

Kennis & Innovatie Agenda Programma Systeemintegratie 2018-2019

Naar een Robuust Geïntegreerd energiesysteem (NRG)

Contactpersoon: Mart van Bracht

Mart.vanbracht@topsectorenergie.nl

Versie final

Februari 2019

1. Maatschappelijke opgave

De energietransitie heeft als primaire doelstelling in 2030 de uitstoot van broeikasgassen met 49 % te verlagen ten opzichte van 1990 en tot vrijwel nul terug te brengen in 2050. Om deze doelstelling te kunnen realiseren zal onze maatschappij op een ongekende wijze moeten verduurzamen. Dit geldt voor de industrie, gebouwde omgeving, mobiliteit, landbouw en de energiesector. Om deze verandering zo efficiënt en effectief mogelijk te laten verlopen, zal maximaal de synergie moeten worden gezocht en benut met de verduurzaming van deze sectoren en is een robuust geïntegreerd energiesysteem nodig .

Het energiesysteem zal een aantal fundamentele veranderingen ondergaan: fossiele brandstoffen zullen stap voor stap worden vervangen door duurzame, intermitterende, bronnen, de vraag naar energie zal gaan veranderen, verschillende bestaande en nieuwe energiedragers zullen niet langer onafhankelijk van elkaar zijn, er zullen energiesystemen ontstaan op alle schaalniveaus (woning, wijk, regio, nationaal internationaal enz.), nieuwe spelers zullen hun intrede doen op de energiemarkt en energieconsumenten worden ook energieproducenten en omgekeerd. Het energiesysteem wordt kortom steeds complexer. Dit geldt niet alleen voor de infrastructuur, maar ook voor de businessmodellen en besturingsconcepten. Een centrale regie is gedurende de transitie en daarna niet meer mogelijk. Deze complexiteit speelt in een context in Nederland waarin we nu beschikken over een zeer betrouwbaar, veilig en betaalbaar systeem, en dat willen we graag zo houden.

De overgang van fossiele brandstoffen naar duurzame energie kan niet in een keer doorgevoerd worden, maar zal stapsgewijs plaatsvinden, waarbij in de beginperiode gewerkt zal moeten worden met hybride oplossingen: voor een deel nog met fossiele brandstoffen en voor een ander deel met duurzame bronnen.

2. Oplossingsroutes

Om met de geschetste veranderingen en uitdagingen bij het transitieproces om te gaan worden de volgende aspecten geadresseerd:

- *Op een efficiënte en effectieve wijze **gezamenlijk besluiten nemen** over inrichting en beheer van integrale energiesystemen, waarbij we maximaal de synergie benutten tussen de verduurzaming van de industrie, gebouwde omgeving, mobiliteit, energie en landbouwsector.*
- *Ontwerp en inrichting van adequaat werkende **marktmechanismen**, financieringsprincipes, business modellen en investeringsvoorzieningen.*
- *Opzet van een **governance** voor het complexe geïntegreerde energiesysteem, inclusief bijbehorende regelgeving en incentives.*
- *Het op een efficiënte en effectieve wijze **ontwerpen en aansturen** van **energieverbruik en infrastructuur** van geïntegreerde energiesystemen (zoals keuze energiedrager, lay-out, flexibiliteit, hybridisering enz.).*

3. Kennis en innovatiebehoefte

In het voorjaar van 2018 zijn voor bovenstaande thema 's met een groot aantal stakeholders en middels een systematische aanpak roadmaps ontwikkeld. De geïdentificeerde knelpunten uit deze roadmaps zijn vertaald naar Kennis en Innovatie Agenda 's (KIA). (Zie hiervoor de roadmaps "Energiesysteem" en "Warmtesystemen" op: <https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Algemeen/Kennis%20en%20Innovatie%20Agenda%2C%20Programma%20Systeemintegratie.pdf>). Deze KIA 's zijn de basis voor het Missiegedreven Meerjarig Innovatie Programma (MMIP) "Naar een Robuust Geïntegreerd Energiesysteem".

4. Missie-gedreven Meerjarige Innovatie Programma's

Volgens de AWTI¹ is een missie-gedreven innovatieprogramma: "een samenwerkingsverband van kennisinstellingen, de overheid en bedrijven, dat zich richt op samenhangende projecten met een missie op het gebied van uitwerking, doorontwikkeling, demonstratie en implementatie van een technologie- of systeeminnovatie. Sociale en economische innovatie maken deel uit van het programma, mogelijk via betrokkenheid van maatschappelijke partijen". Missie-gedreven innovatieprogramma's zijn langjarig en hebben een duidelijke doelstelling, een adequate besturing en monitoring, een open en heldere werkwijze en gedurende het gehele traject gecommitteerde deelnemers. Ze bestaan uit sterk samenhangende projecten die gezamenlijk tot de realisatie van de missie moeten leiden.

5. Missie Naar een Robuust Geïntegreerd Energiesysteem

De missie van dit MMIP is:

*Het ontwikkelen van kennis en het realiseren van innovaties die een efficiënte transitie van het huidige, grotendeels op fossiele brandstof gebaseerde energiesysteem, naar een **hybride (2030) en duurzaam (2050) geïntegreerd energiesysteem** mogelijk maakt, waarbij maximaal de **synergie** wordt benut tussen verduurzaming van de industrie, gebouwde omgeving, mobiliteit, energie en landbouwsector. Dit terwijl de **betrouwbaarheid** en **veiligheid** op het huidige niveau gehandhaafd blijft en de **kosten** door de maatschappij als aanvaardbaar worden gezien.*

6. Opzet MMIP

Het MMIP bestaat uit 7 samenhangende deelprogramma's. Binnen deze deelprogramma's zijn kennis- en innovatieopgaves geformuleerd.

¹ AWTI Den Haag (2016): Oppakken en Doorpakken



Een kennis- en innovatieopgave kan, al naar gelang de precieze vraag, ingevuld worden met combinaties van langere-termijn fundamenteel wetenschappelijk onderzoek, middellange-termijn toegepast wetenschappelijk onderzoek en korte-termijn inventariserend onderzoek. Daarnaast kunnen resultaten uit het programma in de praktijk getoetst en verbeterd worden in demo's en pilots. De deelprogramma's zijn schematisch weergegeven in de onderstaande figuur. In paragraaf 7 worden de kennis- en innovatieopgaven beschreven. Voor een aantal van deze opgaven zijn in paragraaf 8 fundamentele onderzoeksvragen geformuleerd. De volgende tabellen geven per deelprogramma een overzicht van de kennis en innovatieopgaven.

1. Samen beslissen en vormgeven	
Kennis en innovatieopgave	Impact
a. Methodologie voor multi-stakeholder besluitvorming Ontwikkelen van een methodologische aanpak, inclusief hulpmiddelen (zoals serious games) om samen tot afgewogen besluiten te komen die, ondanks verschillende belangen voor alle stakeholders in een 'system of systems' setting, acceptabel zijn en die vanuit de verschillende schaalniveaus en perspectieven tot het gewenste effect leiden.	Versnelling en acceptatie van gezamenlijk te nemen besluiten over transities
b. Populaire methodiek voor uitleg complexiteit energietransitie (Jip & Janneke vertaler) Voorbeeldenboek en interactieve visualisaties om de complexiteit van het energiesysteem en de consequenties van keuzes op een heldere en begrijpelijke wijze uit te leggen aan niet-energie deskundigen.	Helder inzicht in de impact die keuzes hebben voor geïnteresseerde leken.

2. Inrichting infrastructuur	
Kennis en innovatieopgave	impact
<p>a Ontwerpmethodiek infrastructuur Ontwerpmethode techno/economisch voor het optimaal ontwerp (het hoe) van een samenhangend keten van integrale (hybride/multi-commodity) energie-infrastructuren, zowel bestaande als nieuwe (o.a. gasinfrastructuur), inclusief keuze van verschillende energiedragers op verschillende schaalniveaus (wijk/regio/gebied/land/EU) en grootschalige inkoppeling duurzame energie.</p>	<p>Een kosten-efficiënte inrichting van het energiesysteem en een uitvoerbare energietransitie.</p>
<p>b Ontwerpmethodiek warmtenetten Ontwerp van 4^{de} generatie warmtenetten en bepalen hoe deze geïntegreerd kunnen worden in een energiesysteem en het gebied. Specifiek voor de Nederlandse situatie en afhankelijk van de specifieke regio.</p>	<p>Helder beeld van de inzet van warmtenetten binnen een geïntegreerd (multi-commodity) energiesysteem voor een weloverwogen invulling van warmtevoorziening op verschillende schaalniveaus in Nederland.</p>
<p>c Simulatiemodel hybride infrastructuur Tools voor analyse infrastructuur, inclusief toepassingspotentieel van flexibiliteitsopties (zoals conversie en opslag, demand-response, hybridisering) voor systeemfuncties op verschillende tijdschalen, capaciteit en vermogens. Inpassing en toepassing van combinaties van energiedragers (grootschalig, warmte, frequentiestabiliteit, seizoensopslag).</p>	<p>Helder beeld van opties voor de infrastructuur, inclusief de inzet van conversie en opslag in het energiesysteem.</p>
<p>d Testfaciliteiten/digital twinning hybride infrastructuur Gebruik maken van bestaande en/of nieuwe aan systeemintegratie gerelateerde testfaciliteiten en laboratoria om de ontwikkelingen van innovaties sneller in praktijk te kunnen toepassen. Hardware in the loop.</p>	<p>Versnellen en verbeteren van implementaties van infrastructuren tijdens de ontwikkeling en beter management bij operationalisering</p>

3. Flexibel en digitaal	
Kennis en innovatieopgave	impact
<p>a) Simulatietool voor flexibiliteitsopties Tools voor analyse van potentiële impact van flexibiliteit op energie infrastructuren en energie markten, van lokaal tot NW-Europees niveau en op verschillende tijdschalen Tools voor het bepalen van de beste manier voor het ontsluiten van flexibiliteit: welke marktmechanismen, informatievoorziening, rol van aggregatoren enz.;</p>	<p>Versnelde inpassing van flexibiliteitsopties in het systeem en optimale keuze flexibiliteitsopties.</p>

<p>b) Management van integrale warmtenetten <i>Intelligente efficiënte systemen voor dagelijks beheer van energiesystemen, rekening houdend met verschillende omstandigheden, brandstoffen en systeem lay-out voor karakteristieke Nederlandse situaties.</i></p>	<p><i>Het beter kunnen realiseren van hybride infrastructuren waar het nodig is slimmer te sturen/managen voor de inpassing van verschillende warmtebronnen of grotere hoeveelheden intermitterende (duurzame) bronnen</i></p>
<p>c) Management van flexibiliteit in hybride energiesystemen <i>Ontwikkelen van mechanismen (technieken, markten, prijsinstrumenten, regelgeving) waarmee benodigde flexibiliteit kan worden geactiveerd en afgestemd tussen bronnen en doelen. Forecasting en monitoring van beschikbaarheid flexibiliteit, te verwachten vraag en aanbod als input voor tactische en operationele beslissingen in het energiesysteem. Ontwikkelen van een merit order curve voor flexibiliteit. Ontwikkelen van mechanismen (technieken, markten, prijsinstrumenten, regelgeving) waarmee benodigde flexibiliteit kan worden geactiveerd en afgestemd tussen bronnen en doelen</i></p>	
<p>d) Architectuur en standaarden voor een veilige, robuuste en veerkrachtige digitale infrastructuur <i>Analyse benodigde digitalisering voor systeemintegratie tijdens de energietransitie. Articuleren van eisen aan de digitalisering (flexibiliteit, versnelde (inter)nationale integreerbaarheid, cybersecurity, robuustheid, veerkracht, standaardisatie). Uitwerken van (referentie)architecturen, standaarden/standaardisatie-agenda, standaardisatie van transparante en open interfaces, afspraken en governance met oog voor publieke waarden.</i></p>	<p><i>Kosten-efficiënte opschaling van het energiesysteem waardoor de energietransitie word versneld. Voorkomen van obstakels door ad hoc digitalisering.</i></p>
<p>e) Overzicht, inzicht en controle in een zelfsturend decentraal energiesysteem <i>Raamwerk voor monitoring van het Nederlandse geneste energiesysteem door toepassing van o.a. digital twinning, rijke dataverzameling en data-analyse voor optimalisatie, detectie van afwijkingen en zelfherstellend vermogen. Gedistribueerde multi-objective control voor het multi-commodity energiesysteem. Ontwerp van randvoorwaarden (uitlegbaarheid, aansprakelijkheid en borging van democratische, eerlijke en inclusieve principes) bij ingrijpen/beïnvloeden van het energiesysteem met algoritmes. Uitrusten van het decentrale energiesysteem met sensoren en actuatoren (IoT en AI) om afwijkingen te herkennen en bij te sturen. Hoe kunnen IoT/cloud/edge algoritmes versneld en uitlegbaar worden getraind met doorontwikkende AI methoden?</i></p>	<p><i>Totaalbeeld van de digitale infrastructuur en inzicht in en grip op het Nederlandse energiesysteem.</i></p>
<p>f) Organisatie voor het verzamelen en delen van energiedata <i>Regelgeving, beleid, rollenmodel, afspraken, standaarden, interfaces en technische invulling voor het doelgericht en uitlegbaar delen en verzamelen van data. Welke energiedata moet/mag niet of juist wel gedeeld, verzameld en opgeslagen onder welke voorwaarden en door wie? En wie mag erbij? Informatie delen en verzamelen tussen partijen en/of devices in het energiesysteem eenvoudig, effectief en acceptabel maken door interoperabiliteit, veiligheid, controleerbaarheid. Voorkomen van vendor lock-in.</i></p>	<p><i>Ten behoeve van integratie en robuuste werking van het energiesysteem energiedata delen, verzamelen en toegankelijk maken onder voorwaarden.</i></p>

4. Marktmechanismen	
Kennissen en innovatieopgave	impact
<p>a) Businessmodellen en verdienmodellen flexibiliteitsdiensten <i>Analyse en ontwerp van business- en verdienmodellen voor flexibiliteitsdiensten. Analyse van de benodigde flexibiliteitsproducten,</i></p>	<p><i>Inzicht in levensvatbare diensten rond flexibiliteit met bijbehorende business processen, standaarden</i></p>

dienstconcepten, business processen, rollen, informatie-uitwisseling, Value cases met afspraken over data-deling en informatiestandaarden.	
<p>b) Dynamische simulatiemodellen energiemarkten en marktmechanismen Modellen voor analyse impact van de werking van bestaande marktmechanismen op de ontwikkeling, beheer en gebruik van het geïntegreerde energiesysteem. Ontwerp marktmechanisme met de juiste prikkels (kostenveroorzaking, CO₂-reductie, globale optimalisatie), dat knelpunten voorkomt en flexibiliteit mee neemt. Modellen houden rekening met dynamisch gedrag in de tijd en consequenties van marktmechanismen op het gedrag (feedback loop).</p>	Inzicht in levensvatbare diensten rond flexibiliteit met bijbehorende business processen, standaarden
<p>c) Governance Analyse naar de optimale combinatie van marktontwerp, regulering en energie gerelateerde beleidsinstrumenten met goed werkende incentives om te komen een raamwerk met juridische randvoorwaarden waarbinnen actoren hun keuzes maken.</p>	Inzicht in een raamwerk met juridische randvoorwaarden waarbinnen actoren keuzes maken bijvoorbeeld levensvatbare diensten rond flexibiliteit met bijbehorende business processen en standaarden.
<p>d) Nieuwe ontwerpen van business modellen rond energie Analyse knelpunten rond samenwerkingen en business modellen die wenselijke keuzes onhaalbaar maken. Nieuwe samenwerkingsvormen (inclusief set aan bevoegdheden) en businessmodellen die (met split incentives op verschillende schaalniveaus). Organisatie concepten voor energiegemeenschappen</p>	Inzicht in levensvatbare diensten rond flexibiliteit met bijbehorende business processen, standaarden

5. Onderbouwde keuzes energiesysteem	
Kennis en innovatieopgave	impact
<p>a) Strategisch afwegingskader hybride en duurzaam energiesysteem Inventarisatie van leidende principes t.a.v. inrichting, beheer en gebruik energiesysteem. Ontwikkeling afwegingskaders voor geïntegreerde energiesystemen. Inventarisatie potentie van benutting synergie tussen verduurzaming industrie, gebouwde omgeving, mobiliteit, energiesector en landbouw. Analyse welke bron / energiedrager in te zetten voor welk doel. Strategie om met hybride mix te komen tot een haalbaar ontwikkeling van nu naar 2050</p>	Strategische context bepalen voor Nederland hoe om te gaan met sector koppeling, keuzes van energiedrager(s) en bijbehorende infrastructuur, huidige (fossiele) productiemiddelen en interconnecties met het buitenland.
<p>b) Positionering en samenwerking Noord-Europa Inventarisatie synergiemogelijkheden en kennisbasis in Europa en waar zinvol daarbuiten. Leidende principes voor strategische samenwerking, positionering en synergie met Europa.</p>	Kennisdeling en samenwerking met partijen in NW Europa. Positionering van Nederland in het NW-Europese energiesysteem.
<p>c) Energie informatie in een open gestandaardiseerde data-infrastructuur Systeem voor het op een eenduidige en transparante wijze vastleggen van informatie over energie-infrastructuur, energieverbruik, energieproductie, potentieel duurzame energie. Deze data-infrastructuur</p>	Uniforme transparante (open) informatie over het huidige systeem verbetert de kwaliteit

vormt de feiten-gebaseerde basis voor de rekenmodellen en analyse tools.	van de analyses van transitie en maakt de aannames inzichtelijk.
d) Simulatie- en optimalisatie-modellen energietransitie-paden Simulatie en optimalisatie modellen en tools voor het verkennen van de transitiepaden waarmee complexe afhankelijkheden, impact en risico's en onzekerheden van energietransitie-keuzes in plaats en tijd inzichtelijk maken op verschillende schaalniveaus.	Sneller en beter onderbouwde en samenhangende keuzes maken in transitie, kosten-efficëntie en -effectiviteit verhogen.
e) Afwegingskader regionale energie transitie Het ontwikkelen van tools waarmee de keuzes in een energie-transitie-scenario met elkaar te vergelijken zijn. Afwegingen maken op basis van energie en klimaat, economie, maatschappij en verplaatsingseffecten. Het gaat hierbij om integrale afwegingen dus inclusief interregionale (RES) afhankelijkheden, en relatie met en tussen industriële verduurzamingsplannen en plannen voor verduurzaming mobiliteit. Deze besluitvormingsinstrumenten zijn tevens in staat om lokale schaal aan regionale en grotere schaal te koppelen.	

6. Praktijkcases	
Kennis en innovatieopgave	impact
Waar mogelijk worden kennisvragen toegepast in praktijkcases	Verbeterde implementatie in de praktijk

7. Integratie	
Kennis en innovatieopgave	impact
a) Concepten voor integratie Welke methodes en technieken zijn bruikbaar in de energiesector en energietransitie die in staat zijn om het 'system of systems' karakter van het integrale energiesysteem adequaat te beschrijven.	Methodes en technieken waarmee integrale problemen en thema 's geanalyseerd en beschreven kunnen worden.
b) Geïntegreerd ecosysteem van systeemintegratie-tools Afstemming, afgestemde uitgangspunten, afspraken, governance, architectuur, standaarden voor semantische en- datamodelen en interfaces voor een samenhangende en samenwerkende set van tools. Suite van tools die beschikbaar is via een dashboard waarin de verschillende tools modulair beschikbaar zijn.	Samenhangende suite van tools die onderling goed samenwerken en die tezamen eenduidig ondersteuning biedt bij keuzes rond ontwerp en management van het energiesysteem
c) Fysieke plek om samen te werken Plek om fysiek samen te komen met programma-partners en andere partijen. Plaats waar demonstraties zijn opgesteld van de resultaten van het MMIP. Bedoeld voor overleg, brainstorm, presentaties, afstemming. Goed bereikbaar in het midden van het land.	Fysieke plek zorgt voor betere samenwerking en afstemming tussen partijen en projecten.

<p>d) Gebundelde afstemming met energiepartijen binnen en buiten het programma Eenduidige afstemming (strategisch/tactisch/operationeel) en communicatie tussen partners en met partijen buiten het programma vanuit de missie en doelstellingen van het programma.</p>	<p>Samenhangend programma van projecten vanuit de missie van het MMIP</p>

8. Wetenschappelijk programma

Het volgende hoofdstuk beschrijft het wetenschappelijke programma, zoals deze in een NWO/Topsector call zullen worden uitgezet.

1. Samen beslissen en vormgeven
<p>a) Methodologie voor multi-stakeholder besluitvorming</p> <p>Hoe kunnen partijen (o.a. bewoners, industrie, energiesector, politiek) samen tot beslissingen komen voor het super-wicked-problem*) in een geïntegreerde genest energiesysteem (verschillende niveaus: individueel, collectief, lokaal, regionaal, nationaal, Europees), en tussen eenheden op hetzelfde niveau (tussen partijen, regio's, enz.)</p>
2. Inrichting infrastructuur
<p>a) Ontwerpmethodiek infrastructuur</p> <p>Hoe kan een multi-commodity/hybride/multiscale infrastructuur ontworpen worden? Welke ontwerpprincipes en afwegingen spelen hierbij een rol. Op basis van welke criteria moet een ontwerp beoordeeld worden? Hoe kan het ontwerp gemodelleerd/gesimuleerd/geoptimaliseerd worden op verschillende schaalniveaus?</p>
<p>b) Ontwerpmethodiek warmtenetten</p> <p>Hoe kan een kosteneffectief en duurzaam lage-temperatuur-warmtenet met meerdere hernieuwbare warmtebronnen en warmteopslag ontworpen worden? Hoe kan het ontwerp gemodelleerd/gesimuleerd/geoptimaliseerd worden en geïntegreerd worden met andere energiesystemen?</p>
<p>c) Simulatiemodel hybride infrastructuur</p> <p>Tools voor analyse infrastructuur, inclusief toepassingspotentieel van flexibiliteitsopties (zoals conversie en opslag, hybridisering) voor systeemfuncties op verschillende tijdschalen, capaciteit en vermogens. Inpassing en toepassing van combinaties van energiedragers (grootschalig, warmte, frequentiestabiliteit, seizoensopslag).</p>
3. Flexibel en digitaal
<p>a) Simulatietool voor flexibiliteitsopties</p>

<i>Hoe ontwikkel je een systeemmechanisme voor flexibiliteit met bijbehorend afsprakenstelsel vanuit een macroscopische analyse van behoefte aan en potentiële beschikbaarheid van flexibiliteit op verschillende tijdschalen en tijdstippen rekening houdend met verschillende marktmechanismen en sets aan regelgeving?</i>
b) Management van integrale warmtenetten
<i>Intelligente efficiënte systemen voor dagelijks beheer van warmtesystemen, rekening houdend met verschillende omstandigheden, brandstoffen en systeem lay-out voor karakteristieke Nederlandse situaties.</i>
d) Overzicht, inzicht en controle in een zelfsturend decentraal energiesysteem
<i>Hoe ontwerp en monitor je een gedistribueerd multi-objective (zoals vraag, aanbod, capaciteitsmanagement) regelsysteem voor het geneste, multi-commodity energiesysteem. Welke monitoring, control en zelfherstelling is nodig en hoe moet deze worden ingericht? Hoe wordt het verbonden, eerlijk zelfsturend decentraal energiesysteem overzichtelijk, inzichtelijk en beheersbaar, in technische en niet-technische aspecten? Hoe kan (inter)nationale integratie van decentrale energiesystemen (zoals EV laadinfrastructuur) versneld worden gerealiseerd? De virtuele invulling van de “control room of the future”.</i>
e) Organisatie voor het verzamelen en delen van energiedata
<i>Onder welke voorwaarden en hoe/waar kan energiedata op een eenduidige en transparante wijze worden verzameld/gedeeld/verwerkt/opgeslagen ten dienste van een betaalbaar energiesysteem waarin belangen op een juiste wijze worden gewogen? Hoe kunnen IoT/cloud/edge algoritmes versneld en uitlegbaar worden getraind met door-ontwikkeldende AI methoden?</i>
4. Marktmechanismen
b) Dynamische simulatiemodellen energiemarkten en marktmechanismen
<i>Hoe zien integrale en adaptieve marktmechanismen eruit, inclusief regelgeving waarin de verschillende KPI's (stabiliteit/kosten/acceptatie/duurzaamheid) in de juiste verhouding zijn meegenomen, dat drempels voor de transitie wegneemt, dat flexibiliteit meeneemt en dat stuurt op lagere CO₂-uitstoot en kostenveroorzaking.</i>
<i>Ontwikkeling van dynamische marktmodellen die dynamisch gedrag in de tijd en consequenties van marktmechanismen op het gedrag (feedback loop) in acht nemen. Wat zijn de randvoorwaarden ten aanzien van regulering om dit marktmechanisme mogelijk te maken?</i>
5. Onderbouwde keuzes energiesysteem
d) Simulatie- en optimalisatie-modellen energietransitie-paden
<i>Nieuwe generatie van dynamische energie-transitiemodellen passend bij het ‘system of systems’ karakter van het toekomstige energiesysteem voor analyse en optimalisatie van energie-transitiepaden waarmee complexe afhankelijkheden en risico's en onzekerheden van energietransitie-keuzes in plaats en tijd inzichtelijk worden gemaakt op verschillende schaalniveaus. Inclusief keuzes ten aanzien van welke bron/energiedrager in te zetten voor welk doel voor het pad naar 2050 en inclusief keuzes voor de invulling van warmtevoorziening.</i>

f) Afwegingskader regionale energie transitie
<i>Nieuwe generatie van agent-based economische modellen ten behoeve van beleidskeuzes op verschillende schaalniveaus die rekening houden met non-rationaliteit en onvolledige geïnformeerdeheid van beslissers in het energie systeem tijdens de transitie.</i>
7. Integratie
a) Concepten voor integratie
<i>Welke methodes en technieken zijn bruikbaar in de energiesector en energietransitie die in staat zijn om het 'system of systems' karakter van het integrale energiesysteem adequaat te beschrijven.</i>
b) Geïntegreerd ecosysteem van systeemintegratie-tools
<i>Ontwerp en ontwikkeling van een suite van samenwerkende tools, modellen en methodieken uit clusters 1-5, door alignment, integratie en standaardisatie van programmaresultaten.</i>