

TNO Onderzoek 2020 - Overzicht Vraaggestuurde programma's volgens het MTIB

| Unit | Onderzoekprogramma's | Klimaat & Energie | | Circulaire Economie | | Mobiliteit | | Landbouw & Water | | Gezondheid en Zorg | | Veiligheid | | Sleutel-technologie | |
|------|---|-------------------|-----|---------------------|-----|------------|-----|------------------|-----|--------------------|-----|------------|-----|---------------------|-----|
| | | PP | PPS | PP | PPS | PP | PPS | PP | PPS | PP | PPS | PP | PPS | PP | PPS |
| ET | P325 Embedding & Integration | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| BIM | P502 Duurzaam bouwen | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| ET | P307 Built Environment | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| BIM | P505 Urban Energy-EnerGO | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| ET | P321 Solar Energy | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| ET | P322 Wind Energy | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| ET | P323 Industry (incl Ind. Transform.) | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| ET | P324 Fuel and Feedstocks | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| CEE | P510 Milieu en Duurzaamheid | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| CEE | P515 Circulaire Economie | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| CEE | P504 Watertechnologie | | | | ■ | | | | | | | | | | |
| T&T | P509 Smart T&T, BZK, Smart Cities | | | | | ■ | | | | | | | | | |
| T&T | P403 Smart T&T, Logistiek & Mobiliteit | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| T&T | P406 Sust. T&T, Logistiek & Mobiliteit | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| T&T | P402 Smart T&T, HTSM | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| T&T | P405 Sustainable T&T, HTSM | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| BIM | P311 Maritiem en Offshore | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| BIM | P508 Deltatechnologie | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| ET | P310 Karakterisering Grondwater | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| HL | P204 Arbeid en Gezondheid | | | | | | | | | ■ | | | | | |
| HL | P211 Jeugd | | | | | | | | | ■ | | | | | |
| HL | P203 Biomedical Health | | | | | | | | | ■ | | | | | |
| HL | P210 Digital Health Technologies | | | | | | | | | ■ | | | | | |
| HL | P511 Human Health RM Nano | | | | | | | | | ■ | | | | | |
| HL | P207 Sociale Innovatie | | | | | | | | | ■ | | | | | |
| DSS | P102 Veilige maatschappij | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | |
| DSS | P106 Kennisopbouw politie | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | |
| ICT | P103 Cyber Risk & Resilience | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | |
| DSS | P104 Radar & Sensorsystemen | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | |
| IND | P607 Space & Scientific instrument. | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| IND | P612 Semiconductor Equipment | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| IND | P615 Flexible and Freeform Products | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| IND | P603 Sustainable Chemical Industry | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| IND | P616 Industriële elektrificatie en CCUS | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| BIM | P513 HTSM-Bouw Innovatie | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| IND | P617 Smart Industry | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| CEE | P512 Environmental Technology | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| ICT | P706 ICT | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| ICT | P707 ESI | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| ERP | Early Research Programmes (ERPs) | | | | | | | | | | | | | | ■ |

Publieke Programmering (PP)
 Publiek Private Samenwerking (PPS)

| Titel | VP Inbedding en integratie (P325) |
|--|--|
| MTIB-thema | Klimaat en Energie |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | VP-manager: Ruud van den Brink Directeur Markt: Harm Jeeninga |
| Contactpersonen Overheid | Marianne Zandstra, ministerie EZK |
| Programma jaar 2020 - Samenvatting | |
| <p>De energietransitie is in volle gang, met als hoofddoel om in 2050 een CO₂-neutrale energievoorziening te hebben in Nederland. In 2020 heeft TNO een scenariostudie gepubliceerd, waaruit blijkt dat een duurzaam energiesysteem niet alleen haalbaar is in twee verschillende maatschappelijke scenario's, maar ook wel eens goedkoper zou kunnen zijn dan als we de CO₂ niet zouden reduceren. De scenariostudie heeft veel impact gehad: is onder andere besproken in een webinar met energiebeleidsmakers en met bedrijven en door middel van een technische briefing met de energiewoordvoerders van de Tweede Kamer.</p> <p>Zonne- en windenergie spelen een centrale rol in de energievoorziening van de toekomst. Om dit mogelijk te maken is het nodig dat pieken en dalen in de elektriciteitsproductie opgevangen kunnen worden. Opties hiervoor zijn bijvoorbeeld het stuurbaar laden van elektrische auto's en grootschalige opslag in de ondergrond. In 2020 is onderzocht welke factoren een rol spelen bij de aanschaf van elektrische auto's in de consumentenmarkt. Onder andere de rol van routine-aankopen van de 'oude' technologie speelt een belangrijke rol. Voor energieopslag is gevonden dat ondergrondse opslag van waterstof een kansrijke optie is en dat de Nederlandse ondergrond geschikt is voor grootschalige waterstofopslag.</p> <p>Een belangrijk resultaat uit de scenario-analyse is dat andere energiedragers dan elektriciteit – zoals warmte en vloeibare brandstoffen – moeilijker te verduurzamen zijn. In 2020 hebben we onderzoek gedaan naar het gebruik van biomassa en brandstoffen gemaakt uit waterstof en CO₂: zowel qua kosten als qua CO₂-emissies liggen hier nog belangrijke uitdagingen op weg naar een CO₂-neutraal energiesysteem. Voor de voorziening van warmte is voor Europa een geografische analyse uitgevoerd om de vraag naar warmte en het aanbod uit geothermische bronnen te matchen. Tenslotte blijkt uit de scenario-analyse dat reductie van de vraag cruciaal is om de kosten van de energietransitie laag te houden. Daarom hebben we onderzoek gestart naar manieren om de levensstijl van consumenten duurzamer te maken, waarbij onderzoek naar gedragsverandering in bijvoorbeeld het gezondheidsdomein als inspiratie wordt gebruikt. Tenslotte hebben we onderzoek gepubliceerd naar de manieren waarop de consequenties van de energietransitie op energiearmoede in kaart kunnen worden gebracht.</p> <p>Ons onderzoek heeft in 2020 veel aandacht getrokken in de media, de politiek en bij onze doelgroep. Zo heeft ons webportaal energy.nl het bereik sterk vergroot van 1000 naar 2400 unieke bezoekers per maand. Dat heeft er onder andere toe geleid dat vanaf 2021 een nieuw onderzoeksprogramma gaat lopen waarbij TNO direct bijdraagt aan de toenemende kennisbehoefte van de energiebeleidsmakers bij de Rijksoverheid.</p> | |
| Titel | VP Duurzaam Bouwen (P502) |
| MTIB Thema | Klimaat en Energie |
| Contactpersonen TNO (DS en VPM) | Arjen Adriaanse en IJsbrand van Straalen |
| Contactpersoon Regievoerder | Rob Hofman (RWS), Hans Weijers (BZK) en David van de Woude (BZK) |
| Programma jaar 2020 - Samenvatting | |
| <p>VP Duurzaam Bouwen richt zich op het optimaal verduurzamen van de gebouwde omgeving. Dit betreft met name bruggen, viaducten en gebouwen, en daarnaast zijn digitalisering en energiezuinigheid maatschappelijk relevante thema's. TNO onderscheidt in het VP Duurzaam Bouwen de deelprogramma's Infrastructuur, Bouwkwiteit, Digitalisering en Energie in de gebouwde omgeving.</p> | |

Binnen het deelprogramma Infrastructuur worden technieken ontwikkeld voor de beoordeling van de constructieve veiligheid, die bijdragen aan het nauwkeuriger bepalen van de restlevensduur en veiligheid van civiele constructies zoals vastgelegd in normen en richtlijnen zoals de Eurocode en de fib-Modelcode. Dit heeft in 2020 onder andere geleid tot aanbevelingen voor een beoordeling van betonconstructies op basis van niet-lineaire eindige-elementenmodellen en methodes om de veiligheid van constructies te kunnen kwantificeren waarbij rekening kan worden gehouden met de bewezen sterkte van de constructie in de praktijk. Voor de fib-Modelcode is een voorstel ingebracht voor het meenemen van de toestand van de corrosiegrenswaarde voor betonconstructies. Ook zijn stappen gezet voor de beoordeling van nieuwe, duurzame betonsoorten en de restkwaliteit van constructie-elementen voor hergebruik. Dit heeft onder andere geleid tot een nieuw TNO Early Research Project (ERP) op het gebied van circulaire constructies (2021). Voor stalen constructies is een criterium voor de initiatie van vermoeiingsscheuren afgeleid en is op basis van proeven op hergebruikte materiaal de scheurinitiatie gekarakteriseerd.

Binnen het deelprogramma Bouwkwiteit is in 2020 een automatisch scheurdetectie model voor ongewapend metselwerk opgeleverd, dat medio 2021 op de markt zal worden geïntroduceerd. Daarnaast is een onderzoeksprogramma uitgewerkt om vanaf 2021 samen met TUDelft en Deltares projecten uit te gaan voeren om de impact van bodemdaling op de gebouwde omgeving objectief te kunnen beoordelen en uiteindelijk ook te beperken middels maatregelen. Op dit onderwerp is een model ontwikkeld voor het simuleren van het gedrag van metselwerkwoningen onder ongelijkmatige zettingen. TNO werkt daarnaast aan een toekomstvisie constructieve veiligheid. Daarvoor is in 2020 de basis gelegd om de veiligheid van constructies te beoordelen op basis van eindige-elementenmethoden. Tevens is de basis uitgewerkt voor de manier waarop veiligheidsfactoren moeten worden aangepast voor constructieve elementen die worden hergebruikt en hoe de sterkte kan worden gevalideerd middels proefbelastingen. Verder draagt TNO bij aan het Expertisecentrum Verduurzaming Zorg (EVZ). Het EVZ ondersteunt zorgaanbieders in het bereiken van de doelstelling van de overheid aangaande de CO₂-emissiereductie.

In het deelprogramma Digitalisering heeft TNO in 2020 de BIM Bots technologie, de Predictive Twin methode, en Asset Lifecycle Information Management (ALIM / semantic linked data) open standaarden verder ontwikkeld. De BIM Bots technologie –oftewel een ecosysteem van autonoom opererende BIM-applicaties in de cloud– maakt het mogelijk een bouwwerk automatisch te toetsen aan de gestelde eisen en regelgeving. In 2020 is een proof-of-concept van automatische toets op Milieu Prestatie Gebouwen (MPG) opgeleverd. Daarnaast heeft TNO de stap van BIM naar een Predictive Twin geïntroduceerd in de praktijk. Een Predictive Twin is een voorspellende digitale replica van een fysiek bouwwerk. Open data standaarden zijn daarbij nodig om verschillende soorten data en databronnen over de levenscyclus van bouwwerken slim en efficiënt met elkaar te koppelen en computer-interpretabel te maken. Hiervoor heeft TNO de kennis van Asset Lifecycle Information Management (ALIM) ontwikkeld en geborgd in een nieuwe NEN-norm. TNO draagt ook actief bij aan open standaard ontwikkelingen bij CEN en buildingSMART, en de integratie van ALIM in de visie voor het Digitaal Stelsel Gebouwde Omgeving (DSGO) in samenwerking met DigiGO.

Binnen het deelprogramma Energie in de gebouwde omgeving is het concept van “gebouwclustering” verder uitgewerkt en is de ontwikkelde tool in 2020 succesvol ingezet om de toepasbaarheid van twee verduurzamingsoplossingen te verbeteren. Ook is de basis voor een concept configurator ontwikkeld waarmee conceptaanbieders samen met potentiële klanten de impact van een specifiek renovatieconcept inzichtelijk kunnen maken. Op het gebied van industrialisatie zijn twee nieuwe processen ontwikkeld voor het installeren van PV-panelen op woningdaken waarin robotische hulpmiddelen een rol spelen en is een robot ontwikkeld om vervanging van bestaande (asbest) bouwdelen en plaatsing van PV elementen mogelijk te maken. Op het gebied van datagedreven gebouwmodellen is in 2020 de modulaire aanpak voor Predictive Twins voor het vaststellen en voorspellen van de werkelijke prestaties op het gebied van energie en comfort in woningen verder doorontwikkeld, waarmee het ook mogelijk is geworden om de ventilatie beter te modelleren en de binnenluchtkwaliteit te voorspellen. Predictive Twins voor garantiestelling en voor de korte termijn voorspelling van de werkelijke energieprestaties ten behoeve van energieflexibilisering zijn ontwikkeld en worden in 2021 toegepast in demoprojecten. Ook is een monitoringsplan opgesteld om de Predictive Twins te kunnen voeden met relevante data en is een methode ontwikkeld om inzicht te krijgen hoe bewoners omgaan met verschillende renovatieconcepten en hoe dit de prestaties van deze concepten beïnvloedt. Daarnaast zijn in 2020 verschillende systeemconcepten ontwikkeld, waaronder een (aardgasvrij) doucheconcept. Een groot deel van deze resultaten is gerealiseerd binnen het IEBB programma Integrale Energietransitie Bestaande Bouw.

| | |
|---|--|
| Titel | VP Duurzame collectieve warmte in de gebouwde omgeving (P307) |
| MTIB Thema | Klimaat en Energie / MMIP4: Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving (individueel en collectief) |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Richard Braal (DM TNO), Maurice Hanegraaf (VPM TNO)/Frits Verheij |
| Contactpersoon Regie-voerder | Ronald Schillemans (Min. EZK) |
| Programma jaar 2020 - Samenvatting | |
| <p>Op 1 januari 2020 is het 3-jarige innovatieprogramma WarmingUP gestart. TNO leidt het consortium van 38 deelnemers (bedrijven, overheden en kennisinstellingen) en 17 partners die werken aan toepasbare kennisproducten voor de opschaling en verduurzaming van collectieve warmte in de gebouwde omgeving. De eerste resultaten zijn inmiddels gepubliceerd op de website 'www.warmingup.info'.</p> <p>In het cluster Succesvolle wijkaanpak heeft TNO, vaak samen met deze marktpartijen en adviesbureaus, nieuwe kennis ontwikkeld. De samenwerking met de G4-gemeenten en Platform31 heeft in 2020 o.a. geleid tot drie regiomodellen voor de transitie naar aardgasvrije wijken ontwikkeld. Het TNO-onderzoek naar bewonersparticipatie is uitgevoerd met betrokkenen in acht proeftuinen aardgasvrije wijken. TNO heeft een vergelijking gemaakt tussen kosten en tarieven van warmtenetten in ons omringende landen. Daaruit is een samenwerking ontstaan met de Danish Board of District Heating, met twee nieuwe, Europese projecten als resultaat. TNO heeft een toolset ontwikkeld voor het oplossen van integrale energiesysteem vraagstukken voor bedrijventerreinen. Kennisontwikkeling en -deling is onderdeel van het Convenant Verduurzaming Bedrijventerreinen dat begin 2020 door ca. 40 partijen is ondertekend. TNO en twee adviesbureaus hebben van BZK opdracht gekregen een Versnellingsprogramma Verduurzaming Bedrijventerreinen op te zetten.</p> <p>In het Cluster Duurzame collectieve warmtevoorziening werkt TNO aan kostenreductie en veiligheid van warmtenetten, geothermie en grootschalige warmteopslag in de ondergrond. Een deel van de werkzaamheden vindt plaats in het innovatie programma WarmingUp. In 2020 is een design tool voor het ontwerp van warmtenetten ontwikkeld die wordt gebruikt en getest door ingenieursbureaus (Greenvis, Witteveen&Bos) en warmtebedrijven (Vattenfall, ENECO, Ennatuurlijk). In 2021 wordt er een publieke versie van de ontwerptool gepubliceerd. Ook is er in 2020 gewerkt aan het reduceren van geologische exploratie risico's. Dankzij de ontwikkeling en inzet van innovatieve technieken zijn 'ondiepe' reservoirs voor HTO en Geothermie gekarakteriseerd op verzoek van warmtebedrijven en geothermie operators. Er is een nieuwe landelijke potentieel kaart voor Hoge Temperatuur Opslag (HTO) in de ondergrond gepubliceerd. De focus lag hierbij op ondiepe reservoirs tot een diepte van 500 meter (formaties van Oosterhout, Maassluis en Breda). Ook is het geothermie potentieel van het 'Brussels zand' in kaart gebracht. Deze informatie wordt publiek beschikbaar gemaakt via de website 'www.ThermoGis.nl'.</p> | |
| Titel | VP Urban Energy Energo - (P505) |
| MTIB Thema | Klimaat en Energie |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Arjen Adriaanse, Linda Hoes-van Oeffelen |
| Contactpersoon Regie-voerder | David van der Woude (BZK), Robert Jan van Egmond (TKI Urban Energy) |
| Programma jaar 2020 - Samenvatting | |
| <p>Het VP Urban Energy - EnerGO richt zich op de ontwikkeling van verschillende technologieën voor opwekking, conversie en opslag van duurzame energie in de gebouwde omgeving. Dit VP bestaat uit vier programmalijnen: compacte warmteopslag, duurzame warmte- en koudesystemen, warmteopwekking aan de gebouwschil en verduurzaming tuinbouwkassen.</p> <p>Binnen de programmalijn Compacte warmteopslag is voor thermochemische opslag op basis van een vacuümreactor in het lab een warmtebatterij gedemonstreerd met een verhoogde opslagdichtheid van 0,35 GJ/m³ op systeemniveau (~TRL6). Er zijn vervolgtesten gepland om de beoogde opslagdichtheid van 0,5 GJ/m³ aan te tonen. Een betere pakking van het reactor-materiaal Na₂S is gerealiseerd, waarmee het naar verwachting op termijn mogelijk wordt een opslagdichtheid van 0,75 GJ/m³ op systeemniveau te realiseren. Voor thermochemische opslag op basis van het gesloten loop principe is een ontwerp voor een nieuwe gebruikers-georiënteerde reactor gemaakt, waarmee het systeem met een opslagcapaciteit van 0,5-1 GJ getest kan worden onder relevante condities (TRL 5/6). Deze reactor zal in 2021 worden gebouwd. In 2020 is bovendien de spin-off</p> | |

Cellcius vanuit de TU/e en TNO opgericht om de technologie voor thermochemische opslag op basis van het gesloten loop principe op de markt te brengen. Voor compacte voelbare opslag in water is het werkingsprincipe aangetoond in een labsituatie (TRL4) en is een opslagbatterij met schakelbare isolatie ontwikkeld en in het lab getest. Voor compacte opslag door middel van redox reacties is in 2020 een nieuw reactorconcept met fluidized bed ontwikkeld, welke in 2021 zal worden getest in een relevante testomgeving (~TRL5).

Binnen de programmalijn Duurzame warmte- en koudesystemen is de emulator testomgeving voor onderzoek naar dynamisch gedrag van duurzame warmte- en koudesystemen van het Heat Pump Application Center verder uitgebreid, onder andere ten behoeve van onderzoek naar hybride warmtepompen. Een dynamische testmethodiek voor het evalueren van de prestaties van hybride warmtepompen is ontwikkeld en ingezet om de werkelijke prestatie van verschillende warmtepompen te bepalen, de resultaten hiervan worden in 2021 verwacht. In 2020 is gestart met de ontwikkeling van een smart control voor warm tapwater productie op basis van het model 'heetwaterproductie met warmtepompen'. Deze smart control wordt in 2021 doorontwikkeld en gevalideerd in een labsituatie. Het model 'heetwaterproductie met warmtepompen' vormt ook de basis voor het model dat in ontwikkeling is voor heet water buffervaten voor korte termijn warmteopslag. In de ontwikkeling van een warmtepompinstallatie voor woningen die gebruik maakt van een ijsbuffer in de kruipruimte als bron zijn de modellen gevalideerd die in 2019 zijn gemaakt om de mechanische integriteit van de ijsbuffer te onderzoeken en om de energetische prestatie van het systeem te evalueren. Daarnaast is in 2020 een model ontwikkeld voor een CO2 warmtepomp waarmee de meest geschikte configuratie voor het warmteafgiftesysteem is bepaald, is het radiatormodel uitgebreid voor toepassing bij lage stroomsnelheden en zijn diverse gesprekken met marktpartijen gevoerd om tot een onderzoeksagenda te komen met betrekking tot de inzet van warmtepompen in renovatieconcepten.

Binnen de programmalijn Warmteopwekking aan de gebouwschil is het renovatieconcept met zonnecollector gevelelementen met near infrared (NIR) absorberende gekleurde coatings verder doorontwikkeld en uitgebreid getest om de energieprestatie in kaart te brengen. De gevelelementen zijn gedemonstreerd in een woning en zullen in 2021 worden gedemonstreerd in zes rijwoningen met een lage warmtevraag waarbij ook een effectief regelsysteem wordt geïmplementeerd. Ook is gekleurd glas voor afgedekte collectoren ontwikkeld. Daarnaast is een innovatief elektro-schakelende technologie ontwikkeld en getest, waarmee de fysische eigenschappen van niet-transparante geveldelen (reflectie en absorptie) adaptief gemaakt kunnen worden.

Binnen de programmalijn Verduurzaming tuinbouwkassen zijn kassen ingericht met sensoren om het simulatiemodel SIOM (voor simulatie van gewasopbrengst, kasklimaat, energie- en waterverbruik in tuinbouwkassen) op termijn door te kunnen ontwikkelen richting een digital twin. Qua modellering lag de nadruk in 2020 op de waterkringloop, de klimaatregeling en het efficiënter maken van de warmtehuishouding via een buffer. Een belangrijke eerste stap is gezet in de ontwikkeling van een digital twin en zelflerende controller voor tuinbouwkassen, welke in 2021 verder wordt doorgezet.

| | |
|---------------------------------|---|
| Titel | VP Solar Energy (P321) |
| MTIB Thema | Klimaat en Energie / MMIP2, MMIP3 |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Harm Jeeninga / Wim Sinke |
| Contactpersoon Regievoerder | Wijnand van Hooff (TKI UE, Solar) / Robin Quax (TKI Urban Energy) |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

TNO's research program Solar Energy addresses the challenge of rapid, very large scale utilization of photovoltaics (PV), to help reaching national and international climate targets and seizing economic opportunities along the PV value chain.

The program is centered around two main, strongly interconnected themes: PV Integration & Applications and PV Technologies. Together they cover the challenges of developing new, integrated applications for efficient, multifunctional, sustainable and attractive use of space, energy system integration, further cost reduction, and circularity.

Selected results obtained in 2020:

Realisation with our partners of the Fieldlab Oostvoornse Meer for floating solar systems. This included building and starting operation of three different types of systems for monitoring of electrical performance, mechanical robustness and water quality. See <https://zonopwater.nl/home>.

Start of the SolarEcoPlus project with our partners, aimed at determining the ecological and economic benefits of solar parks constructed with recently introduced bifacial panels for the most common soil types in the Netherlands: sand, peat and clay. See <https://zoninlandschap.nl>.

Mounting of the first full-size test façade with aesthetic solar modules at the BAM head office in Bunnik. The modules include a dark brick-like print and the system will be monitored in detail for comparison with modeling, in preparation for a variety of applications at other locations and under different circumstances. See <https://www.bam.com/en/press/press-releases/2020/6/new-generation-of-solar-panels-incorporated-into-facades>.

Quantification of the benefits of on-board PV for different types of vehicles and use in different geographic locations. For a typical commercially available electric vehicle today driven in Holland, the PV can generate up to a quarter of the annual energy demand, which can offer a payback time of about 5 to 6 years and approximately 250 kg/year per car of CO₂ offsets with embedded CO₂ taken into account.

Proof of concept of a combination of two recent innovations in crystalline silicon cells: back contacting for flexibility in application and bifacial operation for enhanced energy yield. A prototype device reached a bifaciality factor of almost 50%, but has potential for 85% or higher.

First experimental results of a novel method for recycling of high-value materials in silicon solar modules. This involves obtaining clean cells from the module and subsequently silver and silicon from the cells.

Realisation of prototypes of crystalline silicon 'PV pixels' that can be used to make PV modules of almost any size or shape. The pixels allow for easy assembly into a larger PV module and easy integration with PV electrical components. This is one of the first steps to realizing a mass customizable manufacturing concept for silicon PV for lower cost integrated PV products.

Demonstration of the first two-terminal tandem solar cell composed of perovskite on commercial (PERC) silicon cells with 21.7% efficiency, manufactured at TNO. This device is the result of a collaboration with European industrial partners and TU/e.

Manufacturing of large-area (15x15 cm²) perovskite/silicon tandem laminates and putting them in the outdoor test. The data collection will enable energy yield calculations and provide preliminary stability data under real operation conditions as well.

Demonstration of the first fully foil encapsulated flexible semi-transparent perovskite module, in collaboration with Solliance-partners TU/e and imec. This bifacial module achieved an efficiency of 11.2%. Importantly, it retained 100% of its initial power output after 1000 hours of climate chamber testing.

| | |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| Titel | VP Windenergie (P322) |
| MTIB Thema | Klimaat en Energie – Missie A, MMIP 1 |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Harm Jeeninga / Peter Eecen |
| Contactpersoon Regievoerder | Bob Meijer, TKI WoZ |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

Om de klimaatdoelstellingen voor Nederland in 2030 en 2050 te realiseren, zal offshore windenergie een belangrijk onderdeel van het energiesysteem moeten worden om zo de CO₂ uitstoot te verminderen. Met de overheid en maatschappelijke organisaties heeft TNO de visie geponereerd dat in 2050 tussen 50GW en 70GW aan offshore windenergie operationeel zal moeten zijn op het Nederlandse deel van de Noordzee. In 2030 is de doelstelling om 11GW offshore windvermogen draaiend te hebben, maar een groei naar 18GW in 2030 is voor het klimaat te prefereren.

TNO heeft haar onderzoekprogramma gericht op het efficiënt en effectief ondersteunen van deze groei en tegelijkertijd kansen te creëren voor de Nederlandse economie. Het TNO-innovatieprogramma is succesvol in de ondersteuning van de ontwikkeling en bouw van offshore windparken door middel van offshore wind-metingen, effectievere turbines, verbeterd onderhoud en met name innovatieve schepen en gereedschap. In 2020 is wind park Borssele met een geïnstalleerd vermogen van 752MW toegevoegd aan de eerder gerealiseerde 1GW offshore windvermogen in Nederland. Er zal in 2030

11 GW zijn gerealiseerd, daarna zal de groei nog groter zijn. De ondersteuning van TNO om de industrialisatie van offshore windparken inclusief schepen en gereedschappen te creëren heeft tot grote kostenreductie geleid.



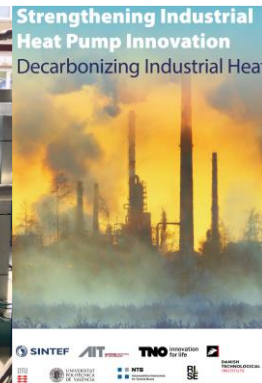
Het onderzoeksprogramma van TNO Windenergie sluit naadloos aan bij het programma van TKI Wind op Zee en Topsector Energie Missie A: “Een volledig CO2 vrij elektriciteitssysteem in 2050”. Het programma richt zich voornamelijk op het meerjarig missiegedreven innovatieprogramma MMIP 1 “Hernieuwbare elektriciteit op zee” en in mindere mate op MMIP2 “Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en in de gebouwde omgeving”. De overkoepelende MMIP13 over een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem wordt daarbij nauw in het oog gehouden.

De innovaties in offshore windenergie die het R&D programma “Windenergie” heeft gerealiseerd in 2020 hebben resulteren in:

- Reductie van de prijs van offshore windstroom. De grootste turbine ter wereld is nu operationeel in Nederland en TNO voert het onderzoek en innovatieprogramma op deze turbine uit. Met behulp van TNO is de turbine in de markt gezet en is kennis vergaard voor het nog effectiever maken van offshore gebruik. TNO-innovaties in installatie, onderhoud en beheer besparen onze partners veel kosten.
- Integratie in het energiesysteem door flexibiliteit, opslag en markt. TNO heeft een ontwikkelingen in gang gezet om flexibilitieopties voor offshore windparken te ontwikkelen en testen op een specifiek ingericht systeem integratie field lab.
- Ruimtelijke en sociale inpassing, multifunctioneel gebruik van ruimte en recycling. TNO pleit voor het op grote schaal integreren van duurzame energieopties in ons landschap, heeft in 2020 ingezet op het voorkomen van vogel en vleermuis slachtoffers en heeft een concept ontwikkeld om windturbinebladen effectief te kunnen recyclen en met name het glas van de bladen te hergebruiken.

| | |
|---|---|
| Titel | VP Industry - Towards a CO2-neutral industry (P323) |
| MTIB Thema | Klimaat en Energie |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Harm Jeeninga / Jaap Vente |
| Contactpersonen Regievoerder | Peter Besseling, Joëlle Rekers, Tom Mikunda, Ed Buddebaum, Marle Zijlstra (EZK) / TKI E&I (Rob Kreiter), TKI- New Gas (Jörg Gigler) |
| Programma jaar 2020 - Samenvatting | |
| <p>The demand driven program “Towards a CO2 neutral industry” responds to the societal need for a carbon neutral industry. This is in line with Mission C describing the transition to a climate neutral industry in 2050 . Within this program, four solution pathways are being pursued for the development of technologies that are robust towards various future energy scenarios for a society that has a net zero CO2 emission: Heat, Efficiency and Circularity, and Carbon Capture Use and Storage for the Energy</p> | |

Intensive Industry, and is this year Industrial Transformation. Combined, these three challenges answer the themes detailed by the Multi-annual Mission driven Innovation Programs.



Pictures above, clockwise: (1) First liter of methanol produced in the FReSMe pilot installation. (2) Compact Thermo Acoustic (COMTA) heat pump in Carnot lab in Petten. (3) White paper on "Strengthening Industrial Heat Pump Innovation. (4) Novel MCDI cell design ready for commissioning and testing.

Some of the main results of TNO Energy Transition in 2020 are:

- Advanced DME synthesis successfully demonstrated at TRL 5
- 23 m3 of methanol has been synthesized from real steel off gases
- Classification of material quality added to Open Dynamic Material Systems Model
- Storage readiness level of potential CO2 storage sites developed
- European whitepaper on heat pump technology well received

| | |
|---------------------------------|---|
| Titel | VP Towards CO2-neutral fuels and feedstock (P324) |
| MTIB Thema | Klimaat en Energie |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Richard Braal, Ronald van den Berg, René Peters, Jaap Kiel, Maarten Bijl, Lennert Buijs |
| Contactpersoon Regievoerder | Kees de Gooijer (TKI-BBE), Rob Kreiter (TKI-E&I), Jörg Gigler (TKI-Gas) |

Programma jaar 2021 – Samenvatting

The research program Towards CO2-Neutral Fuels and Feedstock addresses the rapid transition from traditional fuels and feedstock towards renewable, CO2-neutral fuels and feedstock like biobased fuels and synthetic fuels (hydrogen). The program is carried out with many private and (semi)public partners and its priorities are aligned with the Climate Agreement and the topsectors Energy (including TKI Nieuw Gas, TKI Energy & Industry and TKI BBE) and topsector Chemistry.

Selected important results obtained in 2020 are:

The extensive overhaul and upgrade of the experimental facilities in Petten has been completed. Three state-of-the-art bio-refinery labs are now available, in which integral biobased processing chains can be developed and tested based on three technology platforms, viz. biofuels and biochemicals production based on gasification, fractionation to sugars and lignin, and on seaweed processing.

TORWASH® is a TNO-developed novel hydrothermal treatment technology for the upgrading of various biogenic residues. The spin-out company (TORWASH BV) is commercialising this technology for sewage sludge treatment. A consortium, including investors, wastewater treatment companies and equipment suppliers, has been established to demonstrate the technology at a scale of 500 kg/h, which is expected to start in 2021.

FABIOLATM fractionation technology has been piloted successfully and kg-scale cellulose, C5-sugar and lignin samples have been produced to allow application development. Following the successful first high-end application of the lignin fraction in PU-coatings and resins, partial depolymerisation of the lignin was conducted successfully improving its application potential. These are important steps towards industrial demonstration.

Enerchar, a new technology concept for the co-production of biochar and power and heat from biobased residues has been developed and a patent application filed. It has been shown that there is an attractive business case for application of biochar as peat-replacement in substrates for horticulture. Other applications being assessed include applying biochar/biocoal as a reducing agent in steel making (TATA HiSARNA process), as a filter material and for soil improvement and as a carbon storage option with negative emissions.

A collaboration project HY3 with FZ Julich and DENA in Germany has started on the topic of cross border hydrogen infrastructure between The Netherlands and North Rhine Westphalia. TNO is responsible for the analysis of the potential for retrofitting natural gas transport pipelines for hydrogen transport and the development of salt caverns for large scale energy storage. The final report will be presented in 2021.

A collaboration with OGTC (Oil and Gas Technology Centre) in the UK has been initiated (OneNorthSea) on the topic of system integration in offshore energy and reuse of offshore assets. In this collaboration TNO and OGTC analyse the potential for reuse of pipelines and platforms for CCS, hydrogen production and transport in the Southern North Sea. Results are disseminated in a website which also presents a shared database of projects,

Faraday-lab. In 2020 the Faraday lab was commissioned. This allows us to support the industry to improve the efficiency and reduce the cost of renewable hydrogen produced by electrolysis by using new materials, components and stack designs.

An international European cooperation program has been initiated and granted ('Take-off') on a novel approach for development of synthetic aviation fuels. The aim is to develop and demonstrate the technology needed for the production of the next generation renewable fuel for the aviation sector.

| | |
|---------------------------------|--|
| Titel | VP Milieu en Duurzaamheid (P510) |
| MTIB Thema | Circulaire Economie |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Erlend Deckers (VPM), Ardi Dortmans (SD) |
| Contactpersoon Regie-voerder | André Rodenburg a.i. (MinlenW) |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

The demand driven program "Environment and Sustainability" has two focal areas, **Environment** and **Circular Economy**, coinciding with the priorities in the roadmap of the TNO unit Circular Economy and Environment.

Environment aims to improve health of citizens by detailing the source of health relevant particulate matter. Every year around 7 million people die prematurely from exposure to polluted air. Global warming may lead to catastrophic sea level rise, droughts, and more frequent extreme weather. Critical loads for atmospheric nitrogen deposition are exceeded in 72% of the Dutch nature areas, leading to significant biodiversity loss. All these pressing environmental challenges relate to anthropogenic emissions into the atmosphere and their negative impact on the environment and health. We detail the source of health relevant particulate matter (combustion particles, non-exhaust, microplastics) and nitrogen deposition. In addition, emission monitoring strategies for greenhouse gases and air pollutants are developed based on novel experimental facilities and satellite data. During 2020 we continued on installing the Ruisdael observatory, greenhouse gas emission quantification and reactive nitrogen deposition.^{1,2} We contributed to a paper by Swiss colleagues (Daellenbach et al.³) on health relevant Particulate Matter compounds published in Nature. In this activity area we have continued our cooperation with Copernicus, Ruisdael, Eindhoven City (fieldlab emission monitoring) a.o. and established new partnerships with ZONMW, topsector LSH and the Momentum consortium on microplastics.

FACTSHEET EMISSIES EN DEPOSITIE VAN STIKSTOF IN NEDERLAND

Circular Economy works to the benefit of our living environment and economy by reducing the use of virgin feedstock. Our priorities are plastics, building and infrastructure and impact assessment,. For circular plastics, the H2020 project PLAST2bCLEANED targets a human and environmental safe recycling process for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) plastics in a technically feasible and economically viable manner. We developed dissolution technology for the recycling of these plastics containing (hazardous) additives. In 2020 we have published our white paper on circular plastics⁴ with high impact in national and international media, calling for a systems approach to achieve a possible 87% circularity in plastics by 2050. Matching supply and demand of secondary building materials was investigated by our BOB (BOuwmaterialen in Beeld) tool. We support the platform for accelerating the circular economy (PACE) in the preparation of the 2021 World Economic Forum. We have reinforced our collaboration with Brightsite and Brightlands Materials Centre (BMC) in our work on circular plastics, as well with University Utrecht e.g. We have actively contributed to the missions C and CE in our national Missiegedreven Topsectoren en Innovatiebeleid (MTIB) as well in activities of the NWA route Circular Economy.

DON'T WASTE IT! SOLVING THE DARK SIDE OF TODAY'S PLASTIC

| | |
|---------------------------------|--|
| Titel | VP Circulaire Economie (P515) |
| MTIB Thema | Circulaire Economie |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Erlend Deckers (VPM), Ardi Dortmans (SD) |
| Contactpersoon Regievoerder | Bas Warmenhoven (MinlenW) |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

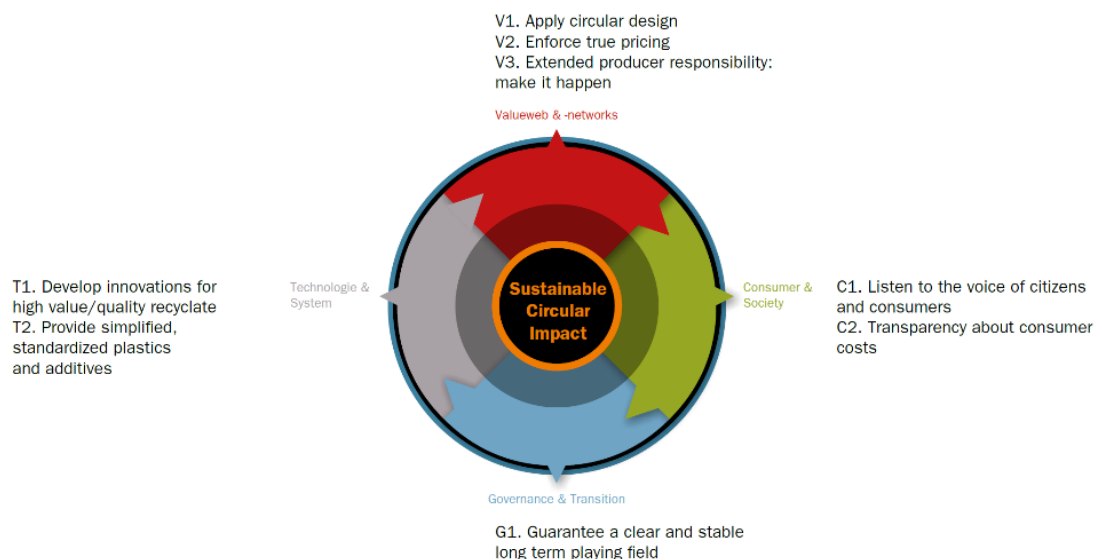
The demand driven program "Circular Economy" is a cornerstone in the roadmap of the TNO unit Circular Economy and Environment. The Netherlands has the ambition to achieve a circular economy by 2050: sustainable circular chains in which raw materials are fully reused, no waste is produced and all used energy is sustainably generated. Earlier TNO research showed that promoting circular product chains can lead to an additional added value of 7 billion euros in 2025 and 54,000 extra jobs in the next 5 years. This VP is in line with the Mission-driven Topsectors and Innovation Policy (MTIB, Mission C and CE), the Dutch National Science (NWA) agenda and key enabling technologies (measurement and detection).

1 <https://www.tno.nl/stikstof>

2 "Niet uit de lucht gegrepen" "Eerste rapport van het Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof". Chair: Prof Dr. L. Hordijk, from TNO Prof Dr. M. Schaap is one of the co-authors.

3 Kaspar R. Daellenbach, Jeroen J. P. Kuenen, Martijn Schaap et al, Sources and chemistry of the harmful components in particulate air pollution. Nature 587, 414–419 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2902-8>

4 <http://publications.tno.nl/publication/34637387/hCNlhm/TNO-2020-circular-plastics.pdf>



TNO'S EIGHT MUST HAVE SOLUTIONS, APPLIED TO THE NWA CIRCULAR ECONOMY CONTEXT

Highlight: TNO Whitepaper “Don’t waste it! Solving the dark side of Today’s Plastics”⁵

Plastics are of essential importance to the wellbeing of today’s society. This will not be any different in the decades to come. However, the use of plastics is not sustainable and the associated negative impact of greenhouse gas emissions, plastic waste, and micro- and nano-plastics on the environment and health are unacceptable in view of the hidden costs involved. The only viable way out is the switch to a circular plastics economy that strives to reduce its consumption footprint. We need to do this fast or reduce welfare and wellbeing.

Highlight: PRISM

PRISM (plastic recycling impact scenario model) is an independent objective scenario model that describes the Dutch situation of plastic waste streams. In 2020, the Life Cycle Analysis (LCA) data on impacts of recycling technologies for the different types of plastics from the plastic waste streams (value, CO₂ and environmental impact) has been included in the PRISM model. Our analysis of the plastics ecosystem with our PRISM model shows that an accelerated transition from a linear to a circular plastics economy is technologically feasible with a potential to unlock 87% recycling of plastics in the end.

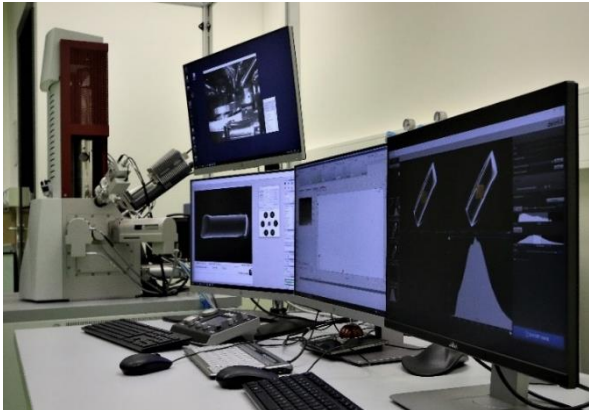
Research in the field of circular & sustainable Buildings & Infrastructure showed great need for further development and standardization of LCA (and cost) methodologies to improve the analysis, optimization and monitoring of circular and sustainable construction practices. Energy installations were discovered to play a crucial role in not only the energy transition, but also in the circular transition. The Sustainable Business Model Innovation (SBMI-)framework was presented on the International New Business Modelling Conference.

In Circular Economy we work together with various companies and knowledge partners at the national and international level (Brightsite, Brightlands Materials Centre, WUR, RUG, TI Coast, Fraunhofer, AIMPLAS, BLC3/EcoLab etc etc). We coordinate the NWA route Circular Economy and together with NWO hold the secretariat for the MaterialsNL Platform resulting in the 2020 MaterialsNI Agenda⁶

| | |
|--------------|-----------------------------------|
| Titel | VP Watertechnologie (P504) |
| MTIB Thema | Circulaire Economie |

⁵ <https://www.tno.nl/en/about-tno/news/2020/11/roadmap-to-circular-plastics-in-2050/>

⁶ <https://materialennl-platform.nl/>

| | |
|---|--|
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Erlend Deckers (VPM), Ardi Dortmans (SD) |
| Contactpersoon Regie-voerder | Dirk Jan Sloot (MinlenW) |
| Programma jaar 2020 - Samenvatting | |
| <p>The demand driven program "Watertechnology" focuses on microplastics, as one of the priorities in the roadmap of the TNO unit Circular Economy and Environment. Microplastics are increasingly found in food, water and air, leading to high societal concern. In the meantime very little is known about the formation and potential (human health) risk. This lack of knowledge hampers the development of risk mitigation and solutions. The activities in this VP are in alignment with MinlenW and mission CE as primary stakeholders. This is a challenging area where materials, measuring, detection and human health come together as a multidisciplinary research area with strong system thinking needs and thus fitting the core capabilities of TNO.</p> <p>TNO has combined all required internal expertise and knowledge on this subject, from materials via analysis and detection and dispersion models to health. We are connected to other initiatives in the Netherlands and Europe such as the Microplastics and Health initiatives of ZonMw and Health Holland (MOMENTUM), EC projects (LEON-T) and initiatives of ministry of lenW. We cooperate with fundamental research partners (UU, UM, RUG e.g.), knowledge partners like RIVM, scientific networks like TI Coast and industrial partners. Our research initiatives fit well within the Mission-driven Top Sector and Innovation Policy (MTIB). In addition it is aligns with the Dutch National Science (NWA) agenda, as well as elements in "The European Strategy for Plastics in a Circular Economy" and "The European Green Deal".</p> <p>Highlight: Detection and identification of microplastics</p> <p>Detection and identification of microplastics with sizes smaller than 1 μm is very difficult with currently available techniques, especially in environmental samples. Scanning electron microscopy (SEM) in combination with cathodoluminescence (CL) spectroscopy has been shown to be a promising method to allow the detection and identification of microplastic particles at the submicron range. This CL detector has been recently connected to one of the TNO SEM's. Exploratory experiments are performed with this new detector, and confirmed the potential of this technique. In 2021 the technique will be further developed. In addition, a database of plastic materials and non-plastic materials frequently encountered in environmental samples will be collected, to train and test this novel application of CL.</p> | |
|  | |
| Titel | Smart T&T, BZK, Smart Cities (P509) |
| MTIB Thema | Mobiliteit / Energietransitie en Duurzaamheid. Missie: Toekomstbestendige Mobiliteitssystemen & Duurzame Mobiliteit |
| Contactpersonen TNO (DM/DS en VPM) | Geiske Bouma (VP-manager) Marieke Martens (Director Science Traffic and Transport) Martijn Stamm (Director Market Traffic and Transport) |
| Contactpersonen Regie-voerder | Kees de Jong (BZK-DGBRW, DRO, contactpersoon kennis) Erik Jan van Kempen (BZK-DGBRW, DRO, DG Omgevingswet) |
| Programma jaar 2020 - Samenvatting | |
| <p>De inzet op innovaties gericht op het vergroten van de economische aantrekkelijkheid van steden en tegelijkertijd op het duurzaam, veilig, gezond en bereikbaar maken van steden, in Nederland en het buitenland, op een manier die aansluit bij belangen van de bewoners en bedrijven staat in het VP Smart Cities centraal. Dit in de context dat steden blijven groeien en ruimte een schaars goed blijft, 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.</p> | |

Voor objectieve (fact-based) en integrale besluitvorming ontwikkelt TNO-modellen, tools en instrumenten die steden en regio's, zowel overheden als andere stakeholders, ondersteunen. Dit vraagt om digitale, eenduidige data en modellen (gekoppeld aan de betreffende stad en regio). 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. Om de juiste besluiten te kunnen nemen over de inrichting van steden en regio's, het juiste beleid te kunnen inrichten op het gebied van mobiliteit en gebiedsontwikkeling en draagvlak te creëren bij burgers en stakeholders is inzicht nodig in de knelpunten in stad en regio en mogelijke effecten van toekomstige scenario's.

Met het New Urban Mobility Platform hebben we in 2020 een grote stap gezet om grote hoeveelheden data te verwerken en het platform in te zetten t.b.v. interactieve plan- en besluitvorming, gekoppeld aan bereikbaarheid en leefbaarheid. De kennisontwikkeling in 2020 rond Next Generation Urban Modelling & Simulation stelt ons in staat op nieuwe vormen van (keten)mobiliteit en activiteitenpatronen beter te modelleren en simuleren. Met de Urban Learning Cycle en implementatie-ondersteunende tooling hebben we in 2020 ingezoomd op governance rond nieuwe mobiliteit én digital twinning t.b.v. de koppeling tussen de energie- en mobiliteitstransitie.

Hieronder zijn de highlights voor de 3 kennislijnen - met een focus op de thema's (toekomstige) mobiliteit en gebiedsontwikkeling - gepresenteerd.

| New Urban Mobility Platform | Next Generation Urban Modelling & Simulation | Urban Learning Cycle en implementatie-ondersteunende tooling |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Toepassing New Urban Mobility Platform gericht op 2 use cases, nationaal (Amsterdam) en internationaal (Curaçao) en inzet in interactieve plan- en besluitvorming. • Doorontwikkeling architectuur (IMB5) t.b.v. verwerken van grote hoeveelheden data t.a.v. mobiliteit en gebiedsontwikkeling | <ul style="list-style-type: none"> • Ontwikkelen en inzetten van activity based modellen en het modelleren van effecten en simuleren van toekomstige scenario's in relatie tot de mobiliteitstransitie en gebiedsontwikkeling van parkeerbeleid, hubs en nieuwe mobiliteitsconcepten (o.a. in samenwerking met G4). | <ul style="list-style-type: none"> • Ontwikkeling Governance Framework Nieuwe Mobiliteit en MaaS m.b.t. governance, beleid en sturing. • Conceptualisering van de Energie- en Mobiliteitstransitie in een Living Lab (o.a. Rotterdam en Curaçao), waarbij gezamenlijke kennisvragen worden opgepakt. |

Tabel 1: Resultaten en highlights VP Smart Cities 2020

In de kennisontwikkeling van bovenstaande highlights wordt actief samengewerkt met steden en regio's. De State-of-the-Art kennis is toepasbaar voor stedelijke innovatie en transformatie, op zowel strategisch als tactisch niveau. Daar waar we kennis ontwikkelen rond 'enabling technologies' (opkomende technologische ontwikkelingen) is een verdere toepassingslag nodig voor vertaling naar de praktijk.

In 2020 is vanuit het VP een viertal 2-pagers gepubliceerd die gaan over de impact van COVID-19 op integrale gebiedsontwikkeling en mobiliteit t.a.v. internationale initiatieven, disruptieve ontwikkelingen, nieuwe modellen en monitoringsinstrumenten en stedelijke veerkracht.

| Titel | Smart T&T, Logistiek & Mobiliteit (P403) en Sustainable T&T, Logistiek & Mobiliteit (P406) |
|---|--|
| MTIB Thema | Mobiliteit / Missie D+ (MMIP 9 & 10; deel-KIA Toekomstbestendige Mobiliteitssystemen) |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Isabel Wilmink (VP-manager) Marieke Martens (Director of Science) |
| Contactpersoon Regievoerder | Michel Duinmayer (IenW-DGMO/KIS) Karen de Ruijter (IenW-DGMO/KIS) |
| Programma jaar 2020 - Samenvatting | |

Een duurzaam, veilig, betrouwbaar en efficiënt transportsysteem is een bepalende voorwaarde voor het goed functioneren van onze samenleving en economie. Doelstelling van de vraaggestuurde programma's (VP's) Logistiek en Mobiliteit is om kennis op te bouwen van meetmethoden en modelconcepten op het gebied van mobiliteit en transport van personen en goederen, die bedrijven en overheden handelingsperspectief geven in relatie tot hun doelstellingen. Op de volgende vijf thema's is in 2020 voortgang gerealiseerd:

- 1. Mobility-as-a-Service (MaaS):** Er is in 2020 verder gewerkt aan kennisontwikkeling voor een innovatief modelinstrumentarium voor het bepalen van (maatschappelijke) impacts van MaaS, inclusief de rol en bijdrage van nieuwe mobiliteitsconcepten daaraan. Dit is gedaan door een nieuwe categorisering van vervoerwijzen te maken die het modelleren van MaaS makkelijker en sneller zal maken. Hiermee zijn de eerste scenario's met deelmobiliteit als voor- en natransportmiddel reeds doorgerekend. Daarnaast zijn diverse reken- en analyse tools ontwikkeld waarmee pilots ondersteund worden. Dit betreft een tool voor het verkennen van verkeers- en milieueffecten van pilots met innovatieve stedelijke vervoersconcepten (bijvoorbeeld automatische shuttlebusjes), een tool voor effectbepaling van pilots op sociale inclusie en een business model tool voor het bepalen van de (financiële) haalbaarheid en aantrekkelijkheid van te piloten concepten. Verder is een Governance framework voor New Mobility ontwikkeld en toegepast op MaaS waarmee de relevante governance aspecten op gestructureerde wijze in kaart gebracht kunnen worden.
- 2. Smart & Safe mobility:** In 2020 is gewerkt aan het ontwikkelen van een innovatief modelinstrumentarium voor het bepalen van veiligheidseffecten van 'Advanced Driver Assistance Systems' (ADAS) en 'Connected and Cooperative Automated Mobility' (CCAM), met bouwblokken op verschillende niveaus (voertuig, verkeersstroom, stad/regio/maatschappij). Hiermee is een eerste betekenisvolle stap gezet om te kunnen sturen op veilige introductie van ADAS en CCAM. Diverse bestuurder/voertuigmodellen zijn aangepast op basis van praktijkdata over rijgedrag, en de koppelingen tussen modellen van verschillende detailniveaus zijn verbeterd. Verder is gewerkt aan modellen en (AI-)algoritmen voor cybersecurity en voor 'competence assessment' wat belangrijk is om automatisch rijden veilig te introduceren. Er is een eerste stap gezet richting methoden om de veiligheid van Hyperloop (en andere nieuwe mobiliteitsconcepten) te kunnen testen en certificatie mogelijk te maken. Tot slot is het potentieel van connectiviteit in mobiliteit (waaronder 5G-toepassingen) verkend.
- 3. Logistiek:** In 2020 verkenden diverse projecten middels onderzoek óf en hoe logistieke innovatie kan bijdragen aan het realiseren van klimaatdoelstellingen en het verhogen van de efficiency, om deze vervolgens bij succesvol resultaat middels demonstratieprojecten te laten landen in de sector. Zo is er onderzocht hoe zelforganisatie en sensoriek (internet of things) in de logistiek vormgegeven kan worden en welke baten dat oplevert voor duurzaamheid, logistieke efficiency en nieuwe business modellen. Op de onderwerpen datadelen en cybersecurity zijn stappen gezet om een proof-of-concept voor een voor logistiek geschikte datadeelinfrastructuur te ontwikkelen, is bekeken hoe blockchain technologie ingezet kan worden, en wat voor handelingsperspectief er is op cybersecurity voor logistieke bedrijven. Verder is met data uit veldtesten met (konvoeien van) vrachtwagens geëvalueerd wat konvooirijden kan betekenen voor de rol van chauffeurs, het brandstofverbruik, de emissies en voor de logistieke business case.
- 4. Duurzame mobiliteit:** In 2020 zijn de meetmethoden voor het bepalen van emissies van voertuigen (inclusief non-road mobile machinery) uitgebreid om recht te doen aan ontwikkelingen in het wagenpark, mobiliteit en maatschappij (o.a. monitoren van elektrische voertuigen, inzet mobiele meetsystemen op de weg en bijvoorbeeld op de bouwplaats, meten ongereguleerde stoffen). Er is gewerkt aan de duiding van (praktijk)emissies van voertuigen, het ontdekken en tegengaan van sjoemelen / manipulatie en het bieden van handelingsperspectief om emissies te verminderen. En er is gewerkt aan de benodigde kennis en een instrumentarium voor het bepalen op welke manier diverse duurzame brandstoffen het best ingezet kunnen worden in mobiliteit (voor diverse modaliteiten en typen aandrijflijnen).
- 5. Modellen:** Bij dit thema lag in 2020 de focus op de ontwikkeling van concepten voor strategische modelleervraagstukken die in verschillende modellen/tools kunnen worden geïmplementeerd. Vernieuwing vond o.a. plaats op het gebied van het genereren van populaties (van reizigers), parkeer Capaciteiten, het omgaan met hublocaties en de categorisering van vervoerwijzen zodat nieuwe (deel)systemen goed gemodelleerd kunnen worden. Ook is gewerkt aan een zeer substantiële versnelling

van de rekentijd modellen en de koppeling van de verschillende modelconcepten, zodat een sluitende keten van modelconcepten ontstaat die voor strategische toekomstverkenningen, investeringsbeslissingen en beleidsontwikkeling en -bijsturing gebruikt kan worden.

| | |
|---------------------------------|--|
| Titel | VP Smart Traffic and Transport (P402) |
| MTIB Thema | Mobiliteit / Missie D+, Toekomstbestendige Mobiliteitssystemen |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Marieke Martens (SD), Marika Hoedemaeker (VPM) |
| Contactpersoon Regievoerder | Marc Hendrikse, Leo Warmerdam (HTSM), Ron Borsboom (HTSM/Automotive) |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

The VP Smart Traffic and Transport consists of one program: Smart Vehicles. This program focuses on the realisation of a smart and safe mobility system. It deals with 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 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 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 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 behaviour of users and other traffic participants, society, business and legal aspects are taken into account. In 2020 we continued to increase safe operation and enlarge the operational design domain of automated vehicles, for example by taking more information from sources outside the vehicle into account, resulting in better performance (safety and driver comfort) including more complex manoeuvres on highways and towards full automation at lower speeds in confined and urban areas. The effect on the users was taken into account by further developing human factor knowledge and facilities. More insight into behaviour and interaction with traffic will be obtained via further developing the scenario-based assessment methodology Streetwise.

Highlights of 2020:

Development of Nudging Concepts for traffic safety: TNO developed and implemented a hazard prediction model to provide input to a nudging HMI that we integrated in one of our laboratory vehicles as a head-up display, in between the steering wheel and the windshield. The HMI (size of a mobile phone) aimed to direct the attention of the driver to those areas in their field of view in which increased hazard is expected, especially from bicyclists crossing from a side-road. A field trial was designed and executed with 23 naïve subjects to determine the effectiveness of the nudge in directing driver attention.

Determined the effectiveness of measures that nudge people in traffic to behave more safely. It was shown in the field trial, that 56% of the drivers look more in the direction of the predicted hazard as a result of the nudge. 64% of drivers decreased speed under the influence of the nudge, though the average speed decrease was less than 1 km/h in 30 and 50 km/h speed limit zones. The latter was considered a positive outcome as drivers did not overreact in their response. Most drivers indicated they had not even been aware of the presence of the nudging system.

Finalization of the functional specifications for multi-brand platooning. The specifications were aligned and established with all European Truck Manufacturers who are implementing them on their trucks.

First multi-brand tests with Scania, Volvo and MAN on a test track. This was a first step in the full multi-brand platooning implementations. More tests and demonstrations will follow in 2021.



Finalized the development of an algorithm that determines the competence assessment of automated driving. With this algorithm an automated vehicle (without a driver) can determine in real traffic situations how confident it is with the control of the current situation. In case the confidence is low, control can be given back to the human driver.

Integration of AMCL & scan-matching algorithms for global localization of automated vehicles.

Finalized a feasibility study on the benefits of bicycle to car communication in Automated Driving Cars (see picture).

Development of an algorithm to detect anomalies in vehicle to infrastructure communication (V2I), which indicate a cyber security threat.

| | |
|---------------------------------|--|
| Titel | VP Sustainable Traffic and Transport (P405) |
| MTIB Thema | Mobiliteit / Missie D+, Toekomstbestendige Mobiliteitssystemen |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Marieke Martens (SD), Marika Hoedemaeker (VPM) |
| Contactpersoon Regie-voerder | Marc Hendrikse, Leo Warmerdam (HTSM), Ron Borsboom (HTSM/Automotive) |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

The VP Sustainable Traffic and Transport consists of one programme: Sustainable Vehicles. This program focuses on the development of concepts and technologies that contribute to the transition towards climate neutral mobility. More precisely, 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 mobility of people and for transport of freight. The program is aligned with the top sector HTSM Roadmap Automotive and aims to strengthen the competitive position of the Dutch automotive and mobility industry.

The TKI HTSM Roadmap Automotive⁷ 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’, and is focused on the realization of sustainable vehicles. The goal is to support mainly industry, but also government, 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 Agreement⁸ and the Dutch Klimaatakkoord⁹. TNO is committed to the development of validated models, methodologies, tool-suites and the demonstration of solutions that result in optimal use of engine/propulsion technology for road vehicles (long-haul, city-bus), vessels and stationary applications.

In the coming years, the work will be more strongly aligned than is already the case with MMIP 9 & 10¹⁰ on innovative propulsion and the use of alternative energy carriers in mobility and transport. MMIP 9 & 10 is part of the mission oriented knowledge and innovation agenda (IKIA), which is 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).

⁷ https://www.hollandhightech.nl/sites/www.hollandhightech.nl/files/inline-files/Roadmap-Automotive-v1.1_Signed.pdf

⁸ https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en

⁹ <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatakkoord>

¹⁰ <https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/11/07/mmip-9-en-10-emissieloze-mobiliteit>

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.

These are some examples of milestones that were reached in 2020:

- Demonstration of novel combined virtual and physical testing environment for energy management of an electrified vehicle with E-dolly;
- Realization of single cylinder engine (H2-ICE) platform for hydrogen combustion research;
- Engine demonstration of Euro-VI CH4 emissions for highly efficient RCCI concept using natural gas;
- Realization of vehicle simulation tool for development of geofencing strategies for hybrid electric vehicles;
- Extension of existing TCO assessment tool for hydrogen-based solutions, i.e. H2-ICE and fuel cell.

| | |
|---------------------------------|--|
| Titel | VP Maritiem & Offshore (P311) |
| MTIB Thema | Water |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Arjen Adriaanse (SD), Sander Dragt (VPM) |
| Contactpersoon Regie-voerder | Dr. Bas Buchner (TKI Maritiem) |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

Nederland is een knooppunt voor ontwerp, bouw, beheer en onderhoud van maritieme en offshore systemen. Grote maatschappelijke ontwikkelingen zoals de energietransitie en toenemende digitalisering zijn uitermate belangrijk voor de sector. Als kennisinstituut draagt TNO bij aan het versterken en duurzaam ontwikkelen van de sector. Door het uitvoeren van toegepast onderzoek, in samenwerking met overheid, industrie en kennispartners, en als onafhankelijk instituut voor advies en beleidsontwikkeling voor de overheid.

Samenwerking in de sector is onmisbaar, daarom sluit het onderzoek van TNO aan bij de doelen en thema's van Topsector Water (Winnen op Zee, Schone Schepen, Slim en Veilig Varen en Effectieve Infrastructuur), Topsector Energie (Offshore Wind) en de Meerjarige Missie gedreven Innovatie Programma's (MMIP). Daarnaast leveren wij een bijdrage aan het opstellen en uitvoeren van de voor de sector relevante Kennis en Innovatie Agenda. Ten slotte hecht TNO veel waarde aan de samenwerking binnen onder andere GROW, JIC iBotics en het DOTC.

Ons maritieme onderzoek richt zich op vier thema's, samenvattend:

Smart Megastructures. Ons onderzoek heeft als doel om nieuwe en bestaande M&O systemen, opererend onder de meest extreme omstandigheden, veiliger en betrouwbaarder te maken. Hiervoor zijn afgelopen jaar modellen gemaakt en gevalideerd voor corrosievermoeiing (offshore windturbine constructies) en is een grote composieten scheepsbox (2x2x8m) getest tot twee keer de ontwerpbelasting.

Green Maritime Performance. TNO zet in op het versnellen van de energietransitie en het behalen van de doelstellingen rondom verduurzaming uit de Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens (C-230) en doelen van de IMO. Dit doen wij door samenwerking te initiëren en technologie te ontwikkelen rondom alternatieve energiedragers, zoals methanol, en het combineren van emissiemetingen aan boord en aan de wal met scenario ontwikkeling. Ten slotte wordt gewerkt aan nabehandelingssystemen, voor reductie van CO2, Nox en methaanslib.

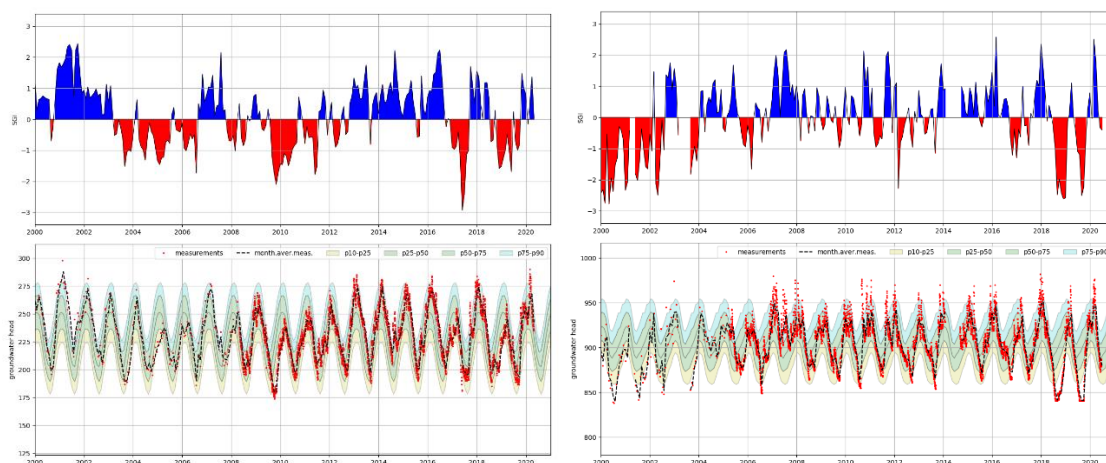
Underwater Acoustics. TNO is een internationale speler op het gebied van meten, analyseren, modelleren, valideren en reduceren van onderwatergeluid. Met deze kennis ondersteunt TNO overheden bij het ontwikkelen van beleid, en de industrie bij (kosten-) effectieve inzet van mitigerende maatregelen. Afgelopen jaar ontwikkelden wij geluidspropagatiemodellen en zijn meer dan 1200 gedetailleerde geluidskarten van de Noordzee gerealiseerd, om inzicht te geven in de geluidsniveaus en -bronnen.

Operations at Sea. Samen met partners werkt TNO aan de ontwikkeling en validatie van onbemande, op afstand bestuurd en autonome systemen. Deze systemen vergroten de veiligheid en effectiviteit van logistiek, inspectie, onderhoudsoperaties en monitoring van het ecosysteem. Dit doen wij door het fuseren van sensordata, wat leidt tot efficiëntere en nauwkeurigere metingen. Afgelopen jaar is een demo ontwikkeld waarbij alle sensordata van onderwaterinspecties bij de zeesluizen in IJmuiden zijn samengevoegd in een interactieve 3D omgeving (virtual reality). Dit geeft de betrokken stakeholders toegang tot één compleet overzicht met alle informatie.

| | |
|---|---|
| Titel | VP DeltaTechnologie (P508) |
| MTIB Thema | Water |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Arjen Adriaanse (SD), Adri Vervuurt VPM) |
| Contactpersoon Regievoerder | Rob Hofman (RWS) Rob Koster (KPNK - TKI Deltatechnologie) Programmacommissie Deltatechnologie (PCDT) |
| Programma jaar 2020 - Samenvatting | |
| <p>Het vraaggestuurde programma Deltatechnologie richt zich vooral op het waarborgen van de veiligheid in het civiele domein. Dit betreft onder andere de constructieve veiligheid van droge en natte kunstwerken, de waterveiligheid en de waterzekerheid.</p> <p>Een groot deel van de Nederlandse kunstwerken is medio vorige eeuw of nog eerder aangelegd en komt aan het einde van haar technische ontwerplevensduur. Uitgaande van de huidige beoordelingskaders en rekening houdend met klimaatverandering en de toegenomen belasting, is de rekenkundige veiligheid van veel constructies onvoldoende. Hierdoor ontstaat een toenemende vervangings- en renovatieopgave met grote investeringen om de beschikbaarheid en de betrouwbaarheid in stand te houden.</p> <p>De huidige norm- en regelgeving leidt voor specifieke toepassingsgebieden over het algemeen tot een conservatieve beoordeling van de veiligheid ('te veilig'). Door het gebruik van volledig probabilistische, 'boven-normatieve beoordelingen', blijkt veelal dat het veiligheidsniveau in werkelijkheid hoger is dan mag verwacht op basis van de huidige normatieve modellen. Op basis van een dergelijke beoordeling ontstaat ruimte voor het spreiden van vervangingen in de tijd en kunnen constructies langer in stand worden gehouden. Zo worden voorkomen dat onnodig veel kosten worden gemaakt voor (te vroege) vervanging.</p> <p>Voor het uitvoeren van boven-normatieve beoordelingen van bestaande constructies staan momenteel nog onvoldoende middelen ter beschikking. De focus van de kennisontwikkelingen binnen het VP Deltatechnologie betreft de technische vraagstukken aangaande deze constructieve beoordeling van (waterbouwkundige) constructies.</p> <p>Het onderzoek leverde in 2020 verschillende nieuwe inzichten op. Zo is een meetprotocol ontwikkeld voor het betrouwbaar meten van de dikte van stalen damwanden. Het meetprotocol is inmiddels geïmplementeerd in de Nationale Praktijk Richtlijn Corrosie. Daarnaast is een plan van aanpak opgesteld voor het bepalen van de correlatielengte waarmee de probabilistische modellen voor de voorspelling van schade kunnen worden gevoed.</p> <p>Daarnaast is onderzoek gedaan naar de bepaling van het zogenaamde jaargebonden veiligheidsniveau waarin rekening kan worden gehouden met de resultaten van inspecties en metingen (bewezen performance). Hiertoe is een code ontwikkeld waarmee een eindige elementen model op basis van metingen kan worden gekalibreerd zodat nauwkeurigere voorspelling kunnen worden gemaakt.</p> | |
| Titel | VP Karakterisering en Dynamiek Samenstelling Grondwater (P310) |
| MTIB Thema | Water |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | DM: Tirza van Daalen VMP: Willem Jan Zaadnoordijk |
| Contactpersoon Regievoerder | Rob Koster (TKI Deltatechnologie) Marcel Paalman (TKI Watertechnologie) Justine Oomes (ministerie EZK) Hans Gerritsen, Harry van Manen (RWS) |
| Programma jaar 2020 - Samenvatting | |

De beschikbaarheid van voldoende water van de juiste kwaliteit is een belangrijke randvoorwaarde voor de samenleving. Een groot deel van het water wordt uit de ondergrond gewonnen. Dit VP richt zich op de processen in de ondergrond die bepalend zijn voor de kwantiteit en kwaliteit van het grondwater. Bedreigingen voor het grondwater zijn o.a. uitspoeling uit landelijk en stedelijk gebied, dalende grondwaterstand, verzilting en conflicterende gebruiksbelangen, bijv. in relatie tot warmte- en koudeopslag (WKO) en geothermie. Dit vereist informatie en kennis ten aanzien van de dynamiek en de samenstelling van het grondwater als ook de geohydrologische opbouw van de ondergrond.

In 2018 zijn vier onderzoeksvoorstellen binnen het thema grondwater gehonoreerd voor GeoERA, het ERANET-programma dat de EC heeft goedgekeurd en dat uitgevoerd wordt door de Europese geologische diensten met TNO-GDN als penvoerder. Het KarDySaG-onderzoek wordt deels uitgevoerd binnen deze GeoERA-projecten, waarbij ook Nederlandse stakeholders betrokken zijn. Hierbij wordt samengewerkt met Deltares op het vlak van grondwaterkwaliteit en -kwantiteit. De projecten lopen tot medio 2021.



Figuur 1 Gestandaardiseerde grondwaterindex (boven) en regimecurve met metingen (onder) voor meetpunt in het westen (Kennemerland, links) en het oosten (Twente, rechts) van Nederland.

In 2020 is vooral gewerkt aan de verbinding tussen grondwatersamenstelling en -ouderdom, de werking van het grondwatersysteem en de tijdvertraging in de verspreiding van opkomende stoffen in het grondwater, aan gebruik van geleidbaarheidsonderingen in combinatie met electromagnetisch onderzoek met een helikopter voor betere karakterisatie van opbouw van de ondergrond en zoutconcentratie in het grondwater, aan ontwikkelen van tijdreeksmodellering voor detecteren van verandering in het grondwatersysteem, en aan het ontwikkelen van informatieproducten in relatie tot energie. Ook is gewerkt aan droogte-indicatoren, waarbij onderscheid tussen droogte (minder water dan normaal), klimaatverandering (verandering van wat normaal is) en menselijke invloed van belang is. Bij dit laatste krijgt verstedelijking in het algemeen te weinig aandacht.

| | |
|---------------------------------|--|
| Titel | VP Arbeid & Gezondheid (P204) |
| MTIB Thema | Gezondheid en Zorg |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Seth van den Bossche |
| Contactpersoon Regievoerder | Henri Géron (Ministerie van Sociale Zaken & Werkgelegenheid) |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

Doel van het Vraaggestuurde Programma Arbeid is om kennis en innovaties te ontwikkelen voor een toekomstbestendige arbeidsmarkt met een hoge kwaliteit van werk. Het programma omvat drie hoofdlijnen: 1. Sustainable work, 2. Future of work en 3. Inclusive work. Deze hoofdlijnen zijn tot stand gekomen in samenspraak met het ministerie van SZW. Voor een uitgebreide samenvatting van de programmaresultaten in 2020 verwijzen we naar het SZW-jaarverslag VP Arbeid 2020.

Het ministerie van SZW heeft in 2020 evenals in voorgaande jaren een aanvullende Rijksbijdrage ter beschikking gesteld aan TNO. Deze omvat drie onderdelen:

1. Maatschappelijk Programma Arbeidsomstandigheden (MAPA, gestart in 2018)
2. Kennisprogramma Inspectie SZW (KIS, gestart in 2018)
3. Kennisprogramma Werkgeversinterventies Arbeidsmarktdiscriminatie (KWA, gestart in 2019)

Highlights 2020:

Start internationale samenwerking op het gebied van toegepast 'Working-Life Exposoom' TNO, NIOSH & HSE.

Doorontwikkeling Technology Impact Methode (TIM) ten behoeve van innovatie-adoptie bij organisaties, in samenwerking met diverse partners.

Lancering innovatieve matchingsaanpak 'De Paskamer' House of Skills, in het kader van het House of Skills-project: inmiddels gebruikt door 1.200 deelnemers.

Oplevering van blauwdruk Startmotor Rotterdam, waarmee werkgevers, werknemers, onderwijs, gemeenten en maatschappelijk middenveld integraal op Rotterdam Zuid werk zullen maken van de door- en instroom van praktisch geschoolden werknemers en werkzoekenden.

TNO bijdragen aan WRR-advies 'Het betere werk' en advies van commissie Regulering van werk (Commissie Borstlap), waarin stevig gebruik is gemaakt van inzichten uit TNO-monitordata en -publicaties. Beide adviezen zullen aanzienlijke maatschappelijke impact hebben en belangrijke input vormen voor de aanstaande onderhandelingen over een nieuw regeerakkoord.

| | |
|---------------------------------|--|
| Titel | VP Jeugd: Gezond, Veilig en Kansrijk opgroeien (P211) |
| MTIB Thema | Gezondheid en Zorg |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Simone Detmar |
| Contactpersoon Regievoerder | Alice van Gent (VWS) |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

Het programma Jeugd: Gezond, Veilig en Kansrijk Opgroeien richt zich op kinderen en jongeren vanaf preconceptieperiode tot jongvolwassene met als doel dat ieder kind zo goed mogelijk kan participeren in de maatschappij. Om dit doel te bereiken ontwikkelen, implementeren en evalueren we onderbouwde kennis en innovaties voor het hele jeugdveld, zowel regionaal, landelijk als internationaal. We hebben hierin drie kennislijnen geformuleerd: 1) versterken 1e 1000 dagen; 2) advisering en vroeghulp op maat en 3) versterken (regionale) samenwerking op het terrein van jeugd.

Er is veel aandacht voor het ontwikkelen van methodieken mbt het versterken van kwetsbare groepen, zoals voor mensen met lage gezondheidsvaardigheden. We werken met en voor vele (landelijke) organisaties. Onze belangrijkste partners zijn: ZonMw, NCJ, RIVM, KNOV, NJI, Bernard van Leer Foundation, BMGF en diverse gemeenten, universiteiten en hogescholen.

In 2020 is, vanwege COVID, veel aandacht naar het ontwikkelen van digitale en gepersonaliseerde zorg en preventie gegaan. Dit is gedaan samen met vele partners in het veld en in nauwe samenwerking met VWS.

Highlights 2020:*Versterken 1e 1000 dagen*

1a) online modules ontwikkeld voor centering methodiek

1b) pilot uitgevoerd versterken zelfmanagement tijdens zwangerschap.

1c) Do it yourself ontwikkelingsonderzoek versneld geïmplementeerd (ouders meten zelf de ontwikkeling van hun kind).

Advisering en vroeghulp op maat

2a) pilot slimme richtlijnmodule binnen I-JGZ. Afsluiten PPS met partners Health deal voor -ehealth binnen JGZ.

2b) ontwikkelen/piloten strategieën compliance COVID maatregelen. Aansluiten met advisering bij gedragsunit RIVM

2c) whitepaper weerbaarheid kinderen/jongeren uitgebracht. Effectieve interventies ontwikkeld voor kinderen gescheiden ouders.

Versterken (regionale) samenwerking op terrein van jeugd

3a) Oprichten van regionale kenniswerkplaats (door ZonMw ondersteund) van leernetwerken met focus op implementatie van kennis in de regio Midden Holland, Holland Rijnland en Haaglanden.

3b) Ontwikkeling effectieve Implementatiestrategieën

| Titel | VP Biomedical Health (P203) |
|---------------------------------|--|
| MTIB Thema | Gezondheid en Zorg |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Sandra Eikhout (DM), Ivana Bobeldijk (VPM) |
| Contactpersoon Regie-voerder | LSH: Nico van Meeteren |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

The goal of this program is to help professionals and industry to efficiently develop (personalized) treatments to maintain health and well-being and to prevent or cure diseases, with the main focus on metabolic and immune health.

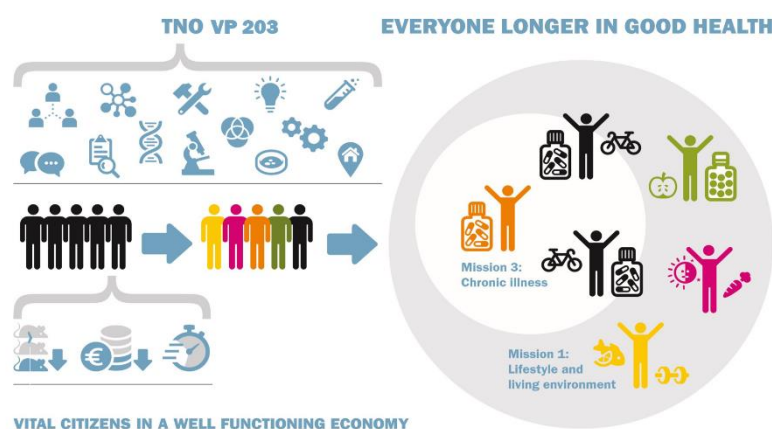
This goal supports the mission of Top Sector Life Sciences and Health (LSH), Vitally functioning citizens in a healthy economy, and will also effectively contribute to solving one of the main societal challenges, Health & care, identified by Ministry of Health, wellbeing and sports (VWS). The goals of the program were aligned with both LSH and VWS.

In 2020, In addition to innovation in two lines, “Tools and technologies for Efficient drug (and other intervention) development” and “Improvement of metabolic and immune health” we also Reacted to the Covid-19 pandemic and contributed to development of short detection methods and proposed lifestyle interventions that support a healthy immune system. The developments were aligned with external parties (Health Holland, VWS, ZonMW).

Just as in the previous years, Early Research Programs Organ-Function on a chip, Personalised

Health and Body and brain were very important contributors to Biomedical Health, feeding the program with new technology for both lines. We continued collaborations with Optics(Industry) and EMSA (CEE) in the area of sensor development for non-invasive detection and monitoring of health and early disease risk. The implementation of these sensors and wearables will contribute to prevention and more adequate and personalized management of chronic diseases. We further pursued the shift in the application and development of knowledge from food production to health effects of food and measurements of health effects in general, this is reflected in the recently started PPP projects. 2020 was a year with special attention to (virus) disinfection methods. With a strong microbiology work, TNO re-started viral activities and contributed to testing of respiratory materials during the shortage.

We started a number of AI-supported innovations in the area of mechanism based drug discovery. With our knowledge on disease mechanisms, strong bioinformatics group, in-vitro and in-vivo models, we will develop workflows that will help Pharma industry to select better targets. We setup a number of multidisciplinary projects incorporating biomedical research, medical technology (non-invasive sensors) and behavioral research to support our governments mission in prevention and for longer healthier lives.



The impact of the Research Program is visible in the media, where we received attention for activities and latest developments of the LifeStyle4Health initiative that started in 2018. It is clear that Lifestyle interventions can help support immune health that is needed in times of Covid pandemic. TNO scientists were interviewed for several radio and TV programs as well as for popular publications with respect to development of a fast Covid-19 detection method. We published more than 30 scientific papers, our leading scientists were invited speakers on tens of (digital) conferences and we also contributed to the education and training of young scientists, with several master theses which were supervised within projects of Biomedical Health.

We can conclude that 2020 was a very successful third year of the strategy period 2018-2021. Research Program Biomedical Health will stay focused on technologies for efficient drug development and continue to develop intervention strategies for improvement of metabolic and immune health. Also in 2021 we plan to develop new project consortia which will help us to realize our ambition: Based on our knowledge on metabolic and immune related diseases, we are a recognized and acknowledged partner for industry and professionals as innovators of pre-clinical and clinical technologies.

Our technologies and knowledge, such as detection of viruses and pathogens, measurement of biomarkers, stratifications of patients, knowledge of the mechanisms of onset of metabolic disorders, combined with methods to influence behavior enable the effective development of personalized interventions for prevention, delay or reversal of (chronic) disease, including support of immune health and thus help to both reduce healthcare costs and enable vital functioning of citizens in our society.

| Titel | VP Digital Health Technologies (P210) |
|---------------------------------|---|
| MTIB Thema | Gezondheid en Zorg |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Sandra Eikhout (DM), Jildau Bouwman (VPM) |
| Contactpersoon Regievoerder | Nico van Meeteren (LSH) |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

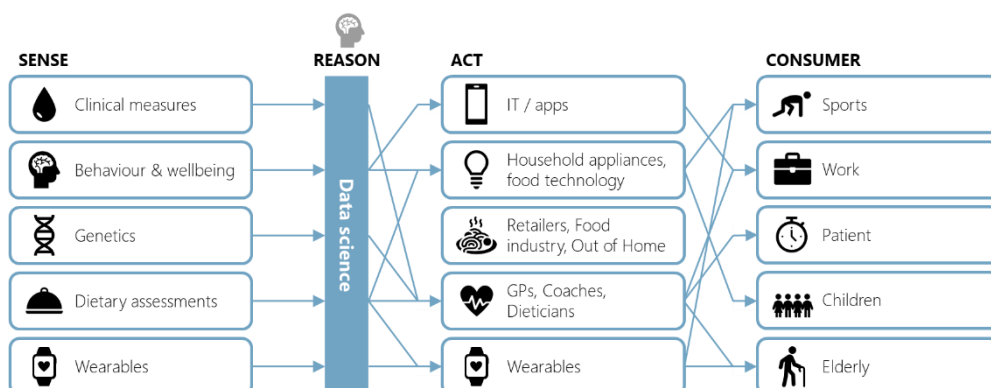
The Digital Health Technology roadmap/program (VP) was started on the 1st of January 2018. The main goal is to develop technology to assist both patients and healthy individuals by offering guidance about their health and lifestyle and by increasing their health over the life cycle. Although digitalization of health care holds the promise of better and more efficient health, especially for lifestyle related diseases there are still challenges. Interoperability and management of health and consumer data and new digital services targeted for personalized advice on lifestyle are the most important ones. Therefore, we aim to bring together biomedical knowledge, data and information technology services and solutions as well as knowledge about lifestyle change and behavior. This program supports the other Healthy Living programs, Work, Child and Biomedical health.

Data & knowledge collection and management (sense), modeling of the data (reason) and giving advice on the data (act) are the key areas of this program.

In 2019 collaboration with initiatives and companies that focus on non-invasive measuring of human health has been started (e.g. Holst centre), which has been intensified in 2020 with a strategic collaboration.

Data and knowledge management requires privacy-by-design solutions that request dynamic consent and full transparency of reuse of data for the individual. On this subject the unit ICT and HL work together intensively, in joined projects and development of business opportunities.

The public-private consortia focused on the health consumer (Connect2HealthConsumer) was started in 2020. The initiative shows the use of the concept of the 'Personal Health Train (PHT) in for the health consumer. The principle of PHT is that it leaves data at the source and sends algorithms to the data instead of collecting data in a central data repository.



For the Artificial intelligence (AI) developments for lifestyle and prevention we have joined the Netherlands AI coalition and are leading the team 'lifestyle and prevention' within the working group 'Health and Care'. The concept of personalized health was presented at an APPLAI webinar.

From this DHT program input on several NWA proposals has been given and we have started writing some proposals for H2020, that are either focused on data reuse or analysis or on personalized health.

The year 2020 was the last year of the PPS project Personalized Nutrition and Health (PPS PNH). One of the highlights for TNO is the development of Smart Food Intake Technology to quantify food intake. Quantification of food intake is challenging but is needed for accurate lifestyle change.

This year was also the last year for the H2020 project Power2DM. The POWER2DM (Predictive model-based decision support for diabetes patient empowerment) project proposal was awarded the highest score among 184 submitted proposals. The Power2DM system supports the healthcare professionals in shared decision making, supports and interacts with patients during self-management periods and offers support for patients in achieving their self-management goals using motivational messaging.

| | |
|---------------------------------|--|
| Titel | P511 VP Human Health RM Nano |
| MTIB Thema | Gezondheid en Zorg |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Sander Eikhout (DM), Wouter Fransman (VPM) |
| Contactpersoon Regie-voerder | Health Holland, Nico van Meeteren |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

As one of the Key Enabling Technologies, nanotechnology has emerged in a broad area of industries and applications. By the time regulators became aware of potential omissions in guidance and guidelines addressing the nano-specific nature of chemical substances and products, products were already on the market. This lack of timely alignment has formed a crucial hurdle to appropriately govern the risks of nanotechnology. The public currently also remains unsure about nanomaterials / nanotechnology and potential human health risks, while they would benefit greatly from the use of nanomaterials in innovative materials, products and applications. TNO develops knowledge to assist industries in taking into account the safety of their (nano)product during the innovation of new materials and products. TNO invested in this VP Human Health Nano in the development of innovative tools, guidance and training to support safe innovation and risk governance for innovative SME, sector organizations and industry in the absence of clear guidance and regulations.

The activities of VP Human Health Nano in 2020 consisted of collaborative work in various H2020 EU projects (Gov4Nano, SbD4Nano, PeroCUBE, Nano-/microplastics) and have resulted in the development of various innovative risk assessment models into a toolbox containing: LICARA nanoSCAN, FNN Hotspotscan, Guidenano Tool, SUN Decision Support System, caLIBRAtE system-of-systems, NanoSafer, Stoffenmanager Nano, the Future nano Needs Bayesian belief network, and NanoRiskQuantifier. Further results in 2020 have been the development of Safe-by-Design (SbD) and Safe Innovation principles and linkage to the regulatory process with the granting of two major H2020 NMBP projects (HARMLESS and RISKHUNT3R), which will start in 2021. Extensive knowledge on the effectiveness of Risk Management Measures to mitigate exposure to nanomaterials has been established and has been built into an online searchable tool ECEL (<https://diamonds.tno.nl/#ecel>).

Through the participation of TNO, also the Dutch Nanocentre (www.nanocentre.nl) has been further promoted in 2020, as a national nano-safety platform, and various questions from industry to this platform have been answered. Furthermore, based on TNO's broad expertise of nano projects, we should be also prepared for the next generations of materials in nanotechnology. Up to know, we did a lot of incredible work with the first generation of nanomaterials – the passive nanostructures. Within VP Human Health Nano in 2020, we studied and summarized the application of this knowledge for future generations of nanomaterials / nanotech. For future and emerging technologies such as nanotechnology, clear communication about the state of the art, knowledge, concepts about risk perception, transparency about dealing with uncertainties is of utmost importance and help to influence the risk perception of the public regarding nanomaterials, increase their market value and help companies in anticipating potentially conservative regulations. TNO's work in 2020 resulted in clear conclusions and communication on nanomaterial health risks for the commercial success of nanomaterial innovative research and implementation in Europe.

| Titel | VP Sociale Innovatie (P207) |
|---------------------------------|---|
| MTIB Thema | Gezondheid en Zorg |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Sandra Eikhout (DM), Steven Dhondt (VPM), Tim Bosch |
| Contactpersoon Regievoerder | Henk Gritter (EZK), Corine Cornelissen (EZK) |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

Smart Working is een deelprogramma van het (HTSM) Smart Industry initiatief dat zich richt op het creëren van omgevingen in de industrie die een hogere productiviteit mogelijk maken. Om dit doel te bereiken levert Smart Working verbeteringen op om het werk fysiek minder belastend te maken, om operators te ondersteunen bij hun cognitieve taken, en om werkomgevingen te creëren die motiverend en stimulerend zijn. Beter presterende operators zijn cruciaal om kritische processen in bedrijven te ondersteunen. In het programma worden robotica en digitale technologieën ingezet op de werkplek. De afzonderlijke projecten zijn gericht op exoskeletten, cobotica, cognitieve ondersteuningssystemen, slimme prikkels en digitale informatie in werksituaties. Het hoofdidee is dat de operators een maximale autonomie moeten hebben om deze tools te gebruiken in hun werksetting. Meer autonomie is een voorwaarde voor het genereren van de vereiste kennis en vaardigheden om met de noodzakelijke veranderingen om te gaan. Daarom creëren de projecten oplossingen die rekening houden met de fysieke en psychosociale eisen van de operators op de werkplek (ondersteuning met exoskeletten; augmented reality begeleiding voor operatoren; modellen om systemen aan te passen) en op organisatieniveau (workplace innovation; incentives in smart contracts).

Wetenschappelijk verbindt het programma verschillende sociaal-wetenschappelijke en technische perspectieven om operators in de kennisintensieve omgevingen te ondersteunen. Het levert hulpmiddelen voor het beoordelen van de effecten van technologische veranderingen en omvat het ontwerpen van werkomgevingen en organisatorische ontwerpen. Voor het succes van het programma moeten de disciplines Human Factors, informatietechnologie, organisatiewetenschappen en technische wetenschappen samen aan oplossingen werken. Naast een nieuwe set projecten is er geïnvesteerd in drie Fieldlab-omgevingen (RoboHouse (Smitzhe), BIC Flexible Manufacturing en Sharehouse) met mogelijkheden voor het ontwikkelen, demonstreren en testen van operator-ondersteunende systemen, exoskeletten en hybride cobot werkplekken.

Smart Working heeft een succesvol jaar achter de rug met het ontwikkelen van de projecten en het verwerven van een nieuwe set van lange termijn projecten en samenwerkingsverbanden. De huidige successen zijn de volgende:

- (1) TNO HORSE Competence Center in RoboHouse Delft: een montagewerkplek met AR-instructies;
- (2) Fieldlab Flexibele Productie op de Brainport Industry campus: diverse geïntegreerde cobot oplossingen en een human-robot samenwerking en AR gebied;
- (3) Sharehouse - het Living Logistics Lab in Rotterdam (STC): een omgeving voor testen;
- (4) Effectstudies in productiebedrijven met behulp van de ontwikkelde demonstrators: met metingen van productiviteitseffect, leertijd, kwaliteit en werklust, kosten & batenanalyse.
- (5) Ontwikkelde modellen: taaktoewijzingsmodel voor mens-robot interactie; de algemene architectuur van een systeemoplossing (mensgerichte architectuur); robot-menselijke samenwerking (taakplanner, schroefrobotapplicatie; integratie van robot, operator en AR-operator ondersteuningssysteem in één werkplek; kader voor de beoordeling van mens-robot samenwerkingsscenario's op kwaliteit van de arbeid criteria; opvolging van technologie en arbeid ontwikkeld en toegepast op 15 jobs. Plus een gebruikersgids ontwikkeld voor sectoren om hun monitoringactiviteit op te bouwen.
- (6) Onderzoek en netwerken: EU ADMA Support center; ontwikkeling van vaardigheden in de industrie (Paradigms-project); inclusief technologie thema binnen het SMITZH-programma; succesvolle validatie en experimenten binnen productiebedrijven (b.v. Thomas Regout International, KMWE, Senzer, Boers & Co), leergemeenschap binnen het FOKUS-project, verlenging van samenwerkingsverbanden en netwerken binnen het Fieldlab Flexible Manufacturing; opzetten en herontwerpen van het European Workplace Innovation Network (EUWIN); de samenwerking met het Ulbo de Sitter-instituut; de Stichting Registratie ergonomen (SRe).

| Titel | VP Veilige Maatschappij (P102) |
|---|---|
| MTIB Thema | Veiligheid |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Dr. T.W.J. van Ruijven |
| Contactpersoon Regievoerder | Mr. H. Hanoeman en drs. B. ter Luun (Ministerie van Justitie en Veiligheid) |
| Programma jaar 2020 - Samenvatting | |
| <p>Veiligheid is een voorwaarde voor welzijn en economische ontwikkeling. Veiligheid is niet vanzelfsprekend. De bedreigingen voor veiligheid zijn divers en veranderen voortdurend. De snelheid van ontwikkelingen is dusdanig dat het justitie- en veiligheidsdomein in hoog tempo moet innoveren om de dreiging het hoofd te kunnen bieden en Nederland veilig te houden.</p> <p>Voortbouwend op de ervaring opgedaan in de afgelopen jaren stelt het kabinet de economische kansen van maatschappelijke uitdagingen en sleuteltechnologieën centraal in het missiegedreven topsectoren- en innovatiebeleid (MTIB). Deze stap richt zich op een concrete vertaling van maatschappelijke uitdagingen naar missies en vervolgens in een gezamenlijke aanpak om die missies te realiseren. Veiligheid is één van de vier thema's in het MTIB. Om veiligheidsvraagstukken aan te pakken, zal volgens dit vastgestelde beleid steeds een combinatie van technisch, digitaal, sociaal, maatschappelijk, juridisch, gedragswetenschappelijk, organisatorisch, sociaalpsychologisch en (geo)politiek onderzoek nodig zijn¹¹.</p> <p>TNO draagt bij aan deze ambitie door met het Vraaggestuurd Programma Veilige Maatschappij (VPVM) relevante nieuwe kennis en technologie te ontwikkelen en deze te vertalen voor innovatieve toepassingen in de praktijk. TNO zet middels het VPVM in op een meerjarige onderzoeksprogrammering voor justitie- en veiligheidsorganisaties waarin kennisopbouwmiddelen van TNO worden gecombineerd met kennisinvesteringen van justitie- en veiligheidsorganisaties. Het doel van deze meerjarige programmering is toepassingsgerichte wetenschappelijke kennis op te bouwen en technologie te ontwikkelen op die onderwerpen die voor het justitie- en veiligheidsdomein het belangrijkste zijn.</p> | |

¹¹ Tweede Kamerbrief Missiegedreven Topsectoren- en Innovatiebeleid d.d. 26 april 2019

Binnen VPVM zijn in 2020 meerjarige programmeringen ingericht¹² waaronder onderzoek met de Dienst Justitiële Inrichtingen (DJI), het Nationaal Cyber Security Centrum (NCSC) en Regionale Informatie en Expertise Centra (LIEC en RIEC's) voor de bestrijding van ondermijnende criminaliteit. Om voor deze organisaties het verschil te maken, is de onderzoeksprogrammering gefocust op zes thema's (terrorismebestrijding, versterking strafrechtketen, crisisbeheersing, cybersecurity, intelligence en weerbare veiligheidsprofessionals) en drie focustechnologieën (AI-beslisondersteuning, robotica en *privacy enhancing technologies* (PET)). Onderstaand figuur geeft weer welke thema's in 2020 onderdeel uitmaakten van welke meerjarige samenwerking.

| | CYBER | CRIME | CRISIS | CTER | INTEL | PROF | ROBO | AI | PET |
|--------------------|-------|-------|--------|------|-------|------|------|----|-----|
| DJI | | ● | | | ● | ● | ● | ● | |
| Ondermijningslab | | ● | | | ● | | | | |
| Innovatieteam JenV | | | | | | | ● | ● | ● |
| BZ / GFCE | ● | | | | | | | | |
| NCTV | | | ● | ● | | | | | |
| NCSC | ● | | | | | | | | |
| OM | ● | ● | | | | | | | |

Enkele hoogtepunten uit de meerjarige samenwerking voor kennisopbouw in 2020 zijn:

- De ontwikkeling van een prototype dashboard voor het in kaart brengen van productielocaties van synthetische drugs en een *demonstrator* app om op deze locaties efficiënter en effectiever relevante informatie te verzamelen.
- Versnelde kennisopbouw ten aanzien van (video) analyse en maatregelen voor *crowd management* in het kader van de 1,5m samenleving in het project Unlock Amsterdam. Met deze kennis kunnen besluiten over het al dan niet openen van publieke locaties als het Rijksmuseum en de Arena worden onderbouwd.
- Validatie van eerder ontwikkelde AI-beslisondersteuning systemen voor het voorkomen en opsporen van onvindbare veroordeelden. Hiermee wordt het aantal onvindbare veroordeelden verlaagd en de pakkans van onvindbare veroordeelden vergroot.
- De realisatie van een *proof-of-concept* gedistribueerde infrastructuur voor *Multi Party Computation* (MPC), een privacy beschermende techniek waarmee data kan worden gebruikt zonder deze in te zien. De gedistribueerde infrastructuur maakt het mogelijk berekeningen en analyses uit te voeren met data van verschillende organisaties zonder dat deze data buiten de betrokken organisaties wordt gedeeld.
- De ontwikkeling en toepassing van de SELFI-methodiek waarmee maatschappelijke, ethische en juridische aspecten van toepassingen van nieuwe technologie in kaart kunnen worden gebracht. Door toepassing van deze methodiek kunnen beleidsmakers een beeld vormen van risico's en kansen van nieuwe technologie en waar nodig beleid aanpassen om de kansen van nieuwe technologie te benutten en de risico's te beheersen.

In 2021 zal voor VPVM dezelfde structuur worden aangehouden als in 2020. Wel wordt het aandeel verkennend onderzoek uitgebreid met als doel de inbreng van nieuwe kennis en technologie die relevant is voor meerdere organisaties in het justitie- en veiligheidsdomein te vergroten. Per technologie (robotica, AI-beslisondersteuning en PET) zal worden gefocust op concrete

¹² Naast het VPVM is een apart maar samenhangend kennisopbouwprogramma voor de Politie (KOP) ingericht.

use cases die binnen enkele jaren worden gerealiseerd, waar nodig en mogelijk met behulp van het bedrijfsleven in het kader van de KIA Veiligheid en de Meerjarige Missiegedreven Innovatie Programma's.

| | |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| Titel | VP Kennisopbouw Politie (P106) |
| MTIB Thema | Veiligheid |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Tjarda Krabbendam (VPM) |
| Contactpersoon Regievoerder | Drs. S.C. Hamelink |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

Veiligheid is een essentiële voorwaarde voor welzijn van de samenleving en economische ontwikkeling. Nederland staat voor complexe uitdagingen op het gebied van veiligheid. Denk hierbij aan de internationale instabiliteit, maatschappelijke onrust, terrorisme, voortschrijdende digitalisering en de overheersende rol van informatie, en georganiseerde en ondermijnende criminaliteit. Om hiertegen opgewassen te zijn is innovatie bij veiligheidsorganisaties van groot belang en de behoefte aan toegepast onderzoek ter versterking van de kennisbasis van veiligheidsorganisaties groot.

De politie is met 63.000 medewerkers de grootste veiligheidsorganisatie in Nederland. Het werken met *state of the art* intelligence en technologie is een strategische prioriteit van de politie. Kernactiviteiten van de Politie TNO samenwerking zijn: het inrichten van een gestructureerde kennisbasis ten behoeve van innovatie voor de politie; meerjarige kennisopbouw programma's op strategische thema's met uitwerking op de korte, middellange en lange termijn; het helpen bij de inrichting van een innovatie-ecosysteem (samenwerkingsmodel) voor de politie, bestaande uit kennisinstituten, wetenschappelijke instellingen, bedrijven en overheid.

TNO is als grootste kennisinstelling van Nederland een partner van de Politie in kennis en technologie. Politie en TNO investeren in een veiligheid specifieke kennisbasis. Dit gaat om kennis die alleen te verkrijgen is door deze op te bouwen in meerjarige toegepaste onderzoeksprogramma's. Hiermee wordt innovatie versneld en komen creatieve oplossingen tot stand voor bestaande en toekomstige uitdagingen van de politie en andere veiligheidsorganisaties.

Met het vraag gestuurde programma Kennisopbouw voor de Politie speelt de politie proactief in op het benutten van technologieën en innovatie. Onderwerpen van de politie met hoge innovatiebehoefte, passend bij de kennisbasis van TNO, staan centraal in de meerjarige programmering. De programmering sluit nauw aan op het Missiegedreven Topsectoren- en Innovatiebeleid en de daarmee samenhangende kennis- en innovatieagenda Veiligheid. Denk hierbij aan de meerjarige missiegedreven innovatie programma's op cyberveiligheid, aanpak georganiseerde criminaliteit, weerbare veiligheidsprofessional, data en intelligence.

Resultaten van het vraag gestuurde programma in 2020 zijn onder andere de uitkomsten van **technologieverkenningen** die zijn vastgelegd in een *innovation radar*, zodat de politie tijdig in kan spelen op kansen en bedreigingen die de technologische ontwikkelingen met zich meebrengen. Een Strategische Agenda Sleuteltechnologieën is opgesteld, waarin is ingezoomd op de toekomstige impact van technologiegebieden *Big Data* en *data analytics*, *Artificial Intelligence* en *Quantum Technology*. Ten behoeve van **politiewerk in het digitale domein** zijn interventietools ontwikkeld o.a. gericht op *phishing* en criminele carrièrepaden op het darkweb. Voor de vergroting van de **operationele slagkracht** van de politie is het **informatieproces versterkt** middels o.a. een (real-time) geografische voorspellingen AI systeem; en een (real-time) risicotaxatie model dat handelingsperspectief biedt voor meldingen over verwarde personen. Tevens is kennis voor **countering drones** en **techniek in opsporing** opgebouwd. Voor de **samenwerking** tussen de politie en de samenleving is o.a. een kader digitaal contact (tussen politie en burger) en een ethisch kompas gemaakt. Voor de **weerbaarheid van de politieprofessional** is een werkend prototype weerbaarheidsdashboard opgeleverd; is kennis opgebouwd om de weerbaarheid van jonge medewerkers te verbeteren; en werken politie, TNO en partners toe naar een persoonlijk monitoringssysteem voor politiemedewerkers. Tot slot wordt onder de naam **Smart Society** gewerkt aan technologie voor *crowd management* en gebiedsbeveiliging.

Kennisopbouw Politie is voor de periode 2018-2021 geprogrammeerd. In 2020 is gestart met de inventarisatie voor de invulling van de programmering 2022-2025.

| Titel | VP Cyber Risk Management and System Resilience (P103) |
|--|--|
| MTIB Thema | Veiligheid |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Ir. A.J.A. Vetjens, Director Market ICT; Ir.S. Wiarda, VP manager CRM&SR |
| Contactpersoon Regie-voerder | L. Roffel (HTSM/Security), Fred Boekhorst (Directeur Topteam ICT) |
| Programma jaar 2020 - Samenvatting | |
| <p>Digital security is an essential prerequisite for a prosperous society and a strong economy. The goal of the Vraaggestuurd Programma (VP) Cyber Risk Management and System Resilience (CRM&SR) is to ‘make the Netherlands digitally more secure and resilient while, at the same time, monetize the economic opportunities that cybersecurity brings’. This VP enables TNO, together with other knowledge institutions, governmental agencies and (cybersecurity) companies, to create an environment to experiment in order to develop and transfer innovations to the market. National security organisations and administrators of vital services must be equipped to recognize and interpret cyber threats and be supplied with both preventive fortifications and possibilities for repressive actions to ensure the continuity of vital services. Our focus on security automation will make the shortage in qualified cyber personnel manageable. It is TNO’s ambition to support its clients in the prevention of misuse, manipulation or theft of their information technology systems and data in the vital, government and commercial sectors. In 2020 we have achieved following results:</p> <p>Trusted ICT: TNO is continuously exploring how to leverage its broad and in-depth cyber expertise to develop unique and innovative cyber security technologies. New security monitoring technologies and valuable knowledge have been delivered to our stakeholders the past year and we will continue to do this in the coming years. The automation of cyber security is a growing necessity as the speed, volume and intelligence of hacks and attacks are surpassing human capabilities to counter them. The Trusted ICT cluster works in close collaboration with stakeholders that demand the highest level of expertise; the vital sectors of the Netherlands cyber security service providers and the Dutch financial sector. Together with several major vital partners such as Telecom companies, the cybersecurity solution suppliers and vital sectors (protection of e.g. waterworks, roads, energy) we developed knowledge and new concepts and technologies for security operations centres in order for them to be more efficient in withstanding attacks through cyber security automation. In 2020 a new 3 year partnership program with major banks and an insurance company was signed, continuing the unique collaboration that was started in 2014. We are constantly on the look-out how and where we can help our stakeholders in the vital sectors and industry. A swift detection of intrusions is becoming ever more complicated and has been a focus point of our cybersecurity group for more than a decade. Quantum computers will only present itself in 5 to 10 years, but pose a challenge for many governments and industries right now. Countries worldwide are investing heavily in quantum computing developments and besides the fact that the technology will create new disruptive innovations it also can be used to decipher the highest level of current cryptology quickly. TNO’s cryptology group is developing technologies to withstand the future quantum computer decryption power and is actively partnering up with organisations, governmental and industry, to protect crucial data and networks. TNO’s level of expertise in cryptology in the combination with the quantum computing knowledge gives us a leading position in quantum safe technology. The focus of the Trusted ICT cluster on security monitoring and detection, security automation and quantum safe technologies will continue to result in valuable technologies and knowledge which contribute to the cyber safety of our vital national infrastructures and Dutch industries.</p> <p>National Cyber Resilience: Our ambition is to empower national security organisations and critical infrastructure operators to address and minimise the risks and impact of cyber threats in an era where the digitization of our society is in a high state of flux. We aim to achieve this by enabling them to timely identify and assess cyber threats. And be able to assure the continuity of critical societal functions in case of impact of cyber incidents or similar phenomena, by developing and co-creating both preventive and responsive perspectives for action. In 2020 we achieved new cyber security information sharing applications based on cryptographic technologies, tooling for analysing additional criminal market places in Telegram channels and tooling for cyber workforce development applications.</p> <p>The knowledge roadmap in VP CRM&SR connects to the challenges and topics that have been formulated in the Dutch Digitalization strategy, the Dutch Cybersecurity Agenda (NCSA). In 2019 a connection has been made with the Mission Cybersecurity of the Knowledge and Investment Agenda (KIA) theme Security as well as with the theme Key Enabling Technologies. In international context TNO participates in the relevant working groups, taskforces and events. The development and execution of the knowledge program VP CRM&SR happens in close cooperation with VP Veilige Maatschappij (VM), VP ICT, the program line Cyber Security and de TNO research programs with businesses, the departments of Security and Justice, Defence and with the police.</p> | |
| Titel | VP Radar and Sensor Systems (P104) |
| MTIB Thema | Veiligheid |

| | |
|---------------------------------|--|
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Director Market ISS: K. Agovic VP Manager: F.L.M. van den Bogaart |
| Contactpersoon Regie-voerder | A. Venema – Ministry of Defence HDB J.C. Dicke – Ministry of Economic Affairs and Climate Policy, Commissariaat Militaire Productie KTZ J. Bleijs – Ministry of Defence DMO/AMS KLTZ ir. T. van Heusden – Ministry of Defence DMO/AMS/ Bureau Technologie Integratie B.A.H.M.J. Lussenberg – Ministry of Justice and Security BD/Innovatieteam LKol. Bernard Buijs – Ministry of Defence / CLSK / Space Security Center Maj. Petra Wijnja – Ministry of Defence / CLSK / Space Security Center Charlotte Rutgers – Ministry of Defence / DMO / JIVC / KIXSMaj. Petra Wijnja – CLSK / Space Security Center Charlotte Rutgers – Min. of Defence DMO/JIVC/KIXS |

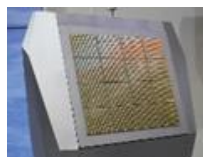
Programma jaar 2020 - Samenvatting

The VP contributed in 2020 to the Societal Theme KIA “*Veiligheid*” its missions and MMIPs and to the KIA “*Sleuteltechnologieën*”.

Within the MMIP “*Smart kill-chains - Radar en geïntegreerde sensor-suites*” essential building blocks are completed to be demonstrated in a containerized X/S band one-radar system in 2022, the results are for the next generation frigates of the Royal Navy; robust and reliable AI techniques are developed for detection and classification in the military radar domain; a new class of highly miniaturized high-frequency filters are shown on high resistivity Silicon; a state-of-the-art 100-Watt MMIC amplifier is demonstrated; and an important goal towards 2024 is the demonstration of new and advanced radar waveforms to detect and classify objects at very large distances.



The *D-ART project MJP88* of the KIA “*Sleuteltechnologieën*” demonstrated new disruptive techniques to enable multiple simultaneous functions at different RF frequencies in Active Electronically Scanned Array (AESA) radar systems.



A chipset that is crucial for future low cost X-band AESA radars is demonstrated in the EFRO project DAISY. This enabled Thales to develop the NS50 radar [Error! Reference source not found.], with the Dutch/Belgian Navy as launching customer (Mine Counter Measure vessels) [Error! Reference source not found.].

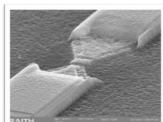
The feasibility of a miniature proximity sensor with all functionality integrated into one single IC is proven. This enables small fuzes for various types of ammunition.

The contribution to the MMIP “*Real time digitale observatie en ondersteuning*” focused in 2020 on (i) demonstrating an AI enabled high resolution visual observation system for small unmanned flying vehicles using a 65Mp camera; and (ii) on initiating a virtual space around the Johan Cruijff ArenA in Amsterdam with innovative state-of-the-art security measures to be demonstrated in 2021 to provide visitors with a maximally safe and pleasant customer journey.

Within the MMIP “*Smart manning & automation*” the flagship project OCEAN2020 integrated military underwater, surface, and aerial unmanned platforms with CMSs from at least 8 countries into a unique cross-nation and cross-domain UXV wide area surveillance demonstration in 2021; and in a H2020 project the added value of equipping coastguard vessels with organic UAVs, enabling greater coverage, better quality of information and shorter response times in maritime surveillance operations is demonstrated.



Within the mission “*Veiligheid in en vanuit de Ruimte*”, radar image enhancing and multi-static observations techniques for classification of (un)known space objects in a low earth orbit are developed; and a feasibility study is done on heterogeneous fusion of observations from satellites and other relevant platforms such as aircrafts, drones, aerostats and ground sensors to detect hazardous smoke and gas clouds.



Quantum sensing technologies relevant for military applications have been identified and explored. An in depth study of RF-frontend components has been carried out. Highly precise quantum clocks and their need for sensors relevant for military applications are researched.

| Titel | VP Space & Scientific Instrumentation (P607) |
|--|--|
| MTIB Thema | Sleuteltechnologieën |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Kees Buijsrogge, Hans Klaufus |
| Contactpersoon Regie-voerder | Topsector: Maarten Schipper (Airbus) – Roadmap Space, Marco Beijersbergen (Cosine) Advanced Instrumentation |
| Programma jaar 2020 - Samenvatting | |
| <p>Our multi-annual R&D programme supports our ambition to contribute to preventing climate change and air pollution, enable secure broadband connectivity, help understanding the Universe, and stimulate economic growth in the Netherlands and Europe. Therefore, we organise the VP along programme lines directly connected to this ambition; Instruments for Earth Observation and related Space Data Utilisation, technologies for Satellite Communication, and Scientific Instrumentation focusing on instruments for Ground-based Astronomy and Space-based Astronomy, and including instruments for Big Science and Diagnostics for Fusion Energy. The main parts of the VP Space & Scientific Instrumentation 2020 are summarised below.</p> <p>The programme line Earth Observation focused of the design and development of new instruments, development of technology that supports today's instrument realisation, and space data utilisation. Technologies for both radar-based and optical instruments were developed.</p> <p>The programme line Satellite Communication has a strong focus on Optical communication. For Optical communication between satellites and from ground to satellite very stable and accurate optical systems are required, and adaptive optics compensates the disturbance of communication by the earth's atmosphere. In off-loading laser satcom to terrestrial users we worked on (among others) connection with multibeam reconfigurable wide-view RF subsystems. These systems were developed in the SMO programme, in close contact with industrial partners.</p> <p>The programme line Scientific Instrumentation, with the main activities in Space based Astronomy and Ground based Astronomy, focused on opto-mechatronics design & analysis of subsystems for large telescopes and space-based systems, such as adaptive optics, segmented mirrors and pointing technology. For Big Science, the technical evaluation and preparation for the most relevant of the many candidate tenders for instrumentation for the Big Science facilities (ITER and Einstein Telescope) with industrial partners were planned.</p> | |
| Titel | VP Semiconductor Equipment (P612) |
| MTIB Thema | Sleuteltechnologieën |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Rogier Verberk, Jochem Janssen |
| Contactpersoon Regie-voerder | Joep Pijnenburg (leader HTSM Roadmap Semiconductor Equipment; ASML) Ton Flaman (leader HTSM Roadmap Healthcare; Philips Healthcare) Ronny van 't Oever (leader HTSM Roadmap Nanotechnology (incl. quantum technology); Thermo Fisher Scientific) |
| Programma jaar 2020 - Samenvatting | |
| <p>VP Semiconductor Equipment enables knowledge development for four product market combination (PMC) clusters; system lifetime and productivity improvements for the semiconductor market, metrology equipment & concepts for the semiconductor market, instrumentation for the biomedical market, and quantum technologies.</p> <p>PMC cluster system lifetime & productivity improvements aims to contribute to the introduction, and ramp up of high volume manufacturing of semiconductor devices with Extreme Ultra Violet (EUV) lithography. The expertise of TNO on system lifetime and productivity improvements is being supported by knowledge investment in a/o plasma physics and contamination control, using unique experimental setups such as EBL2. Thereby commercialisation of tools supporting molecular and nano-scale contamination analysis, such as the FastMicro technology is boosted together with Dutch SME partners.</p> | |

Within Semiconductor Metrology advancements have been made to provide novel metrology solutions for semiconductor device development and manufacturing. For that we need to provide sub nanometre accuracy solutions for surface as well as subsurface device characterisations. Overlay, and its constituents like marker-to-product offsets, layer-to-layer alignment, but also feature roughness play a still increasingly dominant role. As novel materials and production processes become more important novel metrology techniques for these parameters were added to the portfolio. The same is true for quantum sensing, preparing for future novel devices.

Photonic Integrated Circuits (PICs) are small optical circuits on a chip, fabricated using the same manufacturing technologies as in electronics manufacturing. PICs have specific advantages, such as low cost in large quantities, but also limitations as compared to more common optical technologies. Our goal in 2020 was to identify those applications for PICs (outside the typical telecommunication domain) where TNO can play a key role in the Dutch ecosystem for integrated photonics, organised in Photon Delta.

PMC cluster “optical instrumentation for the (bio)medical market” aims to improve health while reducing costs by photonics-based innovations and their implementation in health care. This PMC cluster specifically addresses the challenges of the “KIA Gezondheid en Zorg”, the “KIA Sleuteltechnologieën”, and is well aligned with MJP 16: “MedTech verbetert uitkomsten voor patiënten en verlicht inzet van zorgpersoneel” and with the “Nationale Agenda Fotonica”. Focus is to develop optical diagnostic devices in the following 3 PMCs: 1) Retinal imaging 2) Tissue optics 3) Opto-acoustics.

The majority of the Quantum Technologies programme is executed within the QuTech research initiative, which has the ambition to develop the first working prototype quantum computer, as well as a demonstrator of quantum internet. These new concepts are gamechangers in the ICT sector and will have a tremendous effect on society. The envisioned developments cover many TRL's over multiple disciplines. The report for quantum technology is reported in the Early Research Programme report for QuTech - QuTech 2020.

| | |
|---------------------------------|---|
| Titel | VP Flexible and Freeform Products (P615) |
| MTIB Thema | Sleuteltechnologieën |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Ton van Mol |
| Contactpersoon Regievoerder | Richard Roemers |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

In VP 'Flexible and Freeform Products' we develop technology for next generations of smart products, made by digital manufacturing processes. Applications are in multiple domains such as healthcare devices, automotive and home products. The program consists of the following program lines:

Digital Manufacturing Systems

We develop new technologies for digital manufacturing processes such as 3D printing. With digital manufacturing, the shape of the product is not defined physically (e.g. by a mould or mask) but by the software that controls the manufacturing system, allowing for customization of products and cost-effective small series manufacturing. We develop the process and equipment for these ambitions and this is in line with the KIA sleuteltechnologie *Smart personalized food and medicine*. In 2020, new and patented printing systems were developed allowing for printing of different food or pharma materials in one product, and in continuous fashion enabling high throughput production.

Materials for Additive Manufacturing

Implementation of Additive Manufacturing for industrial production is growing substantially in the past years and is expected to continue to do so (CAGR ~25 % per year). One of the key challenges remains the availability of materials that enable qualified performance in printed products. Our program aims to gain more insight into the relations between material composition, processing conditions and product performance, and to develop new materials with improved mechanical performance to enlarge the application possibilities for polymer materials in Additive Manufacturing. In 2020, thermoplastic components were printed in a proof-of-concept that have similar strength as aluminum and an integrated strain monitoring in an additive manufactured part was demonstrated. In 2021 our focus is on (1) improving 3D printed part mechanical properties based on developing better material-process combinations specifically for engineering (PA) and high temperature

polymer systems (e.g. PEI, PEKK, PEEK). This will be done using actual industrial use cases. The other focus point (2) will be on delivering proof-of-principle of continuous carbon fiber sensor technology in an actual industrial use case (i.e. with partners from the market).

Hybrid Printed Electronics

In this program we create the technology for next generation of 'internet-of-things' products, being a hybrid combination of additive manufacturing and 'conventional' silicon-based electronics. These technologies enable future electronic products with unprecedented form factor and functionality. The primary focus is on healthcare related applications where we work on body conformable medical patches and non-contact sensing. In 2020, the health patch developed in previous years went into clinical validation with several academic hospitals. The pressure array was transferred to a Dutch foundry and is now also entering validation as solution for sleep apnea patients.

Besides this, we continue developing novel enabling printed electronics technologies that further increase the possibilities of deploying printed electronics. In particular this concerns 3D printed electronics, high resolution printing, and advanced chip packaging in the framework of CITC Nijmegen activity, which is now in full operation and first proof-of-concepts for high power packaging have been demonstrated. The underlying technological challenges have strong resemblance with the Holst Centre Eindhoven activities. All this is described in the KIAs 'Flexible Electronics'.

Large-Area Technologies

We continue to develop capabilities and applications in 'Spatial Atomic Layer Deposition' (S-ALD), a key technology to cost-effectively make nm thin layers of high quality. Our prime focus will be to facilitate uptake by multiple industries, incl. our spin-off SALDtech and other local equipment manufacturers such as SALD and VDL ETG, and with partners to demonstrate new applications in domains of electronics and energy. In 2020, patterned sALD was shown, which is key for SALDtech. Furthermore, the first proof-of-concept for the 3D thin film battery using sALD was shown, and Lionvolt BV was spun off to commercialize the technology and keep it in EU.

Thin-Film Transistors

Our metal-oxide transistor circuits are directly deposited on large-area substrates. This enables cost-effective distribution of intelligence (simple electronic circuits) over large areas such as in imagers and sensor arrays.

In 2020, direct conversion X-ray imaging was shown with improved performance over traditional X-ray but at lower cost.

Also first ultrasound image was made using a novel transducer technology based on display manufacturing technology.

In 2021 we explore new application especially in the health and pharma domains ('lab-on-a-chip'/organ-on-a-chip') and we develop advanced X-ray imaging modalities for medical applications, i.e. based on perovskite detector materials. We transfer to industry ways to manufacture and integrate biometric security based on fingerprint or palm sensing. We continue with the large-area ultrasound development, where the emphasis gradually shifts from transducer development to system development. We explore other types of imagers and sensor devices with possible application in the healthcare domain. All this is described in the KIAs 'Flexible Electronics'.

| | |
|---------------------------------|--|
| Titel | VP Sustainable Chemical Industry (P603) |
| MTIB Thema | Sleuteltechnologieën |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Ir. Peter Wolfs |
| Contactpersoon Regie-voerder | Topsector Chemie: Prof. dr. E.M. Meijer |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

In line with the needs of society and specifically the chemical industry and with the ambitions of the Topsector Chemie, TNO's program Sustainable Chemical Industry focused on developing technology and new business models in three mission driven Public Private Partnerships (PPP) being Biorizon, Voltachem and Brightlands Materials Center. In 2020 investments were also realized in photon chemistry building on the results obtained in the ERP Energy Conversion & Storage in previous years.

Biorizon: Main results of Biorizon program were 1) the establishment of spin-off company Relement that will further commercialize the first generation of bio-aromatics MPA and HMA, 2) expanding the facilities bio-aromatic production at the Green chemistry Campus including expansion of the TRL4/5 facilities, 3) production of > 100kg bio-aromatic samples to allow application testing at > 10 costumers, 4) expanding the IP-portfolio of TNO for bio-aromatic technology development based on Diels-Alder chemistry (1 patent published and 1 patent application submitted).

Voltachem: Main results for the subprogram Power-2-Specialties activities were 1) the validation of continuous paired electro-synthesis of chemical building blocks for plastics at bench scale (TRL4) and preparation for longterm testing (TRL5), 2) the development of a proof-of-principle for integration of electrochemical conversion & downstream separation, 3) the investigation of three new electrochemical proprietary conversion routes together with industry, and 4) the expansion of our membrane, electrodes & electro-catalyst library. With these results in hand, we are well under way to achieve our goal of developing multiple pilots together with industry for conversion of biobased feedstock to intermediates for plastics, employing renewable energy.

Brightlands Materials Center: Main results for the subprogram *Sustainable Buildings* were, on laboratory scale (10 x 10 cm²), fully optimized single-layer thermochromic coatings for performance and lifetime that can switch between transmission and blocking of solar infrared radiation based on the temperature of the window's exterior glass pane. We further scaled up the technology to produce 50 x 50 cm² demonstrators. Further we developed via bottom-up chemical synthesis and top-down processing thermochromic pigments on lab and small pilot scale. Also we developed nanocomposite solar infrared blocking encapsulants on lab scale for photovoltaics to prevent sub-band gap wavelengths from entering PV panels which leads to heating up of solar panels and corresponding performance and lifetime reductions. Within the subprogram *Lightweight Automotive*, The Fieldlab Thermoplastic Composites was expanded with aging and size reduction recycling equipment. For multi-material or hybrid material combinations, a unique mandrel peel test was developed and verified with simulation tools. The thermo-mechanical recycling technology was successfully demonstrated for a broader range of materials including a commercial waste stream of polypropylene-glass fiber reinforced woven fabric showing a good retention of material performance, comparable to virgin commercial alternatives. Two patents were filed to protect this technology, and a pilot scale extruder, dedicated die and tools were designed to further improve the performance of recycled material and scale-up between lab and industrial scale.

Photons-to-chemicals: Main results are the successful development and validation of supported metal nanocatalysts for sunlight-powered conversion of CO₂ and green H₂ to methanol (CH₃OH), syngas (CO) and methane (CH₄), each with a plasmonic resonance tuned for harvesting sunlight. We achieved high photon efficiencies (up to 56%! at light intensities between 1 and 10 suns) for the production of CH₄ and CO and demonstrated that processes could be carried out with high catalytic activities at low temperatures (in the range of 150°C-250°C). We designed a transparent continuous flow reactor as part of an integral proof-of-concept lab scale demonstrator set-up (mini-factory) to facilitate these conversions. For the sunlight-powered Sabatier process, we have performed a detailed economic study concluding that the process can become competitive with the conventional Sabatier process in the 2030s, and with CH₄ from natural gas in the 2040s.

| | |
|--|--|
| Titel | VP Industrial Electrification and CCUS (P616) |
| MTIB Thema | Sleuteltechnologieën |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Ir. Peter Wolfs, Ir. Martijn de Graaff |
| Contactpersoon Regievoerder | Prof. dr. E.M. Meijer |
| Programma jaar 2020 - Samenvatting | |
| In 2020 the VP Industrial Electrification & CCU delivered multiple results contributing to the future implementation of affordable industrial electrification technologies that will help to mitigate CO ₂ from industrial production of chemicals and fuels. | |

The main result in the field of High Temperature Solid Oxide Electrolysis was the scale-up of Solid Oxide Cells performance from 5x5 to 10x10 cm² and the development of multiple business cases for integration of this technology in the chemical industry for highly efficient production of key commodities like ammonia, methanol and syngas.

In the domain of Low Temperature Electrolysis, a 1000 cm² research reactor was developed which allows experimentation with 3D electrode architectures. Next to that, multiple novel reactor concepts were developed allowing for cost-effective conversion of CO₂ and CO to useful chemical products, which are currently being filed for patent.

Apart from technology developments, we worked on the development of the industrial electrification business community, and developed tools for economic, environmental and regulatory assessments. In addition, we developed insights in the opportunities for the production of synthetic fuels using renewable energy and the challenges that material scarcity will bring at large scale implementation of electrolysis for hydrogen production.

Last but not least, the Fieldlab Industrial Electrification was further developed together with local, regional and national partners, allowing for business case development, piloting and demonstration of industrial electrification technologies starting in 2021.

| | |
|---------------------------------|--|
| Titel | VP Bouw Innovatie (P513) |
| MTIB Thema | Sleuteltechnologieën |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Arjen Adriaanse, IJsbrand van Straalen |
| Contactpersoon Regievoerder | Bert van Haastrecht (M2i) |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

The reduction of CO₂ emissions, use of renewable sources and extending of working life of existing structures are the main drivers for this VP HTSM-Bouw Innovatie (building innovation). This VP focuses on Stony materials, Asphalt and Timber construction, and contributes to the roadmap High Tech Materials.

Stony materials: The commonly used cements contribute considerably to CO₂ emissions. In a drive towards reduced-emission binders for concrete, other sources than cement clinker are currently under investigation. These resources, such as blast furnace slag and fly ash, raw or calcinated clays and by-products from various industries, have in common that they consist of aluminosilicates, similar to the currently used cement, but have much lower CO₂ emission. However, whereas cements react spontaneously when mixed with water, the side stream materials do not and require some form of activation. The currently used activators have a high CO₂ emission profile and they may result in binders that are unstable in the long term. TNO's objective is to develop a methodology (blend tool) for characterizing aluminosilicate side streams and blending it to products that can serve as binder in concrete. The research of 2018 had led to the understanding of the first part of the activation system (dissolution). In 2019 precipitation rate models were derived and a precipitation test method was developed. In 2020 new insights on dissolution and precipitation rates were developed and added to the blender tool for optimized binder systems based on secondary materials that are cheap, sustainable as well as durable. To solve the identified shortcomings of the current models, the applicability of partial atomic charge models will be investigated in 2021.

Asphalt: The goal is to predict the performance of asphalt with a higher accuracy and for a wider range of materials. This is achieved by elaborating and improving performance models of physical and chemical processes, focusing on three aspects. The first aspect is binder properties. Ageing of asphalt leads to stiffening and embrittlement of its binders, making them more sensitive to damage. TNO has developed an asphalt aging protocol, that is able to rank the ageing resistance of binders. In cooperation with market parties this ageing protocol is fine-tuned to fit a broader range of binders. Also modelling of other binder properties are conducted. With shifting oil and bitumen market, properties of binders are changing. This means that composition of the asphalt has to be mapped in such a way that the durability of the roads is established or increased. In 2020 an evaluation of chemo-mechanical properties and their suitability for use in asphalt structures has been made, to be able to understand how to assess circularity and recyclability of road materials. The second aspect is predicting stresses and strains in bituminous materials. FEM models are a promising tool to gain more insight in the performance of asphalt mixtures. In 2020 a new script was written to perform more reliable and FE analyses. The third aspect is asphalt service life.

The lifespan of asphalt is affected by a wide range of parameters. TNO has created a proof-of-concept for a service life model that is able to combine the predicted service life based on the ageing model with data on construction and field performance. In 2020 this model has been extended for determining the end-of-life by reduction of the skid resistance and of raveling. The overall model is continuously expanded with more partial models (like the binder property and ageing models and the FEM models) to improve the estimation abilities and accuracy.

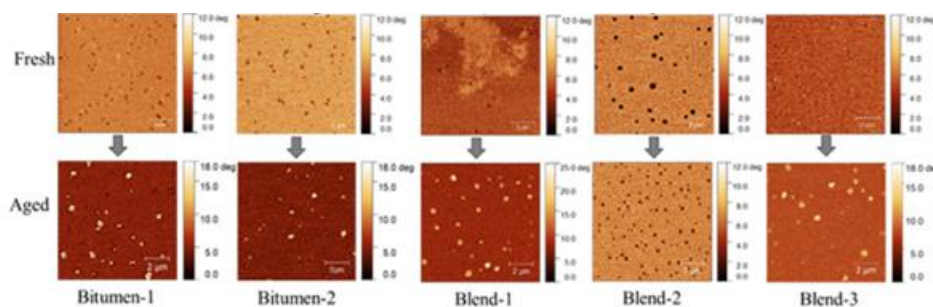


Figure: Glass transition and phase behaviour of fresh and aged binders. Bitumen of different penetration grades and modified with liquid additives characterized by using atomic force microscopy (AFM) are shown. Developed assessment tools have demonstrated a promising approach to evaluate more complex asphalt binders and eventually can establish structure-property relationship.

Timber construction: The interest in applying timber as a construction material is growing in the Netherlands last year. This is because timber has the ability to store CO₂ during the working life of a building. In 2020 TNO started its activities to explore the needs for knowledge development to support various building parties in the development of structural engineered timber products. These needs are dealing with the performances structural strength, fire safety, acoustics and impact of moisture, and with the production of those products. These activities will be continued in 2021 by investigating the available knowledge about the application of verification methods and product innovations in other countries. In addition a TKI project is foreseen with a focus on the optimization of the application of Cross Laminated Timber (CLT) floor for high-rise buildings.

| | |
|---|---|
| Titel | VP Intensivering Smart Industry (P617) |
| MTIB Thema | Sleuteltechnologieën |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Rogier Verberk, Sam Helmer, Peter Laloli |
| Contactpersoon Regie-voerder | Henk Gritter, Corinne Cornelisse/ Joren Schep (EZK), Jan Post (HTSM/Smart Industry) |
| Programma jaar 2020 - Samenvatting | |

The TNO Smart Industry objective is the following:

In 2021 The Netherlands will have the most flexible and the best digitally connected production network of Europe for the design, production and supply of smart products and associated services, with which the design and manufacturing companies involved also achieve substantial energy and material savings in production and longevity and employees continuously (able to) maintain their (digital) knowledge and skills.

The TNO Smart Industry program shares this view with the HTSM Roadmap Smart Industry, the Routekaart Smart Industry in the NWA and the key enabling technology Engineering & Fabrication technologies in the Impulse Program Smart industry.

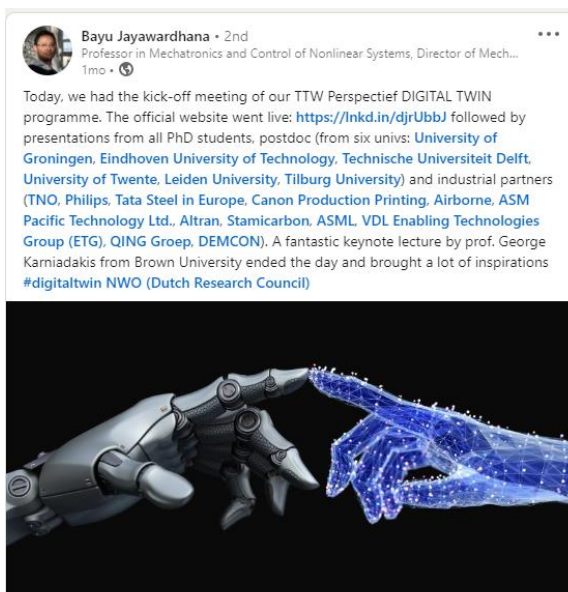
In 2019 the Topsector HTSM granted 1M euro temporary funding to the VP Smart Industry, on top of the 2,1 M euro base funding. The absence of that additional funding this year forced us to act more modest than we would like. Focus was to use the newly strengthened internal structure to create more focus and mass in our 5 PMCs.

In 2020 the TNO Board of Directors decided to create a separate Roadmap for Smart Industry per January 1st, 2021, which will increase the dedication of TNO to the digital transformation to even higher levels than before.

All goals that were set in the plan were achieved (see the highlights in section 4). Our key results in 2020 were:

1. As a program we have focused on 2 regions: Zuid Holland through the Smart Manufacturing Industriële Toepassing in Zuid Holland (SMITZH) program of 12M euro and Noord-Brabant through the BIC Fabrieken van de Toekomst program of 22M euro.
2. We have focused on Orchestrating (money for) Innovation in manufacturing ecosystems both regionally, nationally and in Europe.
3. We have joined forces with the Dutch Universities to create more knowledge development mass for the Dutch Manufacturing industry.
4. And we have joined forces with European partners and supported the European policy makers in their decision making to strengthen the European Manufacturing Industry.





| | |
|---------------------------------|--|
| Titel | VP Environmental Technology (P512) |
| Missie/ MMIP | Sleuteltechnologieën |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Erlend Deckers (VPM) and Ardi Dortmans (SD) |
| Contactpersoon Regie-voerder | Marc Hendrikse, Bert van Haastrecht (topsector HTSM) |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

The TNO demand driven program P512 ‘Environmental Technology’ supports the transition to a sustainable society by developing technology, methods and tools to support and quantify sustainability impacts, thereby orchestrating innovation. The overarching goal is (1) to reduce CO2 emissions, (2) to realize resource efficiency, and (3) to reduce the environmental and their related public health risks. The program is linked with corresponding investments under P504 Water technology, P510 Environment and Sustainability and P515 Circular Economy and in line with Mission-driven Topsectors and Innovation Policy (MTIB) (Mission C, Mission CE). In addition it is aligns with the Dutch National Science (NWA) agenda and key enabling technologies (materials, measurement and detection).

Circular Economy

An important focus point for TNO in the transition towards a circular economy is plastic recycling, to largely reduce the use of virgin feedstock. To complement existing mechanical and thermal-chemical techniques for recycling of waste plastics, development continued of a physical recycling technique based on selective dissolution of polymers, followed by purification and

recovery of the polymers. A semi-batch set-up for processing up to 100 g of plastic was built. In 2020 a 'decision tool' was built for this recycling technique. This tool provides guidelines for the project execution by defining categories of work and type of experiments to perform to reach the goal. In addition an inventory of the monitoring strategy was made. To improve insight in applicability of (recycled) plastics, technology to determine the (long term) stability of plastics is being developed. For this, the UV stability was tested on stabilized and unstabilized polypropylene in an UV aging cabinet. The onset of chemical degradation could be clearly seen in the unstabilized polymer. This technology can be applied to determine the stability of recycled plastics. Important partners for collaboration in this VP are found in Brightsite, European projects, private companies as well as innovation communities as M2i and TI Coast.

Next to the focus on plastic recycling, the transition towards a circular manufacturing industry is becoming a focus point in this demand driven program. Currently work is carried out to develop a roadmap delivering insights in technology development to support the transition towards a circular manufacturing industry (e.g. electronics / batteries). We collaborate amongst others in the UPCM (Uitvoeringsprogramma Circulaire Maakindustrie) and M2i (materials 2 innovate).

Environment

In the aim to reduce environmental and health risk, the goal is to develop and validate methods for the determination of air pollution. TNO works on the development of a benzene assay (in urine). By measuring exposure of industrial workers within hours on site, without the involvement of time consuming specialized lab analysis, direct risk management measures can be taken, and harmful effects prevented quickly. The assay developed is able to detect well below the new occupational exposure level for real industrial benzene exposure urine samples. This resulted in pre-prototypes, with which elaborate further testing will take place on three company locations in 2021. For 2021 the development of a new public-private partnership on sensing of benzene in air on industrial sites is foreseen.

| | |
|---------------------------------|--|
| Titel | VP ICT (P706) |
| MTIB Thema | Sleuteltechnologieën |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Berry Vetjens (DM) / Omar Niamut (VPM) |
| Contactpersoon Regievoerder | Fred Boekhorst |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

TNO aims to guide industrial and societal stakeholders in the digitization of their business or domain, by integrating the identified enablers in national and European ICT agendas in first-time engineering solutions. These stakeholders have common needs, where they seek to take advantage of new opportunities in data sharing, and require fast open infrastructures and trusted ICT solutions to overcome their challenges in operating in a digital ecosystem. To guide these developments, the VP ICT focuses on the common needs of our stakeholders and aims to reach the following goals:

The use of Artificial Intelligence (AI) is fuelled by data. **Data sharing** is a key enabler for new business opportunities by combining data sources. Access to data is often hindered by lack of trust between data owners, data interoperability or business models, or can be unwanted due to privacy or confidentiality concerns. Our ambition is to resolve key barriers for data sharing and avoid vendor lock-in, by enabling privacy-by-design data sharing across domains, ensuring interoperability of data sharing systems, and establishing national data-hub(s) eco-systems. As a major highlight, we co-developed a unique, first-for-NL open source self-sovereign identity (SSI) Lab infrastructure and five breakthrough concepts that allow for privacy-friendly secure learning (i.e. learning from combined encrypted datasets)

To resolve the increasing pressure on our digital infrastructure's networking, storage and processing capacity due to the exponential growing demand for and dependability on data, our stakeholders need reliable and fit-for-purpose **fast and open infrastructures** with instantly and ubiquitously available ultra-high bandwidth connectivity as well as accessible, reliable and scalable storage and processing, tailored to the specific needs of their applications. We provide technology and architecture blueprints for extremely powerful and efficient future digital infrastructures accelerating economic and societal innovations. Our designs respond to the pressing need for cost and CO2 reduction, as well as to the scarcity challenges regarding human and physical resources, encountered in the infrastructures themselves and in the business and public sectors they serve. This

year's biggest breakthrough was the introduction of the first 5G standalone network in the Netherlands. Furthermore, we performed an assessment of technology providers that aligns well with the concepts of cloud federation and GAIA-X.

In a digital society, corporate and private data is constantly vulnerable to external influences. Our ambition with a **trusted ICT** approach is to provide solutions for preventing risks of financial loss, disruption or damage to the assets and reputations of our stakeholders' organizations from failure of their information technology systems and services. In-depth knowledge of the various links in the operational cyber-security chain and of this chain as a whole are both essential in a targeted cyber security approach. In 2020, we designed and specified a first platform for automation of SOC / CSIRT operations using Attack Defence Graph (ADG) based analysis. In addition, we developed an unique prototype to identify Domain Generation Algorithm (DGA) domains and classify DGA domains using Machine Learning (ML) Long Short Term Memory (LSTM) and string grouping based algorithms.

Our goals were aligned with national agendas, i.e. the Nederlandse Digitaliseringsstrategie, the KIA (Digitale) Sleuteltechnologieën 2020-2023, the European data strategy 2019-202, the position paper on Responsible Data Sharing, the Nederlandse Cyber Security (Research) Agenda, and with strategic stakeholder viewpoints. Sectors that had specific attention were agriculture, telecom providers, government, media and financials, but the underlying fundamental technology developments allowed TNO to contribute to challenges in other domains as well such as defence and security, industry, energy, construction, healthcare and mobility and logistics. We engaged in stakeholder management and standardization on an (inter) national level, in COMMIT2DATA, the National Science Agenda Big Data Route, the Dutch Blockchain Coalition, the Media Klankbordgroep and the 5GPPP, and collaborated with academic partners through professorships.

| | |
|---------------------------------|---|
| Titel | VP Embedded Systems Innovation (ESI) (P707) |
| MTIB Thema | Sleuteltechnologieën |
| Contactpersonen TNO (DM en VPM) | Henk-Jan Vink (Managing Director TNO ICT), Frans Beenker (VP manager) |
| Contactpersoon Regievoerder | HTSM embedded systems / Brit Meier |

Programma jaar 2020 - Samenvatting

The overall mission of ESI (TNO) is phrased as "Embedding leading edge methodologies into the Dutch high-tech systems industry to cope with the ever-increasing complexity of their products".

The complexity of high-tech systems is increasing and continues to increase with the integration of systems into a system of systems and our industry taking responsibility over processes and applications in a complex and dynamic customer context. The industry engineering scope has expanded from engineering initial systems to engineering systems and system upgrades during an entire product life cycle. More and more focus is on adaptive and personalized systems. New methodologies are required to cope with this. It is of utmost importance that such methodologies are not only generated for individual companies for their products or applications, but that opportunities for synergy over research projects, knowledge sharing and knowledge exchange over research partners are fostered. Such an approach leads to faster and more efficient build-up of knowledge, with sharing of solution strategies, best practices, education, etc.

Although the 2020 program was in the middle of the COVID-19 pandemic, ESI realized its targets. ESI has grown in terms of industrial and academic partners, strengthened its position in the Netherlands, and improved its position in its international outreach program. In 2020, the majority of our research effort was carried out in cooperation with large industrial partners. They consisted of long-lasting partners (ASML, Canon Production Printing, Nexperia, Philips, Thales, Thermo Fisher Scientific) and new partners (e.g. Vanderlande and VDL-ETG). We continuously strive to expand our network, both nationally and internationally. Nationally, Thales has decided to re-join, and the UvA has decided to join the ESI Partner Board per January 1st, 2021. Internationally, ESI continued its collaboration with Fraunhofer IESE and the Systems Engineering Research Center (SERC) in the USA. In 2019, we did build up a relationship with OFFIS (a German research institute in Oldenburg) and KTH-ICES (Innovative Center for Embedded Systems) in Stockholm, Sweden and in 2020 this relationship has been instrumental in successfully setting-up joint European initiatives. These relationships provide a good opportunity for international collaboration, benchmarking, sharing research agendas, and exploiting partner networks.

A few examples of successful 2020 ESI results:

- The component interface modeling and analysis methodology ComMA;
- A causal modeling approach coupled to a design for diagnostics concept with industrial proof of concept through two industrial pilot applications;
- Methods and tools for flexible and task specific visualization of software architectures.

The relationship with the academic partners has been strengthened. Four academic research projects have been started under a joint umbrella of the NWO/ESI partnership Mascot program (with UvA, TUD, TU/e, RUN, UT and Leiden University as academic partners) and a research agenda discussion on academic challenges related to the ESI roadmap has taken place.

ESI pays special attention to further generalization, consolidation and dissemination of the research findings and of the resulting new expertise. The research programs with individual partners take benefit from each other's results and ESI actively manages its expertise and shares and aligns it in its partner network. An example is the decision of TNO to become contributing member of the Eclipse Foundation, paving the way for bringing ESI tools to the market as managed-quality open source tools.

A few topics deserve specific mentioning.

- The ESI symposium, physically scheduled for September 2020, was due to the Corona situation, rescheduled into a very successful on-line webinar with three tracks drawing an audience of more than 250 participants per track;
- Workshops with industrial and academic partners of the ESI Partner Board have taken place to confirm the current ESI program lines and to define the long-term innovation challenges.