel / Quo Mare / TNO
Wp:2: r:4: a:1 Conceptueel raamwerk voor multi-modellen	TU Delft / DNV / Kalavasta / Quintel / Quo Mare / TNO
Wp:2: r:5: a:1 Concepten en methode voor een generieke scenario ruimte	TU Delft / Quintel / DNVGL / Kalavasta / Quo Mare / TNO
Wp:2: r:6: a:1 Tooling voor multi-modellen	TNO / DNV/ Kalavasta / Quintel / Quo Mare / TU Delft

Activiteiten en resultaten

Methodes voor multi-modellen

Dit werkpakket had als focus de methodologische aspecten van multi-modellering. Bij koppelen van eerder gemaakte modellen komen talloze methodologische uitdagingen naar voren. Deze zijn samengevat in het whitepaper "[Principles, challenges and guidelines for a multi-model ecology](#)" voorbereid in opdracht van Topsector Energie, programma Systeemintegratie. Deze werkpakket richt zich op de drie belangrijkste uitdagingen:

1. Het veranderen van de schaal waarom modellen werken, hun reikwijdte en resolutie en (dis-)aggregatie van model in- en outputs.
2. Onzekerheid en onzekerheidspropagatie binnen multi-modellen.
3. Het verbinden van modellen die verschillende wiskundige en operationele modelprincipes.

Voor elk van deze drie uitdagingen is een state-of-the-art literatuuronderzoek uitgevoerd, gefocust naar het hergebruik van modellen voor multi-modellering. Resultaten hiervan zijn gerapporteerd op <https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/scientific/index.html>

Kort samengevat kunnen zijn de bevindingen:

- Er is wel wat aandacht in de literatuur voor deze methodologische zaken. Echter, er is zeer weinig tot niets wat bruikbaar is voor multi-modellieren in de praktijk, met hergebruik van bestaande modellen. Dit komt doordat:
 - Literatuur richt aan wiskundig sluitende, elegante methodes, die niet worden uitgewerkt tot praktische tools

- Deze methodes worden getest op simpele toy-modellen, die zich wiskundig “netjes” gedragen en zich strikt houden aan gekozen modeleerbenadering,
- Deze modellen zijn meestal specifiek ontwikkeld om deel uit te maken van een groter multi-model, strak georkestreerd via bijvoorbeeld HLA of MOSAIC-benaderingen binnen een gecentraliseerde organisatorische setting, b.v. defensie.

Er is dus een groot gebrek aan methodes en gereedschappen die praktische multi-modellen kunne ondersteunen, die de volgende eigenschappen kennen:

- Componentmodellen zijn reeds ontwikkeld en bij hun ontwikkeling werd geen rekening werd gehouden met mogelijk onderdeel zijn van multi-modellen.
- Componentmodellen zijn niet “methodologisch schoon”, ze combineren verschillende technieken en benaderingen om ze praktisch toepasbaar te maken. Hierdoor lenen deze modellen zich niet tot “elegante wiskundige analyses”
- Ze zijn ontwikkeld in een decentrale setting, door verschillende partijen, met geen of beperkte coördinatie
- Publiek beschikbare multi-modelvoorbeelden, met heldere inputs en outputs, waarbij theoretische methodes op getoetst kunnen worden.

Binnen het project hebben we middels de casussen, ondersteund door verschillende masterscripties eerst stappen gezet in het oplossen van dit probleem. Tijdens het schrijven van deze rapportage, is de TUD bezig met verder uitwerken van deze resultaten tot wetenschappelijke publicaties.

Samengevat zijn de praktische resultaten:

- Het schalings vraagstuk is in meer detail bestudeerd en geïmplementeerd als een generiek configureerbaar "regionalisatie"-sub model in de macrocasus en theoretisch onderzocht in de MSc-thesis van Bram Boereboom: https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/scientific/mm_methods/Scaling/index.html
- Onzekerheidspropagatie is verkend binnen de meso-use case door de ontwikkeling van een koppeling van EMAWorkbench met de multi-model infrastructuur en theoretisch onderzocht en binnen de MSc-thesis van Alexander Drent: https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/scientific/mm_methods/Uncertainty-analysis/index.html
- Het verbinden van modellen die verschillende wiskundige en operationele modelprincipes is getest binnen de micro-casus door middel kan koppeling tussen een multi-period optimalisatie op gebiedsschaal en Agent Based Simulatie op

individuele schaal, en verder onderzocht in de MSc thesis van Menghua Prisse: https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/scientific/mm_methods/Operating-Principles/Operating-principles_multi_model.html

Conceptueel raamwerk voor multi-modellen

Naast de specifieke methodes die nodig zijn om betrouwbare en betekenisvolle resultaten uit multi-modellen te krijgen, heeft het project gewerkt aan de conceptuele kaders die een community of practice in staat stelt om effectief multi-modellen te maken. Werk richtte zich op maken van gedeelde definities voor:

- Wat zijn de eisen en behoeftes van verschillende soorten gebruikers die een multi-model infrastructuur willen gebruiken
- Gezamenlijke definities van begrippen die nodig zijn om effectief te communiceren over multi-modellen.
- Tot slot, voortvloeiend uit de bovenstaande en het methodologie onderzoek, een conceptueel ontwerp te creëren voor de multi-model infrastructuur.

Het eerste resultaat is het *“Requirements document”*. Er zijn twee workshops met projectpartners uitgevoerd om de belangrijkste vereisten voor een infrastructuur met meerdere modellen te identificeren en te bespreken. Het document met vereisten is geïtereerd en verfijnd op basis van de projectvoortgang met input van alle partners. Gebruik makend van de MOSCOW-hiërarchie benadering zijn heldere prioriteiten voor implementatie werk in WP3 hebben geleid. Details zijn te vinden hier: <https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/scientific/req/index.html>

Het tweede resultaat is het *“Terminology document”*. In samenwerking met partners van WP3 hebben we terminologie ontwikkeld met uniforme definities en verduidelijkingen van belangrijke termen die relevant zijn voor het multimodelleringsproces. Het doel is om de termen die we gebruiken te verduidelijken en op één lijn te brengen, wat een noodzakelijke en belangrijke stap is voor multi-modellering. Details zijn te vinden hier: <https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/terminology/index.html>

Het derde resultaat van deze activiteit is het conceptueel ontwerp van de multi-model infrastructuur. Dit resultaat is zeer nauw verbonden met de technische implementatie in WP3. Verdere details zullen daar worden besproken.

Concepten en methode voor een generieke scenario ruimte

Scenarioruimteverkenning en systematische onzekerheidsanalyse zijn technisch identieke activiteiten, waarbij de input en output data anders worden geduid. We hebben een experimentele omgeving opgezet (experiment-tooling met het multi-model) en ons gericht op geschikte scenario-ontwerpen en experimenten voor de meso-use case. Dit hebben we gedaan door het meest geavanceerd gereedschapskit hiervoor op dit moment in de EMAWorkbench, (<https://emaworkbench.readthedocs.io/en/latest/index.html>) die ontwikkeld wordt aan de TU Delft door prof. J. Kwakkel te integreren met de multi-model infrastructuur. Details zijn te vinden hier: <https://github.com/MultiModelling/Multi-Model-Uncertainty-Analysis-tool>

Tooling voor multi-modellen

De laatste activiteit binnen dit werkpakket is praktische en theoretische ontwikkeling van het multi-model infrastructuur gereedschap. Deze taak is zeer nauw gekoppeld met WP3, en de resultaten worden daar in detail beschreven. Hier willen wij drietal resultaten uitlichten, namelijk:

- Koppeling met de Energy Data Repository
- Het “Model description template”
- Het multi-model.tbm.tudelft.nl online platform

Op initiatief van partner Quomare en door middel van de projectwijziging is er een conceptuele wijziging van de multi-model opzet gedaan door een link te ontwikkelen met de Energy Data Repository (EDR - <https://edr.hesi.energy/>) die verdere integratie door real-world data te faciliteren en het platform nog relevanter te maken voor praktische besluitvorming.

Ten tweede het “*Model Description Template*”. Zoals benoemd in de inleiding van dit werkpakket is een van de grootste uitdagingen van multi-modelleren in praktijk het hergebruik van bestaande modellen. Deze modellen zijn niet oorspronkelijk bedoeld om samen te werken, hebben zeer verschillende basis-conceptualisaties, aannames, structuren enzovoort. Dit vormt een zeer grote uitdaging voor de compositie van multi-modellen, want het is niet genoeg om te zorgen dat technisch “getallen van een black-box model naar de andere gaan”. Om betekenisvolle resultaten te krijgen moet de multi-modeleur begrijpen wat in de black box zit. Om dit te verhelpen is er een “modelidentiteitsbewijs” ontwikkeld, dat de minimale kennis die nodig is om dit begrip te

krijgen, beschrijft. Het template en zijn toepassing op deelnemende modellen is hier: https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/scientific/model_description/index.html

3.4. Werkpakket 3: Software platform

Activiteiten en Resultaten	Deelnemers
Wp:3: r:8: a1 Informatiemodellering	TNO / TU Delft
Wp:3: r:8: a2 Ontwerp van de software architectuur	TNO / Kalavasta / Quintel / Quo Mare / TU Delft
Wp:3: r:8: a3 Realiseren multi-model orkestratie	TNO / TU Delft
Wp:3: r:8: a4 Implementatie van de multi-model infrastructuur software	TNO / TU Delft
Wp:3: r:9: a1 Ontwerpen en realiseren van generieke model-koppelingen	TNO / TU Delft
Wp:3: r:9: a2 Realiseren specifieke model-koppelingen tbv validatie	TNO / DNV / Kalavasta / Quo Mare / Quintel / TU Delft

In werkpakket 3 staat ontwerp en implementatie centraal. De werkpakket bevat meerdere specifieke activiteiten, die instrumenteel zijn voor de twee hoofddoelen:

- De Multi-model infrastructuur.
- Generieke en specifieke modelkoppeling

De multi-model infrastructuur is een softwaredienst die modelinteractie mogelijk maakt. Het model is agnostisch, is schaalbaar en vormt geen *bottleneck* in de performance van de multi-modellen die er gebruik van maken. Deze software-infrastructuur is publiekelijk beschikbaar met een zo laag mogelijke drempel voor deelname en kan ingezet worden in een besloten omgeving in eigen beheer door stakeholders.

Modelkoppeling is een stuk software die specifieke modelleergereedschappen en modellen in staat stelt om berichten te verzenden en te ontvangen via de multi-model infrastructuur. Deze software is onafhankelijk van de inhoud van de berichten en dient als een “stekker” tussen de model en het platform. Modelkoppeling is per definitie model- en modelleergereedschap-specifiek en moet voor elk model individueel gebouwd worden.

Activiteiten en Resultaten

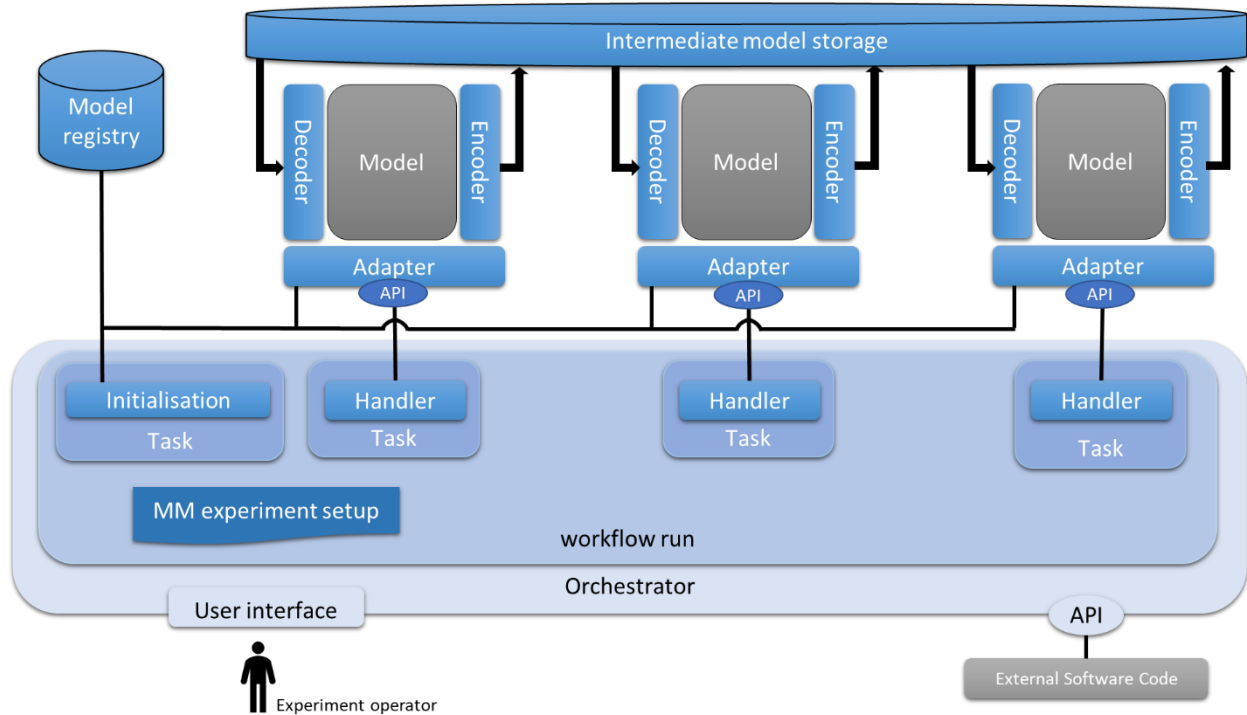
Ontwerp en implementatie van de multi-model infrastructuur

Eerste stap in ontwerp van de multi-model infrastructuur is het *informatiemodellering*. In nauwe samenwerking met, en mede op basis van uitkomsten van werkpakket 2 (wp:2: r:1 t/m 4), is via participatieve modeleersessies een conceptueel ontwerp voor de uitwisseling van gegevens tussen modellen gemaakt. Er is gebruik gemaakt van reeds bestaande en veel gebruikte open source energiemodellentaal ESDL (<https://energytransition.github.io/index.html>), ontwikkeld door TNO. EDSL werd verder uitgebreid met specifieke eisen en behoeftes van multi-modelering.

Onderstaande figuur geeft een illustratie van gebruik van het informatiemodel om de techno-economische parameters, verbindingen met andere componenten in het elektriciteitsnetwerk en de fysieke locatie van een PV-installatie in de micro casus te beschrijven.

```
<asset xsi:type="esdl:PVInstallation" id="1907945a-5ffe-4c08-b9ce-9bc8689f943c" name="PVInstallation_1907" surfaceArea="7979" state="OPTIONAL">
  <costInformation xsi:type="esdl:CostInformation" id="c1ec6af9-b62b-40db-acdc-a84a7d2692ee">
    <investmentCosts xsi:type="esdl:SingleValue" value="871.0" id="2731c2a1-f70b-4db8-9f70-f531121d3745">
      <profileQuantityAndUnit xsi:type="esdl:QuantityAndUnitType" id="ed551dad-660a-4f65-84c6-3e108241a178" perUnit="WATT" description="Cost in EUR/kW" perMultiplier="KILO" physicalQuantity="COST" unit="EURO"/>
    </investmentCosts>
  </costInformation>
  <constraint xsi:type="esdl:RangedConstraint" id="d045e8d3-7f7b-40c5-a756-8c6534d6be2b" name="NewRangedConstraint" attributeReference="power">
    <range xsi:type="esdl:Range" maxValue="40000.0" name="PV installed capacity range" id="642eb1f7-22c8-4131-bf90-ff6e387a4a68" minValue="20000.0">
      <profileQuantityAndUnit xsi:type="esdl:QuantityAndUnitType" physicalQuantity="POWER" unit="WATT" description="Power in Watt" id="2b8f2157-4f95-4b2d-8944-cedc43a2cad9"/>
    </range>
  </constraint>
  <geometry xsi:type="esdl:Polygon" CRS="WGS84">
    <exterior xsi:type="esdl:SubPolygon">
      <point xsi:type="esdl:Point" lat="51.541484198065596" lon="4.227204322814942"/>
      <point xsi:type="esdl:Point" lat="51.541857872008826" lon="4.228159189224244"/>
      <point xsi:type="esdl:Point" lat="51.54112386671437" lon="4.228985309600831"/>
      <point xsi:type="esdl:Point" lat="51.54072349520013" lon="4.22801971435547"/>
    </exterior>
  </geometry>
  <port xsi:type="esdl:OutPort" carrier="279b10f4-c971-454d-9390-60a6970ab471" connectedTo="ad335aa5-2ebc-4148-85ac-b4276f64b7fc" name="Out" id="4c3f787e-df4f-4ab8-93ab-93dcde9827e2">
    <profile xsi:type="esdl:InfluxDBProfile" multiplier="28813.720" endDate="2020-01-01T00:00:00.000000+0100" measurement="standard_profiles" filters="" startDate="2019-01-01T00:00:00.000000+0100" field="Zon_deBilt" database="energy_profiles" port="8086" host="http://influxdb" id="6fc38691-9d02-4f58-bfde-455eb641cb82">
      <profileQuantityAndUnit xsi:type="esdl:QuantityAndUnitType" id="9d70cc41-750c-4c77-9f80-4bd89bc9020b" description="Energy in kWh" physicalQuantity="ENERGY" unit="WATTHOUR" multiplier="KILO"/>
    </profile>
  </port>
</asset>
```

Met dit informatiemodel als basis, en geleid door de “Requirements document” uit WP2, is er een *ontwerp van de software architectuur gemaakt*. Doel was om een zo generiek, robuust, schaalbaar en uitbreidbaar mogelijk architectuur te ontwerpen. Ook werden hardware platform keuzes gemaakt, net als processen voor de inrichting, operatie en het beheer van de multi-model infrastructuur. Onderstaande figuur geeft een overzicht van het ontwerp:



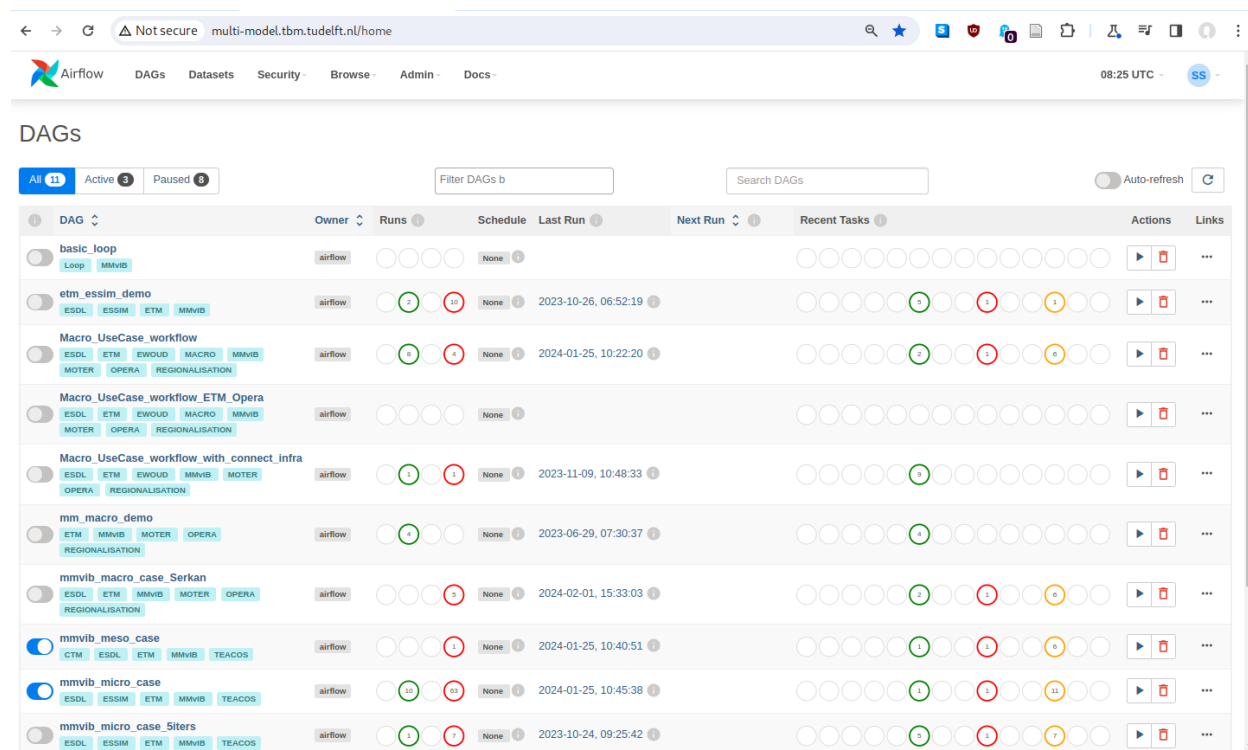
Gedetailleerde uitleg en ontwerpdetails staan hier: <https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/technical/IT%20architecture.html>

Naast de modellen zelf, zijn er twee kern componenten van de infrastructuur waar bijzonder aandacht naar toe ging tijdens het ontwerpproces: het orchestrator en het model adapters. Adapters zijn onderwerp van het tweede gedeelte van dit werkpakket.

Orkestratie is het proces van specificeren van de inter-model interactie en zorgen voor correct afhandelen van de feitelijke berekeningen. Tijdens deze activiteit wordt het orkestratie mechanisme ontworpen en gebouwd, die nodig is voor de coördinatie van de model-interactie. De orkestrator is als het ware de “hersenen” van de multi-model infrastructuur. Een bijzonder kenmerk van het ontwerp is dat het *recursief* en *extern oproepbaar* is, wat betekent dat een (multi-) model in staat is om een multi-model op te roepen. Dit maakt het mogelijk om bijzonder complexe, genestelde model interacties te creëren, wat een hele nieuwe familie van geïntegreerde energiemodellen mogelijk gaat maken.

Implementatie van de multi-model infrastructuur software In nauwe samenwerking met WP2 en andere partners hebben we een praktisch implementatie van dit ontwerp gebouwd en toegankelijk gemaakt. Het platform is beschikbaar via <http://multi-model.tbm.tudelft.nl/> Deze eerste experimentele iteratie van de multi-model infrastructuur dienst wordt gehost door de TU Delft en is toegankelijk voor geautoriseerde partners. Gezien de experimentele status van deze installatie, is deze nog niet voor algemeen publiek open, mede omdat de TU

Delft niet de benodigde middelen heeft om dit te ondersteunen. Geïnteresseerde partijen die met het platform willen experimenteren zijn welkom om toegang aan te vragen via i.nikolic@tudelft.nl. Verder, gezien dat de platform volledig open source is, is iedereen vrij om zelf een installatie op te zetten voor eigen doeleinden. Afbeelding hieronder laat de web interface van de multi-model infrastructuur zien:



Gedetailleerde instructies voor het gebruik van de infrastructuur staan hier: <https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/enduser/index.html>

Ontwerpen en realiseren van generieke en specifieke model-koppelingen

Tijdens deze activiteit worden generieke model-koppelingen ontworpen en ontwikkeld. Ontwikkeling van modelkoppelingen bestaat uit twee stappen, het maken van een generieke koppeling en vervolgens op basis daarvan, een koppeling die specifiek is voor elk model.

De generieke model koppeling zorgt dat de specifieke functionaliteiten van de orkestrator beschikbaar zijn voor willekeurige andere software, via een zogenaamde API. De model-specifieke koppeling maakt gebruik van deze algemene API, en vertaalt het naar specifieke opdrachten voor een bepaald model.

Naast de generieke modeladapter zijn adapters gemaakt voor TEACOS, MOTER, OPERA, ESSIM, ETM en voor Python gebaseerde modellen. Detail zijn te vinden hier: <https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/technical/Model%20adapters.html>

3.5. Werkpakket 4: Casussen voor multi-model validatie

Activiteiten en Resultaten	Deelnemers
Wp:4: r:10: a1 Co-creatie ontwerp macro casus	TNO / DNV / Quintel / TU Delft
Wp:4: r:10: a2 Ontwikkelen macro casus	TNO / DNV / Quintel / TU Delft
Wp:4: r:11: a1 Co-creatie ontwerp meso casus	Kalavasta / Quintel / Quomare / TNO/ TU Delft
Wp:4: r:11: a2 Ontwikkelen meso casus (IO)	Kalavasta / Quintel / Quomare / TNO/ TU Delft
Wp:4: r:12: a1 Co-creatie ontwerp micro casus	Quintel / Quomare / TNO / TU Delft
Wp:4: r:12: a2 Ontwikkelen micro casus	Quintel / Quomare / TNO / TU Delft

We hebben 3 casussen gecreëerd. Het doel van deze casussen was driedelig:

- Instrumenteel zijn om de multi-model infrastructuur en model connectoren te ontwikkelen door middel van “learning-by-doing”.
- Demonstratie te geven over nieuwe mogelijkheden voor integrale energiesysteem perspectief die door multi-modellen geboden worden.
- Experimentele basis voor methodologie ontwikkeling te bieden door methodologisch “meest vervelende” multi-model configuraties te creëren.

De energiesysteem-inhoud van de modellen is door middel van een serie workshops gedefinieerd wat betreft scope en te onderzoeken probleem. Inhoudelijk zijn de casussen vereenvoudigd, om implementatie en methodologisch testen te vergemakkelijken, en niet te verzanden in energiesysteemdetails. Ze zijn wel beleidsrelevant in hun scope en inhoud. Wij hebben ook gezorgd dat de modellen van alle betrokken partijen die in het multi-model gebruikt werden en de gekozen multi-modelstructuur methodologisch de “moeilijkste gevallen” bevat.

Micro casus: Investerings in energiesysteem binnen een bedrijventerrein

De afgelopen jaren is de energietransitie op bedrijventerreinen in een stroomversnelling gekomen. Stijgende energieprijzen en veranderende markten stimuleren ondernemers om te investeren in energie-efficiëntie en hernieuwbare energie en beleidsmakers handelen omdat ze beseffen dat bedrijventerreinen een sleutelrol spelen bij het bereiken van de klimaatdoelstellingen. Een collectieve (bedrijvenpark)aanpak is nuttig bij deze transitie.

De micro-use case is bedoeld om de besluitvorming op bedrijventerreinen te ondersteunen door een multi-modelbenadering te gebruiken om geoptimaliseerde investeringspaden voor de lange termijn naar een duurzaam bedrijvenpark te berekenen en de spanning tussen wat optimaal is voor de park en wat optimaal is voor de individuele bedrijven te verkennen. Als case study zijn de bedrijventerreinen Welgelegen en Slabbecoornpolder in de gemeente Tholen gebruikt.

Opgenomen modellen

- **ESSIM** (TNO) - voor het beschrijven van de structuur van het energiesysteem. De Energy System Simulator (ESSIM) is een simulatietool die dynamische interacties van verschillende energie-conversie technologieën en energiestromen berekent in een onderling verbonden hybride energiesysteem over een bepaalde periode. Met behulp van de energiestromen die ESSIM berekent, kan men inzicht krijgen in hoe goed de assets in een netwerk zijn gedimensioneerd, of er overbelasting is in een bepaald transportmiddel (zoals leidingen, kabels, etc.) en wat het effect van opslag is. Meer informatie over ESSIM is te vinden hier: <https://essim-documentation.readthedocs.io/en/latest/>
- **Energie Potentieelscan** (TNO) - berekeningen van energiebehoeftes en verduurzamingspotentieel van individuele bedrijven. De Energiepotentieelscan Bedrijventerreinen (EPS) geeft een eerste orde inschatting van de business case voor duurzame energiemaatregelen op bedrijventerreinen, voor individuele bedrijven en voor het bedrijventerrein als geheel. Voor een eerste schatting zijn geen bedrijfsspecifieke gegevens nodig, omdat er gebruik wordt gemaakt van geografische en andere gegevens die open of commercieel beschikbaar zijn op nationale schaal. Meer informatie over de EPS is te vinden hier: <https://www.bepositief.nl/energie-potentieelscan/>
- **Energie Transitie Model** (Quintel) - berekenen van de energiesysteem configuraties en prijzen buiten het bedrijvenpark op een gemeentelijke en nationaal schaal. Het Energietransitiemodel (ETM) stelt gebruikers in staat om de mogelijke toekomst voor een specifiek energiesysteem te verkennen. Het ETM is een bottom-up simulatiemodel, gebaseerd op gedetailleerde open data, waar alle relevante

processen en energiestromen worden vastgelegd in een grafische structuur. Hierdoor kunnen alle mogelijke routes voor het uitwisselen van energie tussen sectoren en processen worden beschreven. Ook worden alle relevante sectoren en energiedragers van de energiesystemen meegenomen. Het ETM berekent voor alle energiedragers de jaarlijkse energiebalans en voor elektriciteit, warmte en waterstof de energiebalans per uur. De resultaten omvatten systeem-KPI's zoals de totale kosten en CO2-emissiereductie van het gemodelleerde energiesysteem. Meer informatie over ETM is te vinden hier: <https://docs.energytransitionmodel.com/main/intro/>

- **TEACOS** (Quomare) - multi-periode optimalisatie van de investeringsstrategie voor het gehele bedrijventerrein. TEACOS is een wiskundig optimalisatietool voor strategische investeringsanalyse op middellange tot lange termijn. Model is in staat om de vragen zoals “In welke (decarbonisatie) mogelijkheden moet worden geïnvesteerd?”, “Wat is de optimale investeringstiming?” en “Hoeveel te investeren?” te beantwoorden. TEACOS modelleert de supply chain als een netwerk. In het netwerk vertegenwoordigen knooppunten locaties of (productie)eenheden, en vertegenwoordigen de verbindingen tussen de knooppunten (bogen) het transport van goederen tussen de knooppunten. Bovendien kunnen mogelijke aanpassingen aan de netwerkinfrastructuur worden gemodelleerd als investeringen. Het model selecteert de beste combinatie van investeringen en berekent de bijbehorende productstroom zodanig dat ofwel de Netto Contante Waarde zo hoog mogelijk is, ofwel de kosten worden geminimaliseerd. Meer informatie over TEACOS is te vinden hier: <https://www.quomare.com/products/teacos>
- **Nieuw ontwikkeld Agent Gebaseerd model** (TU Delft) om investeringsgedrag van individuele bedrijven te simuleren. Hierbij worden investeringen van individuele (kleine) bedrijven over tijd gesimuleerd, van uitgaand dat deze bedrijven verschillend zijn, imperfecte informatie hebben over de wereld en redeneren met beperkte rationaliteit. Deze bedrijven bevinden zich in een omgeving die zij beperkt kennen, mede gevormd door andere bedrijven, en (re)ageren op gebeurtenissen van anderen over tijd. Hierdoor ontstaan verschillende groei- en ontwikkelpaden, en kan het “ontwerpruimte” van het toekomstig energiesysteem verkend worden. Meer informatie over dit model is te vinden hier: <https://repository.tudelft.nl/record/uuid:53acc329-7990-4fe0-8374-3418d10c3f85>

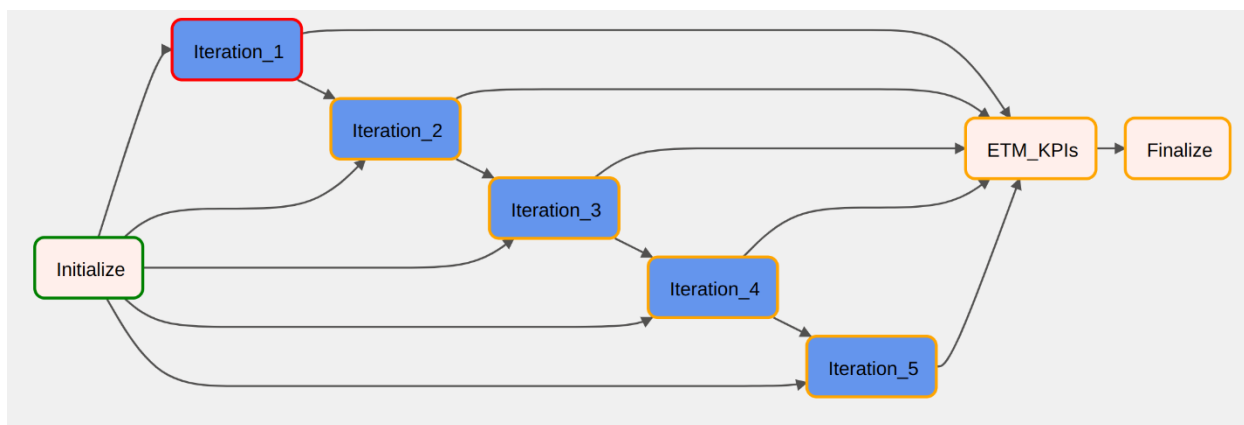
Samenhang en doel

Methodologisch heeft deze casus zich gericht op het combineren van verschillende operationele principes, en heeft specifiek de koppeling tussen een multi-periode MINLP-

optimalisatie en Agent Gebaseerde Simulaties (ABM) verkend. Dit is relevant omdat optimalisaties en Agent Gebaseerde Modellen elkaars conceptuele tegenpolen zijn. Optimalisaties zijn uitstekend in staat zijn om de beste techno-economische oplossing voor een specifiek gedefinieerd toekomstig toestand van het energiesysteem te berekenen. Hierbij moet worden aangenomen dat alle onderdelen perfect op elkaar zijn afgestemd, dat alleen de beste mogelijke beslissingen genomen worden, en dat iedereen in perfecte overeenstemming is over wat nodig is. Optimalisaties geven de beste mogelijke toestand, de “perfecte” oplossing. Agent Gebaseerde modellen gaan daartegen juist vanuit dat iedereen anders is, iets anders wil, niemand perfecte informatie heeft over bijvoorbeeld prijzen, kosten, enzovoort heeft, en dat entiteiten niet perfect rationeel redeneren. Ze geven imperfecte en suboptimale maar realistischere transitiepaden naar een mogelijk toekomst weer. Door deze twee methodes te combineren kunnen we verkennen hoe het beste zich verhoudt tot de haalbare. Tot slot, optimalisaties geven in principe een enkel antwoord, en ook als ze meerdere keren uitgevoerd worden, verandert deze oplossing niet. ABMs geven altijd een waaier van mogelijke uitkomsten, en kunnen de gevolgen van toevalligheden, zoals bijvoorbeeld wie als eerste investeert, in kaart brengen. Dit maakt hun combinatie in een multi-model erg interessant, maar ook zeer ingewikkeld.

Vanuit het energiesysteem perspectief verkent dit casus de spanning tussen de centraal geplande transitie, waarbij iedereen het juiste investeringen op juiste moment doet en naar een gezamenlijk doel werkt, en de decentrale, ongeorganiseerde transitie, waarbij partijen alleen hun eigen belangen volgen, en handelen binnen hun eigen kracht en middelen, zonder het gezamenlijke doel voor ogen te hebben. Beide situaties zijn uiteraard niet realistisch, maar doordat we deze twee modellen gezamenlijk te gebruiken krijgen we een veel realistischer beeld over de (on)mogelijkheden van de energietransitie.

De figuur hieronder laat de interactietopologie van de multi-model op hoog niveau zien.



Details van de micro casus zijn beschreven hier:

https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/example_use_cases/Meso%20use%20case%20-%20Industry/index.html

Meso case: Regionale waterstofproductie in Zeeland

Het ontwikkelde multi-model van de meso cases is toegepast op een gestileerde casus van waterstof productie in de provincie Zeeland. Hierbij kan waterstof geproduceerd worden door middel van een Stoom-Methaan Reformer (SMR) of door middel van Elektrolyse. Het multi-model berekent op basis van de verschillende kosten en gevraagde hoeveelheid waterstof wat de beste route is om deze te produceren. De multi-model-loop rekent naast de optimale investeringsbeslissing ook de impact uit op het industrie cluster in Zuidwest Nederland en op landelijk niveau. De methodologische focus lag op onzekerheidsanalyse en scenario exploratie.

Opgenomen modellen

- ETM (Quintel) - berekenen van de energiesysteem configuraties en prijzen op nationaal schaal. Zie eerdere beschrijving.
- TEACOS (Quomare) - optimalisatie van de waterstofproductie keten. Zie eerdere beschrijving.
- CTM (Kalavasta) - Model van de energie- en koolstofstromen in een mogelijke waterstofproductieketen in Zeeland. Het Carbon Transition Model (CTM) is een hulpmiddel om routes naar nul-emissies te verkennen voor de Nederlandse industrie en toekomstige industrieën die synthetische moleculen produceren (uit koolstof, water en elektriciteit). De industriële activiteit is gemodelleerd op basis van historische openbare gegevens en is gevalideerd. De gebruiker kan een toekomstig

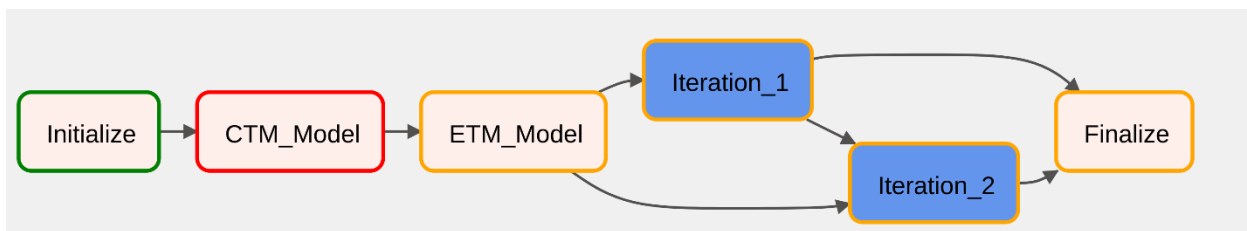
jaar verkennen door wijzigingen aan te brengen in een referentiescenario voor het 'basisjaar'. Het model biedt vervolgens informatie over veranderingen in emissies, kosten, energie en grondstoffen, technologiekeuzes, infrastructuur en nog veel meer. Het model bestrijkt de gehele Nederlandse industrie. De grootste energie-intensieve industriële locaties worden gemodelleerd met behulp van een bottom-up benadering. Dit omvat staalfabrieken, raffinaderijen, kunstmestfabrieken en andere grote chemische basisfabrieken. De rest van de Nederlandse industrie is gemodelleerd met behulp van een top-down benadering, gebaseerd op nationale energiestatistieken en locatie specifieke emissiegegevens. Meer informatie over CTM is te vinden hier: https://carbontransitionmodel.com/guides/CTM_documentation.pdf

Samenhang en doel

In dit multi-model gebruiken wij ESSIM om het industrieel energiesysteem in Zeeland te beschrijven. Daarna levert ETM de nationale energiesysteem context aan dit gemodelleerd lokaal systeem, met name prijzen volgens de II3050 scenario's. Vervolgens berekent de CTM in de optimale waterstof productie cluster configuratie. In een iteratieve lus met TECOS en ETM simuleren we de reactie van de rest van de Nederlands energiesysteem op deze nieuwe investeringen in Zeeland door nieuwe energieprijzen de schatten, waarop vervolgens aanpassingen binnen de Zeelandse industrie cluster optreden, enzovoort.

Methodologische focust van deze casus is op de onzekerheidspropagatie. Door de opzet van de vereenvoudigde industrie cluster model ontstaat er een iteratieve lus tussen de drie betrokken modellen, waarbij het ene model input uit het vorige model gebruikt om een resultaat te berekenen. In het geval van de meso-use case is TEACOS het model dat de optimale verwerkingsconfiguratie berekent op basis van de elektriciteitsprijs. Het is mogelijk dat de keuze van de verwerkingsconfiguratie (afhankelijk van de omvang) impact heeft op de elektriciteitsprijs en dat er daarom voor een andere keuze van de verwerkingsconfiguratie moet worden gekozen. In een realistische situatie zou de omvang van een elektrolyse-eenheid in Zeeland slechts een zeer marginale invloed zou hebben op de algemene elektriciteitsprijs in Nederland. Echter, in theoretische gevallen waarin de vraag naar waterstof en daarmee de verwerkingscapaciteit enorm toeneemt, zou dit kunnen leiden tot wisselende verwerkingsconfiguraties. Hierdoor kunnen relatief kleine onzekerheden in de input parameters tot (zeer) grote verschillen in uitkomsten kunnen leiden.

Figuur hieronder laat de interactietopologie van de multi-model op hoog niveau zien



Inhoudelijke uitkomsten van de Meso niveau casus zijn beschreven hier: https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/example_use_cases/Meso%20use%20case%20-%20Industry/index.html

Macro-case

Het ontwikkelde multi-model voor de macro-case is toegepast op een vereenvoudigde versie van de [I3050 studies](#). Het multi-model berekent hierbij (1) het economisch meest optimale scenario binnen de aannames van 2 verschillende I3050 studies, (2) regionaliseert de uitkomsten hiervan van landsniveau naar gemeenten, (3) koppelt dit aan interpretatie van toekomstige infrastructuur en (4) optimaliseert het gebruik van assets (infrastructuur, productie en opslag). Dit zorgt ervoor dat toekomstplannen voor het energiesysteem economisch geoptimaliseerd kunnen worden en daarnaast de impact op assets (infrastructuur, productie en opslag) berekend kan worden.

Methodologische focus van deze casus lag op schaling en (dis)aggregatie tussen regionale en nationale schaal.

Opgenomen modellen

- OPERA (TNO) - techno-economische optimalisatie voor het Nederlandse energiesysteem. OPERA is een optimalisatiemodel gebaseerd op lineaire programmering. Het vertegenwoordigt het gehele energiesysteem van Nederland, inclusief bunkerbrandstoffen, grondstoffen en alle binnenlandse uitstoot van broeikasgassen (BKG). Het is mogelijk om voor individuele jaren en over jaren te optimaliseren (een dynamische optimalisatie). De gebruiker kan verschillende beleidsrelevante doelstellingen definiëren, zoals een doelstelling voor de vermindering van de broeikasgassen, een doelstelling voor het eindenergieverbruik, enz. Bovendien kunnen individuele technologieën, groepen technologieën en hulpbronnen worden beperkt door maxima of minima, bijvoorbeeld een maximaal capaciteitspotentieel voor wind op zee. OPERA maakt gebruik van tijdschijven, waarbij uren met een gelijksoortig karakter in dezelfde tijdschijf worden gegroepeerd. In deze tijdsegmenten worden invoergegevens met een uurresolutie samengevoegd.

Voorbeelden van invoergegevens per uur zijn windsnelheden per uur en het elektriciteitsvraagprofiel per uur voor de huishoudelijke sector. De drijvende kracht achter het model is de energievraag. Het grootste deel van de vraag wordt bepaald via de servicevraag. Voorbeelden zijn een vooraf gedefinieerde hoeveelheid tonnen staal die geproduceerd moeten worden, passagierskilometers die door auto's moeten worden gereden, etc. In al deze gevallen bepaalt het model welke technologieën worden gebruikt om aan deze servicebehoefte te voldoen. De uiteindelijke vraag naar energiedragers ligt daarom niet vooraf vast. De gebruiker kan Nederland onderverdelen in regio's. Deze regio's kunnen via transmissie-infrastructuur met elkaar worden verbonden. Import en export van elektriciteit met buurlanden wordt niet endogeen bepaald, maar valt onder de koppeling van het model aan een Europees elektriciteitsmarktmodel. Meer informatie over Opera is te vinden [hier](#) :

https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Rekenmodellen_21_2b9d3fa8e4.pdf

- ETM (Quintel) - berekenen van de energiesysteem configuraties en prijzen op nationale schaal over verschillende toekomstscenario's. Zie eerdere beschrijving.
- MOTER (DNV) - optimalisatietool voor de dispatch van "multi-commodity" energiesystemen bestaande uit onderling verbonden elektriciteits-, aardgas-, waterstof- en warmtenetwerken. MOTER is een optimalisatietool voor de verzending van 'multi-commodity' energiesystemen bestaande uit onderling verbonden elektriciteits-, aardgas-, waterstof- en warmtenetwerken. Het doel van MOTER (Modeler of Three Energy Regimes) is het vinden van de optimale techno-economische prestaties van een extern geleverd multi-commodity energiesysteem, bestaande uit de topologie en capaciteiten van (1) Primaire energieopwekking via windturbines, zonne-energie, geothermie, kolencentrales (+CCS), aardgasproductie en energie-import/-export; (2) Residentiële en industriële warmte- en stroomvraagcentra via 'slimme' eindgebruikstoepassingen. (3) Energieconversie via gas-naar-kracht-, power-to-gas-, power-to-heat-, gas-to-heat-, aardgas-naar-waterstof-technologieën. (4) Energietransportnetwerken bestaande uit stroomkabels, gasleidingen, warmtenetten (+ transformatoren, compressoren) en (6) Energieopslag (batterij, waterkrachtcentrale, ondergrondse gasopslag, geïsoleerde warmwatertanks). De output van MOTER is de kostenoptimale 'verzending' van de flex in het energiesysteem. De term 'flex' verwijst naar elke maatregel die de markt kan nemen om het onevenwicht tussen vraag en aanbod te verminderen, zoals (1) Het overbruggen van onevenwichtigheden tussen vraag en aanbod van energie in de ruimte met behulp van passieve middelen (leidingen en kabels) in combinatie met schakelbare middelen (compressoren en

transformatoren); (2) Het op tijd overbruggen van onevenwichtigheden tussen vraag en aanbod van energie door gebruik te maken van opslag en (3) Het overbruggen van onevenwichtigheden tussen vraag en aanbod van energie in het soort energie door middel van conversie. Meer informatie https://www.netbeheernederland.nl/upload/Files/Rekenmodellen_21_dd7baea363.pdf

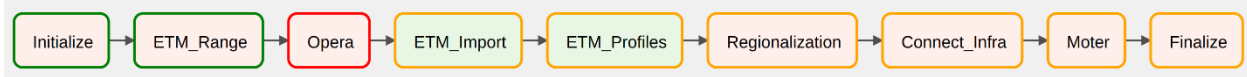
Samenhang en doel

Momenteel worden modellen van transmissie (TSOs) en distributiebedrijven (DSO's) in combinatie met de ETM gebruikt om de impact van energietransitiescenario's op de energie-infrastructuur te bepalen. Deze scenario's/modellen zijn echter niet goed in staat om veranderende (economische) omstandigheden (economische consistentie vs. technische consistentie), mogelijkheden voor optimalisatie van (bestaande) assets mee te nemen, en kunnen beperkt rekening houden met ruimtelijke distributie en netwerkbependingen. Door de toepassing van een multi-modelstructuur kunnen bestaande scenario's worden verbeterd op het gebied van economische consistentie (Opera), scenario-optimalisatie ten aanzien van (een set van) KPI's (Opera), asset-optimalisatie (Moter). TSO/DSO-modellen zullen nog steeds de nodige asset-informatie leveren voor infrastructuurplanning, terwijl de ETM de scenariobeschrijving kan leveren en kan functioneren als communicatiemiddel.

Een belangrijk methodologisch aspect dat bij deze problematiek een rol speelt is schaalings- en (dis)aggregatie tussen regionale en nationale schaal. Modellen zoals ETM en Opera leveren beschrijvingen op nationaal schaal. Voor planning en optimalisatie van de distributienetten is informatie op gemeentelijk of zelfs wijk schaal nodig. Verder, modeluitkomsten op nationaal schaal zijn meestal jaarlijkse gemiddeldes, terwijl voor capaciteitsplanning informatie per uur nodig is. In tegenstelling tot het aggregatieproces, waarbij modeldata en uitkomsten opgeteld en gemiddeld worden, en daarbij data "verloren" gaat, is dis-aggregatie methodologisch een veel lastiger proces omdat het data moet "toevoegen". Als bijvoorbeeld een gemiddeld jaargebruik van gas beschikbaar is, maar een model een gebruiksprofiel per uur nodig heeft, moet deze informatie toegevoegd worden. Als echte data niet beschikbaar is, moeten er aannames gemaakt worden, en deze aannames kunnen een zeer groot invloed hebben op de uitkomsten. In deze casus introduceren wij regionalisatie sub-modellen, die op verschillende wijze nationale, jaargemiddelde modelinformatie dis-aggregeren naar regionale en gemeentelijke uur waarden. Omdat deze "toegevoegde" data groot effect kan hebben op de uiteindelijke uitkomsten, hebben wij verschillende manieren van regionalisatie toegepast, bijvoorbeeld per aantal inwoners, op per oppervlakte of aantal gemeentes in een regio. Door deze regionalisatie configureerbaar

te maken, worden modelleer keuzes transparant en toetsbaar, waardoor de kwaliteit van de uiteindelijke model hoger wordt.

Figuur hieronder laat de interactietopologie van de multi-model op hoog niveau zien:



Inhoudelijke uitkomsten van de Macro-niveau casus zijn beschreven hier: https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/example_use_cases/Macro%20use%20case%20-%20National%20scenario/index.html

3.6. Knelpunten en hun oplossing

Het project had tot doel verschillende modeltalen te begrijpen en te harmoniseren voor effectieve multi-modellering in het energiesysteemdomein. De belangrijkste uitdagingen die we tegenkwamen en aanbevelingen voor de toekomst vatten wij in dit hoofdstuk samen.

Het ontbreken van financiering voor oorspronkelijk geplande werkzaamheden binnen WP1 was een knelpunt voor het gehele project. Doordat we niet in staat waren om de sociale processen tot in het gewenste detail te volgen, te analyseren en aan te passen, was de overall effectiviteit van het consortium minder dan wat het had kunnen zijn. Hoewel het project een uitstekend sociaal klimaat heeft, een hoge mate van samenwerking kent en mooie resultaten heeft geboekt, hebben we als consortium het gevoel dat we nog meer uit het project hadden kunnen halen als we de capaciteit hadden gehad om het sociale proces dieper te analyseren en daarmee veel beter te kunnen sturen.

Belangrijkste bevindingen:

Methodologische-complexiteit en expertise: Effectieve informatie-uitwisseling bij multi-modellering vereist een grondig begrip van de informatievereisten van elk model. Hoewel succesvolle multi-modellering werd bereikt, ontstonden er uitdagingen bij het aanpassen van modellen aan verschillende energiesysteem typologieën, wat de complexiteit van het creëren van echt generieke modellen benadrukte. Energy System Description Language (ESDL) bleek een waardevol medium voor het transporteren van informatie tussen verschillende modellen, waardoor de interoperabiliteit werd vergemakkelijkt.

Energiesysteem-complexiteit en expertise: Ambigüiteiten en inconsistenties bij het specificeren van meeteenheden leidden tot interpretatieproblemen, waardoor het vaststellen van gemeenschappelijke regels noodzakelijk werd. Zo zijn er discrepanties geconstateerd tussen de Energie Prestatie Simulator (EPS) en het Energietransitie Model

(ETM), met name in de interpretatie van gebouwtypen. Het bleek nog complexer dan verwacht om met de partners tot gedetailleerde beschrijvingen te komen van voldoende versimpelde use cases die in WP3 geïmplementeerd kunnen worden in eerste iteratie, in het bijzonder ten aanzien van wat er in detail nodig is om verschillende modellen conceptueel te koppelen.

IT-complexiteit en expertisevereiste: Succesvolle modelkoppeling vereist ervaren ontwikkelaars en IT-expertise, hetgeen uitdagingen kan opleveren voor organisaties die minder vertrouwd zijn met IT. Het project was nog IT-complexer en IT-intensiever dan verwacht, wat de behoefte aan een robuuste IT-infrastructuur en expertise benadrukt.

Organisatorische afstemming: Niet op elkaar afgestemde verwachtingen, ondanks grote aandacht voor verwachttingsmanagement, binnen het projectteam en met externe belanghebbenden, onderstreepte het belang van het verduidelijken van doelstellingen en projectfasen. Coördinatie met externe partijen bleek een uitdaging vanwege de verschillende prioriteiten en beschikbaarheid, wat de noodzaak van afstemming vooraf benadrukte. Het hebben van back-up voor belangrijke projectleden beperkt de risico's die gepaard gaan met personeelwisselingen of onbeschikbaarheid. Er deden zich vertragingen voor vanwege problemen met toegangsrechten binnen de IT-omgeving, waardoor de voortgang bij taken zoals het werken met Apache Air Flow werd belemmerd.

Hier is niet een eenvoudige oplossing voor. Iedere organisatie heeft een eigen cultuur en drukke momenten.

Sociale processen: In het eerste jaar is het volgende knelpunt gerapporteerd: De kloof tussen de stand van de wetenschap en de dagelijkse modeleer praktijk is nog wat groter dan initieel verwacht. Dit resulteerde in verwachtingen die niet op elkaar afgestemd waren, ondanks grote aandacht voor verwachttingsmanagement, binnen het projectteam.

Proactieve aanpak en positieve energie: Het hanteren van een proactieve aanpak, in plaats van te wachten tot zich problemen voordoen, bleek nuttig bij het snel aanpakken van uitdagingen. Het handhaven van een positieve teamsfeer bevordert de motivatie en vergemakkelijkt de voortgang van het project.

Aanbevelingen:

De basis goed leggen is belangrijker dan snelheid We hebben de tijd genomen om de concepten en denkwijzen helemaal goed te krijgen. De verwachting is dat we de vertaling van de verschillende methodologische aspecten en hun toepassing in de casussen sneller kunnen doen dan initieel verwacht.

Begin nog simpeler Ondanks dat we ons ervan bewust waren dat we relatief simpel moesten beginnen voor wat betreft de energiesysteeminhoud, bij een project waar methodologie en tooling ontwikkeling dusdanig centraal staat, hebben we met een nog simpelere configuratie van het energiesysteem moeten starten. Dit veroorzaakt spanningen tussen software architecten, programmeurs, modellers en energie-experts. Verwachtingen moeten goed gemanaged worden.

Standaardiseer maateenheden en standaardwaarden Ontwikkel gestandaardiseerde regels voor het specificeren van maateenheden en standaardwaarden om de consistentie en interpretatie te verbeteren.

Capaciteitsopbouw en resourceplanning Zorg voor de aanwezigheid van ervaren ontwikkelaars en IT-experts gedurende het hele project om technische uitdagingen effectief aan te pakken. Plan back-ups van resources om verstoringen veroorzaakt door personeelswijzigingen tot een minimum te beperken.

Proactieve betrokkenheid en positieve teamdynamiek Moedig proactieve betrokkenheid en probleemoplossingen aan om uitdagingen snel aan te pakken. Bevorder een positieve teamomgeving om de motivatie en productiviteit te verbeteren.

Formaliseer samenwerking Formaliseer de samenwerking met externe partijen om prioriteiten en beschikbaarheid vooraf op elkaar af te stemmen.

3.7. Begroting en besteding

Deze tabel maakt geen deel uit van de openbare versie van het rapport.

4. Eindresultaat, conclusies en kennisverspreiding

Het ontwerpen en in de praktijk implementeren van multi-modellen is complex. De wiskunde achter de multi-modellen is complex en de praktijkomgeving waarin de multi-modellen opereren is veelvormig en soms (vaak) weerbarstig. Juist in dit project hebben we geprobeerd een aantal van de complexiteiten aan te gaan en te komen tot oplossingsrichtingen. Op de project website: <https://multi-model.nl/> hebben we de uitdagingen van het onderzoek en haar relevantie samengevat en geïllustreerd met een animatievideo. Ook hebben we met gebruikmaking van interactieve infographics de werking van de infrastructuur en casussen uiteengezet.

Hieronder benoemen we de meest belangrijke bevindingen uit het onderzoek.

Conclusies

Concluderend kunnen we stellen dat het MMViB project de volgende resultaten heeft voorgebracht, geordend naar werkpakket:

WP1

De focus in dit werkpakket heeft gelegen op de ontwikkeling van de community of practice en het organiseren van het domein en methodologische kennis.

In samenwerking met de LEVE en de EG-ETRM platformen is een goede basis gelegd voor groeiende community of practice. Er is veel geleerd over de (on)mogelijkheden van multi-modellen voor het beter begrijpen van het energiesysteem. Ook is er een sterk toegenomen besef over de technische en methodologische uitdagingen die gepaard gaan met het multi-modelleren.

Meerdere initiatieven zijn gestart om de opschaling van deze aanpak te ontwikkelen. Bijvoorbeeld, offerte traject van Siemens, RHDHV en TU Delft aan de Provincie Zuid-Holland, om een tool te ontwikkelen voor het realiseren van de provinciale MIEK-plannen. Ander voorbeeld is de TUD-Siemens pilot met de “ESO – National Grid”, de Britse energie netbeheerder, om adaptieve planning met behulp van multi-modellen te ontwikkelen voor regionale energiesysteem planning. Er is nog volop ontwikkeling in de vraag naar deze methodes en het platform. We kunnen stellen dat er veel toekomst in zit en dat er behoefte is om het platform, de methodes en de tooling verder gebruiksvriendelijk en toegankelijk te maken.

Uit onderzoek naar de ontwerpeisen en mogelijkheden voor het institutioneel inrichten van het vervolg van dit platform concluderen wij dat het de moeite waard is de mogelijkheden te verkennen om het platform bij TNO dan wel bij EKZ/RVO onder te brengen. Precieze

details moeten uitgewerkt worden. Het gedane onderzoek biedt een uitstekende basis daarvoor.

Systematische observaties en analyse van de sociale processen konden niet plaats vinden door budget wijzigingen. Echter, er is veel survey data verzameld tijdens de duur van het project en wij verwachten dat TUD deze in een later stadium kan analyseren en de inzichten met de community of practice kan delen.

WP2

Dit werkpakket had als focus de ontwikkeling van de methodes en conceptuele kaders voor multi-modellen.

Er is een state-of-the-art literatuuronderzoek uitgevoerd, gefocust op het hergebruik van modellen voor multi-modellering, waarvan de uitkomst is dat er zeer weinig tot niets is in de wetenschappelijke literatuur wat bruikbaar is voor het multi-modelleren met hergebruik van bestaande modellen zoals dat in praktijk gebeurt. Er is een groot gebrek aan methodes en gereedschappen die praktische multi-modellen kunnen ondersteunen.

Binnen dit werkpakket hebben wij eerste stappen gemaakt met het creëren van methodes voor de de drie belangrijkste uitdagingen: het schalen, de onzekerheidspropagatie en het verbinden van modellen op basis van verschillende operationele principes.

Wij hebben drie conceptuele kaders ontwikkeld die de community of practice in staat stelt om effectief multi-modellen te maken. Het eerste is het *“Requirements document”*. Op basis van de MOSCOW-hiërarchie benadering zijn in co-creatie sessies gehouden die tot heldere prioriteiten voor implementatie werk in WP3 hebben geleid. Het tweede resultaat is het *“Terminology document”*. Hierin zijn uniforme definities gemaakt en verduidelijkingen van belangrijke termen die relevant zijn voor het multimodelleringsproces. Dit is een essentieel stap voor multi-modellering. Zelfs met dit document als basis was het creëren van een gezamenlijk taal een uitdagende taak. Het derde conceptuele kader is het conceptueel ontwerp van de multi-model infrastructuur. Deze is ontwikkeld in nauwe samenwerking met het technische implementatie team, waardoor het zowel werkbaar als conceptueel “schoon” is, en veel ruimte overlaat voor toekomstige uitbreidingen en zorgt voor relatief gemakkelijke technische implementatie.

WP3

Dit werkpakket richtte zich op de ontwikkeling en implementatie van de tooling voor multi-modellen.

Het eerste resultaat is het informatiemodel, dat een conceptueel ontwerp is voor de uitwisseling van gegevens tussen modellen. Wij hebben gebruik gemaakt van de bestaande standard taal ESDL en deze doorontwikkeld en aangepast. Op basis van dit conceptuele model, het requirements document en het conceptueel ontwerp is er een ontwerp van de software architectuur voor de multi-model platform gemaakt.

Om de bestaande modellen koppelbaar te maken met het platform, is een generieke modeladapter gemaakt, die zorgt dat de specifieke functionaliteiten van de orkestrator beschikbaar zijn voor willekeurige andere software, via een zogenaamde API. Op basis van deze generieke adapter zijn er specifieke koppelingen gemaakt die deze algemene API vertalen naar specifieke opdrachten voor een gegeven model. Er zijn modeladapters gemaakt voor TEACOS, MOTER, OPERA, ESSIM, ETM en voor Python gebaseerde modellen.

Tot slot is er een experimentele implementatie van het multi-model platform gemaakt op multi-model.tbm.tudelft.nl . Omdat het een experimentele installatie betreft, is deze nog niet geschikt voor algemeen gebruik. Geïnteresseerde partijen die met het platform willen experimenten zijn welkom om toegang aan te vragen via i.nikolic@tudelft.nl

WP4

In dit laatste werkpakket komt al het eerdere werk samen. Wij hebben drie demonstratie casussen ontwikkeld, waarin de modellen, modeladapters, het multi-model platform, de methodologische aanpak en energiesysteem expertise samenkomen. Het is belangrijk om te benadrukken dat we expliciet gekozen hebben om de energiesysteem aspecten van de casussen zeer eenvoudig te houden. Dat betekent dat de inhoudelijke uitkosten niet realistisch zijn.

De focus lag op de methodes, de tooling en de werkwijze. Daarin hebben de casussen een cruciale rol in het project gehad, omdat de deelnemers een "learning-by-doing" proces konden doorlopen en het platform, de communicatieprotocollen, de model adapters etc. hebben kunnen testen.

Concluderend. Wij hebben een werkend multi-model platform ontwikkeld, dat in staat is om verschillende modellen te koppelen en relevante energietransitievraagstukken te modelleren. Wij hebben een basis gelegd voor het ontwikkelen van methodes voor het schalen, de onzekerheidspropagatie en koppeling van modellen van verschillende operationele principes. Wij hebben een Community of Practice opgestart rondom multi-modelleren en zoekrichtingen voor toekomstige institutionalisering geïdentificeerd.

Reflectie

Het ontwikkelen van een geïntegreerd perspectief op het energiesysteem door middel van multi-modellen is onontbeerlijk voor een duurzame energie transitie. Tot nu toe ontbrak het instrumentarium voor het systematisch, transparant en methodologisch koppelen van modellen.

Het MMViB-project was een uitdaging van grote technische, theoretische en sociale complexiteit – die gepaard gaan met multi-modellering in het energiesysteem domein. Door kwesties te adresseren als taalharmonisatie, IT-infrastructuur, organisatorische afstemming en expertise, kunnen toekomstige projecten die gebruik maken van multi-modellen hun effectiviteit en efficiëntie bij multi-modelleringsinspanningen vergroten.

De afwezigheid van sociaal onderzoek en het ondersteunende functies die dat onderzoek geboden zou hebben was een gevoeld gemis. Modelleren is mensenwerk en sociale processen bij (multi-)modelleren zijn net zo essentieel als bijvoorbeeld het verzamelen van gevalideerde data over industrieel warmtegebruik of het correct representeren van gedrag van windmolens. Wij hopen dat toekomstige projecten de middelen en ruimte krijgen om dit te adresseren, en daarmee de energie transitie nog beter op goede weg te helpen.

Kennis verspreiding

Er is op verschillende manieren gedaan aan kennisverspreiding. Deze zijn hier puntsgewijs samengevat:

- Project website: <https://multi-model.nl/>
 - Animatievideo die de doel en relevantie van het project uitlegt
 - Interactieve infographics die de werking van de infrastructuur en casussen uitleggen
- GitHub software repository voor het open source delen van de project resultaten: <https://github.com/MultiModelling>
- Gedetailleerde project documentatie: <https://multimodelling.readthedocs.io/en/latest/>
- Presentaties:
 - Powerweb @ TU Delft
 - DEMOSSES NWO-project
 - Topsector energie symposium poster
 - LEVE platform netwerkbijeenkomst
- Gebruik van platform in JustETrans project

- Verbindingen met MOVICI-platform aangegaan
- Openbare MSC Thesis rapporten
 - Coupling for multi-models: A practical study of the process of a loose coupling between TEACOS and an agent-based model, door Menghua Prisse
 - <http://resolver.tudelft.nl/uuid:53acc329-7990-4fe0-8374-3418d10c3f85>
 - Multi-modelling for the energy transition: Exploring coupling based issues in multi-resolution energy multi-models, Door Bram Boereboom
 - <http://resolver.tudelft.nl/uuid:6b5867d3-e6bb-46f8-bf2a-aea9399cae17>
 - Breaking the Curse of Dimensionality: Polynomial Chaos for Exploratory Modelling, Door Jeff Lyons TU Delft,
 - <http://resolver.tudelft.nl/uuid:5fafb525-2017-4521-8af6-29034327c4a8>

Mogelijke vervolgactiviteiten

Samenwerking met NGINFRA en MOVICI

Door de activiteiten in WP1 en de toenemende bekendheid van het project is er vanuit stichting NGINFRA-interesse om het multi-model platform MOVICI, dat in de transportsector ontwikkeld werd te herzien en waar mogelijk interoperabel te maken met het multi-model.nl platform. Op dit moment worden twee projecten geïnitieerd om dit mogelijk te maken: één met interne middelen van NGINFRA en een ander via een projectvoorstel richting NWO. Wij verwachten een positief effect op het project, doordat het platform meer gebruikers zal krijgen, platform mogelijk in andere infra sectoren gebruikt kan gaan worden en methodologische kennis verder ontwikkeld gaat worden.

Regional Whole Systems Strategic Planning project

In samenwerking met Energy Catapult UK, Siemens Nederland en anderen, heeft TU Delft een pilot gestart met de National Grid ESO, de Britse energie transmissiesysteem beheerder, om robuuste adaptieve planningsmethodes te ontwikkelen voor planning van de toekomstige geïntegreerde energie infrastructuur. Dit project is conceptueel gebaseerd op het Gridmaster project en heeft multi-modelleren als een centraal onderdeel. De verwachting is dat dit zeer impactvol project gebruik gaat maken van de uitkomsten van MMViB project, en deze verder zal door ontwikkelen.