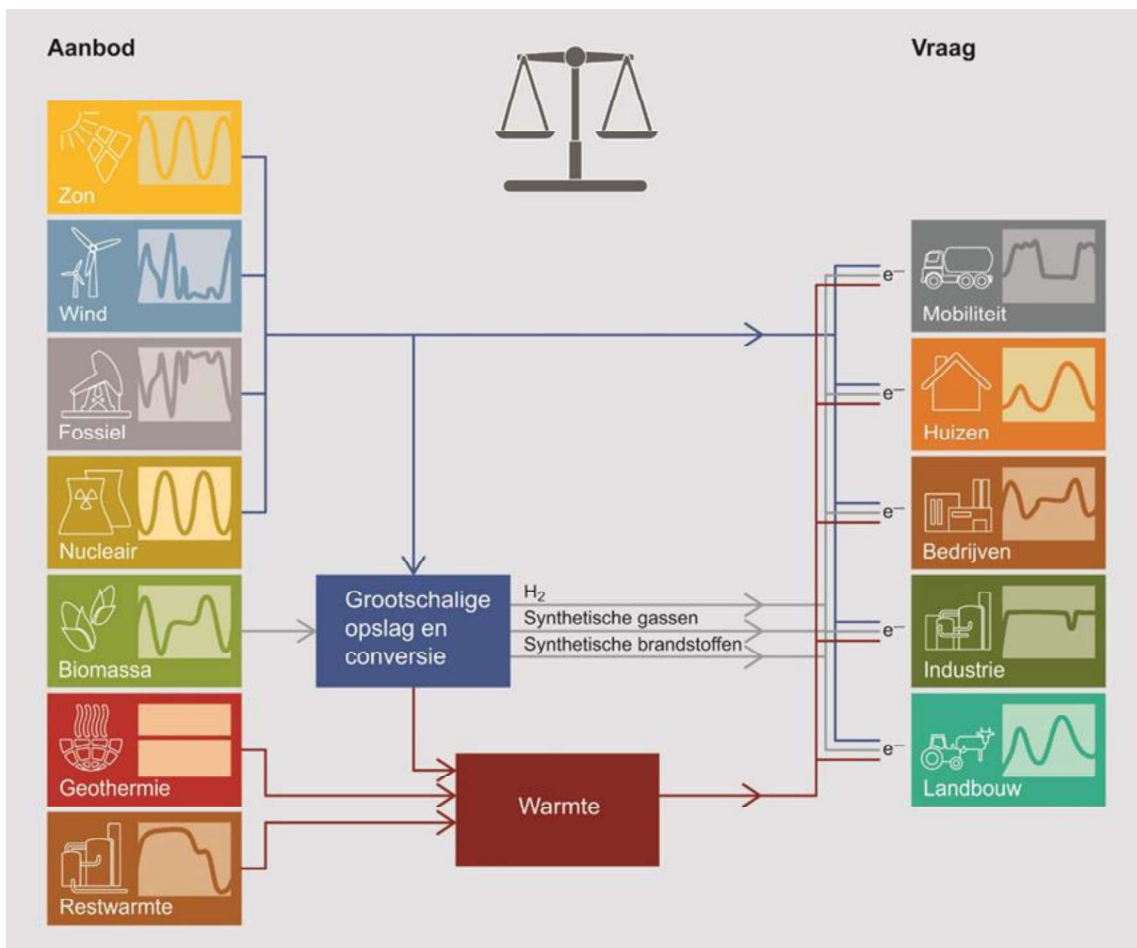


## Missiegedreven Meerjarig InnovatieProgramma 13

# Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem MMIP 13



Versie: final

September 2019

## SAMENVATTING

De energietransitie zal de komende decennia grote veranderingen teweeg brengen in onze maatschappij. Industrie, gebouwde omgeving, landbouw, mobiliteit en de energiesector zullen grootschalig gaan verduurzamen. Verduurzamingstrajecten kennen echter veel onzekerheden en zijn vaak afhankelijk van elkaar. Deze complexiteit krijgt nog een extra dimensie omdat er ook afhankelijkheden zijn tussen de verschillende sectoren. De energietransitie is niet alleen een technologisch vraagstuk, maar is ook sociaal economisch, maatschappelijk, ruimtelijk en ecologisch van aard. Voor deze systeemproblematiek is vaak geen eenduidige eigenaar. In dit proces speelt het energiesysteem een centrale rol. Het zal de komende jaren een fundamentele verandering ondergaan: fossiele brandstoffen zullen stap voor stap worden vervangen door grote hoeveelheden duurzame, (intermitterende) bronnen, de vraag naar energie zal gaan veranderen, de grenzen tussen energiedragers zullen vervagen, er zullen (onderling verbonden) energiesystemen ontstaan op alle schaalniveaus (woning, wijk, regio, nationaal, internationaal), nieuwe spelers zullen in de energiemarkt hun intrede doen. Kortom het energiesysteem wordt steeds complexer. Dit betekent dat een transitieproces nodig is dat het mogelijk maakt om, vanuit een systeemperspectief, adequaat, hoogwaardig en efficiënt besluiten te kunnen nemen over en invulling te geven aan de inrichting en werking van een betaalbaar en geaccepteerd energiesysteem waarbij de betrouwbaarheid, leveringszekerheid en veiligheid op het zelfde niveau blijven als vandaag de dag. Het Meerjarig Missiegedreven InnovatieProgramma (MMIP) 13 ontwikkelt hiervoor kennis en innovaties.

De 6 deelprogramma's van dit MMIP richten zich op verschillende aspecten van de uitdaging rond het integrale energiesysteem. Het programma kent zowel technische als economische en sociale aspecten. Hieronder worden de deelprogramma's beknopt toegelicht:

<b>1</b>	<b>Kennis voor integrale besluitvorming</b>	Kennisontwikkeling ten behoeve van het gezamenlijk adequaat nemen van besluiten onderbouwd met hoogwaardige kennis en informatie.
<b>2</b>	<b>Inclusieve energietransitie</b>	Kennisontwikkeling en methoden die ervoor zorgen dat besluiten rechtvaardig zijn, draagvlak hebben en leiden tot adequate ruimtelijke inpassing.
<b>3</b>	<b>Geïntegreerde energie-infrastructuur</b>	Onderzoek en ontwikkelingsprogramma's voor een doelmatig en integraal ontwerp en van kostenefficiënte multi-commodity energie infrastructuur voor veranderende vraag en aanbod en benodigde flexibilisering.
<b>4</b>	<b>Flexibele energiemarkten</b>	Onderzoek en kennisontwikkeling ten aanzien van economische aspecten van de energietransitie, zoals verdienmodellen en marktmechanismen voor lage maatschappelijke kosten en de juiste prikkels voor stakeholders.
<b>5</b>	<b>Opslag en conversie</b>	Onderzoek naar en ontwikkeling technologie voor en inpassing van van grootschalige opslag en conversie voor het integrale energiesysteem.
<b>6</b>	<b>Operationeel management en digitalisatie</b>	Onderzoek en innovatie voor het operationeel managen van het energiesysteem met aandacht voor (benodigde) regelmechanismen en onderliggende digitalisatie.

Dit MMIP 13 is overkoepelend en verbindend ten opzichte van de andere MMIP's en verdiept daarbij enkele specifieke onderwerpen.

## 1. INLEIDING

De energietransitie heeft grote invloed op vrijwel alle onderdelen van onze maatschappij. Elke sector (industrie, landbouw, mobiliteit, gebouwde omgeving, energie) maakt daarvoor plannen en/of ontplooit initiatieven. Deze plannen en initiatieven kennen echter veel onzekerheden en zijn vaak ook afhankelijk van elkaar. Deze complexiteit krijgt nog een extra dimensie omdat er ook afhankelijkheden zijn tussen de verduurzamingsinitiatieven van verschillende sectoren. De energietransitie is bovendien niet alleen een technologisch vraagstuk, maar is ook sociaal-economisch, maatschappelijk, ruimtelijk en ecologisch van aard. Voor deze systeemproblematiek is vaak geen eenduidige eigenaar. Het energiesysteem zal hierdoor de komende jaren een fundamentele veranderingen zal ondergaan. De belangrijkste zijn:

- Intermittency: Productie zal grotendeels plaatsvinden met wind en zon. Deze productie is afhankelijk van de weersomstandigheden en laat zich niet regelen.
- Veranderende vraag: door verduurzaming in sectoren zoals de industrie, gebouwde omgeving enz. verandert de energievraag. Zo zal door elektrificatie de vraag naar duurzame elektriciteit fors groeien met toenemend piekverbruik.
- Meer spelers: Er komen veel meer spelers met invloed op het energiesysteem – burgers en bedrijven zijn steeds meer ook producenten van energie en zijn in staat om flexibiliteit te leveren. Daarmee worden zij spelers met grotere invloed in het energiesysteem. Dit wordt nog verder versterkt met de maatregelen uit het Clean Energy Package, waarbij de rol die consumenten in energiemarkten kunnen spelen groter wordt en de rol van de aggregator wordt erkend.
- Autonome ontwikkeling van technologie: Er komen meer apparaten die invloed kunnen hebben op het energiesysteem maar die niet vanuit het oogpunt van een stabiel systeem zijn ontworpen en die bovendien niet zonder meer stuurbaar zijn.
- Decentralisatie: het aanbod wordt steeds meer lokaal i.p.v. centraal en duurzaam i.p.v. fossiel. Het energiesysteem wordt gedistribueerd in plaats van centraal – productie vindt op veel meer plekken in het energiesysteem plaats.
- Variatie van en afhankelijkheden tussen energiedragers: Door toenemende hybridisatie (op zijn minst gedurende de energietransitie, maar wellicht ook daarna), conversie en opslag worden systemen voor verschillende energiedragers geïntegreerd en dus afhankelijk van elkaar.

### Missie MMIP 13

MMIP 13 levert kennis en innovaties voor een efficiënte en maatschappelijk gedragen transitie van het huidige, grotendeels op fossiele brandstof gebaseerd energiesysteem, naar een hybride (2030) en klimaatneutraal (2050) energiesysteem, geïntegreerd op lokale, regionale, nationale en Noordwest-Europese schaal. Tijdens en na deze transitie dient de leveringszekerheid (betrouwbaarheid) en veiligheid op het huidige niveau gehandhaafd te blijven. Bovendien dient de transitie breed gedragen te worden door de maatschappij, met oog voor kosten en ruimtelijke inpassing van energie-infrastructuur.

Om er voor te zorgen dat het energiesysteem van de toekomst betrouwbaar, betaalbaar en veilig blijft is een transitieproces nodig dat er voor zorgt dat het energiesysteem zich, uitgaande van deze criteria, vanuit een systeemperspectief ontwikkelt. Hierbij is niet alleen de ontwikkeling van infrastructuur van belang, maar ook de wijze van besluitvorming, besturingsconcepten, marktmechanismen, digitalisering, businessmodellen en optimale betrokkenheid van de burger en bedrijven. De innovatieopgaven voor deze systeemintegratie zijn van belang voor alle missies van de verschillende sectortafels en hebben niet altijd een

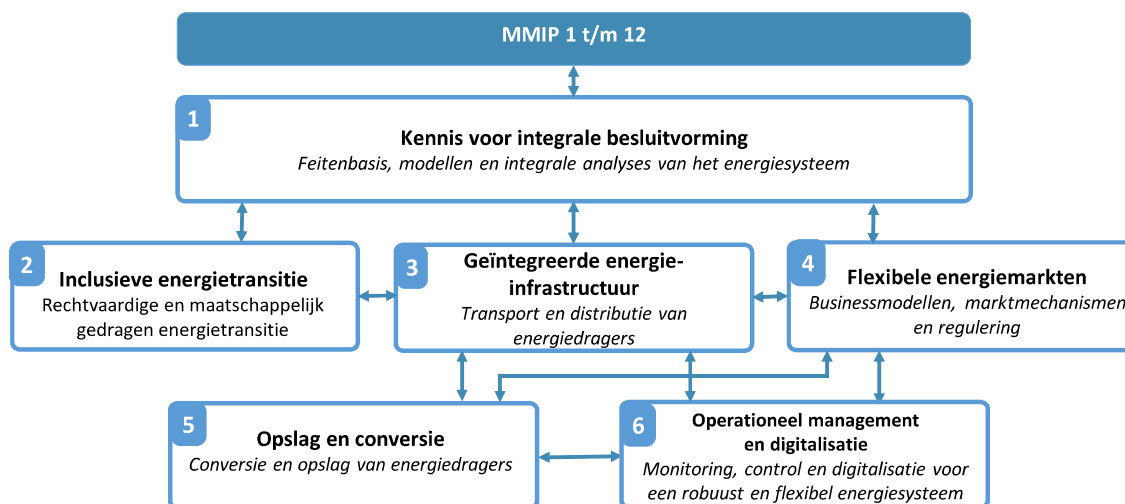
---

duidelijke eigenaar. De baten dienen het algemeen belang en zijn veelal slechts in beperkte mate om te zetten in nieuwe (te vermarkten) producten en diensten.



## 2. SAMENHANG VAN DE DEELPROGRAMMA'S BINNEN HET MMIP

Figuur 1 geeft een overzicht van de 6 deelprogramma's en hun samenhang.



Figuur 1 Schematisch overzicht samenhang deelprogramma's

Om het energiesysteem op een efficiënte wijze te laten transformeren naar een systeem gebaseerd op duurzame bronnen zullen besluiten moeten worden genomen over de inrichting en het beheer van het energiesysteem. Hierbij zijn meerdere criteria relevant zoals klimaatdoelen, technische haalbaarheid, ruimtelijke inpassing, investeringen, operationele kosten en regelgeving. Hiervoor zijn complexe afwegingen nodig gebaseerd op fact-based informatie. Afstemming van vraag en aanbod van energie staat hierbij centraal, waarbij zoveel mogelijk synergiemogelijkheden tussen de verschillende gebruikssectoren, zoals industrie, gebouwde omgeving, mobiliteit en landbouw worden benut. Voor het nemen van verstandige beslissingen zijn hoogwaardige data, modelinstrumenten en analyses nodig (deelprogramma 1).

Naast technische en economische dimensies zijn ook sociale dimensies belangrijk. Door het grote aantal actoren, direct of indirect betrokken bij de ontwikkeling en het beheer van het energiesysteem, is het van groot belang dat de transitie transparant en rechtvaardig is, met maximale steun uit de samenleving en een verantwoorde ecologische, landschappelijke en ruimtelijke inpassing (deelprogramma 2).

De energietransitie heeft grote consequenties voor de energie-infrastructuur (deelprogramma 3). In dit deelprogramma gaat het met name om de ontwikkeling van rondom technische aspecten van het ontwerp en beheer van infrastructuur. Deze moet in staat zijn om verschillende energiedragers (elektriciteit, methaan, waterstof en warmte) te transporteren van opwek naar gebruiker, eventueel door gebruik te maken van faciliteiten voor conversie en opslag. Naast een technische dimensie heeft het energiesysteem ook economische dimensies, zoals de inrichting van markt en businessmodellen, die zorgdragen voor de juiste incentives, en regelgeving, die ruimte biedt aan nieuwe diensten (deelprogramma 4). Een deel van de

benodigde flexibiliteit zal worden gerealiseerd door energie te converteren en (tijdelijk) op te slaan. Het MMIP heeft daarom een deelprogramma ingericht voor de ontwikkeling van nieuwe conversie- en opslagmethodes en hoe opslag en conversie op een adequate wijze in het energiesysteem kunnen worden ingepast (deelprogramma 5). Voor het adequaat operationeel functioneren van het energiesysteem is digitalisering cruciaal, onder andere voor het creëren en aansturen van voldoende flexibiliteitsopties die vraag en aanbod van energie (op alle relevante tijdschalen) op elkaar afstemmen (deelprogramma 6).

### 3. Beschrijving van de deelprogramma's

#### 3.1 Deelprogramma 1: Kennis voor integrale besluitvorming

##### *a Innovatieopgave*

De overgang naar een CO<sub>2</sub>-neutraal energiesysteem vergt de komende decennia vele besluiten. Overheden besluiten over doelstellingen en beleidsinstrumenten, bedrijven en financiers besluiten over investeringen en consumenten besluiten over de aanschaf van al dan niet duurzame producten. Doordat in de energietransitie de verbondenheid tussen energieopwekking, energiedragers en energiegebruik sterk toeneemt, hebben die besluiten invloed op elkaar. Bovendien raken de verschillende sectoren – industrie, gebouwde omgeving, mobiliteit – steeds meer verbonden met elkaar, alleen al omdat ze meer gebruik gaan maken van dezelfde energiedragers (elektriciteit, waterstof, biomassa) en allemaal een groter beroep doen op de energie infrastructuur.

Voor een succesvolle energietransitie is een integrale benadering nodig, waarbij ontwikkelingen in samenhang en vanuit een systeemperspectief worden bekeken. De energietransitie kent grote onzekerheden en zal onvoorziene ontwikkelingen opleveren. Het is dus belangrijk dat beslissers en betrokken stakeholders de kennis en inzichten hebben om snel op nieuwe ontwikkelingen te kunnen inspelen en adequaat te kunnen bijsturen.

Dit deelprogramma ontsluit de feiten, levert analyses en transitiepaden en ontwikkelt tools die de besluitvorming ondersteunen. Dat gebeurt vanuit een integraal perspectief: het verbindt energieopwekking, energie-import, energietransport, energieopslag en energiegebruik met elkaar. En daarmee verbindt dit deelprogramma de andere deelprogramma's van MMIP 13 én de andere twaalf MMIP's. Het energiesysteem kan beschouwd worden als een optelsom van vele verschillende deelsystemen (een *system of systems*), die op allerlei manieren van elkaar afhankelijk zijn. Er is een afhankelijkheid tussen energiedragers, tussen gebruiksectoren en tussen schaalniveaus. Dit vraagt, naast een integrale aanpak ook om een ketenbenadering (aanbod, transport en vraag inclusief conversie en opslag).

Dit deelprogramma richt zich op de volgende innovatieopgaven:

##### 1. Informatiebasis en innovatieve gereedschappen

Voor een goede analyse van het energiesysteem en voor goed onderbouwde keuzes, is betrouwbare en complete informatie onontbeerlijk. Er wordt momenteel op verschillende plekken hard gewerkt om data uit allerlei bronnen te vergaren en te ontsluiten, zoals in VIVET, de MIDDEN-database van decarbonisatieopties in de industrie en bij partijen die energierekenmodellen gebruiken. Deze data is vaak niet direct geschikt om te gebruiken voor analyses en besluitvorming. Er spelen verschillende uitdagingen. Vaak zijn data uit verschillende bronnen niet altijd vergelijkbaar (bijvoorbeeld doordat ze niet dezelfde betekenis (semantiek) of vorm (syntax) hebben, of omdat ze niet dezelfde kwaliteit hebben (denk bijvoorbeeld aan nauwkeurigheid, resolutie of aggregatieniveau) en niet uniform is. Vaak is het moeilijk om te duiden wat de oorsprong van de data is (hoe (goed) is de data bepaald, gemeten etc. – er mist metadata waarmee de data geïdentificeerd kan worden. Los hiervan is ruwe data niet 'op maat' voor besluitvorming. Data moet vaak verrijkt (gecombineerd, getransformeerd, geaggregeerd, geanonimiseerd, ...) worden om echt bruikbaar te zijn voor besluitvorming. Ook visualisatie kan daarbij een belangrijke rol spelen. Ten slotte is het niet altijd triviaal om data tussen partijen te delen. Het kan bijvoorbeeld om bedrijfsgevoelige of privacygevoelige informatie gaan. Dit onderdeel beoogt een informatiebasis te ontwikkelen met informatieproducten die optimaal bruikbaar zijn voor analyses en besluitvorming en om dit

robuust op te bouwen door onderliggende syntax, semantiek en dataverrijking te uniformeren waarbij data delen tussen partijen geregeld wordt.

De informatie betreft hier zowel de feitelijke beschrijving van het huidige energiesysteem, als kennis en verwachtingen over de bouwstenen van het energiesysteem van de toekomst. Om het energiesysteem integraal te onderzoeken is er een grote hoeveelheid modellen in gebruik bij verschillende partijen. Er zijn modellen voor het hele energiesysteem op verschillende geografische schalen (van mondiaal tot lokaal) en op basis van verschillende principes (optimalisatie, simulatie). Ook zijn er modellen op deelsystemen, zoals de elektriciteits- of de gasmarkt, de energie-transportinfrastructuur, of de gebouwde omgeving en de industrie. Er is modelverbetering en -ontwikkeling nodig om deze modellen aan te passen om de toekomstige vragen op het gebied van (bij)sturing van de energietransitie te kunnen beantwoorden. Bijvoorbeeld door meer gedragsaspecten, maatschappelijke aspecten en ruimtelijke aspecten toe te voegen aan veelal techno-economische modellen. Ook nieuwe modelprincipes en algoritmieken zullen toegepast worden op de ontwerptools voor transitiepaden, zoals 'exploratory modeling' en systeemdynamica modellen. Om betekenisvolle en integrale inzichten te krijgen én te duiden uit al deze modellen is het bovendien belangrijk om helder te krijgen hoe de modelresultaten tot stand komen met welke aannames en om uitkomsten uit verschillende (soorten) modellen te kunnen combineren tot integrale beelden (multimodelling).

Dit leidt voor dit onderdeel onder andere tot de volgende kennisvragen en innovatiethema's:

- Wat zijn de technische, economische en maatschappelijke gegevens die de bouwstenen vormen van het toekomstig energiesysteem en het transitiepad? Welke informatieproducten zijn nodig voor analyses en besluitvorming en hoe kunnen deze op een gestandaardiseerde en betekenisvolle manier worden gerealiseerd en ontsloten door het combineren, verrijken en (semantische en syntactisch) uniformeren van (ruwe) data? Wat zijn adequate standaarden, architecturen en datamodellen om de informatie benodigd voor de energietransitie transparant en uitwisselbaar te houden.
- Hoe zorgen we ervoor dat de informatiebasis geborgd wordt? Waar wordt dit belegd en hoe dient de governance hiervoor ingericht te worden?
- Welke innovatieve oplossingen zijn er om deze energie-informatie, die commercieel of anderszinds gevoelig is (bijvoorbeeld van de industrie), op een geaccepteerde manier te delen ten behoeve van besluitvorming over de ontwikkeling van het energiesysteem?
- Welke verbeterde en nieuwe rekenmodellen en ontwerptools zijn nodig voor de (bij)sturing van de energietransitie? Integratie van economische, gedragsmatige en technische kennis in geïntegreerde modellen en een samenhangende set van deelmodellen.
- Welke werkwijzen en aannames moeten worden gehanteerd om duidbare en betrouwbare resultaten uit rekenmodellen en ontwerptools te krijgen? Hoe ziet "good modelling practice" eruit?
- Hoe kunnen modellen gecombineerd en geïntegreerd worden opdat er integrale beelden, op verschillende schaalniveaus en vanuit verschillende perspectieven ontstaan? Hoe en welke data uitwisseling zijn noodzakelijk voor integrale analyse en sectorkoppeling en hoe kunnen visualisaties helpen om deze integrale inzichten bruikbaar(der) te maken?

## 2. Integrale analyse en sectorkoppeling

Nu al is in de energietransitie zichtbaar dat sectoren sterker en op andere manieren gekoppeld raken. De energiefunctie mobiliteit maakte tot voor kort vrijwel exclusief gebruik van olie-gebaseerde energiedragers en olie bedient naast mobiliteit vrijwel geen andere energiefuncties. Met de opkomst van elektrisch vervoer, raakt de mobiliteit sterk verknoopt met andere sectoren (industrie, gebouwde omgeving) die gebruik maken van elektriciteit. Een ander voorbeeld is de inzet van biomassa en waterstof: in het Klimaatakkoord wordt in alle sectoren biomassa en waterstof als opties genoemd. Het is echter de vraag of deze energiedragers voor al die sectoren in voldoende mate beschikbaar komen.

De opgave is inzicht bieden in de ontwikkeling van en de samenhang binnen een duurzame energiehuishouding. Doel is beslissers (decentrale, nationale en internationale overheden, netbeheerders, bedrijven en consumenten) in staat te stellen betere keuzes te maken door het duiden van onzekerheden en dilemma's. Dit gebeurt door beslissers te voorzien van op een stevige feitenbasis gefundeerde integrale analyses en scenariostudies op lokale, nationale en mondiale schaal. Hierbij is het belangrijk lokale en regionale energiesystemen in de nationale context te plaatsen en vervolgens het Nederlandse energiesysteem in een Noordwest-Europese en mondiale context. Er zijn hiervoor integrale rekenmodellen (zoals het ETM of OPERA), veel sectormodellen en scenario-beschrijvingen beschikbaar, zodat al op korte termijn (deel)analyses uitgevoerd kunnen worden.

In dit deelprogramma zullen samen met de andere MMIP's systeemstudies uitgevoerd worden, gericht op het krijgen van inzicht in de samenhang van de – door de innovaties ontwikkeld in de MMIP's – sterk veranderde sectoren en de rest van het energiesysteem. In onderstaande tabel een overzicht van de onderzoeksvragen en de uit te voeren analyses met een verwijzing naar de corresponderende deelprogramma's in andere MMIP's.

Onderzoeksvragen vanuit andere MMIP's die zullen meegenomen worden in integrale systeemstudies zijn:

Missie	MMIP	Onderzoeksvraag systeemstudie	Deelprogramma (DP) in MMIP
A CO2-vrij elektriciteitssysteem	1 Hernieuwbaar op zee	Systeemintegratie offshore elektriciteit: hoe past aanbod bij de vraag, bijdrage aan stabiliteit energiesysteem, rol van transportinfrastructuur, opslag, markten, flexibiliteit in aanbod, offshore conversie.	MMIP 1 DP 2
	2 Hernieuwbaar op land	Systeemintegratie (lokaal en regionaal), Energie-infrastructuur, rol forecasting, curtailment i.r.t. opslag en conversie.	MMIP 2 DP 1a
B CO2-vrije gebouwde omgeving	3 Versnelling energie-renovaties	Onderzoek invloed renovaties op warmtevraag(profielen) in gebouwde omgeving.	MMIP 3 Deelthema 3
	4 Duurzame warmte	Systeemstudie warmte, in relatie tot industrie en tot elektriciteits- en gassysteem.	MMIP 4
	5 Energiesysteem in evenwicht	Bijdrage lokale elektriciteitssysteem aan stabiliteit energiesysteem, mogelijkheden flexibiliteitsdiensten in gebouwde omgeving.	Thema 5.2 en 5.4
C	Algemeen	Bijdrage industrie aan stabiliteit energiesysteem, hoe past vraag bij aanbod	Systeemanalyses industrie

Klimaatneutrale industrie		aan energie. Systeemstudie transitiepaden industrie in relatie tot andere sectoren. Ontwerpen internationale waardeketens Wat zijn de economische gevolgen van de energietransitie, zowel micro als macro?	overkoepelend MMIP 6/7/8
	6 Circulariteit	Systeemstudie inzet biomassa in industrie in relatie tot andere sectoren.	MMIP 6 DP 2
	7 Warmte	Systeemstudie warmte, in relatie tot gebouwde omgeving. Flexibele opties industriële warmte.	MMIP 7 DP 4
	8 Elektrificatie	Rol waterstof en power-to-X in de industrie in relatie tot andere sectoren. Rol elektrificatie in relatie tot aanbod duurzame elektriciteit, transport-infrastructuur, markten, flexibiliteit en opslag.	MMIP 8 DP 1 en DP 5
D Emissieloze mobiliteit	9 Aandrijving en energiedragers	Rol waterstof in mobiliteit in relatie tot andere afnemers van waterstof. Laadinfrastructuur, rol van laden als flexibiliteitsoptie (grid-to-vehicle en vehicle-to-grid).	DP 9.2 en 9.3
	10 Doelmatige vervoersbewegingen	Rol gedragsverandering en nieuwe vervoersconcepten in relatie tot energiesysteem.	DP 10.1 en 10.2
E Klimaatneutrale landbouw	11 Productie food en non-food	MMIP 11 bevat geen systeemaspecten.	
	12 CO <sub>2</sub> -vastlegging en -gebruik	Scenariostudie energiebesparing landbouw, wat is de bijdrage aan stabiliteit energiesysteem. Hoe past energievraag bij aanbod.	MMIP12 DP 1
MMIP 13	DP 2 Inclusieve energietransitie	Inzet integrale systeemstudies en modellen voor voorziening complete én begrijpelijke informatie voor participatie en besluitvorming	
	DP 3 Energietransport	Systeemstudie inzet energiedragers (elektriciteit, waterstof, methaan, warmte) t.b.v. ontwerp transportinfrastructuur.	
	DP 5 Opslag en conversie	Systeemstudie rol van conversie en opslag (in samenhang met transport, opwek, flexibele vraag en flexibiliteit aanbod)	

Hiernaast blijft een aantal kennisvragen over die de verschillende MMIP's overstijgen:

Overkoepelende systeemstudies	Kennisvragen
Import en export van energie	Wat zijn de consequenties van verduurzaming op Nederlands sterke positie bij import en export van (fossiele) energiedragers en wat zijn mogelijke mitigerende scenario 's
Merit order energiedragers	Wat zijn de afwegingskaders voor inzet schaarse energiedragers zoals biomassa, waterstof, geothermie, duurzame elektriciteit enz.?
Waterstof	Welke rol kan waterstof spelen voor het leveren van flexibiliteit, transportcapaciteit en opslag en waar concurreert het mee? Welke waterstoftechnologieën moeten met prioriteit ontwikkeld worden vanuit techno-economisch oogpunt?
Import ketens waterstof	Hoe zien importketens voor waterstof eruit met aandacht voor herkomst, benodigde transportmiddelen (zoals waterstoftankschepen), ontvangst- en opslaginstallaties enz. Hoe kan de waardeketen van waterstof snel en effectief tot ontwikkeling worden gebracht?
Transitiepaden	Wat zijn mogelijke transitiepaden om van het huidige energiesysteem door te ontwikkelen naar een duurzaam energiesysteem? Welke afhankelijkheden zijn er tussen sectoren? Wat zijn de consequenties voor infrastructuur, welke onzekerheden spelen hierbij een rol enz. (zie ook infrastructuurverkenning I13050 door iNET).
Internationale ontwikkelingen	Hoe functioneert het Nederlandse energiesysteem in Europees en internationaal verband, wat zijn kansen en risico's en geopolitieke scenario's? Wat zijn de macro-economische consequenties van de energietransitie voor Nederland?

### 3. Leveringszekerheid: flexibiliteit, transport, conversie en opslag

Het borgen van leveringszekerheid is een van de grootste opgaves in de energietransitie en daarmee een grote maatschappelijke uitdaging. De energietransitie heeft grote gevolgen voor de energie-infrastructuur: zowel energieproductie als energiegebruik zullen op andere locaties en andere tijden plaatsvinden dan nu het geval is. Het energieaanbod uit zonne- en windenergie is minder stuurbaar en afhankelijk van weersomstandigheden, dit leidt tot perioden van overschotten en van tekorten. Meer koppeling tussen de sectoren betekent dat energiedragers ook fysiek met elkaar verbonden zullen worden, dus dat energietransportnetwerken moeten worden aangepast, uitgebreid of nieuw aangelegd. Ook zal er behoefte ontstaan aan conversie van de ene energiedrager in de andere, aan opslag van energie en aan regelbaar, CO<sub>2</sub>-vrij aanbod, inzet van hybride (gas èn elektrisch) toepassingen en flexibele vraag. Tenslotte is interconnectie een belangrijke optie. Het gaat hierbij zowel om de kortere termijn, om het overbruggen van seizoensverschillen als om het opvangen van extreme omstandigheden (bijv. een langdurige koudeperiode met weinig wind). De uitdagingen betreffen in feite investerings- en systeemallocatie-vraagstukken in een onzekere en complexe omgeving, met veel stakeholders met verschillende, soms tegenstrijdige, belangen.

De aan deze uitdagingen gekoppelde kennisvragen:

- Welke rol kan interconnectie spelen bij het realiseren van leveringszekerheid en voor het balanceren van het systeem?



- Welke technische en economische afwegingen zijn nodig voor een optimale en adaptieve energietransport- en -distributie-infrastructuur?
- Wat zijn vanuit technisch, economisch en politiek-maatschappelijke overwegingen verstandige hybriseringsstrategieën?
- Hoe verhouden verschillende mogelijkheden voor energieproductie, energieconversie, energieopslag, vraagsturing, regelbaar vermogen en interconnectie zich tot elkaar?
- Welke mogelijkheden zijn er voor flexibilisering van de energievraag, waarbij met name de industrie een belangrijke rol kan spelen?
- Hoe ontwikkelt nieuwe infrastructuur zich voor waterstof, warmte, biogas of CO<sub>2</sub>? Bestaan er belemmeringen bij deze infrastructuurontwikkeling en hoe kunnen deze worden weggenomen?

### *b Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren*

Omgevingsfactoren zoals ruimtelijke inpassing en inclusiviteit, economie, markten en regulering zijn verbonden via deelprogramma's 2 en 4 van dit MMIP. Daarnaast is een belangrijke innovatieopgave het opnemen van factoren zoals gedrag en ruimtelijke en ecologische aspecten in de integrale energiemodellen – waarin economische aspecten vaak een belangrijke rol spelen – die gebruikt worden in de analyse (zie onder deel 1 informatiebasis en innovatieve gereedschappen).

De gezamenlijke netbeheerders werken aan een Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050, waarbij voor verschillende energiescenario's de ontwikkelpaden voor energie infrastructuur wordt uitgewerkt, met consequenties voor kosten en ruimte. Hierbij wordt samengewerkt met het Ministerie van EZK en vindt afstemming plaats met betrokken marktpartijen. Deze verkenning heeft een nauwe samenhang met de planningsprocessen van de netbeheerders (van ENTSO tot RNB's) en met de ruimteprogramma's vanuit de omgevingsvisie (Nationaal Programma Hoofdstructuur, NOVI, POVI, GOVI)

Nederland kent een volwassen innovatiesysteem op het gebied van energiesysteemanalyses. Er is een sterke basis aanwezig op universiteiten, met name in Utrecht, Delft en Eindhoven. Op toegepast wetenschappelijk gebied speelt ECN (nu onderdeel van TNO) al decennia een belangrijke rol op gebied van energiemodelleren. ECN.TNO werkt nauw samen met PBL, dat de rol heeft van ondersteuning van het Nederlandse energiebeleid. Er is een aantal energieonderzoeksbureaus dat modellen gebruikt voor energieanalyses. Tenslotte beschikken een aantal grote spelers in de energiemarkt over eigen energiemodellen. De netbeheerders, bijvoorbeeld, gebruiken diverse modellen in hun wettelijk verankerde planningscyclus. De afgelopen jaren is er meer samenwerking tussen de modelleers geïnitieerd (bijvoorbeeld in de werkgroep Energietransitie-rekenmodellen van Netbeheer Nederland), vooral op het gebied van harmonisatie van inputgegevens.

Dit deelprogramma vormt een directe link naar vrijwel alle andere MMIP's, waarbij er in een aantal specifiek integratie-vraagstukken binnen een bepaalde sector geadresseerd worden, zie de tabel hierboven.



### c Programmatische aanpak

Planning en budget Deelprogramma 1 Kennis voor integrale besluitvorming		planning		
		2020-2021	2022-2024	2024 en verder
1. Informatiebasis en innovatieve gereedschappen	Standaarden, architecturen en datamodellen voor energie-informatie			
	Informatieproduct ontwikkeld door combineren, verkrijgen en uniformeren van data			
	Databases decarbonisatieopties industrie en kosten/potentiële energietechnologie publiek beschikbaar			
	Ontwikkeling dynamische profielen energievraag en -aanbodkant t.b.v. energiemodellen			
	Integratie gedragsaspecten, ruimtelijke aspecten, duurzaamheid in energierekenmodellen			
	Toepassing nieuwe modelleringsprincipes voor energietransitie (explanatory modelling, systeemdynamica)			
	Methodiek voor integrale afwegingen over meerdere beleidsterreinen beschikbaar			
2. Integrale analyse en sectorkoppeling	Integrale analyse energieketens, transitiepaden en sectorkoppeling samen met andere MMIP's (zie tabel)			
	Onderzoek nieuwe internationale waardeketens en importafhankelijkheid energiedragers			
	Onderzoek inzetopties verschillende biomassaopties			
	Onderzoek macro-economische consequenties energietransitie			
	Innovatiewetenschappelijke aspecten van de energietransitie			
3. Leveringszekerheid: ontwerp flexibiliteit, transport, conversie en opslag	Integrale studie opslag, vraagsturing, flexibele vraag en aanbod, transport			
	Integrale analyse inzet waterstof in de verschillende sectoren energiesysteem			
	Impactanalyse en identificeren cruciale parameters voor business case conversie, flex en opslag.			

In de tabel is de fasering van het onderzoek aangegeven. Met name op gebied van integrale systeemstudies en analyses en leveringszekerheid kan op korte termijn al veel werk gedaan worden. Het is dan ook cruciaal dat de eerste analyses en ontwerpen op relatief korte termijn beschikbaar komen, zodat ze kunnen worden gebruikt in de andere deelprogramma's van MMIP 13 en van de andere 12 MMIP's.

Bij het eerste onderdeel ligt in de eerste periode van het MMIP de nadruk op het op orde brengen van de informatiebasis. Dit betekent het standaardiseren van informatie ontwikkelingsprocessen en het op orde brengen van basisdata. Daarnaast worden een aantal onderzoekstrajecten opgestart om bestaande modellen geschikt te maken voor integrale analyses en wordt een fundamenteel wetenschappelijk programma gestart die zich gaar richten op besluitvormingsgereedschappen van de toekomst.

Het tweede onderdeel maakt in eerste instantie gebruik van het bestaande instrumentarium, waarbij tijdens de looptijd van het MMIP nieuwe (deel)modellen aan het instrumentarium toegevoegd zullen worden. De eerste prioriteit ligt bij het onderzoek van de rol van de industrie in het energiesysteem. Als grote gebruiker van alle energiedragers bepaalt de industrie voor een belangrijk deel de toekomst van het Nederlandse energiesysteem. Op haar beurt zal de verduurzaming van het energiesysteem grote veranderingen in de Nederlandse industrie teweegbrengen. Deze analyses komen in de eerste jaren van het MMIP beschikbaar.

Ook resultaten van onderzoek naar de rol van verschillende technologieën voor opslag, conversie, vraagsturing en regelbaar vermogen moeten in de eerste jaren beschikbaar komen, zodat die kunnen helpen bij het stellen van prioriteiten in deelprogramma 5 en in MMIP 8.

## 3.2 Deelprogramma 2: Inclusieve energietransitie

### a Innovatie opgave

De energietransitie vraagt een verandering in kennis, houding en gedrag bij iedereen in de maatschappij. Iedereen krijgt te maken met andere manieren van denken, doen en samenwerken om de energietransitie te laten slagen. Inclusiviteit is hierbij het sleutelwoord. De burger staat centraal, maar diens rol kan alleen worden gedefinieerd als daarbij de veranderende verhoudingen tussen overheid, markt en maatschappelijk middenveld beschouwd worden. Het

draagvlak in de maatschappij is bepalend voor het slagen van de energietransitie. En de verduurzaming van de energievoorziening zal op verschillende manieren tot veranderingen in de maatschappij leiden. De wereld is in de afgelopen decennia ingrijpend veranderd. De overheid trekt zich terug, planbureaus en kennisinstellingen worden niet meer zomaar geloofd ('alternative facts'), het maatschappelijk middenveld staat onder druk. Onvrede komt tot uiting in de maatschappij en in de politiek. Hoe past de energietransitie daarin – een thema dat juist vraagt om betrokkenheid en samenwerking – met oog voor het feit dat de veranderingen (in elk geval op korte termijn) niet voor iedereen in de samenleving positief zijn? Hoe vinden we elkaar, als de traditionele manieren van met burgers communiceren niet meer werken? De energietransitie kan alleen slagen als alle partijen – overheid, markt en maatschappij – aanvaarden dat de energietransitie niet alleen iets betekent voor hun omgeving, maar in de eerste plaats voor henzelf.

De energietransitie leidt ook tot nieuwe verdelingsvraagstukken. De energietransitie legt een extra claim op de ruimte, terwijl er ook andere maatschappelijke opgaven claims leggen op diezelfde schaarse ruimte. En dit geldt niet alleen voor het landschap en de gebouwde omgeving, maar ook voor de ondergrond. Daarnaast zal de energietransitie ook effect hebben over de verdeling van kosten en opbrengsten tussen huishoudens, bedrijven en overheid.

Hoe deze partijen samen de energietransitie vormgeven, is onderwerp van dit deelprogramma van MMIP13. De maatschappelijke aspecten worden in samenhang met elkaar onderzocht en sociale innovaties worden ontwikkeld. Hierbij wordt nadrukkelijk gekeken naar succesvolle voorbeelden uit het energiedomein en uit andere domeinen, met als doel de energietransitie snel en soepel te laten verlopen. Tenslotte wordt aandacht besteed aan maatschappelijke aspecten van de technologie die nodig is om een robuust energiesysteem te realiseren, zoals grootschalige opslag en de energie-infrastructuur.

Dit deelprogramma richt zich op de volgende onderdelen:

### 1. Meervoudig ruimtegebruik, ruimtelijke inpassing en ruimtelijk verdelingsvraagstuk

De energietransitie zal impact hebben op het Nederlandse landschap, het wateroppervlak en op de Nederlandse ondergrond. Denk aan windturbines, hoogspanningsmasten, zonneweides, warmtenetten, aquathermie en aan ondergrondse waterstofopslag of geothermie. Het is echter zeker niet de enige ruimtelijke opgave waar Nederland voor staat. Ook wonen, werken en transport vragen om ruimte. Het College van Rijksadviseurs pleitte onlangs in *Panorama Nederland* voor een integrale benadering van de ruimtelijke aspecten van de energietransitie. Innovatieopgaven zijn onder andere:

- Hoe kom je tot integrale ontwerpen, waarin meerdere beleidsdoelen gelijktijdig ontwikkeld worden?
- Hoe kan 'verbeelding' en de creatieve sector een positieve bijdrage leveren aan het visualiseren ruimtelijke impact en maatschappelijke acceptatie. Bijvoorbeeld een 'augmented 3D reality' inpassingsplan?
- Hoe kunnen belanghebbenden met elkaar samenwerken en participeren in het ontwerp? Wat vraagt dit van de wijze waarop het ordeningsproces nu is georganiseerd en besluitvorming nu plaatsvindt (vanuit silo's)?
- Met welk afwegingskader kan een goede afweging tussen kosten van het energiesysteem en ruimtelijke impact worden gemaakt?
- Welke technische ontwikkelingen zijn mogelijk om impact op ruimtegebruik te minimaliseren?
- Op welke wijze is het mogelijk om te komen tot ruimtelijke ordening van de ondergrond. Hoe gaan we om met de drie dimensies die hierbij een rol spelen.

## 2. Participatie en communicatie rond energietransitie en energie-technologie.

Er is veel onderzoek gedaan naar de publieke perceptie van de energietransitie en energietechnologieën. Die kennis vormt het startpunt om praktijkkennis te ontwikkelen voor partijen en overheden die energieprojecten met burgers en bedrijven willen realiseren.

Kennisvragen zijn onder andere:

- Wat zijn succesvolle strategieën voor participatie in energietransitie-trajecten die gebruikt kunnen worden in de praktijk, zoals de implementatie van de RES-en en van energieprojecten?
- Wat zijn nieuwe creatieve concepten en strategieën om energietransitie te gebruiken voor het vergroten van saamhorigheid in de maatschappij, verbeteren van de kwaliteit van leven en de leefomgeving, nieuwe producten en diensten, enz.?
- Op welke wijze en met welke hulpmiddelen, is het mogelijk het brede publiek op een verbeeldende, transparante en toegankelijke wijze kennis te laten nemen van de vele facetten van de energietransitie?
- Welke rol kunnen nieuwe vormen van zelforganisatie van burgers en ondernemers in de energietransitie spelen?

## 3. Samenwerken en besluiten in de energietransitie

De energietransitie vraagt om besluiten van veel verschillende partijen, met soms tegenstrijdige belangen. Dit geldt op lokaal niveau, binnen regio's (bijv. steden vs. plattelandsgemeenten in een RES-regio) en op nationaal en internationaal niveau. Al deze afwegingen, van individuele tot nationale afwegingen, zijn onderling afhankelijk van elkaar. Een besluit dat voor de ene actor positief is kan voor de andere negatief uitvallen.

Kennis- en innovatie-opgaves zijn:

- Hoe komen we tot afgewogen besluiten die, ondanks de verschillende belangen, voor alle stakeholders acceptabel zijn en die vanuit de verschillende schaalniveaus en perspectieven tot het gewenste effect leiden? Welke rol speelt informatievoorziening daarbij?
- Hoe werken besluitvormingsprocessen over energie- en decarbonisatie-maatregelen en -investeringen in bedrijven?
- Welke aspecten spelen een rol in de besluitvorming door burgers met betrekking tot de aanschaf van energietransitie-producten?

## 4. Energierichtvaardigheid

Het begrip energierichtvaardigheid is gericht op burgers en omvat zowel inkomenseffecten, risico's als informatievoorziening. De financiële aspecten betreffen met name verdelingsvraagstukken: waar komen de lusten en de lasten van de energietransitie terecht? Een ander belangrijke invalshoek is de rechtvaardigheid van mechanismen en businessmodellen, bijvoorbeeld om te voorkomen dat energiearmoede kan ontstaan.

Kennisvragen zijn:

- Wat zijn de verdelings- en rechtvaardigheidsaspecten van de energietransitie en met welke methoden kan een rechtvaardige energietransitie worden gerealiseerd?
- Hebben maatregelen, zoals flexibilisering van energietarieven, ongewenste inkomenseffecten?

### *b Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren*

Dit deelprogramma is specifiek gewijd aan omgevingsfactoren als ruimtelijke inpassing en sociaal-maatschappelijke aspecten van de energietransitie. In Nederland zijn op verschillende gebieden sterke onderzoeksgroepen op het gebied van landschappelijke inpassing en sociaal-

maatschappelijke aspecten van transitie actief. Het innovatiesysteem op het gebied van ruimtelijke en maatschappelijk aspecten van de energietransitie is echter nog erg jong. De Topsector Energie heeft een MVI-programma waarin deze aspecten aan de orde komen. In dit MMIP zal er aandacht besteed worden aan de opbouw van een onderzoeksgemeenschap op dit gebied.

In alle 13 MMIP's spelen maatschappelijke aspecten een rol en worden ze onderzocht. In MMIP 2 (Hernieuwbaar op land), bijvoorbeeld, wordt de samenwerking tussen stakeholders bij het ontwerpen van zonneweides onderzocht. In MMIP 4 komt de maatschappelijke acceptatie van geothermie aan bod en in MMIP 10 de manieren om elektrisch rijden te stimuleren. Met deze MMIP's zal nauw worden samengewerkt. Ook binnen bijvoorbeeld het Nationaal Programma RES en bij de Rijksoverheid is veel aandacht voor burger-participatie en voor besluitvormingsprocessen, ook hiermee zal afgestemd en samengewerkt worden.

### c Programmatische aanpak

Planning en budget Deelprogramma 2 Inclusieve energietransitie		planning		
		2020-2021	2022-2024	2024 en verder
1. Meervoudig ruimtegebruik, ruimtelijke inpassing en ruimtelijk verdelingsvraagstuk	Onderzoek mogelijk effect energietransitie op ondergrondse ruimte			
	Beproefde methoden beschikbaar voor integraal ontwerpen voor meerdere beleidsdoelen			
	Juridische en bestuurskundige belemmeringen voor meervoudig ruimtegebruik in kaart gebracht			
	Actie-onderzoek in praktijkcases (demonstratieprojecten, proeftuinen)			
2. Communicatie en participatie rond energietransitie en energietechnologie	(Actie)onderzoek nu gebruikte methoden voor participatie in energieprojecten			
	Innovatieve vormen van participatie ontwikkeld en in de praktijk gebruikt			
	Onderzoek: wat wil de onbekende Nederlander? Hoe maatschappelijke trend naar duurzaamheid te stimuleren.			
	Rol aanbieders in de energietransitie: professionalisering, arbeidsmarkt, scholing. Veranderende rol van burgers in clean energy package EU, juridische mogelijkheden			
3. Samenwerken en besluiten in de energietransitie	Opzetten 'energy policy lab' voor ontwikkeling nieuwe besluitvormingsmethoden			
	Onderzoek methoden om benefits/waarde voor alle stakeholders te bepalen en duidelijk te maken			
	Onderzoek succesverhalen van complexe besluitvorming,			
	Innovatieve methodieken voor adaptieve besluitvorming beschikbaar			
	Ontwerpen nieuwe manieren van samenwerken en testen in de praktijk			
	Actie-onderzoek in praktijkcases (demonstratieprojecten, proeftuinen)			
4. Energie-rechtvaardigheid	Onderzoek naar beslisgedrag in bedrijven, met als doel betere beleidsinstrumenten.			
	Opschalen en implementeren succesvolle interventies: richt je op de voorlopers			
	Sociaal-maatschappelijke implementatie-uitdagingen van systeemintegratie-oplossingen in kaart			
	Inzicht in energierechtvaardigheid bij implementatie energietransitie			
	Inkomenseffecten van de energietransitie			
	Onderzoek methoden om energiearmoede te voorkomen, community of practice			

Ruimtelijke inpassing komt in meer MMIP's terug, in dit deelprogramma wordt in samenhang naar die verschillende inpassingsvragen gekeken. Bovendien wordt de relatie met ruimtelijke aspecten van andere beleidsdomeinen onderzocht en worden integrale ontwerpmethoden ontwikkeld. Deze vragen spelen niet alleen in het landschap en de steden, maar ook met betrekking tot de ondergrond. Omdat er momenteel nog beperkte aandacht is voor de mogelijke consequenties van de energietransitie op het gebruik van de Nederlandse ondergrond, wordt op korte termijn verkennend onderzoek gepubliceerd.

In Nederland worden diverse methodes voor burgerparticipatie gebruikt in pilots en demonstraties. Met de geleerde lessen worden innovatieve participatie-methoden ontwikkeld en in de praktijk gedemonstreerd. Op gebied van communicatie en perceptie zal fundamenteel onderzoek gedaan worden naar de maatschappelijke trend naar verduurzaming.

Op gebied van besluiten en samenwerken zal aandacht besteed worden aan de beslissers bij bedrijven, overheden, netbeheerders, belangenbehartigers, etc. Er zal eerst goed gekeken worden uit succesvolle voorbeelden uit het verleden en in andere domeinen. Op basis van de opgedane kennis zullen nieuwe besluitvormings- en samenwerkingsmodellen ontworpen worden en getest in de praktijk. Daarvoor wordt onder andere een 'energy policy support lab' opgezet, waarin nieuwe methoden voor besluitvorming en informatievoorziening van beslissers kunnen worden getest. Verder zullen de interventies (bijv. samenwerkingsmodellen) in de praktijk getest worden en door middel van actie-onderzoek (onderzoek waarbij niet alleen processen worden

onderzocht, maar waarin de onderzoekers ook deelnemen aan het proces) bestudeerd. Tenslotte zullen de gevolgen van de energietransitie op de verschillende aspecten van energierechtvaardigheid, waaronder energiearmoede, in kaart worden gebracht.

### 3.3 Deelprogramma 3: Integrale energie-infrastructuur

#### *a Innovatieopgave*

Infrastructuren spelen een essentiële rol in het mogelijk maken van de energietransitie, zowel voor transport en distributie van energie, als voor invoeding, gebruik en opslag van CO<sub>2</sub>. Energiestromen veranderen, door nieuwe locaties van duurzame energieopwekking, nieuwe locaties met grootschalige vraag naar (duurzame) vormen van energie (elektriciteit, brandstoffen, warmte), veel decentrale opwek (zon, wind, geothermie) en nieuwe internationale energieketens. Daarom zijn de komende decennia grote aanpassingen in en uitbreidingen van infrastructuur nodig, met nauwere koppelingen tussen de verschillende energiesystemen om een hoog niveau van leveringszekerheid te kunnen handhaven. Verder vragen intermitterende duurzame bronnen van elektriciteit om een energiesysteem dat met deze variabiliteit om kan gaan. Dit vraagt om complementaire bronnen van flexibiliteit op een schaal die de groei van het opgestelde vermogen aan intermitterende opwek uit zon en wind mogelijk maakt. In toenemende mate gaat dit vragen om interconnectie en om CO<sub>2</sub>-vrij regelbaar vermogen, waarbij ook de ombouw van bestaande energie-assets een van de mogelijkheden is.

Vanuit hun rol en/of wettelijke taken werken netbeheerders, marktpartijen en andere stakeholders aan het inschatten van verwachte ontwikkelingen en modellering van het energiesysteem. Dit deelprogramma richt zich specifiek op nieuwe kennis en tools die bijdragen aan de integrale afwegingen die de energietransitie met zich mee brengt. Zodoende houdt dit deelprogramma nauw verband met deelprogramma 1: integrale besluitvorming en sectorkoppeling.

Een grote uitdaging hierbij is dat niet alle ontwikkelingen goed te voorspellen zijn, bijvoorbeeld omdat deze onderhevig zijn aan beleidskeuzes in binnen- en buitenland en omdat ze afhankelijk zijn van de kostenontwikkeling van technologieën. Maar aanpassing van energie-infrastructuur vraagt juist om investeringen met een lange-termijnhorizon. Bovendien worden opties waarmee de infrastructuur meer wendbaar kan worden ingezet en aangepast en kan worden hergebruikt steeds belangrijker.

De energietransitie vraagt om toenemende investeringen in infrastructuren. Door investeringen in nieuwe energie-infrastructuur kan de druk op de openbare ruimte toenemen. Terwijl op dit moment het ruimtebeslag (boven- en ondergronds) en de druk op de openbare ruimte al groot is. Systeemintegratie tussen de verschillende energiesystemen kan bijdragen aan het optimaliseren en beheersbaar houden van deze investeringen in infrastructuur en kan eraan bijdragen dat de toekomstige duurzame energievoorziening betrouwbaar en betaalbaar blijft.

Daarbij zijn er ook een aantal kansen. Er kan slim gebruik gemaakt worden van bestaande energie-infrastructuren, bijvoorbeeld door bestaande capaciteiten optimaal te benutten, door delen van infrastructuren te hergebruiken voor bijvoorbeeld waterstof, of de inzet van vermogenselektronica om fysieke stromen te sturen. Ook kunnen nieuwe technologieën bijdragen aan het efficiënt koppelen van sectoren (industrie, mobiliteit, gebouwde omgeving, landbouw) of energie-infrastructuur van verschillende energiedragers (elektriciteit, methaan, waterstof, warmte, ...). Op basis van een robuuste strategische besluitvorming kunnen



dergelijke kansen bijdragen aan een kosteneffectief transitiepad voor energie-infrastructuren.

Een goede modellering van dergelijke geïntegreerde netwerken en deelsystemen is hierbij van belang, evenals efficiënte en effectieve technieken om deze te ontwerpen. Met het ontwerpen en plannen van de uitbreiding van infrastructuur voor één energiedrager is reeds veel kennis en ervaring beschikbaar. Het is de taak van netbeheerders om een geïntegreerde infrastructuur met verschillende energiedragers integraal te ontwerpen, plannen en optimaliseren zodat een betrouwbaar energiesysteem kan worden ontwikkeld dat betaalbaar blijft. Binnen dit deelprogramma zal kennis worden ontwikkeld, die deze integrale netwerkontwikkeling door netbeheerders kan verbeteren, en kunnen innovaties worden gedaan ten behoeve van ombouw, uitbouw, benutting en hergebruik van energie- infrastructuur.

Dit deelprogramma bestaat uit vier onderdelen die hieronder nader beschreven worden:

1. Kennisontwikkeling over een geïntegreerd energiesysteem en de infrastructuren voor verschillende energiedragers ten behoeve van planning en ontwerp, met aandacht voor de koppelingen tussen de verschillende energiedragers, tussen verschillende schaalniveaus en tussen verschillende verbruikssectoren (sectorkoppeling).
2. Kwantificeren, modelleren en optimaliseren van de rol van flexibiliteit: beschikbare potentiëlen, ontsloten capaciteit, optimalisatie van operationele inzet en beperkingen, met name voor vraagsturing en sectorkoppeling.
3. Strategieën voor het omgaan met onzekerheden bij de planning en het adaptief ontwerp van geïntegreerde energie-infrastructuur.
4. Technologische innovaties voor ombouw of uitbouw van energie-infrastructuur met betrekking tot nieuwe energiedragers, sector-koppeling of optimale benutting en hergebruik van bestaande infrastructuur.

De specifieke vragen binnen elk van de vier onderdelen zijn als volgt:

#### 1. Kennisontwikkeling over een geïntegreerd energiesysteem en de infrastructuren

Er zijn de nodige ervaring en *tools* beschikbaar voor het plannen en ontwerpen van de energie-infrastructuur waarbij per energiedrager een eigen systeem wordt beschouwd met opwek en invoeding, transmissie- en distributienetten, verbruik en eventueel opslag en buffering. Echter, er is nog nauwelijks ervaring met het integraal optimaliseren, ontwerpen en plannen van een geïntegreerde infrastructuur met verschillende energiedragers over verschillende tijdsdomeinen inclusief de koppelingen daartussen.

Kennisvragen op dit vlak zijn daarom:

- Hoe kunnen simulatie- en analysesystemen, optimalisatiemethodes en -tools bijdragen aan het ontwerpen en plannen van een geïntegreerd energiesysteem en -netwerk?
- Hoe kan bestaande capaciteit van het elektriciteits-, gas- en warmtenetten optimaal worden benut?
- Hoe kunnen flexibiliteits- en capaciteitsoplossingen (zoals opslag van warmte of elektriciteit), conversie (power to heat, power to gas), demand side management, en hybride toepassingen worden ontwikkeld en ingezet?
- Hoe moeten integrale afwegingen onderbouwd worden? Bijvoorbeeld waarbij een keuze om te investeren in een deel van het energiesysteem (bijvoorbeeld in warmtenetten met power-to-heat en warmteopslag) bij kan dragen aan flexibiliteit in een ander deel, bijvoorbeeld het elektriciteitssysteem?
- Hoe kunnen locatie van vraag en opwek, of locatiekeuze van opslag en conversie tussen verschillende energiedrager bijdragen aan optimalisatie van de systeemkosten?

- Welke praktische tools zijn nodig om onderbouwde keuzes te maken over capaciteiten, rekening houdend met kosten, leveringszekerheid en ruimtelijke inpassing? Hoe kan in energiesysteemmodellen de energiebalans over het hele energiesysteem (met alle energiedragers) worden gewaarborgd?
- Welke samenwerking tussen partijen en ervaringen in andere landen is hierbij waardevol, met name op het gebied van modelinstrumentarium of integrale infrastructuurplanning?

## 2. Kwantificeren en optimaliseren van flexibiliteit: beschikbare potentiëlen, ontsloten capaciteit, optimalisatie van operationele inzet en beperkingen.

Een goed kwantitatief begrip van flexibiliteit is een belangrijke invoer voor geïntegreerde modellering (thema 1). Het gaat daarbij om ontsloten capaciteiten en hun operationele karakteristieken. Met name als het gaat om vraagsturing in diverse gebruikssectoren en apparaten, is er bij sectorkoppeling behoefte aan betere informatie en robuuste methodes om deze in te winnen, te structureren en te monitoren.

Ook de locatie van flexibiliteit is hierbij van belang en het omgaan met potentieel privacy-gevoelige informatie. Daarbij is er zowel centraal als lokaal behoefte aan flexibiliteit die eraan kan bijdragen om bestaande capaciteit zo goed mogelijk te benutten. Op lokaal niveau is vraag-aanbod-afstemming gunstig voor reductie van investeringen in het (lokale) net. Maar ook op nationaal niveau is flexibiliteit nodig voor het afstemmen van variabele duurzame opwek en variaties in de vraag. Deze flexibiliteit kan uit dezelfde bron komen, maar voor verschillende doelen ingezet worden. Deze flexibiliteit kan ook afkomstig zijn door een inzet van verschillende energiedragers (conversie, opslag, hybride systemen). Deze toepassingen kunnen elkaar echter ook in de weg zitten: de waarden zijn niet per definitie optelbaar en toepassing op nationaal of lokaal niveau hebben invloed op elkaar.

Kennisvragen zijn:

- Wat zijn de bepalende factoren voor de bijdrage van vraagrespons in een kosteneffectief energiesysteem, rekening houdend met bijvoorbeeld de waarde van energiegebruik in specifieke toepassingen en technologieopties zoals hybridisering bij elektrificatie. Maar ook de kosten van alternatieven en verschillende karakteristieken van demand response (korte- of lange-duur, reguliere en zeldzame inzet, gemak voor gebruikers, ...) tellen mee.
- Op basis van welke informatiebronnen kan ontsloten flexibiliteit gekwantificeerd worden en over de tijd worden gevolgd?
- In welke mate is er hierbij een gedifferentieerde benadering nodig voor de verschillende gebruikssectoren en delen van het energiesysteem – het onderwerp van verschillende andere MMIPs? En op welke manier kunnen deze dan bij een integrale benadering worden meegenomen?
- Welke parameters moeten hierbij worden verzameld om de operationele karakteristieken en beperkingen in verschillende toepassingen en gebruikssectoren vast te leggen?
- Welke mate van detail en nauwkeurigheid is hierbij haalbaar en nodig voor een adequate modellering van het energiesysteem?

## 3. Strategieën voor de omgang met onzekerheden bij de planning en het adaptief ontwerp van geïntegreerde energie-infrastructuur

Investeringen in energie-infrastructuur kennen een tijdshorizon van meerdere decennia. Omdat de energietransitie zich kenmerkt door onzekerheden is het van belang dat de juiste strategieën worden gevolgd bij de planning en het adaptief ontwerp van geïntegreerde energie infrastructuur. Dit thema richt zich op de vraag hoe verantwoorde keuzes bij de planning van geïntegreerde infrastructuur kunnen worden gemaakt, gegeven deze onzekerheden.

Kennisvragen zijn:

- Op welke manier moet de planning en het ontwerp van een geïntegreerd energiesysteem (infrastructuur voor elektriciteit, methaan, waterstof, warmte, opslag en conversie in

samenhang) worden uitgevoerd, zodat:

- *no-regret* maatregelen kunnen worden geïdentificeerd,
- investeringen worden gedaan, waarvan de waarde robuust is voor verschillende mogelijke ontwikkelingen in de toekomst,
- investeringen worden gedaan, die andere infrastructuur ontwikkelpaden op lange termijn niet bij voorbaat uitsluiten en die de leveringszekerheid op lange termijn waarborgen, en
- investeringen tijdig kunnen worden uitgevoerd.
- Welke analysemethodes, optimalisatietechnieken en adaptieve beslissingsstrategieën zijn het meest geschikt om te komen tot ontwerp- en investeringsbesluiten in energie-infrastructuur, gegeven lange termijn doelen in combinatie met *imperfect foresight* en onzekerheden die samenhangen met het inschatten van toekomstige ontwikkelingen en behoeftes (aangesloten klanten, aanbod en verbruik) in de energietransitie?
- Hoe kan monitoring bijdragen aan het omgaan met onzekerheden, het maken van robuuste keuzes en waar relevant bijsturen?

#### 4. Technologische innovaties voor ombouw of uitbouw van energie-infrastructuur met betrekking tot nieuwe energiedragers, sector-koppeling of optimale benutting en hergebruik van bestaande infrastructuur.

Naast de kennisontwikkeling over geïntegreerde energiesystemen en een geïntegreerde planningsaanpak dragen ook technologische innovaties van de energie-infrastructuur bij aan een efficiënte energietransitie. Ten eerste kan hergebruik, opwaarderen of anderszins ombouwen van bestaande energie-infrastructuren bijdragen aan een kosteneffectieve energietransitie. Er zijn diverse technologische innovatievraagstukken met betrekking tot waterstof in het aardgasnet, maar bijvoorbeeld ook op het vlak van mengen/ontmengen en pipe-in-pipe oplossingen. Ten tweede kunnen innovatieve technologieën voor de uitbouw of vervanging van infrastructuren bijdragen aan het versnellen, het verlagen van kosten en het in dichtbebouwde gebieden. Voorbeelden hiervan zijn compacte oplossingen die de ruimtelijke voetafdruk beperken of het inploegen van transportinfrastructuur in landelijke gebieden. Naast een adaptieve benadering voor het plannen van energie-infrastructuur, is er ook behoefte aan technieken die de infrastructuur zelf flexibel maakt, zowel ten aanzien van de aanleg, als van de inzet, sturing en operatie. Op die manier kan de capaciteit van dergelijke infrastructuur en zich over de jaren ontwikkelen, waardoor maatschappelijke veranderingen gefaciliteerd kunnen worden.

Kennisvragen zijn:

- Welke technische innovaties zijn denkbaar om bestaande energie-infrastructuren efficiënt her te gebruiken, op te waarderen of om te bouwen? Voorbeelden zijn de inzet van waterstof in het aardgasnet, mengen en eventueel ontmengen van gassoorten en pipe-in-pipe oplossingen?
- Op welke manier kunnen kosten worden verlaagd bij het hergebruik, uitbouw of vervanging van infrastructuur?
- Welke technologische oplossingen en strategieën zijn nodig ten behoeve van bedrijfsvoering en operationele monitoring van de netwerken met meer een dynamisch gebruik en ontwikkelingen over de tijd.
- Welke aardgasleidingen, ontvangstations e.d. zijn geschikt voor toepassing in een waterstof netwerk, welke aanpassingen zijn nodig (technisch, organisatorisch, wettelijk), hoe ziet een grootschalige ombouw eruit en wat zijn de kosten?
- Welke synergie bestaat er tussen offshore energie-infrastructuren, de inpassing van offshore windenergie in het energiesysteem, hergebruik van platforms voor waterstofproductie, -opslag en -distributie.



- Welke activiteiten zijn nodig om waterstof versneld op te kunnen schalen? Welke oplossingsrichtingen zijn nodig en welke stakeholders moeten worden betrokken bij standaardisatie, stimulerende beleidsinstrumenten, discussie over (zelf) voorzieningszekerheid?
- Op welke wijze worden veiligheidsrisico's in de hele waterstofketen bewaakt en welke maatregelen en instrumenten zijn er nodig om deze te minimaliseren?
- Op welke manier kan infrastructuur flexibel worden aangelegd of ingezet, zodat de infrastructuur en de capaciteit daarvan niet voor meerdere decennia vastligt en maatschappelijke veranderingen gemakkelijk gefaciliteerd kunnen worden?
- Hoe kunnen nieuwe technieken en toepassing ervan binnen een geïntegreerd energiesysteem worden gemonitord, geïnspecteerd en onderhouden? Dit kan betrekking hebben op power-to-gas, het transport en de opslag van waterstof, maar ook invoeding in lage-temperatuur warmtenetten, hybride (HVAC/HVDC) transportnetten voor elektriciteit of het bemeten van distributienetten.

### *b Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren*

In verschillende verbanden wordt al gewerkt aan de thema's benoemd in dit deelprogramma en zijn er bestaande methodes en technieken. Het is de bedoeling om van dit MMIP om hier door onderzoek, kennisontwikkeling en innovatie nieuwe mogelijkheden en tools aan toe te voegen. Het is daarom van belang om de bestaande mogelijkheden en benaderingen te kennen als startpunt en om samen te werken met actoren die op basis van hun wettelijke taak of commerciële interesse aan deze onderwerpen werken.

Een aantal relevante bestaande trajecten zijn:

- Verschillende universiteiten, kennisinstellingen en adviesbureaus beschikken over bestaande modellen. In veel gevallen gaat het hierbij om modellen die zich richten op deelsystemen, zoals elektriciteit of warmte, maar daarbij zijn ook pogingen om de samenhangen daartussen weer te geven.
- In de periode 2018 – begin 2019 zijn verschillende analyses gepubliceerd op basis van verschillenden modellen en tools in het kader van het proces naar het klimaatakkoord. Ook in voorgaande jaren zijn er onder de noemer systeemintegratie diverse studies gepubliceerd.
- Netbeheerders hebben de wettelijke taak voor het plannen en ontwerpen van energie-infrastructuren, de operatie en het monitoren van deze infrastructuren.
- Begin 2019 hebben TenneT en Gasunie de Infrastructure Outlook 2050 gepubliceerd, waarin een geïntegreerd energiesysteem met transportinfrastructuren voor elektriciteit, waterstof en methaan zijn gemodelleerd.
- Binnen Netbeheer Nederland wordt in verschillende werkgroepen van het Energietransitie Programma gewerkt aan onder meer scenario's voor ontwikkeling van vraag en aanbod, een verkenning van integrale energie infrastructuur ontwikkeling en de informatiebasis voor een meer integrale benadering voor het planning van energie-infrastructuren (werkgroep iNET), een onderzoeksroadmap waterstof (werkgroep Netwerk voor Duurzame Gassen) en flexibiliteit (werkgroep Flexibiliteit en Opslag).



*c Programmatische aanpak*

		planning		
		2020-2021	2022-2024	2024 en verder
<b>Planning en budget Deelprogramma 3 Integrale energie-infrastructuur</b>				
1. Geïntegreerde modellering van het energiesysteem en de infrastructuur voor verschillende energiedragers ten behoeve van planning en ontwerp	Kennisontwikkeling over simulatie- en analysesystemen, optimalisatiemethodes en -tools			
	Methodes en optimalisatietools voor evaluatie van integrale keuzes infrastructuur, over meerdere deelsystemen			
	Methodes voor afwegen kosten en maatschappelijke baten van co-locatie en lokatiekeuzes van opwek, verbruik, conversie			
2. Kwantificeren, modelleren en optimaliseren van flexibiliteit; beschikbare potentiële ontsloten	Studies naar systeemvragen rond infrastructuur op basis van ervaring, lessons learned en lopende trajecten in ander NW Europese landen			
	Raamwerk voor inschatting economisch vraagresponsoptimale over diverse sectoren en toepassingen			
	Methoden voor kwantificeren en parameteriseren ontsloten flexibiliteitspotentieel, inclusief operationele beperkingen en sectorkoppeling			
3. Strategieën voor het omgaan met onzekerheden bij de planning en het adaptief ontwerp van geïntegreerde energie-infrastructuur.	Analyses van mate van detail, nauwkeurigheid en differentiatie die praktisch haalbaar en die minimaal nodig is voor afwegingen.			
	Methodes en tools voor het evalueren van systeemoptimum in centrale en decentrale flexibiliteit			
	Tools voor planning en ontwerp voor energieinfrastructuren met een integrale en strategische no-regret benadering			
4. Technologische innovaties voor ombouw of uitbouw van energie-infrastructuur met betrekking tot nieuwe energiedragers, sector-	Raamwerk voor identificatie en evaluatie van robuuste / no-regret elementen en bepalende / kritische keuzes.			
	Strategieën en optimalisatietools voor gefaseerde besluitvorming, met lange termijn doelen en onzekerheid tussentijdse ontwikkelingen.			
	Richtlijnen en handboek voor praktische toepassing van integrale ontwerpmethodes aansluitend bij praktijk van netbeheerders			
	Ontwikkeling van afwegingskader voor tijdelijke (infra-)oplossingen vs structurele oplossingen			
	Technische innovaties voor efficiënt hergebruik of opwaardering bestaande energie-infrastructuren			
	Technische innovaties die bijdragen aan flexibele aanleg of flexibele inzet van energie-infrastructuur over de tijd			
	Technische innovaties die bijdragen aan kostenreductie van bestaande of nieuwe energie-infrastructuur			
	Technische innovaties die bijdragen aan kosteneffectief inzet van offshore platforms en infrastructuur			
	Technische innovaties voor integratie van energie-infrastructuur in andere infrastructuur en/of gebouwen			

De programmatische aanpak van dit deelprogramma wordt samengevat in de bovenstaande tabel. Omdat aanzienlijke tijd gemoeid is met de planning en implementatie van energie-infrastructuur en de energietransitie de komende jaren zal versnellen, vraagt dit deelprogramma om een *front-loaded* aanpak. Enerzijds is een mate van doelgerichtheid van belang om tijdig inzetbare methodieken en tools te ontwikkelen, onder meer door voort te bouwen op bestaande methodes. Anderzijds is in parallel onderzoek en kennisontwikkeling van belang om fundamenteel nieuwe analysemethodes en beslissingsstrategieën te ontwikkelen zodat deze in de jaren die volgen beschikbaar komen.

Voor alle 4 deelprogramma's is samenwerking tussen kennisinstellingen en innovatieve marktpartijen met netbeheerders en marktpartijen in de energiesector van belang. Daarbij zijn gezamenlijke ontwikkelingstrajecten en studies een goede manier om te komen inzetbare inzichten, methodieken en tools, waarbij ook de bestaande kennisbasis optimaal wordt ingezet. Hierbij is ook het inzichtelijk maken van meerwaarde en concrete resultaten van belang door het toepassen van ontwikkelde methodes en tools op concrete cases.

Waar het gaat om technologische innovaties voor energie-infrastructuur zijn niet alleen onderzoek en productontwikkeling, maar ook demonstratie en praktijktoepassingen essentieel om te komen tot toepasbare oplossingen.

Deelprogramma 3 heeft directe verbindingen met de andere deelprogramma binnen dit MMIP en met verschillende andere MMIP's, met name waar het gaat om de duurzame energiebronnen en sectoren waar het energieverbruik moet verduurzamen. Binnen MMIP13 gaat het om deelprogramma 1 (Kennis voor integrale besluitvorming) dat ingaat op de vraag hoe zicht krijgen op vraag en aanbod van energie, de onzekerheden daarin en de wijze waarop tot besluitvorming wordt gekomen. Het ontsluiten van voldoende flexibiliteit is van belang voor de energie-infrastructuren. Daarvoor is een nauwe samenwerking nodig met deelprogramma 4 (flexibele energiemarkten), deelprogramma 6 (digitalisering) en deelprogramma 5 (conversie en opslag). Tenslotte is er een directe relatie met Deelprogramma 2 (Inclusieve energietransitie), met name met de ruimtelijke inpassing van infrastructuur.

**3.4 Deelprogramma 4: Flexibele energiemarkten**

*a Innovatieopgave*

Het komen tot een werkend energiesysteem van de toekomst kan slechts ten dele planmatig aangepakt worden, waarbij op basis van integrale fact-based analyses (deelprogramma 1) en omgevingsfactoren (deelprogramma 2) en economische overwegingen intelligente keuzes

gemaakt kunnen worden. Deelprogramma 4 richt zich op deze economische aspecten, te weten:

- top-down ontwerp van *marktmechanismen* en onderzoek naar marktordening en *regulering* die hierbij nodig is;
- bottom-up: *verdienmodellen* die ervoor zorgen dat partijen willen en kunnen bijdragen aan het integrale energiesysteem.

Top-down gaat het om marktontwerp, marktinzichting en regulering die leiden tot de sociaal-economisch optimale inrichting, het ontsluiten van innovatie door marktpartijen en om de ontwikkeling en allocatie van het energiesysteem op verschillende systeemdimesies, tijdsschalen en geografische schalen. Hierbij zijn er voor het energiesysteem van de toekomst een aantal nieuwe aandachtspunten. Toenemende elektrificatie, nieuwe energiedragers (i.h.b. H<sub>2</sub>, warmte) en CO<sub>2</sub> vragen om infrastructuur waarin geïnvesteerd moet worden. Daarbij verschillen benodigde kaders en uitdagingen per energiedrager. De toekomstige elektriciteitsmarkt vraagt om ontwikkeling/ontsluiting van flexibiliteit, zowel bij grootverbruikers en kleinverbruikers. Daarnaast is het waarschijnlijk dat flexibiliteit ingezet moet worden ter voorkoming van congestie (peak shaving, voor zowel vraag als aanbod van energie, conversie en opslag enz. ). Marktmechanismen kunnen hierin faciliteren.

In het kader van systeemintegratie zal er specifiek aandacht moeten zijn voor de inpassing van flexibiliteitsopties op de grensvlakken van verschillende markten. Daarbij gaat het om positionering en barrières in marktinzichting en regulering van specifieke technologieën zoals Power-to-heat (in concurrentie met bijv. WKK en gasboilers), Power-to-hydrogen, power-to-X en Gas-to-power op het grensvlak van methaan of waterstof en elektriciteit. Dit kan leiden tot stuurbaar CO<sub>2</sub>-vrij vermogen en slimme inzet van hybride systemen. En deze opties concurreren met andere flexibiliteitsopties in de elektriciteitsmarkt, waar onder vraagsturing en korte-duur opslag bijvoorbeeld in batterijen.

Marktmechanismen en regulering moeten de juiste incentives vormen voor de integratie van de verschillende energiesystemen en de ontwikkeling en inzet van flexibiliteitsopties voor alle energiedragers. Met de juiste marktmechanismen en regulering als kader kunnen nieuwe verdienenmodellen worden gecreëerd. Overigens zal een deel van deze marktmechanismen in geautomatiseerde systemen terecht komen, zonder tussenkomst van (menselijke) handelingen. Zo kan het voorkomen dat lokale markten volledig geautomatiseerd, op basis van aanwijzingen vooraf van bijvoorbeeld bewoners, afgedaan worden. Daarom is er op dit punt nauwe samenwerking nodig tussen deelprogramma's 4 en 6, waarbij deelprogramma 4 zich primair richt op de economische aspecten en deelprogramma 6 op de (digitale) invulling daarvan.

Bottom-up vormen *verdienmodellen* een belangrijke voorwaarde om ervoor te zorgen dat partijen willen en kunnen bijdragen en willen investeren in het integrale energiesysteem. Een besluit dat voor de ene actor positief is kan voor de andere negatief uitvallen. Anderzijds kunnen keuzes die individuele partijen ten aanzien van de energievoorziening willen maken vanuit hun eigen perspectief suboptimaal zijn voor het (gehele) energiesysteem. De transitie van het energiesysteem vraagt om investeringen in tijdelijke oplossingen en no-regret-oplossingen in gevallen waarbij dit leidt tot een wenselijk transitiepad. Deze oplossingen moeten bijdragen aan de transitie, maar tegelijk ondanks hun tijdelijke aard leiden tot een zo efficiënt mogelijk resultaat op systeemniveau. In sommige gevallen kunnen barrières of gebrekkige aansluiting tussen marktmodellen in verschillende delen van het energiesysteem ertoe leiden dat de baten van benodigde investeringen niet voldoende ten goede komen aan de partij die hiervoor moet investeren, waardoor deze investering niet gedaan wordt. Ten tweede zijn onzekerheid over de toekomst van het energiesysteem factoren die zorgen voor risico's die het doen van investeringen belemmert. Dit belemmert business cases voor optimale energie-oplossingen en vormt zo een belemmering voor de transitie.

Dit deelprogramma kent twee onderdelen om deze thema's te adresseren.

### 1. Marktmechanismen en regulering voor het toekomstige hybride energiesysteem

Doel van dit onderdeel is om te onderzoeken en te simuleren welke marktmechanismen en bijbehorende of aanvullende regelgeving nodig zijn om in het toekomstige multi-commodity energiesysteem te zorgen voor efficiënte prikkels voor investeringen en innovatie en een goede balans tussen vraag en aanbod van de verschillende energiedragers waarbij flexibiliteit optimaal wordt ingezet en waarbij spelers zoveel mogelijk geprikkeld worden om bij te dragen aan een betaalbaar en betrouwbaar (pad naar een) CO<sub>2</sub>-vrij energiesysteem. Hierbij wordt gekeken naar mechanismen en regulering per energiedrager, maar ook integraal over energiedragers heen. Dit onderdeel onderzoekt, ontwerpt, simuleert deze marktmechanismen en regulering en onderzoek waar mogelijk de toepassing in de praktijk.

Belangrijke kennisvragen hierbij zijn:

- Welke effectieve marktmechanismen, marktordening, regulering en overheidsbeleid zijn nodig voor het toekomstige energiesysteem, waarbij perverse prikkels voorkomen kunnen worden? In welke mate werken deze marktmechanismen en wat is hun effect?
- Welke bestaande marktmechanismen, marktordening, regulering en beleidsinstrumenten bemoeilijken het realiseren van een integraal (multi commodity) energiesysteem? Welke belemmeringen bestaan er bijvoorbeeld rond marktmechanismen voor waterstof in wet- en regelgeving en hoe kunnen deze belemmeringen worden weggenomen?
- Wat is het wenselijke rollenmodel binnen het toekomstige energiesysteem?
- In welke mate en hoe is het nuttig om markten voor verschillende energiedragers en CO<sub>2</sub> te koppelen om optimaal bij te dragen aan een betaalbaar en betrouwbaar multi-commodity energiesysteem?
- Welke marktmechanismen zijn effectief om flexibiliteit van hybride systemen maximaal te kunnen ontsluiten?
- Hoe kan de rol van lokaliteit het best worden geïncorporeerd (bijv. ten behoeve van congestiemanagement en ruimtelijke inpassing) in marktmechanismen binnen het energiesysteem (congestie management, pricing zones, locational marginal pricing)?
- Hoe draagt het marktmodel bij aan voor het tot ontwikkeling komen van innovatieve proposities, nieuwe technologieën en nieuwe energie-services, door marktpartijen en door en voor consumenten (klein en groot)?
- Welke tools moeten ontwikkeld worden om marktmechanismen in de praktijk te laten functioneren?

### 2. Verdienmodellen voor organisaties in het toekomstige energiesysteem

Dit onderdeel heeft als doel om te onderzoeken hoe verdienenmodellen mogelijk gemaakt kunnen worden die marktpartijen handelingsperspectief bieden in de energietransitie en daarmee bij te laten dragen aan het een schoon, betaalbaar en betrouwbaar integrale energiesysteem. Immers, ook al zijn transitiepaden en plannen nog zo goed voor het hele systeem, als business cases voor de partijen die investeringen moeten doen niet positief zijn, zullen zij niet bereid zijn om invulling te geven aan de plannen. Daarom worden in dit onderdeel methoden, tools en simulaties ontwikkeld die partijen helpen om (gezamenlijk) haalbare verdienenmodellen te identificeren en om hier invulling aan te geven.

Belangrijke kennisvragen hierbij zijn:

- Waar liggen barrières die maatschappelijk nuttige business cases in de weg staan, en welke oplossingen of maatregelen zijn er om nodig deze barrières te slechten?.Denk hierbij bijvoorbeeld aan uitdagingen als gevolg van split incentives, of aan het op gang krijgen van de productie en het gebruik van waterstof (kip-ei-probleem).
- Welke simulatiemodellen en (optimalisatie-)tools voor financiële, investerings- en scenario-

analyses zijn nodig om stakeholders voldoende inzicht te geven in de business cases voor keuzes en investeringen en waarbij systeemcriteria en onzekerheid over toekomstige scenario's in acht genomen kunnen worden?

- Wat is de impact van systeembeslissingen op de (financiële) doelstellingen van individuele partijen?
- Welke risico's en onzekerheid over toekomstige ontwikkelingen moeten goed worden ingekaderd, zodat deze geen onoverkomelijke barrière vormen voor investeringen?
- Wat is er nodig om lasten en baten op een efficiënte en verantwoorde manier te verdelen over partijen en om hierover tot gezamenlijke afspraken te komen?

Dit onderdeel gaat over verdienmodellen die ervoor zorgen dat marktpartijen bereid zijn om mee te werken aan het systeembelang en om deze partijen hiervoor te activeren. Uiteraard is de burger/consument ook een belangrijke stakeholder waarvoor hetzelfde nagestreefd moet worden. Voor burgers/consumenten wordt dit in deelprogramma 2 geadresseerd.

#### b Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren

Daar waar deelprogramma 2 expliciet de verbinding legt met sociale en ruimtelijke omgevingsfactoren legt deelprogramma 4 juist de verbinding met de financieel-economische omgevingsfactoren door onderzoek en innovaties uit te voeren die systeemontwikkelingen door vanuit financieel-economisch oogpunt zoveel mogelijk de goede kant op te sturen en eventuele barrières te adresseren.

Het innovatiesysteem op het gebied van flexibele energiemarkten in Nederland laat een nog wat gefragmenteerd beeld zien, zeker als het gaat om het integrale karakter in marktontwerp, marktinzicht en regulering. Enkele universiteiten hebben op dit terrein onderzoek verricht, met name in het domein van elektriciteit en gas. De TU Delft heeft al jaren ervaring met vraagstukken in elektriciteitsmarktontwerp, gasmarktontwerp en netwerkregulering. De Rijksuniversiteit Groningen werkt sinds enkele jaren ook meer aan elektriciteitsmarktinzicht in het kader van flexibiliteitsuitdagingen en de energietransitie. Bij het CWI, TNO en TU/e wordt al jaren gewerkt aan smart grids en 'transactive energy' waarbij onder andere gekeken wordt naar de invulling van mechanismen voor het verhandelen en verhandelbaar maken van flexibiliteit. De Universiteit van Amsterdam richt zich vanuit de juridische faculteit op marktorderingsvraagstukken. Vanuit haar rol in beleidsadvies speelt ECN.TNO sinds de liberalisering ook een rol op dit gebied op basis van marktmodellering en -analyse. Er is verder een aantal (economische) energieonderzoeksbureaus die ervaring hebben met vraagstukken op het terrein van marktinzicht en regulering op het terrein van gas, elektriciteit en in mindere mate warmte. In geval van waterstof gaat het nog om eerste schetsmatige verkenningen. Analyses op het terrein van integrale kaders en vraagstukken op de raakvlakken van verschillende energiemarkten zijn op dit terrein nog slechts zijdelings uitgevoerd in Nederlandse context. Rond multi-stakeholder businessmodellen vindt binnen TNO en universiteiten verkennend onderzoek plaats, waarbij eerste toepassingen hun weg vinden in andere domeinen (zoals logistiek).



## c Programmatische aanpak

Planning en budget Deelprogramma 4 Flexibele energiemarkten		planning			
		2020-2021	2022-2024	2024 en verder	
1. Marktmechanismen en regulering voor het toekomstige hybride energiesysteem	Inzicht in benodigde marktmechanismen, financiering en regulering rond het toekomstige energiesysteem				
	Ontwikkelen van marktmechanismen die tot de vereiste marktwerking, participatie en schaalniveau leiden				
	Ontwikkelen van simulatiemodellen en tools voor de effecten van marktmechanismen en regulering				
	Actie-onderzoek in praktijkcases (demonstratieprojecten, proeftuinen)				
2. Collectieve verdienmodellen voor het toekomstige energiesysteem	Serious-game model voor verkennen/communiceren handelsstrategieën, onder onzekerheid en variabiliteit				
	Ontwikkelen van simulatie en optimalisatietools voor investeren met meerdere criteria, inclusief onzekerheid				
	Ontwikkelen van principes, mechanismen en methodiek voor collectieve businesscases met split incentives				
	Ontwikkelen van tools voor analyse, simulatie en optimalisatie van nieuwe business modellen en services				
	Ontwikkelen en in de praktijk valideren van innovatieve samenwerkingsvormen en businessmodellen				
	Onderzoek naar de waardering van flexibiliteit				
	Onderzoek innovatieve marktproducten die bijdragen aan robuuste business cases				

In bovenstaande tabel is de fasering van het onderzoek aangegeven.

Op korte termijn is er behoefte aan inzicht in welke marktmechanismen en regulering nodig zullen zijn in het toekomstige energiesysteem en om tot mogelijke invullingen te komen zodat er voldoende tijd over blijft om via simulaties en praktijktesten te achterhalen welke invulling in de praktijk het best is. Op het gebied van verdienmodellen staan partijen voor belangrijke investeringsbeslissingen voor de komende jaren. Daarbij is op korte termijn behoefte aan tools om te bepalen op welke manier het best geïnvesteerd kan worden. Aangezien keuzes, bijvoorbeeld van de industrie, langdurige gevolgen kan hebben op de potentieel beschikbare flexibiliteit is het daarbij van belang om ook te kunnen bepalen welke waarde flexibiliteit kan hebben. Tezamen met en als input op het korte-termijnonderzoek naar marktmechanismen geeft dit aanvullende en belangrijke input aan organisaties die voor investeringsbeslissingen staan. Op de middellange termijn moeten de onderzoeken naar marktmechanismen en verdienmodellen getoetst worden in simulaties en leiden tot tooling die in de praktijk toegepast kan worden.

Vanuit dit deelprogramma is er vooral complementariteit met MMIP5 (lokale energiemarkten/lokaliteit in energiemarkten en investeringsbeslissingen in de gebouwde omgeving) en MMIP8 (aansturing van marktmechanismen). Daarnaast beschouwt dit deelprogramma de waarde van flexibiliteit. Dit is input voor MMIP's 1, 2, 7, 8 en 10 waar gekeken wordt naar de ontwikkeling van flexibiliteitsopties.

### 3.5 Deelprogramma 5: Opslag en conversie

#### a Innovatieopgave

In het toekomstige energiesysteem zullen conversie en opslag van energie een cruciale rol spelen als een van de kosteneffectieve opties om flexibiliteit te leveren aan het energiesysteem. Het zijn ook opties die sterk kunnen bijdragen aan het borgen van leveringszekerheid in periodes met beperkt aanbod van (duurzame) energie. Om het toekomstige energiesysteem in balans te houden zijn oplossingen vereist die pieken en dalen in energieproductie en -vraag kunnen opvangen, waarbij rekening moet worden gehouden met verschillende omvang en duur van de mismatch tussen vraag en aanbod. Niet elke energiedrager is makkelijk op te slaan. Een energiedrager kan echter worden geconverteerd naar een andere, bijvoorbeeld elektriciteit (elektronen) naar een vloeistof of gas, zoals waterstof, die wel makkelijker op te slaan en/of beter transporteerbaar is.

Een portfolio aan oplossingen is nodig met soms een laag vermogen en snelle respons en kleine

energievolumes (<1 kW, <1s) tot hoge vermogens op langere termijn met zeer grote energievolumes (> 1 GW; uren tot dagen, seizoenen enz.). Batterijen ontwikkelen zich snel en worden reeds toegepast, zowel stationair als in voertuigen, en zijn zeer geschikt voor het opvangen van relatief korte-termijn mismatch in vraag en aanbod. Voor het oplossen van problematiek rondom lange-termijn mismatch in vraag en aanbod en garantie van leveringszekerheid, bieden batterijen hoogstwaarschijnlijk geen kosteneffectieve oplossing.

Grootschalige en lange-termijn energieopslag biedt mogelijk wel een kosteneffectieve optie en kan flexibele diensten bieden voor de verschillende energie- infrastructuur: elektriciteit, gas en warmte. Door het koppelen van energie-infrastructuur via conversie biedt grootschalige opslag deze diensten aan het hele energiesysteem. Het betreft hier ook essentiële diensten aan de samenleving in de vorm van leveringszekerheid (strategische energiereserves) en balancering voor onvermijdelijke seizoensvariaties, tegen relatief lage systeemkosten. Om de benodigde diensten te leveren aan het toekomstig energiesysteem zal een portfolio aan conversie- en energieopslagtechnologieën nodig zijn. Een mogelijk portfolio van opslagtechnologieën is gepresenteerd in onderstaande figuren. Om deze technologieën volwassen en marktrijp te maken zal een aantal belangrijke drempels moeten worden geslecht. Een programmatische aanpak is nodig voor doorontwikkeling van specifieke technologieën en het portfolio als geheel. Een programmatische aanpak kent zowel technologiespecifieke trajecten als generieke onderzoeksthema's om de ontwikkeling van het portfolio efficiënt te kunnen versnellen.

Dit deelprogramma focusteert zich daarom op de volgende onderdelen:

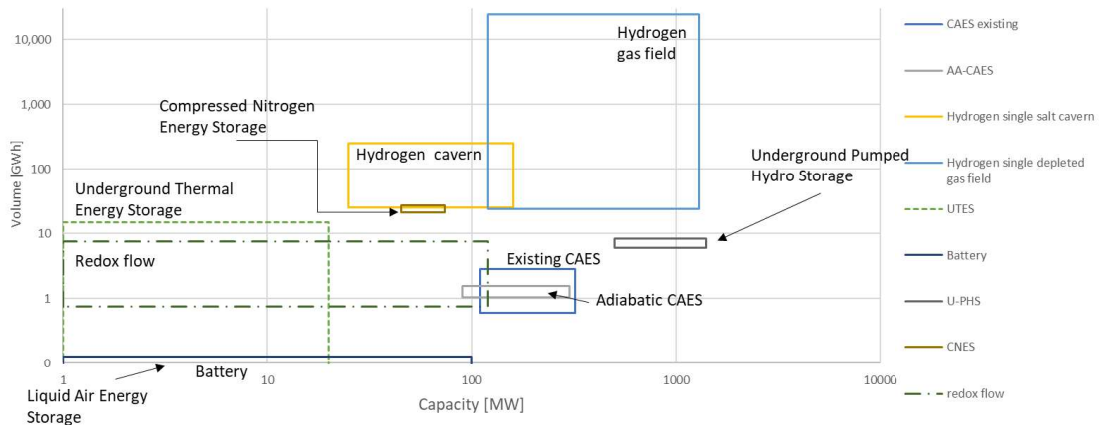
- Conversie van energie
- Generieke thema's voor opslag van energie, zowel ondergronds als bovengronds
- Technologie thema's, voor opslag van energie, zowel ondergronds als bovengronds

### 1. Conversie van energie

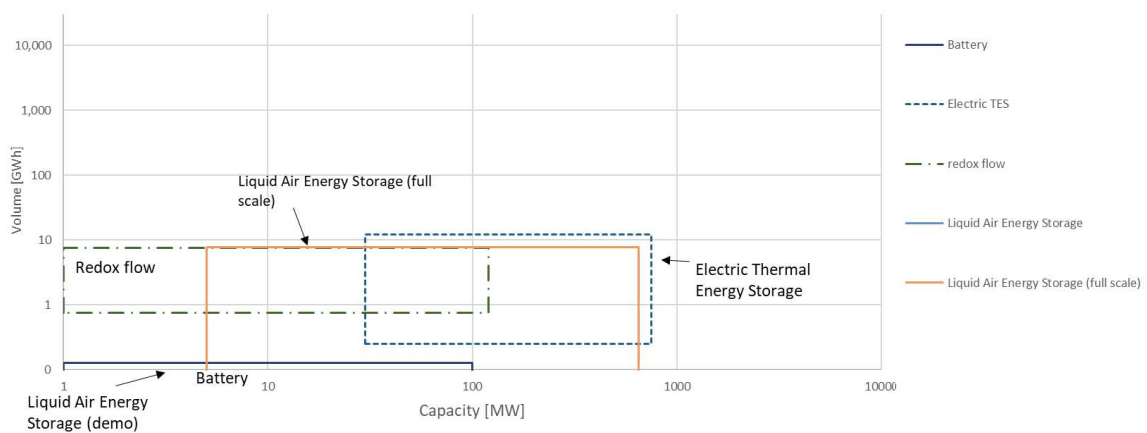
Een belangrijke vorm van conversie is de omzetting van elektriciteit naar moleculen ('power-to-molecules'). Energie in de vorm van moleculen biedt namelijk vele opslagmogelijkheden. Verder kan gebruik worden gemaakt van bestaande infrastructuur. Deze conversiestap is tevens van belang voor de industrie, die de geproduceerde moleculen enerzijds gebruikt als grondstof en anderzijds als energiedrager voor hoge temperatuur processen. Daarnaast kan de industrie met een flexibele operatie een belangrijke rol in het energiesysteem spelen.

Elektrolyse van water is in veel opzichten *de* kerntechnologie voor power-to-molecules. Deze technologie is echter nog niet concurrerend met bestaande, niet duurzame, waterstofproductietechnieken. Innovatie van deze processen vindt plaats in MMIP 8. MMIP 13 richt zich op de kennisontwikkeling en innovatie van de systeemaspecten rondom power-to-molecules, zoals Power-to-hydrogen, power-to-methane en power-to-X):

- Inpasbaarheid in bestaande energiesystemen; kosten en baten;
- Technische, economische en maatschappelijke rol van conversietechnologie en werkelijke bijdrage aan CO<sub>2</sub>-reductie. Wat is de behoefte in Nederland aan conversie capaciteit t.b.v. flexibilisering energiesysteem?
- Business models, regelgeving en management concepten die specifiek van belang zijn voor power-to-molecules, waarbij relevantie verder gaat dan opslag faciliteit voor energie.



## Ondergronds



## Bovengronds

Figuur 2 Overzicht grootschalige energie-opslagtechnologieën (bovengronds en ondergronds). De x-as toont het vermogen dat een opslagtechnologie kan leveren en de y-as is indicatief voor de hoeveelheid energie (GWh) die kan worden opgeslagen. Hieruit is af te leiden voor welke doeleinden de technologie geschikt kan zijn. Linksonder staan technologieën die geschikt zijn voor kortere termijn opslag; boven in de figuur staan technologieën die geschikt zijn voor langere termijn (dagen, weken, maanden) opslag van energie.

### 1. Generieke onderzoeksthema's voor opslag van energie

- Het in kaart brengen van het potentieel aan en noodzakelijke capaciteit van energieopslag in Nederland. Hierbij dient onderscheid te worden gemaakt in het technische potentieel, het marktpotentieel en het maatschappelijk inpasbaar potentieel. Ter ondersteuning is het noodzakelijk om een consistente vergelijking te maken tussen de verschillende opslagtechnologieën op basis van technologiestatus, marktkansen en inzicht in maatschappelijk draagvlak.
- Het waarden van energieopslag in de lange-termijn transitie in vergelijking met andere flexibiliteitsopties.
- Het marktpotentieel bepalen door vast te stellen hoe verschillende diensten en producten die energieopslag biedt aan het energiesysteem tot waarde leidt voor projectontwikkelaars en voor het systeem als geheel. Het analyseren van mogelijk marktfalen is hier essentieel. Ook een kosten-baten analyse om verdeling van kosten en baten over verschillende partijen beter inzichtelijk te maken zal hier onderdeel van uitmaken.
- Het vaststellen welk wet- en regelgeving noodzakelijk is om enerzijds



energieopslagsystemen adequaat in de markt te kunnen laten functioneren en anderzijds om te onderkennen welke barrières te overwinnen zijn voor ontwikkeling van energieopslagtechnologieën en -diensten.

- Welke internationale ontwikkelingen zijn er gaande op het gebied van energieopslag die van belang zijn voor Nederland? Dit om 'make-or-buy'-besluiten te kunnen nemen.
- Tenslotte zal voor het energieopslagportfolio een analyse worden opgesteld om het exportpotentieel en de waarde voor de Nederlandse economie in te schatten. Een pionierspositie in de waardeketen zal ertoe kunnen leiden dat kennis en producten internationaal kunnen worden vermarkt, naast de mogelijkheid voor energieopslag om op nationale schaal economische en non-economische waarde te generen.

## 2. Technologiethema 's voor opslag van energie

In principe zijn verschillende opslagmogelijkheden beschikbaar voor relatief grote volumes aan energie en langere tijdintervallen. MMIP 13 richt zich hierbij op technieken die in potentie toepasbaar zijn in Nederland en nog R&D nodig hebben. Dit betekent dat het programma geen aandacht besteedt aan de technische aspecten van waterkrachtcentrales zoals pompaccumulatiesystemen, inclusief ondergrondse pompaccumulatiecentrales. Bij de ontwikkeling van opslagtechnologie zal per opslagmethodiek een specifiek ontwikkelingspad worden vastgesteld. Dit pad houdt rekening met de volgende onderdelen die snelheid en impact van technologieën bepalen: technologieontwikkeling (TRL), milieu, mens en veiligheid, verdienmodel en marktontwikkeling en wet- en regelgeving.

De volgende technologieën worden in beschouwing genomen:

- Ondergrondse opslagmethodes (zie bovenstaande figuur):
  - Kennisontwikkeling naar dynamische eigenschappen van de ondergrond. Bij ondergrondse opslag wordt energie, in de vorm van een gas (waterstof, methaan, stikstof, perslucht, enz.) of een vloeistof (hoge-temperatuur water) in een ondergronds reservoir, aquifer of caverne gebracht en later weer onttrokken bij een vraag naar energie. Er is kennisontwikkeling nodig om beter inzicht te krijgen in de effecten die cyclische injectie en productie van energie uit de ondergrond heeft op dynamiek en eigenschappen van de ondergrond. Dit levert per technologie verschillende specifieke kennis- en ontwikkelingsvragen. Maatschappelijk draagvlak en veiligheid staan hierbij centraal als uitgangspunt voor technologieontwikkeling en als onderzoeksthema. Monitoring van mogelijke effecten van energieopslag in de ondergrond is daarom een essentieel onderdeel van het programma.
  - Technische, economische en maatschappelijke haalbaarheidsstudies. Deze fase wordt gevolgd door pilots/demonstratieprojecten voor kansrijke technieken van ondergrondse opslag systemen zoals opslag in lege gasvelden middels Compressed Nitrogen Energy Storage (CNES), opslag in zoutcavernes voor Compressed Air Energy Storage (CAES) of Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Systems (AA-CAES), opslag van waterstof, redox flow batterijen in zoutcavernes en lege gasvelden en opslag in aquifers van hoge-temperatuur warmte. Gezien de verwachte beperkte beschikbaarheid van cavernes dient een prioritering gemaakt te worden op basis van verwachte (maatschappelijke) meerwaarde tussen de verschillende technieken. In zijn algemeenheid is onderzoek nodig naar prioritering van de ondergrond (zie deelprogramma 2).
- Bovengrondse opslag (zie figuur hierboven)
  - Technische, economische en maatschappelijke haalbaarheidsstudies. Deze fase wordt gevolgd door pilots/demonstratieprojecten voor kansrijke technieken van bovengrondse opslagsystemen, zoals redox flow batterijen, grootschalige warmteopslag en Liquid Air Energy Storage (LAES).

- Technische, economische en maatschappelijke haalbaarheidsstudies voor gecombineerde gedistribueerde opslagmedia zoals 'virtual large scale storage', 'virtual power plant', 'vehicle-to-grid, enz. Deze fase wordt gevolgd door pilots/demonstratieprojecten voor kansrijke technieken.

### b. Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren

In internationaal verband wordt veel onderzoek gedaan naar fysieke energieopslagsystemen. Zo wordt in landen als China, de Verenigde Staten, Korea en Japan veel onderzoek gedaan naar batterijen. In Nederland en Europa is deze activiteit zeer bescheiden. Om deze reden is een EU 'battery alliance' opgericht, juist op dit punt op te lossen.

Slim aankopen is dan ook de beste strategie. Nederland heeft als gas-land veel kennis van ondergrondse opslag. Deze kennis is aanwezig bij bedrijven in de exploratie- en productieindustrie, bij Gasunie en DSO 's en bij universiteiten en TNO. Reeds decennialang exporteert Nederland deze kennis naar andere landen. De kennisontwikkeling op het gebied van virtuele opslagsystemen bevindt zich nog in een beginstadium. Nederland heeft hier echter een, nog bescheiden, positie opgebouwd, met name door de relatief intensieve laadinfrastructuur en smart gridkennis.

Omgevingsimpact en maatschappelijk draagvlak zal van groot belang zijn bij ondergrondse opslag van energie (locatie en technologie specifiek) en bij de afweging tussen het inpassen van opslag van energie ten opzichte van andere flexibiliteitsopties.

In verschillende studies zijn reeds institutionele uitdagingen (wet- en regelgeving t.a.v. opslag van energie) geïdentificeerd. Deze zijn beperkend voor het ontwikkelen van een markt. De waardering van leveringszekerheid is nog onvoldoende zeker om investeringen te waarborgen.

### c) Programmatische aanpak

Planning en budget Deelprogramma 5 Opslag en conversie		planning		
		2020-2021	2022-2024	2024 en verder
1. Generieke onderzoeksthema's	Consistente vergelijking en monitoring voortgang van opslagtechnologieën.			
	Ontwikkeling merit-order en analyse verdienmodellen van de diverse energieopslag opties			
	Mogelijke effecten op milieu, mens en veiligheid van energieopslag			
	Afwegingskader ruimtelijke inpassing			
	Analyse kansen en barrières wet- en regelgeving energieopslag			
	Make or buy; waarde voor de Nederlandse economie van opslag opties			
	Optimalisatie economische, milieu- en sociale impact van grootschalige energieopslag			
	Technisch, markt en maatschappelijk inpasbaar potentieel			
	Verbeterde afstemming met overige flexibiliteitsfuncties			
2. Technologie thema's	Kansenkaart voor grootschalige energieopslag			
	Prioritering ontwikkeling grootschalige energieopslag			
	Ondersteuning pilot(s) en demonstratie voorbereiding grootschalige energieopslag			
	Demonstratie grootschalige opslag van warmte			
	Demonstratie/pilot H2 opslag in zoutcaverne			
	Demonstratie/pilot opslag H2 in lege gasvelden			
	Demonstratie perslucht opslag in caverne			
	Demonstratie compressed nitrogen energy storage (CNES)			
	Demonstratie/pilot Liquid Air Energy Storage (LAES)			
Demonstratie/pilot redox-flow batterijen				
Demonstratie/pilot redox-flow batterijen in cavernes				

In bovenstaande tabel is voor de hierboven genoemde kennis- en innovatievragen weergegeven op welke termijn kennisontwikkeling en innovatie nodig is. Voor de korte termijn zijn de verschillende systeemstudies belangrijk (zie deelprogramma 1). Zij moeten het kader geven voor opslag en conversie van energie in Nederland. Ook de haalbaarheidsstudies voor een eerste opzet van een portfolio aan veelbelovende technieken zijn gepland voor de korte termijn. De pilots en demonstratieprojecten zijn voorzien in de middellange termijn. Veel van de hierboven genoemde technieken zijn al in ontwikkeling. Daarnaast is onderzoek op laag-TRL-

niveau nodig op bijvoorbeeld componentniveau, of naar nieuwe varianten van dezelfde technologie. De kennisbehoefte op het gebied van de dynamische eigenschappen van de ondergrond zijn nog grotendeels van fundamenteel wetenschappelijke aard. Wereldwijd vindt er onderzoek plaats naar opslag van energie. Hieruit zullen zonder twijfel nieuwe veelbelovende concepten en technieken voortkomen. Aan het volgen van deze internationale ontwikkelingen zal continue aandacht moeten worden besteed. Daarom moet er ruimte zijn in het programma voor nieuwe, innovatieve, opslagtechnologieën die niet in bovenstaand overzicht zijn opgenomen.

### 3.6 Deelprogramma 6: Operationeel management en digitalisatie

#### *a Innovatieopgave*

Het energiesysteem was tot nu toe *operationeel onder controle*. Governance, rolverdeling, aansturing, marktmechanismen en andere coördinatiemechanismen zijn dusdanig ingeregeld dat de systemen voor verschillende energiedragers gedurende de dag en gedurende het jaar operationeel goed functioneren. In de meeste gevallen vindt deze regeling plaats vanuit een beperkt aantal centrale rollen en marktmechanismen in combinatie met een diversiteit van marktpartijen die er samen voor zorgen dat vraag en aanbod met elkaar in balans zijn. De van oudsher goed voorspelbare vraagprofielen voor energie en de grotendeels regelbare productie van energie zorgden er bovendien voor dat effectief en betaalbaar capaciteitsmanagement van infrastructuur mogelijk was waarmee de kans op congestie klein was. Systemen voor verschillende energiedragers waren tot voor kort vrijwel onafhankelijk van elkaar.

Zoals in de inleiding van dit document benoemd, heeft het toekomstige energiesysteem heeft een aantal belangrijke karakteristieken die het operationeel aansturen van het energiesysteem anders maakt en die ervoor zorgen dat het huidige operationele aansturingsparadigma niet meer vanzelfsprekend voldoende is. Kortom, bij het nieuwe energiesysteem verplaatst de regelbaarheid zich van de bron naar verbruik, conversie en opslag. Veel meer partijen ondervinden invloed van en kunnen een rol spelen bij de balancering. Slimme inzet van systeemintegratietechnologieën (conversie, opslag, hybride systemen, verbeterde interconnectie) kunnen zorgen voor lagere systeemkosten en minimale ruimtelijke belasting. Er zijn twee factoren die ervoor kunnen zorgen dat het toekomstige energiesysteem *operationeel in control* kan blijven.

Ten eerste is er flexibiliteit nodig die op slimme wijze kan worden ingezet om bovenstaande uitdagingen het hoofd te bieden. Deze flexibiliteit kan op verschillende manieren geleverd en ingezet worden op verschillende tijdschalen. Dit kan variëren van uitstellen van gebruik in huishoudens, inzetten van elektriciteit uit batterijen in elektrische auto's tot grootschalige opslag over langere periodes.

Ten tweede moet deze flexibiliteit tezamen met andere aspecten van het operationele energiesysteem slim aangestuurd kunnen worden om het systeem in control te houden. Deze aansturing kan relatief open zijn, in de vorm van bijvoorbeeld marktmechanismen, of meer gesloten, waarbij partijen, als dat nodig is, direct kunnen ingrijpen in het systeem. Dit deelprogramma houdt zich bezig met innovatie die is gericht op het operationeel in control houden van het toekomstige energiesysteem. Het ontwikkelt hiervoor visie op operationele sturing, sturingsmechanismen en digitale technologieën, architecturen en standaarden. Dit deelprogramma kent drie onderdelen.

#### 1. Onderzoek naar de noodzaak, mogelijkheden en aanpak van sturing in het toekomstige hybride decentrale energiesysteem

Doel van dit onderdeel is om gezamenlijk met stakeholders een beeld te krijgen waar precies risico's ontstaan rond het operationeel in control houden van het energiesysteem, waar sturing

nodig is en welke besturingsmechanismen (marktmechanismen, andere coördinatiemechanismen of directe sturing) daarvoor ingericht moeten worden. Deze mechanismen moeten uiteraard passen in de internationale ontwikkelingen in Europa. Daarbij is het op voorhand duidelijk dat het aansturen, bijvoorbeeld decentraal via marktmechanismen, van flexibiliteit een zeer belangrijke rol speelt. Deze marktmechanismen worden in deelprogramma 4 verder uitgewerkt.

Belangrijke kennisvragen van dit onderdeel zijn:

- Welk inzicht, overzicht en controle is nodig in het toekomstige multi-commodity energiesysteem en wat is de visie op het inrichten van operational control? Deze vraag betreft ook besturing of coördinatie op de “eindpunten” van het energiesysteem, zoals eindgebruikers.
- Waar zitten de operationele risico's die via sturing of coördinatie gemitigeerd kunnen worden?
- Hoe ziet het ontwerp voor een systeemmechanisme/afwegingskader voor het operationeel aanwenden van verschillende bronnen van flexibiliteit op verschillende tijdschalen eruit?
- Tot op welke hoogte kunnen marktmechanismen en decentrale keuzes door marktpartijen blijven zorgen voor een gecontroleerd en stabiel systeem? Wat zijn de grenzen hieraan en waar zijn mogelijk aanvullende mechanismen nodig? Zie ook deelprogramma 4.

## 2. Mechanismen voor het operationeel regelen van het energiesysteem (marktmechanismen, algoritmes, interacties)

In dit onderdeel worden regelmechanismen ontwikkeld die nodig zijn voor het operationele energiesysteem. Dit betreft analyses voor het inzicht krijgen in de status van het systeem, algoritmes voor het (geautomatiseerd) maken van beslissingen en mechanismen om te zorgen dat deze beslissingen worden doorgevoerd. Kennis en innovatievragen hierbij zijn:

- Welke mate van voorspelbaarheid van vraag, aanbod en beschikbare flexibiliteit zijn nodig (forecasting) en hoe kan potentieel beschikbare flexibiliteit geïdentificeerd worden (profiling). Deze input geeft inzicht aan stakeholders voor het nemen van strategische, tactische en operationele beslissingen in het multi-commodity energiesysteem, ), ook op het grensvlak tussen verschillende energiedragers (conversie, hybride systemen).?
- Vaak kunnen en moeten deze beslissingen overgelaten worden aan de markt, maar soms zijn er beslissingen nodig om in te grijpen als de stabiliteit van het multi-commodity systeem in het gedrang komt. Welk afwegingskader dient voor dergelijke beslissingen te worden gehanteerd?
- Hoe kan er controle uitgeoefend worden over verschillende commodities heen, bijvoorbeeld als dat nodig is doordat control op de ene commodity grote invloed heeft op andere commodities?
- Welke systeemdiensten- en producten die bijdragen aan de operationele besturing van het energiesysteem zijn nodig en wat zijn hiervan de specificaties?
- Welke control-, en coördinatie-mechanismen, algoritmen en control-technologie voor aansturing van het energiesysteem zijn nodig, bijvoorbeeld bij het niet liquide worden van de markt?
- Hoe kunnen voorgaande onderdelen van het systeemmechanisme operationeel ingericht en in de praktijk getoetst worden?
- Hoe zorgen we ervoor dat de security- en privacy-aspecten van deze mechanismen adequaat is? Hoe kan de veiligheid van de operationele systemen worden gegarandeerd tegen cyber-attacks, manipulatie en gaming? Hoe kan de privacy van data van gebruikers en bedrijven worden gegarandeerd binnen de operationele systemen, middels bijv. aggregatie, anonimisatie, of regelgeving voor stewardship?
- Het inrichten van mechanismen voor operational control kunnen alleen werken als er op de

“eindpunten” van het energiesysteem (“achter de meter”) daadwerkelijk informatie gedeeld kan worden en als er daadwerkelijk wordt geacteerd van stuursignalen vanuit het systeem. Vanuit MMIP13 is de aanname dat hiervoor aandacht is bij andere MMIP’s die zich buigen over de inrichting van de energievoorziening bij deze partijen. Mochten er echter soorten eindpunten waarbij deze “digitalisering achter de meter” niet elders wordt onderzocht zal dit deelprogramma dit oppakken.

- Daarnaast is er behoefte aan innovatieve monitoring en controle systemen.

### 3. Digitale architecturen en standaarden voor monitoring en control van het energiesysteem

Het derde en laatste onderdeel van dit deelprogramma gaat over de digitale invulling van operational control: het monitoren, aansturen, afrekenen het opschalen. Voor welke delen is het nuttig om de bijbehorende ICT op uniforme wijze in te richten en op welke vlakken draagt juist innovatie door de markt en een diversiteit aan oplossingen het meest bij aan een efficiënte energietransitie. Hiertoe worden in dit onderdeel IT-architecturen, standaarden en systemen ontwikkeld en getoetst. Daarbij is het belangrijk om niet te snel over te gaan voor specifieke technologiekeuzes. Het moet eerst duidelijk zijn welke specificaties en eisen van belang zijn.

Innovatievragen die hierbij een rol spelen zijn:

- Welke data en ICT zijn nodig voor operational control en welke IT-architecturen en standaarden moeten hierbij worden ontwikkeld of gebruikt? Hoe zorgen we daarbij voor waarborging van privacy? Hoe gaan we om met schaarse rekenkracht in de haarvaten van het energiesysteem als er lokaal zaken geregeld moeten worden?
- Hoe kunnen we komen tot goede accounting en af/verrekening van energiegebruik als er control plaatsvindt over verschillende energiedragers heen? Welke sensing is hierbij nodig?
- Hoe zorgen we voor de cybersecurity van het energiesysteem. Hoe voorkomen we dat de gebrekkige cybersecurity in aangesloten apparaten (bijvoorbeeld in huishoudens) een negatieve impact kunnen hebben op het energiesysteem?
- Welke ICT-systemen zijn nodig en hoe worden deze opgezet (bijv. centraal, decentraal, edge computing)
- Welke functionaliteiten zijn nodig bij individuele actoren zoals marktpartijen om effectief een rol te spelen in dit complexe en geïntegreerde energiesysteem?
- Ontwikkeling van de 'control room van de toekomst', waarin bijvoorbeeld met big/streaming data real-time inzicht verkregen kan worden in het systeem.
- Hoe kunnen we omgaan met autonome ICT-ontwikkelingen en -diensten?
- Hoe moet het (noodzakelijke) delen van data tussen partijen (en soms burgers) worden georganiseerd en ontwikkeld, welke standaarden en regelgeving zijn hierbij nodig? Hoe kunnen we ervoor zorgen dat gevoelige data (bijvoorbeeld privacygevoelige data van burgers of bedrijfsgevoelige informatie van industrieën) daarbij ook gebruikt en (in enige vorm) gedeeld kan worden?

Ook voor dit onderdeel geldt de opmerking onderaan het vorige onderdeel over benodigde digitalisering “achter de meter”.

#### *b Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren*

Dit deelprogramma heeft betrekking op de operationele aansturing van het fysiek-sociaaleconomische energiesysteem en heeft daarmee niet een directe link met de omgeving. Het deelprogramma streeft er echter naar om te komen tot een stabiel energiesysteem en betaalbaar energiesysteem. Dat is op zich een belangrijk sociaal en financieel-economisch doel. Belangrijk hierbij is, dat het systeem dusdanig operationeel bestuurd wordt dat het



energiesysteem ook in operationele zin inclusief is en past bij reguleringsuitgangspunten als non-discriminatoireit. Hoewel het besef bestaat dat digitalisatie een belangrijke ontwikkeling is voor het energiesysteem wordt dit nog niet doorleefd bij alle stakeholders. Nederland kent een innovatiesysteem dat op belangrijke onderdelen van het vraagstuk al een behoorlijke positie heeft als het gaat om bijvoorbeeld het operationeel besturen van bijvoorbeeld flexibiliteit. Op dit gebied is al veel werk verzet op het gebied van smart grids, met nationaal belangrijke rollen voor TNO, TUDelft, DNV-GL en TU/e als kennispartijen en de netbeheerders en aggregators. Op dit gebied zijn algoritmes en standaarden ontwikkeld (FAN - Flexiblepower Alliance Network ). In het TNO HESI-lab kunnen besturingsmechanismen in de een demo-opstelling praktisch uitgeprobeerd worden. USEF is een relevant raamwerk dat voor de toekomstige energiemarkt is ontwikkeld. Internationaal kunnen NEN/IEC, IEEE en Euroelectroc als standaarden worden beschouwd. Bij het CWI, UU en TUDelft wordt gewerkt aan ‘machine learning’ en AI voor het voorspellen van gedrag van (delen van) het systeem en afwijkend gedrag te ontdekken. Binnen de netwerkbedrijven is het digitaliseren van de eigen netwerken een onderwerp dat in ontwikkeling is. Aansturing over domeinen van netwerkbedrijven, de decentrale opwekkers en andere marktpartijen en over de grenzen van individuele commodity’s is een nieuw onderwerp waarvoor nog kennis moet worden opgebouwd. Rond het onderwerp data delen is, ook in Nederland, al behoorlijk veel werk verzet in de industriële sector (smart industry, International Data Spaces) en in de logistieke sector (iShare – Innopay/Connekt, maar ook IDS – TNO als IDS-hub van Nederland). en ook in de energiesector zelf

### c Programmatische aanpak en financiering

Planning en budget Deelprogramma 6 Operationaal management en digitalisatie		planning		
		2020-2021	2022-2024	2024 en verder
1. Onderzoek naar de noodzaak, mogelijkheden en aanpak van sturing in het energiesysteem	Onderzoek naar noodzaak en visie op het operationele energiesysteem			
	Systeemmechanisme voor flexibiliteit			
2. Mechanismen voor het operationeel regelen van het energiesysteem	Profilering en forecasting van flexibiliteit			
	Specificatie van systeemdiensten			
	Ontwikkeling van mechanismen en algoritmen voor directe aansturing van het energiesysteem			
	Operationele inrichting en toetsing van systeemmechanismen			
3. Digitale architecturen en standaarden voor monitoring en control van het energiesysteem	Onderzoek naar en ontwikkeling van oplossingen voor security en privacy in het energiesysteem			
	Raamwerk voor digitale infrastructuur			
	Ontwikkeling van voorzieningen voor het verzamelen en delen van operationele energiedata			
	Ontwikkeling van de controlroom van de toekomst			

Op de korte termijn is er behoefte aan een uitgewerkt beeld van de benodigde sturing van het energiesysteem en de aanpak daarvoor. Dit bepaalt immers de noodzaak voor de verdere ontwikkeling van mechanismen en digitalisering. Belangrijk aandachtspunt is het feit dat we te maken krijgen met een ‘system of systems’, waarbij aansturing decentraler zal zijn dan we gewend zijn en waarbij niet alle decentrale systemen volledig te controleren zijn. De hiërarchische samenhang van deze systemen moet in acht genomen worden bij het uitwerken van regelmechanismen. Aangezien flexibiliteit een belangrijke grootheid is die sturing mogelijk maakt is het ook belangrijk dat al snel een beeld opgebouwd van met welk systeemmechanismen flexibiliteit ingezet kan en moet worden (voor balans en congestie management) en welke potentie flexibiliteit hierbij heeft – waar is op welke tijdschaal welke flexibiliteit beschikbaar en hoe voorspelbaar/buikbaar is deze. Deze mechanismen en inzicht rond flexibiliteit wordt op middellange termijn doorontwikkeld aan de hand van de ontwikkelingen in de rest van het energiesysteem. Deze ontwikkelingen bepalen immers de uiteindelijke regeluitdaging. Security en privacy

van te ontwikkelen mechanismen dienen vanaf de start integraal meegenomen te worden.

Op middellange termijn worden regelmechanismen, digitalisering en voorzieningen voor data delen ontwikkeld waarmee invulling gegeven wordt aan de conclusies uit de eerste fase. Deze ontwikkelingen blijven op langere termijn doorlopen en zullen steeds dichterbij de praktijk getoetst worden en uiteindelijk geoperationaliseerd (buiten scope van het MMIP). Op korte termijn wordt echter alvast begonnen met het raamwerk voor digitale infrastructuur omdat dit de leidraad moet opleveren voor de rest van het werk in onderdeel 3 én omdat het ontwikkelen van standaarden een langere doorlooptijd heeft terwijl voorkomen moet worden dat er op de middellange termijn een wildgroei optreedt die leidt tot legacy-problematiek.

Er is een sterke link met deelprogramma 4, waar innovaties op het gebied van marktmechanismen plaatsvinden. Daar waar een markt zich volledig geautomatiseerd voltrekt (bijvoorbeeld een lokale markt, die zich regelt via de software op apparatuur in een de huizen van een wijk) wordt dit wel in deelprogramma 6 uitgewerkt. De daadwerkelijke uitwerking van deze mechanismen vindt plaats in deelprogramma 4. Vanuit deelprogramma 6 zullen daarvoor requirements en specificaties worden aangeleverd die voortkomen uit de geïdentificeerde operationele noodzaak voor het mechanisme. Bij de uitvoering van onderdelen 2 en 3 wordt nadrukkelijk samengewerkt met MMIP5 ten aanzien van de digitalisering van in-huis apparatuur. Daarnaast is er input nodig vanuit MMIP's 1, 2, 7, 8 en 10 om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van flexibiliteitsopties en wat de karakteristieken daarvan zijn.



## 4 STAKEHOLDERS/ACTOREN – SAMENWERKING MET ANDERE MMIP'S

MMIP13 is, als integrerend thema, van belang voor een groot aantal stakeholders: partijen die zelf speler zijn in het huidige of toekomstige energiesysteem, technologie-providers die oplossingen kunnen realiseren, kennispartijen, overheden en belangenorganisaties. De onderstaande tabellen geven een overzicht van welke stakeholders betrokken dienen te worden bij welke deelprogramma's.

	Deelprogramma					
	Kennis voor integrale besluitvorming	Inclusieve energietransitie	Integrale energie-infrastructuur	Flexibele energiemarkten	Opslag en conversie	Operationeel management en digitalisatie
Partijen	1	2	3	4	5	6
<b>Systeempelers</b>						
TenneT						
Gasunie						
DSO's						
Netbeheer Nederland						
Grote energiegebruikers						
Energieproducenten						
Energieleveranciers en BRP's						
Warmebedrijven						
Aggregators						
Aanbieders van flexdiensten						
Opslagpartijen						
Conversiepartijen						
Kleinere gebruikers (bedrijven)						
Burgers (via maatschappelijke organisaties)						
Corporaties (woning en energie)						
<b>Technologie providers</b>						
Nieuwe dienstaanbieders						
Marktplatform partijen						
Installateurs						
OEM's						
IT-serviceproviders						
IT system integrators						
<b>Adviespartijen</b>						
Diverse adviespartijen						
<b>Maatschappelijke en belangenorganisaties</b>						
Milieu-organisaties						
VEH						
Consumentenbond						
VEMW						
LTO						
Glastuinbouw Nederland						
Groen Gas NL						
KVGN						
Waterstof Platform						
NVDE						
EnergieNed						

	Deelprogramma					
	Kennis voor integrale besluitvorming	Inclusieve energietransitie	Integrale energie-infrastructuur	Flexibele energiemarkten	Opslag en conversie	Operationeel management en digitalisatie
Partijen	1	2	3	4	5	6
<b>Kennispartijen</b>						
TNO						
Deltares						
UU						
TUD						
TU/e						
UvT						
UT						
RuG						
UL						
Hogescholen/LEVE						
CWI						
WUR						
<b>Overheid</b>						
RES-gebieden						
Gemeenten/VNG						
Provincies/IPO						
Waterschappen/UvW						
Nationaal Programma RES						
Min EZK						
Min BZK						
Min I&W						
ACM						
PBL						
SCP						
CPB						
CBS						
RVO						
EBN						
SZW						

MMIP 13 zal intensief samen werken met andere MMIP 's. In onderstaande tabel zijn de belangrijkste relaties weergegeven.



MMIP nr.	naam	Relaties met MMIP 13
1	Hernieuwbaar op zee	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bijdrage hernieuwbaar op zee aan energievoorziening NL</li> <li>• Integratie wind op zee in energiesysteem</li> <li>• Aanpassingen infrastructuur</li> </ul>
2	Hernieuwbaar op land	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bijdrage hernieuwbaar op land aan energiebehoefte NL</li> <li>• Integratie wind en zon op land in energiesysteem</li> <li>• Aanpassingen infrastructuur</li> <li>• Ruimtelijke inpassing</li> </ul>
3	Versnelling energie-renovaties	Geen directe raakvlakken
4	Duurzame warmte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bijdrage van duurzame warmte aan energievraag</li> <li>• Aanpassing infrastructuur</li> <li>• 'multi-commodity' grids</li> </ul>
5	Elektrificatie van het energiesysteem in de gebouwde omgeving	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rol van de gebouwde omgeving voor energiebalans,</li> <li>• Inpassing in infrastructuur (inclusief opslag)</li> <li>• Burgerparticipatie</li> <li>• Platformen voor elektriciteitstransacties</li> <li>• Monitoring en controle</li> </ul>
6	Sluiting van industriële ketens	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aanpassing infrastructuur</li> <li>• Ontwikkeling CO2 infrastructuur</li> <li>• Optimaal gebruik biomassa (inclusief merit order)</li> </ul>
7	Een 100% CO2-vrij industrieel warmtesysteem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afstemming infrastructuur op industrieel gebruik/behoefte</li> <li>• Bijdrage industrie aan flexibiliteitsopties voor energiesysteem</li> </ul>
8	Maximale elektrificatie en radicaal vernieuwde processen Warmte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verlagen kosten elektrochemische processen is onderdeel MMIP 8, systeemconsequenties MMIP 13</li> <li>• Afstemming infrastructuur op industrieel gebruik/behoefte</li> <li>• Bijdrage industrie aan flexibiliteitsopties voor energiesysteem</li> </ul>
9	Aandrijving en energiedragers	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bijdrage elektrisch vervoer aan energiebalans</li> <li>• Bijdrage EV aan virtuele opslag van energie</li> <li>• Laadinfrastructuur</li> </ul>
10	Doelmatige vervoersbewegingen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rol gedragsverandering en nieuwe vervoersconcepten in relatie tot energiesysteem</li> </ul>
11	Productie food en non-food	Geen directe raakvlakken
12	CO2-vastlegging en -gebruik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bijdrage landelijk gebied aan energiebalans</li> <li>• Ruimtelijke inpassing</li> <li>• Bijdrage glastuinbouw aan energiebalans</li> <li>• Aansluiting glastuinbouw aan infrastructuur</li> <li>• Optimale gebruik biomassa (inclusief merit order)</li> </ul>

## 5 KENNISDISSEMINATIE, DIGITALISERING, MVI, HCA CIRCULARITEIT

### 5.1 Kennisdisseminatie

Kennisdisseminatie is een belangrijke succesfactor voor het MMIP. Het is vooral belangrijk om er voor te zorgen dat besluitvormingstrajecten tijdig gebruik kunnen maken van ontwikkelde kennis en innovaties. Het is daarom belangrijk dat deze kennis maximaal zal worden gebruikt. Dit betekent dat zal worden ingezet op, waar mogelijk, het zonder restricties openbaar maken van kennis en innovaties. Hiervoor zal een uitgebreid communicatieprogramma worden ontwikkeld, inclusief trainingen en demonstratiefaciliteiten.

### 5.2 Digitalisering

Digitalisering is voor het (operationele) energiesysteem dermate belangrijk dat er in dit MMIP een heel deelprogramma (DP6) aan is gewijd. Daarnaast komt digitalisering expliciet aan bod in DP1, waar het gaat over de informatiebasis over het energiesysteem dat de onderbouwing kan leveren aan integrale besluitvorming.

### 5.3 Maatschappelijk Verantwoord Innoveren (MVI)

Complexe maatschappelijke uitdagingen, bijvoorbeeld op het gebied van de energietransitie, zijn uitdagingen die vragen om innovaties waarin kennis van het gedrag van mensen, van maatschappelijke processen, van natuur en technologie, op een geïntegreerde wijze wordt ingezet. Bij die maatschappelijke uitdagingen spelen vaak waarden zoals duurzaamheid, gezondheid, veiligheid, democratie, verantwoordelijkheid, rechtvaardigheid en privacy een belangrijke rol. Deze waarden kunnen conflicteren – bijvoorbeeld tussen veiligheid en privacy - en de uitdaging van het innovatieproces is om oplossingen te bedenken waarin aan alle relevante waarden recht wordt gedaan.

De maatschappelijke aspecten van innovaties ten aanzien van het energiesysteem komen expliciet terug in de verschillende deelprogramma's:

- In deelprogramma 1 zijn de maatschappelijke aspecten en impact onderdeel van de integrale analyses en afwegingen;
- Deelprogramma 2 gaat voor een belangrijk deel over de maatschappelijk gedreven sociale en ethische aspecten van de energietransitie en over inclusiviteit voor alle burgers, en over de ruimtelijke impact;
- In deelprogramma 4 gaat het onder andere over de economische aspecten en innovaties die nodig zijn om de maatschappelijke doelen te realiseren;
- In deelprogramma 6 worden de maatschappelijke randvoorwaarden voor bijvoorbeeld burgers meegenomen door privacy en security expliciet te adresseren.

### 5.4 Human Capital Agenda (HCA)

Voor de realisatie van de uitdagingen op het gebied van systeemintegratie zijn voldoende opgeleide deskundigen nodig op verschillende niveaus. Het gaat hierbij niet alleen om technische kennis, bijvoorbeeld op het gebied van energie infrastructuur en opslag en conversie, maar ook om economische expertise, kennis van ICT en

digitalisering, kennis van maatschappelijke processen, ruimtelijke ordening en vaardigheden zoals het creëren van draagvlak en het opzetten van samenwerkingsverbanden. In het MMIP 13 komen vele werelden bij elkaar. Door sectorkoppeling is er behoefte aan vakmensen die interdisciplinair kunnen denken en werken. Denk bijvoorbeeld aan een netwerkinstallateur die ook kennis en vaardigheden heeft op ICT-gebied. De verwachting is dat de HCA-kant een hele opgave wordt. Netbeheerders bijvoorbeeld kunnen gevraagde uitbreidingen nu al moeilijk op tijd realiseren, onder andere door gebrek aan goed geschoold personeel. De noodzaak om kennis van verschillende disciplines te beheersen maakt dit probleem nog groter. Brede opleidingen zijn daarom van belang, waarbij wordt samengewerkt tussen verschillende studies en kennisdomeinen. Dit soort integrale opleidingen zijn echter vooralsnog schaars. Om deze situatie te veranderen is onderwijsvernieuwing noodzakelijk. Dit zal zich moeten vertalen in de volgende activiteiten:

- Wat betreft technische opleidingen is het noodzakelijk dat meer integrale energieopleidingen worden gerealiseerd. Intensieve samenwerking tussen verschillende sectoren enerzijds en onderwijsinstellingen en overheden (faciliterende rol) anderzijds is hierbij nodig. Dit moet resulteren in brede opleidingstrajecten. Een voorbeeld hiervan is het recent gestarte PDEng traject voor systeemintegratie. Ook de samenwerking tussen universitair, HBO- en MBO-onderwijs moet worden versterkt. Dit zou kunnen middels concrete praktijkcases.
- Voor het oplossen van de hierboven genoemde problemen is het ook noodzakelijk dat er een structurele samenwerking tot stand komt tussen verschillende onderwijsinstellingen die zorgen voor een integratie van technische, socio-economische, juridische, sociale, politiek-bestuurlijke, ruimtelijke en ecologische (alfa, bèta en gamma) expertises. Om dit te kunnen realiseren is de (faciliterende) rol van de overheid cruciaal.

Om voldoende snelheid en opschaling te realiseren en curricula op de steeds veranderende vraag te laten aansluiten is het belangrijk leren, werken en innoveren bij elkaar te brengen. Hierbij kunnen 'Learning Communities', die zijn opgezet rond concrete praktijkcases, zoals demonstratieprojecten, living labs en/of field labs, een belangrijke rol spelen. In deze omgevingen moeten verschillende dimensies van de energietransitie, die helpen bij het vinden van concrete oplossingen voor het grote abstracte probleem van 'systeemintegratie' concreet en integraal aan bod komen. Heel nadrukkelijk moeten in deze experimentele en lerende omgeving uitgebreid aandacht zijn voor niet-technische aspecten en vaardigheden.

## 5.5 Regionale samenwerking

Om de kennis en innovaties die in dit MMIP ontwikkeld worden op een succesvolle manier te implementeren is het in beschouwing nemen van de relaties tussen de verschillende schaalniveaus van het energie- en klimaatbeleid erg belangrijk. Hierbij zal nauw samengewerkt moeten worden tussen Rijksoverheid en regionale en lokale overheden, netwerkbedrijven en andere stakeholders. Vanuit MMIP 13 is het daarom noodzakelijk om oog te hebben voor de bredere context (politiek-bestuurlijk, maatschappelijk, enz.) en deze ook mee te nemen in de te ontwikkelde producten. Dit gaat in elk geval op voor de deelprogramma's 1, 2 en 4. Nederland maakt deel uit van, of heeft een connectie met, Noordwest Europese energiesystemen (interconnectie). Samenwerking tussen overheden van deze landen is dan ook van groot belang. Hierbij is

met name Duitsland erg belangrijk. Bilaterale samenwerking op het gebied van kennisontwikkeling en innovatie met dit land ligt dan ook voor de hand. Er zijn ook verschillende mogelijkheden voor regionale samenwerking, met name in pilot en demoprojecten. Zo hebben bijvoorbeeld de provincies Drenthe en Zuid-Holland een ambitie uitgesproken om pilots voor geïntegreerde energiesystemen, smart grids en opslagsystemen te ondersteunen.

Belangrijk aandachtspunt bij al deze samenwerkingstrajecten is het borgen van de ontwikkelde kennis die in deze verbanden ontwikkeld wordt. Hierbij zijn kennisoverdracht, disseminatie, inlevingsvermogen en overzicht sleutelwoorden.

## 5.6 Circulariteit

Circulariteit is vooral een belangrijk aspect voor innovaties waarbij technologie wordt ontwikkeld. In MMIP13 worden alleen technische innovaties ontwikkeld in deelprogramma's 3 en 5. Circulariteit speelt hier bijvoorbeeld een rol bij het hergebruik van energie transportinfrastructuur.

## 5.7 Monitoring en evaluatie

Voor de uitvoering, monitoring en sturing van de MMIP's wordt een organisatiestructuur ontwikkeld om ervoor te zorgen dat de gestelde doelen behaald worden. Twee vormen van monitoring zijn relevant: effectmeting en meten van procesvoortgang van het MMIP. Effectieve monitoring biedt de mogelijkheid om tijdig bij te sturen, te versnellen of intensiveren, om kansen te benutten, knelpunten weg te nemen, maar ook de mogelijkheid om bepaalde ontwikkelrichtingen tijdig te staken als daar onvoldoende voortgang in is of de bijdrage te gering blijkt. Het MMIP 13 draagt bij aan alle missies van de Integrale Kennis en Innovatie Agenda energie. De impact op deze doelen is echter indirect en niet meetbaar. Daarom zal bij de uitwerking van dit MMIP separate doelen worden gedefinieerd, zowel op inhoudelijk vlak als op proces. Voortgang van het innovatieprogramma (zowel inhoudelijk als proces) wordt gemonitord op basis van korte termijn activiteiten die jaarlijks worden uitgevoerd en de resultaten daarvan. Tussentijdse rapportage op de resultaten (en herijking), kennisdisseminatie en mogelijkheden tot bijsturen van de projecten is voor het overal succes van het programma van belang.

## VERANTWOORDING

Dit plan voor het Meerjarig Missiegedreven InnovatieProgramma 13: 'Een robuust en Maatschappelijk gedragen Energiesysteem' is ontwikkeld door:

- Mart van Bracht: Topsector Energie (voorzitter)
- Frans Nillesen: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (secretaris)
- Daan van Put: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (secretaris)
- Paul Claassens: Ministerie van Economische Zaken en Klimaatbeleid
- Han la Poutré: Centrum voor Wiskunde en Informatica en TU Delft
- Gert Jan Kramer: Universiteit Utrecht
- Michel Emde: TNO
- Ruud van den Brink: ECN.TNO
- Marijke Kellner - van Tjonger: Gasunie
- Frank Wiersma: Tennet
- Martijn Bongaerts: Alliander

### Contact:

Mart van Bracht:

E-mail: [mart.vanbracht@topsectorenergie.nl](mailto:mart.vanbracht@topsectorenergie.nl)

Frans Nillesen:

E-mail: [frans.nillesen@rvo.nl](mailto:frans.nillesen@rvo.nl)