

Titel	Energie in de gebouwde omgeving (P307)
Missie/ Topsector	MMIP4 Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving (individueel en collectief) / Topsector Energie
Contactpersonen TNO	Richard Braal (DM EpoT), Maurice Hanegraaf (VPM EpoT) + Frits Verheij (Coördinator Aardgasvrije Wijken)
Contact Extern	Ans van den Bosch (Min. EZK) + Jos van Dalen (Min. BZK) / Rik te Raa (TKI Urban Energy) + Jörg Gigler (TKI Nieuw gas)
Programma jaar 2020 - Samenvatting	
<p>De gebouwde omgeving in Nederland staat voor de uitdaging om een betaalbaar, betrouwbaar en maatschappelijk aanvaardbaar alternatief te vinden voor aardgas als bron van warmte, en daarbij de uitstoot van CO₂ in 2050 naar nul terugbrengen. TNO levert hieraan een bijdrage door nieuwe kennis en innovaties in renovatieconcepten van gebouwen, ontwerptools voor slimme warmtenetten, praktijkrichtlijnen voor geothermie in de gebouwde omgeving, support aan pilots voor ondergrondse opslag, sociale innovaties voor aardgasvrij wonen, handboek besluitvormingsproces en een methodiek 'Technology Insights' voor aardgasvrije wijken, transparantie in tariefstructuren van warmtenetten, en energiemangement platforms voor bedrijventerreinen. TNO sluit daarbij aan op de deelprogramma's voor collectieve warmtesystemen in MMIP4 Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving.</p> <p>Het VP Energie in de Gebouwde Omgeving is onderdeel van het overkoepelende programma Aardgasvrije Wijken dat bestaat uit drie speerpunten: 1) versnelde renovatie van gebouwen; 2) succesvolle wijkaanpak; en 3) verduurzaming van de lokale warmtevoorziening door Geothermie en 4) TermoGis & Geothermie. De belangrijkste resultaten die TNO in 2020 beoogd te behalen, zijn:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Versnelde renovatie van gebouwen (VP Energo)</i> <ul style="list-style-type: none"> o Technologieontwikkeling ter digitalisering en industrialisering renovatieproces (BIM gedreven processen, robotisering, prefabricatie) o Analyse aanpak voor vooroorlogse woningen en monumenten in aardgasloze wijken. o Koppeling van monitoring data met modellen voor energieprestatie en binnenmilieukwaliteit, inclusief geluid. o Uitbreiding ontwikkelomgeving voor (complexe) warmtepomptesten en systeemdemonstratie van compacte, verliesvrije, thermische opslag. - <i>Succesvolle wijkaanpak (dit VP 307)</i> <ul style="list-style-type: none"> o Handboek besluitvormingsprocessen aardgasvrije wijken 1.0, opgesteld in samenwerking met de G4-gemeenten; o Methodiek voor herhaling en opschaling 'Technology Insights' inclusief een database met toekomstige impact van 15 duurzame energie technologieën voor aardgasvrije wijken; o Kostensheets en kentallen voor warmtenetten plus tariefstructuren op basis van praktijkgegevens, en analyse van prikkels tot efficiëntie in regulering warmtemarkt; o Financieringsmodel voor warmte-coöperaties; o Twee handreikingen voor traject naar aardgasvrij wonen: a) benutten drijfveren en barrières bewoners; en b) perceptie financieringsmodellen; o Analyse en handelingsperspectieven participatiemodellen; o Dynamisch Energie Informatiesysteem Bedrijventerreinen. - <i>Verduurzaming van de lokale warmtevoorziening (dit VP 307)</i> <ul style="list-style-type: none"> o Exploratie 'white spot area' door toepassing innovatieve exploratietechnieken en realisatie innovatieve drilling methoden; 	

- Ontwikkeling publieke tooling voor het inschatten en beheersen van seismische risico's;
- Wegnemen wettelijke barrières voor grootschalige toepassing van HTO door nationaal innovatieprogramma en realisatie HTO pilot projecten gekoppeld aan een geothermische installatie, biomassa centrale en warmtenetwerken;
- Ontwikkelen en testen van technologie voor het ontwerp en aansturing van slimme en duurzame warmtenetten;
- *ThermoGIS & Geothermie (VP GDN)*
 - Toegankelijker maken van thermogis.nl voor gebruikers zonder geologische achtergrond.
 - Ontwikkelen en verbeteren betrouwbaarheid van achterliggende databases en modellen (temperatuur, productie, geo-chemie etc).
 - Integratie van HTO-potentieel in ThermoGis
 - Karakterisatie van ondiepe reservoirs voor geothermie (800 – 1500M)

Het overkoepelende programma Aardgasvrije wijken bestaat uit het VP P505 Energo (lead: BI&M) en een deel van VP P502 Duurzaam Bouwen (lead: BI&M), en het VP P307 Energie in de Gebouwde Omgeving (lead: ECN.TNO). In dit document worden het VP P307 (Succesvolle wijkaanpak en Verduurzaming lokale warmtevoorziening) en VP GDN (ThermoGis & Geothermie verder toegelicht. Er is afstemming en samenwerking met het VP P325 Energy Transition.

Korte beschrijving

Huis- en gebouweigenaren moeten de komende jaren op zoek naar een alternatief voor aardgas. Het benutten van drijfveren en het vermijden van barrières voor aardgasvrij wonen maakt deze transitie makkelijker. In de overgang naar aardgasvrije wijken dienen meerdere besluiten te worden genomen in een complexe omgeving met veel verschillende belangen, de heterogeniteit van de woningvoorraad, verschillen in warmte-infrastructuur, de noodzaak van maatschappelijk draagvlak en beperkingen van de wetgeving.

Gemeenten, netbeheerders, woningbouwcorporaties en andere partijen zijn gestart met 'aardgasvrije wijken'; in 27 wijken gebeurt dat met subsidie van BZK (klimaatveloppe). Bedrijventerreinen – een bijzondere categorie wijken – verdient in de volgende ronde aandacht vanwege de relatief grote omvang van het energiegebruik: 300 PJ in 2018.

In de energiesector ontstaat toenemende belangstelling voor alternatieve vormen van warmtelevering – met inzet van zowel hoge en lage temperaturen, elektriciteit en duurzaam gas. Elke oplossingsrichting kent echter beperkingen:

- Duurzame elektriciteit groeit snel (aandeel 15% eind 2018), maar de noodzakelijke netverzwaring is duur, gaat langzamer dan de groei van windparken en zonneweiden en netbeheerders hebben een tekort aan personeel;
- Duurzame warmte zal voor een belangrijk deel komen van geothermie (200+ PJ in 2050), aquathermie en zon-thermie. Geothermie leverde in 2017 nog maar 3 PJ, aquathermie en (grootschalige) zon-thermie staan nog in de kinderschoenen. In 2050 is de warmtevraag in de gebouwde omgeving naar verwachting 800 PJ;
- Duurzaam gas (biogas, groengas, waterstof), al lopen de meningen over voldoende beschikbaarheid voor de gebouwde omgeving uiteen.

Dit VP richt zich op de inpassing van duurzame warmte. Het sluit aan op de doelstellingen van MMIP4 Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving (individuele en collectieve systemen). Elektrificatie ligt bij VP Energy Transition, duurzaam gas bij VP Fuels and Feedstocks. Het VP heeft twee speerpunten: 1) succesvolle wijkaanpak; en 2) verduurzaming van de lokale warmtevoorziening. Samen met het speerpunt "versnelde renovatie van gebouwen" in de VP Energo resulteren deze in concepten voor betrouwbare en betaalbare aardgasvrije wijken.

Om goede besluiten te nemen is kennis nodig van technische, sociale, financiële en maatschappelijke mogelijkheden en beperkingen, maar vooral van de wijze waarop deze besluiten tot stand komen. Inzicht in de (toekomstige) mogelijkheden en impacts van energietechnologieën voor aardgasvrije wijken ontbreekt nog. Kennis over drijfveren en barrières van bewoners, maar ook die van bedrijven op bedrijventerreinen voor de transitie naar aardgasvrij wonen resp. werken is nog heel beperkt. Dat geldt ook voor bijvoorbeeld de perceptie van nieuwe mogelijkheden zoals financieringsvormen. Transparantie in kosten

en kostenstructuren van warmtenetten ontbreekt in Nederland. TNO wil ervaringen hiermee in andere landen omzetten naar bruikbare kennis voor de Nederlandse situatie.

Doelstellingen 2023 voor het speerpunt Succesvolle wijkaanpak:

- Besluitvormingsprocessen en ondersteunend afwegingskader, in de praktijk bewezen (en gemonitord) in minimaal vijf gemeenten;
- Jaarlijkse update van 'Technology Insights' voor aardgasvrije wijken;
- Instrumentarium en gestandaardiseerde aanpakken voor het ontwikkelen van een aardgasvrije wijk: sociaal, juridisch en economisch;
- Met de vraagzijde ontwikkelde, opschaalbare en in de praktijk toegepaste diensten zoals ESCo, participatiemodel en one-stop-shop voor aantrekkelijk aardgasvrij wonen en werken.

Doelstellingen 2023 voor het speerpunt Verduurzaming van de lokale warmtevoorziening:

- 20% kostenverlaging voor de productie van duurzame warmte via geothermie.
- 25% kostenreductie aanleg en operatie van warmtenetten door innovatief ontwerp en aansturing
- Demonstreren van grootschalige seizoensopslag van warmte in de ondergrond via grootschalige pilots.

Doelstellingen 2023 voor het speerpunt ThermoGis & Geothermie:

- Toegankelijk maken van ThermoGis voor gebruikers zonder geologische achtergrond.
- Vergroten van de functionaliteit en applicaties van ThermoGis met focus op de ontwikkeling van (productie) databases, HTO potentieel en potentieel van ondiepe geothermie (tot 1500 meter).

Resultaten 2020

Speerpunt Succesvolle wijkaanpak

In dit speerpunt wordt kennis ontwikkeld in vijf onderling sterk verbonden, sociaalmaatschappelijk relevante onderwerpen:

1. Praktische handvatten voor besluitvormingsprocessen en monitoring;
2. Factsheets duurzame energietechnologieën in aardgasvrije wijken met daarin trends voor enkele parameters (Technology Insights);
3. Institutionele aspecten, tarifiering en lokale arrangementen voor warmtenetten;
4. Duurzaam wonen, sociale innovatie en participatiemodellen;
5. Bedrijventerreinen aardgasvrij.

Praktische handvatten voor besluitvormingsprocessen en monitoring

In 2019 heeft TNO gewerkt aan het analyseren van de hoofdelementen voor succesvolle besluitvorming bij o.a. de G4-gemeenten. Dit kennisfundament wordt in 2020 afgerond. Het resultaat wordt vastgelegd in een "Handboek besluitvormingsprocessen aardgasvrije wijken". Kennisontwikkelingsactiviteiten hebben in 2019 ook geleid tot procesmethodieken en bouwstenen voor het Energy Policy Support Lab (EPL) in de gebouwde omgeving/aardgasvrije wijken. Dit EPL kan in de praktijk van besluitvorming een sleutelrol spelen bij het aardgasvrij maken van wijken. Het EPL is het bij elkaar puzzelen van lokale en 'onbetwiste' kennis en belangen in de complexiteit van de energietransitie. Het TKI project Adaptiva heeft geleid tot een procesbeschrijving en een (low tech) werkplaats voor het delen van data. Deze bouwstenen toepassen in de praktijk en het verder ontwikkelen van het EPL (richting bv meer high tech ontwikkeling) is dan ook een doelstelling voor 2020.

De Pilotwijken van BZK kunnen via het KLP onder leiding van VNG bijdragen aan kennisoverdracht naar de andere gemeenten die geen pilotwijk hebben. Het gestructureerd leren op basis van deze pilots, maar vooral ook het monitoren van de effecten van de pilotwijken, wordt van belang. Het gaat dan om het monitoren van het succes van bewonersaanpakken en de mate waarin dit bijdraagt aan de doelstellingen van het ministerie (als het gaat om snelheid, CO2 prestatie, bewonersparticipatie en conversiegraad – mate of snelheid waarin bewoners een 'klantreis' maken). Deze monitoring vindt nog niet plaats, en er is

hier ook nog zeer weinig informatie in de literatuur beschikbaar. Om het ministerie te helpen wordt in 2020 samen met Platform31 een dergelijke monitoring opgezet, in combinatie met een gestructureerde evaluatie om het lerend vermogen van gemeenten en andere partijen te vergroten.

In 2020 zullen o.a. de volgende resultaten worden behaald:

- Handboek Besluitvormingsprocessen aardgasvrije wijken 1.0;
- Ontwikkeling en toepassen van bouwstenen voor Energy Policy Support Lab aan de hand van praktijksituatie;
- Monitoring tool voor 'niet-technische' voortgang aardgasvrije wijken.

Technology Insights – trends in technologieën aardgasvrije wijken

Er is een veelheid aan technologieën beschikbaar en in ontwikkeling om de gebouwde omgeving aardgasvrij en duurzaam te maken. In de praktijk zal een combinatie van deze uiteenlopende technologieën geïmplementeerd worden om de duurzaamheidsdoelstellingen van o.a. het Klimaatakkoord te behalen. Om een goede afweging te kunnen maken tussen de toepassing van deze verschillende energietechnologieën is het noodzakelijk de impacts hiervan goed te kunnen kwantificeren – of tenminste in te kunnen schatten. Er komt steeds meer kennis beschikbaar over de impacts, maar deze richt zich bijna exclusief op de huidige situatie en/of is beperkt tot de ontwikkeling van kosten. Informatie over hoe de impacts van energie technologieën op gebruiksgemak, duurzaamheid, toepasbaarheid e.d. zich in de toekomst gaan ontwikkelen is slecht beschikbaar of zelfs helemaal niet voorhanden. TNO heeft als enige partij de middelen, het overzicht en de expertise om deze kennis te ontwikkelen, te bundelen en in haar objectieve, neutrale rol openbaar beschikbaar te maken.

Technology Insights is een onderzoeksthema dat in 2019 een eerste methode heeft opgeleverd om te komen tot een overzicht van toekomstige energie technologieën. Het doel is deze methode verder aan te scherpen, en de toepassing hiervan op te schalen voor tenminste 15 veelvoorkomende energietechnologieën. Deze inzichten worden openbaar beschikbaar gemaakt, bij voorkeur in afstemming met (en gefaciliteerd door) het Expertise Centrum Warmte.

In 2020 zullen o.a. de volgende resultaten worden behaald:

- Methodiek voor herhaling en opschaling 'Technology Insights' aanpak;
- White-paper over inschalen van impacts, zo compleet, onderbouwd en transparant mogelijk;
- Database met toekomstige impacts van minimaal 15 duurzame energie technologieën voor aardgasvrije wijken.

Institutionele aspecten, tarifiering en lokale arrangementen voor warmtenetten

Dit onderdeel richt zich op:

- Beter inzicht in de kosten, inclusief vergelijkingen met het buitenland;
- Vertalen van kosten naar tarieven, ook met vergelijkingen buitenland;
- Actief delen van resultaten om een gelijk speelveld voor alle partijen die betrokken zijn bij aardgasvrije opties te bevorderen en daarmee (meer) ruimte voor innovatie te stimuleren bij deze partijen.

Inzicht in de kosten

Het onderzoek naar de kosten van de warmtenetten van 2019 wordt voortgezet. In 2019 zijn sheets gemaakt van de verschillende kosten. Deze zijn aan enkele bedrijven voorgelegd. In 2020 worden de kostensheets voorgelegd aan méér bedrijven, met hen bediscussieerd en verder ingevuld. Ze worden zo mogelijk uitgesplitst naar verschillende soorten warmtevoorzieningen. Van deze kosten worden vervolgens kentallen gemaakt (tussen minimum en maximum) voor de verschillende kostenposten.

Tevens wordt onderzocht hoe kostensheets in het buitenland zijn opgebouwd en wordt dat, voor zover mogelijk is, vergeleken met de kostenstructuren in Nederland.

Resultaat in 2020:

- Verbeterde kostensheets warmtenetten, die besproken zijn met een verschillende partijen uit de warmtesector;

- Kentallen voor verschillende, onderling te onderscheiden kostenposten;
- Vergelijkend overzicht kosten/kentallen NL met 2-3 andere landen.

Tarieven en tariefstructuren

Het onderzoek naar tarieven en tariefstructuren wordt voortgezet. In 2019 zijn verschillende tariefstructuren geanalyseerd. Nu worden deze tariefstructuren op basis van de kostensheets – voor zover die beschikbaar zijn of door de sector verstrekt worden – op hoofdlijnen ingevuld zodat er zicht ontstaat op mogelijke tarieven voor een situatie met (veel) meer warmtenetten in de gebouwde omgeving. Daarnaast vindt een vergelijking plaats tussen tariefstructuren en tarieven in Nederland en twee andere landen. Dit wordt ook besproken met verschillende bedrijven.

Aanpalend aan dit onderzoek is in de 2e helft van 2019 een onderzoek gestart naar financieringsmodellen voor warmte-coöperaties. Dit onderzoek wordt in 2020 afgerond.

Resultaat in 2020:

- Verder uitgewerkte tariefstructuren, ingevuld met cijfers uit de praktijk;
- Vergelijkend overzicht van tariefstructuren en tarieven in tenminste twee andere landen (en Nederland);
- Financieringsmodel voor warmte-coöperaties.

Gelijk speelveld voor warmtevoorziening

Aardgasvrije wijken ontwikkelen zich efficiënt als er een gelijk speelveld is tussen de verschillende warmte-opties en als nieuwe partijen vrij kunnen toetreden tot de warmtemarkt. Soms zijn er toetredingsbelemmeringen voor nieuwkomers in de markt, wat vaak een belemmering is voor innovatie en waardoor de tarieven hierdoor onnodig hoog blijven. Daarnaast worden de verschillende opties voor warmte (elektriciteit, warmtenet) niet op dezelfde manier behandeld, bijvoorbeeld met betrekking tot het socialiseren van kosten. Dat kan leiden tot inefficiënte keuzes. Dit onderdeel onderzoekt de markt voor warmte en de bijbehorende regulering en gaat na of deze prikkels geeft tot efficiëntie, inclusief enkel mogelijkheden zijn voor verbeteringen.

Resultaat in 2020:

- Rapport met een analyse van de prikkels tot efficiëntie in de regulering van de warmtemarkt.

Duurzaam wonen, sociale innovatie en participatiemodellen

Tienduizenden – en over enkele jaren zelfs tweehonderdduizend – woningen per jaar klaar maken voor verwarmen zonder aardgas, is een technische en logistieke uitdaging. Het is ook een uitdaging om te komen tot nieuwe verdienmodellen, en vooral om te komen tot maatschappelijke aanvaardbare oplossingen. Het grijpt namelijk direct in op het dagelijks leven van die tien- tot honderdduizenden Nederlanders per jaar. Een succesvolle wijkaanpak staat of valt met de betrokkenheid van de bewoners. In voorgaande jaren zijn, samen met het VP Naar een maatschappelijk gedragen energietransitie, methodes ontwikkeld om burgers te betrekken bij de besluiten rond aardgasvrije wijken. In 2019 heeft dit o.a. geleid tot een analyse ‘in het veld’ en daaruit volgend overzicht van drijfveren en barrières die bewoners ervaren in de transitie naar aardgasvrij wonen.

In 2020 worden de drijfveren en barrières gebruikt voor de ontwikkeling van een aanpak om meer bewoners mee te nemen naar aardgasvrij. De aanpak bevat o.a. aanbevelingen voor de rijksoverheid, gemeenten en marktpartijen.

De financiering is een belangrijke barrière, daarom wordt er tevens worden een analyse gemaakt van de perceptie van bewoners ten aanzien van verschillende financieringsmodellen (o.a. lening, subsidie, lease constructie). Resultierend in aanbevelingen aan rijksoverheid, gemeenten en marktpartijen om financieringsmogelijkheden aantrekkelijker te maken voor bewoners. We zoeken hierbij samenwerking met het Nibud, Rabobank, en het ministerie van Binnenlandse Zaken (BZK).

Tot slot is onderzoek naar participatiemodellen voor collectieve duurzame energieoplossingen (VvE's, energie coöperaties) voor aardgasvrij wonen cruciaal. Bewoners willen of moeten in veel gevallen samen besluiten nemen. Wanneer dit goed benut wordt, kan het een kans zijn om de transitie te versnellen. Onderzoek naar ervaringen met verschillende typen van dit soort

modellen is onderdeel van de kennisontwikkeling voor 2020, inclusief de link naar handelingsperspectieven voor bewoners én beleidsmakers.

In 2020 zullen o.a. de volgende resultaten worden behaald:

- Handreiking Benutten drijfveren en slechten van barrières bewoners naar aardgasvrij wonen;
- Handreiking voor rijksoverheid, gemeenten en marktpartijen over perceptie van bewoners t.a.v. financieringsmodellen aardgasvrij wonen;
- Analyse, met handelingsperspectieven, van participatiemodellen in het kader van aardgasvrij wonen.

Aardgasvrije bedrijventerreinen

In Nederland zijn er 3.600 bedrijventerreinen met een gezamenlijk oppervlak van 80.000 hectare (2% van Nederland). 37% van deze terreinen bestaat uit middelgrote terreinen met MKB vestigingen. Deze zijn verantwoordelijk voor een gezamenlijk energieverbruik van 12% van het totale energiegebruik in Nederland (300 PJ jaar).

TNO werkt in de PMC Aardgasvrij bedrijventerreinen aan het onderzoek dat nodig is om bedrijventerreinen te verduurzamen. Aan dit PMC zijn verschillende projecten verbonden om de benodigde kennis, technologie en instrumenten hiervoor te ontwikkelen. TNO is initiatiefnemer van twee nationale initiatieven om gezamenlijk verduurzaming van bedrijventerreinen te realiseren: a) BE+ en b) Greendeal/convenant duurzame bedrijventerreinen. BE+ is een Bottom-up initiatief waarin bedrijventerreinen met elkaar kennis delen en ontwikkelen; in het convenant duurzame bedrijventerreinen werken overheden en gerelateerde diensten en instanties samen.

Bij de bedrijventerreinen die bij BE+ zijn aangesloten, zijn de volgende knelpunten geïdentificeerd waarvoor TNO (verdere) kennis ontwikkeld:

- Het ontbreken van de energiegebruiksgegevens;
- Het ontwikkelen van een gezamenlijke geïntegreerde aanpak waarin de 'stick' wordt gecombineerd met de 'carrot';
- Monitoring van de resultaten;
- Investeerdere voor collectieve financiering in ESCo businessmodellen;
- Knelpunten in het elektriciteitsnetwerk;
- Ontwikkeling van warmtenetten met een goede businesscase.

In 2020 zullen o.a. de volgende resultaten worden behaald:

- Samenwerking met financiële instellingen (bv. InvestNL, groenfondsen, pensioenfondsen, banken, etc.) om Bedrijventerreinen-ESCo's beter financierbaar te maken;
- Dynamisch Energie Informatiesysteem Bedrijventerreinen;
- Flexscan waarmee de mogelijkheden voor flexibiliteit op bedrijventerreinen kan worden ingeschat op basis van openbare informatie (gebruik makend van gemiddelde energieprofielen per sector);
- Methode voor monitoring van de voortgang van energieprojecten op bedrijventerreinen.

Speerpunt Verduurzaming van lokale warmtevoorziening.

Dit speerpunt bestaat uit de onderwerpen:

1. Geothermie,
 - a. Exploratie & realisatie
 - b. Productie optimalisatie
 - c. Well technology
2. Seizoensopslag van warmte
3. Duurzame & slimme warmte netwerken.

1A Geothermie; Innovatieve exploratie & realisatie

Doel is het verlagen van geologisch risico, en verlagen van investeringskosten. De grootse investeringskosten voor geothermie zitten in de boorkosten en realisatie van de putten. TNO zet in op de volgende technieken voor kostenverlaging voor putten en vermindering van het exploratierisico op een misboring:

- Ontwikkeling van innovatieve putconcepten voor HTOm ondiepe en diepe geothermie
- Toepassen van nieuwe materialen zoals composite casings
- Exploratie en performance analyse technieken die het risico op een misboring verkleinen
- Risicoreductie door collectieve aanpak 'geothermal plays'.

Dit moet in 2020 o.a. leiden tot het ontwerp en demonstratie van innovatie boring een 'white spot area' met als doel de investeringskosten met 1M te verlagen per boring.

1B Geothermie; Productie optimalisatie

Het doel van dit onderwerp is een hogere effectiviteit van de productie. De onderzoeksactiviteiten zijn erop gericht om de productie met 20% te verhogen en de ondergrond effectiever en veilig uit te nutten. Door een hogere productie verbetert de business case van geothermie projecten en kan de SDE subsidie worden verlaagd. Tevens kan Geothermie worden ontwikkeld in gebieden waarvan het potentieel nu onvoldoende is. Een nevendoeel is (het vergroten van) veiligheid omdat continue monitoring en performance analyse van het geothermisch systeem integraal onderdeel uitmaakt van de voorgestelde aanpak. TNO zet in op ontwikkeling van de volgende technieken:

- Risicoreductie voor de ontwikkeling van geothermal plays
- Productiviteit/injectiviteits verbetering van putten door optimale integratie van slim design, materialen en stimulatie
- Verlenging levensduur van ondergrondse en bovengrondse installatie en borging veiligheid
- Performance verbetering met hybride oplossingen en warmteopslag
- Een praktijkrichtlijn voor industrie standaarden.

Dit moet o.a. leiden lagere kosten en een betere business case voor geothermie projecten Dit vertaalt zich in betere modellen en toepassing in projecten in 2020.

1C Geothermie; Well technology

Het OIC-WT-centrum is een unieke onderzoeksfaciliteit die dient als schakel tussen onderzoek en testen op wetenschappelijk- en laboratoriumschaal naar implementatie in het veld. Het doel van het centrum is om:

- " Total Cost of Ownership of Lifecycle Cost" van geothermische installaties te verlagen
- Levensverlenging van bestaande putten voor CO2-opslag en geothermische productie
- raining en onderwijs doeleinden.

In 2020 worden gestart met projecten op het gebied van natural seals, stimulatietechnieken voor productieoptimalisatie, smart casings en nieuwe materialen voor geothermische putten.

Grootschalige demonstratie seizoensopslag warmte

Het doel is om de toepassing van ondergrondse warmteopslag grootschalig mogelijk te maken. Hiertoe zijn grootschalige pilot projecten nodig 40 tot 90 graden in combinatie met uiteenlopende warmtebronnen: geothermisch, zonnewarmte, restwarmte, uit afvalverwerking. De warmte uit die bronnen moet worden opgeslagen in waterhoudende lagen, boorputten, lege mijnen of welke mogelijkheid ter plekke ook voorhanden is. Door het intelligent combineren van warmtebronnen en opslag-technologieën moet het mogelijk zijn om met opgeslagen warmte een heel seizoen te overbruggen. Vraag van huishoudens en bedrijven matchen dan veel beter met het aanbod. Het overschot in de zomer wordt honderden meters diep opgeslagen

in waterhoudende lagen (aquifers) om in de winter te leveren aan warmtenetten. De belangrijkste kennisvragen zijn gericht op verbeteren van het rendement voor warmteopslag en het opstellen van eisen omtrent veiligheid, milieu impact en monitoring.

In 2020 zal TNO in samenwerking met partners een HTO pilot realiseren, gekoppeld aan een geothermische installatie. Deze installatie wordt uitgebreid gemonitord. Tevens wordt in 2020 gestart met de voorbereiding van 2 – 3 nieuwe grootschalige pilots. Na een succesvolle demonstratiefase kunnen wettelijke barrières worden weggenomen en daarmee grootschalige toepassing van deze technologie mogelijk te maken.

Slimme en duurzame warmtenetten

Bestaande warmtenetten bestaan meestal uit één grote (fossiele) warmtebron gekoppeld aan een hoge temperatuur warmtenetwerk. Het warmtenetwerk van de toekomst bestaat uit een combinatie van duurzame warmtebronnen en verschillende type afnemers. Deze afnemers hebben verschillende behoeften ten aanzien van temperatuur. Hierdoor zal de complexiteit van het ontwerp en operatie van warmtenetwerken toenemen. Daarnaast kunnen warmtenetwerken worden gekoppeld aan het elektriciteitsnetwerk en overschotten aan elektriciteit omzetten in duurzame warmte. TNO werkt aan de ontwikkeling van technologieën die deze complexe netwerken op een optimale manier kunnen ontwerpen en aansturen. Hierdoor kunnen de investeringskosten, en operationele kosten voor het ontwerp en aansturing worden verlaagd binnen de randvoorwaarden betrouwbaarheid en leveringszekerheid.

In 2020 worden deze technologieën aan de hand van praktijk cases getest en verder ontwikkeld samen met operators van warmtenetwerken. De warmtebedrijven zijn bij dit initiatief aangesloten en ontwikkelen actief mee om dit samen verder te ontwikkelen.

Speerpunten ThermoGis & Geothermie

Dit speerpunt bestaat uit de volgende onderwerpen:

1. Toegankelijker maken van thermogis.nl voor gebruikers zonder een geologische achtergrond of ervaring in de geothermie. Hiervoor wordt input van gebruikers verwerkt in het verbeteren van de gebruikersvriendelijkheid.
2. Ontwikkelen en verbeteren van achterliggende databases en modellen (temperatuur, productie, geochemie etc.).
3. Integratie van HTO-potentieel in ThermoGis. Binnen ThermoGis wordt in 2020 gewerkt aan de ontwikkeling van landelijke potentieel kaarten voor HTO-projecten.
4. Karakterisatie van ondiepe reservoirs voor geothermie (800 – 1500M). Geothermische reservoirs op een dieptes van minder 1500m kunnen warmte leveren aan lage- en midden temperatuur warmtenetten, mogelijk in combinatie met een warmtepomp. De ontwikkelkosten van ondiepe geothermie is lager en kan worden gekoppeld aan meer kleinschalige projecten. Er is relatief weinig data beschikbaar of pasklaar ontsloten van ondiepere reservoirs. Om deze ondiepe reservoirs te ontsluiten in ThermoGis worden eigenschappen en structuren van ondiepe reservoirs in kaart gebracht en vertaald naar potentieelkaarten. Hierbij wordt aangesloten op de hydrogeologische kartering REGIS-II. Dit wordt gekoppeld aan performance modellen voor ondiepe geothermische projecten (gebaseerd op specifiek boorontwerp en installaties voor ondiepere reservoirs).

TNO werkt samen met een groot aantal partijen. De belangrijkste partners en afnemers van kennis zijn:

- Kennispartners, met name Deltares, TUD, Universiteit Utrecht, KWR en Erasmus Universiteit Rotterdam.
- Warmtebedrijven zoals HVC, Vattenfall en Stadsverwarming Purmerend.
- Netbedrijven zoals Enpuls.
- EBN en geothermie operators zoals Engie, Hydreco, DAGO en Shell.
- Rijksoverheid: ministeries BZK en EZK, PBL, RVO.
- Topsector Energie, met name TKI Urban Energy en TKI Nieuw Gas.
- Platform 31 en gemeenten, met name Amsterdam, Rotterdam, Den Haag en Utrecht.
- Aanbieders van diensten op gebied van aardgasvrije gebouwde omgeving, bijv. Reimarkt. Consultants zoals Greenvis, IF Technology en Blueconomy, beheerders bedrijventerreinen, en financiers zoals OostNL en Rabobank.

Dynamiek

VP Energie in de gebouwde omgeving is begin 2019 gestart, als onderdeel van het overkoepelende 'programma' Aardgasvrije wijken.

In 2018 is een enorme dynamiek in Aardgasvrije Wijken ontstaan dat zich in 2019 heeft doorgezet. Nieuwe spelers betreden de markt en burgers starten wijkcoöperaties. In het Klimaatakkoord zijn hoge ambities opgenomen voor de gebouwde omgeving. De wijkaanpak heeft daarin een prominente plaats. Om de lange-termijn ambitie van een klimaat-neutrale gebouwde omgeving te realiseren is een omvangrijk kennis- en innovatieprogramma nodig. Belangrijk uitgangspunt daarbij is dat de maatschappelijke kosten tot een zo laag mogelijk niveau zijn gedaald. De TKI Urban Energy heeft in samenwerking met TNO en andere partijen meerjarige missie-gedreven innovatieprogramma's (MMIP's) opgesteld voor een aardgasvrije gebouwde omgeving. Voor dit VP is met name MMIP4 Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving (individuele en collectieve systemen) van belang.

Begin 2019 zijn de eerste MMIP's in de markt gezet; een pilot voor de betrokken ministeries, RVO en Topteam Energie. Bedrijven, kennisinstellingen en andere partijen worden gestimuleerd en gefaciliteerd om hun kennis, capaciteit en middelen meerjarig te bundelen in grootschalige consortia die (delen) van de MMIP's kunnen gaan uitvoeren. TNO leidt twee consortia die begin september 2019 een voorstel indienen/hebben gediend: WarmingUP (MMIP4 collectieve warmte) en IETBB (MMIP3 en MMIP4 gebouw-gebonden warmte). In 2019 is ThermoGis 2.0 gelanceerd en is er grote behoefte bij beleidsmakers, RES regio's, warmtebedrijven en geothermie operators om de betrouwbaarheid en functionaliteiten van ThermoGis verder uit te breiden.

TNO werkt binnen dit VP nauw samen met warmtebedrijven, netbedrijven, EBN, geothermie operators, gemeentes, provincies, Platform31, adviesbureaus en andere onderzoeksorganisaties. Er is 2-3x per jaar een gezamenlijk overleg met de ministeries EZK en BZK, naast regelmatig overleg met vertegenwoordigers van beide ministeries, RVO, TKI Urban Energy en TKI Nieuw Gas. TNO is dus goed gepositioneerd bij bedrijven en overheden in de warmteketen. Daarnaast is TNO nationaal en internationaal actief betrokken bij het opzetten van consortia binnen het speelveld van aardgasvrije wijken.

Titel	Energio - Urban Energy (P505)
Missie/ Topsector	Energie in de Gebouwde Omgeving
Contactpersonen TNO	Peter Paul van 't Veen, Linda Hoes – van Oeffelen
Contact extern	Rik te Raa (TKI UE), David van der Woude (BZK)

Programma jaar 2020 - Samenvatting

Het programma Energie in de Gebouwde Omgeving richt op de realisatie van een energie neutrale gebouwde omgeving in 2050 en heeft als doel om, binnen een horizon van 5-8 jaar, de benodigde opschaling van het aantal uit te voeren energierenovaties in de bestaande bouw te helpen realiseren. De opgave om per jaar ca. 200.000 bestaande woningen van aardgas af te brengen en te voorzien van een duurzame warmtevoorziening is direct gekoppeld aan een vergelijkbaar grote opgave om de gebouwde omgeving energieneutraal te maken. Deze laatste opgave is ook van toepassing op de tuinbouwsector, waarin het gebruik van aardgas sterk teruggebracht moet worden. Verder groeit wereldwijd de behoefte aan klimaatbestendige tuinbouwkassen. Technologie en processen om deze schaalgrootte mogelijk te maken moeten in de komende jaren uitontwikkeld worden, zodat ze vanaf 2022 breed toegepast kunnen worden.

Binnen het programma Energio wordt gewerkt aan verschillende technologieën voor opwekking, conversie en opslag van duurzame energie en technologie en tools die de benodigde opschaling voor de verduurzaming van de gebouwde omgeving ondersteunen en het verbruik van energie reduceren (met behoud van comfort en gezondheid). Speerpunten zijn onder meer compacte warmteopslag, warmtepompen, energie-opwekking aan de gebouwschil en verduurzaming van tuinbouwkassen.

Warmteopslag

In 2020 zal compacte warmteopslag middels 3 verschillende technologieën worden doorontwikkeld: voelbare compacte opslag, thermochemische opslag d.m.v. zouten en compacte opslag d.m.v. redox reacties. Voor voelbare opslag focust het

onderzoek naar gebruik van alternatieve materialen met hogere energiedichtheid dan water en verbeterde isolatie van voelbare opslagbatterijen voor combinatie met PV en/of elektrische heaters. Voor thermochemische opslag focust het onderzoek op een verhoogde opslagdichtheid en een closed-loop reactor met opslagcapaciteit van 0,5-1 GJ. Ook zal het materiaal voor in de reactor doorontwikkeld worden. Voor redox reacties (“redox-heat”) wordt een opslagmodule op basis van koper gedemonstreerd.

Warmtepompen

De ontwikkelomgeving voor (complexe) warmtepomptesten van het Heat Pump Application Center wordt in 2020 verder uitgebreid (o.a. PVT-warmtepompcombinatie, hybride warmtepompen, smart controls, efficiënte warm tapwaterproductie, dynamisch geluid en warmtebuffering voor warmtepompen).

Energieopwekking aan de gevel

Op BIPV(T) gebied zullen hoge performance gekleurde zonnecollector façade elementen op gebouwniveau (field labs) worden gedemonstreerd en wordt gestart met de ontwikkeling van adaptieve gevelelementen.

Verduurzaming tuinbouwkassen

In 2020 wordt nieuwe kennis toegevoegd aan het kasklimaat simulatie model SIOM en wordt een eerste digital twin gebouwd. Met de digital twin wordt het model getoetst en bijgesteld met verzamelde data van de specifieke kas. Daarnaast komen in 2020 voor kassenbouwbedrijven en toeleveranciers de eerste onderdelen van de GPS toolbox beschikbaar waarmee zij beter in staat zijn een seismisch- en klimaatbestendige kas te ontwerpen voor grote delen van de wereld.

De activiteiten in dit deelprogramma worden in nauwe samenhang met het VP Duurzaam Bouwen (P502) uitgevoerd. Innovaties in de renovatieketen (digitalisering, industrialisatie, conceptontwikkeling) en modelontwikkeling ten behoeve van het vaststellen en toetsen van prestaties ten aanzien van energie, comfort en binnenluchtkwaliteit zijn in het VP Duurzaam Bouwen belegd. Het VP Energo is verder onderdeel van het overkoepelende thema Aardgasvrije Wijken dat bestaat uit drie speerpunten: 1) versnelde renovatie van gebouwen (VP P505 Energo en het VP P502 Duurzaam Bouwen), 2) succesvolle wijk-aanpak en 3) verduurzaming van de lokale warmtevoorziening (beide onderdeel van het VP P307 Energie in de Gebouwde Omgeving, welke nauw zijn afgestemd met het VP P325 Energy Transition en het VP P326 Energy Systems).

Korte beschrijving

Warmtepompen en systeemintegratie.

Voor lucht/water en water/water warmtepomp concepten ligt de focus op verhogen van gebruikersacceptatie (bv stiller, compacter), optimalisatie van bestaande systemen en de ontwikkeling van nieuwe principes (terugwinning van laagwaardige restwarmte, koppeling met korte termijn warmteopslag). Hiervoor wordt technologie ontwikkeld waarmee toekomstige energiebehoeftebuffers en peak-load shaving wordt geoptimaliseerd, netwerken worden ontlast en overall systeemefficiëntie wordt verhoogd. De aandacht gaat ook uit naar hoe warmtepompen ingepast kunnen worden in grootschalige renovaties. De ontwikkeling van emulatortechnologie zorgt dat systemen in het laboratorium onder dynamische omstandigheden op hun werkelijke prestatie kunnen worden getest en geoptimaliseerd. Hiervoor worden lab-opstellingen via een hardware-in-the-loop principe verbonden. De emulatortechnologie wordt tevens ingezet om tot een optimale keuze van de warmtepomp in combinatie met het hele verwarmingssysteem te komen. Daarnaast wordt het installatieproces in de praktijk vereenvoudigd door de systemen zelfoptimaliserend te maken. Naast ontwikkeling in reguliere TKI projecten is de verwachting dat in 2020 het eerste project onder de vlag van het Bouw en Techniek Innovatie Centrum (BTIC) wordt opgestart vanuit de MMIP4 call.

Warmteopslag

Voor het onderwerp warmteopslag ligt de focus op voelbare opslag in materialen anders dan water, (de)hydratatie van zouten en redox reacties. De ontwikkeling van de technologie wordt geleid door de eisen die potentiële toepassingen stellen. De opslagtermijn van al deze technieken zal afhankelijk van de toepassing uiteenlopen van één of enkele weken tot maanden. De onderzoeksactiviteiten richten op het bewerkstelligen van verliesvrije opslag, hoge conversie-efficiëntie van systeem met opslag over de hele keten van opwekking tot gebruik, hoge stabiliteit over het gewenste aantal cycli (afhankelijk van toepassing en verwachte technische levensduur), compactheid (uiteindelijk doel 0,6-1 GJ/m³ op systeemniveau), robuustheid met

betrekking tot handling tijdens transport en installatie, vermogen afgestemd op applicatie-eisen, en LCOE-maximum (~100 €/MWh plus gemonetariseerde netvoordelen als onderdeel van de business case). Streven is om met 4 jaar een opschaalbare batterij voor 1 toepassing beschikbaar te hebben. Daarnaast wordt substantieel gewerkt aan fundamentele verbetering van opslagmaterialen (en composieten daarvan), een reactorbed, en mogelijk verbeterde reactorconcepten. Naast ontwikkeling in reguliere TKI en H2020 projecten is de verwachting dat in 2020 het eerste project onder de vlag van het BTIC wordt opgestart vanuit de MMIP4 call.

Energieopwekking aan de gebouwschil

Om grootschalige opwekking van duurzame energie aan de gebouwschil mogelijk te maken zullen kosten verlaagd, esthetische kwaliteit verhoogd en gebouwintegratie verbeterd moeten worden. Er worden meerdere subsystemen en concepten uitontwikkeld en gedemonstreerd (zonthermie, elektriciteit en/of combinatie). Op basis van functionele, bouwfysische en (bouw)productie analyses zullen totaalconcepten voor uiteenlopende situaties ontworpen en uitgewerkt worden en zullen daaruit ontwikkelingsvragen worden afgeleid. Voor componenten en systemen worden deeltechnologieën en regelalgoritmes ontwikkeld. Aandachtpunten zijn anticiperen op vraag (weersvoorspelling, gebruikers-gedrag), maximalisatie energieopwekking aan de gebouwschil, intern communicatie tussen componenten en afstemming op vraag en aanbod via het energienet. Ook zal daarbij de inzet van zon-PV, energie (thermisch/elektrisch) (thuis) opslag en lokale conversie als optie moeten worden betrokken. Om de vele variaties aan te kunnen zal de regeling zelflerend moeten zijn. Naast ontwikkeling in reguliere TKI en H2020 projecten is de verwachting dat in 2020 het eerste project onder de vlag van het BTIC wordt opgestart vanuit de MMIP3 call.

High Tech Greenhouses

Samen met de technische toeleveranciers worden nieuwe duurzame kasconcepten ter bevordering van de export van kasstechnologie. Dit programma is ondergebracht bij de topsector Tuinbouw en Uitgangsmaterialen en wordt begeleid door LNV. Focust ligt op het aanpassen van de technologie aan lokale klimaat- en marktomstandigheden. Daarnaast wordt de benodigde kennis en kunde van telers en toeleverende industrie ontwikkeld en gedigitaliseerd. De cross overs tussen de verduurzaming en digitalisering van de tuinbouwsector en de gebouwde omgeving zijn ondergebracht in dit VP. De focus ligt hierbij op integrale modellering, koppelen van diverse ontwerpmodellen om ontwerpen te kunnen configureren en optimaliseren op verschillende aspecten; industrialisatie, kostenverlaging door modulaire ontwerpsystematieken en interfaces en digitalisering van de productielijnen en; digitalisering en de koppeling van ontwerpmodellen aan live sensordata (digital twin) en next generation zelflerende controllers van complexe klimaatsystemen.

Resultaten 2020

Warmtepompen en systeemintegratie:

Binnen het Heat Pump Application Centre van TNO worden in 2020 de volgende activiteiten uitgevoerd:

- Verdere uitbreiding van de testomgeving voor (complexe) warmtepomptesten (o.a. PVT-warmtepompcombinatie (TKI PVT Inshape), hybride warmtepompen), doorontwikkeling emulator en inzet voor doorontwikkeling nieuwe duurzame verwarmingsconcepten (inclusief smart control voor hybride warmtepompen) en focus op werkelijke systeem performance.
- Uitbreiding bestaande testomgeving voor lucht-water warmtepompen met een akoestische meetomgeving waarmee tijdens realistische, dynamische warmtepomp-bedrijfssituaties (gerealiseerd met de emulatoromgeving) het geluidbronvermogen van de warmtepomp gemeten kan worden, en inzet daarvan om bv. geluidsarmere producten en warmtepomp concepten te kunnen ontwikkelen.
- Doorontwikkeling en validatie van het model 'heetwaterproductie met warmtepompen'. Met het model worden de parameters onderzocht voor een optimale balans tussen beperking van het energie gebruik enerzijds en de beschikbaarheid van warm water anderzijds. De resultaten worden geïmplementeerd in een smart control voor warm water productie).
- Ontwikkeling van regelsystemen voor 'plug and play' warmtepompsystemen specifiek voor retrofitting, deze zijn zelf-optimaliserend mbt warmtapwater control en het gebruik van adaptieve thermostaten.

- Doorontwikkeling van een dynamische testmethodiek voor het evalueren van prestaties van hybride warmtepompen. Hiertoe wordt voor verschillende usecases het gasgebruik reductiepotentieel onderzocht van hybride warmtepompen.
- Ontwikkeling van een gevalideerd model voor ijsbuffers als bron in een warmtepompsysteem, gecombineerd met PVT (TKI Solar Freezer)
- Haalbaarheidsonderzoek naar lange en korte termijn warmteopslag op prestaties van warmtepompgebaseerde verwarmingssystemen.
- In het kader van de ambitie om op termijn samen met Nederlandse marktpartijen betaalbare en compacte warmtepompen te ontwikkelen worden samenwerkingsverbanden gevormd en een onderzoeksagenda gedefinieerd.

Compacte warmteopslag:

Zowel onder het Europese Horizon 2020 EeB programma als in het nationale TKI Urban Energy programma worden nieuwe prototypes van compacte warmteopslag met verhoogde energiedichtheid ontwikkeld.

- Voor compacte voelbare opslag wordt het gebruik van alternatieve materialen met een hogere opslagdichtheid dan water in zijn gebruikelijke temperatuurbereik onderzocht, alsook het verbeteren van isolatiematerialen voor voelbare opslagbatterijen voor combinatie met PV en/of elektrische heaters. De werking wordt dit jaar in het lab aangetoond (TRL4). In voorgaande jaren is verliesvrije warmteopslag middels thermochemische materialen met een opslagdichtheid vergelijkbaar met een warmwatervat bereikt (0,15 – 0,18 GJ/m³).
- Demonstratie van een vacuüm thermochemische opslag met een verhoogde opslagdichtheid van ca. 0,5 GJ/m³ op systeemniveau (~TRL6) en demonstratie van een opslagmodule op basis van een metaal-redoxreactie in een relevante testomgeving (~TRL5).
- Bouw van een nieuwe gebruikers-georiënteerde reactor voor het closed-loop systeem, waarmee het systeem met een opslag capaciteit van 0,5-1 GJ getest kan worden onder relevante condities (TRL 5/6). Om dit te bereiken zal er vooral ontwikkeling gedaan worden op de verdamper/condensor (verlagen drukval, verhogen efficiëntie in alle werkcondities) en het TCM bed (optimaliseren van de doorbraak curve).
- Doorontwikkeling van het materiaal voor in de reactor (K₂CO₃), waarbij voornamelijk de mechanische stabiliteit verbeterd zal worden, wat de weg opent naar het verplaatsen van de TCM in de reactor.
- Binnen de lopende projecten zal voor verschillende reactortypes inzicht verkregen worden over de optimale vormgeving, samenstelling en stabiliteitseisen van de reactormaterialen.
- Doorontwikkeling van het portfolio van thermochemische materialen. Hieronder worden onder andere alternatieve niet-toxische materialen met een opslagdichtheid van 2-3 GJ/m³ op materiaalniveau, gebruik van hybride (composiet) materialen, en thermochemische materialen geschikt voor het opslaan van warmte die is geproduceerd met een elektrische warmtepomp (ca. 45 °C) of groene stroom (laden op hoge temperatuur) verstaan.
- Voortzetting van de verkenning naar de mogelijke toepassing van alternatieve thermochemische materiaal-sorbant combinaties (ammoniak, alcoholen) voor de gebouwde omgeving.

Energieopwekking aan de gebouwschil

- Demonstratie van de hoge performance gekleurde zonnecollector façade elementen (FITS/ENVISION, façade integrated thermal systems) (in field labs). Naast de ontwikkelingen aan de collector, wordt hierbij ook nadrukkelijk de integratie op systeemniveau, inclusief lokale warmte- en elektriciteitsopslag en -conversie op gebouw- en/of buurt-niveau om het aandeel duurzame energiegebruik te vergroten, meegenomen.
- Voor de volgende generatie façade elementen wordt de energieopwekking aan de gevel geoptimaliseerd door het adaptief maken van fysische parameters van de gevel (reflectie en absorptie) door middel van aanpassing van materiaaleigenschappen. In 2020 wordt een simulatiemodel ontwikkeld en wordt een selectie gemaakt van geschikte materialen en oplossingen waarmee de fysische eigenschappen kunnen worden aangepast.

High Tech Greenhouses

- Ontwikkeling van een proof of principle van een next generation zelflerende controller. Er wordt een proefkasje ingericht met meerdere sensoren en actuatoren.

- Ontwerp van een model predictive controller met een prestatiefunctie. Hierbij wordt een m.b.v. AI technieken een leerstrategie ontwikkeld die wordt gedemonstreerd in de controller van de proefkas. Na een leertraject worden nieuwe condities aangeboden in de proefkas, bijvoorbeeld extra instraling en gewasverdamping. Er wordt gemonitord hoe de controller hiermee omgaat. Er wordt een tweede proevenserie gedaan met een conventionele controller. De effectiviteit wordt vergeleken.

De verschillende activiteiten zijn afgestemd en gelinkt met de KIA Gebouwde Omgeving en zijn ingebed in de gerelateerde MMIP('s).

Dynamiek

Er wordt zorggedragen voor de aansluiting bij het TKI Urban Energy programma, het VP Duurzaam Bouwen (P502 - Energie in de gebouwde omgeving) en het te starten onderzoek in het kader van de Meerjarige Missiegedreven Innovatie Programma's (MMIP's).

Daarnaast zal de focus liggen op kennisontwikkeling die haar toepassing zal vinden in het Aardgasloze wijken programma van BZK. Voortgang en planning worden hierbij in samenhang met de relevante ministeries, BZK en EZK, periodiek afgestemd.

Titel	Solar Energy (P321)
Missie/ Topsector	TKI Urban Energy / MMIP2
Contactpersonen TNO	Harm Jeeninga / Wim Sinke
Contact extern	Wijnand van Hooff

Programma jaar 2020 - Samenvatting

This program is directly and mainly connected to the MMIP2 (Electricity Generation on Land and in the Built Environment). The overall missions of the MMIP program related to Solar Energy are:

- CO2 emission free electricity system in 2050;
- CO2 emission free built environment in 2050.

With a limited use of surface area the contribution of PV solar energy can be about 200 GWp installed capacity, which is a factor 40-50 larger than the current capacity. This will generate about 200 TWh/year electricity. It is important to realize that in the coming decades the use of electricity will increase substantially, as power-to-heat, power-to-gas and electrical transport technologies will grow. The quoted 200 TWh can be seen in the perspective of today's total national energy consumption of 600 TWh/year.

This VP aims to develop technologies and solutions for large scale implementation and integration of photovoltaic solar energy (PV) with a keen eye for societal support and non-financial values.

The main goals for **2030** are:

- Design and industrialization of added value integrated solar energy elements and the semi-fabricates that optimize the supply chain for low-cost integrated solar elements;
- Development of concepts, technologies and demonstration solutions to integrate PV in the built environment, infrastructure and landscape, and for mobility and floating PV (inner and outer waters in which the latter is connected to MMIP1 Electricity Generation at Sea).

Important enablers to reach these goals can be described by the following objectives:

- Cost reduction of modules/foils to 0,10 €/Wp combined with an efficiency increase to 25%-30%;
- Increased lifetime of modules and/or PV elements to 35 years;
- Development and industrialization of processes for high-efficiency solar cells and modules (crystalline silicon, thin-films and tandems);
- Development and industrialization of processes for flat-plate, 3D curved and flexible modules;

- Development of PV elements with improved sustainability / circularity while maintaining high lifetime.

For 2020 the main goals are described below and the R&D will be carried out with academic and industrial partners, and within two R&D clusters.

Integration and Applications

- Development of concepts for mass customization, enabling affordable customized integrated solar energy elements for buildings, infrastructure, agriculture and landscape;
- Development of concepts for floating solar that contribute to the roadmap towards solar-at-sea;
- Development of concepts for solar energy in buildings that take away current barriers for adoption;
- Development of concepts for solar energy integrated in electric vehicles and e-charging stations;
- Performance analysis of building integrated PV elements, PV integrated in infrastructure, mobility and in landscape, and floating PV.

PV Technologies in which the enablers for Integration and Applications will be developed

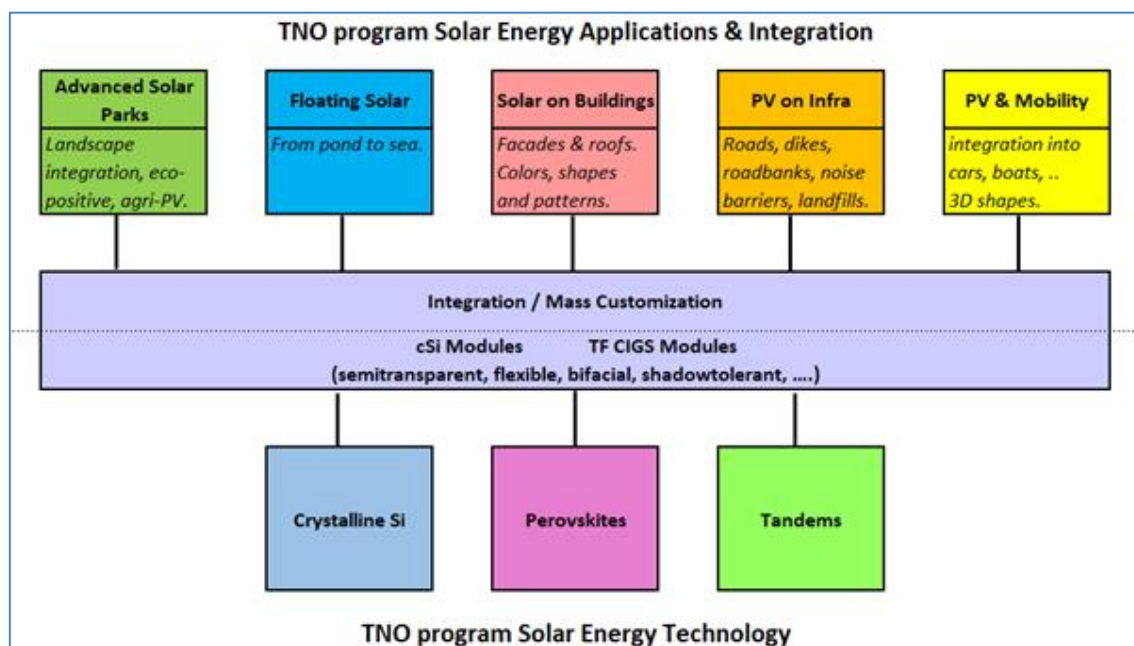
- Optimization of high efficiency tandem cell and module (rigid and flexible) technologies and demonstration of its stability and low-cost potential;
- Development and industrialization of novel coatings that minimize the losses at the surfaces and interfaces and enabling high efficiencies (required for low LCoE and less use of surface area);
- Development of technologies for upscaling perovskite solar cell and modules;
- Development and industrialization of novel packaging technologies to improve stability;
- Development and industrialization of novel customize-able cell and module technologies for “plug-and-play” readiness for integration into components and elements used for infrastructure, buildings, vehicles, ...
- Development and industrialization of novel interconnection architecture for tandem module customized for inverter and innovative module level power electronics.

Korte beschrijving

Our R&D is directly related to MMIP2 and partly to MMIP1. It also contributes to the topsector HTSM Roadmaps High Tech Materials, Photonics, and Nanotechnology, Smart Manufacturing and Components and Circuits.

Our program is built up from two program clusters:

- Research on PV Integration and Applications with focus on mass customization, BIPV, integration into infrastructure, advanced solar parks, mobility and floating PV; development of performance models and business models for innovative PV systems;
- Development of PV Technologies for novel cell and module designs based on wafer-based crystalline silicon, thin-films with focus on perovskites and CIGS, and tandems with focus on a device with a perovskite top cell and a silicon bottom cell, and on a flexible low-cost all-thin-film tandem; the technologies developed are enablers for broad integration and application of PV.
- Furthermore, an Early Research Program (ERP) on reliability and sustainability is running.



Schematic overview of the PMCs within the roadmap Solar Energy



Example of a floating PV concept



Example of a white PV module with minimized output loss and new possibilities for integration in building and other objects

Our main goals for 2023 are:

- Development and industrialization of solutions, both c-Si and thin-film, for Solar Energy in buildings that are applicable for a CO₂ free built environment, such as freedom of colors, shapes and formats, plug-and-play solutions for the electrical and mechanical integration, light weight BIPV, prefab solar building solutions, PV windows and PVT solutions;
- Development and industrialization of a mass customization concept for c-Si and CIGS that enables affordable customized integrated solar energy elements for buildings, infrastructure, agriculture and landscape;
- Development and demonstration of concepts for solar at large lakes and at sea;
- Development and demonstration of 3D shapeable PV for buildings, vehicles and boats;
- Development and demonstration of concepts for PV in the infrastructure (dikes, roads, noise barriers, along railways);
- Development and demonstration of advanced concepts for solar parks with added value on biodiversity, agriculture, ecology and/or quality of the landscape;
- Development of lightweight, robust, and low-cost packaging solutions for utility and commercial installations of PV.
- Assess the impact of large-scale deployment of PV in sectors mentioned above (economical, ecological, societal, etc.).
- To reach these goals in a cost effective way the technology-related objectives for 2023 are:

- Development and industrialization of novel coating technologies for crystalline silicon solar cells that enable cell efficiencies of 25% and module efficiencies > 24% at low cost, including technology transfer (with partners);
- A process with late-stage customization for CIGS on flexible metal foil with 20% efficiency;
- An economically competitive perovskite PV manufacturing process on flexible substrates that can be industrially up-scaled;
- A 6 inch perovskite-silicon tandem module with an aperture area efficiency of 26% and demonstrated stability (<10% degradation after 1000 hr @ 85 °C / 85% relative humidity);
- An integrated module level and power electronics solution to implement 4T tandem module in state-of-the-art PV installation;
- A flexible perovskite-CIGS tandem module with aperture area efficiency of 25% with demonstrated stability
- Quantification and analysis of degradation and failure mechanisms of PV modules and products in which PV is integrated, and development of technologies to mitigate degradation and failure for our focus areas.

Resultaten 2020

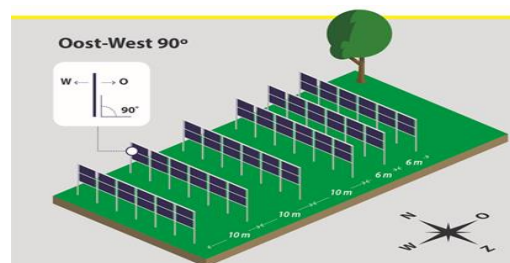
Integration and Applications

Advanced Solar Parks

For solar parks we want to generate new options beyond the standard solar park, options with added (non-financial) value, that contribute to societal support for solar electricity.

In 2020 we will start studies for eco-positive PV parks and for agri-PV concepts;

Partners: Nationaal Consortium Zon in landschap (a.o. WUR, LTO).



Floating Solar

We see floating solar as a substantial contribution to the further roll-out of solar energy. Key questions on reliability, cost and performance optimization have to be addressed. In 2020 we will develop our floating solar research facility; Furthermore we will deliver a proof of concept for solar at sea; Partners: Nationaal Consortium Zon op water (a.o. RWS).

Solar on Buildings

The overall goal remains to create attractive and affordable concepts for integration of solar energy into buildings. For 2020 we aim to demonstrate a BIPV plug and play concept. Furthermore we aim to demonstrate and analyze an Integrated plastic solar roof;

Partners: Nationaal Consortium Zon op gebouw (a.o. Sabic, Heijmans).

PV on Infra

Infrastructure (i.e. dikes, road banks, road surface, noise barriers, crash barriers, flyovers) provide a substantial area for application of solar energy with double use of the area. In 2020 we will focus particularly on a feasibility study solar on dikes;

Partners: Nationaal Consortium Zon op infra (a.o. RWS, Prorail).

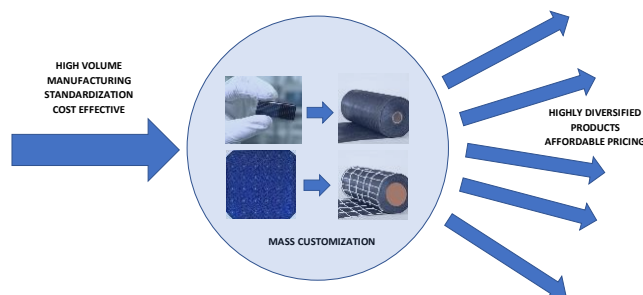


PV & Mobility

Integrated PV can be a high value add on to vehicles. It is an offgrid power supply for electric cars that can offer a valuable range extension. In 2020 we aim for a proof of concept of 3D shaped PV for car integration. Partners: a.o. Lightyear

Mass Customization

Mass customization is the technology that enables affordable customization of integrated PV products for buildings, infra and other applications, based on smart semiconductors. In 2020 we aim for a proof of concept for such a cost breakthrough in customized PV elements. Partners: a.o. Knauff, Flexipol.



PV Technologies

Wafer-based crystalline silicon PV technology

Our focus within silicon cell technology is on the development and industrialization of so-called carrier-selective and passivating contacts. These novel structures will minimize recombination losses at the cell's surface and at its interface with metal contacts and will enable efficiencies of 25%. A unique Pulsed Laser Deposition (PLD) tool for well-controlled deposition of advanced layers will be installed in Petten. Furthermore, these advanced deposition technologies are key for our tandem developments.

For module technology our aim is to develop technologies that enable a broader applicability of PV and is directly related to the cluster Integration and Application.

Main deliverables for 2020 are:

- Technology transfer of integration of polySi passivating layer to cell manufacturer (together with Tempres);
- Demonstrate stable operation of new pilot PLD tool for transparent passivating and contacting layers (together with Solmates) enabling >24% efficiency;
- Demonstrate novel module technologies for light weight packaging;
- Demonstrate novel concepts for flexible interconnection to allow customizable module shapes, sizes and appearances.
- Demonstrate processes and technologies for making 3D shaped c-Si based modules.
- Develop methods of testing c-Si based PV elements in the lab for novel and dynamic situations including vibrations.
- Building proof-of-principle demonstrators for products in which PV is integrated.



Industrial PLD system of which a lab system will be installed in Petten.

Our academic partners are AMOLF, TUD, TU/e, UvA and UT. Our Dutch industry partners are equipment manufacturers such as Tempres, Levitech, Solmates, Morphotonics, material suppliers like DSM and Sabic, and module manufacturer Exasun. Examples of international partners are UNSW, SERIS, Aiko Solar, Yingli Solar and Jollywood Solar.

Thin-film PV Technology with focus on perovskites and CIGS

Within the PMC's Perovskites and CIGS modules, we have the following objectives:

- CIGS module manufacturing: developing manufacturing technologies for customized modules with improved efficiency on flexible foil;
- Perovskite PV manufacturing: developing manufacturing technologies for glass-based single junction opaque modules for low-cost PV utility plants, translucent PV modules for architectural PV windows;
- Thin-film PV integration: development of technologies for customized PV elements.

The main deliverables for 2020 are:

- Demonstration of 20x20 cm² CISG based semifabrics on steel foil (non-transparent) with:
 - o shunt free back-end interconnection;
 - o low-cost packaging (15-20 €/m²);
- Demonstration 20x20 cm² translucent CIGS;
- Stable semitransparent rigid perovskite module with >14% efficiency using industrially scalable processing (stable means <20% degradation after 1000 hrs 85 °C / 85% relative humidity and under 1 sun equivalent illumination);
- Stable large area (15x15 cm²) flexible perovskite module on PET;
- Demonstrator of free form PV-integrated components and an assessment of their stability and reliability under integration-specific multiple stress conditions.



Examples of semi-transparent and see-through thin-film PV products, and a PV tandem module after a field test (very limited degradation).

The work in these PMC's is carried out within Solliance. Solliance is jointly orchestrated by TNO and Imec. Five more academic partners participate: TU Eindhoven, TU Delft, University of Twente, University of Hasselt (BE) and Forschungszentrum Jülich (DE). A set of 20-30 industrial partners along the PV value chain is involved.

Tandem PV technology

To better utilize the energy of the solar spectrum and reach efficiencies beyond 30% tandem solar device are required. Our focus is on tandems with a thin-film perovskite top cell and a crystalline silicon bottom cell, resulting in a rigid (flat plate and curved) module. For high-efficiency flexible PV devices a combination of perovskites and CIGS will be explored.

In 2020 our R&D will include development of large area tandem devices and the corresponding module technology in combination with power electronics for these larger areas progressing towards higher TRL.

The deliverables for 2020 are:

- Demonstrating 24% aperture area efficiency potential on large area devices;
- Demonstrating stable tandem module technology by outdoor testing (see TF perovskites);

- Design for an integrated module level and power electronics solution to implement 4T tandem module in state-of-the-art PV installation
- Assessment and test samples of all thin-film tandems on flexible substrates.

Our R&D partners to develop tandem technology are academia and industry a.o. Tempress, Exasun, Eternal Sun, SoLayTec, Miasolé, TU/e, TUD, UvA, USNW, Uni. Valencia, Ohio State Uni. and Imec.

Dynamiek

National policies have shifted towards more emphasis on climate goals and on reduction of CO2 emission. This includes focus on the challenges for accelerated implementation of solar energy.

This acceleration should go hand in hand with the growth of national and European economic activities in solar energy. TNO wants to be the leading innovation institute, both for the national energy transition, and for the further stimulation of the national and European knowledge economy on solar energy.

In 2019 the full integration of the former ECN, SEAC and TNO groups active in solar energy R&D has been successfully completed. In parallel our new strategy has been implemented.

For TNO this means:

- Focus on technologies with the highest efficiency potential (more power output per m2).
 - o more R&D focus on tandem cells, combining thin-film PV and silicon PV, to obtain efficiencies beyond the current limits of so-called single-junction solar cells; meaning efficiencies towards and beyond 30%, which is not possible with current single-junction cell technology;
 - o reduction of work on Si cell technology and focus on technologies that are beneficial for tandems;
- An application driven approach to technology development.
 - o Enhance workforce on Si modules to broaden its applicability (e.g. freedom of color and 3D shaped solutions for building and vehicle integration);
 - o Focus on TFPV technology that generate new options for integration and applications, like flexible and semi-transparent;
- Build up knowledge and IP on Integration and Applications.
 - o Mass customization approach for affordable customized products, based on smart production processes;
 - o Initiate new R&D directions for system solutions for advanced solar parks, floating solar and integrated PV products for buildings, infra and vehicles;
 - o Multidisciplinary approach to PV systems. This implies cooperation over the TNO units and with other institutes: PV with construction, PV with maritime, PV with ecology, PV with infrastructure, PV with agriculture, PV with automotive;
- Build up strategic partnerships
 - o Governmental organizations such as Rijkswaterstaat and Rijksvastgoeddienst.
 - o Leading companies in construction, infrastructure, electric vehicles, offshore industry and solar park development
 - o European knowledge institutes
 - o Work closely together with the Missions (TKIs/MMIPs) to further extend the National Consortia on the 4 main application areas in which the parties in the platinum square cooperate.

Titel	Windenergie (P322)
Missie/ Topsector	Klimaat en Energie – MMIP1 / Topsector Energie – TKI Wind op Zee
Contactpersonen TNO	Harm Jeeninga
Contact extern	
Programma jaar 2020 - Samenvatting	

Dit VP richt zich op het mogelijk maken van de benodigde schaa sprong voor offshore windenergie van 1GW nu, naar 11GW in 2030 en meer dan 50GW in 2050. Voor offshore wind is het evident dat de benodigde schaa sprong met de huidige stand van de techniek niet zonder meer mogelijk is. De opschaling loopt tegen knelpunten aan zoals hoge kosten, uitroltempo, offshore ruimtegebruik en veiligheid (zoals scheepvaart), ecologie en integratie van zeer grote hoeveelheden elektriciteit in het energiesysteem.

ECN.TNO Windenergie is leidend op het gebied van de ontwikkeling van innovatieve producten en oplossingen voor offshore windparken. Met en voor de markt ontwikkelt ECN.TNO kennis en technologie die de realisatie van die grote hoeveelheid offshore windparken mogelijk maakt. We betrekken daar het bedrijfsleven in een vroeg stadium bij. Bedrijven zijn immers de motor achter de ontwikkeling van duurzame energie. Een voorbeeld is de Nederlandse offshore industrie. Deze is sterk ontwikkeld en is betrokken bij 80% van alle offshore windparken in Noordwest Europa.

Het TNO R&D programma "Windenergie" richt zich op innovaties in offshore windenergie wat in 2020 tot de volgende resultaten leidt:

- Reductie van de prijs van offshore windstroom
- Demonstratie van windparkregelingen voor vergroot vermogen
- Geslaagde test van een 12MW windturbine op de Maasvlakte
- Integratie in het energiesysteem door flexibiliteit, opslag en markt
- Realisatie van een systeem integratie field lab
- Demonstratie van controllers voor optimalisatie van het energiesysteem
- Integratieconcept van drijvende zonenergie in offshore windparken
- Ontwikkeling van compleet nieuwe concepten
- Ontwikkeling van innovatieve testopstelling voor rotoren
- Realisatie onderzoekerturbine voor validatie van nieuwe blad tips
- Opleveren van een off-grid windparkconcept

Hiermee draagt TNO bij aan een gezonde, competitieve offshore wind sector met vele groene banen.



Het R&D programma van ECN.TNO Windenergie is onderdeel van TKI Wind op Zee (TKI-WoZ) en sluit naadloos aan op MMIP1.

Korte beschrijving

Het VP Windenergie richt zich op ontwikkelen van technologie van offshore wind parken, het ondersteunen van Nederlands en Europees bedrijfsleven en het inpassen van windparken in de natuur, in het energiesysteem en de maatschappij. Daarmee draagt VP Wind bij aan MMIP 1 "Hernieuwbare elektriciteit op zee", welke is gebaseerd op de missie: "Een volledig CO2-vrij elektriciteitssysteem in 2050".

ECN.TNO heeft de technische kennis om een windpark integraal te optimaliseren en ondersteunt daarmee het Nederlandse bedrijfsleven:

- Verbeterde business cases voor offshore windparken;
- Verbeterde onderhoudsplannen en technologie;

- Ondersteuning offshore sector met verbeteringen in ondersteunings-constructies, drijvende systemen, installatie- en onderhoudsschepen;
- Geaccrediteerde metingen aan windturbines om marktintroductie te versnellen.
- Hierbij profiteert de Nederlandse economie optimaal van de investeringen in de Nederlandse offshore windparken.

Het lange termijn doel van ECN.TNO Windenergie is het ondersteunen van de implementatie van offshore windenergie door verbeteren van de business case en oplossen van knelpunten. ECN.TNO innovaties richten zich op reductie van LCOE door verbetering van technologie, productiemethoden, operationele strategieën en inpassing in het energiesysteem. Noodzakelijke kennis en technologie daarvoor:

- Ontwerp van windturbines en opschalen naar grotere turbines – rotor aerodynamica, dynamisch ontwerp, ontwerp van de windturbinecontroller;
- Ontwerp van ondersteuningsconstructies – voor grote turbines, drijvend en vast in de bodem, corrosiebescherming;
- Ontwerp van windparken en verbeterde business case – zog aerodynamica, elektrische infrastructuur, windparkregelingen, kostenmodellering, contracten;
- Bouw en bedrijf van windparken – installatiemodellering en optimalisatie, toegangs-systemen, veiligheid en risico-beheersing;
- Operations and maintenance modellering en optimalisatie, health monitoring, robotisering van onderhoud;
- Integratie in het elektrische systeem – design elektrische systeem, connectie naar land, interconnectors en energie-eilanden.
- Integratie in het ecologische systeem – meten impact op ecologie en ontwikkeling technologie om ecologie te bevorderen;
- Materiaalgebruik en einde levensduuroplossingen voor turbines en parken
- Verbeterde kennis wind op Noordzee door uitvoeren meetprogramma.
- Validatietechnieken – het uitvoeren van hoge kwaliteit validatiemetingen

Specifieke ontwikkelingen dienen plaats te vinden op:

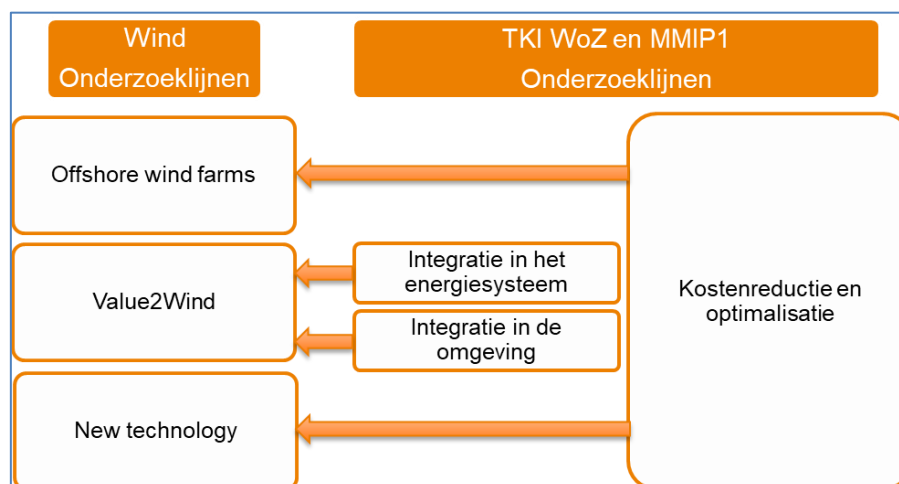
- Aerodynamica van grote rotoren (voor 12+MW windturbines)
- Dynamische zogmodellering voor optimalisatie bedrijf en windparkregelingen
- Ontwerptools voor optimalisatie O&M- en installatie-strategie

Belangrijke cross-over onderwerpen zijn: markt modellen, robotica, cybersecurity, energieopslag en conversie, sensor systemen zoals fiber optica, digitalisering en Internet of Things, duurzame mobiliteit zoals het vergroenen van O&M schepen, circulariteit en recycling en de ontwikkeling van een energie-eiland.

Resultaten 2020

Het onderzoek aan offshore windenergie is onderverdeeld in drie onderzoekslijnen:

- *Offshore wind farms*; Optimalisatie en kostenreductie van clusters van windparken, het ontwerp, de installatie en het onderhoud
- *Value2Wind*; Creëren van waarde van de geproduceerde energie door integratie in het energy systeem; energieopslag, energieconversie, transmissie en netten
- *Nieuwe technologie*; kostenreductie en optimalisatie door innovaties zoals grote turbines (20+MW), robotica, IoT en innovatieve concepten zoals drijvende turbines, verticale as en “high altitude” windsystemen.



De onderzoeklijnen van ECN.TNO Windenergie en de verbanden met het R&D programma van TKI Wind op Zee en MMIP1 van de IKIA.

Offshore wind farms

Het resultaat van de onderzoekactiviteiten op het gebied van offshore windparken en groepen windparken is dat ECN.TNO een relevante partner is voor verdere verbetering van de offshore windparken die worden gebouwd tot 2030. Met name integrale optimalisatie is een kernsterkte van de onderzoeksgroep. Hiertoe is het noodzakelijk kennis en ontwerpgerederschap te hebben voor een breed scala aan technologie en gedetailleerde en gevalideerde modellen om innovatieve ontwerpen te ontwikkelen en te leveren.

Value2Wind

De grote groei van offshore windenergie en de integratie van grote hoeveelheden offshore windvermogen heeft gevolgen voor het energiesysteem en de omgeving. Dat raakt de maatschappij. Innovatieve controllers die oplossingen bieden voor deze integratie zijn gedemonstreerd op het TNO-WUR field lab. Zij optimaliseren de inzet van flexibiliteitopties.

Nieuwe technologie

Windparken tot 2030 zullen sterk opgeschaalde versies van huidige horizontale as windturbines gebruiken. De lijn nieuwe technologie richt zich op ontwikkeling en experimentele validatie van disruptieve ontwikkelingen zoals: Drijvende ondersteuningsconstructies, Robotica voor onderhoud, Cybersecurity, Verticale as windturbines en high-altitude wind power systemen

Offshore wind farms (resultaten en lopende ontwikkelingen in 2020)

De offshore windparken zullen tot 2030 voornamelijk bestaan uit grote horizontale as windturbines. ECN.TNO is een belangrijke partner voor verdere verbetering van deze offshore windparken waarbij vanuit integrale optimalisatie innovaties worden gedaan.

Windclusters

- Gevalideerde zogmodellen zijn beschikbaar voor windparken met grote turbines.
- Ontwerp van windparkregelingen voor innovatieve toepassingen.

Windturbines

- Grote windturbines: voor het ontwerp van grote rotoren wordt de aerodynamica verder ontwikkeld en zijn modellen gevalideerd en beschikbaar.
- Ontwerpondersteuning voor grote windturbines en grote rotoren.
- Windturbine regelingen en windparkregelingen zijn de basis van innovaties.

Ondersteuningsconstructies

- State-of-the-art geïntegreerde ontwerp tools voor ondersteuning industrie worden toegepast om innovatieve ontwerpen te maken en te analyseren.
- ECN ontwikkelt een effectieve en efficiënte monitoring service voor ondersteuningsconstructies in een windpark en test deze in de praktijk.
- *Installatie en de-installatie*
- Implementeren van een installatie-kostenmodel om de strategie van installatie (of de-installatie) van een offshore windpark te optimaliseren.
- Ontwikkelen van tools om de impact te bepalen van ontwerpkeuzes op kostenreductie van installatie en logistiek.

O&M

- Implementeren van het ECN.TNO O&M systeem (data acquisitie, fleet leader, beslissingsondersteuning) op een offshore windpark.
- Ontwikkelen van tools om de impact te bepalen van installatie en logistiek op kostenreductie van onderhoud en beheer.
- Ondersteuning optimalisatie transportschepen (met menselijke factor), zodat personeel zo veilig mogelijk de turbines kan onderhouden.

Einde levensduur oplossingen en levensduurverlenging

- Ontwikkelen van tools en oplossingen voor recycling en hergebruik
- Ondersteuning optimalisatie van ontwerp en materiaalkeuze voor circulariteit

Value2Wind (resultaten en lopende ontwikkelingen in 2020)

Er zijn innovatieve oplossingen noodzakelijk voor de integratie van grote hoeveelheden offshore windvermogen in het energie systeem en de omgeving. Dat raakt de maatschappij en betreft zowel maatschappelijke acceptatie als inpassing in de ecologie.

Energiesysteem

- Opleveren en in bedrijf nemen van een systeem integratie field lab voor de ontwikkeling en demonstratie van innovatieve oplossingen voor kosteneffectieve inpassing van offshore windenergie in het elektriciteitsnet.
- Innovaties in het elektriciteitsnet voor het inpassen van toekomstige grote offshore windparken.
- ECN.TNO biedt unieke tools voor de integrale optimalisatie van offshore windcentrales met betrekking tot het ontwerp van het windpark, de controllers van de turbines en windpark, het interne elektrische netwerk, netaansluiting naar land en operations en maintenance.
- Ontwikkeling van innovatieve offshore elektriciteitsnetten, omdat bestaande oplossingen ontoereikend zijn voor de langere termijn.
- Ontwikkeling van windpark regelingen waarmee de offshore windcentrale beter kan inspelen op variaties in de elektriciteitsvraag.

Ecologische inpassing

- Interactie tussen windparken en de omgeving is direct gerelateerd aan kostenreductie en ruimte. Hierbij is acceptatie offshore windenergie door Nederlandse bevolking en interactie tussen windparken en natuur belangrijk.
- Ontwikkelen van onderzoeksfaciliteit waarmee onderzoek naar vogels en vleermuizen zal worden uitgevoerd – hier toe wordt een radar systeem ingezet.
- Onderzoek naar methoden of systemen voor afschrikking van dieren die slachtoffer dreigen te worden van aanvaringen met windturbines en op gebied van het voorkomen van aanvaringen door dieren, of om de schade van onderwatergeluid te beperken.

Nieuwe technologie (resultaten en lopende ontwikkelingen in 2020)

Windparken tot 2030 zullen voornamelijk bestaan uit opgeschaalde versies van horizontale-as windturbines die aan net zijn gekoppeld. In deze onderzoeklijn worden doorbraakinnovaties onderzocht en geanalyseerd

Naar grote 20-30MW turbines

- Integraal ontwerp van extreem grote rotoren vereist compleet nieuwe technologie en modellen op het gebied van aerodynamica, de aero-elasticiteit en regelingen.
- Opschaling van huidige ondersteuningsconstructies biedt geen mogelijkheid tot robuust ontwerp. Nieuwe concepten moeten worden ontworpen ook voor niet-traditionele windturbine ontwerpen.
- Introductie robotica om onderhoud op afstand te doen of volautomatisch.

Doorbraken in windturbine concepten (drijvend, verticale as, high-altitude)

- Het onderzoeksprogramma omvat de ontwikkeling van nieuwe concepten die op langere termijn kunnen worden toegepast zoals verticale as turbines en kite power. Ontwerp van nieuwe concepten vereisen nieuwe ontwerpen, nieuwe ontwerptools en controllers.
- Het onderzoekprogramma richt zich op ontwerp van drijvende windturbines, de installatie en het onderhoud daarvan, de logistiek en de ontwikkeling van specifieke schepen en tools.

Doorbraken in meettechnologie

- Betere kennis windcondities door metingen tot 500m hoogte voor grote rotoren.
- Remote sensing voor 3D windveld (inflow en zog) en grote hoogtes (high-altitude wind).
- Versnelde certificeringsmethodieken die meer inzicht geven in ontwerp en de faalmethodieken.
- Fiber optische meettechnieken voor bladmodelvalidatie. Ontwikkeling gedistribueerd sensing voor conditiebewaking en erosie monitoring.
- Data technologie: verbeterde data-infrastructuur en kwaliteitsbewaking van meetdata, machine learning voor windveldreconstructie en windturbine regeling, digital twin concept voor verbeterde monitoring en operationele beslissingsondersteuning

Partners en faciliteiten

Het onderzoek wordt in nauwe samenwerking met andere disciplines uitgevoerd. Daartoe wordt volop de samenwerking gezocht en gevonden met:

- andere onderzoeksgroepen binnen TNO zoals structural dynamics, structural reliability, optics, cyber security, monitoring safety and control, etc.,
- kennisinstellingen en universiteiten in Nederland: TU Delft, MARIN, Deltares, WMC, KNMI, NLR, NHL, TU Twente
- kennisinstellingen en universiteiten in Europa (de EERA JP Wind partners): DTU, Fraunhofer, SINTEF, CENER, ORE Catapult, EC Nantes, BERA
- kennisinstellingen en universiteiten buiten EU. In de US: NREL; in Japan: FREA-AIST en University of Tokio; in Taiwan: NCKU

Industriële partners voor belangrijke onderzoekclusters in 2020:

Nederland: GE Renewable / LM Wind Power, Port of Rotterdam, Van Oord, NUON Vattenfall, SHELL

In het bijzonder het GROW consortium: Boskalis, Deltares, DNV-GL, DOT, ECN.TNO, Eneco, IHC, Innogy, Lagerwey, LM Windpower, MARIN, SHL, Royal Smit, SHELL, SIF, Tennet, TUDelft, Van Oord

Europa: GE / LM, Senvion, Enercon, Siemens, Nuon Vattenfall, Shell, Equinor

Taiwan: MIRDC, SOIC, TPC, CSC, TOWSC met lokale support van TSOT en de Nederlandse ambassade

De Nederlandse overheid blijft een belangrijke partner, zowel voor financiering als samenwerkingspartner voor de ontwikkeling van een gezonde windsector in Nederland. In dat kader wordt nauw met TKI Wind op Zee samengewerkt en heeft ECN.TNO Windenergie een schrijvende rol in MMIP1 en MMIP2 gehad.

ECN.TNO Windenergie biedt top-testfaciliteiten en onderzoeksturbinen in Wieringermeer.

MUST HAVES:	EWTW (R&D turbines + prototypes) – demonstratie van innovaties en validatie van modellen
	Samenwerking met WMC/LM – rotor tests
	GE 12MW @ Rotterdam – validatie van modellen
	Offshore meetinfrastructuur – meten van windcondities
	Systeemintegratie field lab – ontwikkelen en testen van controllers om het net te optimaliseren
WISHES	Offshore testing – kalibratielab voor drijvende lidars
	Robotics facility – verminderen menselijk handelen in O&M offshore
	Short range wind scanners
	Vogelradar om vogelvlucht rond windturbines te volgen
	VR/AR field lab – schaalbare training van human resource

Dynamiek

De ontwikkeling van windenergie verloopt momenteel stormachtig; de turbines worden snel groter, de implementatie van windparken gaat steeds sneller, de industrie consolideert tot steeds grotere spelers die voldoende slagkracht hebben om miljarden-risico's te kunnen opvangen. De wijziging van de structuur van het programma in 2020 draagt bij aan de impact en sluit goed aan bij TKI WoZ en MMIP1.

De kern-expertise "integrale analyses van offshore windparken" is de basis van het grootste deel van het windenergieonderzoek en die blijft de basis van het onderzoekprogramma. Om hierin leidend te zijn en te blijven is het noodzakelijk de verschillende deel-technologieën goed te beheersen en voor ieder van de deel-technologieën state-of-the-art gevalideerde modellen te hebben.

Veranderingen en vernieuwing

De kennisportfolio op windturbine-gebied richt zich op hele grote turbines: daarvoor is het noodzakelijk nieuwe aerodynamica, nieuwe controllers en betere structurele modellering te ontwikkelen. Het ontwerp en de constructie van lange bladen en ondersteuningsconstructies vereisen steeds nieuwe innovaties om de LCOE laag te houden. ECN.TNO is leidend in onderzoek aan de grootste 12MW turbine ter wereld.

Wanneer grote offshore windparken gerealiseerd zijn is het noodzakelijk de stroom gedurende 20 jaar voor een goede prijs te kunnen verkopen. Diversificatie van de afzet en het creëren van nieuwe afzetmarkten is noodzakelijk. Een vernieuwing in het programma is de systeemintegratie: oplossingen worden gezocht om het vermogen weg te zetten, te converteren of op te slaan. Daarnaast zijn integratie in het ecologische systeem en maatschappelijke acceptatie cross-overs die urgent moeten worden opgepakt. Hiertoe wordt een field-lab opgezet. De experts van ontwikkeling controllers verbreden de toepassing van hun kennis naar het energiesysteem.

Voor 2020 zijn een aantal cross-overs gedefinieerd

- Markt modellen: hoe gaat de markt veranderen en hoe kunnen we die sturen om voor offshore windparken gedurende 20 jaar een goede afzetmarkt te houden;
- Robotica: reduceren noodzaak om personeel naar offshore turbines te sturen door gebruik te maken van robotica en sensors. In samenwerking met INHOLLAND wordt hier invulling aan gegeven;

- Cybersecurity: veiligheid van data, beveiliging van aansturing windparken. Acquisitie moet leiden tot het invullen van de gedefinieerde R&D roadmap.
- Sensor systemen: gebruik kennis van technologie ontwikkeld voor defensie en glasvezeltechnologie voor monitoring bladen. Het AIRTuB project met verschillende hogescholen en bedrijven is de basis voor gefinancierde ontwikkeling van deze cross-over.
- Digitalisering en Internet of Things: digital twin concept voor verbeterde monitoring en operationele beslissingsondersteuning;
- Circulaire economie: Recycling windturbine bladen en gebruik nieuwe materialen heeft de nodige aandacht. Wanneer het OVERWIND project is goedgekeurd gaat TNO technologie ontwikkelen waarmee in Nederland verwerkingscapaciteit voor windturbinebladen wordt ontwikkeld.

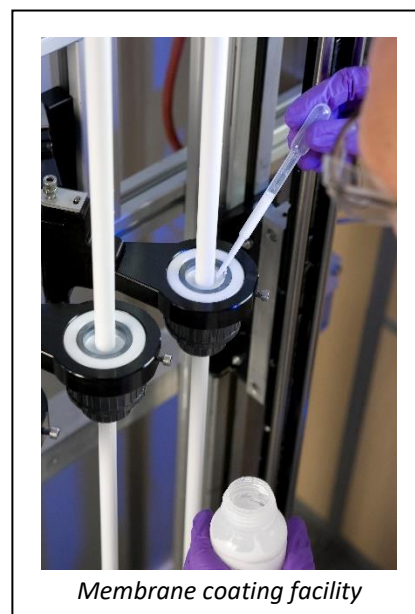
Titel	ECN Industrie - Towards a CO2-neutral industry (P323)
Missie/ Topsector	Topsector Energy – TKI E&I, TKI- New Gas
Contactpersonen TNO	Jaap Vente
Contact extern	

Programma jaar 2020 - Samenvatting

The demand driven program “Towards a CO2 neutral industry” responds to the societal need for a carbon neutral industry as formulated in the Climate Agreement . Within this program, four solution pathways for the development of technologies that are robust towards various future energy scenarios for a society that has a net zero CO2 emission have been defined: Heat, Efficiency and Circularity, Electrification and Products based on Renewable Electricity and Carbon Capture Use and Storage for the Energy Intensive Industry. Combined these four challenges answer the themes detailed by the Climate Agreement.

In 2022, ECN.TNO strives

- to have technologies demonstrated up to TRL6, with a total summed CO2 abatement potential of 15 Mt/y in the Netherlands, which is about 1/3 of the current industrial CO2 emissions.
- to have market ready technologies transferred to the commercial entities, that function within aligned value chains to serve emerging markets,
- to have initiated and organized (inter)national research and innovations programs that play a steering role for the development and implementation of innovative solutions for the CO2 - neutral industry.



Membrane coating facility

A partial overview of the activities for 2020 includes

- demonstration of heat pump technologies using the novel Carnot lab infrastructure
- experimental validation of CO2 capture and use concepts using in house and industrial installations
- cost reduction in nanofiltration processes by using high quality low cost support systems



2MW heat pump test facility as part of the Carnot lab



The ECN.TNO designed 100 kton/y CO₂ capture installation at the waste to energy plant of AVR.

Korte beschrijving

'Towards a CO₂ neutral Industry' is the demand driven program on industrial transformation towards a climate neutral industrial sector within ECN.TNO. Within the Climate Agreement¹ a vision has been formulated on how the industry will look like in 2050. Based on this expression of the societal demands, ECN.TNO has formulated a vision in which the Dutch industry is fully circular, sustainable and economically robust, and has a zero net CO₂ emission by 2050. This will require major efforts from the industrial sector, as the current direct emissions are ~46 Mt of CO₂ per year, or roughly one quarter of the national emissions. ECN.TNO provides solutions for the industry to respond proactively to the consequences of future climate regulations. This supports the industry with the required adaptations and transformations.

This demand driven program is not the only activity within TNO that support the industrial transformation. Other activities, such as electrification, production of green hydrogen, and the role of the industry in providing stability to the electricity grid are performed in the respective demand driven programs. Close collaboration and regular interactions ensures proper concertation.

The mission of ECN.TNO is to develop innovative technologies that reduce the annual industrial CO₂ emissions in line with the national reduction target of 19.5 Mton/y in 2030. ECN.TNO aligns its efforts with the Integral Knowledge and Innovation Agenda. The first directional changes include the extension from low temperature heat upgrade to include also high temperature heat upgrade and the production of renewable heat, a move from process efficiency towards, disruptive, process innovations, and finally the inclusion of the use of CO and CO₂ for chemical applications.

About 80% of the industrial energy demand is the form of Heat. Renewable supply and more effective use, reuse of waste heat, as well as short term heat storage form an essential part for reducing the CO₂ emissions. The national interest in this topic is growing and ECN.TNO intends to intensify its investments in this line.

Efficiency, Circularity and Electrical Driven Processes is a second important topic. Enhancing the energy efficiency, i.e. reduction of the energy demand, of industrial processes is essential to reduce CO₂ emissions. This counts equally for existing fossil feedstock based processes as future process that rely on alternative feedstocks that contribute to a circular industrial ecosystem. Also electrification activities are part of this line, especially topics as electric driven separations are key.

As a short term and early to be implemented CO₂ mitigation action, Carbon Capture Use and Storage for the Energy Intensive Industry will play a major role. Examples include the transition to low carbon hydrogen, and the production of steel with a low carbon footprint. It can also provide a sustainable solution for those industrial sectors that will remain dependent on fossil feedstocks beyond 2050. For the longer term, CO₂ originating from non-fossil sources is expected to play a significant role in supplying carbon to fulfill the societal demand for chemicals.

Through intensive collaborations, various industrial sectors will benefit from the technologies as developed by ECN.TNO. The energy intensive and CO₂ emitting sectors, like iron and steel, refinery chemistry and waste incinerators, are served with lower heating cost, reduced CO₂ capture costs, with enhanced energy efficiency and increased electrification options. The

emerging sectors that fulfil societal demands at minimal societal costs i.e. biobased, circular etc. take advantage from tailored process solutions. The equipment manufacturers and EPC firms participate in and benefit from the design and construction of pilots, demonstration units and full size installations.

Resultaten 2020

Line 1 Industrial Heat Technology

About 80% of the industrial energy demand is the form of heat. A CO₂-neutral industry therefore requires a CO₂-neutral industrial heat system. This activity is structured into four quadrants formed by a divide in the temperature level of the required process heat, below and above 200°C and the supply of heat from carbon free sources and the re-use of industrial waste heat. Up to 2019 line Heat was focused on the re-use of waste heat below 200°C with technology developments of different types of heat pump technologies and heat storage technologies. These technologies are cross-sectoral and can be applied in most process industries (chemical, refining, food, paper). Based on the industrial interest, the existing technology development activities (CO₂-emission of ~11 Mton/y) will be expanded with activities in carbon free heat supply and recovery and re-use of waste heat above 200°C to cover the entire industrial heat use of 550 PJ/y with CO₂-emission of ~31 Mton/y. The total CO₂-emission reduction potential is ~15 Mton/y.

The key experimental facility, Carnot lab, will be officially inaugurated in 2020 Q2.

Key deliverables 2020

- TRL6 demonstration of a low investment costs (< 200 €/kW) 1-2 MWth modular heat pump with a COP > 50% of Carnot;
- TRL5 demonstration of new heat exchanger concept to reduce heat losses in a thermoacoustic systems with 50%;
- TRL3 validation of new high temperature (> 180 °C) working media for compression heat pump application

Partners involved

End-users (Dow chemical, Tata, SmurfitKappa, DSM, LambWeston Meijer, Huhtamaki, EMMTEC, Royal Cosun, Cargill, Ardagh, ESKA, PFD, Corbion, SAPPI), equipment manufacturers (IBK Group, Heinen & Hopman, Bronswerk Heat Transfer, Howden, RGS, Standard Fasel, DBS, VDL,), consultancy firms (BlueTerra Energy Experts, Recoy, Post & Dekker, KWA), and platform organizations (ISPT), Knowledge infrastructure (TUE).

Fit with (inter)national agendas

Industrial heat is recognized as an important contributor to carbon emissions. To reduce these emissions, innovations in industrial processes, technologies for industrial heat management and the application of carbon free supply options are necessary. Industrial heat technology focusses on technologies for industrial heat management and in doing so, it is in line with the Multiyear Mission driven Innovation Program currently under development by the Dutch Government. Most of the current TKI Energy & Industry projects deal with the issue of heat. The importance to the topics is at this moment not reflected by the attention it receives within European networks like SPIRE and EERA. ECN.TNO is working, together with other European key development organizations like AIT, DTI and SINTEF to increase the awareness of the importance on a European level.

Line 2 Efficiency, Circularity and Electrical driven processes

Improving the efficiency and recycling of components boosts industrial processes and minimizes the losses. ECN.TNO focuses on (i) efficient separations, (ii) process intensification and (iii) recovery of valuable chemicals from waste streams. Specific technologies include membrane and sorption based separation, often in combination with a chemical reaction, crystallization and advanced distillation. Focal point is on the process industry like (petro) chemical, food and pharma. The successful implementation of these technologies represents a reduction in CO₂ emissions of 2 Mt/y in the Netherlands.

The contribution of wind and solar electricity to the fuel mix in the Netherlands is expected to grow rapidly in the coming decades. However, competition for these renewable resources create an uncertainty about their availability for the industry. In addition, new technologies and business models are required to integrate renewable electricity in the industrial sector and to create sufficient flexibility for the operation of the electricity grid. In close collaboration with the TNO program Voltachem

and the VP Fuels and Feedstocks and the ERP Brightsite, the industrial electrification topics that are being performed in this VP include electrical driven processes like electric field based separations and in the heat line on the generation of industrial heat.

Furthermore, the transition to a zero-emission and circular chemical industry will lead to novel value chains based on circular plastics and biobased feedstock. These trends spur development and implementation of novel conversion and separation processes that preferably are driven by electricity instead of heat.

Key deliverables 2020

- Organic solvent nanofiltration membrane on a high quality, low cost ceramic support demonstrated at 0.1m² scale;
- TRL3 experimental validation of small-scale ammonia synthesis
- TRL5 demonstration of sorption-enhanced DME synthesis (SEDMES) process to produce at least 0.3 kg/h of DME continuously

Partners involved

End-users: Shell, Huntsman, Dow, AkzoNobel, DSM, Sabic, Arcelor, Tata, Yara System builders/contractors: TechnipFMC, Bronswerk, Wijbenga, Vahterus, Orelis-Environnement. Membrane producers: Pervatech, CTI (Alslys Group), CoorsTek NL., Solsep BV. Universities, contract research organizations : Univ. of Twente, KU Leuven, TU Delft, VITO, platform organizations ISPT.

Fit with (inter)national agendas

The activities are closely linked to the TKI Energy & Industry in the efficient process technology lines. Via the direct links with ISPT (the Institute for Sustainable Process Technology) the activities are connected with stakeholders from different sectors and disciplines to process technologies whereby process innovation is strengthened and expedited. The electrification activities are well aligned with the larger VOLTACHEM program, in which a large number of chemical and energy related companies participate to steer the direct of the activities. The topics in this research line fits well with the statements of Mission Innovation5, where especially the integration of CO₂ capture with electrochemical conversion is highlighted.

Line 3: Carbon Capture Use and Storage for the Energy Intensive Industry

ECN.TNO is developing and testing technologies to capture and transform CO₂ from industrial sectors like the steel, cement, refineries and waste incinerators up to TRL6. The capture and use options are often investigated in close connection and are dependent of the sector and location of the CO₂ source. In addition, protocols for CO₂ transport and storage are being developed. For the longer term, the suitability of our technologies for negative emissions are being explored.

The steel industry is one of the largest industrial CO₂ emitters and ECN.TNO is supporting this industry with various solutions. Most notably are the support for enabling options around Hisarna technology and the ECN.TNO propriety StepWise technology. Hisarna offers the possibility to produce steel with a much reduced CO₂ footprint, ECN.TNO supports this approach by developing integration options for capture and CO₂ use. In a parallel development, StepWise captures the CO₂ in a conventional steel plant from both the gases that arise from blast and the basic oxygen furnaces. While this sorption based technology is being piloted at TRL6, cost and footprint reductions are being pursued through the use of 3D-structured materials. These gases contain energy and are therefore very suitable for the synthesis of value added chemicals as methanol and urea.

ECN.TNO collaborates intensively with several waste to energy plants to reach their CO₂ capture ambitions. Projects focus on the use of, advanced, amine system and range from small scale experimental evaluations to demonstrations on a 100kta CO₂ capture scale, from experimental and operation support to optimization by modelling. Specific goals for this applications are preventing solvent degradation and reducing implementation costs of CO₂ capture. In most cases the captured CO₂ will be used in greenhouses around the facility.

As part of a strategic reorientation the field of CO₂ use is growing within ECN.TNO. Current activities include novel processes for the production of various chemicals and advanced fuels.. Moreover, the integration of CO₂ capture and utilization could lead to improved business cases. Next to that, CO separation from gases from the steel industry and subsequent utilization will be explored.

On the side of transport and storage, ECN.TNO is developing fast-track storage feasibility appraisal methods that will result in more efficient certification (permitting) of storage sites. ECN.TNO is also developing methods to define operational plans for storage sites; this requires the translation of geological uncertainty and storage system response to CO₂ into bandwidths of monitoring parameters and storage performance indicators.

In addition, ECN.TNO is working on detailed modelling of multi-site transport and storage networks, which will lead to selection criteria for network development and facilities re-use, that take into account the impact of low abandonment pressure in depleted gas fields, as well as provide insight into network flexibility and robustness.

Key deliverables 2020

- TRL4 performance confirmation of 3D printed adsorbents, showing a doubling in the CO₂ capture productivity in mol/kg/h.
- TRL6 demonstration of methanol production in combination with STEPWISE in a steel plant setting
- TRL4 validation of advanced 3rd generation solvent with high pressure regeneration
- TRL5 field demonstration of DORA (dissolved oxygen removal apparatus) to reduce solvent degradation with one order of magnitude
- Application of offshore asset selection criteria for optimum CO₂ storage network development
- Plan for real time operational support of the first offshore storage site defined

Partners involved

Iron and steel industry (Tata, ArcelorMittal, SSAB), Waste incinerators (Twence, AVR, HVC), oil and gas companies (Total, NAM, Equinor, Shell), EPC firms (Amec Foster Wheeler, Stamicarbon, KT, Cato Engineering) equipment manufacturers: (Frames, Array industries, Carbon Clean Solutions. Aker), component suppliers (Kisuma, Johnson Matthey. Biobe), Distribution companies: (EBN, Gasunie, Porthos and Athos CCS consortia), universities and contract research organizations, (TU/e and UT, RUL, TUDelft, RU, BGS, Imperial College, Swerea Mefos, Polimi, SINTEF, Plant One, University of Texas, Los Alamos National Laboratory. University of Sheffield, University of Edinburgh, NTNU).

Fit with (inter)national agendas

The topic of CCUS has gained significant attention in recent years and the Netherlands is taking a leading position in this field. CCUS takes a prominent position in the national climate discussions contributing 7 Mt/y by 2030. Following the recognition in the climate agreement of CCS as an essential element in the portfolio of emission reduction measures, activities to develop capture projects and transport and storage infrastructure have been stepped up.

Within the top sector Energy, this topic is mostly hosted by the TKI-Nieuw Gas. Internationally it is incorporated in the European Energy Research Alliance , in the Strategic Energy Technology Plan and by the Phoenix Initiative . Worldwide it takes a prominent position in the Mission Innovation initiative . The active participation and leadership of the Dutch government in these initiatives reflects the societal relevance and demand. ECN.TNO is a contributor to all these initiatives and will continue in this role in the coming years.

Dynamiek

After the final publication of the Integral Knowledge and Innovation Agenda Climate and Energy in March 2019, the national discussions along the lines of the Climate Agreement have been intensified. This had led to the publication of this vision on 28 June 2019. Parallel to this 'Multiyear Mission driven Innovation Programs' (MMIP) have been detailed. These two processes can be seen as complementary documents. ECN.TNO has been actively contributing to the vision expressed in these documents. The conclusions of MMIP discussions have been sent to the ministry of EZK for evaluation but are not published at the moment of writing.

The innovations pursued in the demand driven ECN.TNO-program Towards a "CO₂-neutral industry" answer the challenges in mission C "Circularity and Industry". The total CO₂ reduction target is 19.4 Mton/y and is a combination of existing policies, 5.1 Mton/y, additional assignment. The ambitious challenge originates from the widespread understanding that the CO₂

abatement costs can be lower than elsewhere. A cost efficient reduction is possible, but still forms a substantial financial and technologic challenge for the individual parties.

According to PBL (Nationale kosten energietransitie in 2030, PBL 2018) a significant CO₂ reduction at negative costs (5 – 10 Mton/year) can be achieved through industrial energy efficiency and saving. These topics are specifically addressed in the TNO lines of Industrial Heat and Efficiency. Within the framework of mission driven programs, they are grouped in MMIP7 – A CO₂ free Industrial Heat System. Another topic with a higher CO₂ abatement potential (> 10 Mton/year) is CCUS, carbon capture use and storage, where full scale costs are anticipated to be around 50 – 70 €/ton CO₂. This is integrated in the TNO line CCUS. Within the framework of mission driven programs, this topic is included in MMIP6 – Closure of Industrial Chains. Finally some radical new processes like metal fuels and integration of high temperature electric heating, that are covered by the current TNO roadmap, are a part of the MMIP8.

The impact of these MMIP's on the TNO programmatic approach is anticipated to grow and TNO together with the industrial partners will continue discuss and finetune the activities to reach in order to reach the ambitious CO₂ reduction targets. The first directional changes include the extension from low temperature heat upgrade to include also high temperature heat upgrade and the production of renewable heat, a move from process efficiency towards, disruptive, process innovations, and finally the inclusion of the use of CO and CO₂ for chemical applications.

Titel	Naar CO ₂ -neutrale brand- en grondstoffen (P324)
Missie/ Topsector	Topsector Energie
Contactpersonen TNO	Richard Braal, Ronald van den Berg, René Peters, Jaap Kiel, Maarten Bijl, Lennert Buijs
Contact extern	Kees de Gooijer (TKI-BBE), Rob Kreiter (TKI-E&I), Jörg Gigler (TKI-Gas)

Programma jaar 2020 - Samenvatting

De roadmap "Naar CO₂-neutrale brand- en grondstoffen" richt zich op een soepele, veilige en efficiënte transitie van traditionele energiebronnen naar hernieuwbare CO₂-neutrale brand- en grondstoffen in 2050. De roadmap omvat de volgende drie R&D lijnen:

R&D lijn 1 – Traditionele brand- en grondstoffen richt zich op verantwoorde productie en efficiënt gebruik van traditionele bronnen en veilig (her)gebruik en ontmanteling van bestaande infrastructuur. De kosten voor ontmanteling van installaties voor olie en gaswinning wordt door EBN geschat op 7 miljard euro. R&D in deze programmaliijn richt zich op het reduceren van deze kosten door slim en veilig hergebruik van infrastructuur, bijvoorbeeld voor CO₂ transport en opslag of waterstof productie en transport op zee, of warmte productie of energie opslag op land te onderzoeken. . Inpassing in de voedsel transitie (MMIP12) en de andere medegebruikers van de Noordzee (MMIP1, drijvende zonnepanelen) worden via b.v. de COP2030 en NovaDelta gerealiseerd. Verder wordt gewerkt aan nieuwe methoden om veilig putten af te sluiten of tijdelijk te dichten in afwachting van toekomstig gebruik. Toekomstig gebruik kan ook voor bestaande gas distributie infrastructuur gebruik van renewable gas (biogas, groen gas, waterstof) betekenen. Hiervoor zijn nieuwe modellen en sensoren nodig om gas samenstelling te modelleren en te meten om veilig (her)gebruik te garanderen.

Voor verantwoorde en flexibele productie en transport worden slimme monitoring en optimalisatie technieken ontwikkeld. Hierbij wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van de rijke hoeveelheid historische data door toepassing van Artificial Intelligence technieken (AI) en slimme technieken om fysische modellen te tunen met data.

R&D lijn 2 – Biomassa-gebaseerde brand- en grondstoffen richt zich op toepassing van duurzame biomassa binnen een circulaire biobased economy voor de vergroening van de chemie en energie sector, met speciale focus op het gas netwerk (geschatte omvang 10-20 BCM in 2030 = 350-700 PJ/a) en zwaar wegtransport, luchtvaart en scheepvaart met een verwachte omvang van respectievelijk 100, 170 en 580 PJ/a in 2030. De R&D focust op kostenreductie en versnelde marktintroductie van conversietechnologie voor duurzame biomassa en biomassa reststromen, en op versterking van de competitieve positie voor de Nederlandse industrie. Speerpunten in het onderzoek betreffen biomassa opwerking naar hoogwaardige energiedragers, groen gas productie, biobrandstoffen en chemicaliën co-productie via vergassing en bioraffinage, verbranding van biomassa(residuen), lignine verwaarding via pyrolyse en biochar co-productie.

R&D lijn 3 – Synthetische brand- en grondstoffen richt zich op de productie van duurzame waterstof, synthetische brandstoffen en chemische bouwstenen uit H₂, CO, N₂ en CO₂. Het onderzoek in R&D lijn 3 draagt bij aan het bereiken van de doelstellingen van MMIP 8, “elektrificatie en radicaal vernieuwde processen”. In 2019 is een aanzienlijke budget voor hardware investeringen verkregen, zowel voor waterstof elektrolyse als voor het converteren van CO₂ en CO naar synthetische gasoline/kerosine, aromaten en ammonia. Dit maakt het mogelijk om het onderzoek in 2020 flink te intensiveren. De R&D in lijn 3 focust op kostenreductie, efficiency en versnelde marktintroductie van conversietechnologie (waterstof elektrolyse en het gebruik van groene waterstof voor conversie van CO₂/CO), en op versterking van de competitieve positie voor de Nederlandse industrie. Daarbij wordt in het experimentele onderzoek vooral aandacht besteed aan de ontwikkeling van elektrolysers, elektrolyser-componenten, reactor design en geïntegreerde processen.

Korte beschrijving

De roadmap ‘Naar CO₂-neutrale brand- en grondstoffen’ richt zich op een soepele, veilige en efficiënte transitie van traditionele energiebronnen naar hernieuwbare CO₂-neutrale brand- en grondstoffen in 2050. De roadmap omvat de volgende drie R&D lijnen:

R&D lijn 1 – Traditionele brand- en grondstoffen richt zich op verantwoorde productie en efficiënt gebruik van traditionele bronnen en veilig (her)gebruik en ontmanteling van bestaande infrastructuur. Het onderzoek in deze programmalijn richt zich op het slim hergebruik van bestaande assets van de olie en gas sector, bijvoorbeeld voor CO₂ transport en opslag of waterstof productie en transport te onderzoeken. Onshore kan worden gedacht aan hergebruik van putten voor geothermie of energie opslag in lege velden. Verder wordt gewerkt aan nieuwe methoden om veilig putten af te sluiten of tijdelijk te dichten in afwachting van hergebruik. Voor bestaande gaswinning, transport en -opslag is de focus op het verantwoord afbouwen van de energie infrastructuur en het optimaliseren van de efficiency van productie en transport.

Belangrijke lange termijn doelen voor 2022 zijn:

- Veilige en verantwoorde productie uit leger rakende Noordzee velden Noordzee door ontwikkeling van intelligente proces monitoring en optimalisatie systemen (BALENA -toolset)
- Inpassing van het hergebruik in het bredere plaatje, zoals de MMIP1/3/12 via NovaDelta en de COP2030 (dus drijvende zonnepanelen, getijde-energie, energie/voedsel eilanden, medegebruik, hergebruik van assets voor andere dingen dan waterstof etc.).
- Ontwikkeling EVEREST tool voor robuuste lange termijn optimalisatie van energiesystemen (gas productie en opslag, windenergie, geothermie).
- Verbeteren flexibiliteit van de gas infrastructuur (o.a. sensor ontwikkeling, dynamische modellering en toepassing van AI technieken (e.g. indirect self learning modelling concept).
- Hergebruik van uitgedeelde platforms, lege gasvelden en pijpleidingen op de Noordzee ten behoeve van CO₂ opslag of waterstof productie (North Sea Energy programma).
- Hergebruik van onshore assets voor nieuwe energie toepassingen, lege gasvelden voor energie opslag, oude putten voor geothermie, proces installaties voor waterstof productie en pijpleidingen voor biogas of waterstof transport.
- Toepassing natural sealing concepten met behulp van zout lagen of shales voor veilige putafdichting.
- Ontwikkeling van smart casing concepten voor veilig hergebruik voor CO₂ of H₂ opslag of geothermie.

R&D lijn 2 – Biomassa-gebaseerde brand- en grondstoffen richt zich op toepassing van duurzame biomassa binnen een circulaire biobased economy voor de vergroening van de chemie en energie sector, met speciale focus op het gas netwerk (geschatte omvang in 2030 = 350-700 PJ/a) en zwaar wegtransport, luchtvaart en scheepvaart met een verwachte omvang van respectievelijk 100, 170 and 580 PJ/a in 2030. De R&D focust op kostenreductie en versnelde marktintroductie van conversietechnologie voor duurzame biomassa en biomassa reststromen, en op versterking van de competitieve positie voor de Nederlandse industrie. Belangrijke lang termijn doelen voor 2022 zijn:

- Opschaling en demonstratie/validatie TORWASH technologie voor biomassa opwerking tot hoogwaardige energiedragers, MILENA/OLGA/ESME-gebaseerde Groen Gas productie, co-productie van aromatische chemische

intermediates (selectieve benzeenafscheiding en etheen aromatisering), FABIOLA technologie voor biomassafractio-
nering en technologie voor co-productie van energie en biochar

- Ontwikkeling van innovatieve biomassa-naar-biobrandstoffen+chemische intermediates waardeketens, gebaseerd op lignocellulose biomassavergassing of bioraffinage en/of op zeewier processing.
- Lignine valorisatie gebaseerd op pyrolyse en getrapte condensatie.
- Demonstratie van de conversie van kolen-gestookte E-centrales tot biomassa WKK's.
- Demonstratie geïntegreerde/ gecascadeerde aanpak om mest te verwaarden naar hernieuwbaar gas, chemicaliën en mineralen.

R&D lijn 3 – Synthetische brand- en grondstoffen richt zich op de productie van waterstof en synthetische brandstoffen en chemische bouwstenen uit H₂, CO, N₂ en CO₂, waarbij de waterstof wordt geproduceerd zonder CO₂ te vormen. De R&D in lijn 3 focust op kostenreductie, efficiency en versnelde marktintroductie van conversietechnologie (elektrolyse en het gebruik van groene waterstof voor het omzetten van CO₂/CO/N₂), en op versterking van de competitieve positie voor de Nederlandse industrie. In 2019 is een aanzienlijke extra budget voor hardware investeringen verkregen wat het mogelijk maakt om in 2020 het onderzoek op gebied van CO₂ en CO conversie naar synthetische brand- en grondstoffen (gasoline/kerosine, aromaten en ammonia) te intensiveren. Het onderzoek in R&D lijn 3 draagt bij aan het bereiken van de doelstellingen van MMIP 8, “elektrificatie en radicaal vernieuwde processen”.

Belangrijke lange termijn doelen voor 2022:

- Ontwikkeling van een low-cost electrolyser (< 300 k€/kW) concept en bench-scale validatie van nieuwe electrolyser-componenten (samen met tenminste 10 NL bedrijven).
- Uitvoeren van meerdere pilots, o.a. voor water elektrolyse naar waterstof (TRL7) en offshore power to hydrogen – omzetting van windstroom naar waterstof.
- Ontwikkeling van blauwe waterstof demonstratie projecten (zoals H-vision in Rotterdam)
- Ontwikkeling van regionale plannen voor de introductie van groene waterstof in industriële toepassingen
- Ontwikkeling van efficiënte conversie technologieën voor het produceren van synthetische brandstoffen als kerosine voor de vergroening van de luchtvaart
- Ontwikkeling van efficiënte conversie technologieën voor het produceren van synthetische grondstoffen voor productie van groene plastics (aromaten)
- Opschalen van molten metal pyrolyse technologie om waterstof te produceren zonder CO₂
- Ontwikkeling van systeem voor het coproduceren van brandstoffen en ammonia in een geïntegreerd systeem, gebruikmakend van hoge temperatuur industriële restgassen en groene elektriciteit.
- Ontwikkeling decentrale ammoniak productie eenheden

Resultaten 2020

Binnen de kaders van het meerjarige onderzoekprogramma worden voor 2020 binnen de drie R&D lijnen de volgende resultaten en deliverables beoogd:

R&D lijn 1 – Traditionele brand- en grondstoffen

- Uitbouw North Sea Energy programma voor studie systeem integratie offshore energy naar 30 partners en lange termijn financiering (onder MMIP1, programmaliijn 2).
- Opzet eerste pilot voor offshore power-to-hydrogen op het platform van Neptune i.s.m. NexStep.
- Eerst pilot voor demonstratie natural sealing techniek voor zout of schalie lagen.
- Ontwikkeling van een Well Technology Innovatie programma op de locatie Rijswijk met focus op:
 - o Innovative materials for reliable operations and abandonment
 - o Well design for sustainable and economic reuse of existing wells

- Smart monitoring and drilling technologies => the “intelligent” well
- Toepassing van smart gas grid modellering met regionale netbeheerder.
- Commercialisering van de slimme gas compositie sensor voor waterstof bijmenging.
- Verbreding en demonstratie Everest tool buiten het traditionele Olie en Gas domein (Geothermie)
- Verbeterde modellen voor integriteit van installaties en systeem in interactie met (multiphase) stroming, om de resterende levensduur beter te voorspellen.
- Uitrol van eerste zichzelf optimaliserende numerieke model, dat het dynamisch gedrag van een bestaande of nieuwe asset zal optimaliseren vanuit een veiligheids/betrouwbaarheids-aspect.
- Eerste test case voor Real-time anomaly detection (onregelmatigheidsdetectie).
- machine learning toegepast op bestaande gas-infrastructuur, om zeer snel de impact van veranderde gas composities te quantificeren, wanneer wordt overgestapt naar bio-gas, waterstofgas of andere transitiebrandstoffen.
- Ontwikkeling en demonstraties van AI workflows voor het ondersteunen van beslissingen met betrekking tot operatie, onderhoud en afbouw van gasproductie-installaties (e.g. multi-party computation/federated learning, explainable AI, image analysis, autonomous decisions etc.)

Binnen de verschillende lopende en aankomende TKI-programma's (met name Nieuw Gas, Geo Energie en Waterstof) worden de volgende resultaten verwacht:

- Modellen voor het real-time monitoren en optimaliseren van dynamische putoperatie (start-up, shut down van productie of injectie)
- Workflow voor het automatisch detecteren en interpreteren van productie-afwijkingen in gasputten.
- Demonstratie van multi-party computation / federated learning concept op productie-data van gas operators.
- Systeem Integratie Noordzee (North Sea Energy 4)

R&D lijn 2 – Biomassa-gebaseerde brand- en grondstoffen

- Spin-out TORWASH technologie voor processing van rioolslib en consortium + plan voor demonstratieplant.
- Succesvolle piloting TORWASH technologie voor processing van 1-2 industriële biobased natte residustromen, inclusief recente procesinnovaties.
- Ingebruikname van het nieuw in te richten Sustainable Biofuels Technology lab, met de daarin opgenomen lab-/pilotschaal testfaciliteiten, voor de ontwikkeling van technologie voor biobrandstoffen-productie op basis van vergassing en bioraffinage, industriële consortia gevormd en initiatie van een nationaal biobrandstoffen onderzoekprogramma gericht op luchtvaart, scheepvaart en zwaar wegtransport.
- Businessplan en industriële partnerselectie voor vermarkting ESME technologie voor groen gas productie, gekoppeld aan MILENA/OLGA technologie en/of een alternatieve vergassing-gebaseerde technologie.
- In vervolg op succesvolle validatie biochar als veenvervanger in substraten voor de glastuinbouw in 2019, in 2020 experimentele evaluatie en ranking technologie-opties voor productie bioreductant voor metallurgische toepassingen, in het bijzonder het TATA Hisarna proces, in nauwe samenwerking met TATA.
- Ingebruikname lignine depolymerisatie pilot op de GCC in Bergen op Zoom, en start 1-3 applicatie-trajecten in nauwe samenwerking met industriepartners binnen het Biorizon programma.
- Proof-of-principle 1-2 hoogwaardige ligninetoepassingen, waarmee de business case voor Fabiola technologie voor de fractionering van biomassa in suikers en lignine sluitend wordt.
- Succesvol bedrijf Power Plant Rotterdam op 50% biomassa (op weg naar 100% bioWKK), onderbouwd met meetcampagne in het kader van H2020-demoproject ARBAHEAT.
- Start nationaal zeewier onderzoekprogramma in MMIP-kader in nauwe samenwerking met marktpartijen en o.a. WUR, inclusief chemicaliën en brandstof toepassingen, o.a. op basis resultaten H2020 projecten MacroFuels en MacroCascade.

- Proof of principle van 2 procesconcepten voor biogas upgrading (directe conversie (niet via syngas) van biomethaan naar biomethanol en nieuw membraanconcept).
- Proof of concept directe conversie biobased gas (met CO₂, H₂ en CH₄) naar mierenzuur en mestverwaarding naar biogas, chemicaliën en mineralen.

R&D lijn 3 – Synthetische brand- en grondstoffen

- Kostenverdeling en kostenprognoses op PEMWE stack niveau voor 2025 voor gebruik in de kostenraming voor de 1 GW-elektrolyse-plant;
- Gevalideerd 2D-warmtemanagement- en prestatie-model van een PEM elektrolyser;
- Nieuwe katalysator-aanbrengmethode aangetoond op polymeermembranen voor PEM elektrolyzers (nodig voor een waterstofkostenniveau van <2 € / kg);
- Selectie van 2-3 veelbelovende business cases voor elektrolyzers voor co-generatie met valorisatie van zuurstof;
- Realisatie en ingebruikname van een test installatie voor snelle in-situ screening van elektrolyser componenten en officiële testprotocollen beschikbaar
- Optimalisatie en ontwikkelen aanpak wijze blauwe waterstof introductie in de industrie in Rotterdam (op basis resultaten H-Vision programma 2019)
- Realiseren van de uitbreiding van de laboratorium infrastructuur voor synthetische brandstoffen en grondstoffen, gebruikmakend van de toegezegde extra investeringsmiddelen van EZK ten behoeve van demonstratie tot TRL 4 voor de productie van groene brandstoffen voor scheep- en luchtvaart
- Proces ontwikkeling van geïntegreerde reactie en scheiding voor de productie van synthetische brandstoffen zoals kerosine uit CO₂ en CO, experimentele opstelling en modellering.
- Experimentele opstelling voor omzetting van CO₂ in aromaten (belangrijk toevoeging voor kerosine). Onderzoek van de bekende katalytische processen en hun effecten op de productsamenstelling. Ontwikkeling van de geïntegreerde procesketen en onderzoek naar de ketenefficiëntie inclusief techno-economische analyse van opschaling.
- Continue conversie-unit om via molten metal waterstof en koolstof te maken, experimentele resultaten (TRL3 demonstratie), parameter evaluatie studie, conceptual process design en techno economische evaluatie de molten metal technologie om waterstof en vast koolstof te produceren
- Integratie van SOEC-conversies met ammoniaproductie; ontwikkeling van het AFES-prototype en de karakterisering van de prestaties; onderzoek naar de cyclusefficiëntie en systeemintegratiewinsten met behulp van experimenten en modellen.

Betrokken partijen zijn:

Eindgebruikers (Shell, BP, Nouryon, Engie, Uniper, Gasunie, HbR, Yara, Dow, Arcelor Mittal, OCI, Saudi Aramco, Maire Technimont, KLM), technologieleveranciers (Hydron Energy, Frames, PTG/E, FujiFilm, Magneto, O3systems), platform organisaties (ISPT, Brightlands, Havenbedrijf Rotterdam, Deltalinqs, FME) en universiteiten (TU-Delft, TU-Eindhoven, KIT, UT, RUL, Erasmus Universiteit).

Samenwerking

De roadmap draagt bij aan alle vier de programmalijnen van TKI-BBE (Thermische conversie van biomassa, Chemisch katalytische conversietechnologie, Biotechnologische conversietechnologie en Solar capturing en biomassa productie) en alle vijf de programmalijnen van TKI-Gas (Geo-energie, Groen gas, LNG, CCUS en Waterstof). Ook ontstaan er links naar het TKI programma voor Energie en Industrie op het gebied van conversie en synthetische brandstoffen. Daarnaast zijn er verbindingen met de Topsectoren Chemie (elektrificatie, biomassa als chemische grondstof) en Agri&Food (cascadering, biomassa-residuen, multifunctioneel landgebruik). De aansluiting bij NWA routes betreft in het bijzonder:

- Energietransitie (primaire)
- Circulaire economie en grondstoffenefficiëntie: Duurzame circulaire impact
- Duurzame productie van gezond en veilig voedsel

- Logistiek en Transport in een energieke, innovatieve en duurzame samenleving

Op het gebied van digitalisering ontstaat een intensievere samenwerking met expertisegroepen op het gebied van Artificial Intelligence and digitalization.

Een deel van de biomassa-activiteiten vindt plaats binnen het BIORIZON programma, terwijl de electrolyser ontwikkelingen plaatsvinden in het kader van het VOLTACHEM programma.

Dynamiek

Belangrijke trends in de markt die impact hebben op deze roadmap:

<ul style="list-style-type: none"> • Digitisation 	<ul style="list-style-type: none"> • High focus on optimization of energy systems and extension of life, using our domain knowledge combined with (data driven) modelling techniques
<ul style="list-style-type: none"> • Customers are diversifying 	<ul style="list-style-type: none"> • Our traditional customers are seeking a new future (Shell, NAM, Gasunie, Total, Equinor) for their role in the energy transition, moving to renewables, system integration, hydrogen.
<ul style="list-style-type: none"> • Phasing out of fossil fuels 	<ul style="list-style-type: none"> • Transition towards biobased fuels, synthetic fuels (and hydrogen) and re-use of infrastructure that currently produces and transports traditional fuels

Dynamiek R&D lijn 1 – Traditionele brand en grondstoffen richtte zich tot nu toe op exploratie en productie en decommissio-ning van (offshore) gasvelden in NL.

Het R&D programma is verschoven naar het intelligent afbouwen van gasproductie door een combinatie van AI en optimalisatie technieken op basis van fysische modellen en het verbreden van de ontwikkelde monitoring en optimalisatie-technieken naar andere energie-domeinen (e.g. geothermie), en het hergebruiken en afsluiten van leeg geproduceerde velden en putten en andere infrastructuur. Er is aansluiting gezocht met de offshore wind sector en diepe geothermie voor innovaties in het kader van systeem integratie. Voor de gasinfrastructuur is de focus van het onderzoek verschoven naar de inpassing van nieuw gas, groen gas en waterstof en de impact op de integriteit van de installaties, maar blijft de veiligheid en integriteit van het huidig gebruik van de infrastructuur van belang.

Dynamiek R&D lijn 2 - Het onderzoekprogramma in 2020 binnen Biomassa-gebaseerde brand- en grondstoffen betreft op hoofdlijnen een continuering van het Biomassaprogramma zoals dat vanaf 1 april bij ECN part of TNO, wordt uitgevoerd. Wel wordt een aantal accentverschuivingen verder doorgezet. Dit betreft in het bijzonder:

- Biomassa upgrading blijft een belangrijk R&D onderwerp, gericht op opwerking van biomassa-residuen tot hoogwaardige bioenergiedragers, maar de focus is verschoven van torrefactie naar TORWASH, voor rioolslib, agroresiduen en natte industriële residu-stromen.
- Sterke focus op bioraffinage naar biobrandstoffen en bio(platform)chemicaliën op basis van 2 ontwikkelplatformen: vergassing en fractionering naar C5/C6 suikers en lignine, mogelijk gemaakt door de uitbreiding van de onderzoekinfrastructuur met het Sustainable Biofuels Technology lab.
- Sterke inzet op zeewierprocessing naar (vooral) biobrandstoffen en bio(platform)chemicaliën in het kader van MMIP12 met gebruikmaking van het eind 2018 geopende zeewierprocessing lab.
- Ontwikkeling R&D activiteiten m.b.t. bioaromaten op de GCC in Bergen op Zoom in het kader van Biorizon, i.s.m. applicatie-industrie, TNO Industrie en VITO.
- In plaats van co-firing focus op 100% biomassa-installaties voor warmteproductie en wkk, kleinschalig, maar ook grootschalig, o.a. conversie Power Plant Rotterdam tot flexibele biowkk in het kader van H2020-project ARBAHEAT.

Dynamiek R&D lijn 3 – Voor synthetische brand- en grondstoffen geldt net als binnen R&D lijn 2 dat de investeringen in de uitbreiding van de onderzoekinfrastructuur, in de vorm van het Faraday lab voor elektrolyser ontwikkeling en in de lab faciliteiten voor conversies naar synthetische brand- en grondstoffen, een verdere intensivering van het onderzoek mogelijk maakt.

Met betrekking tot de elektrolyser ontwikkeling is er een goede afstemming met de roadmap “Naar een CO2-neutrale Industrie”. In de onderhavige roadmap ligt de focus op het goedkoper maken van elektrolyzers voor waterstofproductie, terwijl in de Industrie roadmap de aandacht uitgaat naar de integratie en implementatie van elektrolyzers in midstream/downstream processen voor de CO2 neutrale productie van intermediates en eindproducten. Het onderzoek in R&D lijn 3 draagt bij aan het bereiken van de doelstellingen van MMIP 8, “elektrificatie en radicaal vernieuwde processen”.

De uitbreiding van het experimentele onderzoek op gebied van conversies naar synthetische brand en grondstoffen in 2020 is een direct gevolg van de grote vraag van marktpartijen naar oplossingen om efficiënt en kosteneffectief synthetische, groene, CO2 neutrale brandstoffen en grondstoffen te maken. Hierbij wordt afgestemd met de roadmap “Naar een CO2-neutrale Industrie”, zijn er relaties met lopende NWA/NWO projecten en programma’s waar TNO bij betrokken is en wordt er afgestemd met lopende ERPs (met name Energy Storage and Conversion) welke meer fundamenteel van aard zijn.

Titel	Naar een betrouwbaar, duurzaam energiesysteem en een maatschappelijk gedragen energietransitie (P325)
Missie/ Topsector	Energie
Contactpersonen TNO	Ruud van den Brink, Harm Jeeninga
Contact extern	
Programma jaar 2020 - Samenvatting	
Dit Vraaggestuurd Programma (VP) heeft als doel:	
<ul style="list-style-type: none"> - Inzicht bieden in de ontwikkeling van en de samenhang binnen de transitie naar een duurzame energiehuishouding met als doel beslissers (decentrale, nationale en internationale overheden, bedrijven en consumenten) in staat te stellen betere keuzes te maken: ordening van de meningen en feiten en het duiden van onzekerheden en dilemma’s. - Het ontwikkelen en onderzoeken van beleidsinstrumenten, marktmechanismen, sociale innovaties en technologie voor energieopslag en voor aansturing van et energiesysteem met als doel de energietransitie sneller te laten verlopen. 	
Beoogde resultaten voor 2020 zijn onder andere:	
<ul style="list-style-type: none"> - Een kwantitatieve studie naar mogelijke nieuwe importafhankelijkheden van duurzame energie; - Het opleveren en publiek maken van een complete set factsheets van energietechnologieën. - Policy papers op gebied van de invloed van elektrisch vervoer op het energiesysteem en van nieuwe marktordeningsmodellen voor de energiemarkt. - Evaluatierapporten van techno-economisch en maatschappelijk potentieel van opties voor grootschalige, langdurige energieopslag en voor CO2-vrij stuurbaar vermogen. - Ontwikkelen van geografische energiemodellen voor regionale en lokale systeemintegratie. - Een model voor het onderzoeken van het effect van beleidsinstrumenten op het keuzegedrag van consumenten, toegepast op elektrisch vervoer. 	
Publicatie van onderzoek naar de effecten van nieuwe energiediensten op de rechten van burgers en op energierechtvaardigheid.	
Korte beschrijving	
Het sluiten van het klimaatakkoord in juni 2019 is een belangrijke mijlpaal op weg naar het doel van een CO2-neutrale energievoorziening in 2050. De aandacht verschuift van ‘wat gaan we doen om de CO2-uitstoot te verlagen?’ naar ‘wie moeten er	

wanneer welke acties ondernemen om de doelen voor 2030 te bereiken?’ en ‘wat zijn de gevolgen van de energietransitie?’. Tegelijkertijd blijft het nodig om oog te houden op het einddoel: om Nederland in 2050 helemaal CO₂-neutraal te maken is nog veel kennis, technologie en beleid nodig.

Dit onderzoeksprogramma richt zich op het mogelijk maken van de energietransitie en de implementatie van het klimaatakkoord: het levert kennis voor effectief beleid, aantrekkelijke business cases, een betrouwbare energievoorziening en een rechtvaardige transitie. En het onderzoekt de energietransitie in een breder perspectief: in de tijd (tot 2030, richting 2050 en verder), ruimte (lokaal, regionaal, nationaal, Europees en mondiaal) en in de verschillende sectoren (industrie, gebouwde omgeving, mobiliteit).

Overheden op alle niveaus zijn een belangrijke afnemer van onze kennis. Daarnaast zijn bedrijven (netwerkbedrijven, energieproducenten, grote energiegebruikers, aanbieders van nieuwe energiediensten) en koepelorganisaties (industrieclusters, bedrijventerreinen, NGO's) afnemers van onze kennis. Daarmee zijn ook consultants die overheden en bedrijven adviseren op energiegebied belangrijke partners. Dit programma draagt met name bij aan MMIP 13 (een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem) en MMIP5 (Elektrificatie van het energiesysteem in de gebouwde omgeving), maar daarnaast ook aan alle andere missies door kennisontwikkeling over het integrale energiesysteem en over maatschappelijke aspecten van de energietransitie.

De unieke bijdrage van dit onderzoeksprogramma ligt in de integrale benadering van de energietransitie. We onderzoeken de rol van technologieën, energiedragers en beleidsmaatregelen in samenhang met alle onderdelen van het energiesysteem. We combineren kennis van technologie, beleid en gedrag in kennisprojecten. Daarnaast is dit onderzoeksprogramma specifiek gericht op onderzoek naar nieuwe beleidsinstrumenten om de energietransitie te versnellen en naar technologie die nodig is om het leveringszekerheid te waarborgen, zoals energieopslag en ICT voor operationele aansturing.

Resultaten 2020

Importafhankelijkheid duurzame energie

De transitie naar een duurzame energievoorziening vermindert de afhankelijkheid van import van fossiele brandstoffen, maar kan leiden tot nieuwe afhankelijkheden. Resultaat is een wetenschappelijk onderbouwde methode voor de analyse van importafhankelijkheid van de hernieuwbare energiedragers elektriciteit en waterstof met behulp van een mondiaal integraal energiemodel (TIAM-ECN). Daarnaast een policy brief over de mogelijkheden voor en de gevolgen van import van duurzame energie voor Nederland.

De energietransitie in de industrie

Nederland heeft een open economie en een grote en CO₂-intensieve industrie, wat betekent dat de decarbonisatie van de Nederlandse industrie in Europese en mondiale context moet worden bekeken. In 2020 levert TNO (met PBL) de MIDDEN-database op, die als doel heeft kennis te leveren welke decarbonisatie-opties die ETS-bedrijven hebben om de doelen uit het klimaatakkoord te halen. Daarnaast publiceren we onderzoek naar de mogelijke reactie van bedrijven op CO₂-reductiemaatregelen, met name in relatie tot decarbonisatiebeleid in het buitenland. We publiceren ook onderzoek naar beleid om te sturen op scope 2 en scope 3 emissies.

Mobiliteit, transport en energie

De verwachte toename van elektrisch rijden heeft grote gevolgen voor de vraag naar elektriciteit en het elektriciteitsnet, maar kan ook de benodigde flexibiliteit in de elektriciteitsvraag leveren. Dit project onderzoekt de effecten van elektromobiliteit en waterstofmobiliteit op het energiesysteem in samenwerking met mobiliteitsexperts van TNO Traffic & Transport. Het levert beleidsrelevante kennis over mogelijke ontwikkelingen in laadpatronen en -profielen van elektrische voertuigen (grid-to-vehicle en vehicle-to-grid) waarbij ook gedragsmatige, markt- en ruimtelijke aspecten worden onderzocht.

Koolstofhoudende energiedragers

Zwaar transport en de luchtvaart zijn moeilijk koolstofvrij te maken, maar moeten richting 2050 wel CO₂-neutraal gemaakt worden. In 2020 publiceren we kwantitatief onderzoek naar met name internationale aspecten van biomassa en synthetische

brandstoffen op basis van duurzame waterstof en CO₂ (solar fuels). Voor biomassa zal specifiek onderzoek beschikbaar gemaakt worden naar de relatie van het gebruik van biomassa voor de productie van chemicaliën en voor energietoepassingen (cascadering).

Geothermie

Geothermie is een nog relatief weinig benutte duurzame energiebron met een groot potentieel, onder andere voor de verduurzaming van de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving en de industrie. Dit project levert beleidsondersteunende kennis om de rol die geothermie in mondiaal, Nederlands en lokale energiesystemen te kunnen inschatten. Het modelleren van geothermie is uitdagend is door sterke lokale bepaaldheid van aanbod en warmtevraag.

Financiering van de energietransitie

De financiering van de energietransitie zal voor een belangrijk deel plaatsvinden door de financiële sector (banken, pensioenfondsen, investeringsfondsen). Er is in het kader van het Klimaatakkoord veel aandacht voor dit thema en er zijn zeker nog veel vragen op dit thema open, bijvoorbeeld over de risicoinschatting die banken maken m.b.t. grootschalige financiering in de gebouwde omgeving en de manier waarop verzekeraars met stranded assets omgaan. In 2020 zal een policy brief opgeleverd worden waarin door middel van interviews met in Nederland actieve private en publieke investeerders inzicht zal worden gegeven in de afwegingen, kansen, barrières en kennisbehoeften van investeerders.

Nederland in de Europese context

Het Nederlandse energiesysteem is sterk verbonden aan dat van de ons omringende landen, zowel elektriciteit, brandstoffen als gassen worden geïmporteerd en geëxporteerd. Ook het Nederlandse energiebeleid is sterk gekoppeld aan onze Europese burens, bijvoorbeeld via het ETS. Er is behoefte aan goede integrale kwantitatieve analyses van de Europese context van het Nederlandse energiesysteem, naast en in samenhang met de sectormodellen voor elektriciteit (COMPETES) en gas (GASTALE) waarover we al beschikken. In 2020 zal een Europees integraal energiemodel worden ontwikkeld op basis van modellen en data van onder andere van IEA, Eurostat en JRC.

Feitenbasis en modelontwikkeling

Ontsluiten van factsheets over energietechnologie op het webportaal energy.nl. Opstellen van jaarprofielen voor energieaanbod en -gebruik (samenwerking met Quintel, PBL en netbeheerders). Implementeren verbeteringen in het modelinstrumentarium, zoals het integrale energiemodel voor Nederland OPERA en het mondiale TIAM-ECN-model.

Marktmechanismen en beleid voor flexibiliteit in het elektriciteitssysteem

Dit project onderzoekt opties die de netbelasting kunnen verlagen, zoals flexibiliteit in de vraag en beleidsinterventies die dat stimuleren. Om flexibiliteit effectief in te kunnen zetten moeten markten ontstaan die geschikt zijn voor flexibiliteitsproducten. Deze markten moeten in staat zijn om congestiemanagement, balanshandhaving en handel tussen verschillende schaalniveaus in het energiesysteem te faciliteren. Daarnaast moeten ze robuust zijn om de stabiliteit van het energiesysteem te garanderen. Er wordt onderzocht of de bestaande marktmechanismen en -regulering voldoen in de sterk veranderende elektriciteitsmarkt en of er alternatieve marktsturingsprincipes, bijvoorbeeld die in andere landen worden toegepast, effectiever kunnen zijn. Er wordt nadrukkelijk gekeken naar de veranderende rollen van bestaande en nieuwe spelers in de energiemarkt. Om in de toekomst op grote schaal flexibiliteit in te zetten ten behoeve van het energiesysteem, balanshandhaving en congestiemanagement, zijn technisch complexe oplossingen nodig. TNO ontwikkelt enabling technologieën die nodig zijn om op grote schaal flexibiliteit te ontsluiten en kostenoptimaal in te kunnen zetten.

CO₂-vrij stuurbaar vermogen

Fluctuerend aanbod van zonne- en windenergie maakt de aanwezigheid van stuurbare elektriciteitsvraag, -opslag en/of -aanbod noodzakelijk. Dit project onderzoekt de opties voor CO₂-vrij stuurbaar vermogen in relatie tot de andere flexibiliteitsopties in het elektriciteitssysteem. Samen met onderzoekers van Wind- en zonne-energie verkennen we mogelijkheden om meer flexibiliteit te creëren in het aanbod van zon en wind zelf. Ook andere opties, zoals biomassa, waterstof, gas met CCS, etc. worden vergeleken op basis van onder andere de kosten en de dienst aan het systeem. Publiceren in policy brief van waarde van mogelijke opties voor CO₂-vrij regelbaar vermogen, onderzocht m.b.v. elektriciteitsmarktmodel.

Grootschalige energieopslag

Batterijen ontwikkelen zich snel en zijn zeer geschikt als oplossing voor relatief korte termijn mismatch in vraag en aanbod. Voor het oplossen van problematiek rondom lange termijn mismatch in vraag en aanbod en garantie van leveringszekerheid is grootschalige en lange termijn energieopslag noodzakelijk in de vorm van elektriciteit, gas en/of warmte. Door het koppelen van energie-infrastructuren via conversie biedt grootschalige opslag deze diensten aan het hele energiesysteem. In 2020 zal het technische, het economisch en het maatschappelijk inpasbaar potentieel van energieopslag in Nederland in kaart worden gebracht. Ter ondersteuning is het noodzakelijk om een consistente vergelijking te maken tussen de verschillende opslag technologieën op basis van technologiestatus, marktkansen en inzicht in maatschappelijk draagvlak. Daarnaast wordt op een of meer specifieke technologieën R&D uitgevoerd, zoals redox-flow batterijen en ondergrondse waterstofopslag.

Netwerken voor nieuwe gassen

Het gebruik van het huidige gasnet voor de distributie van waterstof en groen gas zorg vergt onderzoek naar de technische uitdagingen. Daarnaast wordt een model ontwikkeld voor de geospatiale aspecten van de aanleg van nieuwe energienetten mede in relatie tot opslag.

Regionale integratie van het energiesysteem

De issues rond inpassing van zonne- en windparken en de transitie naar duurzame warmte leidt tot complexe vraagstukken rond het regionaal en lokaal afstemmen van opwekking en gebruik van energie, en de rol van opslag en conversie naar andere energiedragers. Die vragen beantwoorden is complex en vergt kennis van het de technische werking van het energiesysteem, beleid en regulering, ruimtelijke ordening, ontwikkeling van energievraag en -aanbod, en van de afhankelijkheid tussen het regionale en het grotere energiesysteem. Ter ondersteuning van partijen (overheden, netbeheerders) die keuzes (zoals investeringsbeslissingen of regionale transitie-strategieën) moeten maken en vooral de consultants die in deze sector werkzaam zijn ontwikkelt TNO kennis die hen helpen een keuze te maken die leidt tot een gedragen, robuust, duurzaam en toekomstbestendig energiesysteem. Het belangrijkste product is het techno-economisch doorrekenen van wijken, steden en regio's. Dat vergt kennis van de huidige en toekomstige energievraag uit met name de gebouwde omgeving op hoog detailniveau en van de ruimtelijk aspecten van de huidige en toekomstige energieaanbod en -vraag.

Een operationeel energiesysteem tijdens de transitie

Veel van de ICT-technologie voor slimme aansturing van elektriciteitsnetten, zoals de ECN/TNO-innovatie Powermatcher en het aggregatieplatform ReFlex, is beschikbaar en getest in proeftuinen. In de praktijk worden deze oplossingen in de echter nog weinig toegepast. De implementatie van dergelijke systemen heeft allerlei maatschappelijke implicaties, waarbij gedrag van burgers en bedrijven een belangrijke rol speelt. In 2020 zal in H2020-projecten (onder andere twee lighthouse-projecten over verduurzaming van steden) onderzoek gedaan worden naar de maatschappelijke barrières, de technische en juridische mogelijkheden en de ontwikkeling van een duurzame waardeketen voor de inzet van energieflexibiliteit voor o.a. congestie-management.

Consumentengedrag

Opleveren CODEC-model voor inschatting van het effect van beleidsmaatregelen op de automarkt en publicatie onderzoek naar de adoptie van elektrische voertuigen in alle markten (lease, privaat, tweede hands, bedrijfswagens). Toepassing CODEC in een andere consumentenmarkt. Ontwikkeling en testen van methodologie voor het beïnvloeden van de levensstijl van burgers met als doel de CO2-voetafdruk te verlagen. Hierbij worden bewezen succesvolle interventies uit andere sectoren 'vertaald' naar toepassing op energiegebied.

Complexe besluitvorming

Toepassing van methode voor data-ondersteunde besluitvorming in samenwerking met een gemeente op het gebied van verduurzamen van een wijk. Ontwikkelen en onderzoeken van methoden voor burgers om te participeren in duurzame energieprojecten. Dat kan gaan van gezamenlijk met stakeholders ontwerpen van zonneweides tot financieel participeren.

Energierichtvaardigheid

Kwantitatief onderzoek naar de mogelijke verdelingseffecten van energiebeleid. Verkennend onderzoek naar de mogelijkheden om de gevolgen van energiebeleidsmaatregelen op andere domeinen (sociaal, economisch, luchtkwaliteit, natuur, welzijn, etc.) inzichtelijk in kaart te brengen. Ontwikkelen en testen van aanpak om energierechtvaardigheid te bevorderen (dat naast economische ook procedurele rechtvaardigheid omvat).

Juridische versnelling van de energietransitie

Publicatie onderzoek naar de implicaties van nieuwe Europese regelgeving op gebied van elektriciteit voor Nederlandse burgers en (energie)bedrijven. Onderzoek naar de implicaties van de energietransitie op de regulering van energiemarkten (elektriciteit, gas, warmte) en de rechten van burgers. Opzetten van een kenniscentrum voor juridische versnelling van de energietransitie waarin relevante juridische expertises worden samengebracht (omgevingsrecht, consumentenrecht, aanbestedingsrecht) van universiteiten, consultants en TNO.

Marktordening warmte

Er wordt veel gediscussieerd over de financiering en de daarmee samenhangende regulering van warmtenetten. Resultaat is een referentiemodel voor de marktordening van warmtenetten, waarin technische, economische, maatschappelijke en duurzaamheidsaspecten worden meegewogen. Het model zal worden gebruikt om reguleringsopties te verkennen en de consequenties te onderzoeken. Businessmodel van hoofdnetwerken voor warmte, wat zijn marktmodellen en hoe gaan die om met pieken in de warmtevraag. Wat zijn de rollen, verband met elektriciteitsnetwerk. Deze vragen worden onder andere aan de hand van een case study onderzocht. Onderzoek naar business modellen en technologisch aspecten van innovatieve warmtenetten, zoals hybride lage-temperatuurnetten.

Dynamiek

Om de stakeholders beter te kunnen bedienen heeft ECN TNO besloten twee onderzoeksprogramma's samen te voegen: het VP Naar een maatschappelijk gedragen energietransitie en het VP Naar een betrouwbaar en duurzaam energiesysteem. Dit nieuwe programma omvat de financiering vanuit een geormerkte subsidie onder regie van de DG Klimaat en Energie van het ministerie van EZK. Deze wordt ingezet in met het ministerie en de klankbordgroep afgestemde kennisopbouw-projecten en voor de verspreiding van die kennis bij relevante stakeholders in de overheid en daarbuiten via workshops en prikkelende publicaties. Andere onderdelen richtten zich op leveringszekerheid, op digitalisering en op regionale en lokale transitie.

Titel	Smart Vehicles (P402)
Missie/ Topsector	HTSM, Roadmap Automotive
Contactpersonen TNO	Marika Hoedemaker
Contact extern	

Programma jaar 2020 - Samenvatting

The program 'Smart Vehicles' is aligned with the Topsector HTSM, Roadmap Automotive and aims to strengthen the competitive position of the Dutch automotive and mobility industry. The TKI HTSM Roadmap Automotive is directional for the content of the TNO Smart Vehicles program, which contributes to the scope of the Smart Mobility agenda of the HTSM Automotive Roadmap. The demand control becomes most specific with the TKI roadmap Automotive and the interaction with regard to TKI proposals and projects.

The Smart Vehicles falls within TNO in the unit Traffic & Transport, in the Roadmap 'Smart & Safe Traffic & Transport', focusing on the realisation of a smart and safe mobility system. It is focused on a number of important societal challenges in the areas of traffic safety and efficient and reliable mobility. We do this by focusing our research on tools, technology and testing methodologies for the acceleration of a safe deployment of automated and cooperative driving.



The main goal of the Smart Vehicles programme is to develop advanced solutions, tooling and innovative methodologies that support the increase of traffic safety and throughput with implementation, deployment and scaling-up of connected vehicle automation to maximize operational and functional safety of vehicles, while ensuring robustness & reliability in real-world conditions.

It is important to show the added value of highly automated driving in which aspects like the behavior of users and other traffic participants, society, business and legal aspects are taken into account. In 2020 we will continue to increase safe operation and enlarge the operational design domain of automated vehicles, for example by taking more information from sources outside the ego-vehicle into account, resulting in better performance (safety and driver comfort) including more complex maneuvers on highways and towards full automation at lower speeds in confined and urban areas. The effect on the users will be taken into account by further developing human factor knowledge and facilities. More insight into behavior and interaction with traffic will be obtained via further developing the scenario based assessment methodology Streetwise.

Korte beschrijving

The main goal of the Smart Vehicles programme is to increase traffic safety, driver comfort and traffic throughput by development of advanced solutions, tooling and innovative methodologies that support governments and companies with implementation, deployment and scaling-up of connected vehicle automation to maximize operational & functional safety of vehicles, while guaranteeing robustness & reliability in real-world conditions.

The developments focus on four specific areas: Vehicle Automation Technologies (Autopilot), Connected & Cooperative Multi-vehicle Control (Platooning), Scenario-based Safety Assessment (Streetwise), Real-world Safety Performance Validation (Streetproof). The focus is on connected vehicle automation on public roads, taking both vehicles and road-side systems into account, in complex environments and achieving safe and efficient interaction with other road users, including vulnerable road users such as cyclists. In addition, the effects on the user and the capabilities of humans is taken into account (Human Factors). Developments take place in different vehicle domains ranging from trucks, cars, delivery vehicles and automatically guided vehicles. Developments are supported by advanced virtual and physical testing environments and facilities.

To realize our goals we foresee the following activities and cooperations:

- Experimenting and piloting of highly automated vehicles on public roads for transport of people and goods.
- Development of technologies and functionalities for realizing multi-brand platooning as an important part of realizing interoperable connected and automated driving.
- Development of technologies and functionalities for realizing pilots of platooning passenger cars and automated parking of vehicles in urban areas.
- Single vehicle automation (e.g. highway pilot) towards SAE level 4 based on a common architecture and software framework allowing multiple automation functions to operate safe and comfortable.
- Development and application of Hardware in the Loop (HiL), Vehicle in the Loop (VeHiL) and Driver in the Loop (DiL) test environments for independent development of platooning systems.
- Development of a scenario based validation methodology, suitable for development, (virtual) testing and validation of automated driving functions to accelerate safe introduction of highly automated vehicles on public roads.

Resultaten 2020

In 2020 we will continue to increase the operation domain of automated vehicles resulting in better performance including more complex maneuvers on highways such as lane changes and overtaking and higher levels of automation, and towards full automation at lower speeds in confined areas such as parking lots and distribution centers. Using information of road-side and IoT systems will be an important enabler to increase the operational design domain. Safe and efficient interaction between automated and non-automated traffic will be a key topic, as well as interoperability between automated vehicles.

We will work together with international vehicle manufacturers and suppliers in multi-year development programs, but also via TKI (NL Smart Mobility) and EU projects (EU L3pilot, EU Autopilot, EU ENSEMBLE, EU Prystine, EU ARCADE). We have a

strong cooperation with academia via a number of TNO employees with part-time professorships and employees working on their PhD (Eindhoven Technical University, Delft Technical University, Nijmegen University, Nanyang Technological University)

More insight into behavior and interaction with traffic will be obtained via further developing the scenario based assessment methodology Streetwise. More data will be obtained from vehicle fleets and the detection and analysis algorithms will be further developed and integrated into a cloud-based processing pipeline. Data will be obtained via running projects (EU L3pilot, EU Autopilot, EU MeBeSafe, EU Headstart, EU ENSEMBLE, TKI (NL Smart Mobility), PUMAS (B2B consortium). Cooperation on Streetwise with Nanyang Technical University in Singapore will continue and cooperation with B2B partners will be further increased (Itility, TASS/Siemens, AVL, IKA and international manufacturers and suppliers).

Dynamiek

The Smart Vehicles connects with MMIP 9 and 10 (Meerjarig Missiegedreven Innovatieprogramma Duurzame Mobiliteit). Complementary to these MMIP's the deel-KIA "Toekomstbestendige Mobiliteitssystemen".

Within the part of Smart mobility & Logistics knowledge questions and innovation exercises of the Ministry of Transport are described. These are on the one hand developments in the area of technology, concepts, services and systems and on the other hands the needs for new policies and knowledge and tool to support the transition towards new policies. For both areas three levels can be applied:

- Vehicle
- Traffic and mobility systems
- Impact on the higher system level (infrastructure, social, economic, etc.)

On the European level TNO stays active in partnerships like EARPA, ERTRAC, ERTICO, etc., but also in direct cooperation with the EC, like in STRIA and GEAR2030. Recently the C-CAM platform was formed in which TNO also plays an active role.

TNO cooperates with her partners in different kinds of projects:

Cooperation project within the Dutch or European research programs.

In these projects with mixed funding, TNO cooperates with Dutch companies, knowledge institutes and other stakeholders. TNO secures that the developed knowledge is relevant for the Dutch partners within these projects and that the knowledge is innovative for the TNO programs (and with that the HTSM Automotive Roadmap).

New knowledge development within contract research.

Assignments for contract research at TNO sometimes focus on application or further development of existing knowledge, but more often they focus on the development of new knowledge. TNO secures that new knowledge development within contract research always fits within her roadmap.

TKI projects.

Making use of the TKI allowance that is generated in the above mentioned projects, TNO can perform the so-called TKI projects. These projects fit by definition in the HTSM Automotive Roadmap and are always aligned with the HTSM automotive roadmap team, with the goal to improve the competitive strength of the Dutch industry and the well-being of society.

New knowledge development financed by the Government.

Part of the VP program is focused on research to develop new background knowledge. It concerns mostly new knowledge areas or deepening of knowledge that does not directly fit within other projects.

Titel	Sustainable Vehicles (P405)
Missie/ Topsector	HTSM, Roadmap Automotive
Contactpersonen TNO	Marika Hoedemaeker
Contact extern	

Programma jaar 2020 - Samenvatting

The program Sustainable Vehicles focusses on lowering the pollutant (NO_x, PM) and greenhouse gas (CO₂, CH₄, etc.) emissions of vehicles and acceleration of deployment of near zero or zero emission solutions for transport of people and freight. The program is aligned with the Topsector HTSM, Roadmap Automotive and aims to strengthen the competitive position of the Dutch automotive and mobility industry. The TKI HTSM Roadmap Automotive is directional for the content of the TNO Sustainable Vehicles programme, which contributes to the scope of the Sustainable Mobility agenda of the HTSM Automotive Roadmap. The stronger demand for reduction of CO₂ and other GHG emission becomes most specific with the TKI roadmap Automotive and the interaction with regard to TKI proposals and projects.

Within the TNO unit Traffic & Transport, the Sustainable Vehicles programme falls in the Roadmap 'Sustainable Traffic & Transport', focusing on the realization of sustainable mobility. The goal is to support governments and industry in the development and deployment of efficient vehicles with a (close to) zero environmental impact to support the transition as agreed in the Global Paris Agreement and the Dutch Klimaatakkoord. In the coming years the work will be more strongly aligned than is already the case with MMIP 9 on innovative propulsion and the use of alternative energy carriers in mobility and transport. MMIP 9 is part of the mission oriented knowledge and innovation agenda (IKIA) which serves as an annex to the Dutch Klimaatakkoord.



The main goal of the Sustainable Vehicles programme is to optimize towards the efficient use of energy for propulsion of vehicles while changing from fossil fuels to sustainable fuels and/or from a combustion based propulsion to a hybrid- or fully electric propulsion (including the use of hydrogen). This will be done by means of the development of advanced or disruptive technologies, methodologies and solutions that support the governments and companies with the implementation and deployment of these solutions into the market.

Korte beschrijving

The program Sustainable Vehicles focuses on lowering the emissions of greenhouse gases and NO_x produced by moving people and goods with vehicles. These gases contribute to the undesirable further warming of the earth whereby global goals (Paris agreement) and regional requirements (Euro VI engine technology in Europe and EPA23+ in the United States) force society and industry to take measures.

TNO is committed to the development of validated models, methodologies and tool suites that result in optimal use of engine/propulsion technology for road vehicles (long-haul, city-bus), vessels and stationary applications. In this case, the term 'optimal' means both the significantly lowering of GHG emissions and improvement of the quality of the living environment by lowering pollutant emissions, as well as the reduction of the operational costs for the user.

This program is divided into four knowledge and application focus areas:

Flex-Fuels & Combustion Technologies: Controlled combustion of mixed diesel, natural gas and other future sustainable fuels using our RCCI methodology, enabling >50% brake thermal efficiency, low greenhouse gas emissions and engine-out NO_x and PM emissions. This is interesting for long-distance transport but also for static applications such as generators. The RCCI combustion methodology is an important research area on our multi-year technology roadmap. One of the targeted results is a multi-cylinder HD engine demonstration with a BMEP range of 25 bar, with NO_x and PM emissions under the current Euro VI limit.

Electrified Powertrain Solutions: Battery Management (State, Charge, Thermal) and Predictive Energy Management, optimization of WTW and TTW emissions, minimization of the total cost of ownership (TCO) by efficient use of stored energy.

Assessment of future clean and sustainable vehicle technologies powered in combinations of battery electric and hybrid / fuel cell.

Powertrain Performance Validation Center: Cost-efficient real-world performance assessment and validation methodologies for sustainable energy technologies and/or deployment of hybrid technologies for light and heavy duty vehicles.

Measurements under unique extreme conditions (pressure and temperature) to test the robustness of the system.

Hydrogen for Fuel Cell Solutions: The long-term fuel transition and the current trends show that hydrogen will play an increasingly important role as an energy carrier for electric transport. To achieve a CO₂ neutral transport system, TNO supports the use of fuel cells by developing algorithms for state-of-health and state-of-function estimation of the H₂ fuel cell, and model-based calibration and validation of the best possible fuel-cell – battery combination for a specific use case, with the aim to provide a robust, efficient and reliable powertrain with the lowest possible TCO.

To realize this vision, we plan the following activities and collaborations:

1. The development of validated combustion and exhaust gas aftertreatment models which lead to a reduction of the CO₂ and NO_x emissions in order to achieve the EURO VI and EPA23 requirements for a conventional dual fuel diesel - CNG engine for long haul transport.
2. The development of validated models for powertrain solutions based on the use of batteries for electric propulsion in combination with a fuel cell as range extender with which we can determine the best configuration for zero emission vehicles, based on the desired deployment and scope with an optimized technical and economic life of the battery.

Within this VP the collaborations within the automotive sector in the Netherlands are also actively linked to demands that are developed within the Ministries I&W and EZK as well as the RDW.

Resultaten 2020

In 2020 we will demonstrate on a diesel-natural gas engine the improvements on emission with a new generation high pressure gas fuel system and optimized valve timing in order to lower the GHG emissions below current EURO VI engine technology. Based on that, we want to verify our control models for an EPA23 + low NO_x, fuel efficient thermal management strategy. In addition, our aftertreatment toolchain will be extended with a validated CH₄ emission model on the basis of which the previously mentioned control models are provided with input from the state of art research engine.

Furthermore, as TNO also intends to extend its testing facilities and methodologies in PTC 2.0, we target to have the battery ageing test facility in operation in Q1/2020 in order to achieve capabilities for accelerated battery ageing characteristics research and gain market potential for B2B.

Demonstration milestones:

- Hybrid Vehicle Optimization Framework (ORCA)

For the next generation of plug-in heavy duty hybrid vehicles, this project focuses on optimization of the topology, sizing and energy management. The optimization framework is used and supported by Volvo and IVECO in the project led by TNO. Moreover, technologies developed within the project are supporting the development of VECTO and EURO VII, which ultimately influence the CO₂ and pollutant emission strategies of all OEMs on the EU market.

- Smart battery pack (HIFI ELEMENTS)

The development of a fully integrated smart battery pack uses the latest xIL (API standard for the communication between test automation tools and test benches) development tools, and TNO will deliver a working prototype pack within the project.

- TCO Optimization (ASSURED)

The development of assessment and optimization tools for plug-in vehicles considering the (shared) infrastructure.

- Assessment VIL (AEROFLEX)

TNO is the key partner on the topic of the assessment methods and unique vehicle-in-the-loop test methodology in the HKK, for testing longer heavier vehicles equipped with innovative technologies targeting a 18-30% reduction in CO₂.

The following activities with partners and knowledge institutes are started now or prepared to start and contribute to the Roadmap:

- TKI with DAF (and 1 or more suppliers) on the use of hydrogen to lower the emissions of HD combustion engines. This activity will focus on the required control algorithms and work together with the PMC PPAC to verify the performance.
- TKI with NPS Diesel on the use of hydrogen to lower the emission of NRMM and maritime engine applications. This activity will focus on the control algorithms (engine and EAS).(Stationary lean-burn SI monofuel)

A long term perspective is the availability of sustainable fuels (e.g. DME, butanol). There is a chance that for inland shipping a retrofit solution needs to be developed. We anticipate that DME might be a substitute fuel for fossil diesel after 2030.

We aim to serve emerging markets (on- road and non-road applications such as vessels and public transport) for new sustainable fuels in order to prepare for proof of the 2030 CO₂ reduction target in our powertrain performance assessment center by :

- H2 infrastructure operational in PTC, H2-ICE (dual fuel) demo in test cell – DAF TKI H2 project
- Bio-butanol RCCI – mixing solution, targeting an increase compared to the current Euro VI engine technology

For our Hydrogen for Fuel Cells knowledge line in 2020 we aim to create a validated model in ADVANCE to be able, together with our TNO colleagues of Sustainable Transport and Logistics in The Hague, to calculate and study sensitivities on the choice of using a fuel cell for a distribution truck or bus.

Dynamiek

The VP405 connects with MMIP (Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma Duurzame Mobiliteit) 9. This MMIP describes the knowledge development and innovations in the field of propulsion systems and energy carriers that are needed for the transition to a fully clean and safe transport sector, in order to keep and increase in the future the positive contribution of transport and mobility in our society. The knowledge development with regard to decreasing the side effects that now devalue our prosperity (like CO₂ emission, particulate matter, noise, traffic casualties and land use) are described in the deel-KIA Toekomstbestendige mobiliteitssystemen.

On the European level TNO stays active in partnerships like EARPA, ERTRAC, ERTICO, etc., but also in projects for the EC, like in STRIA and GEAR2030.

EARPA actively supports various European Technology Platforms (ETPs) and Joint Technology Initiatives (JTIs) in their efforts of defining common visions for the future RTD and creating as well as implementing European strategic research agendas. Among others, EARPA members are active in the following European initiatives which are overlooking/have impacts on different automotive R&D aspects: ERTRAC, ARTEMIS, BIOFUELS, Hydrogen and Fuel Cell Platform, iMobility Forum, MANUFUTURE and EPOSS. As an independent platform, EARPA participates in strategic consultations at EU level related to public interest and societal matters regarding mobility, environment, energy and safety in the automotive area.

ERTRAC has the mission to enable decarbonized, highly-automated and connected long-distance freight transport, in order to improve environment, safety and health for the benefit of the whole society, as well as to improve efficiency of the European freight transport market.

TNO cooperates with her partners in different kinds of projects:

Cooperation projects within the Dutch or European research programs

In these projects with mixed funding, TNO cooperates with Dutch companies, knowledge institutes and other stakeholders. TNO secures that the developed knowledge is relevant for the Dutch partners within these projects and that the knowledge is innovative for the TNO programs (and with that the HTSM Automotive Roadmap).

New knowledge development within contract research

Assignments for contract research at TNO sometimes focus on application or further development of existing knowledge, but more often they focus on the development of new knowledge. TNO secures that new knowledge development within contract research always fits within her roadmap.

TKI projects

Making use of the TKI allowance that is generated in the above mentioned projects, TNO can perform the so-called TKI projects. These projects fit by definition in the HTSM Automotive Roadmap and are always aligned with the HTSM Automotive Roadmap team, with the goal to improve the competitive strength of the Dutch industry and the well-being of society.

Titel	Environmental Technology (P512)
Missie/ Topsector	HTSM
Contactpersonen TNO	Marinke Wijngaard and Esther Zondervan
Contact extern	Bert van Haastreht (topsector HTSM)

Programma jaar 2020 - Samenvatting

The world population is growing, consumption and production are increasing. This results in climate change, deterioration of environmental quality (health, industrial safety and ecosystems), depletion of material resources.

TNO contributes to the solution of these issues one the one hand by improving the understanding of environmental problems and on the other hand by developing technological solutions. Enhanced measurement methods (for instance by the development of analytical methods or sensors) and models (for instance the coupling of large scale models to local models to improve the insight in individual exposure) help to better understand the origin and causes of environmental pressures. This enables the development of better and more efficient techniques and measures. We also develop new technologies for recycling of plastics that have a sustainable contribution to the circular economy.

Program P512 Environmental Technology focuses in 2020 on the development of new technologies for recycling of plastics and development of environmental sensors. The main results for 2020 are on:

- circular plastics: the scale up of the chemical recycling technology to TRL4 for two types of plastics;
- environmental sensors: development of a benzene assay.

This program is closely related and interacts with program P510 Environment and Sustainability, P515 Circular Economy, ERP024 Decarbonisation Brightsite and P504 Water technology.

Korte beschrijvingCircular Plastics

One of the main challenges of the Circular Economy is to achieve a closed loop for oil-based plastics, which have a high economic importance, globally and for the Netherlands (that exports 75% of its production), and large environmental impacts in terms of waste (litter and plastic ocean soup), resource depletion, climate change and dispersion of toxic substances. Forecasts predict that the use of plastics will maintain to grow at rates higher than the economy. Nowadays, waste plastics are mostly incinerated, at best with energy recovery, deposited in landfills or recycled into low-grade materials and products (downcycling). The Dutch TransitieAgenda Kunststoffen, one of the five agendas in the "Nederland Circulair in 2050", but also the roadmap of the TS Chemistry, acknowledges that innovation is needed notably in design, recycling and cross-chain collaboration. In this program TNO contributes to the agenda and roadmap by the development of recycling technologies for plastics. This program closely works together with P510 and P515 in which TNO designs new circular products and determines the sustainability impacts and transitions.

The focus of TNO's Circular plastics team is chemical recycling of polyethylene (PE), polypropylene (PP) and composites, electronics plastics (6% of total plastic production), packaging (PE and PP being 25%) and engineering plastics and composites

(part of automotive 9% and 19% of building & construction), in total in the order of 30% of plastic production. Assuming monostreams to be 50% of plastic waste, it means that potentially 15% of Dutch production or 80 PJ of crude oil and 6 Mton of CO₂ can be avoided by full deployment of chemical recycling technology or alternative design of the products on the long term. It should be noted that recovery of polymer and additives from waste electronic and electrical equipment (WEEE) are being researched in P510.

Development of new environmental sensors and methods

Mitigating climate change and improving the quality of environment with associated health, safety and ecological issues requires informed decision making with 'ex ante' and 'ex post' evaluation. This also entails the evaluation of transition scenarios on environmental effects. The objective of TNO is to facilitate this with the development of decision support systems for governments, companies and citizens.

These decision support systems combine measurements from sensors, satellites and model and simulation tools. The development of the model platforms takes place in program VP Environment and Sustainability (P510). In this program VP Environmental Technology (P512), the focus is on the development of new environmental sensors that are required for these platforms.

The presence of polluting species in air is considered as a major reason for people's health in occupational and urban environments. This program focusses on the development of methods or tool for the determination of substances of very high concern.

Resultaten 2020

Circular Plastics

The solvent-based recycling routes matured in 2019 and a batch process (Moebius 1.0) was materialized and successfully commissioned. Results expected for 2020 in the program P512 are:

- Scale up of recycling technology Moebius from 1.0 version to 2.0 version (TRL 3 to TRL 4) for 2 types of plastics that nowadays are difficult to recycle based on composition, such as derived from engineering plastics (automotive), fiber plastics and multilayer packaging film materials; Plastics of waste electronic and electrical equipment is covered in P510 under the H2020 project 'PLAST2bCLEANED'.
- Key deliverables for the process development include: i) process design of a continuous process (Moebius 2.0) and feasibility study for a specific demonstration location, ii) improvement separation step and solvent recycling in existing Moebius 1.0 unit; iii) scouting/feasibility project for reactive depolymerisation and immobilized catalyst system to revamp the Moebius 1.0 for depolymerization recycling routes.
- Development of sensors for offline or inline measuring and detecting of critical process factors
- Scouting of new technology options for chemical recycling of mixed streams of plastics under the umbrella of the National Platform Chemical Recycling together with UU and other partners

Activities within the circular plastics are fully in line with:

- KIA Circular Economy MMIP 2 circular raw materials and processes component E recycling technology;
- IKIA Climate and energy MMIP6 Closure of industrial chains, sub-topic circular plastics with regard to the development of new recycling technologies and chains;
- NWA route Circular Economy.

Environmental sensors and methods

In 2019, TNO started the development of analyzer benzene (SPMA) assay in collaboration with SKC. SKC is a company that focusses on the development of devices for air quality monitoring and detecting potential occupational health issues. The aim is to develop a point of care biomonitoring solution for exposure to benzene in urine at relevant levels for future OELs. S-phenylmercapturic acid is a biomarker for monitoring low levels of benzene exposure.

Main results of 2019 are (1) the improvement of the sensitivity of the SPMA assay to be well below the required new EU and US exposure limits and (2) improvement of the speed of the assay. In addition, the design and laboratory mock-up board of a point-of-care device on which the SMPA assay can be performed will be performed in the second half of 2019. In 2020, we will continue the work and the following results are planned:

- A fluorescent assay for the detection of the Benzene exposure biomarker SMPA in urine that meets the sensitivity requirements for occupational exposure limits to benzene in air. The fluorescent biomarker assay will be fit for use in a point of care setting.
- A prototype point of care instrument for deployment of the benzene biomarker assay in an ambulant situation.

The SKC project is a collaboration between TNO and SKC. SKC is an USA-based company that focusses on the development of devices for air quality monitoring and detecting potential occupational health issues.

Connection is made via the Innovation mission “Gezondheid en Zorg”, specifically in the area of mission I; “Leefstijl en leefomgeving”.

The knowledge area of Environment&Health is connected to the NWA routes “Meten en detecteren: altijd, alles en overal”, “Kwaliteit van de omgeving: Leefomgeving en gezondheid: het exposoom”, “Sport en Bewegen: gezond bewegen”, “Smart, livable cities: Safe Big Data Cities” of the “Nationale WetenschapsAgenda”

Dynamiek

There is still a lot of turbulence within the field of Circular Economy. The arena is slowly consolidating and maturing with significant initiatives from the missions MMIP 6 and CE and BrightSite e.g. TNO is scouting various initiatives and has decided to join the following initiatives:

- Member Transition Team Plastics
- Member National Platform Chemical Recycling
- Member ECP4, CEFLEX
- Brightsite (program line 2 on reduction naphtha and natural gas)
- Brightlands Material Center (program scoping for Circular Packaging – Design for recycling)
- Selection of useful H2020 calls to participate as coordinator or contributor.

For environmental sensors and methods, TNO focusses on the development of a benzene assay in 2020, hopefully to high TRL levels relevant for industrial applications. In 2020 initiatives will be scouted for other relevant sensor developments beyond 2021, e.g. in the area of microplastics.

Titel	VP Duurzaam Bouwen (P502)
Missie/ Topsector	Klimaat en Energie
Contactpersonen TNO	Peter Paul van 't Veen, Henk Miedema
Contact extern	Rob Hofman (RWS), Bart Dunsbergen en David van de Woude (BZK)

Programma jaar 2020 - Samenvatting

VP Duurzaam Bouwen bestaat uit de deelprogramma's Infrastructuur, Bouwkwiteit en Energie in de gebouwde omgeving. Doel van programmalijn Infrastructuur is voor de verouderende infrastructuur reductie van risico's, hogere beschikbaarheid en reductie van (stijging in) kosten, bij verhoging van de duurzaamheid (reductie CO2 uitstoot, hergebruik van materialen). Doel van programmalijn Bouwkwiteit is beter inzicht in prestaties van nieuwe of aangepaste gebouwen en bestaande gebouwvoorraad, met name op het gebied van veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid en duurzaamheid, met bijzondere aandacht voor de mogelijkheden daarbij van digitale innovatie in de bouw. Doel van programmalijn Energie in gebouwde omgeving is de transitie naar een energieneutrale gebouwde omgeving te versnellen en de maatschappelijke kosten van de transitie te verlagen. Belangrijkste beoogde resultaten voor 2020 zijn:

Infrastructuur: Voor verbetering van de modellering van levensduurverwachting wordt een opzet gemaakt voor een Safety Format voor de probabilistische analyses. Om de onzekerheid in verkeersbelasting te reduceren, worden meetgegevens van Weigh-in-Motion (WIM) systemen gekoppeld met andere data en wordt een Bridge-WIM ontwikkeld waarbij metingen aan een brug inzicht geven in de verkeersbelasting ervan. Voor hoofdconstructies stalen bruggen wordt accurater model voor vermoeiingslevensduur voor low- en giga-cycle fatigue gerealiseerd. Daarnaast wordt een opzet gemaakt voor combinatie van monitoringsdata met big data voor het beheer van infrastructurele objecten. De ontwikkelde kennis wordt via (inter)nationale gremia als NEN, CEN, fib, JCSS ingebracht in normen en richtlijnen.

Bouwkwaliteit: Een automatische detectiemethode wordt ontwikkeld om op basis van camerabeelden (groei van) scheuren in metselwerk vast te stellen. Daarnaast wordt een methodiek voor beoordeling van fundering met aangetaste houten palen bij typisch Nederlandse bouwwijze (ongewapend metselwerk) uitgewerkt en een programma gestart gericht op gevolgen van bodemdaling voor gebouwen. Een bijdrage aan digitalisering is het automatisch toetsen van een gebouw aan eisen uit het Bouwbesluit op basis van een 3D BIM model van het gebouw, als stap naar een digitale infrastructuur op basis van BIM (Ro)Bots technologie. Richtlijnen worden ontwikkeld voor het gebruik van open standaarden voor vastleggen, uitwisselen en combineren van asset data in de bouw, en demonstrators voor toepassing van die standaarden in digital twins van bouwwerken. Voor de zorgbouw wordt een aanpak opgesteld voor optimalisatie van ventilatiesystemen voor isolatiekamers.

Energie in gebouwde omgeving: Belangrijk voor transitie naar energieneutrale, aardgasvrije wijken is digitalisering en industrialisatie van renovatie. Wij richten ons op selectie van renovatiemaatregelen, renovatieconcepten en geïndustrialiseerde bouwproductie, in 2020 specifiek schilconcepten. Digital twins voor het vaststellen van energieprestatie en binnenluchtkwaliteit worden (door)ontwikkeld. Op basis van monitoringsdata wordt geleerd hoe verschillende woningrenovatieconcepten presteren in praktijk, wat handvatten geeft voor prestatiecontracten. Model-based predictive control wordt ontwikkeld voor regeling van warmtepompen en zonwering. Veel aandacht wordt besteed aan het meenemen van gebruikersgedrag in ontwerpproces, monitoringsplannen en modellen. Specifieke concepten (douche-wtw en verbeterd ventilatie renovatieconcept) worden verder ontwikkeld.

Korte beschrijving

Infrastructuur: Wij richten ons op het mogelijk maken van 'condition based' aanpak, dus asset management op basis van valide informatie over huidige en verwachte belastingen en toestand van infrastructurele werken. Om dit te realiseren wordt ingezet op:

- Beoordelingskaders en beslissingsondersteuning: Om nieuwe modellen toegankelijk te maken worden deze ingebracht bij de ontwikkeling van beoordelingsnormen en -richtlijnen.
- Ontwikkeling van constructieve modellen voor het nauwkeuriger bepalen van de constructieve veiligheid van verouderende infrastructuur, in het bijzonder bij veranderende (verkeers)belastingen (onder andere door smart mobility), afnemende sterkte onder invloed van wisselende belastingen en toenemende ouderdom. Specifieke onderwerpen zijn: belastingmodellen, materiaaldegradatiemodellen, niet-lineaire probabilistische modellen koppeling van modellen met data uit inspectie en monitoring.
- Risicogestuurd, op data gebaseerde asset management tools voor infrastructuur in relatie tot trends in het mobiliteitsdomein en op het gebied van circulariteit, gebruik makend van nieuwe technologieën op het gebied van sensing en data- en informatiemanagement.

Bouwkwaliteit: Kennisinvestering wordt gericht op:

- Modellering van veiligheid. Vaststelling van scheurvorming in ongewapend metselwerk, vaststellen brandveiligheid op basis van risico-gebaseerde methodiek, optimalisatie van het dynamische gedrag van hoogbouw om hinderlijke trillingen te voorkomen, en ontwikkeling van een methode om de toekomstige negatieve effecten van bodemdaling op gebouwen te voorspellen. Daarnaast zal een programma gestart worden voor ontwikkeling van technologie en richtlijnen rondom bodemdaling voor zowel bestaande als nieuwe bouwwerken.
- Digitalisering in de bouw. Doorontwikkeling van richtlijnen voor het gebruik van open standaarden voor het vastleggen, uitwisselen en combineren van asset data over de levenscyclus van bouwwerken. Toepassing van digitale ontwikkelingen

als AI en bots om bijvoorbeeld automatische ontwerpen te kunnen toetsen en optimaliseren en om beheer & onderhoud en levensduur van assets te optimaliseren.

- Verduurzamen zorggebouwen. Vanuit het nog op te richten Kenniscentrum Duurzame Ziekenhuizen (KDZ) en het Nationaal Kennis- en Innovatiecentrum Verduurzaming Zorgvastgoed (NIVZ) zal TNO innovaties specifiek voor zorggebouwen ontwikkelen.

Energie in gebouwde omgeving: Doel is de ontwikkeling van een disruptieve, volledig data gedreven, multi-stakeholder en geïndustrialiseerde renovatieaanpak waarmee uiteindelijk op kosteneffectieve wijze tot 1.000 woningen/dag gerenoveerd kunnen worden. Kennisinvestering wordt gericht op:

- Renovatieconcepten: vaststelling van de voor opschaling relevante gebouweigenschappen, als input voor de ontwikkeling van een 'concepten configurator', de verbetering van bestaande renovatieconcepten en de ontwikkeling van nieuwe concepten
- Industrialisatie van het renovatieproces: versnellen van het productieproces door de industrialisatie van kritieke en/of arbeidsintensieve processtappen, ontwikkelen van productfamilies van gestandaardiseerde/geïndustrialiseerde bouw delen, technologie om gerobotiseerd bouw delen te verwijderen en te plaatsen.
- Methodieken, modellen en referentiekaders voor prestatie monitoring: eerste generatie digital twins voor het vaststellen van energieprestatie- en binnenmilieuparameters.
- Ontwikkeling van systeemconcepten en key performance indicators: specifieke ontwikkelingen als douche-wtw voor retrofitting.
- Monitoring en control: methodieken, monitoringsplannen, en modelbased predictive control voor het vaststellen en sturen van daadwerkelijke prestaties op het gebied van energie, comfort en binnenluchtkwaliteit in woningen.

Resultaten 2020

Infrastructuur

Beoordelingskaders en beslissingsondersteuning

- De ontwikkelde kennis wordt ontsloten via publicaties en internationale commissies zoals JCSS ((Joint Committee on Structural Safety), fib (fédération Internationale de Béton), CEN (Comité Européen de Normalisation) en NEN. Dit gaat om kennis over constructieve veiligheid, gedrag van (bestaande) betonnen en stalen constructies, probabilistische betrouwbaarheidsmodellen voor het valideren van benaderingen met partiële factoren en het voorspellen van de effecten van (verkeers)belastingen op het gedrag en de sterkte van betonnen en stalen civiele constructies.

Modellering van de constructieve veiligheid

- Methoden voor de bepaling van levensduurverwachting voor bestaande civiele constructies op basis van probabilistische analyses met niet-lineaire modellen worden gevoed door gegevens zoals die bekend zijn uit het ontwerp en van data uit metingen gedurende het gebruik van de constructie. De belangrijkste resultaten zullen zijn: 1) ontwikkeling van efficiëntere algoritmen voor het bepalen van de betrouwbaarheid en 2) meer inzicht in het effect van de modelonzekerheden in niet-lineaire FEM berekeningen op de betrouwbaarheid van constructies. Deelresultaat in 2020 zal zijn een opzet voor een Safety Format voor de probabilistische analyses.
- Behalve de modelonzekerheid bepalen onzekerheden in de verkeersbelastingen voor een groot deel de betrouwbaarheid van kunstwerken in het wegennet. Om de onzekerheid in verkeersbelasting te reduceren, wordt binnen het VP langs verschillende lijnen gewerkt:
 - 1) belastingmodellen op basis van meetgegevens van Weigh-in-Motion (WIM) systemen
 - 2) Bridge-WIM waarbij metingen aan een brug inzicht geven in de verkeersbelasting ervan.

De kennisontwikkelingen resulteren in een verbeterde methodiek voor het vaststellen van de belastingen waaraan specifieke kunstwerken in het wegennet worden blootgesteld (LoadMap).

De kennisontwikkeling wordt samen met het ERP Digital Twin Structural Integrity opgepakt. In 2020 wordt een algoritme gerealiseerd voor extrapolatie van verkeersbelastingen van gemeten naar andere locaties. In de toekomst wordt dit uitgebreid met informatie uit andere bronnen (bijvoorbeeld uit Bridge WIM, camerabeelden, kentekeninformatie, vergunnings-verleningen voor zware transporten, in-car data, etc).

- Momenteel wordt bij beoordeling van de constructieve veiligheid van bestaande constructies uitgegaan van een minimale restlevensduurperiode van 15 jaar. Wereldwijd is er behoefte om hier meer gedifferentieerd mee om te gaan, afhankelijk van de beoogde functionele restlevensduur (jaargebonden betrouwbaarheid). Wij zullen richting blijven geven op Europees niveau aan de veiligheidsfilosofie van zo'n jaargebonden veiligheidsniveau. In 2020 zullen de eerste resultaten van deze jaargebonden veiligheidsfilosofie worden opgeleverd.
- Steeds vaker blijkt dat bij stalen constructies de hoofddraagconstructie kritiek is voor in de veiligheidsbeoordeling. Eventueel falen van de hoofddraagconstructie heeft extreem grote gevolgen. Om deze reden worden voor staalconstructies de modellen voor het voorspellen van de groei van vermoeiingsscheuren verder doorontwikkeld. De huidige modellen voor levensduurvoorspelling onder invloed van wisselende belastingen (vermoeiing) zijn gebaseerd op de aanname van een abrupte overgang tussen eindig en oneindig leven. Er lijkt echter een meer vloeiende overgang te zijn. In 2020 zal een doorontwikkelde versie van een accurater model voor de voorspelling van de vermoeiingslevensduur voor low- en giga-cycle fatigue worden gerealiseerd.
- In 2019 heeft een algemene verdieping in de problematiek van (bestaande) bewegingswerken plaatsgevonden. In 2020 zal voor het dynamisch gedrag van bewegingswerken worden nagegaan welke innovatieve monitorsystemen kunnen bijdragen aan een hogere betrouwbaarheid van de beoordeling van bewegingswerken.
- Voor de validatie en demonstratie van sensor- en modelontwikkelingen is een demonstratieproject in Amsterdam geïnitieerd en gerealiseerd (Brug 705). De resultaten daarvan worden in 2020 gebruikt om de relatie tussen de gemeten respons en het gedrag van de constructie onder invloed van de belasting vast te stellen. Daarmee kan worden nagegaan in hoeverre gemeten veranderingen in de respons worden veroorzaakt door een schade in de constructie (damage & system identification).

Data- en informatiemanagement

Afgelopen jaren is veel geleerd van het meetsysteem op de Van Brienoordbrug. De in 2018 gestarte aanpak om monitoringsdata te combineren met beschikbare andere data, De kennisontwikkeling wordt samen met het ERP Digital Twin Structural Integrity voortgezet en zal in 2020 binnen resulteren in een opzet voor combinatie van monitoringsdata met big data voor verbetering van voorspellingen.

Circulariteit

Ontwikkeling van nieuwe (sustainable) binders voor beton vinden vooral plaats binnen het programma VP P513. In relatie tot het gebruik van nieuwe (circulaire) materialen in constructie-elementen is het effect daarvan op de constructieve veiligheid belangrijk. In de komende jaren zal een numeriek model ontwikkeld worden waarmee beter inzicht kan worden gekregen in het constructief gedrag van constructies van beton met gerecyclede toeslag-materialen. In 2020 worden uitgangspunten en toepassingsgebied van het model gedefinieerd.

Het deelprogramma Infrastructuur sluit op een aantal gebieden nauw aan bij het ERP-programma Digital Twin Structural Integrity, VP Deltatechnologie (P508) en VP HTSM Bouwinnovatie (P513). Landelijk is er aansluiting bij de kennisagenda's Circulariteit, Bruggen en Sluizen van de Bouwagenda en het BTIC en het programma Vervanging en Renovatie Kunstwerken van Rijkswaterstaat. Veel onderzoek wordt in nauwe samenwerking uitgevoerd met de belangrijke beheerders van civiele werken (Rijkswaterstaat, ProRail, Havenbedrijven en lokale overheden zoals gemeentes en provincies). Van bijzonder belang daarbij is samenwerkingsverband InfraQuest (RWS, TNO en TU Delft) en het recent opgerichte BTIC.

Bouwkwaliteit

Modellering van veiligheid

- Een ontwikkelde methode om scheuren in metselwerk automatisch met behulp van beeldbewerking software vast te stellen, zal gevalideerd worden zodat in 2020 een in praktijk toepasbare methode opgeleverd wordt. Daarnaast zal gestart worden met een module om uit het scheurpatroon ook automatisch mogelijke oorzaken van de scheur

af te leiden en met koppeling van deze scheurdetectie en -diagnose aan een woningenbeheersmodel. In 2020 zal de haalbaarheid hiervan worden vastgesteld

- In 2020 wordt een stap gezet op weg naar een internationaal gedragen risico-gebaseerde beoordeling brandveiligheid, in samenwerking met het Zweedse overheidsorgaan Boverket en Lund University.
- Met verschillende bedrijven wordt een programma gestart waarbij data van het dynamische gedrag van verschillende hoogbouwprojecten wordt verzameld. Op basis van deze metingen worden in 2020 modellen van het dynamisch gedrag van het gebouw verbeterd, gericht op het voorkomen van trillinghinder en het kosteneffectief realiseren van nieuwe hoogbouw.
- In 2020 wordt een rekenmethode ontwikkeld waarmee op basis van gemeten zakking aan woningen teruggerekend kan worden hoe omvangrijk de aantasting van de houten funderingspalen is en welke bijkomende zakking in de komende jaren te verwachten zijn. TNO werkt samen met andere partijen waaronder Deltares, Kennis Centrum Aanpak Funderingsproblematiek (KCAF) en het platform Slappe Bodem. Een programma wordt gestart gericht op gevolgen van bodemdaling voor gebouwen.

Data- en informatiemanagement

- TNO heeft richtlijnen ontwikkeld voor het eenduidig vastleggen, uitwisselen en combineren van asset data volgens open standaarden. De huidige richtlijnen zijn ontwikkeld voor specifieke delen van de GWW-sector. In 2020 zullen deze richtlijnen geschikt gemaakt worden voor toepassing in de B&U-sector en bredere toepassing in de GWW-sector, zodat deze als basis kunnen dienen voor een Digitaal Stelsel voor de Gebouwde Omgeving. Hier wordt samengewerkt met bestaande partners in de sector en de DigiDeal Gebouwde Omgeving (DigiDealGO). TNO neemt zitting in nationale en internationale normencommissies voor open standaarden om kennis te delen en ontwikkelingen ten aanzien van open standaarden mede vorm te geven.
- De TNO richtlijnen voor het vastleggen, uitwisselen en combineren van asset data volgens open standaarden breekt steeds verder door in de B&U- en GWW-sectoren. Asset data zal in de B&U- en GWW-sectoren in de nabije toekomst steeds meer geïntegreerd worden in bouwwerkdossiers en uiteindelijk Digital Twins van objecten en netwerken in de gebouwde omgeving. In 2020 zal een demonstrator ontwikkeld worden waarin wordt getoond hoe asset informatie geïntegreerd wordt in Digital Twins, welke architectuur daarvoor nodig is en welke voordelen dit oplevert (bv. voor het integreren en ontsluiten van asset informatie en het voorspellen en simuleren van toekomstige prestaties van assets met fysische modellen en Artificial Intelligence). Ook hier wordt samengewerkt met bestaande partners in de sector en de DigiDeal Gebouwde Omgeving (DigiDealGO).
- Er is een architectuur ontwikkeld om autonoom opererende digitale (Ro)Bots te laten communiceren met een 3D BIM-model van een gebouw. Hiermee is het mogelijk om automatisch te toetsen of een gebouw voldoet aan een eis. In 2019 is een eerste proof-of-concept opgeleverd voor toetsing op basis van de berekening van Milieu Prestaties van Gebouwen (MPG). In 2020 zal dit worden uitgebreid voor enkele andere gebouwprestaties die binnen het Bouwbesluit worden gedefinieerd.

Verduurzamen zorggebouwen

TNO samen met marktpartijen (via het KDZ en NIVZ) verzamelt, valideert, en maakt toepasbaar kennis voor CO₂-reductie in de zorgsector. Dit wordt in 2020 toegepast om een aanpak voor optimalisatie van ventilatiesystemen voor isolatiekamers te realiseren.

Dit deel van het vraaggestuurd programma is verankerd in de volgende roadmaps van de Bouwagenda: Roadmap 6: vervanging en nieuwbouw, Roadmap 9: wonen en zorg en Roadmap 11: aardbevingen. Tevens is dit deel verankerd in Thema 3 (Digitalisering en Informatisering) van de Bouwagenda en is aangesloten bij de ambities van de DigiDeal Gebouwde Omgeving (DigiDeal GO). De invulling is verder vorm gegeven in het Bouw en Techniek Innovatiecentrum (BTIC).

Energie in de gebouwde omgeving

Ontwikkeling renovatieaanpak (in MMIP)

- Clustering alleen op basis van woningtypologie blijkt geen goede basis voor beoordeling van opschaalbaarheid van renovatieconcepten. In 2020 wordt onderzocht welke gebouweigenschappen (toegepast bouwsysteem, installatie-infrastructuur (intern en extern), grootte en kwaliteit skelet, restkwaliteit fundering en verhouding open gevel/vloeroppervlak) verder relevant zijn voor opschaling. Dit leidt tot ontwerp kader voor opschaalbare renovatieconcepten.

Op basis van dit ontwerpkader worden in 2020 het ontwerp van minimaal 2 bestaande renovatieconcepten verbeterd en het kostenbesparingspotentieel door die opschaalbaarheid inzichtelijk gemaakt.

- In samenhang met de clustering van woningtypologieën worden 2 nieuwe renovatieconcepten voor grondgebonden woningen ontwikkeld: één concept gericht op een stapgewijze renovatie waarbij de woning naar label A wordt verbeterd, rekening houdend met een vervolg stap naar aardgasloos. Het andere concept is gericht op vernieuwbouw waarbij de bestaande woning in 10 dagen naar 0-op-de-meter wordt gebracht (in plaats van de huidige minimaal 25 dagen). Aandacht gaat hiervoor specifiek uit naar het industrialiseren van de set van maatregelen die genomen moet worden. In 2020 heeft de ontwikkeling van beide concepten plaats, en beoogd wordt ze in 2021 in een pilot te testen.
- Op basis van het ontwerpkader aansluitend bij de clustering van woningtypologieën, wordt in 2020 een 'concept-configurator' gerealiseerd waarmee bedrijven samen met klanten (woco/bewoner, particulier eigenaar, investeerder) de impact van een specifiek renovatieconcept inzichtelijk kunnen maken. Belangrijk aandachtspunt is de weging van verschillende eigenschappen van het renovatieconcept in relatie tot de specifieke doelgroep (ergo: welke klanten) en de uitgangspunten die voortkomen uit het gebouw.
- Voor het contigent 'grondgebonden woningen' wordt in 2020 een renovatieconcept gerealiseerd, uitgaande van collectieve warmte (warmtenet). Specifiek worden de aanleg- en aansluitmethoden uitgewerkt en wordt -gegeven de bestaande verwarmings- en afgiftesystemen- de optimale inzet van het energieniveau van het aanvoerwater onderzocht (bv van tapwater, naar ruimteverwarming, naar conditionering ventilatielucht).

Industrialisatie van het renovatieproces

- Om tot versnellingen van het productieproces te komen zal een tweetal kritieke en/of arbeidsintensieve processtappen worden geïndustrialiseerd. Hiervoor worden het aanbrengen van gevelbekleding (verbetering thermische kwaliteit) en de integratie van energieopwekkende technologie uitgewerkt. Voor deze industrialisatieslag wordt de inzet van robottechnologie als meest kansrijk gezien. De rol van deze technologie is het voorzien in flexibiliteit binnen een geïndustrialiseerd productieproces (mass customization) en geconditioneerde (o.m. veilig, reproduceerbaar, constante kwaliteit) productie. In 2020 worden de eerste schiloplossingen ontwikkeld en worden pilotprojecten voorbereid voor 2021.
- De ontwikkeling van de concepten wordt gebaseerd op een industrieel productplatform (bv een zogenaamde all-in module t.b.v. duurzame vernieuwbouw). Hier wordt voortgebouwd op de eerste ervaring opgedaan met de ontwikkeling van product-platforms. De clustering van woningtypologieën die is gemaakt zal de basis vormen voor de in 2020 te realiseren beschrijving van een productfamilie met oplossingen (bv specifieke keuzes in gevelafwerking en installaties) gebaseerd op dit productplatform ('standaard' ontwerp van bv constructie, isolatie en beglazing). Dit onderdeel wordt in samenhang met VP Urban Energy-Energo uitgevoerd.
- Technologie om gerobotiseerde vervanging van bestaande (asbest) bouwdelen en plaatsing van PV elementen mogelijk te maken is gestart. Als uitkomst van eerste stappen met industriële partners is een plaatsingsrobot voor golfplaat daken met zonnefilm voorzien. Op basis van de nu behaalde resultaten zal in 2020 met industriepartners een programma voor de verdere ontwikkeling opgezet worden.

Ontwikkeling methodieken, modellen en referentiekaders voor prestatie monitoring

- Eerste generatie digital twins voor het vaststellen van de werkelijke energieprestaties, geschikt voor inpassing in een commerciële omgeving (bijv. Skyspark) en voor het vaststellen van de prestaties ten aanzien van binnenluchtkwaliteit in zeer energiezuinige woningen. In 2020 wordt o.a. een beschrijving van het systeemontwerp van een digital twin gemaakt.
- In 2020 wordt een methodiek gerealiseerd voor verbeterde selectie van renovatiemaatregelen voor voor- en na-orlogse woningen, op basis van voorspelling van energiebesparing en binnenmilieu.

Ontwikkeling van systeemconcepten en key performance indicators

- Realisatie in 2020 van innovatieve concepten, zoals douche-wtw voor retrofitting en een verbeterd ventilatie renovatieconcept (mengen over binnendeuren).
- Realisatie in 2020 van methodiek voor analyse van monitoringsdata over prestatie en beleving van renovatieconcepten do's en don'ts voor ontwikkelaars van concepten.

Monitoring en control

- In 2020 wordt monitoringsplan opgesteld voor het vaststellen van de werkelijke prestaties op het gebied van energie, comfort en binnenluchtkwaliteit voor woningen, inclusief gedragsmonitoring.
- Methodiek om datasets geschikt te maken voor automatische analyse. In 2020 worden daarvoor algoritmes voor toetsing datakwaliteit en datareparatie ontwikkeld.
- - Eerste generatie model based predictive control (MBPC) wordt in 2020 toegepast op 1) hoogbouwgevels met dubbele zonwering, 2) warmtepomp i.c.m. LT-convectoren, ventilatie-voorziening en zonwering, 3) lokaal klimaatsysteem met warmtepomp voor patiëntenkamers in ziekenhuizen. De ontwikkelde MBPC's worden getest in een eerste generatie testomgeving.

Dynamiek

De ontwikkeling naar meer nadruk op systeemintegratie wordt doorgezet. Er wordt toegewerkt naar einddoelen waarbij ontwikkelingen uit afzonderlijke deelgebieden worden geïntegreerd. Dit gebeurt in samenhang met een, over de hele linie, nog steeds toenemende inzet op automatisering- en informatiemanagement. Belangrijke blijft het BTIC dat een belangrijke rol speelt bij agendering en het bij elkaar brengen van kennisinstellingen en bedrijven.

Infrastructuur

Ten opzichte van het plan van 2019 vindt het programma meer aansluiting bij de PMC's betonnen en stalen bruggen. De interactie met het ERP Digital Twin SI geeft vooral vorm aan de link met de digitaliseringsagenda van TNO. Belangrijk is de aansluiting op de departementale agenda van I&W en de kennisagenda's van RWS, ProRail en andere beheerders van constructies. Dit is een continue proces en levert geen grote verschuivingen ten opzichte van 2019.

Bouwkwaliteit

Het ministerie van BZK heeft ingezet op het verbeteren van de bouwkwaliteit, mede in relatie met verduurzaming en klimaatadaptatie. De onderzoekslijnen gericht op veiligheid, digitale technieken en verduurzamen zorggebouwen dragen daaraan bij. Ten opzichte van het plan voor 2019 richt de programmaliijn zich in 2020 veel intensiever op het versnellen van digitalisering en digitale innovatie in de bouw. Hierbij wordt aangesloten bij de Bouwagenda en de DigiDeal Gebouwde Omgeving.

Energie in gebouwde omgeving

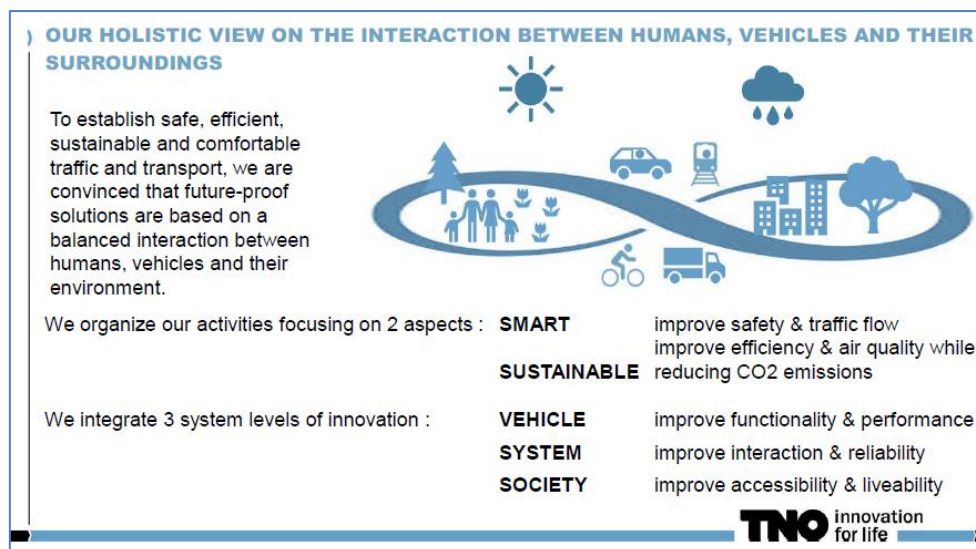
In samenhang met integratie met het BTIC programma zal zorg gedragen worden voor de aansluiting bij het TKI Urban Energy programma, in het bijzonder het VP Urban Energy-Energo-P505 (decentrale opwekking, efficiënte conversie en decentrale (warmte)opslag). Aansluiting is gerealiseerd en zal blijvend worden versterkt met de meerjarige maatschappelijke innovatie programma's MMIPs.

Titel	Smart Cities (P509)
Missie/ Topsector	Thema: Energietransitie en Duurzaamheid Missie: Toekomstbestendige Mobiliteitssystemen & Duurzame Mobiliteit Topsector: HTSM
Contactpersonen TNO	Geiske Bouma (VP-manager) Martijn Stamm (Director Market Traffic and Transport)
Contact extern	Kees de Jong (BZK-DGBRW, DRO, contactpersoon kennis) Erik Jan van Kempen (BZK-DGBRW, DRO, DG Omgevingswet)

Programma jaar 2020 - Samenvatting

De roadmap Smart & Safe van de Unit Traffic and Transport richt zich op het mobiliteitssysteem vanuit het perspectief van digitalisering, connectiviteit en automatisering. Hierbinnen valt het Cluster Societal Impact dat met haar innovaties inzet op het vergroten van de economische aantrekkelijkheid van steden en tegelijkertijd op het leefbaarder maken van steden, in Nederland en het buitenland, op een manier die aansluit bij belangen van de bewoners en bedrijven (zie figuur 1). Leefbaarder is in eerste instantie vooral minder congestie, betere luchtkwaliteit, behalen van CO2 doelstellingen en een gezonde en verkeersveilige leefomgeving. Dit in de context dat steden blijven groeien, aantrekkelijk willen blijven voor burgers en bedrijven,

burgers en bedrijven steeds meer vanuit een individueel belang resultaten willen zien, regelgeving op zaken als CO2 en luchtkwaliteit steeds strenger wordt en dat er steeds sneller nieuwe technologieën met grote impact (kansen maar ook beperkingen) beschikbaar komen.



Figuur 1: Werkveld Unit Traffic and Transport

Veel uitdagingen in de steden zijn alleen op te lossen in samenwerking met de stakeholders in de steden en met beyond state-of-the-art kennis. Om het juiste beleid te kunnen inrichten en draagvlak te creëren bij burgers en stakeholders voor de te nemen besluiten is inzicht nodig in de knelpunten in de stad en mogelijke effecten van toekomstige scenario's. In de praktijk gaan sommige ontwikkelingen sneller dan voorspeld en beïnvloeden ontwikkelingen elkaar. Ook kunnen de doelstellingen van de steden veelal onmogelijk in één keer bereikt worden, bijvoorbeeld op het gebied van CO2- of energiereductie. Instrumentarium voor knelpuntenanalyses, scenarioplanning, het monitoren van de daadwerkelijke effecten 'op straat' en het inrichten van een leerproces voor adaptief programmeren is in de visie van TNO onontbeerlijk om de gewenste doelen te bereiken.

Voor objectieve (fact-based) en integrale besluitvorming, handelingsperspectief en participatie van de steden en hun stakeholders zullen deze instrumenten toegang moeten hebben tot digitale, eenduidige data en modellen (gekoppeld aan de betreffende stad). Dit sluit aan op de digitale transformatie die centrale en decentrale overheden aan het inrichten zijn onder druk van ontwikkelingen als 'Internet of Things', waardoor data in grote hoeveelheden en realtime beschikbaar komt via sensoren en snelle communicatienetwerken.

Het vraaggestuurde programma Smart Cities (VP Smart Cities) richt zich op het ondersteunen van complexe besluitvorming in steden, vanuit draagvlak, een haalbare visie en ondersteuning bij de implementatie. De kennisontwikkeling vertaalt zich naar visievorming en handelingsperspectief, Urban Learning Cycle inclusief implementatie-ondersteunende tooling en Urban Strategy, data-integratie en modellen, met een focus op de thema's (toekomstige) mobiliteit en gebiedsontwikkeling. Te realiseren resultaten in 2020 zijn:

- 2 papers / notities in het domein van integrale gebiedsontwikkeling en mobiliteit gericht op innovatieve disrupties (o.a. toekomstige mobiliteitssystemen (zoals automatisch rijden / MaaS / Hyperloop) en duurzame mobiliteit) in het stedelijke gebied;
- Toepassing New Mobility Modeller, gericht op 2 use cases, nationaal (Rotterdam) en internationaal (Curaçao);
- Conceptualisering Energietransitie en Mobiliteit in een Living Lab (o.a. Amsterdam, Curaçao, Singapore), waarbij gezamenlijke kennisvragen worden opgepakt.

Samenwerking met partners: BZK DGBRW (regievoerder vraagsturing), IenW DGM, G5 & Nederlandse Antillen (Curaçao), Metropoolregio's (MRA, MRDH, B5), Provincies (Provincie Noord-Holland), PTV en kennispartners als IMEC en UvA-IAS.

Korte beschrijving*Focus Cluster*

Het Cluster Societal Impact van de Unit Traffic & Transport van TNO concentreert zich primair op twee fundamentele en grote vraagstukken die op systeemniveau van de stedelijke ontwikkeling spelen: mobiliteit en gebiedsontwikkeling. Het aanpakken van deze vraagstukken betekent tegelijkertijd ook een boost geven aan twee van de grootste aanjagers voor de stedelijke economie. Mobiliteit en bereikbaarheid spelen een sleutelrol in de stedelijke en regionale economie. Echter, een continue toename van het aantal voertuig- en mobiliteitsbewegingen komt steeds meer op gespannen voet te staan met strenger wordende milieu- en duurzaamheidsdoelstellingen zoals bereikbaarheid, ruimtegebruik, luchtkwaliteit, geluid en klimaatdoelstellingen. Gebiedsontwikkeling kijkt juist vanuit het geïntegreerde perspectief naar stedelijke ontwikkeling, vertrekkend vanuit de uitdagingen in een gebied wordt gezien welke domeinen hierin samen moeten komen.

Focus VP Smart Cities

Focus van het VP Smart Cities van TNO is gericht op het doorontwikkelen van het instrumentarium en bijbehorende methodologie voor het collectief leren samen met centrale en decentrale overheden en hun stakeholders voor nieuwe (mobiliteits)concepten en use cases voor integrale gebiedsontwikkeling voor steden, interstedelijke regio's en metropolen.

In het VP Smart Cities ontwikkelt TNO, samen met partners bij overheid en bedrijfsleven, tools en methodologieën die steden ondersteunen om draagvlak te krijgen bij complexe besluiten door aan te geven wat een haalbare visie is en inzicht te geven bij implementatie van beleid en innovatie.

Dit vraagt kennis en technologie gekoppeld aan dataverzameling en modellering ten behoeve van drie componenten:

1. Visievorming en handelingsperspectief duiding voor overheden
2. Vanuit een integrale visie en aanpak (over domeinen heen, in samenhang) uitwerken van issues die spelen voor de stad en innovaties die op globale schaal en dus ook op een stad afkomen (disruptieve ontwikkelingen). Vertaalslag naar Stedelijk Handelingsperspectief Methodologie gericht op stapsgewijze aanpak op strategisch niveau.
3. Urban Learning Cycle en implementatie-ondersteunende tooling
4. Versnellen van de leercyclus in steden en ondersteuning van het besluitvormingsproces met tooling die bestuurlijke keuzes inzichtelijk maakt en helpt duiden in het aanleveren van beslisinformatie.
5. Urban Strategy, data-integratie en modellen

Smart Urban Data Platform: modulair platform als basis voor het visualiseren van knelpunten en selecteren van kansrijke gebieden op basis van gewenste doelstellingen en key performance indicatoren (m.b.v. dashboarding), voor het verkrijgen van inzicht in kansrijke maatregelen en scenario's (m.b.v. een cockpit) als het doorrekenen en simuleren van potentiële scenario's in hoeverre deze effect sorteren of de gestelde doelen en key performance indicatoren voor planning & analyse toepassingen (simulatieomgeving). Gekoppeld aan kennisontwikkeling rond nieuwe ontwikkelingen als IoT, Artificial Intelligence en sensornetwerken.

Hierbij is het belangrijk dat er ook aandacht wordt besteed aan de toekomstbestendigheid van deze modellen in een veranderende wereld.

Resultaten 2020

In onderstaande tabel is per ontwikkellijn in de kennisprogrammering een overzicht gegeven van deliverables:

Resultaten / Producten	Focus Onderzoek	Partners
<i>Visievorming en handelingsperspectief</i>		
Visieontwikkeling	2 papers / notities in het domein van integrale gebiedsontwikkeling en mobiliteit gericht op innovatieve disrupties (o.a. toekomstige mobiliteitssystemen (o.a. automatisch rijden /	BZK, IenW, steden (o.a. G5 en Curaçao)

	MaaS / Hyperloop) en duurzame mobiliteit) in het stedelijke gebied.	
Handelingsperspectief	Stedelijk Handelingsperspectief Methodologie gericht op het inrichten van een efficiënt en duurzaam mobiliteitssysteem in steden (conceptualisering Energietransitie en Mobiliteit). Doorontwikkeling van assessment toolset die vanuit een systeem blik kijkt naar het energiesysteem, ruimtelijke ontwikkeling, economie en welvaart.	BZK, IenW, steden (o.a. G5)
<i>Urban Learning Cycle inclusief implementatie-ondersteunende tooling</i>		
Urban Learning Cycle	Urban Innovation Framework aanpak gekoppeld aan implementatie-ondersteunende tooling toepassen om een transitieaanpak voor steden te voeden rond Gebiedsontwikkeling en Mobiliteit en input te geven aan toekomstbestendige besluitvorming. Dit sluit aan bij het gedachtegoed van 'Policy by Simulation'.	BZK, steden (o.a. G5)
Tool ontwikkeling voor beter inzicht en voorspellend vermogen	Ontwikkelen instrumentarium rond AI (relevantiefilter) in het domein van mobiliteit en verstedelijking. Tool gericht op adaptief vermogen, voor het inzichtelijk maken van de effecten van maatregelen t.o.v. al het andere wat gebeurt in de stad. Van realtime naar voorspellend vermogen. Inzetten van Artificial Intelligence voor de use case Gebiedsontwikkeling en Mobiliteit. Nadenken over future modellen en veranderende wereld.	BZK, steden (o.a. G5)
<i>Urban Strategy, data-integratie en modellen</i>		
Data-integratie en Urban Strategy architectuur	Data-integratie: doorontwikkelen methodes rond data-inwinning, data-ontsluiting, analytics, modellen. Dit alles ten behoeve van de ondersteuning van complexe besluitvorming. Smart Urban Data Platform: modulair platform dat als basis gebruikt kan worden voor zowel dashboarding als planning & analyse toepassingen.	BZK, PTV, steden (o.a. G5)
Modellen en indicatoren	Ontwikkelen van instrumenten om overheden te ondersteunen rond de impact van disruptieve ontwikkelingen op het gebied van nieuwe mobiliteit in stedelijk gebied (o.a. New Mobility Modeler, Activity Based Modelling).	BZK, IenW, PTV, steden (o.a. G5)

Samenwerking met partners

Vanuit het VP Smart Cities wordt publiek-private samenwerking nagestreefd met overheden, bedrijven en kennispartners.

Overheden:

- BZK-DGBRW, Directie Ruimtelijke Ordening en Programmadirectie DG Omgevingswet;
- IenW-DGM;
- de G5 (Amsterdam, Rotterdam, Den Haag, Utrecht, Eindhoven), de metropoolregio's / interstedelijke samenwerkingsverbanden / provincies als SmartwayZ.NL, MRA, MRDH, Provincie Noord-Holland en de Nederlandse Antillen (Curaçao).

Bedrijfsleven:

Lopende samenwerking

- PTV: modelontwikkeling (Urban Strategy)
- Samenwerking in verkenning
- Dell, joint innovation rond Urban Mobility

- SPIE, joint innovation rond Urban Mobility
- Kapsch, joint innovation rond Urban Mobility
- Technolution, joint innovation rond Urban Mobility
- Dynniq / ATOS / TomTom, joint innovation rond Urban Mobility
- Goudappel Coffeng: platformontwikkeling (Urban Strategy) in nationale context
- Posad, joint innovation rond Urban Mobility in nationale en internationale context

Kennispartners:

Lopende samenwerking

- Inzet sensoren en koppeling naar verwerken data en modellen – IMEC
- Bestuurskunde en transitie management – Erasmus Universiteit Rotterdam
- Ruimtelijke ordening en gebiedsontwikkeling – Radboud Universiteit Nijmegen
- Regionale vervoersplanning – TU Delft
- Institute for Advanced Studies (IAS) – Universiteit van Amsterdam
- Artificial Intelligence – Universiteit Utrecht
- Nieuwe mobiliteit en MaaS – Urbanism Next Centre, University of Oregon
- Nieuwe mobiliteit en MaaS – Frauenhofer
- Urban Strategy Platform – University of Curaçao

Samenwerking in verkenning

- TU Eindhoven
- National University of Singapore
- Kennispartners op Lindholmen Science Park, Gotenborg - Zweden

Externe aansluiting

De (inhoudelijke) regievoering van het Vraaggestuurde Programma is belegd bij het ministerie BZK, DG Bestuur, Ruimte en Wonen, Directie Ruimtelijke Ordening. Met het VP Smart Cities wil TNO graag bijdragen aan de visie van de Directie Ruimtelijke Ordening, zoals gepresenteerd in het document Werkplan Directie DRO 2019.

Het VP Smart Cities heeft naast de aansluiting bij het ministerie van BZK de volgende externe aansluiting:

- IKIA / Thema / Missies: Energietransitie en Duurzaamheid
 - o Duurzame Mobiliteit (MMIP9 en 10)
MMIP 9 gaat over innovatieve aandrijving en gebruik van duurzame energiedragers voor mobiliteit. MMIP 10 zet in op doelmatige vervoersbewegingen voor mensen en goederen.
 - o Toekomstbestendige Mobiliteitssystemen (deel-KIA)

De deel-KIA richt zich op 2 onderdelen: 1) Technologische innovatie en integratie van netwerksystemen gericht op het vergroten van de efficiency van het mobiliteitssysteem, verkeersveiligheid, cybersecurity, veilig datagebruik en databeheer; 2) Toekomstbestendig mobiliteitssysteem in relatie tot het omgevingsbeleid.

- Topsector: HTSM
- Sleutel-technologieën: High-tech, digitale technologieën zoals artificiële intelligentie en security
- EIP Smart Cities (EU)

Dynamiek

In belangrijke mate wordt het VP Smart Cities voortgezet zoals geprogrammeerd in het Kennisprogramma 2018-2021. Daarbij zal in 2020 binnen de bestaande kennislijnen specifiek aandacht zijn voor:

- De kennislijnen worden gekoppeld aan een drietal thematische sporen: urban mobility and environment, new mobility en zero emission. Een aantal specifieke innovatieve disrupties spelen binnen deze thematische sporen en zijn daarmee relevant om vanuit de kennislijnen verder te onderzoeken. De aandacht zal in de vorm van visieontwikkeling en methodiek-/toolontwikkeling gekoppeld aan use cases tot uitdrukking worden gebracht.
- Opstarten van een Joint Innovation Centre rond Urban Strategy met nationale en internationale partners.
- Opstarten nieuwe samenwerkingen, reeds voorzien is de samenwerking met de gemeente Rotterdam waar TNO een Samenwerkingsovereenkomst mee heeft afgesloten. Ook een aantal lopende samenwerkingen worden in 2020 opnieuw geprogrammeerd, de samenwerkingsovereenkomst met de gemeente Amsterdam en de MoU met Curaçao lopen door in 2020.

In 2019 is de aansluiting vanuit het VP Smart Cities op de prioriteiten uit het Werkplan Directie DRO 2019 verder opgepakt. Vanuit deze thema's is begin 2019 een sessie georganiseerd bij BZK en is tevens een basis gelegd voor de koppelgesprekken. In de 2e helft van 2019 worden strategische gesprekken op managementniveau opgestart om structurele samenwerking verder te verkennen.