

# AI ALS VERSNELLER VAN DE ENERGIETRANSITIE

Kansen voor een CO<sub>2</sub>-vrij energiesysteem

# INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>AI als versneller van de energietransitie</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>De impact van AI</b>	<b>5</b>
2.1	Besluitvormingsondersteuning voor complexe, strategische keuzes	
2.2	Operationele optimalisatie van productie, consumptieflexibiliteit en distributie	
2.3	Wisselwerking tussen gebruikers en energiesysteem	
2.4	Onderhoud	
2.5	Energiezuinige AI	
<b>3</b>	<b>AI innovatie-uitdagingen voor de energietransitie</b>	<b>12</b>
3.1	Machine learning	
3.2	Planning, optimalisatie- en zoekalgoritmen	
3.3	Autonome (agent)systemen	
3.4	Computer vision	
3.5	Interactie tussen AI, verschillende AI-systemen onderling en de mens	
3.6	Data	
<b>4</b>	<b>Nederland als lab voor de energietransitie</b>	<b>15</b>
4.1	Faciliteren van innovatie	
4.2	Nederland als lab	
<b>5</b>	<b>Hoe nu verder?</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Bronnenlijst</b>	<b>18</b>

**Appendix 1 Twee concrete plannen op weg naar invulling van de visie**

**Appendix 2 Analyse domeinuitdagingen op basis van MMIP 1-5, 13**

# 1 AI ALS VERSNELLER VAN DE ENERGIETRANSITIE

Nederland wil in de komende 10 jaar grote stappen zetten in de hoeveelheid geproduceerde hernieuwbare energie en de elektrificatie van de warmtevraag en mobiliteit. Deze wens vereist een complete en zeer complexe omslag in het energiesysteem, de [energietransitie \(GasUnie & TenneT, 2020 en 2021\)](#). Hierbij heeft Nederland veel aandacht voor betrokkenheid van de regio's en de verschillende belanghebbende partijen in deze transitie. Dit verhoogt de complexiteit in de besluitvorming.

Artificiële Intelligentie (AI) kan een belangrijke bijdrage leveren aan het versnellen van deze energietransitie, onder andere door:

- Het met AI ondersteunen van (regionale) plan- en besluitvorming waarbij rekening wordt gehouden met verschillende factoren, diepe onzekerheden, de vele belanghebbenden, adaptieve investeringen, en de impact van het gehele energiesysteem op de omgeving;
- Het beter benutten van de bestaande energie-infrastructuren en de interactie tussen energiedragers, waar nu al steeds meer gebieden op slot gaan vanwege congestie. Hier kan AI, in combinatie met een aanpassing van de regels, zorgen voor lagere investeringen en kortere doorlooptijden.
- Het bieden van AI-ondersteuning aan verschillende partijen (bedrijven, prosumers, consumenten) om energieservices (levering, opslag, conversie, flexibele consumptie) te leveren of slimmer energie te consumeren.
- Het voorspellen en anticiperen van onderhoud en het automatiseren van inspectie en onderhoud, met name op moeilijk te bereiken plekken (denk aan windturbines ver op zee door middel van drones of leidingen van het gasnetwerk door middel van kleine robots).

Wereldwijd zal het fossiele centrale energiesysteem veranderen in een deels decentraal systeem op basis

van hernieuwbare energie. Hierdoor zal de winning van energie in de toekomst sterk leunen op fluctuerende en niet perfect voorspelbare en controleerbare bronnen als wind en zon. Deze variabiliteit zorgt voor een behoefte aan energieopslag en vraagsturing, waarbij eindgebruikers een actievere rol spelen in het energiesysteem. Om deze transitie mogelijk te maken, zijn nieuwe businessmodellen essentieel.

Bij veel van deze wereldwijde ontwikkelingen kan AI een belangrijke rol spelen: bij het voorspellen van de opbrengst van zon- en windenergie en van de energievraag, maar ook bij het gebruik van (real-time) data (denk aan ANALYSIS: Artificial Intelligence – from Hype to Reality for the Energy Industry, 2020). Vervolgens worden voorspellingen en data gebruikt bij zowel het operationeel als het strategisch management: AI maakt autonome sturing van onderdelen van een grootschalig systeem mogelijk met onderdelen die adaptief en zelflerend zijn, en AI draagt bij aan het ondersteunen van strategische beslissingen met betrekking tot een dergelijk systeem, waarbij verschillende belangen spelen.

Goede oplossingen, die voor de energietransitie in Nederland worden ontwikkeld, kunnen wereldwijd ingezet en dus geëxporteerd worden. Het is dan ook belangrijk om te zorgen dat de Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen met AI voor deze nieuwe uitdagingen aan de slag gaan.

Nederlandse bedrijven pakken deze kansen op dit moment onvoldoende op. Dit is verklaarbaar doordat de energietransitie zeer dynamisch is en successen van mogelijke oplossingen sterk van elkaar afhangen. Individuele, lokale innovaties hebben pas waarde als ook de rest van het energiesysteem is omgevormd. De snelheid waarmee de veranderingen plaats gaan vinden en de opzet en structuur van het energiesysteem in de toekomst zijn niet duidelijk en veroorzaken grote onzekerheden bij bedrijven in de energiesector. Ook is niet voor iedere partij hun belang in de transitie duidelijk en overstijgt het gemeenschappelijk belang van de energietransitie deze individuele belangen.

Daarom is regie nodig om integratie van innovaties mogelijk te maken en de ontwikkeling hiervan te ondersteunen totdat er meer zekerheid is over hoe een intelligent CO<sub>2</sub>-vrij energiesysteem eruit zal zien. Maar dat er zo'n energiesysteem moet komen leidt geen twijfel.

Dit document beschrijft een langetermijnvisie op de kansen en innovatie-opgaven voor AI om bij te dragen aan de energietransitie. Hierbij wordt niet voor een specifiek scenario of specifieke visie gekozen, maar gekeken naar de verschillende mogelijkheden, afgeleid van onder andere de integrale kennis- en innovatieagenda voor de energietransitie. Het is geschreven als uitgangspunt voor discussies met stakeholders, als basis voor het definiëren van calls (bijvoorbeeld in het kader van het AiNed Investeringsprogramma (2019)), en het vormen van consortia.

Deze analyse begint bij de missies A en B van de integrale kennis- en innovatieagenda (IKIA) (2019), te weten een volledig CO<sub>2</sub>-vrij elektriciteitssysteem en een CO<sub>2</sub>-vrije gebouwde omgeving in 2050 (Klimaatakkoord, 2019).<sup>1</sup>

In dit document presenteren we onze analyse van de kennis- en innovatieopgaven, onder andere op basis van de beschrijvingen van de meerjarige missie gedreven innovatieprogramma's (MMIP) 1-5 en 13 welke horen bij missies A en B, en de mogelijke bijdrage van (innovaties in) AI aan deze missies. Het gaat hierbij om beslissingsondersteuning bij investeringen in het energiesysteem, het maken van operationele (en soms real-time) keuzes voor de operatie van het systeem (denk aan smart grids), het organiseren van de flexibiliteit, het automatiseren van onderhoud, en het reduceren van energiegebruik.

---

1. De missies C, D en E zullen worden opgenomen in vervolgdiscussies over AI en duurzaamheid.

Na het identificeren van de AI-opgaven gerelateerd aan deze missies, analyseren wij deze opgaven aan de hand van de volgende vragen:

1. Wat zijn de (MMIP-doorsnijdende) opgaven waar AI de meeste impact kan hebben, bijvoorbeeld omdat de opgave niet (of minder goed) gerealiseerd kan worden zonder AI?
2. Wat zijn de AI-uitdagingen bij deze opgaven? Welke AI-technieken kunnen hiervoor gebruikt of aangepast worden, rekening houdend met relevante nationale en Europese kaders en richtlijnen? Welk deelgebied van de AI is hiervoor relevant?
3. Wat is er nodig om kennisontwikkeling en innovatie met betrekking tot deze AI-opgaven te versnellen?

## 2 DE IMPACT VAN AI

Het gebruik van AI voor de opgaven benoemd in de MMIP's (zie Appendix B) heeft grote gevolgen voor de organisatie van het energiesysteem, de omgeving (inpassing in de ruimte) en voor de manier waarop energie gebruikt wordt (door industrie en in de gebouwde omgeving). Hoewel uiteindelijk alles met elkaar samenhangt, bespreken we hieronder in aparte secties de opgaven met betrekking tot strategische keuzes (investeringsbeslissingen, ontwerp, maatschappelijke afwegingen), operationele optimalisatie, interactie met gebruikers, onderhoud en het reduceren van het gebruik van energie door AI-methoden.

Bij de inzet van AI in een systeem dat zo essentieel is voor onze maatschappij als het energiesysteem, is het van belang om rekening te houden met generieke randvoorwaarden voor AI zoals privacy, security, betrouwbaarheid, uitlegbaarheid, accountability, en resilience. Soms kan AI ook weer bijdragen aan de bescherming van deze processen. In dit document richten we de analyse tot opgaven die specifiek zijn voor de energietransitie.

### 2.1 Besluitvormingsondersteuning voor complexe, strategische keuzes

De energietransitie vereist beslissingen (investeringsbeslissingen, ontwerp, maatschappelijke afwegingen) in een onzekere en complexe omgeving, met veel stakeholders met verschillende, soms tegenstrijdige belangen. Energiesystemen worden over het algemeen ontwikkeld voor de lange termijn (30 jaar of meer), zijn zeer kapitaalintensief en hebben in veel gevallen ook grote impact op andere keuzes die nu of in de toekomst moeten worden gemaakt (bijvoorbeeld een groot windmolenpark heeft effect op mogelijkheden voor visserij, een warmtenet op de temperatuur van nabijgelegen drinkwaterleidingen, en vice versa).

De complexiteit van deze afwegingen wordt steeds groter door de toenemende integratie tussen de energiesystemen van verschillende energiedragers, de toenemende druk op het ruimtegebruik en het toenemend aantal

stakeholders in het besluitvormingsproces (Geothermie in de Gebouwde Omgeving, 2021). In deze situatie moeten besluiten worden genomen op basis van onzekerheid in **data** (bijvoorbeeld ondergronddata) en in **voorspellingen** (bijvoorbeeld toekomstige warmte- of energieafname) en soms zelfs structurele onzekerheid (welke is überhaupt het juiste model, zoals bij sociale factoren). Deze besluiten moeten worden genomen op verschillende plaatsen in de keten, waarbij beslissings- en afwegingscriteria afhankelijk zijn van de stakeholder. AI kan op verschillende punten ondersteunen bij het omgaan met de complexiteit van dit soort beslissingen en de extreem grote scenarioruimtes.

#### 2.1.1 Afwegingsmodellen en beslissingsondersteuningstools

Om tot robuuste en gedragen beslissingen te komen, zijn afwegingsmodellen en beslissingsondersteuningstools nodig die inzichtelijk maken welke oplossingen mogelijk zijn in een specifieke situatie.

Besluitvormingsondersteuning met behulp van AI kan bijdragen aan de energietransitie door de grote complexiteit aan data en informatie te presenteren, interpreteren en oplossingsroutes voor te stellen op basis van doelstellingen, onzekerheidsanalyse, randvoorwaarden en risico's.

Voorbeelden zijn (met tussen de haakjes een verwijzing naar de relevante MMIP's):

- Beslissingsondersteuning en tools voor investeringen in een geïntegreerd energiesysteem, zoals waar infrastructuren voor verschillende energiedragers kunnen worden gekoppeld;
- Beslissingsondersteuning en tools voor ketencommunicatie rond de regionale energiestrategieën (RES), bijvoorbeeld beslissingsondersteuning voor ontwerp van collectieve warmtenetten, in het bijzonder met duurzame warmtebronnen zoals geothermie, biomassa en lage-temperatuurbronnen in combinatie

met seizoensopslag van warmte, waarbij zowel ondergrondse als bovengrondse aspecten van belang zijn, inclusief scenariovorming en gevoeligheidsanalyses en belangenafwegingen van meervoudig ruimtegebruik (4.4-4.7, 5.2, 13.1, 13.2, 13.3);

- Beslissingsondersteuning voor renovatie van individuele gebouwen (isolatie, elektrificatie, warmteopslag, ventilatie), validatie en verbeteren van renovatieconcepten door gebruik van data, inzicht in de huidige energetische toestand van de woning en inzicht in praktijkkosten van renovatie, rekening houdend met circulariteitsambities zoals koolstofemissies en koolstof in bouwmaterialen en met eventuele problemen ten aanzien van de beschikbaarheid van (kritische) materialen (2.2a, 3.1-3.3, 4.2);
- Het ondersteunen van investerings- en systeemallocatie-vraagstukken in een onzekere en complexe omgeving, met veel stakeholders met verschillende, soms tegenstrijdige belangen (5.3, 13.1), coördinatie en afweging ruimtelijke ordening ondergrond en bovengronds (5.4, 13.2); denk hierbij bijvoorbeeld aan besluiten over de locaties van hernieuwbare bronnen, opslag (batterijen) of conversie (waterstofcentrales), rekening houdend met circulariteitsambities en beschikbaarheid van materialen.

### 2.1.2 Data-ontsluiting en datadeling

Om gezamenlijk besluiten te nemen in de keten is het essentieel om toegang te hebben tot betrouwbare basisgegevens (13.2). Voorbeelden zijn:

- Inzicht in ruimte en toestand van de ondergrond ten behoeve van infrastructuur voor nieuwe warmte-oplossingen, van de diepe ondergrond met betrekking tot het potentieel voor geothermie en energieopslag;

- Inzicht in data met betrekking tot de ondiepe ondergrond voor ontwikkeling van (offshore) windparken;
- Real-time energieverbruik en de belangrijkste parameters die hierop van invloed zijn;
- Real-time en historische prijsinformatie als basis voor voorspellingen;
- Real-time (en voorspellend) inzicht in de belasting van elektriciteitsinfrastructuur als basis voor (investeringsbeslissingen bij) de inzet van slimme energiediensten (5.4);
- Bundelen van satellietdata, meteodata, weermodellen, klimaatverandering, resource assessment (wind en zon), real-time netwerk- en verbruiksinformatie om energieproductie en -vraag effectief en optimaal af te stemmen (2.2.1);
- Verbeterd inzicht in praktijkkosten van renovatie voor validatie en verbetering van renovatieconcepten (3.1-3.3);
- Beschikbaarheid en leveringszekerheid van materialen en componenten essentieel voor de technische infrastructuur die bij een energietransitie wordt opgebouwd;
- De gezamenlijke scenarioruimte en hun gebruik.

### 2.1.3 Voorspellen van interactie van het energiesysteem met de omgeving en vice versa

Een ingrijpende verandering van het energiesysteem kan ook ingrijpende gevolgen hebben voor de omgeving en omgekeerd. Het is belangrijk om hier goed inzicht in te hebben. Bijvoorbeeld:

- Het begrijpen en beheersen van de ondergrond en milieu-impact op bodem en/of water bij warmteopslag, geothermie of aquathermie (4.5, 4.6);
- Voorspellen en inspelen op vogeltrek;

- Monitoring, voorspellen en inspelen op omgevingsimpact, zowel gedurende installatie als tijdens gebruik;
- Onderzoek naar zon, wind-, golf- en stromingsklimaat, inclusief de wederzijdse beïnvloeding (1);
- Invloed op de leefbaarheid van de omgeving (bijvoorbeeld slagschaduw, geluidsoverlast);
- Invloed van de omgeving en ondergrond op de doorlooptijd en kosten van de installatie van nieuwe onderdelen van het energiesysteem (bijvoorbeeld aanleggen warmtenet, of heipalen voor windparken);
- Het begrijpen en voorspellen van het gedrag van burgers en bedrijven.

#### 2.1.4 Data-analyse en ondersteuning voor ontwerpverbetering

AI en data kunnen ondersteunen bij het verder verbeteren van technieken rondom duurzame opwekking. Denk hierbij aan het simuleren en automatisch evalueren van ontwerpen. Dit kan bijvoorbeeld bijdragen aan:

- Het ontwerpen van stillere turbines en meer aerodynamische bladen (2.2b, 2.2c);
- Het verbeteren van ontwerp van warmtepompen en van thermische opslag (4.1, 4.3);
- Het optimaliseren van het ontwerp van zon of wind naar opbrengst en locatie. Het gaat daarbij om instraling, albedo effect, koeling, vervuilingaspecten en de effecten van golfbewegingen op de opbrengst;
- De ketenoptimalisatie van zonne- en windenergie: van ontwerptools en het gebruik van visualisatiesoftware, ontwerp van zonnepanelen wat betreft de levensduur; het verlagen van de kosten voor het produceren en assembleren van het bouwdeel, inclusief zonnestroomfunctie;
- De optimalisatie van de transport en installatiekosten van het systeem, de kosten voor exploitatie en onderhoud, en de kosten voor ontmanteling en hergebruik van (onderdelen van) het systeem (2.1);

- Het analyseren van systeembrede implicaties van ontwerpkeuzes en het optimaliseren van systeemontwerp met betrekking tot de kosten van de hele levenscyclus en gebruik van kritische materialen.

#### 2.1.5 AI-uitdagingen

Bij *strategische keuzes* (zowel voor het energiesysteem als individuele gebruikers) is de horizon veel verder weg, zijn er grotere onzekerheden en onbekenden, is er meer tijd om te beslissen, en is de interactie met menselijke beslissers en gebruikers erg belangrijk, en spelen er vaak vele verschillende belangen tegelijkertijd die tegen elkaar moeten worden gewogen.

Om de integrale afwegingen met betrekking tot de energietransitie efficiënt te adresseren, moet er rekening worden gehouden met een groot aantal factoren en criteria (bijvoorbeeld wendbaarheid/no regret). Onzekerheid in beleid, kostenontwikkeling, vraagontwikkeling, onzekerheid in data (zoals ondergrond), eigenaarschap van data, verandering in businessmodellen en onzekerheid in voorspellingen moeten expliciet worden meegenomen in het besluitvormingsproces, waarnaast ook nog eens complexe maatschappelijke afwegingen moeten worden gemaakt.

Deze integrale afwegingen hebben betrekking tot verschillende energiesystemen (elektriciteit, waterstof, (methaan)gas, warmte) en AI kan bijdragen om de gekoppelde modellen van die verschillende systemen op een effectieve en schaalbare wijze in te zetten bij de besluitvorming. In sommige gevallen zijn er verschillende modellen die een poging doen hetzelfde te beschrijven, maar met een andere visie of op een ander detailniveau. AI kan ook hier helpen, bijvoorbeeld om modeluitkomsten met elkaar te vergelijken en uitkomsten uit te leggen aan de gebruikers.

Dit vereist de ontwikkeling van nieuwe kennis en tools voor beslissingsondersteuning, evenals betrouwbare data en data-interpretaties, en tools voor efficiënte informatie-uitwisseling in de ontwikkelings- en gebruiksketen.

## 2.2 Operationele optimalisatie van productie, consumptieflexibiliteit en distributie

In het energiesysteem was tot voor kort de vraag naar energie leidend. De aansturing van het aanbod werd centraal bepaald, in een constellatie van (elektriciteits) markten, leidend tot een beslissing over de productie in de centrales van een beperkt aantal grote producenten. De overgang naar hernieuwbare bronnen betekent dat de centrale aansturing van het aanbod noodgedwongen niet meer domineert maar wordt overgenomen door een deels gedistribueerd besturingssysteem dat wisselende productie, conversie, opslag en afname bijeenbrengt. Dit maakt het goed voorspellen hiervan en snel reageren hierop erg belangrijk. De verdere elektrificatie van een deel van ons energieverbruik (voor verwarming, door de industrie, voor mobiliteit) zorgt bovendien voor een stijgende (piek)vraag naar elektrische energie die niet gemakkelijk te bufferen is. De aansturing verplaatst van een centrale plek naar meervoudige mechanismen (deels nog te ontwerpen), meer gedistribueerd (bottom-up), geautomatiseerd, met een marktsysteem dat ook zorgdraagt voor het efficiënt voorkomen van congestie in het distributienet. Dit brengt ook nieuwe uitdagingen voor netbeheerders met zich mee rondom de regelgeving voor energiemarkten en nieuwe businessmogelijkheden.

### 2.2.1 Real-time monitoring en voorspellingen

Monitoring en voorspelling van de factoren die invloed hebben op energieproductie, energieverbruik, het effect van het energiesysteem op de omgeving, of op de kosten en betrouwbaarheid van energie kan leiden tot betere afstemming van energieproductie en consumptie. Deze voorspellingen zijn van belang op diverse tijdschalen (seconden tot dagen tot voorspelling van seizoenseffecten). De beschikbaarheid van (geaggregeerde) informatie over productie en verbruik is hiervoor essentieel.

Voorbeelden uit de MMIP's zijn gerelateerd aan het bundelen van satellietdata, meteodata, weermodellen,

klimaatverandering, resource assessment (wind en zon), real-time netwerk- en verbruiksgegevens om energieproductie en -vraag effectief en optimaal af te stemmen (2.1a). Of met betrekking tot warmtenetten, waarbij het gaat om het voorspellen van de warmtevraag, van warmteverlies in opslag en warmtenetten, en van warmteproductie van geothermie en zon, op zowel korte termijn (dagen) als om het voorspellen van de seizoenseffecten (2.2a, 4.4-4.7).

### 2.2.2 Real-time optimalisatie

Het energiesysteem van de toekomst zal multimodaal zijn (bijvoorbeeld een combinatie van een warmtenet met een (elektrische) warmtepomp), uit veel kleine en grote spelers bestaan met elk hun eigen afwegingen en belangen. Voor het efficiënt produceren en beschikbaar maken van de juiste energievorm op de juiste plaats en tijd zullen diverse systemen op elkaar aan moeten kunnen sluiten, waarbij snelle, autonome beslissingen genomen moeten worden en het geheel moet functioneren als een weerbaar, robuust systeem. Voorbeelden betreffen:

- Het optimaliseren van energiesystemen en de koppeling tussen de infrastructuur van de verschillende energiedragers, bijvoorbeeld optimalisatie van operatie/regelingen van collectieve warmte- (en koude)netten en grootschalige warmte(/koude)opslag (4.4-4.7), optimalisatie van (drijvende) hernieuwbare energiesystemen en windparken, en van opslag en conversie zoals door middel van waterstof of methaan;
- Het bewaken van de capaciteit en de balans in het elektriciteitsnet;
- Het snel kunnen reageren op veranderende omstandigheden.

Bovendien kunnen snelle methoden voor real-time optimalisatie ook bijdragen aan de beslissingsondersteunende methoden zoals beschreven in de voorgaande sectie door het effect van de strategische keuzes (bijvoorbeeld op capaciteit en balans in het elektriciteitsnet) door te rekenen.



### 2.2.3 Coördinatie

Voor het elektriciteitssysteem zijn een goede balans tussen consumptie en productie op ieder moment en het rekening houden met de capaciteitsbeperkingen van het distributienetwerk essentieel. We moeten voorkomen dat lokale optimalisaties (zie ook hieronder de flexibiliteit van gebruikers) het hele systeem kunnen destabiliseren. Flexibiliteit kan voor verschillende doelen worden ingezet en belangen van actoren kunnen parallel lopen, maar ook botsen. Er is meer inzicht nodig in de (on)gelijktijdigheid van de flexibiliteitsbehoeften. Een buurtbatterij kan bijvoorbeeld congestie veroorzaken als deze wordt ingezet om onbalans te voorkomen. Daar ligt bovendien een risico voor oneigenlijk gebruik van mechanismen (gaming).

AI kan bijdragen aan snelle en correcte coördinatie van energiesystemen. Dit omvat bijvoorbeeld het ontwikkelen van (nieuwe) marktmechanismen, nettarieven en coördinatiesystemen voor het juist beprijzen en daardoor effectief benutten van flexibiliteit uit de gebouwde omgeving en de industrie, inclusief het gebruik van adapteerbare en flexibele systemen, informatiebeschikbaarheid en veiligheid (5.3). Welke manier van coördineren leidt tot een energiesysteem dat veilig, maar ook eerlijk en inclusief is?

### 2.2.4 AI-uitdagingen

Bij *operationele optimalisatie* moeten beslissingen soms bijna real-time worden genomen, en daarom zoveel mogelijk automatisch. Menselijke operators moeten in staat zijn deze acties te monitoren, te begrijpen en waar nodig bij te sturen, of de output van een ondersteunend systeem te gebruiken in hun eigen besluitvorming. De interactie via de marktmechanismen is erg belangrijk want deze bepaalt in grote mate de efficiëntie van het gehele energiesysteem. Zowel voor het handelen in de markt als voor het matchen van vraag en aanbod kan AI bijdragen om dit zo goed mogelijk te doen in de beperkte beschikbare tijd. Onzekerheden kunnen sterk worden gereduceerd door vlotte databeschikbaarheid en voorspellingen op basis hiervan. Ook kunnen disruptieve mechanismen in de energiemarkt vroegtijdig worden opgespoord.

AI-oplossingen zijn hier geschikt om dit efficiënt te doen voor grote hoeveelheden data en het daarbij bovendien rekening te houden met afspraken rondom privacy. Tevens is de ontwikkeling van embedded AI-oplossingen die onafhankelijk kunnen zijn van cloud-infrastructuur, ook wel onder de noemer van Edge AI, hierbij van belang.

## 2.3 Wisselwerking tussen gebruikers en energiesysteem

Fluctuaties in energieproductie (zon, wind) en energievraag zullen leiden tot grotere uitdagingen in het balanceren van vraag en aanbod. Door kan door real-time flexibiliteit in het energiesysteem te realiseren, bijvoorbeeld door load management (over locaties heen) van cloud services, flexibiliteit in elektriciteitsgebruik in industriële processen, huishoudens, bedrijfsgebouwen en elektrisch laden. Dit kan worden gerealiseerd door de industriële productieprocessen stuurbaar te maken en daarbij rekening te houden met prijs en beschikbaarheid van energie, en afnemersgedrag van gebruikers te flexibiliseren en dit te ondersteunen, monitoren, te voorspellen en te sturen. Zonder flexibele gebruikers van elektriciteit is de operationele optimalisatie van een duurzaam energiesysteem een onmogelijke opgave. Deze flexibiliteit heeft op haar beurt ook weer een significant effect op de benutting van de infrastructuur. In deze sectie besteden we daarom apart aandacht aan het ondersteunen van deze gebruikers in hun interactie met het energiesysteem.

### 2.3.1 Verhogen van de energie-flexibiliteit van industrie

Relatief kleine verschuivingen in de tijd van groot verbruik van elektriciteit kunnen significant bijdragen aan het afstemmen van verbruik op hernieuwbare en daardoor variabele productie. Dit biedt kansen voor bestaande (groot)verbruikers van elektriciteit, zoals een electric arc furnace of het produceren van chloorgas.

Daarnaast zijn er ontwikkelingen om de processen van industrieën die nu nog veel CO<sub>2</sub> uitstoten te elektrificeren of anderszins aan te passen. Dit kan bijvoorbeeld door andere chemische processen te gebruiken, warmte en stoom op een andere manier te produceren, of CO<sub>2</sub> nuttig te gebruiken/converteren of op te slaan, zoals bijvoorbeeld voor bio-energie. AI kan helpen om dit direct flexibel in te richten zodat deze industrieën een bijdrage kunnen leveren aan de balans met hernieuwbare productie. Er liggen talloze uitdagingen om de soms zeer complexe industriële processen aan te sturen of zelfs opnieuw te ontwerpen: van nieuwe optimalisatiemethodes tot hybride mens-machine aansturing of het ontwerp, van bijvoorbeeld nieuwe chemische technologie.

### 2.3.2 Slimme energiediensten en flexibilisering van gebouwen en huishoudens

Voor het ontsluiten van de flexibiliteit in energiegebruik van gebouwen en huishoudens is het belangrijk om te zorgen dat slimme diensten bijdragen aan een comfortabele omgeving in gebouwen. Bovendien moet ook de interactie met deze slimme diensten prettig en gemakkelijk zijn (5.1).

- De optimalisatie van regelingen voor gebouwgebonden en ruimte-afhankelijke smart warmtevoorzieningen/opslag/ventilatie, eventueel in combinatie met elektriciteitsverbruik en eventuele opwekking (4.1-4.3, 5.1), flexibele en adapteerbare Building Energy Management Systems (5.1);
- Denk hierbij daarnaast aan allerlei oplossingen om flexibele en zelfconsumptie te vergroten (smart energy management van verwarming, koeling en opladen van elektrische auto/fiets) en om vraag en aanbod te kunnen ontkoppelen, bijvoorbeeld door opslag van warmte of elektriciteit of conversie (2.2a).

Tot slot, in sommige gevallen kan AI ook bijdragen aan het verminderen van de energieconsumptie van gebouwen, huishoudens en ook de industrie. Denk bijvoorbeeld aan het slim afschakelen van machines wanneer deze niet worden gebruikt.

### 2.3.3 Sociale-organisatorische principes, verdienmodellen en juridische kaders

Het betrekken van eindgebruikers als actieve deelnemers in het energiesysteem is essentieel, en brengt niet alleen een grotere complexiteit met zich mee met betrekking tot de technische vragen. Succes van deze oplossingsrichting hangt in grote mate ook af van sociaal-maatschappelijke normen en waarden (privacy, veiligheid, machtsverhoudingen, controle, autonomie, menselijke waardigheid en rechtvaardigheid), het hebben van een duurzaam verdienmodel en het wettelijk kader dat het mogelijk moet maken. Zoals bijvoorbeeld in kaart gebracht aan de hand van een pilot in Helmond (EnergyMatch, (2021)). Het rekening houden met deze aspecten stelt soms weer nieuwe eisen aan de AI-techniek, zoals:

- Het waarborgen van de privacy bij het aggregeren van relevante gegevens van eindgebruikers;
- Het optimaliseren van een eerlijke verdeling in plaats van minimaliseren van de som van de (sociale) kosten;
- Het uitleggen en transparant maken van geautomatiseerde beslissingen, inclusief die van algoritmen die gebruikt worden in een markt.

## 2.4 Onderhoud

Optimaal onderhoud is cruciaal in energiesystemen vanwege het grote en toenemende aandeel van de infrastructuur in de totale energiekosten (en risico's met betrekking tot leveringszekerheid). Winning, conversie en opslag van energie in moeilijke bereikbare omgevingen (bijvoorbeeld offshore wind & solar, offshore waterstof, geothermie putten) leiden bovendien tot hoge kosten voor inspectie en onderhoud. In het geval dat het gasnetwerk wordt gebruikt voor waterstof zijn de kwaliteitseisen veel zwaarder. AI biedt nieuwe mogelijkheden om inspectie en onderhoud aan het energiesysteem effectiever te maken.

Bij predictive maintenance worden inspectie- en monitoring data (indien nodig in combinatie met externe data – zoals weersomstandigheden) ingezet om op basis van de actuele toestand de restlevensduur en het faalgedrag te voorspellen, mogelijk veroorzaakt door slijtage of door beschadiging. Op basis hiervan worden al dan niet autonoom beslissingen genomen voor vervolgacties (nadere inspectie, inplannen voor onderhoud, acute actie etc.). Embedded AI-oplossingen zijn ook hier van belang voor lokale analyse en alarmeringen.

Voor een accuraat beeld van de actuele toestand is koppeling en interpretatie van monitoring data nodig (grote hoeveelheden data door bijvoorbeeld distributed fiber optics, optische technieken, parallele interpretatie van verschillende sensortypen). Het ontwikkelen van nieuwe anomalie-detectiemethoden die specifiek en gevoeliger afwijkingen van normale operatie kunnen herkennen en koppelen aan een mogelijke oorzaak, is daarbij essentieel. Deze informatie kan vervolgens met augmented en virtual reality worden ontsloten voor snelle, real-time beslissingen.

Voorspellende modellen over degradatie van (composiet) materialen en componenten (zoals generatoren, compressoren) kunnen worden verbeterd door analyse van historische monitoring data, onderhouds- en faalgegevens, in combinatie met fysische modellen en stabiliteitsstudies uit het laboratorium.

Betere voorspellingen over faalgedrag leiden op hun beurt tot een verbeterde onderhoudsplanning. Het optimaal plannen van onderhoud is van groot belang waar de onderhoudskosten zeer hoog zijn door moeilijke bereikbaarheid (offshore, downhole, deep sea) of doordat dure onderhoudsstops zijn vereist.

Bij het uitvoeren van onderhoud en monitoring (op afstand) moeten we denken aan beeldherkenning, automatisch sturen en robotica voor bijvoorbeeld drones.

Tot slot liggen er uitdagingen en kansen om ook installatie en ontmanteling door robots of met behulp van augmented reality te verrichten (1.1) en om hiermee, en met geautomatiseerd onderhoud al rekening te houden bij het ontwerp van installaties.

## 2.5 Energiezuinige AI

Waar AI een grote bijdrage kan leveren bij het streven naar CO<sub>2</sub> vrije energiesystemen, zijn AI-technieken zelf een grote en snel groeiende energieverbruiker: algoritmen zullen zonder maatregelen in 2025 naar verwachting zo'n 10 procent van de mondiale energieproductie vragen. De ontwikkeling van energiezuinige AI, zowel in de vorm van algoritmen als in de vorm van hardware, is dan ook een prioriteit.

Energiebewuste algoritmen en efficiëntere hardware innovaties zijn niet alleen nodig in bijvoorbeeld de datacenters maar ook decentraal, in de vorm van embedded en lokale AI-oplossingen. Lokale oplossingen vermijden de energiekosten van communicatie met de datacenters, en maken tegelijk de AI-oplossingen robuuster en meer privaat. Zie voor meer details een separate beschrijving van het Low-Energy Acceleration Program (2021).

## 3 AI INNOVATIE-UITDAGINGEN VOOR DE ENERGIETRANSITIE

In dit hoofdstuk geven we een overzicht van de AI-uitdagingen voor het energiesysteem, georganiseerd langs de betreffende AI-deelgebieden, en gericht op AI-onderzoekers en -ontwikkelaars.

### 3.1 Machine learning

Technieken voor het herkennen en leren van patronen in data beloven op vele plekken een nuttige bijdrage te kunnen doen. Echter, voor succesvol gebruik staan er nog verschillende vragen open voor verdere verbetering. Bijvoorbeeld:

- Hoe kan fysica en/of domeinkennis worden gebruikt in combinatie met data-gedreven modellen?
- Hoe kunnen we afwijkend gedrag efficiënt detecteren en kwalificeren, zowel plotselinge afwijkingen als langzame drifts richting suboptimale operatieregimes?
- Hoe kunnen we verschillende voorspellende modellen efficiënt integreren?
- Hoe kunnen we onzekerheid efficiënt meenemen in voorspellingen?
- Hoe kunnen we modellen efficiënt trainen en updaten (in het bijzonder voor tijdseries)?
- Hoe kunnen we modellen decentraal, energie-efficiënt en robuust genoeg maken voor embedded oplossingen?
- Hoe kunnen we AI-technieken gebruiken om complexe simulaties en analyses te versnellen zonder aan kwaliteit in te boeten?

### 3.2 Planning, optimalisatie- en zoekalgoritmen

Zowel bij operationele als bij strategische beslissingen kunnen algoritmen van pas komen. Voorbeelden van uitdagingen in deze context zijn:

- Hoe kunnen we alle relevante onzekerheden meenemen in de besluitvorming?
- Hoe kunnen we besluitvorming optimaliseren met betrekking tot eventuele toekomstige ontwikkelingen (no regret)?
- Hoe om te gaan met complexe besluitvormingscriteria (meerdere doelstellingen, wegingen)?
- Welk model is geschikt voor moeilijk te kwantificeren factoren zoals maatschappelijke acceptatie?
- Hoe kunnen we snel genoeg resultaten produceren als het systeem en het optimalisatieprobleem zeer omvangrijk en complex is?
- Hoe kunnen we omgaan met een veranderende situatie tijdens het uitvoeren van eerdere beslissingen?
- Hoe kunnen we zeer hoge betrouwbaarheidsgaranties geven (99.9999%) op de operationele beslissingen?
- Hoe kunnen we algoritmen uitvoeren met een minimaal energieverbruik?

### 3.3 Autonome (agent)systemen

Decentrale sturing houdt in dat beslissingen (deels) lokaal worden genomen. Dit kan een geschikte aanpak zijn als een deel van de relevante complexiteit ook lokaal is. Intelligente, autonome agenten werken dan samen in een zogenoemd multi-agent systeem. Voorbeelden van uitdagingen zijn:

- Hoe kunnen we snelle, autonome beslissingen nemen in een complexe omgeving?
- Hoe kunnen intelligente agenten hun beslissingen snel en efficiënt coördineren, rekening houdend met de belangen van de menselijke actoren die ze representeren? Welke markt- en onderhandelingsmechanismen leveren de beste uitkomsten voor het gehele systeem?
- Hoe kunnen we gedistribueerde besluitvorming (bottom-up) inrichten/coördineren?
- Hoe kunnen autonome beslissingen worden geauditteerd/gecontroleerd?
- Hoe kunnen we zeer hoge betrouwbaarheidsgaranties geven (99.9999%) op een systeem bestaande uit (deels) autonome actoren?
- Wat is een geschikt ontwerp voor robots die autonoom infrastructuur controleren en eventueel repareren? (Zie ook 3.4 Computer vision).

### 3.4 Computer vision

In het vakgebied van de beeldherkenning is de afgelopen jaren veel vooruitgang geboekt. Niet alleen kunnen nu objecten gevonden worden in stilstaande beelden, maar ook gevolgd in video en specifieke details kunnen worden herkend. In de context van het energiesysteem zijn er met name vragen in de context van automatische inspectie en onderhoud:

- Hoe kan de status van materiaal, assets, infrastructuur bepaald worden aan de hand van (video)beelden?
- Hoe kan een mogelijke foutdiagnose worden gesteld op basis van dergelijke beelden?
- Hoe kunnen voorspellingen van wind en zonopbrengst worden verbeterd op basis van beelden of LIDAR informatie?

### 3.5 Interactie tussen AI, verschillende AI-systemen onderling en de mens

De kansen voor AI liggen voor een groot deel in het ondersteunen van processen waarin uiteindelijk mensen beslissen en waarin ook mensen nodig zijn om relevante informatie aan te leveren. Een groot deel van het succes zal afhangen van de interface tussen de AI-systemen en de gebruikers. Hier liggen nog een aantal uitdagingen om de potentie van AI waar te maken, waaronder:

- Hoe kunnen mensen en AI-systemen productief op elkaar inwerken en elkaars gedrag in hun context begrijpen?
- Hoe kunnen een groot aantal gekoppelde AI-systemen samen met de menselijke gebruikers een stabiel en schaalbaar systeem realiseren?
- Hoe kunnen we AI-systemen realiseren die menselijk vertrouwen verdienen? En die vallen binnen de voorwaarden voor behoorlijk bestuur, zoals transparantie, uitlegbaarheid, eerlijkheid en verantwoording?

- Hoe leggen we de overwegingen met betrekking tot de besluitvorming uit aan stakeholders/beslissers (explainable AI)? Hoe kunnen we deze goed visualiseren?
- Hoe kunnen we hierbij rekening houden met meerdere, verschillende stakeholders?
- Hoe optimaliseren we de interactie tussen mensen en algoritmen bij besluitvorming zodat het uiteindelijke resultaat zo goed mogelijk is (zowel real-time als strategisch)?
- Hoe zorgen we voor een systeem dat robuust bestand is tegen cyber-attacks?
- Hoe kunnen computer vision toepassingen lokaal, robuust en privacy-aware worden verwerkt?

### 3.6 Data

Data is essentieel voor correcte en effectieve (en betrouwbare) AI. Alle potentiële toepassingsmogelijkheden van AI in het duurzame energiesysteem zijn afhankelijk van de beschikbaarheid van data. Privacy en energiedata zijn nauw met elkaar verbonden. Rondom data zijn er verschillende uitdagingen en vragen.

- Welke data zijn er nodig voor de machine learning, simulaties en decision support?
- Hoe kunnen deze datasets (en algoritmen en modellen) beschikbaar worden gemaakt voor de relevante stakeholders, passend binnen de richtlijnen van de AVG en rekening houdend met privacy en security, niet discriminerend, begrijpelijk, laagdrempelig en actueel?
- Hoe zorgen we voor betrouwbare (en vertrouwde) data om tot optimale en geaccepteerde beslissingen te komen?
- Hoe voorkomen we bias in de verzamelde data (bijvoorbeeld data uit een markt zou voornamelijk een keuze vertegenwoordigen voor een traditionele goedkope energiebron, of data zou voornamelijk

vanuit een bepaalde geografische locatie kunnen komen met alle gevolgen van dien, etc.)?

- Hoe interpreteren we data efficiënt, robuust, en transparant (tot informatie) en hoe maken we deze beschikbaar voor besluitvorming?
- Hoe kan historische en ongestructureerde informatie worden gebruikt?
- Welke aanvullende data/informatie is nodig om tot een optimaal besluit te komen (value of information)?
- Hoe kan data worden verrijkt, verbeterd, gecheckt, aangevuld? Hoe houden we meetdata langer "houdbaar" door ze te kunnen blijven vergelijken met inkomende data?
- Hoe presenteren we de informatie zodat deze nuttig is voor de gebruiker?
- Welke standaarden zijn nodig voor consent, datagebruik, data uitwisseling en transparantie algoritmen?

De werkgroep Data Delen van de NL AIC voorziet in het ter beschikking stellen van processen, methodologieën en software voor verantwoord data delen met interoperabiliteit en data soevereiniteit als basisprincipes. De uitwerking van de bovenstaande vragen zullen we doen in nauwe samenwerking met deze werkgroep.<sup>2</sup>

---

2. <https://nlaic.com/bouwsteen/data-delen/>

## 4 NEDERLAND ALS LAB VOOR DE ENERGIETRANSITIE

We stellen Nederland voor als lab voor de energietransitie: allereerst, Nederland is een regio met een al redelijk effectief kennis- en innovatiesysteem. We stellen voor om dit te versterken voor het ontwikkelen van nieuwe (AI-) technologie voor de energietransitie. In Nederland zijn, in tegenstelling tot veel andere landen, energieopwekking en distributie als business ontkoppeld. Daarnaast is Nederland ook als gebied geschikt voor (meer) proeftuinen en de voorloper van de daadwerkelijke overgang naar een meer decentraal gestuurd energiesysteem met een veel groter aandeel hernieuwbare energie.

### 4.1 Faciliteren van innovatie

Er is veel domeinkennis nodig voor AI-toepassingen in de energiesector; toepassingen zijn pluriform en verbreden zich snel in scope. De programmering vanuit de Topsector Energie heeft rijke ecosystemen en oplossingen opgeleverd, welke nu kunnen worden opgewaarderd met AI.

De ontwikkelingen in decentralisatie en digitalisering van het energiesysteem gaan snel. Versnipperde werkende bedrijven en instellingen kunnen hier in de breedte niet snel genoeg op inspelen. Er is meer gemeenschappelijke ontwikkeling nodig om de bouwstenen voor een florerende energie-infrastructuur met AI te maken of verder te verbeteren.

#### 4.1.1 Ontwikkeltuin NL

Op korte termijn is er al veel vooruitgang te realiseren door het aanleggen van een (virtuele) ontwikkeltuin voor AI-onderzoek en -innovatie ten behoeve van de energietransitie. In deze digitale infrastructuur krijgen (ook AI-) onderzoekers en bedrijven een overzicht van de beschikbare tools en data en de mogelijkheid om hier gebruik van te maken om ideeën uit te proberen. Ook is dit de plek waar men elkaar ontmoet en eigen ontwikkelde tools weer verder deelt en standaarden afspreekt.

In 'Ontwikkeltuin NL' kunnen we oplossingen testen met heel alledaagse gebruikers en dat is essentieel

voor de ontwikkeling van oplossingen in de praktijk. De complexiteit laat niet toe dat deze uitsluitend in technische laboratoria worden ontwikkeld. Bijvoorbeeld om uit te zoeken wat de AI-innovatie-uitdagingen betekenen voor het energie-consumerende huishouden, het energie-producerende lokale collectief, of de gebruiker van de elektrische auto.

Deze ontwikkeltuin kan er komen op initiatief van de NL AIC: de AI-hubs brengen bestaande data, kennis en tools in en brengen lokale bedrijven uit de betreffende regio mee. De tuin faciliteert standaard afspraken voor het gebruik van resultaten, code en data.

#### 4.1.2 Succesfactoren voor het versterken van de ontwikkeltuin

De randvoorwaarden (data delen, governance, beschikbaarheid van talent) moeten goed zijn ingevuld en er dienen duidelijke afspraken te worden gemaakt over hoe resultaten worden gedeeld om de tuin verder te laten groeien en bloeien. Denk hierbij aan afspraken met betrekking tot data en kennis:

- Het publiek maken ten behoeve van onderzoek en onderwijs internationaal: wetenschappelijke artikelen, white papers, open-source code, "samples" van data, data generatie, (inter)nationale standaarden.
- Het op een doordachte manier (zie 3.6) delen van data ten behoeve van de economie in Nederland, met alle aangesloten partners: afsluitende rapportages van subsidieprojecten, alle data real-time, ook code voor bijvoorbeeld uitwerking van standaarden, goede meta-data. Hieronder valt ook bijvoorbeeld een digital twin van (delen van) het energiesysteem. Hierbij horen regels voor het gebruik en wat mag je delen met wie, en wanneer, rekening houdend met wat nodig is om dit ook interessant te maken voor de partij die de gegevens deelt.
- Bij elkaar brengen van AI-onderzoekers en energiedeskundigen.

## 4.2 Nederland als lab

Op een aantal gebieden lopen we als Nederland voorop, zoals laadinfrastructuur, energiemanagementsystemen in de utiliteitsbouw en systeemintegratie, waarbij AI-toepassingen ook internationaal potentieel hebben. De zeer goede staat van zowel elektriciteits- als digitale infrastructuur, de omvang van het land, ligging aan zee, hoog opleidingsniveau van de bevolking en het hoge welvaartsniveau, maken dit de ideale regio om als een van de eerste grootschalig decentrale sturing en intelligente netten *in de praktijk* te gebruiken. Dit brengt tal van uitdagingen met zich mee, zelfs als het delen van data in de ontwikkeltuin goed geregeld is. Denk aan extra regels maar ook technologie rondom het real-time betrouwbaar delen van data en privacy issues.

Ook voor het ondersteunen van het besluitvormingsproces biedt Nederland een unieke interessante context: het is in ons land gebruikelijk om alle belanghebbenden al in een vroeg stadium bij ingrijpende processen te betrekken: dit biedt extra kansen en uitdagingen om dit soort processen met AI te ondersteunen. Tegelijkertijd biedt het voorop lopen met AI-technologie op termijn zeer goede economische perspectieven, zowel voor het tijdig aanpassen van industrie en economie aan de nieuwe situatie, als met betrekking tot het scheppen van nieuwe AI-export producten en diensten. Dus naast de ontwikkeltuin willen we het graag gemakkelijker maken om in Nederland AI-innovatie in de praktijk te brengen.



## 5 HOE NU VERDER?

AI speelt een centrale rol bij de energietransitie, op velerlei punten, en kan deze aanmerkelijk versnellen. Dit versnellen biedt voor Nederland substantiële kansen om hierin richtinggevend te worden door het ontwikkelen van essentiële onderdelen die voldoen aan hoge kwaliteitseisen en die goed met elkaar samenwerken. Aan kop lopen brengt echter ook risico's met zich mee: risico's die individuele ondernemingen op dit moment nog niet durven en kunnen nemen.

Het plan van de NL AIC werkgroep Energie en Duurzaamheid is om te beginnen met een aantal eerste maar essentiële stappen op weg naar de grotere doelen:

- a. Het maken van een overzicht van bestaande data, modellen en tools; in samenwerking met werkgroep Data Delen.
- b. Het bij elkaar brengen van belanghebbenden en het in kaart brengen van lopende initiatieven.
- c. Het uitwerken van de ontwikkeltuin.
- d. Het uitwerken van een aantal concrete programma's bij NWO (2013-2020) en RVO, gebaseerd op de mogelijkheden geschetst in dit document, bestaande resultaten en lopende initiatieven
- e. Het uitwerken en ondersteunen van projectvoorstellen voor EU programma's, ELSA en ICAI labs, en van (keten)projecten binnen grote lopende initiatieven op het gebied van energie, gericht op de AI component daarin; zie hiervoor de twee voorbeelden in bijlage A.

Een belangrijke taak voor de NL AIC en met name deze werkgroep zien we in het integreren van de AI-component in lopende en nieuwe ontwikkelingen. Naast het tijdig uitwisselen van kennis en ervaring en het op elkaar afstemmen van activiteiten is het ook een belangrijk doel om het mogelijk te maken de verschillende (AI) bijdragen te integreren.

Daarnaast ondersteunen we de komende tijd nieuwe initiatieven die passen bij deze visie, inclusief het organiseren van matchmaking en een intensieve samenwerking met de werkgroep Human Capital om energieprofessionals, beleidsmedewerkers en bestuurders te helpen bij het verder aanleren van AI-kennis en vaardigheden.

### **Doe mee**

Bovenstaande aanpak stelt Nederland in staat om economisch en maatschappelijk de vruchten van AI te plukken en internationaal met de koplopers mee te doen. Wilt u een bijdrage leveren aan de energietransitie in Nederland met behulp van de inzet van AI? Meld u dan aan voor de werkgroep Energie en Duurzaamheid van de NL AIC.

### **NB**

De hier beschreven visie gaat niet in op andere AI en duurzaamheidsthema's. Deze worden uitgewerkt in samenwerking met geïnteresseerde leden van de NL AIC en relevante andere werkgroepen. Denk hierbij aan Technische Industrie, Landbouw en Voeding, Gebouwde Omgeving, Mobiliteit, Transport en Logistiek.

## 6 BRONNENLIJST

Klimaatakkoord. (2019, juni 28). Opgehaald van <https://www.klimaatakkoord.nl/klimaatakkoord/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord>

Klimaatakkoord hoofdstuk Integrale kennis- en innovatieagenda (IKIA) voor de energietransitie . (2019, juni 28). Opgehaald van <https://www.klimaatakkoord.nl/themas/kennis--en-innovatieagenda/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord-hoofdstuk-integrale-kennis--en-innovatieagenda>

Meerjarig Missiegedreven InnovatieProgramma (MMIP) 1: Hernieuwbare elektriciteit op zee. (2019, september 16). Opgehaald van <https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/11/07/mmip-1-hernieuwbare-elektriciteit-op-zee>

Meerjarig Missiegedreven InnovatieProgramma (MMIP) 2: Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en de gebouwde omgeving. (2019, september 2). Opgehaald van <https://www.topsectorenergie.nl/urban-energy/innovatieprogramma/mmips-voor-de-gebouwde-omgeving/mmip2>

Meerjarig Missiegedreven InnovatieProgramma (MMIP) 3: Versnelling van energierenovaties in de gebouwde omgeving. (2020, september 1). Opgehaald van <https://www.topsectorenergie.nl/urban-energy/innovatieprogramma/mmips-voor-de-gebouwde-omgeving/mmip3>

Meerjarig Missiegedreven InnovatieProgramma (MMIP) 4: Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving (inclusief glastuinbouw). (2020, september). Opgehaald van <https://www.topsectorenergie.nl/urban-energy/innovatieprogramma/mmips-voor-de-gebouwde-omgeving/mmip4>

Meerjarig Missiegedreven InnovatieProgramma (MMIP) 5: Elektrificatie van het energiesysteem in de gebouwde omgeving. (2020, februari 3). Opgehaald van <https://www.topsectorenergie.nl/urban-energy/innovatieprogramma/mmips-voor-de-gebouwde-omgeving/mmip5>

Meerjarig Missiegedreven InnovatieProgramma (MMIP) 13: Een Robuust en Maatschappelijk gedragen energiesysteem. (2019, september). Opgehaald van <https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/11/07/mmip-13-een-robust-en-maatschappelijk-gedragen-energiesysteem>

Artificial Intelligence Research Agenda for the Netherlands (AIReA-NL). (2019, november 1). Opgehaald van <https://www.nwo.nl/nieuws/eerste-nationale-onderzoeksagenda-voor-artificiele-intelligentie>

dena-REPORT: Global Trends in Artificial Intelligence and Their Implications for the Energy Industry. (2020, maart). Opgehaald van <https://www.dena.de/en/newsroom/publication-detail/pub/global-trends-in-artificial-intelligence-and-their-implications-for-the-energy-industry/>

dena ANALYSIS: Artificial Intelligence – from Hype to Reality for the Energy Industry. (2020, augustus). Opgehaald van <https://www.dena.de/en/newsroom/publication-detail/pub/dena-analysis-artificial-intelligence-from-hype-to-reality-for-the-energy-industry/>

Geothermie in de Gebouwde Omgeving. (2021, april). Opgehaald van <https://geothermie.nl/index.php/nl/downloads1/algemene-publicaties/899-adviesrapport-geothermie-in-de-gebouwde-omgeving>

NWO programma's Energie Systeem Integratie. (2013-2020). Opgehaald van <https://www.nwo.nl/onderzoeksprogrammas/energiesysteemintegratie>

den Ouden, E., & Valkenburg, A. C. (2021). EnergyMatch: Systeemarchitectuur & dataplatform voor een eerlijke, inclusieve en democratisch bestuurbare oplossing voor energiedelen. Technische Universiteit Eindhoven.

GasUnie, & TenneT. (2020 en 2021). Infrastructure Outlook 2050. Opgehaald van <https://www.tennet.eu/company/publications/infrastructure-outlook-2050/>

Verdecchia, R., Patricia Lago, & Carol de Vries. (2021). The LEAP Technology Landscape: Lower Energy Acceleration Program (LEAP) Solutions, Adoption Factors, Impediments, Open Problems, and Scenarios. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

## APPENDIX 1 TWEE CONCRETE PLANNEN OP WEG NAAR INVULLING VAN DE VISIE

In dit hoofdstuk beschrijven we twee voorbeelden van projecten die nu al kunnen starten en die a) zowel op korte termijn iets opleveren (*quick win*) als b) een eerste stap zijn op weg naar het bij elkaar brengen van AI ontwikkelingen in het energiedomein.

### **Ontwikkeling van duurzame energievoorziening in de gebouwde omgeving**

#### Het probleem

Een groot deel van de energietransitie in de gebouwde omgeving heeft een ruimtebeslag in de omgeving (inclusief de ondergrond). Denk daarbij aan het verzwaren van het elektriciteitsnetwerk bij een all-electric oplossing, het aanleggen van een warmtenet of het slaan van een geothermieput. Voor goede besluitvorming en uitvoering rondom de energietransitie is het belangrijk om een goed beeld te hebben van de huidige toestand van de omgeving, de mogelijkheden en hun impact. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de vraag hoe een warmtenet ingepast kan worden samen met bestaande infrastructuur in de bodem (denk aan riolering, drinkwater, etc.), of aan de vraag wat de meest kansrijke locatie is voor een geothermieput en wat het effect hiervan is op het elektriciteitsnetwerk.

De ontwikkeling van duurzame energievoorziening (zoals warmtenetten) vraagt om afgestemde (investerings-) beslissingen. Het recent uitgebrachte rapport Geothermie in de Gebouwde Omgeving benoemt de volgende knelpunten: onzekerheid rondom voldoende tijdige afzet en geologie, het lange onvoorspelbare vergunningen traject, niet toereikend subsidie-instrumentarium, draagvlak en de lange doorlooptijd van het ontwikkeltraject. Daarbij is er op dit moment geen regie in de ontwikkeling van geothermie en/of de warmteketen. Onder andere bij het reduceren van de onzekerheid rondom de fysieke situatie en de afzet, en het inzichtelijk maken van de effecten op maatschappij en milieu kan AI een belangrijke rol spelen.

Belangrijk aandachtspunt is dat de faalkosten in de

uitvoering aanzienlijk kunnen zijn: als tijdens de uitvoering blijkt dat het plan aangepast moet worden omdat er iets over het hoofd is gezien, lopen de extra kosten voor een enkel project al snel in de miljoenen.

#### De verwachting van AI:

De energietransitie vereist complexe investeringsbeslissingen; bijvoorbeeld de aanleg van een warmtenet kent grote onzekerheden, risico's en een complexe keten (o.a. gebouweigenaren - woningcorporatie en huiseigenaren, het warmtebedrijf, de ontwikkelaar van de bron en de gemeente). Daarnaast zijn ook andere belangen in boven- en ondergrond die afgewogen en afgestemd moeten worden, zoals groen, (drink)water, woningrenovatie, infrastructuur, etc.

Het maken en afstemmen van al deze keuzes kost tijd en is vaak sequentieel. Daarnaast zijn de afwegingen vaak weinig transparant. AI kan een belangrijke bijdrage leveren aan een beter en efficiënter besluitvormingsproces door ontsluiting en verbetering van:

- Bestaande data (data combinatie, interpretatie, visualisatie en kwantificering van onzekerheden) prognoses (inclusief onzekerheden) en hiermee beter zicht op de huidige situatie, inclusief ruimte in de ondergrond;
- Ontwikkelingsscenario's (integrale representatie besluitvormingsinformatie m.b.v. digital twin), aanvullend op bestaand instrumentarium zoals de startanalyse;
- Inzicht in mogelijke verbeteringen (e.g. knelpuntenanalyse, integrale systeem optimalisatie, value of information analyse).

#### Relatie met de fundamentele vragen

Hoe kunnen we de benodigde informatie (interpretaties, prognoses) genereren en op inzichtelijke wijze ontsluiten ter ondersteuning van het besluitvormingsproces voor

de lokale energietransitie voor de gebouwde omgeving?  
Hierbij is van belang dat de uitkomsten en de weergave hiervan goed te duiden zijn voor alle stakeholders.

Om dit te realiseren, zijn de volgende elementen nodig:

- Een landelijk dekkende infrastructuur voor gestandaardiseerde, betrouwbare en transparante data en analysetools, met daarin afspraken over het koppelen en delen van de beschikbare data (met betrekking tot geologie, ruimtegebruik bovengronds en ondergronds, kosten), data kwaliteitscontrole, dataverrijking, en een beschrijving van onzekerheden in de data;
- Het ontsluiten van informatie voor besluitvorming/ stakeholders door middel van een data model (en vervolgens een digital twin van boven- én ondergrond)
  - Transparante en inzichtelijke presentatie van prognoses (huidige situatie, realisatie en beheerskosten, warmteproductie, warmtevraag, maatschappelijke effecten, ...);
  - Knelpunt analyse: inzicht in knelpunten (bv gebrek aan draagvlak, inpassing warmtenet in de ondergrond, onzekerheid in geologie, vergunningverlening) en identificatie oplossingsroutes (bv aanvullende data acquisitie);
  - Interactie met overige functies (inpassing, overlast, ...): Impact op andere huidige en toekomstige functies (waterleidingen, elektriciteitsnet, funderingsrisico's, verkeer, ...);
- Gebruikers(beslissers)-specifieke interfaces op basis van besluitvormingsproces.
- Een open-source software architectuur die ruimte biedt voor het inpassen van betrouwbare, auditeerbare, uitlegbare modellen voor prognoses en scenario's (inclusief beschrijving van onzekerheid) met

betrekking tot warmteproductie, opslagperformance, warmtevraag, kostenontwikkeling, impact op overige functies, ...) en systeemontwerpen op meerdere geografische schaalniveaus (van straat tot regio);

- Procedures voor model update, bijvoorbeeld een update van warmtevraagmodellen met actuele data;
- Een methode voor het balanceren van warmtevraag en -productie gedurende diverse tijdschalen (uur, dag, week, seizoensfluctuaties en gedurende de diverse ontwikkelingsstadia);
- Het in kaart brengen van besluitvormingsproces en belangenafwegingen voor ontwikkeling warmtenetten met geothermiebronnen (beslissingscriteria, informatiebehoefte verschillende beslissers en stakeholders);
- Beslissingsondersteuning met daarin
  - Value of information: impact van aanvullende informatie op besluitvormingsproces
  - Integrale en robuuste optimalisatie systeemontwerp (inclusief onzekerheid / no regret)

#### Quick wins

Een lokale digital twin voor een specifieke casus (koppeling ondergrond, warmtenetwerk en warmtevraag) waaruit helder wordt wat de mogelijkheid is voor fysieke inpassing van warmtenetten in de ondergrond: op welke plekken past dat makkelijk, en op welke plekken kan er eventueel ruimte gemaakt worden (en tegen welke kosten). Doel is integratie, interpretatie en visualisatie (bundeling relevante informatie voor besluitvorming) van relevante ondergrond informatie voor een betere afweging op gemeentelijk/RES/ provinciaal niveau.

## **Congestie en dynamisch energiemangement**

### Het probleem

Door snelle toename van wind op land, zonneparken, datacenters en veranderend gebruik door lokale opwek en elektrisch vervoer wordt voor steeds meer plekken in de elektriciteitsnetten congestie afgekondigd. Dat betekent een uitstel van het aansluiten van nieuwe producenten of afnemers, totdat de netwerken zijn uitgebreid. Deze uitbreidingen zijn vaak grote investeringen met een lange doorlooptijd.

In het ontwerp van de netten is rekening gehouden met een verwachte belasting en met een N-1, wat betekent dat er een schakelplan is als essentiële onderdelen uitvallen. Voor congestie wordt nu gewerkt met verschillende oplossingen om de periode tot de netuitbreiding te overkomen, zoals het aansluiten voor momenten dat het wel kan, of het oplossen van overbelasting door het gebruik van het congestie-handelssysteem (GOPACS).

### De verwachting van AI

De bepaling of een netdeel vol is, wordt gebaseerd op een contractuele belofte van beschikbaarheid in combinatie met belastingprofielen, die historisch zijn bepaald. Door meer datasets te gebruiken, te combineren met real-time metingen en hiervoor voorspellende algoritmen te ontwikkelen, is de verwachting dat meer gebruik en opwek over het net mogelijk is, dan tot nu toe het geval was. Hierdoor kan een deel van de congesties worden opgelost, dan wel met minimale pieksturing worden geoptimaliseerd.

### Relatie met de fundamentele vragen

Het gebruik van het elektriciteitssysteem verandert van voorspelbare belastingprofielen naar een dynamisch systeem met ander verbruik (door elektrificatie van warmte en industrie, door elektrisch vervoer) en andere opwek, zoals zon en wind. Ondertussen moet het systeem nog steeds per seconde in balans zijn. Dit betekent dat de dynamiek van het gebruik moet worden ondersteund door

de dynamiek van het netwerk. Alleen dit kan niet real-time, dit moet meer dan real-time, het systeem moet klaar staan voor de vraag van over vijf minuten, over een uur, over een dag en over tien jaar.

Dit dynamische systeem is niet meer alleen de assets, maar is het samenspel van opwek, gebruik, status en voorspelde status van componenten, regelgeving, marktkoppelingen en gedrag. Het elektriciteitsnetwerk integreert nu al laagspanning, middenspanning, hoogspanning en interconnectie over heel Europa heen. Op elk van de lagen vinden acties plaats op grond van de status en voorspelde status. De assets, energy flows, vermogen en frequenties, opwek en gebruik worden in de nieuwe vorm gemeten en het complexe samenspel kan zich door algoritmen voegen naar de vraag, de behoefte van dat moment, het volgende uur, de volgende dag het volgende jaar.

De basiscomponenten die nu worden ontwikkeld, beperken zich tot het netwerk binnen een netbeheerder: metingen van vermogen en frequentie, metingen van de status van een kabel leidend tot datastreams. De datastreams komen via machine learning tot detectie van soort verbruik en soort opwek. Hiermee wordt dit voorspelbaar en leidt dit tot schakelplannen.

De step change die nodig is, is ten eerste om het netwerk van heel Europa als een samenspel te zien en ten tweede, in deze Europese setting, het nieuwe geïntegreerde energiesysteem (dat wil zeggen assets, verbruik, opwek, regels, klantvraag, marktwerking) te laten werken.

Om dit te kunnen realiseren, zijn de volgende elementen nodig:

- Standaarden voor de dataflows voor toepassing van de 61850 norm.
- Referentie software architectuur die ruimte biedt voor meerdere aanbieders.
- Referentie hardware architectuur die ruimte biedt voor de ontwikkeling van sensors, schakelsystemen.
- Een toenemend aantal open source algoritmen, voor voorspellingen, detecties, aanpassingen van het systeem.
- Een methode om om te gaan met mogelijke toekomst (uur, dag, jaar, 10 jaar).
- Een methode voor system of systems: algoritmen/agenten die onderling samenwerken, elkaar controleren en beconcurreren. Bijvoorbeeld binnen het netwerkdomein: een algoritme dat schakelingen organiseert, met een monitoring op resultaat door een tweede algoritme dat daarmee opdracht geeft aan een derde algoritme, bijvoorbeeld de voorspelling te verbeteren ten aanzien van zonne-energie in een bepaald landsdeel, Maar ook bijvoorbeeld in interactie met de markt (energieleveranciers, aggregators) of in interactie met andere energiedragers (warmte, waterstof).

- Methodes om AI software lokaal en gedistribueerd op embedded platformen te laten werken, waarmee robuustheid en privacy van data kan worden gegarandeerd.
- Methoden ter beveiliging van de operatie op cyberaanvallen.
- Een methode voor uitwisseling tussen netvlakken en netbeheerders (horizontaal bijvoorbeeld DSO-DSO) en verticaal (DSO-TSO) en interconnectie.
- Een beeld van de gevolgen van de klantvraag voor de infrastructuur en een methode om daar prognoses van te maken.

#### Quick wins

In de komende één à twee jaar willen we voor een specifiek net (van een klein, mogelijk privaat net, naar grotere regio) voorspellende algoritmen ontwikkelen, door gebruik te maken van de historische metingen, actuele metingen, weersverwachtingen en big data. Het doel hiervan is te kijken of een aantal congestie-gebieden daardoor (voorwaardelijk) vrijgegeven kunnen worden of dat er bijvoorbeeld aanpassingen in netwerken kunnen worden aangebracht.

## **APPENDIX 2 ANALYSE DOMEINUITDAGINGEN OP BASIS VAN MMIP 1-5, 13**

Hieronder vindt u een samenvatting van de belangrijkste uitdagingen op basis van de gepubliceerde rapporten van MMIP's 1-5 en 13 in 2019 en 2020. In de meest rechterkolom staat een korte beschrijving van de uitdagingen waarvan we sterk vermoeden dat AI daar een belangrijk verschil gaat maken.

Missie	MMIP	Generieke uitdagingen	AI-uitdagingen/opgaven
CO <sub>2</sub> vrij elektriciteitssysteem	<p><b>1. Hernieuwbaar op zee (Meerjarig Missiegedreven InnovatieProgramma (MMIP) 1: Hernieuwbare elektriciteit op zee, 2019)</b></p>	<p><b>1. Kostenreductie en optimalisatie (veilig en betaalbaar opschalen)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zero breakdown &amp; Robotisation</li> <li>• Optimal Wind Farm Design</li> <li>• Next Gen WTG</li> <li>• Balance of Plant optimisation</li> <li>• Floating Solar</li> </ul> <p><b>2. Integratie in het energiesysteem (waaronder opslag en conversie)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Future Offshore Energy Infrastructure</li> <li>• Offshore Wind On Demand</li> <li>• Off-grid Offshore Wind Farms</li> </ul> <p><b>3. Integratie in de omgeving (ecologie en multi-use)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Net Positive Contribution to the Ecology</li> <li>• Multi-Use of Offshore Wind Farms</li> <li>• Zero-Emission Circular Offshore Wind Farm</li> </ul> <p>Hoe past aanbod bij de vraag, bijdrage aan stabiliteit energiesysteem, rol van transportinfrastructuur, opslag, markten, flexibiliteit in aanbod, offshore conversie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zero breakdown &amp; robotisation van installatie en onderhoud. Voorspellend onderhoud. Autonome robotica in extreme condities;</li> <li>• Balance of Plant optimisation (=mature AI industry);</li> <li>• Integratie in het energiesysteem (waaronder opslag en conversie). Future Offshore Energy Infrastructure.</li> <li>• Voorspellen en inspelen op vogeltrek;</li> <li>• Monitoring, voorspellen en inspelen op omgevingsimpact;</li> <li>• Ketenafstemming meervoudig ruimtegebruik met o.a. scheepvaart en visserij (voorkomen hoge kosten door laat ingrijpen);</li> <li>• Geautomatiseerd cybersecurity door de energieketen;</li> <li>• Hergebruik (o.a. assessment) huidige (gas)infrastructuur;</li> <li>• Onderzoek naar zon, wind-, golf- en stromings- klimaat, inclusief de wederzijdse beïnvloeding.</li> </ul>
	<p><b>2. Hernieuwbaar op land (Meerjarig Missiegedreven InnovatieProgramma (MMIP) 2: Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en de gebouwde omgeving, 2019)</b></p>	<p>Dit betreft het inzetten van hernieuwbare bronnen, met name wind en zon, op het land. Onderscheid in gebouwde omgeving en het buitengebied.</p> <p>Verlagen van opwekkosten.</p> <p>Beschikbaar maken van nieuwe toepassingen, optimaal geïntegreerd in hun omgeving.</p> <p>Versnellen van implementatie met behoud van maatschappelijk enthousiasme.</p> <p>Realiseren en borgen van integrale duurzaamheid.</p> <p>DP 1a. Enablers en breed toepasbare innovaties op het gebied van technologie.</p> <p>DP 2a. Zonnestroomsystemen in de gebouwde omgeving.</p> <p>DP 2b. Zonnestroomsystemen in het buitengebied.</p> <p>DP 2c. Windparken in het buitengebied.</p>	<p>DP 1a</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De ontwikkeling van controle- en monitoringssystemen van wind- en zonne-installaties;</li> <li>• Forecasting-technologie: bundelen van stromen satellietdata, meteodata, weermodellen, klimaatverandering, resource assessment (wind en zon), realtime netwerk- en verbruiksgegevens, onder meer om energieproductie en -vraag effectief en optimaal af te stemmen;</li> <li>• Ontwerp en visualisatie: Ontwikkeling van ontwerptools en het gebruik van visualisatiesoftware.</li> </ul> <p>DP 2a</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwerp van zonnestroomsystemen wat betreft de levensduur;</li> <li>• Het verlagen van de kosten voor het produceren en assembleren van het bouwdeel, inclusief zonnestroomfunctie;</li> <li>• Optimalisatie van de transport en installatiekosten van het systeem, de kosten voor exploitatie en onderhoud, en de kosten voor ontmanteling en hergebruik van (onderdelen van) het systeem;</li> <li>• Optimaliseren van de baten van een zonnestroomsysteem in de gebouwde omgeving;</li> <li>• Oplossingen om zelfconsumptie te vergroten (smart energy management) en om vraag en aanbod te kunnen ontkoppelen, bijvoorbeeld via opslag of conversie;</li> </ul> <p>DP 2b.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wat zijn optimale systeemontwerpen?</li> <li>• Wat zijn optimale strategieën voor onderhoud en beheer van het zonnestroomsysteem?</li> <li>• Hoe kunnen de kosten voor installatie worden teruggebracht door bijvoorbeeld toepassing van robots?</li> <li>• Optimaliseren van het ontwerp naar opbrengst en locatie. Het gaat daarbij om instraling, albedo effect, koeling, vervuiliingsaspecten en de effecten van golfbewegingen op de opbrengst.</li> </ul> <p>DP 2c.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwerpen van windsystemen: voor stillere turbines en meer aerodynamische add-ons op bladen zijn nieuwe ontwerpen van bladen nodig;</li> <li>• Verbeteren van procedures voor het uitvoeren van onderhoud en het introduceren van technologie zoals robotica voor onderhoud op afstand en autonoom onderhoud;</li> <li>• Cyber-security en veiligheid van het energiesysteem.</li> </ul>



<p><b>3. Versnelling energie-renovaties (Meerjarig Missiegedreven InnovatieProgramma (MMIP) 3: Versnelling van energierenovaties in de gebouwde omgeving, 2020)</b></p>	<p>Het realiseerbaar maken van de drie hoofdconcepten voor warmte en koude bij renovatie: (1) elektrificatie, (2) warmtenet, (3) duurzaam gas en combinaties daarvan;</p> <p>Toepasbaarheid in bestaande situaties (compact, stil, installatie- en gebruiks- gemak, ruimtegebruik, et cetera);</p> <p>Beschikbaarheid tegen lagere integrale kostprijs op systeemniveau (richting 30-50 procent voor individuele oplossingen respectievelijk 15 procent voor collectieve systemen) ten opzichte van huidige kostenniveaus;</p> <p>Gelijke tred te houden in het beschikbaar krijgen van nieuwe innovatieve oplossingen met de verwachte tempoverhoging naar aardgasvrije energie- renovaties (aantrekkelijkheid, aanlegmethodes, installatiegemak, industrialisatie, et cetera);</p> <p>Benutten van duurzame bronnen (zoals zonnewarmte, aquathermie, geothermie en vormen van bio-energie voor collectieve warmte), inclusief de benodigde systeemkoppelingen en back-up voorzieningen voor winterpieken.</p> <p>Deelthema's:</p> <p>3.1 – Ontwikkeling van integrale renovatieconcepten.</p> <p>3.2 – Industrialisatie en digitalisering van het renovatieproces.</p> <p>3.3 – Gebouweigenaren en -gebruikers centraal bij energierenovaties.</p>	<p>Ontwikkelen van afwegingsmodellen die inzichtelijk maken welke oplossing passend is in een specifieke situatie, inclusief beslissingsondersteuningstools voor configuratie van renovatieconcepten;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Validatie en verbeteren renovatieconcepten door gebruik van data;</li> <li>• Ontwikkeling van maatwerkproposities en verkoopkanalen;</li> <li>• Draagvlak voor nieuwe oplossingen vergroten.</li> </ul> <p>Daarnaast:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Voorkomen (of beperken) faalkosten bij planvorming en bij projecten;</li> <li>• Inzicht in huidige energetische toestand van de woning;</li> <li>• Inzicht in ruimte en toestand van ondiepe ondergrond ten behoeve vaninfrastructuur voor nieuwe warmte-oplossingen;</li> <li>• Inzicht in praktijkkosten van renovatie.</li> </ul>
<p><b>4. Duurzame warmte en koude (Meerjarig Missiegedreven InnovatieProgramma (MMIP) 4: Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving (inclusief glastuinbouw), 2020)</b></p>	<p>Het realiseerbaar maken van de drie hoofdconcepten voor warmte en koude bij renovatie: (1) elektrificatie, (2) warmtenet, (3) duurzaam gas en combinaties daarvan;</p> <p>Toepasbaarheid in bestaande situaties (compact, stil, installatie- en gebruiks- gemak, ruimtegebruik, et cetera);</p> <p>Beschikbaarheid tegen lagere integrale kostprijs op systeemniveau (richting 30-50 procent voor individuele oplossingen respectievelijk 15 procent voor collectieve systemen) ten opzichte van huidige kostenniveaus;</p> <p>Gelijke tred te houden in het beschikbaar krijgen van nieuwe innovatieve oplossingen met de verwachte tempoverhoging naar aardgasvrije energie- renovaties (aantrekkelijkheid, aanlegmethodes, installatiegemak, industrialisatie, etc.);</p> <p>Benutten van duurzame bronnen (zoals zonnewarmte, aquathermie, geothermie en vormen van bio-energie voor collectieve warmte), inclusief de benodigde systeemkoppelingen en back-up voorzieningen voor winterpieken.</p> <p>Deelprogramma's:</p> <p>4.1: Warmtepompen.</p> <p>4.2: Afgifte-, ventilatie- en tapwatersystemen.</p> <p>4.3: Kleinschalige warmteopslag.</p> <p>4.4: Duurzame warmtenetten.</p> <p>4.5: Grootschalige thermische opslag.</p> <p>4.6: Geothermie.</p> <p>4.7: Lage temperatuur warmtebronnen.</p>	<p>Monitoring en optimalisatie bestaande warmtenetten en collectieve WKO (zowel qua technische performance als qua gebruikerskosten)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beslissingsondersteuning voor renovatie van individuele gebouwen (isolatie, elektrificatie, warmteopslag, ventilatie, etc.);</li> <li>• Optimalisatie van regelingen voor gebouw-gebonden en ruimte-afhankelijke smart warmtevoorzieningen/opslag/ventilatie, eventueel in combinatie met elektriciteitsverbruik en eventuele opwekking;</li> <li>• Beslissingsondersteuning voor ontwerp van collectieve warmtenetten, in het bijzonder met duurzame warmtebronnen zoals geothermie, biomassa en lage-temperatuurbronnen in combinatie met seizoensopslag van warmte;</li> <li>• Optimalisatie van operatie/regelingen van collectieve warmte- (en koude)netten en grootschalige warmte(/koude) opslag;</li> <li>• Voorspellen van warmtevraag, van warmteverlies in opslag en warmtenetten, en van warmteproductie van geothermie en zon, op zowel korte termijn (dagen) als seizoenseffecten;</li> <li>• Verbeteren van ontwerp van warmtepompen en van thermische opslag;</li> <li>• Begrijpen en beheersen van ondergrond en milieu-impact op bodem en/of water bij warmteopslag, geothermie of aquathermie;</li> <li>• Begrijpen en beheersen van gezondheidseffect met betrekking tot. binnenluchtkwaliteit;</li> <li>• Invoeren total cost of ownership in regelingen gerelateerd aan energie;</li> <li>• Detectie en diagnose van fouten (pompen, kleppen) en lekken in warmtenetwerk;</li> <li>• Samenwerkingsvormen en verdienmodel voor verschillende partijen in een collectief (warmte)systeem?</li> </ul>

<p><b>5. Het energiesysteem in evenwicht (Meerjarig Missiegedreven InnovatieProgramma (MMIP) 5: Elektrificatie van het energiesysteem in de gebouwde omgeving, 2020)</b></p>	<p>In MMIP 5 ligt de nadruk op de elektriciteitsvoorziening in de gebouwde omgeving. Het elektriciteitssysteem komt door de energietransitie langzaam maar zeker onder druk te staan. Er zijn systeeminnovaties nodig om de gedistribueerde opwekking van elektriciteit te faciliteren, om pieken en dalen af te vlakken, om vraag en aanbod beter met elkaar in evenwicht te brengen en om slimmer om te gaan met elektriciteit en via conversie met andere energiedragers en -infrastructuren te verbinden. Zonder systeeminnovaties zal de energietransitie tegen grenzen oplopen, zoals de fysieke en financiële grenzen van netuitbreiding, grenzen aan de leveringszekerheid en aan de betaalbaarheid van het elektriciteitssysteem.</p> <p>Er wordt gewerkt aan de flexibiliteitscapaciteit, inclusief inzet van opslag, die in 2030 nodig zal zijn om met de gevolgen van het verminderde gasverbruik en met grotere fluctuaties in vraag en aanbod van energie om te gaan.</p>	
<p><b>5.1. Elektrificatie op gebouwniveau</b></p>	<p>Slimme energiediensten en flexibilisering van gebouwen; ontsluiten van de flexibiliteit.</p>	<p>Slimme energiediensten vragen om:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adapteerbare en flexibele systemen;</li> <li>• Informatiebeschikbaarheid en veiligheid (ook voor clusters gebouwen van grotere vastgoedeigenaren, zoals gemeenten, woco's, scholenkoepels, etc.);</li> <li>• Gebruikers interactie en acceptatie.</li> </ul> <p>Transactive energy.</p> <p>Flexibele en adapteerbare Building Energy Management Systems.</p> <p>AI moet de informatiebasis hiervoor leveren en moet onderdeel zijn van DSSs voor besluitvorming (zie ook MMIP 13)</p>
<p><b>5.2. Elektrificatie op gebiedsniveau</b></p>	<p>Transitiepaden voor inzet flexibiliteit; het inpassen van hernieuwbare opwek en elektromobiliteit in het energiesysteem; lokale energiesystemen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digital twinning en simulatiestudies voor ondersteuning proces;</li> <li>• Scenario vorming en gevoeligheidsanalyses;</li> <li>• Ontwikkeling coördinatie- en aansturing voor lokale energiesystemen;</li> <li>• Gebruikers acceptatie van energie coöperaties.</li> </ul>
<p><b>5.3. Marktmechanismen voor flexibiliteit uit de gebouwde omgeving</b></p>	<p>Ondersteunende systemen voor inzet flexibiliteit voor verschillende doelstellingen.</p>	<p>Ontwikkelen van (nieuwe) marktmechanismen en coördinatensystemen voor flexibiliteit uit gebouwde omgeving (AI uitdagingen soortgelijk als in 5.1)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adapteerbare en flexibele systemen;</li> <li>• Informatiebeschikbaarheid en veiligheid.</li> <li>• Gebruikersinteractie en -acceptatie.</li> </ul>
<p><b>5.4. Elektrische infrastructuur in de gebouwde omgeving</b></p>	<p>Aanleg en onderhoud van de elektriciteitsinfrastructuur inclusieve monitoring en control; hierbij ook aandacht aan DC netten.</p>	<p>Voor monitoring en control zijn voorspellingen en patroonherkenning belangrijk</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerngebied voor AI-toepassing</li> </ul>

<p><b>13.1.</b> <b>Kennis voor integrale besluitvorming</b></p>	<p>Kennisontwikkeling ten behoeve van het gezamenlijk adequaat nemen van besluiten onderbouwd met hoogwaardige kennis en informatie.</p>	<p>Informatiebasis en innovatieve gereedschappen:</p> <p>Vaststellen informatiebasis: Welke technische, economische en maatschappelijke data is nodig voor het vormen van het toekomstig energie systeem en het transitiepad?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Veilig data delen;</li> <li>• Data verrijking (missing data, transfer learning);</li> <li>• Standaardisatie van syntax, semantie, en dataverrijking;</li> <li>• Digital twins (digital subsurface, infrastructure) ;</li> <li>• Multi-modeling, koppeling van samenhangende set van modellen, integratie van economische, technische en gedragsmatige kennis;</li> <li>• Explainability;</li> <li>• Integrale analyse op meerdere schaalniveau's;</li> <li>• Ondersteunt samenwerking van mensen uit verschillende domeinen.</li> </ul> <p>Integrale systeemstudies en sectorkoppeling</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Betere keuzes door duiden van onzekerheden, randvoorwaarden en dilemma's.</li> </ul> <p>Leveringszekerheid: flexibiliteit, transport, conversie en opslag</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investerings- en systeemallocatie-vraagstukken in een onzekere en complexe omgeving, met veel stakeholders met verschillende, soms tegenstrijdige belangen.</li> </ul> <p>Manieren om deze kennis te ontsluiten op een manier die begrijpelijk is voor de besluitvormers (die niet altijd een technische achtergrond hebben)</p>
<p><b>13.2.</b> <b>Inclusieve energietransitie</b></p>	<p>Kennisontwikkeling en methoden voor rechtvaardige en gedragen besluiten die adequaat ingepast kunnen worden in de omgeving.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coördinatie en afweging ruimtelijke ordening ondergrond en bovengronds.</li> <li>• Participatie rond energietransitie: RES- uitwerking als digital twin.</li> <li>• Samenwerken en besluiten: betrouwbare basisgegevens.</li> <li>• Energie rechtvaardigheid: wat zijn de effecten van maatregelen als flexibilisering van de energietarieven.</li> </ul>
<p><b>13.3.</b> <b>Geïntegreerde energie-infrastructuur</b></p>	<p>Doelmatig en integraal ontwerp van kosten efficiënte multi-commodity energie infrastructuur voor veranderende vraag en aanbod en benodigde flexibilisering.</p>	<p>Nieuwe kennis en tools die bijdragen aan de integrale afwegingen die de energietransitie met zich meebrengt (onzekerheid in beleid, kostenontwikkeling, vraagontwikkeling, wendbaarheid.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Multiscale modeling &amp; sector koppeling;</li> <li>• Kwantificeren, modificeren en optimaliseren van de rol van flexibiliteit;</li> <li>• Onzekerheid bij de planning en adaptief ontwerp (noret, robuuste investeringen).</li> </ul>
<p><b>13.4.</b> <b>Flexibele energiemarkten</b></p>	<p>Economische aspecten van de energietransitie, zoals verdienmodellen en marktmechanismen voor lage maatschappelijke kosten en de juiste prikkels voor de stakeholders.</p>	<p>Energiemarkten: marktmechanismen en regulering, verdienmodellen.</p>
<p><b>13.5.</b> <b>Opslag en conversie</b></p>	<p>Inpassing van grootschalige opslag en conversie voor het integrale energiesysteem.</p>	<p>In kaart brengen van potentieel aan en noodzakelijke capaciteit van energieopslag in Nederland</p>
<p><b>13.6.</b> <b>Operationeel management en digitalisatie</b></p>	<p>Operationeel managen van energiesysteem met aandacht voor regelmechanismen en digitalisatie.</p>	<p>Onderzoek naar noodzaak, mogelijkheden en aanpak van sturing in de toekomstige hybride decentrale energiesystemen. Mechanismen voor het operationeel regelen van het energiesysteem (marktmechanismen, algoritmen, interacties)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profileren en forecasting van flexibiliteit;</li> <li>• Ontwikkeling van mechanismen en algoritmen voor directe aansturing van het energiesysteem;</li> <li>• Inrichting en toetsing van systeemmechanismen;</li> <li>• Security en privacy in het energiesysteem;</li> <li>• Digitale architecturen en standaarden voor monitoring en control van het energiesysteem;</li> <li>• Raamwerk voor digitale infrastructuur;</li> <li>• Ontwikkeling van voorzieningen voor het verzamelen en delen van operationele energiedata;</li> <li>• Ontwikkeling van de control room van de toekomst.</li> </ul>

**Redactie:**

Werkgroep Energie en Duurzaamheid: Pallas Agterberg, Maarten Bijl, Johann Hurink, Han La Poutré, Gerdien van de Vreede, Mathijs de Weerd en Tijs Wilbrink.

Met dank aan de vele eerste lezers en de leden van de werkgroep Energie en Duurzaamheid.

**Contact:**

Email — [energie@nlaic.com](mailto:energie@nlaic.com)

Website — [nlaic.com](http://nlaic.com)

Augustus 2021