

Overzicht Vraaggestuurde programma's per Missiegedreven Thema

Onderzoeksprogramma'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
P325 Embedding & Integration														
P502 Duurzaam bouwen														
P307 Built Environment														
P505 Urban Energy-EnerGO														
P321 Solar Energy														
P322 Wind Energy														
P323 Industry (incl Ind. Transform.)														
P324 Fuel and Feedstocks														
P510 Milieu en Duurzaamheid														
P515 Circulaire Economie														
P516 klimaatmiddelen EZK														
P504 Waternet														
P509 Smart T&T, BZK, Smart Cities														
P403 Smart T&T, Logistiek & Mobiliteit														
P406 Sust. T&T, Logistiek & Mobiliteit														
P402 Smart T&T, HTSM														
P405 Sustainable T&T, HTSM														
P311 Maritiem en Offshore														
P508 Deltatechnologie														
P310 Karakterisering Grondwater														
P204 Arbeid en Gezondheid														
P211 Jeugd														
P203 Biomedical Health														
P210 Digital Health Technologies														
P511 Human Health RM Nano														
P207 Sociale Innovatie														
P102 Veilige maatschappij														
P106 Kennisopbouw politie														
P103 Cyber Risk & Resilience														
P104 Radar & Sensorsystemen														
P607 Space & Scientific instrument.														
P612 Semiconductor Equipment														
P615 Flexible and Freeform Products														
P603 Sustainable Chemical Industry														
P616 Industriële elektrificatie en CCUS														
P513 HTSM-Bouw Innovatie														
P617 Smart Industry														
P512 Environmental Technology														
P706 ICT														
P707 ESI														
Early Research Programmes (ERPs)														

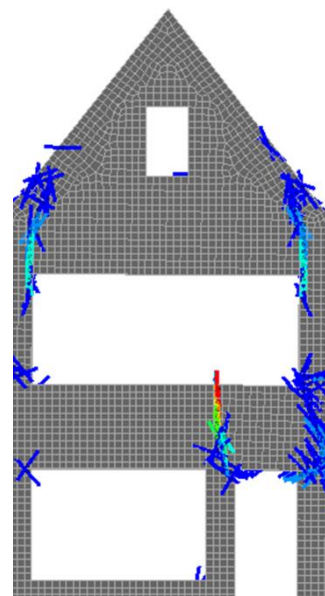
Titel	VP Naar een geïntegreerde en maatschappelijk gedragen Energietransitie (P325)
Missie / MMIP	Klimaat en Energie
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	VP-manager: Ruud van den Brink Directeur Markt: Harm Jeeninga
Contactpersonen Overheid	Marianne Zandstra, ministerie EZK
Programma jaar 2021 - Samenvatting	
Het sluiten van het klimaatakkoord in juni 2019 is een belangrijke mijlpaal op weg naar het doel van een CO₂-neutrale energievoorziening in 2050. De aandacht verschuift van 'wat gaan we doen om de CO₂-uitstoot te verlagen?' naar 'wie moeten er wanneer welke acties ondernemen om de doelen voor 2030 te bereiken?'. Daarnaast blijft het belangrijk om oog te houden voor het doel om in 2050 een klimaatneutraal Nederlands energiesysteem te hebben. In 2020 is er vanuit dit VP een scenario-studie uitgevoerd naar een klimaat-neutraal Nederlands energiesysteem. Hieruit is een aantal lessen te trekken voor de onderzoeksprioriteiten voor 2021 en verder: - Het energiesysteem zal sterk elektrificeren, met zon en wind als bronnen van duurzame stroom: dit vraagt om oplossingen voor het accommoderen van grote hoeveelheden variabele elektriciteit, zoals conversie naar andere energiedragers, energieopslag, flexibilisering van de vraag en nieuwe marktmodellen, regelgeving en (ICT)-systemen. - Het hebben van veel verschillende opties om CO₂-vrije energie op te wekken is belangrijk om de doelen te halen en om de kosten van de energietransitie te beperken is : dit vraagt om onderzoek naar maatschappelijke effecten van energietechnologie en specifiek onderzoek naar het creëren van nieuwe opties in die sectoren die moeilijker te verduurzamen zijn, zoals de luchtvaart en de chemische industrie. - Het reduceren van de vraag maakt het halen van de doelen eenvoudiger en goedkoper: dit vraagt om beleid gericht op besparing en gedragsverandering bij bedrijven en consumenten. Dit onderzoeksprogramma levert kennis en ontwikkelt technologie voor effectief beleid, aantrekkelijke business cases, een betrouwbare energievoorziening en een rechtvaardige transitie. En het onderzoekt de energietransitie in een breder perspectief: in de tijd (2030, 2050 en verder), ruimte (lokaal, regionaal, nationaal, Europees en mondiaal) en in de verschillende sectoren (industrie, gebouwde omgeving, mobiliteit).	
Titel	VP Duurzaam Bouwen (P502)
Missie / MMIP	Klimaat en Energie
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Arjen Adriaanse en IJsbrand van Straalen
Contactpersonen Overheid / Topsector	Rob Hofman (RWS), Bart Dunsbergen (BZK) en David van de Woude (BZK)
Programma jaar 2021 - Samenvatting	
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 <u>Infrastructuur</u>, <u>Bouwkwiteit</u>, <u>Digitalisering</u> en <u>Energie in de gebouwde omgeving</u>. Doel van de programmaliijn <u>Infrastructuur</u> is het beheer van de verouderende infrastructuur te optimaliseren door reductie van risico's, hogere beschikbaarheid en beperking van stijging in kosten. Doel van de programmaliijn <u>Bouwkwiteit</u> is de veiligheid van de complexer wordende voorraad gebouwen in de veranderende omgeving te garanderen en het bestaande zorgvastgoed te verduurzamen. Doel van het deelprogramma <u>Digitalisering</u> is een methodiek, toolset en proof-of-concept te ontwikkelen voor een Predictive Digital Twin (hierna Predictive Twin genoemd) en om deze toepasbaar te maken voor experts en beheerders van bouw- en infra assets bij monitoring, voorspelling en beslissingsondersteuning. Doel van de programmaliijn <u>Energie in gebouwde omgeving</u> is de transitie naar een energieneutrale gebouwde omgeving te versnellen en de maatschappelijke kosten van de transitie te verlagen.	

Het onderzoek in het deelprogramma Infrastructuur richt zich op het nauwkeuriger voorspellen van de restlevensduur van constructies, zodat de kosten voor beheer en onderhoud kunnen worden verminderd en/of beter kunnen worden gecontroleerd. Daarvoor wordt onder andere het vermoeiingscheurinitiatie-model voor stalen constructies gekoppeld aan het scheurgroei-model voor Life Cycle Fatigue. Op het gebied van de beoordeling van (vooral) betonnen constructies wordt verder het Safety Format voor de probabilistische analyses geharmoniseerd. Daarnaast worden diverse voor staalconstructies relevante meetmethoden onderzocht, onder andere om draadbreuken in voorspankabels eerder te detecteren. Om de onzekerheid in verkeersbelasting te reduceren, worden meetgegevens van Weigh-in-Motion (WIM) systemen gekoppeld met andere data en worden de Bridge-WIM algoritmen doorontwikkeld zodat metingen aan een brug inzicht kunnen geven in de verkeerssamenstelling en verkeersbelasting. De ontwikkelde kennis wordt via (inter)nationale gremia als NEN, CEN, *fib* en JCSS ingebracht in normen en richtlijnen.

In het deelprogramma Bouwkwaliteit wordt in samenspraak met stakeholders in een roadmap uitwerking gegeven aan nieuwe methodes voor systeembeoordelingen van de constructieve veiligheid van complexe gebouwen en de gevolgen van klimaatverandering daarop. Deze roadmap wordt leidend voor toekomstige kennisopbouw van constructieve veiligheid bij TNO. Daarnaast wordt onderzoek verricht naar de gevolgen van bodemdaling op gebouwen. Er worden modellen ontwikkeld voor het herleiden van scheuren in metselwerk naar optredende zetting van de ondergrond en voor het objectief beoordelen van het effect van palenrot. De verduurzaming van zorgvastgoed staat hoog op de maatschappelijke agenda. TNO gaat na hoe de bouwkundige en installatietechnische infrastructuur van complexe zorggebouwen zoals ziekenhuizen is te optimaliseren.

In het deelprogramma Digitalisering ontwikkelt TNO methodieken, toolsets en proof-of-concepts voor Predictive Twins. Deze Predictive Twins zijn gebaseerd op open Semantic Linked Data standaarden voor data-, informatie- en kennismodellering en voorspellende modellen (op basis van artificial intelligence - AI - en fysische modellen). BIM-modellen (BIM staat voor Bouw Informatie Model) worden gekoppeld aan deze Predictive Twins. Functionaliteiten worden aan 3D BIM-modellen toegevoegd met behulp van BIM Bots (autonome softwaresystemen, draaiend als webservices in de Cloud, die bewerkingen kunnen uitvoeren op BIM data). Beoogde resultaten voor 2021 zijn: een blauwdruk voor typologieën van Predictive Twins, een Common Data Environment (CDE) referentie-architectuur en deel-implementaties daarvan, een verkenning van de mogelijkheden en kansen van kennismodellering op basis van Semantic Linked Data en open standaarden en doorontwikkelde BIM Bots.

In het deelprogramma Energie in de gebouwde omgeving richt TNO zich op het ontwikkelen van oplossingen voor de groot-schalige renovatie van de woning- en utiliteitsbouwvoorraad en de industriële productie daarvan en op het ontwikkelen van datagedreven gebouwmodellen (digital twins) voor het vaststellen, voorspellen en sturen van daadwerkelijke prestaties van renovatieconcepten op het gebied van energie, comfort en binnenluchtkwaliteit. Speerpunten hierbij zijn de ontwikkeling van industriële productplatforms en tools voor gebouwclustering, het realistischer modelleren van het werkelijke gebruikersgedrag en het inzetten van AI in combinatie met fysische modellen om een betrouwbaardere korte termijn voorspelling te maken van de werkelijke gebouwprestaties, onder andere ten behoeve van energieflexibilisering.



Berekende scheurvorming ten gevolge van palenrot

Titel	VP Duurzame collectieve warmte in de gebouwde omgeving (P307)
Missie / MMIP	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 (Coördinator Aardgasvrije Wijken), Tirza van Daalen (VP GDN)
Contactpersonen Overheid / Topsector	Ans van den Bosch en Ronald Schillemans (Min. EZK) + Jos van Dalen (Min. BZK) / Robert Jan van Egmond (TKI Urban Energy) + Jörg Gigler (TKI Nieuw gas)
Programma jaar 2021 - Samenvatting	

De verduurzaming van de gebouwde omgeving en het uitschakelen van fossiele brandstoffen is een belangrijk thema in het klimaatakkoord. De ambitie is om in 2030 1,5 miljoen woningen te verduurzamen. Vanaf 2025 moeten 80.000 woningen per jaar worden aangesloten om deze ambitie te halen.

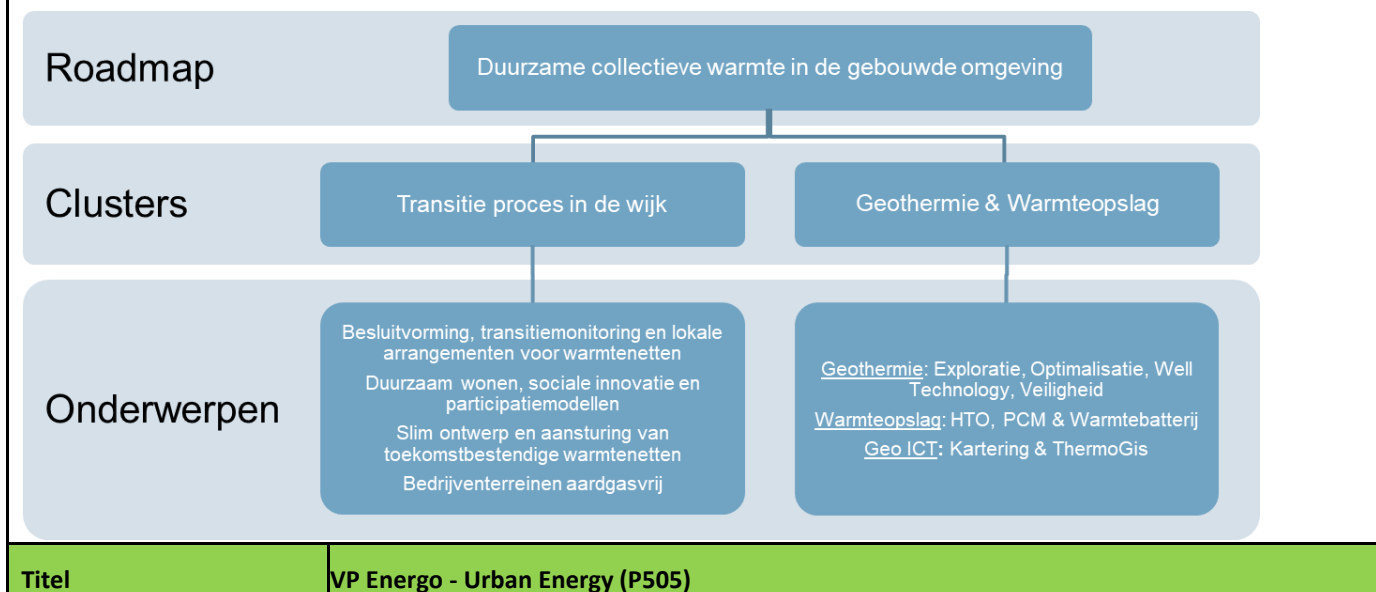
In de gebouwde omgeving spelen veel belangen en is er een variëteit aan type woningen, wijken en bewoners. Partijen in deze sector staan voor de uitdaging in deze complexe omgeving betaalbare, betrouwbare en maatschappelijk aanvaardbare alternatieven te vinden voor aardgas als bron van warmte. Ook vraagt de energietransitie meer snelheid om de doelen in 2030 te halen. Opschaalbaarheid van innovaties en nieuwe technieken is hierbij een randvoorwaarde. Dat geldt zowel voor de verduurzaming van gebouwen als voor complete wijken. Maar hoe doe je dat in deze variëteit?

De ontwikkeling van collectieve warmte in de gebouwde omgeving richt zich op verduurzaming en uitbreiding van bestaande warmtenetten in wijken met veel corporatiebezit en op aanleg van nieuwe warmtenetten op plekken waar veel lokale warmte beschikbaar is en bewoners actief meedoen. In de basis lijkt het eenvoudiger om netten aan te leggen in wijken met veel corporatiebezit. Woonwijken met veel particulier woningbezit zijn lastiger om te ontwikkelen. Bedrijventerreinen zijn hierin een nog onderbelicht 'type wijk'. De (deel)programma's van MMIP3, -4 en -5 beschrijven de kennisvragen van commerciële bedrijven en publieke organisaties die werken aan de energietransitie in deze sector. TNO heeft een actieve bijdrage geleverd aan de totstandkoming van deze programma's en is tevens vertegenwoordigd in elk van de Programma Advies Colleges (PAC's) die TKI Urban Energy voor deze MMIP's heeft ingesteld.

Het PMC Cluster Geothermie en warmteopslag van dit VP sluit heel goed aan op MMIP4, het PMC Cluster Transitieproces in de wijk sluit daarnaast ook aan op MMIP3 en MMIP5.

Vanuit dit Vraaggestuurd Programma (VP) is TNO trekker van het Innovatieplan WarmingUP dat op 1 januari 2020 is gestart. De omvang van de TNO-activiteiten in WarmingUP zijn €6,3 M waarvan €2,2 M VP-middelen worden aangewend (ca. €700 k per jaar, excl. forfaitaire btw). Kennisontwikkeling in het PMC Cluster Transitieproces in de wijk is tevens gekoppeld aan het Innovatieplan IEBB (Integrale Energietransitie Bestaande Bouw) dat dezelfde startdatum heeft.

TNO ontwikkelt in 2021 nieuwe kennis en innovaties voor ontwerp- en aansturingstools voor warmtenetten, kostenreducties, veiligheid en karakterisatie van onbekende reservoirs voor geothermie, richtlijnen, proefboringen en voorbereiding pilotprojecten voor ondergrondse warmte-opslag, handboeken voor besluitvormingsprocessen, samenwerkingsvormen, methoden voor ontwikkel strategieën van warmtenetten, voor sociale innovaties gericht op aardgasvrij wonen. Sociaal-maatschappelijke en sociaaleconomische innovaties zijn cruciaal voor het realiseren van opschaling. De aandacht voor de ontwikkeling van afwegingskaders, beslisprocessen en keteninnovatie is hierbij essentieel om de energietransitie te kunnen realiseren, evenals gedragsdynamiek van bewoners. (TNO creëert synergie door de middelen uit dit VP te combineren met de subsidies uit MMIP4 (en voor een klein deel uit MMIP3 en MMIP5) en andere instrumenten zoals de DEI+ en HE+, TKI-toeslag, TSE Gebouwde omgeving en Europese subsidies zoals H2020 en Geothermica. Deze projecten worden veelal met bedrijven uitgevoerd.



Missie / MMIP	Klimaat en Energie
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Arjen Adriaanse, Linda Hoes-van Oeffelen
Contactpersonen Overheid / Topsector	Robert Jan van Egmond (TKI UE), David van der Woude (BZK)
Programma jaar 2021 - Samenvatting	
Het programma Energie in de Gebouwde Omgeving richt zich op de realisatie van een energieneutrale gebouwde omgeving in 2050 en heeft als doel om, binnen een horizon van 4-7 jaar, de benodigde opschaling van het aantal uit te voeren energierenovaties in de bestaande bouw te helpen realiseren. De opgave om per jaar circa 200.000 bestaande woningen van het aardgas af te brengen en te voorzien van een duurzame warmtevoorziening is direct gekoppeld aan een vergelijkbaar grote opgave om de gebouwde omgeving energieneutraal te maken. Technologie en processen om deze schaalgrootte mogelijk te maken moeten in de komende jaren uitontwikkeld worden, zodat vanaf 2022 brede marktintroductie mogelijk wordt. Binnen het programma Energo wordt daarom gewerkt aan verschillende technologieën voor opwekking, conversie en opslag van duurzame energie en technologie en tools die de benodigde opschaling voor de verduurzaming van de gebouwde omgeving ondersteunen en het verbruik van energie reduceren (met behoud van comfort en gezondheid). Speerpunten zijn compacte warmteopslag (hogere energiedichtheid tegen lagere kosten), duurzame warmte- en koudesystemen (goede integratie in het gebouw en betere systeemprestaties tegen lagere kosten) en warmteopwekking aan de gebouwschil (hogere rendementen tegen lagere kosten). <i>Compacte warmteopslag</i> Binnen TNO wordt compacte warmteopslag middels drie verschillende technologieën doorontwikkeld: voelbare compacte opslag, thermochemische opslag door middel van zouten (twee afzonderlijke reactorconcepten) en compacte opslag door middel van redox reacties. Voor voelbare opslag focust het onderzoek zich op gebruik van alternatieve materialen met hogere energiedichtheid dan water en verbeterde isolatie van voelbare opslagbatterijen voor combinatie met PV. Voor thermochemische opslag focust het onderzoek zich op een verhoogde opslagdichtheid of opslagcapaciteit, doorontwikkeling van het materiaal voor in de reactor en de combinatie met een warmtepomp. Voor redox-heat wordt een opslagmodule op basis van koper in een gefluïdiseerd bed in het lab gedemonstreerd. Voor thermochemische opslag is in 2020 een eerste stap gezet richting commercialisatie, die in 2021 verder wordt doorgezet. Hiermee komt marktintroductie van deze technologie een stap dichterbij. <i>Duurzame warmte- en koudesystemen</i> Het onderzoek richt zich op de systeemintegratie van duurzame warmte- en koudesystemen in het gebouw en in interactie met het energiesysteem. In 2021 wordt onder andere onderzoek gedaan naar optimalisatie van de regeling van (hybride) warmtepompsystemen voor ruimteverwarming en warm tapwater en naar de seizoensprestatie van diverse hybride warmtepompen in realistische omstandigheden. De emulator testomgeving voor onderzoek naar dynamisch gedrag van duurzame warmte- en koudesystemen van het Heat Pump Application Center wordt in 2021 verder uitgebreid (onder andere ten behoeve van onderzoek naar PVT-warmtepompcombinaties, hybride warmtepompen, smart controls, efficiënte warm tapwaterproductie, warmtepompen in combinatie met warmtebuffering en integratie met distributie- en afgiftesystemen). <i>Warmteopwekking aan de gebouwschil</i> Op zonnewarmte-gebied richt het onderzoek voor de warmtewingevel en PV-T oplossingen zich op de ontwikkeling van warmtesysteemconcepten, optimalisatie van warmte-extractie, regelingen en Internet of Things (IoT) regel hardware. Om marktacceptatie te kunnen realiseren wordt de technologie in verschillende toepassingsdomeinen gedemonstreerd en wordt het esthetisch pallet (kleuren en structuren) uitgebreid. In 2021 zal de warmtewingevel worden geoptimaliseerd in combinatie met slimme regelingen en zal deze worden gedemonstreerd in een rijtjeswoning en een kantoorpand. Daarnaast wordt gestart met de ontwikkeling van adaptieve gevelelementen.	
Titel	VP Solar Energy (P321)
Missie / MMIP	Klimaat en Energie / MMIP2, MMIP3
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Harm Jeeninga / Wim Sinke
Contactpersonen Overheid / Topsector	Wijnand van Hooff (TKI UE, Solar) / Robin Quax (TKI Urban Energy)

Programma jaar 2021 - Samenvatting

This program is directly and mainly connected to MMIP2 (Electricity Generation on Land and in the Built Environment) and to MMIP3 (Acceleration Energy Renovations Built Environment). The overall missions of these MMIPs related to Solar Energy are:

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

With a modest use of surface area the installed capacity of PV solar energy in the Netherlands can grow to 200 GWp or even more, which is a factor 25 larger than current installations. This would generate about 200 TWh/year electricity (note that total consumption is approximately 120 TWh today). A high level of ambition is motivated by the expected increasing role of electricity in the total energy mix and the corresponding increase in the absolute amount needed. Recent TNO scenarios give an indicative range of 300 to 450 TWh for total use in 2050. It is noted that electricity will not only be used for current purposes, but increasingly also to serve other needs, by power-to-heat, power-to-fuel, power-to-feedstock, e-mobility, and more. This trend is referred to as 'electrification' and an important driver for the transition to an emission-free energy economy as aimed for and described in the Climate Agreement.

This VP aims to develop technologies and solutions for large scale application and integration of photovoltaic solar energy (PV) with a keen eye for cost effectiveness on the one hand and societal and environmental values such as ecology, landscape quality, dual land use and sustainability on the other hand. As a result, it also contributes to strengthening, respectively rebuilding the Dutch and European PV manufacturing industry, a strategic value chain addressed through the European Solar Manufacturing Accelerator initiative, the Clean Energy Technology Partnership (in preparation) and the European Green Deal.

The main goals for **2030** are:

- Design and industrialization of cost-competitive, high-value integrated solar energy elements and the processes and semi-fabricates needed to build and optimize the supply chains for different applications, feeding into:
- Development and demonstration of system concepts and solutions to integrate PV in the built environment, infrastructure and landscape, and for mobility and floating PV (inner and outer waters in which the latter is connected to MMIP1 Electricity Generation at Sea).

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

- Cost reduction of modules/foils to 0,10 €/Wp combined with an efficiency increase to 25%-30%;
- Increased lifetime of modules and/or PV elements to 35 years;
- Development and industrialization of processes for high-efficiency solar cells, modules and foils (crystalline silicon, thin films and tandems);
- Development and industrialization of processes for flat-plate, 2D/3D curved and flexible modules and foils;
- Development of PV elements with improved sustainability / circularity while maintaining long lifetime.

For 2021 the main goals are described below and the R&D will be carried out with academic and industrial partners, within two R&D clusters.

Integration and Applications

- Development of concepts for mass customization, enabling affordable customized integrated solar energy elements for buildings, infrastructure, agriculture and landscape;
- Development of concepts for solar parks on land, infrastructure and water with high societal value: improved circularity, double use of area, eco-positive, agri-PV, landscape integration;
- Development of concepts for floating solar that contribute to the roadmap towards solar-at-sea;
- Development of concepts for solar energy in buildings that take away current barriers for adoption;
- Development of concepts for solar energy integrated in electric vehicles and e-charging stations;

- Performance analysis of building integrated PV elements, PV integrated in infrastructure, mobility and in landscape, and floating PV.

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

- Scale-up and optimization of processes and designs for larger area tandem modules (rigid and flexible), demonstration of their stability (lab and outdoor) and low-cost potential;
- Development of functional coatings enabling 24% silicon solar cell front side efficiency and demonstration of their stability on module level;
- Development and optimization of technologies for flexible perovskite solar cell and modules;
- Development of back-contact thin-film PV technologies to enable mass customization;
- Development and optimization of flexible interconnection concepts for customized PV elements applicable to infrastructure, buildings, vehicles, etc.

In achieving these goals, our new research facilities now under construction in Eindhoven and Petten play an important role. They are dedicated to: advanced silicon and tandem cell processing, new solar modules, mass customization and environmental impact and safety.

Titel	VP Windenergie (P322)
Missie / MMIP	Klimaat en Energie
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Harm Jeeninga / Peter Eecen
Contactpersonen Overheid / Topsector	Bob Meijer, TKI WoZ

Programma jaar 2021 - Samenvatting

Dit VP richt zich op het mogelijk maken van de benodigde schaa sprong voor offshore windenergie van 2.5GW in 2020 zodra Borssele gereed is, naar 11GW in 2030 en meer dan 50GW in 2050. Voor offshore wind is het evident dat de benodigde schaa sprong met de huidige stand van de techniek niet zonder meer mogelijk is. De opschaling loopt tegen knelpunten aan zoals hoge kosten, uitroltempo, offshore ruimtegebruik en veiligheid (zoals scheepvaart). Daarnaast worden ecologische effecten zichtbaar en vergt de integratie van grote hoeveelheden offshore windenergie belangrijke ontwikkelingen in systeemintegratie.

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

Het R&D programma van TNO Windenergie is onderdeel van TKI Wind op Zee (TKI-WoZ) en sluit naadloos aan op MMIP1 van Missie A. naast een doorlopend programma dat bestaat uit meerdere lopende projecten wordt in 2021 versterkt ingezet op de ontwikkeling van programma's rondom

- Inpassing in ecologie en impact op ecologie
- Ontwikkeling van gepaste offshore infrastructuur
- Circulariteit

In 2021 worden hiertoe twee nieuwe faciliteiten gebruikt: de environmental field lab voor vogelmonitoring rond turbines en systeem integratie field lab SWITCH voor onderzoek aan conversie, opslag en infrastructuur.

Het lopende TNO R&D programma "Windenergie" richt zich op innovaties in offshore windenergie. De geïmplementeerd innovaties zijn dan ondersteunend voor de Nederlandse industrie en leiden tot versnelde of vergrootte implementatie van offshore windparken, onder andere door het wegnemen van barrières door:

- Reductie van de prijs van offshore windstroom

- Innovaties om grotere turbines commercieel aantrekkelijk te maken
- Verbeteringen in installatie, beheer en onderhoud van windturbines
- Integratie in het energiesysteem door flexibiliteit, opslag en markt
 - Innovaties die integratie van windvermogen in het energiesysteem verbeteren zoals productie van waterstof en opslagsystemen
 - Integratieconcepten van drijvende zonne-energie in offshore windparken
 - Ontwikkelen van scenario's voor 2030 en 2050 en de ontwikkeling van markt en elektriciteitsprijs.
- Ontwikkeling van compleet nieuwe concepten
 - Ontwikkeling van innovatieve testopstelling voor rotoren
 - Realisatie onderzoekturbine voor validatie van nieuwe blad tips
 - Opleveren van een off-grid windparkconcept

Dit leidt tot een gezonde, competitieve offshore wind sector met vele groene banen.

Titel	VP Industry - Towards a CO ₂ -neutral industry (P323)
Missie / MMIP	Klimaat en Energie
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Harm Jeeninga / Jaap Vente
Contactpersonen Overheid / Topsector	Peter Besseling, Joëlle Rekers, Tom Mikunda, Ed Buddebaum, Marle Zijlstra (EZK) / TKI E&I (Rob Kreiter), TKI- New Gas (Jörg Gigler)

Programma jaar 2021 - Samenvatting

The demand driven program "Towards a CO₂ neutral industry" responds to the societal need for a carbon neutral industry as formulated in the Climate Agreement¹. Within this program, four solution pathways for the development of technologies that are robust towards various future energy scenarios for a society that has a net zero CO₂ emission have been defined: Heat, Efficiency and Circularity, Electrification and Products based on Renewable Electricity and Carbon Capture Use and Storage for the Energy Intensive Industry. Combined these four challenges answer the themes detailed by the Climate Agreement.

In 2022, TNO strives

- to have **technologies demonstrated** up to TRL6, with a total summed CO₂ abatement potential of 15 Mt/y in the Netherlands, which is about $\frac{1}{3}$ of the current industrial CO₂ emissions.

Currently TNO is demonstrating carbon capture technologies for the steel industry and a waste to energy sectors. Combined these technologies have an abatement potential of 16Mton CO₂ per year in the Netherlands alone.

- to have **market ready technologies transferred** to the commercial entities, that function within aligned value chains to serve emerging markets,
For various technologies TNO is engaged in detailed negotiations with commercial entities to enable the market introduction.
- to have initiated and organized (inter)national **research and innovations programs** that play a steering role for the development and implementation of innovative solutions for the CO₂ - neutral industry.
Through the formation of a national heat program and the election as chair of the joint program on energy efficiency of the European Energy Research Alliance, TNO is extending its role as thought leader in the (inter)national community.

A partial overview of the activities for 2021 includes

- Steam production using a heat pump technology up to 6 bar.
- Scale up of key TNO technologies for CO₂ capture towards industrial implementation
- Novel CO separation technology scan and inventory
- Construction and commissioning of facilities and installations

¹ <https://www.klimaatakkoord.nl/>

Titel	VP Fuels and Feedstock - Naar CO2-neutrale brand- en grondstoffen (P324)	
Missie / MMIP	Klimaat en Energie	
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Richard Braal, Ronald van den Berg, René Peters, Jaap Kiel, Maarten Bijl, Lennert Buijs	
Contactpersonen Overheid / Topsector	Kees de Gooijer (TKI-BBE), Rob Kreiter (TKI-E&I), Jörg Gigler (TKI-Gas)	

Programma jaar 2021 – Samenvatting

The roadmap “towards CO2 neutral fuels and feedstock” aims to enable the smooth, safe and efficient transition from traditional energy sources towards renewable CO2-neutral fuels and feedstock in 2050. Goal is to develop and strengthen the (Dutch) industry towards the use of CO2-neutral energy carriers and chemical building blocks.

The government’s central goal with the National Climate Agreement is to reduce greenhouse gas emissions in the Netherlands by 49% by 2030 compared to 1990 levels. An integral knowledge and innovation agenda (IKIA) was established, following the Dutch climate agreement. Five “missions” were defined containing 13 MMIPs (multi-year mission driven innovation programs). This roadmap contributes to several of the goals to be reached by the MMIPs:

Mission	How this roadmap is contributing	Planned in 2021
In 2030 biobased feedstock is fully implemented and considered to be “standard” (mission C)	We develop technology and support industrial implementation to enable 500 PJ biobased fuels and feedstock use in the NL with a strong involvement of Dutch industry to reach the GHG reduction targets for mobility/transport, other energy functions, and to green chemistry.	• Start of the Shared Innovation Program on Advanced Biofuels BIO2GO, in collaboration with WUR, PDB and industry partners. • First results for 1-3 gasification-based value chains for jet and marine biofuels. • Roadmap and formation of partnerships for demonstration and market introduction of FABIOLA™ fractionation technology. • Start of a 0.5 ton/h TORWASH® biomass upgrading demo-project for sewage sludge and piloting for agro-residues and organic industrial sludges. • Within Biorizon, production of first sample batches from the thermochemical depolymerisation piloting for industrial application development. • Support to TATA concerning Hlsarna innovative steelmaking technology.
In 2030 sustainable hydrogen production is on its way to implementation (mission C)	Making available new efficient, cost effective and well demonstrated technology for hydrogen production and applications thereof, like synthetic fuels and chemicals and supporting Dutch industry to play a strong role in their wide commercial implementation in 2030-2050.	plan 2021: • Support electrolyser cost reduction and scale up centered around the (inter)national Faraday lab • Start a program aimed at offshore green hydrogen production • Start an international development program on a novel approach towards synthetic aviation fuels • Intensify international cooperation and alignment

In 2030 the Netherlands produces at least 49 TWh of offshore renewable energy (mission A) Have an efficient transition from the currently fossil based energy system towards a hybrid (2030) and renewable (2050) energy system, efficiently implemented in the Northwest European context (MMIP-13, all missions)	We support the development of the North Sea as a renewable energy hub.	• Develop collaborative R&D program on offshore system integration for the North Sea (North Sea Energy 4 and MOOI project North Sea Energy – WIND)	
	We support efficiently re-use of existing infrastructure for the renewable energy system: hydrogen admixing, CO2 transport and storage and green-gas in a Northwest European context.	• Support Min EZK for the development of combined offshore wind and hydrogen tenders for the North Sea en future wind development area's • Develop PPS on new energy infrastructure for H2 and CO2 transport, including cross border transport to Germany and Belgium (HY3+)	
	We develop fact-based decision support and system optimization systems using AI, big data and collective data analytics.	• Support development decision support workflows for O&G industry (B2B -Equinor, Wintershall, Petoro, Oranje Nassau Energy) • Apply and demonstrate in applications for heat (MOOI proposal VERENIGD, TKI), wind, solar and system integration.	
	We understand and develop/maintain safety standards and practices to facilitate the transition towards transport and storage of new energy carriers and repurposing of existing infrastructure.	• Contribute to safe and reliable energy transport (H2 and CO2) in existing transport and distribution networks (HyDelta, National Hydrogen Safety Program (WVIP) with H2 platform and NEN	

Titel	VP Milieu en Duurzaamheid (P510)
Missie / MMIP	Circulaire Economie
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Erlend Deckers (VPM), Ardi Dortmans (SD)
Contactpersonen Overheid / Topsector	André Rodenburg a.i. (MinlenW)

Programma jaar 2021 - Samenvatting

De wereldbevolking neemt in aantal toe, productie en consumptie blijven groeien. Dit leidt tot klimaatverandering, verslechtering van de kwaliteit van de leefomgeving (gezondheid, veiligheid en ecosystemen), vermindering van grondstoffenvoorraden.

In Parijs zijn wereldwijde afspraken gemaakt om de uitstoot van broeikasgassen in 2050 met meer dan 80% te verminderen ten opzichte van 1990. Dat vraagt een energietransitie naar een CO₂ neutrale samenleving die alle sectoren raakt. Ondanks de verbeterde luchtkwaliteit in Europa zijn er jaarlijks nog steeds ongeveer 400.000 vervroegde sterfgevallen aan luchtkwaliteit te wijden en wordt de ziektelast in Nederland gemiddeld meer dan 5% veroorzaakt door een slechte kwaliteit van de leefomgeving; een kostenpost van 5-7 miljard Euro per jaar. Beheersing van milieurisico's en omgevingsveiligheid staat voor een transitie van saneren en beheersen naar het voorkomen van milieurisico's en gevaren. Een voorbeeld daarvan is ook de ontwikkeling van veiligheidsinnovaties in de petrochemie (Safety Delta Nederland, zoals genoemd in de KIA Maatschappelijk Verdienvermogen).

Daarnaast heeft Nederland de ambitie om in 2050 een circulaire economie te realiseren: duurzame circulaire ketens waarin grondstoffen volledig worden hergebruikt, geen afval wordt geproduceerd en alle gebruikte energie duurzaam is opgewekt. De Kennis- en InnovatieAgenda Circulaire Economie (KIA-CE, 15 oktober 2019) geeft een overzicht van noodzakelijke kennisontwikkeling ten behoeve van het missiegedreven innovatiebeleid. De KIA-CE naar een reductie van de behoefte aan primaire grondstoffen met 50% per 2030 en een volledige circulaire economie in 2050. Maximaliseren van de grondstoffenefficiëntie en het minimaliseren van de ecologische footprint zijn de belangrijkste methoden, die zijn uitgewerkt in de 3 MMIP onder deze KIA-CE: (MMIP1) Ontwerp voor circulariteit, (MMIP2) Circulaire grondstoffen en (productie)processen en (MMIP3) Vertrouwen, gedrag en acceptatie waarin ook expliciet aandacht is opgenomen voor veiligheid, gevaarlijke stoffen (ZZS).

TNO draagt bij aan de oplossing van bovenstaande ambities door enerzijds het inzicht te verbeteren en daarnaast oplossingen te ontwikkelen tbv zowel de overheid als het bedrijfsleven. In de VPs van de Unit CEE werken wij aan beter meten, beter modelleren en verbeterde beslissingsondersteunende systemen voor milieu en luchtkwaliteit, procesveiligheid. Wij ontwerpen circulaire ketens, beoordelen nieuwe technologieën en ketenoplossingen op duurzaamheid en ontwikkelen duurzame technologieën voor kunststoffen, bouwmaterialen en electronica.

Het onderzoeksprogramma in dit VP kent zes speerpunten: Klimaat en Emissies; Milieu en Gezondheid; Risico's en Veiligheid; Impact Assessment; Circulaire Kunststoffen; Circulair Bouwen en Infra. De belangrijkste beoogde resultaten voor 2021 zijn:

- 1) Een dagelijkse brontoekenningsservice voor NL voor methaan, fijnstof en reactief stikstof;
- 2) Kwantitatieve meetmethoden voor identificatie van verschillende potentiële risicostoffen voor o.a. blootstelling beoordelingen;
- 3) Model voor voorspellende risicoanalyse in de petrochemie;
- 4) De Integrale Circulaire Economie Rapportage (ICER) over de status van de circulaire economie in Nederland (samen met andere kennisinstellingen) en gereedschappen om de ontwikkeling daarvan te voorspellen;
- 5) Proces beschrijving voor het recyclen van polymeer, broom en antimoon uit plastic afval van elektronische en elektrische apparatuur inclusief completeren van life cycle inventory data voor de life cycle assessment en life cycle costing;
- 6) Kwantitatieve beoordelingen voor circulariteit van gebouwen.

In dit programma werken wij samen met vele spelers in het Nederlandse kennisveld zoals universiteiten, instellingen, bedrijven en overheden. Wij zijn actief betrokken bij het opzetten van nieuwe samenwerkingsverbanden en geven richting aan de uitvoering daarvan.

Titel	VP Circulaire Economie (P515)
Missie / MMIP	Circulaire Economie
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Erlend Deckers (VPM), Ardi Dortmans (SD)
Contactpersonen Overheid / Topsector	André Rodenburg a.i. (MinlenW)

Programma jaar 2021 - Samenvatting

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

In Paris worldwide agreements have been made to reduce greenhouse gas emissions by more than 80% in 2050 compared to 1990. This requires an energy transition to a CO2 neutral society, impacting all sectors. Despite the improved air quality in Europe, yearly approximately 400.000 premature deaths can be attributed to bad air quality. The burden of disease in the Netherlands is caused for more than 5% by poor quality of the environment, a cost of 5-7 billion Euro per year. Environmental risk management and environmental safety are in front of/facing transition: from remediation and management to the prevention of environmental risks and hazards. An example is the development of safety innovations in petrochemicals (Safety Delta Nederland)

In addition, the Netherlands has the ambition to realize a circular economy by 2050: sustainable circular chains in which resources are fully reused or renewable, no waste is produced and all energy is from sustainable sources. The Knowledge and Innovation Agenda Circular Economy (KIA-CE, 15 October 2019) provides an overview of necessary knowledge development for the mission-driven innovation policy. The KIA-CE aims at a reduction in the need for primary resources by 50% in 2030 and

a fully circular economy in 2050. The most important methods are maximizing resource efficiency and minimizing the ecological footprint. These methods have been elaborated in the 3 MMIPs under this KIA-CE: (MMIP1) design for circularity, (MMIP2) circular resources and (production) processes and (MMIP3) trust, behaviour and acceptance.

TNO contributes to abovementioned ambitions by on the one hand improving the insight and on the other hand developing solutions for both government and business. In the VPs of the Unit CEE we work on better measuring, better modelling and improved decision support systems for environment, air quality and process safety. We design circular chains, assess new technologies and chain solutions for sustainability and develop sustainable technologies for plastics, building materials and electronics.

This VP has three focus points: Impact Assessment, Circular Plastics and Circular Building and Infra. The most important expected results are:

For the transition to **circular plastics**, TNO aims to deliver the next primary results:

- The Plastic Recycling Impact Scenario Model (PRISM) be extended to give guidance to circular plastics on preferred value chains, technology development and barriers;
- Design for circularity has been picked up by assessment of the concentration of plastics in the environment and improved understanding of UV-stability of polymers
- Dissolution technology for WEEE plastics investigated: physical recycling method for recycling of polycarbonates from waste electronic and electrical equipment;

For the transition to **circular buildings and infra**, we focus on the next results:

- A uniform cost curve methodology for asphalt products;
- An analysis of the status quo and future challenges with respect to sustainability and circularity in the “wet” infrastructure sector;
- A roadmap for sustainable use of sand, soil and clay;
- A revision of methodologies to include circularity in LCAs, by means of multiple case studies.

For the methodological renewal of **impact assessment** models and life cycle analysis, we aim to deliver a.o.:

- A methodology where thermodynamic feasibility of circular strategies can be assessed.
- The next steps in developing Future Proof LCA: taking into account both the in-depth technology as well as an estimation of the future background scenario
- A next version of the residual value calculator for other areas and products

This program is aligned and harmonized with programs P510 Milieu en Duurzaamheid and P512 Environmental Technology, the TNO VP Industrial Transformation as well as the relevant ERP (Decarbonisation).

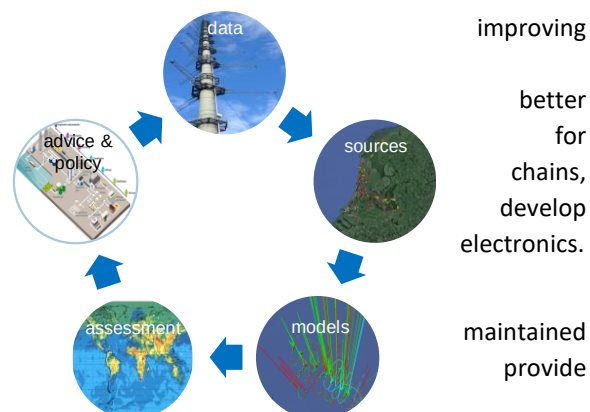
Titel	VP Milieuonderzoek Klimaat (P516)
Missie / MMIP	Circulaire Economie
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Erlend Deckers (VPM) & Ardi Dortmans (SD)
Contactpersonen Overheid / Topsector	Marianne Zandstra (minEZK)

Programma jaar 2021 - Samenvatting

In Paris, worldwide agreements have been made to reduce greenhouse gas emissions by more than 80% in 2050 compared to 1990. This requires an energy transition to a CO₂ neutral society, impacting all sectors. Despite the improved air quality in Europe, yearly approximately 400.000 premature deaths can be attributed to bad air quality. The burden of disease in the Netherlands is caused for more than 5% by poor quality of the environment, a cost of 5-7 billion Euro per year. Environmental risk management and environmental safety are in front of/facing a transition: from remediation and management to the prevention of environmental risks and hazards. An example is the development of safety innovations in petrochemicals (Safety Delta Nederland). In addition, the Netherlands has the ambition to realize a circular economy by 2050: sustainable circular chains in which resources are fully reused or renewable, no waste is produced and all energy is from sustainable sources. The

Knowledge and Innovation Agenda Circular Economy (KIA-CE, 15 October 2019) provides an overview of necessary knowledge development for the mission-driven innovation policy.

TNO contributes to abovementioned ambitions by, on the one hand, insight and, on the other hand, developing solutions for both government and industry. In the VPs of the Unit CEE we work on measuring, better modelling and improved decision support systems environment, air quality and process safety. We design circular assess new technologies and chain solutions for sustainability and sustainable technologies for plastics, building materials and In this VP, innovative, state-of-the-art infrastructure for accurate greenhouse gas monitoring and verification is developed, applied and for the Netherlands. This enables TNO (combined with other VPs) to decision support and advice to the Dutch government and industry.



The longer term goal of this VP (2023) is to provide better, faster monitoring tools for quantification of greenhouse gas sources and sinks in the Netherlands, with more detailed information in specific and/or novel areas of interest. To this purpose, a combination of data from tall towers, ground based mobile measurement campaigns and satellite data will be used.

This VP is connected to other initiatives in the Netherlands such as the Ruisdael Observatory (<https://ruisdael-observatory.nl/>) where we cooperate on monitoring of greenhouse gases with other Dutch scientific partners (TUD, KNMI, RIVM, RUG, WUR, VU, UU). We are also partner in European projects on this topic such as MEMO² and RINGO.

Titel	VP Watertechnologie (P504)
Missie / MMIP	Circulaire Economie
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Erlend Deckers (VPM), Ardi Dortmans (SD)
Contactpersonen Overheid / Topsector	Dirk Jan Sloot (MinlenW)

Programma jaar 2021 - Samenvatting

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

In Paris worldwide agreements have been made to reduce greenhouse gas emissions by more than 80% in 2050 compared to 1990. This requires an energy transition to a CO₂ neutral society, impacting all sectors. Despite the improved air quality in Europe, yearly approximately 400.000 premature deaths can be attributed to bad air quality. The burden of disease in the Netherlands is caused for more than 5% by poor quality of the environment, a cost of 5-7 billion Euro per year. Environmental risk management and environmental safety are in front of/facing transition: from remediation and management to the prevention of environmental risks and hazards. An example is the development of safety innovations in petrochemicals (Safety Delta Nederland). In addition, the Netherlands has the ambition to realize a circular economy by 2050: sustainable circular chains in which resources are fully reused or renewable, no waste is produced and all energy is from sustainable sources. The Knowledge and Innovation Agenda Circular Economy (KIA-CE, 15 October 2019) provides an overview of necessary knowledge development for the mission-driven innovation policy.

TNO contributes to abovementioned ambitions by, on the one hand improving the insight and on the other hand developing solutions for both government and business. In the VPs of the Unit CEE we work on better measuring, better modelling and improved decision support systems for environment, air quality and process safety. We design circular chains, assess new technologies and chain solutions for sustainability and develop sustainable technologies for plastics, building materials and electronics.

One of the materials whose production and use has grown exponentially over the last decades is plastic. Plastic has become the third most abundant man-made material after steel and concrete. Meanwhile, plastic pollution has become a global systemic problem, the ecological implications of which are widely recognized. In addition, microplastic pollution appears to have grown to a global level. It is still unknown how much microplastics pollution negatively effects environment and human health, but clearly solutions and mitigation strategies should be developed to solve the problem, or prevent it from getting worse. To get answers to these questions is the focus of this VP504.

TNO is setting up a Microplastic research program, combining all knowledge on this subject within TNO, from Materials to Health. This program will be part of and connected to other initiatives in the Netherlands and Europe such as the Microplastics and Health initiatives of ZONMW and EC projects (EXAMINE, COHENTE). These are connected to fundamental research partners (UU, UM e.g.), knowledge partners like RIVM, scientific networks like TI Coast and industrial partners. Our research initiatives fit in the Knowledge and Innovation Circular Economy (KIA-CE, MMIP 1) as well as Sleutel-technologieën (Advanced Materials, Measurement & Detection).



Titel	
	Smart T&T, BZK, Smart Cities (P509)
Missie / MMIP	Mobiliteit / Energietransitie en Duurzaamheid, Toekomstbestendige Mobiliteitssystemen & Duurzame Mobiliteit
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Geiske Bouma (VP-manager) Marieke Martens (Director Science Traffic and Transport) Martijn Stamm (Director Market Traffic and Transport)
Contactpersonen Overheid / Topsector	Kees de Jong (BZK-DGBRW, DRO, contactpersoon kennis) Erik Jan van Kempen (BZK-DGBRW, DRO, DG Omgevingswet)
Programma jaar 2021 - Samenvatting	
De roadmap Smart & Safe van de Unit Traffic and Transport richt zich op het mobiliteitssysteem vanuit het perspectief van digitalisering, automatisering en zero emission. Hierbinnen valt het Cluster <i>Societal Impact</i> dat met haar innovaties inzet 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 (zie figuur 1). 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.	

OUR HOLISTIC VIEW ON THE INTERACTION BETWEEN HUMANS, VEHICLES AND THEIR SURROUNDINGS

To establish safe, efficient, sustainable and comfortable traffic and transport, we are convinced that future-proof solutions are based on a balanced interaction between humans, vehicles and their environment.



We organize our activities focusing on 2 aspects : **SMART** improve safety & traffic flow
improve efficiency & air quality while reducing CO2 emissions

We integrate 3 system levels of innovation : **VEHICLE** improve functionality & performance
SYSTEM improve interaction & reliability
SOCIETY improve accessibility & liveability

TNO innovation for life

Figuur 1: Werkveld Unit Traffic and Transport

Veel uitdagingen in de steden zijn alleen op te lossen in samenwerking met de stakeholders in de steden en met beyond state-of-the-art kennis. Om 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 de stad en mogelijke effecten van toekomstige scenario's. De opgaven van woningbouw, leefbaarheid, bereikbaarheid en CO2-reductie hangen met elkaar samen. Het doel is de verschillende impacts en inzichten te combineren, want wat goed is voor bereikbaarheid is dat wellicht niet voor leefbaarheid. In de praktijk gaan sommige ontwikkelingen sneller dan voorspeld. Ook kunnen de doelstellingen van de steden veelal onmogelijk in één keer bereikt worden, bijvoorbeeld op het gebied van CO2- of energiereductie.

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). En 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.

In 2021 ontwikkelen we verder aan de state-of-the art New Urban Mobility Platform. Een platform met een unieke architectuur (IMB5) voor data processing, analytics, modellering en visualisatie. Die om kan gaan met de groei van data (realtime, Internet of Things). Dit is nodig om innovaties t.a.v. datagedreven modellering, AI en de koppeling met interactieve modellen op het stedelijke/regionale schaalniveau te kunnen bedienen. In 2020 is de architectuur van IMB5 ontworpen en getest, in 2021 zetten we in op implementatie en finetuning door middel van toepassing op use cases.

We zien ook de noodzaak voor zogenaamde 'Next Generation Urban Modeling & Simulation'. Modelconcepten en simulatiemodellen die in staat zijn om interactief (korte rekentijden), integraal, multimodaal, en toegankelijk (visueel en gebruiksvriendelijk) te functioneren. TNO heeft hier unieke kennis vanuit haar expertise op modellering en simulatie in het domein van mobiliteit en duurzaamheid/milieu, en voegt daar in 2021 haar kennis op het gebied van energie en ruimte aan toe. Dit is nodig om de impact van maatregelen en trends te kunnen simuleren (denk aan de impact van automatisch rijden en MaaS), waar dit met traditionele modellen niet mogelijk is. Dit onder druk van de behoefte van steden en regio's om meer inzicht te krijgen in de mogelijkheden van bijvoorbeeld deelmobiliteit en elektrificatie. Daarbij zet TNO in 2021 in op doorontwikkeling van Activity Based Modelling en Artificial Intelligence, toegepast op het domein van mobiliteit en gebiedsontwikkeling. Waarbij toepassing op use cases de resultaten in de praktijk laten zien.

Datadriven modelling en AI is een belangrijk speerpunt van de kennisontwikkeling in 2021. Dit stelt modellen in staat om de volledige capaciteit van de monitoringsgegevens die momenteel of in de toekomst beschikbaar zijn, te gebruiken. Dit is nodig om de bruikbaarheid en voorspelbaarheid van modellen te vergroten door te leren van de echte wereld, en uiteindelijk de verschillende effecten (o.g.v. doorstroming, bereikbaarheid, uitstoot, verkeersveiligheid) te kunnen combineren. Het inrichten van een leercyclus voor adaptief programmeren is in de visie van TNO onontbeerlijk om de

gewenste doelen te bereiken. De leercyclus zet de stap van ontwerpen naar monitoren en evalueren en de lessen doorvertalen naar nieuwe stappen in de praktijk. Daarin speelt de voornoemde doorontwikkeling van modelconcepten, tooling en instrumenten een cruciale rol, zodat overheden met hun stakeholders fact-based besluiten kunnen nemen.

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

Titel	Smart T&T, Logistiek & Mobiliteit (P403) en Sustainable T&T, Logistiek & Mobiliteit (P406)
Missie / MMIP	Mobiliteit / Missie D+ (MMIP 9 & 10; deel-KIA Toekomstbestendige Mobiliteitssystemen)
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Isabel Wilmink (VP-manager) Marieke Martens (Director of Science)
Contactpersonen Overheid / Topsector	Hajo Aldershof (IenW-DGMO/KIS) Karen de Ruijter (IenW-DGMO/KIS)

Programma jaar 2021 - Samenvatting

Een slim, veilig, duurzaam en betrouwbaar mobiliteitssysteem is een bepalende voorwaarde voor het goed functioneren van onze moderne samenleving. Gespecialiseerde productie en mondiale handel vereisen logistieke systemen en fysieke verplaatsing van goederen. Mobiliteit van personen stelt ons in staat om activiteiten als wonen, werken en recreëren op verschillende locaties uit te voeren. Het transportsysteem van mensen en goederen is echter complex en dient continu te worden aangepast aan de omvang van de transportvraag en de kwaliteit die de samenleving wenst. Deze kwaliteitseisen betreffen: duurzaamheid (klimaatadaptief en circulair, 'zero emissions'), verkeersveiligheid ('zero casualties'), efficiëntie en betrouwbaarheid van het mobiliteitssysteem en bereikbaarheid voor personen en goederen (middels slimme multi/synchromodale logistiek) ('zero loss'). Doelstelling van deze twee vraaggestuurde programma's (VPs) is om *met nieuwe meetmethoden, met grootschalige dataverwerking, met slimme modelconcepten en met nieuwe applicaties kennis op te bouwen waarmee een mobiliteitssysteem ontworpen kan worden dat duurzamer, veiliger, efficiënter en betrouwbaarder is, voor mensen en goederen, en aangepast op de maatschappelijke en economische vragen.*

In deze twee VP's wordt gewerkt aan 5 thema's die zowel betrekking hebben op Smart als op Sustainable Mobility, en gekozen zijn in samenspraak met het ministerie: (1) Mobility-as-a-Service, (2) safe & smart mobility met ook een link naar automatisch rijden, (3) duurzame mobiliteit, (4) logistiek en (5) modellen (met ook een link naar de andere 4 thema's). Voor alle thema's geldt dat TNO werkt aan future-proof instrumentarium (modelconcepten, methodieken, tools) waarmee inzicht verkregen kan worden in de impact van nieuwe mobiliteitsconcepten die kunnen bijdragen aan een toekomstbestendig, slim, verkeersveilig en duurzaam mobiliteitssysteem. Bijvoorbeeld, er is een wens te kijken naar de impact van automatisch rijden, van deelsystemen, van nieuwe vervoerwijzen zoals elektrische stepjes, maar de huidige generatie modellen kan hier nog niet adequaat mee omgaan, aangezien er nieuwe onderliggende parameters nodig zijn. We onderzoeken hoe deze ontwikkelingen het keuzegedrag van reizigers en vervoerders veranderen (bijvoorbeeld qua vervoerwijze/voertuigkeuze, routekeuze, of rijgedrag). Daarvoor benodigde datasets met reis- & rijgedrag komen langzaam beschikbaar en TNO heeft als één van de weinige partijen de benodigde expertise om data-analyses uit te voeren die directe invoer voor de modelconcepten die we ontwikkelen opleveren.

Verder spelen 'sleuteltechnologieën' waarmee de nieuwe mobiliteitsconcepten effectief uit te rollen zijn een rol, zoals gedragsaspecten, datavraagstukken, interoperabiliteits-vraagstukken en de invloed van A.I.. Hier is de multidisciplinariteit van TNO een groot voordeel – door kennis op al deze gebieden te combineren ontwikkelen we unieke kennis en modelconcepten.

Enkele belangrijke resultaten die in 2021 gerealiseerd worden:

- Toolketen van verkeers- en vervoermodelconcepten waarmee de impact van nieuwe mobiliteitsconcepten (zelfrijdend, connected, coöperatief, nieuwe vormen van micromodaliteiten, elektrisch, last mile vervoer) en disruptieve ontwikkelingen (zoals digitalisering, automatisering, elektrificatie, covid-19) gekwantificeerd kan worden (effect op vervoervraag, vervoerwijzekeuze, toedeling verkeer aan netwerk, nieuwe stap is link naar verkeersveiligheid).
- Parameters voor vervoerwijzekeuzemodellen, afgeleid o.b.v. AI, met aandacht voor de complexere ketenverplaatsingen die mogelijk worden door digitalisering/platformisering: bijvoorbeeld verplaatsingen via mobiliteitshubs (P+R terreinen) zoals een fiets-trein-deelauto verplaatsing.

- Evaluatiemethoden en toolketen waarmee veiligheidseffecten van diverse vormen van Advanced Driver Assistance Systems en automatisch rijden verkend kunnen worden.
- Meet- en dataverwerkingsmethoden voor onderzoek met grote hoeveelheden data uit living (car)labs.
- Uitbreiding rekeninstrumentarium t.b.v. transitie naar duurzame mobiliteit: verschillende energiedragers, op basis van data en meer kennis over technologieën en kosten ervan, en met meenemen van toepassingspotentieel en gebruikersacceptatie van maatregelen en technologieën.
- Verbreden van de instrumenten voor monitoring van emissies: meer vervoerwijzen, nieuwe technologieën en andere emissiecomponenten, meenemen voertuiggebruik (o.a. onderhoud, rijgedrag, laadstrategieën voor EVs).
- Verdere innovatie in instrumenten waarmee de effectiviteit van beleidsmaatregelen voor klimaat vooraf doorgerekend, gemonitord en geëvalueerd kunnen worden, en waarmee de volledige beleidskring ondersteund wordt (ontwikkelen, uitvoeren, monitoren, evalueren en bijstellen van beleid).
- Logistieke concepten en value cases voor zelforganiserende logistiek (hoe richt je zelforganiserende logistiek in voor een bedrijf, inzet zelflerende algoritmes en AI) en voor verduurzaming van stedelijk goederenvervoer (waar gezocht wordt de flexibiliteit en efficiëntie te vergroten).

Vraagsturing voor mobiliteit (smart & sustainable) komt vanuit het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW), beleid (DGMo) en uitvoering (RWS). Hiervoor zijn kennisvragen opgehaald in verschillende, per thema gevoerde, koppelgesprekken en in het managementberaad tussen TNO en het ministerie. Voor Logistiek (smart & sustainable) komt de vraagsturing (ook) vanuit de Topsector Logistiek, TKI Dinalog en bedrijven uit de logistieke sector.

Titel	VP Smart Vehicles (P402)
Missie / MMIP	Mobiliteit / Missie D+, Toekomstbestendige Mobiliteitssystemen
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Marieke Martens (SD), Marika Hoedemaeker (VPM)
Contactpersonen Overheid / Topsector	Marc Hendrikse, Leo Warmerdam (HTSM), Ron Borsboom (HTSM/Automotive)

Programma jaar 2021 - 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 Top sector 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 2021 we will continue to increase safe operation and enlarge the operational design domain of automated vehicles, for example by taking more information from sources outside the ego-vehicle into account, resulting in better performance (safety and driver comfort) including more complex manoeuvres on highways and towards full automation at lower speeds in confined and urban areas. The effect on the users will be taken into account by further developing human factor knowledge and facilities. More insight into behaviour and interaction with traffic will be obtained via further developing the scenario-based assessment methodology Streetwise.

To understand the delta in the technological progress from 2020 to 2021, here are a few detailed examples of our project milestones for 2021 for the different research and development lines:

- TULIP: multi-brand platooning system for Japanese OEMs for >50 use cases + Demo. First integration of Artificial Intelligence functions in Hardware in the Loop for Cooperative Automated Driving.
- ENSEMBLE: demo (standardised) multi-brand platooning with all European OEMs
- SHOW: first concept of scalable decision making incl.V2I (e.g. red light violation of cyclists)
- AUTODEPOT / NEXTPERCEPTION: Investigate localization methods and their feasibility
- SAFE-UP: Path planning in face of uncertainty and modelling of typical highway interactions
- SIRIUS: Fully functional simulator for motion planning
- LIGHTYEAR: Enhance Simplicity domain model and pitch the regulatory framework to the RDW
- STREETWISE: Start scenario aggregation project with large EU OEMs (1 Mio hours data)
- STREETWISE: Start joint innovation project PUMAS2
- STREETWISE: Support NL government (I&W/RDW) in admission framework
- STREETPROOF: How should *safe* longitudinal driving interactions be defined? Validate first models through experiments using the StreetLive platform.

These examples together with other are contributing to the understand and achieve lower traffic causality through smart vehicle technologies.

Titel	VP Sustainable Vehicles (P405)
Missie / MMIP	Mobiliteit / Missie D+, Toekomstbestendige Mobiliteitssystemen
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Marieke Martens (SD), Marika Hoedemaeker (VPM)
Contactpersonen Overheid / Topsector	Marc Hendrikse, Leo Warmerdam (HTSM), Ron Borsboom (HTSM/Automotive)

Programma jaar 2021 - Samenvatting

The VP Sustainable Traffic and Transport consists of one programme: Sustainable Vehicles. This program focuses on lowering the pollutant (NO_x, PM) and greenhouse gas (CO₂, CH₄, etc.) emissions of vehicles and acceleration of deployment of near zero or zero emission solutions for mobility of people and 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 Automotive² 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.

² <https://www.hollandhightech.nl/sites/www.hollandhightech.nl/files/inline-files/Roadmap%20Automotive%202018-2025.pdf>

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 Agreement³ and the Dutch Klimaataakkoord⁴.

In the coming years the work will be more strongly aligned than is already the case with MMIP 9 & 10⁵ 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).

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.

Demonstration milestones:

- In 2021 we will demonstrate on a diesel-natural gas engine the improvements on emission with a new generation high pressure gas fuel system (HPDI) and optimized valve timing in order to lower the GHG emissions below current EURO VI engine technology.
- In 2021 we will demonstrate the basis concept of a combustion engine running on hydrogen, on a single cylinder platform.
- In 2021 we will define our approach for data-driven self-learning energy management for electrified fleets of vehicles.
- Recognising the importance of the battery in most future vehicle solutions, TNO also intends to extend its testing facilities and methodologies in ICSP⁶ (formerly PTC 2.0), we target to have the battery ageing test facility in operation in Q1/2021 in order to achieve capabilities for accelerated battery ageing characteristics research and gain market potential for B2B.
- In 2021 we will have a validated fuel-cell system model on powertrain level, enabling sharing of the model and providing consultancy and testing to the market
- In 2021 we will have a fuel-cell degradation model validated with experimental data

Titel	VP Maritiem & Offshore (P311)
Missie / MMIP	Water
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Arjen Adriaanse (SD), Sander Dragt (VPM)
Contactpersonen Overheid / Topsector	Dr. Bas Buchner (TKI Maritiem)
Programma jaar 2021 - Samenvatting	

³ <https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris> en

⁴ <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaataakkoord>

⁵ <https://www.klimaataakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/11/07/mmip-9-en-10-emissieloze-mobiliteit>

⁶ Innovation Centre Sustainable Powertrains

Nederland is een knooppunt voor ontwerp, bouw, beheer en onderhoud van maritieme & offshore systemen, en Nederlandse havens zijn belangrijke internationale maritieme logistieke hubs. De sector staat voor een dringende opgave om veiliger, effectiever en duurzamer te worden. TNO draagt bij aan deze opgave door de koppeling te vormen tussen fundamenteel onderzoek en de behoeften vanuit de sector. Vanuit deze ambitie is dit Vraaggestuurd Programma (VP) geschreven en is aansluiting gezocht bij onder andere de Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens (C-230), via de Maritieme Strategie 2015-2025, het meerjarig Maritiem Missie Programma 'Towards Zero Emission' en de IMO doelstellingen. De focus ligt op de innovatiethema's Winnen op zee, Schone schepen, Slim en veilig varen en Effectieve infrastructuur. Daarnaast is de cross-sectorale samenwerking op het gebied van de Offshore Wind onmisbaar.

In 2021 zetten we belangrijke stappen om in 2024 onze doelen te bereiken op vier prioriteiten:

- **Smart Megastructures.** Ons onderzoek heeft als doel om nieuwe en bestaande maritieme & offshore (M&O) systemen, opererend onder de meest extreme omstandigheden, veiliger en betrouwbaarder te maken. De kennisontwikkeling richt zich op het ontwikkelen en experimenteel valideren van breukmechanica modellen om hiermee het gedrag van stalen constructies onder extreme condities te kunnen voorspellen. Deze techniek is ook relevant voor het introduceren van een nieuwe veilige generatie lichtgewicht (composieten) constructies. Tenslotte wordt gewerkt aan het samenbrengen van modellen en metingen (bijvoorbeeld door sensoren te integreren in de constructie) om besluitvorming te ondersteunen op basis van de huidige en verwachte conditie van de constructie (vermoeiing). Onderzoek naar de manier waarop verdere digitalisering, door bijvoorbeeld machine learning en digital twins, toegevoegde waarde kan leveren, is een belangrijk thema.
- **Green Maritime Performance.** TNO zet gericht in op het versnellen van de energietransitie en het behalen van de doelstellingen rondom verduurzaming uit de Green Deal (Europese Commissie) en de IMO. Dit doen wij onder andere door middel van het voorspellen en valideren van emissie met betrekking tot innovatieve concepten voor verbrandingsmotoren, single fuel (waterstof), brandstofcellen en batterij-technologie, in samenwerking met de automotive sector. Om deze nieuwe energiedragers veilig en effectief in te kunnen zetten, brengt TNO de veiligheidsvraagstukken in kaart en richt het zich op het bepalen van de equivalente veiligheid (in vergelijking met bestaande technologie) om praktische richtlijnen te helpen ontwikkelen. Daarnaast werken wij aan innovaties op het gebied van nabehandelingssystemen: CO₂-opslag aan boord (Carbon Capture), methaanslip-systemen voor LNG schepen en NO_x-nabehandelingssystemen. Ten slotte ontwikkelen wij scenario's voor introductie van energiedragers en andere verduurzamingsopties door onze kennis van de techniek en logistiek te combineren met de praktijk, in de vorm van vaarprofielen.
- **Underwater Acoustics.** TNO is een internationale speler op het gebied van onderwatergeluid meten, analyseren, modelleren, valideren en reduceren. Met deze kennis ondersteunt TNO overheden bij het ontwikkelen van beleid en de industrie bij (kosten-)effectieve inzet van mitigerende maatregelen. Het onderzoek richt zich op een viertal kernthema's: 1) het modelleren en meten van achtergrondgeluid op zee en het evalueren en waar nodig reduceren van scheepvaartgeluid, 2) onderzoeken, voorspellen en mitigeren van de impact van onderwatergeluid op het zeeleven, 3) voorspellen, meten en analyseren van geluidreducerende maatregelen tijdens offshore constructie, geofysische survey en onderwater explosies en 4) het adviseren op het gebied van beleid en regulering ten aanzien van milieueffecten van onderwatergeluid.

Operations. TNO draagt in nauwe samenwerking met de industrie en overheid bij aan de ontwikkeling en validatie van autonome systemen voor veiligheid, logistiek, inspectie en onderhoud. Hierbij wordt onderzocht op welke wijze autonome systemen en (onderwater)robotica de sector kunnen versterken. De interactie met de omgeving en de mens staat hier centraal. De inhoudelijke focus van het onderzoek ligt de komende jaren bij kunstmatige intelligentie en systeemintegratie waarmee de benodigde kennis voor beoordelingskaders en beslissingsondersteuning wordt ontwikkeld. Dit sluit aan bij de huidige digitalisering van de maritieme sector. Daarnaast is een belangrijke pijler van het onderzoek de acceptatie en integratie van deze technologie (bijvoorbeeld in wet- en regelgeving) door het aantonen van equivalente veiligheid.

Titel	VP DeltaTechnologie (P508)
Missie / MMIP	Water
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Arjen Adriaanse (SD), Adri Vervuurt VPM)
Contactpersonen Overheid / Topsector	Programmacommissie Deltatechnologie (PCDT), Rob Hofman (RWS, infrastructuur)
Programma jaar 2021 - Samenvatting	

Een steeds groter deel van de Nederlandse civiele waterbouwkundige constructies (natte kunstwerken) uit de vorige eeuw is toe aan vervanging of renovatie om het functioneren en de daarvan afhankelijke waterveiligheid en waterzekerheid te waarborgen. Om efficiënt en effectief te kunnen investeren in deze vervangings- en renovatieopgave, is het van essentieel belang om inzicht te verkrijgen in of en wanneer kunstwerken moeten worden vervangen voordat de veiligheid in het geding komt.

Binnen dit kader is vier jaar geleden, binnen een samenwerkingsverband van Deltares, TNO, Marin en Rijkswaterstaat, een gezamenlijk Kennisprogramma Natte Kunstwerken opgesteld. Het doel van dit kennisprogramma is dat er voldoende inzicht komt in problemen die er bij natte kunstwerken zijn voor het beoordelen van de (constructieve) veiligheid en in de modellen en methoden die voorhanden zijn om de (rest)levensduur van natte kunstwerken voldoende betrouwbaar te voorspellen. Op basis van dit inzicht kunnen beter gefundeerde, toekomstbestendige keuzes worden gemaakt waarin rekening wordt gehouden met de technische en functionele levensduur van de natte kunstwerken.

In het kennisprogramma Natte Kunstwerken zal kennis ontwikkeld worden voor de beoordeling van de veiligheid van de individuele bestaande (en nieuwe) kunstwerken in het systeem waar deze onderdeel van uitmaken. Voor bestaande constructies wordt hiervoor in toenemende mate gebruik gemaakt van meetgegevens voor het beter vaststellen van de technische staat en de restlevensduur van die constructies. Voor de toekomstbestendigheid is het verder van belang dat rekening wordt gehouden met veranderende belastingen, ander gebruik en wijzigingen in de criteria die door de maatschappij en onder invloed van de klimaatveranderingen aan ons worden gesteld. Voor nieuwe constructies wordt gezocht naar innovatieve oplossingen voor het beheer en onderhoud waarmee kan worden geanticipeerd op toekomstige veranderingen (circulariteit, zeewaterstijging, verduurzaming, andere brandstoffen, etc.). Voor het systeem spelen met name de functionele staat en functionele restlevensduur van de kunstwerken als onderdeel van een netwerk een rol van betekenis, alsmede de besluitprocessen bij de vervanging en renovatie.

De werkzaamheden van TNO in het kennisprogramma richten zich vooral op bestaande constructies, waarbij in 2021 vooral wordt ingezet op:

- Methodieken voor de beoordeling en afweging van de kosten, baten en risico's gedurende de levenscyclus van natte kunstwerken ten behoeve van asset management binnen de circulaire economie.
- Methodieken voor het integraal beoordelen van de waterveiligheid en constructieve veiligheid van objecten en systemen.
- Probabilistische methodes en kaders voor beoordeling van de constructieve veiligheid en duurzaamheid van kades, damwanden en funderingen.

Titel	VP Karakterisering en Dynamiek Samenstelling Grondwater (P310)
Missie / MMIP	Water
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	DM: Tirza van Daalen VMP: Willem Jan Zaadnoordijk
Contactpersonen Overheid / Topsector	Wilbert van Zeventer (Min. I&M), Roeland Allewijn (RWS); programmaraden TKI Watertechnologie, TKI Deltatechnologie

Programma jaar 2021 - Samenvatting

De beschikbaarheid van voldoende grondwater van goede kwaliteit is een belangrijke randvoorwaarde voor de Nederlandse samenleving. De grondwaterstand is van groot belang voor bijvoorbeeld natuur, landbouw, bebouwing en infrastructuur en heeft een directe relatie met bodemdaling.

In dit VP richt TNO Geologische Dienst Nederland (GDN) zich op informatie rond de processen in de ondergrond die bepalend zijn voor de kwantiteit en kwaliteit van het grondwater. Bedreigingen zijn o.a. veranderingen in het landgebruik, klimaatverandering en intensiever gebruik van de ondergrond. Hierdoor dreigen verzilting, dalende grondwaterstanden en conflicten, bijv. tussen seizoensopslag van warmte en koude (WKO) en drinkwaterwinning. Voor grondwaterkwaliteit spelen de risico's

vanaf het oppervlak een rol (uitspoeling gekoppeld aan landbouw en stedelijk gebied) en door activiteiten in de diepere ondergrond (o.a. olie- en gaswinning, geothermie, hoge-temperatuuropslag (HTO) en opslag radioactief afval). De energietransitie doet de noodzaak voor energie gerelateerde activiteiten in de ondergrond sterk toenemen. Ook voor het veiligstellen van de zoetwatervoorziening is een grotere rol van de ondergrond voorzien, bijv. in het Deltaplan Zoetwater met het mitigeren van frequentere zoet-watertekorten en de structuurvisie ondergrond (STRONG, noemt strategische grondwaterreserves). Informatie en kennis ten aanzien van de dynamiek en de samenstelling van het grondwater alsook ten aanzien van de opbouw van de ondergrond is noodzakelijk voor het voorspellen van effecten, afwegen van risico's en het toetsen van beleidsbeslissingen.

Het doel van dit VP is methoden en informatieproducten te ontwikkelen om de effecten op en risico's voor het grondwater te voorspellen van klimaatverandering, ontwikkelingen in de landbouw, verstedelijking en verduurzaming van de energievoorziening. De kennisontwikkelingsactiviteiten in dit VP leiden tot:

- Data-analyse en nieuwe informatieproducten betreffende de ondergrond;
- Specifieke advisering van stakeholders aangaande het grondwater;
- Bijdrage aan nationale ontwikkelingen, zoals het innovatiecontract Watertechnologie, waarbij specifiek kennis ten aanzien van grondwater en ondergrond wordt ontwikkeld en ingebracht;
- Bijdrage aan internationale ontwikkelingen, onder andere via GeoERA-projecten (GeoERA is een EU-ERANET-programma van geologische diensten in Europa – voor Nederland neemt de GDN hier samen met Deltares aan deel; de projecten zijn 1 juli 2018 gestart en hebben een looptijd van 3 jaar, die waarschijnlijk verlengd wordt vanwege vertragingen in de uitvoering door de COVID-19-maatregelen).

In 2021 worden de volgende resultaten voorzien:

- Inzicht in voorkomen van “nieuwe” stoffen en gassen in grondwater, te publiceren in wetenschappelijke en populaire media; ontwikkelen van informatieproducten in het verlengde van de nieuwe website <https://www.grondwaterkwaliteitinbeeld.nl>;
- Gebruik Machine Learning en ander Artificial Intelligence methoden voor karteren chlorideconcentraties in de ondergrond op basis van oude (o.a. VES-metingen) en nieuwe gegevens (o.a. grootschalige “Airborne ElectroMagnetic (AEM) surveys” waarin samen gewerkt wordt met Deltares) zodat huidige zoet- en brak watervoorraden en de verandering van deze voorraden beter gekarteerd kunnen worden;
- Methode voor verbeterde weergave van de status van grondwaterstanden waarbij naast de actuele stand ten opzichte van huidige regimecurve (“droogte”) ook de verandering van het regime (trend, “klimaatverandering”) geduid worden;
- Kennisproducten betreffende relatie tussen energie-gerelateerde activiteiten in de ondergrond (lekage aardgasputten en waterstofopslag) en grondwater.

Titel	VP Arbeid & Gezondheid (P204)
Missie / MMIP	Gezond Leven
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	TNO: Seth van den Bossche
Contactpersonen Overheid / Topsector	SZW: Henri Geron

Programma jaar 2021 - Samenvatting

De wereld van werk verandert snel door globalisering, demografische en technologische ontwikkelingen. Banen verdwijnen, maar er komen nieuwe voor in de plaats. Er ontstaan nieuwe gezondheids- en inzetbaarheidsrisico's, maar die zijn ongelijk verdeeld zijn over arbeidsmarktsegmenten.

Een optimaal functionerende arbeidsmarkt is een essentiële hefboom voor toekomstige economische groei. Dat vraagt een beroepsbevolking die beschikt over kennis en vaardigheden voor het werk van de 21ste eeuw en die voldoende veerkrachtig en vitaal is om zich aan te passen aan verandering en langer door te werken (zie ook World Economic Forum: Towards a

Reskilling Revolution: A Future of Jobs for All, 2018). Lerende en adaptieve organisaties en netwerken zijn nodig om de beroepsbevolking ook toe te rusten deze verantwoordelijkheid op zich te nemen. De huidige krapte op de arbeidsmarkt vergroot de urgentie om innovatieve oplossingen te vinden voor zaken die een duurzame gezonde en productieve inzet van mensen in de weg staan (zie ook EZK Brief DGBI-I&K / 18148309 'Naar Missiegedreven Innovatiebeleid met Impact').

TNO werkt in het programma Arbeid en Gezondheid aan innovaties die het aanpassingsvermogen van mens én organisatie versterken, waardoor zij zich beter kunnen voorbereiden en reageren op bovengenoemde veranderingen. Het doel van het programma is het arbeidspotentieel in Nederland te versterken door een serie samenhangende instrumenten te ontwikkelen die:

- De arbeidsparticipatie vergroten van mensen met afstand tot de arbeidsmarkt
- Het aantal van-werk-naar-werk transitie vergroot
- De arbeidsproductiviteit en innovatie-adoptie vergroten
- De ziektelast door ongezond en onveilig werk verkleinen

Met dit instrumentarium stellen we (netwerken van) organisaties in staat de duurzame inzet van mensen te bevorderen en de slagvaardigheid van de arbeidsmarkt te vergroten. Het programma omvat drie hoofdlijnen, gericht op drie maatschappelijke uitdagingen:

1. *Innovations for sustainable work*: Hoe kunnen mensen, van jong tot oud, langer gezond en productief werken?
2. *Future of work*: Hoe zorgen we dat mensen en organisaties goed voorbereid zijn op de arbeidsmarkt en het werk van de toekomst?
3. *Inclusive work*: Hoe zorgen we dat meer mensen duurzaam en zinvol aan het werk komen en blijven?

De drie hoofdlijnen worden van structurele data voorzien door middel van hoogwaardige dataverzameling onder werknemers, zelfstandigen en werkgevers (zie www.monitorarbeid.nl).



Resultaten 2021

In 2021 zullen we de kennisontwikkeling, metingen/dataverzameling, fieldlabs en ecosystemen die in de periode 2018-2020 is gestart voortzetten. Een beschrijving van de beoogde resultaten in 2021 is te vinden op pagina 4 en verder. Er zijn diverse aanpassingen in de kennislijnen voorzien. Binnen de kennislijn sustainable work komt de focus voor wat betreft arbeidsveiligheid te liggen bij de thema's Robotisering en Predictive Safety Analytics (PSA). De activiteiten rond LMRA en veiligheidscultuur eindigen per 2020. Daarnaast zal bij het onderdeel mentale gezondheid een pilotstudie rond een nieuwe burnout-interventie starten. Binnen de kennislijn Future of Work wordt nadrukkelijker ingezet op de ontwikkeling van Learning Communities in het kader van Leven Lang Ontwikkelen. Binnen de kennislijn inclusive work zal meer nadruk komen te liggen op de inzet van technologie voor werkzoekgedrag. Daarnaast wordt de kennislijn verder uitgebreid met de ontwikkeling van een kennisbasis rond culturele diversiteit in relatie tot inclusief ondernemen. Tot slot zal vanuit het VP Arbeid opnieuw aansluiting gezocht worden bij het Early Research Programme Hybrid AI, met nieuwe nader te bepalen use-cases. Ook zal aangesloten worden bij een mogelijk nieuw ERP Human Capital (onder voorbehoud).

De hoofdlijnen van het programma zijn in nauwe samenspraak met regievoerder SZW tot stand gekomen, mede op basis van raadpleging diverse externe strategische agenda's (oa SZW, NWA, KIA topsector LSH, Skills Strategy NL, EU H2020 challenges & VN Sustainable Development Goals). Vanuit SZW en ISZW is tevens in matching voorzien in de vorm diverse programma-subsidies.

De kennisontwikkeling vindt plaats in publiek private samenwerking, met andere kennisinstellingen, bedrijven, intermediairs en lokale overheden, onder meer in de vorm van proeftuinen/living labs.

Titel	VP Jeugd: Gezond, Veilig en Kansrijk opgroeien (P211)
Missie / MMIP	Gezond Leven

Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Simone Detmar
Contactpersonen Overheid / Topsector	Alice van Gent/Liliane de Ruiters-Nanninga
Programma jaar 2021 - Samenvatting	
Het programma Jeugd: Gezond, Veilig en Kansrijk opgroeien richt zich op kinderen en jongeren vanaf preconceptieperiode tot jong volwassene met als doel dat ieder kind zo goed mogelijk kan participeren in de maatschappij. Specifieke aandacht gaat uit naar het bereiken van kwetsbare gezinnen, in lijn met de missie van VWS, zoals verwoord in de kamerbrief van 27 april 2019 https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2019/04/26/kamerbrief-over-missiegedreven-topsectoren-en-innovatiebeleid : <i>“In 2040 leven alle Nederlanders tenminste vijf jaar langer in goede gezondheid, en zijn de gezondheidsverschillen tussen de laagste en hoogste sociaal-economische groepen met 30% afgenomen”</i> De grote diversiteit aan achtergronden, opgroeiomstandigheden en kenmerken van jeugdigen en hun ouders gaat namelijk nog te vaak samen met ongelijkheid in uitgangspunten, kansen en effectiviteit van preventie en interventies. Onze aanpak richt zich derhalve op het op maat ondersteunen van (aanstaande) ouders in de opvoeding en het begeleiden van kinderen en jongeren waar nodig en het bieden van een systematische en integrale aanpak met richtlijnen, signaleringsmethodieken en “evidence” based vroege interventies in het hele netwerk van preventie en zorg voor jeugd. TNO richt zich op een drietal hoofdlijnen. Deze hoofdlijnen zijn in nauwe samenspraak met diverse stakeholders (o.a. ministerie van VWS, ZonMw, NCJ, NJI) tot stand gekomen, mede op basis van raadpleging van diverse externe strategische agenda’s (o.a. VWS, NWA, topsector LSH, H2020, VN Sustainable Development Goals). Het betreft de volgende hoofdlijnen: 1. Integrale aanpak eerste 1000 dagen: De eerste 1000 dagen, van preconceptie tot minimaal 2 jaar, zijn cruciaal voor de ontwikkeling van het kind. Hier wordt de basis gelegd voor de fysieke, emotionele, intellectuele en sociale ontwikkeling en daarmee voor een gezonde en kansrijke toekomst. Wij richten ons op het ondersteunen van (aanstaande) ouders, met een focus op ouders met lage gezondheidsvaardigheden door doorontwikkeling van preventie en zorgmodellen waarbij zelfmanagement, interactief leren en peer support centraal staan. (Centeringpregnancy en Centeringparenting). Komende jaren richten we ons op implementatieonderzoek voor landelijke en internationale toepassingen. In 2021 wordt in 75 gemeentes Centering uitgevoerd als zorgmodel. Tevens richten we ons op de doorontwikkeling van de D-score (een maat om ontwikkeling van kinderen te kunnen monitoren). In 2021 willen we dat voor 15 JGZ organisaties ouders zelf de ontwikkeling van hun kind meten. 2. Preventie en Jeugdhulp op maat Hierbij richten we ons op het ondersteunen en versterken van kinderen en ouders en professionals in de (preventieve) zorg voor jeugd. We richten ons op hoe om te gaan met uitdagingen en ingrijpende levensgebeurtenissen en op de persoon toegesneden instrumenten en interventies tbv een gezonde leefstijl en mentale weerbaarheid. (zie whitepaper weerbaarheid jeugd https://www.tno.nl/nl/tno-insights/artikelen/hoe-kunnen-we-de-weerbaarheid-van-de-jeugd-versterken/). Specifieke aandacht hebben we voor het integreren van digitale innovaties voor de zorg voor jeugd middels het doorontwikkelen van het I-JGZ platform. In 2020 is op maat advisering voor HPV landelijk geïmplementeerd. In 2021 zal dit doorontwikkeld worden voor andere vaccinaties, waaronder maternale kinkhoest. Tevens zullen in 2021 tools voor werkzame elementen bij interventies voor het vergroten van weerbaarheid beschikbaar komen. Zo zullen landelijk binnen elk van de 25 GGD-regio’s twee Gezonde School medewerkers getraind worden in het opzetten van (Prima) anti-pestbeleid. En praktijkprofessionals van schoolmaatschappelijk werk, scheidingsloketten en/of gemeentelijke basisvoorzieningen voor de jeugd worden getraind in wetenschappelijk onderbouwd trainingsaanbod (Stoere Schildpadden en Dappere Dino’s) voor jonge kinderen (t/m 8 jaar) met gescheiden ouders. Het betreft professionals in alle 7 Nederlandse provincies waar dit evidence-based aanbod nu nog niet beschikbaar is. Daarnaast zullen minstens 4 JGZ organisaties werken met geïntegreerde digitale innovaties. 3. Samenwerking en implementatie: Met kennis van samenwerkings- en implementatievraagstukken richten we ons op het ondersteunen van organisaties om de transitie en transformatie van het jeugdstelsel goed vorm te geven. Onze focus ligt op het opzetten van duurzame leernetwerken en ontwikkelen van strategieën om innovaties te implementeren. In 2021 zullen we dit met name uitvoeren en door ontwikkelen binnen de regionale jeugd	

kenniswerkplaats SAMEN (22 organisaties). Er komt een tool beschikbaar mbt keuzes voor implementatie strategieën.

Titel	VP Biomedical Health (P203)
Missie / MMIP	Gezond Leven
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Sandra Eikhout (DM), Ivana Bobeldijk (VPM)
Contactpersonen Overheid / Topsector	LSH: Nico van Meeteren

Programma jaar 2021 - Samenvatting

BMH supports the Mission driven Innovation approach of Topsector Life Sciences & Health ('LSH') and the Dutch Ministry of Health, Wellbeing and Sports ('VWS'). – **the central mission aiming for Dutch citizens living 5 year longer in good health and reducing the health differences between the higher and lower social classes.** More specifically we will contribute to: **reducing health issues that are a consequence of unhealthy lifestyle or exposure to unhealthy environment (Mission I)**, and we will also **help to prevent chronic diseases and increase the proportion of people with a chronic illness or lifelong disability who can participate in society as desired (Mission III).**

We aim to achieve this by developing new technologies for efficient drug development, thus enabling faster access to the right drugs for the chronically ill, and by developing knowledge on mechanisms of metabolic and immune health diseases and use those to develop and help citizens to adopt tailored lifestyle changes that will help them maintain or restore their metabolic and immune health. The new technologies and knowledge will be implemented in collaborations with academic and industrial partners as well as health professionals in field labs.

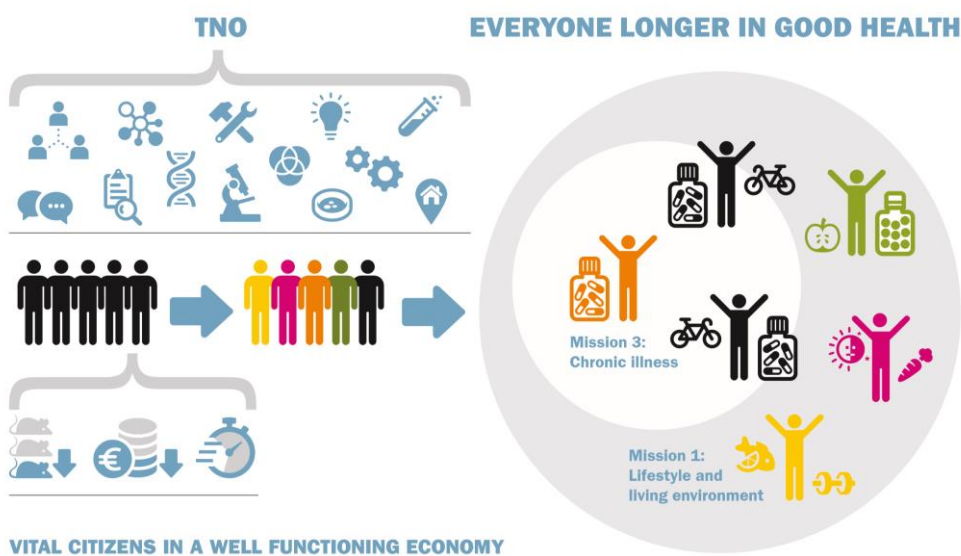
By 2023 we want to have achieved the following:

Enable lower attrition rates and more efficient development of innovative drugs and other health intervention development:

1. Demonstrate in practice that current pre-clinical trajectories can be improved (reducing costs, time and animal use) when new approaches and technologies are employed (Mission III)
2. Demonstrate that smaller clinical trials for a novel therapy can be achieved by targeting the right patient population through novel tools for stratification (Mission III)
3. Demonstrate that determination of accurate dose of new drugs for young children can be determined directly in children, using advanced (safe) microtracer approaches (Mission III)
4. Demonstrate that a fairer pricing of innovative medicine is possible by applying the right technology and integrated discussions with pharmaceutical industry and public stakeholders (Central Mission).

Help improve metabolic and immune health:

5. Demonstrate metabolic and immune health improvement by (combination of) food, lifestyle or medication therapy in stratified groups of patients; right drug and intervention for the right patient (Central Mission, Mission I and III)
6. Prove that tailored interventions contribute to vitality of the citizens as well as the quality of health care and cost management (Central Mission, Mission III)
7. Demonstrate that tailored interventions for the lower SES are more effective in improving healthy lifestyle than one size fits all interventions (Central Mission)



To progress towards these above goals, in 2021 we will:

- Continue the discussions with TNO as one of the opinion leaders and facilitators of discussions on fairer pricing of innovative medicines in NL, in strategic discussions with public and industrial stakeholder representatives
- Develop advanced microtracer techniques that will help to personalize the development of novel drugs, such as antibody-drug conjugates
- Develop combined in-vitro and in-silico methods for mechanism based drug target selection, a better and faster choice in drug development.
- Continue the co-development of animal free tests for drug development, such as advanced in-vitro and ex-vivo techniques.
- Validate a blood test for early detection and prediction of NASH /fibrosis in humans, as an alternative for liver biopsy.
- Evaluate, together with care providers, the 360° tool for diagnosis in which various aspects of health and vitality are integrated (metabolic health, mental health, socio-economic environment, activity); define personalized interventions in prevention, cure and care for different SES groups in the society to match the diagnosis.
- Develop an integrated approach where the health (immune) impact of new interventions (compounds) can be predicted in-silico, screened and optimized in vitro and result in a study design in humans or in-vivo animal models.
- Develop new strategies to detect, prevent and reverse inflammation (in infants and adults), one of the main underlying processes in chronic illness, focus areas are COPD and overweight (young) children.
- Generate a first assessment of gender differences in muscle health deterioration (with age) that can serve as basis for personalized intervention development.
- Develop a translational model for diabetic nephropathy that will enable testing of new drugs for this chronic disease in a relevant model.
- Develop new in-vitro platforms to test interventions for individuals with underlying chronic inflammation e.g. skin-health improvement
- Evaluate and test strategies for metabolic health improvement as a support for stronger immune health in relation to pandemics such as Covid-19.

Titel	VP Digital Health Technologies (P210)
Missie / MMIP	Gezond Leven
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Sandra Eikhout (DM), Jildau Bouwman (VPM)
Contactpersonen Overheid / Topsector	Nico van Meeteren (LSH)

Programma jaar 2021 - Samenvatting

The world around is digitalizing, this also holds true for health care. People gather masses of health data using apps that record their pulse rate, daily activity, diet, etc. It is not only members of the public who are interested in this data, it is also valuable to scientists. Such Real World Evidence data together with standardized health data have the ability to create new models and improve existing models and software applications that provide health and medical advice. Based on these models personalized health advice tools can assist both patients and healthy individuals, by offering guidance about their health and lifestyle and prevent, refer or relieve disease. This program supports the Mission driven Innovation approach of Topsector Life Sciences & Health ('LSH') and the Dutch Ministry of Health, Wellbeing and Sports ('VWS'). – **the central mission aiming for Dutch citizens living 5 year longer in good health and reducing the health differences between the higher and lower social classes.** More specifically we will contribute to: **reducing health issues that are a consequence of unhealthy lifestyle or exposure to unhealthy environment (Mission I)**, and we will also **help to prevent chronic diseases and increase the proportion of people with a chronic illness or lifelong disability who can participate in society as desired (Mission III).**

The research program Digital Health Technologies ("DHT"), together with partners outside TNO (including several SMEs), takes up this approach bringing together new medical knowledge, data and information technology services and solutions as well as knowledge about lifestyle change and behavior. As the whole system is directly connected to individuals by design, citizens can also specify their needs. Health and healthcare can benefit from the secure registration of personal data from birth to death, and from its subsequent use in providing personal support or advice, as well as in predictive models. The developed systems can be used by medtech and health support companies and by data brokers that want to use health data in a system that is private-by-design.



The goal of this 2021 program is to contribute to the implementation and operation of innovative digital health interventions to better measurements of health, deeper insights in the importance of lifestyle factors in disease and innovative ways to perform clinical trials. The program will develop knowledge, (ICT-) solutions, facilities and services to apply in the focus area's in three program lines with the following deliverables for 2021

SENSE: Finalize the project 'Connect2HealthConsumer' and show that it is possible to combine lifestyle data with medical data in a secure way (the individual gets full control over the data) and show the added value of this data combination. This work is also relevant for the further development of the Personal Health Train also in the context of Child Health.

REASON: Include continues measures in the health quantification. Together with the ERP AI improve the explainability and prediction of type 2 diabetes models.

ACT: Start together with partners innovative ways to preform clinical trials (virtual), so that real world data are added to the outcomes and trails can continue in the current corona crisis.

Titel	P511 VP Human Health RM Nano
Missie / MMIP	Gezond Leven

Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Sander Eikhout (DM), Wouter Fransman (VPM)
Contactpersonen Overheid / Topsector	HTSM: Frank de Jong (FEI)
Programma jaar 2021 - 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 nanospecific nature of chemical substances and products, products were already on the market. Scientific evidence obtained from research still had to be developed. 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. This VP Human Health Risks Nano therefore aims to develop reliable tools, guidance and training for proper risk assessment, risk management and communication of these risks during and after product innovation to assist industry in their decision making during product innovation. 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 invests 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 2021 consist of collaborative work in various H2021 EU projects (Gov4Nano, NanoUptake, PeroCUBE, NMBP-16-2021 Safe-by-design), ZonMW EXPLAIN and will result in the development of various innovative risk assessment models into a toolbox containing: LICARA nanoSCAN, Guidenano Tool, SUN Decision Support System, caLIBRAte system-of-systems, NanoSafer, Stoffenmanager Nano, and the Future nano Needs Bayesian belief network. Further results in 2021 are the development of Safe-by-Design (SbD) and Safe Innovation principles and linkage to the regulatory process. Through the participation of TNO, also the Dutch Nanocentre (www.nanocentre.nl) will be connected in 2021 to the European EC4SafeNano initiative, as an international nanosafety platform. 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 2021 will result 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)
Missie / MMIP	Gezond Leven
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Sandra Eikhout (DM), Steven Dhondt (VPM)
Contactpersonen Overheid / Topsector	Henk Gritter (EZK), Corine Cornelissen (EZK)
Programma jaar 2021 - Samenvatting	
Smart Working, as a part of the Smart Industry initiative, focuses on what the optimal work setting is for smart operators and how to support these operators in their skill development within such settings. Technology solutions are connected to organizational solutions to secure implementation and upscaling. Two major context developments are central for Smart Working: robotization and digitization. These changes raise skill and performance demands. To maximize the adoption of this skill growth, solutions are developed together with companies. Our solutions help the operator to maneuver faster within a factory setting with robots, collaborative robots (cobots), exoskeletons, operator support systems and other digital support systems. Operators get tools to learn faster and to learn on the long term. Systems are developed to avoid harm to workers. The Smart Working projects focus on robotics, cobotics, exoskeletons, cognitive support systems, use of digital information and communication in work settings. Key is that operators receive a maximum of autonomy to adopt these tools in their work settings to their needs and responsibilities. The projects therefore create solutions that take account of physical, cognitive	

and psycho-social demands on operators, but also on the organizational conditions to allow working in multi-disciplinary and autonomous working environments. This means solutions at the *workplace level* (exoskeletons, collaborative robots, augmented reality training and guidance for operators) and at the *organizational level*, cooperation between operators, colleagues and robots (Workplace Innovation, lean systems, blockchain/AI driven organizations). In 2019, the National Science Foundation project (TKI-NWO) SHAREHOUSE integrates all these elements: an innovative experimental environment within a school setting for testing the newest technologies developed by SMEs in the logistics sector. The core innovations are: giving schools access to the newest technologies without incurring the investment cost; training of thousands of students in the newest technology environment, guaranteeing to-the-point skills; helping SMEs to test their solutions in a scientific responsible way without incurring the costs of possible innovation failures; developing more insight into how human-robotic interaction works and how workplace innovation contexts need to be developed. Smart working also involves (social/legal) *conditions as required by society*. The H2020 BEYOND4.0 and H2020 GI-NI deliver the most in-depth understanding of the conditions to create an Industry5.0 that builds on the human capabilities.

The solutions are always science and practice based. For the success of the program, the disciplines human factors, organizational sciences and technical sciences need to work in concert on solutions and designs. Collaboration with technical experts and information system specialists is also crucial. The program builds on Smart Industry Fieldlabs/Living Lab environments to secure practical application of each solution. *For the future, the program also uses the Fieldlabs to help scale up solutions. More attention will be directed to show the exposure the program has and will have.*

Titel	VP Veilige Maatschappij (P102)
Missie / MMIP	Veiligheid
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Dr. T.W.J. van Ruijven
Contactpersonen Overheid / Topsector	Mr. H. Hanoeman en drs. B. ter Luun (Ministerie van Justitie en Veiligheid)
Programma jaar 2021 - Samenvatting	
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 op hoog tempo moet innoveren om de dreiging het hoofd te kunnen bieden en Nederland veilig te houden. Veiligheid is één van de vijf centrale maatschappelijke thema's binnen het missiegedreven topsectoren en innovatiebeleid van het kabinet. Het is de ambitie van het kabinet om daarbij gebruik te maken van de nieuwste wetenschappelijke inzichten en (sleutel) technologieën met aandacht voor ethische en maatschappelijke vragen. 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 zijn⁷. 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 naar innovatieve toepassingen in de praktijk. TNO zet middels het VPVM in op een meerjarige onderzoeksprogrammering voor justitie- en veiligheidsorganisaties. Het doel van deze meerjarige programmering is toepassingsgerichte wetenschappelijke kennis op te bouwen op die onderwerpen die voor het justitie- en veiligheidsdomein het belangrijkste zijn. Voor 2021 zijn elf meerjarige programmeringen ingericht⁸ waaronder onderzoek met de Dienst Justitiële Inrichtingen (DJI), het Nationaal Cyber Security Centrum (NCSC) en het Landelijke- en de Regionale Informatie en Expertise Centra (LIEC en RIEC's) voor de bestrijding van ondermijnende criminaliteit. Om voor deze organisaties het verschil te maken, wordt de onderzoeksprogrammering in 2021 gefocust op zes thema's die al centraal stonden in VPVM en deze aan te vullen met	

⁷ Tweede Kamerbrief Missiegedreven Topsectoren- en Innovatiebeleid d.d. 26 april 2019

⁸ Naast het VPVM is een apart maar samenhangend kennisopbouwprogramma voor de Politie (KOP) ingericht.

verkennd, breed geprogrammeerd onderzoek op een drietal onderzoekslijnen die naar verwachting in de (nabije) toekomst van groot belang zullen worden voor het justitie- en veiligheidsdomein. De thema's voor 2021 zijn:

- Cybersecurity & societal resilience (CYBER)
- Versterking van de strafrechtketen (CRIME)
- Crisisbeheersing (CRISIS)
- Contraterrorisme (CTER)
- Intelligence (INTEL)
- Weerbaarheid van veiligheidsprofessionals (PROF)
- Verkennend onderzoek:
 - o Kunstmatige intelligentie (AI)
 - o Privacy Enhancing Technologies (PET)
 - o Robotica

Titel	VP Kennisopbouw Politie (P106)
Missie / MMIP	Veiligheid
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Tjarda Krabbendam (VPM)
Contactpersonen Overheid / Topsector	Drs. S.C. Hamelink

Programma jaar 2021 - 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 aan de internationale instabiliteit, terrorisme, afhankelijkheid van voortschrijdende digitalisering, de overheersende rol van informatie, en georganiseerde en ondermijnende criminaliteit. Om hiertegen opgewassen te zijn moet de politie voortdurend innoveren en daarvoor is het nodig om in toenemende mate te investeren in toegepast onderzoek ter versterking van de kennisbasis. Naast de gelden van EZK investeert de politie zelf ook in deze kennisopbouw.

De programmering 'Kennisopbouw Politie' heeft als voornaamste doel om de politie proactief aan te sluiten op de nieuwste (technologische) mogelijkheden.

Activiteiten binnen het programma richten zich op:

- inrichten van een gestructureerde kennisbasis ten behoeve van innovatie voor de politie;
- meerjarige kennisopbouw programma's inclusief het inbedden van nieuwe technologieën, met uitwerking op de korte, middellange en lange termijn;
- inrichten van een innovatie-ecosysteem (samenwerkingsmodel) voor de politie, bestaande uit kennisinstituten, wetenschappelijke instellingen, bedrijven en overheid.

In 2018 zijn binnen de programmering 'Kennisopbouw Politie' de volgende programma's gestart: *Programmakompas*, *Gestructureerde kennisbasis t.b.v. innovatie*, *Politiewerk in het cyberdomein*, *Operationele slagkracht (versterken van het informatieproces en technische opsporingsmiddelen)*, *Politie in verbinding*, en *Ontwikkeling professional*. Deze onderwerpen staan voor gebieden met hoge innovatiebehoefte, passend bij de kennisbasis van TNO.

De resultaten van de kennisopbouw programma's helpen de politie onder andere met de aanschaf en ingebruikname van een geïnnoveerde (technische) uitrusting, opsporingsmiddelen en het vergroten van de weerbaarheid van de politie professional. Middels kennisopbouw en innovatie wordt de operationele slagkracht van de politie vergroot.

Titel	VP Cyber Risk Management and System Resilience (P103)
Missie / MMIP	Veiligheid

Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Ir. A.J.A. Vetjens, Director Market ICT; Ir.S. Wiarda, VP manager CRM&SR
Contactpersonen Overheid / Topsector	L. Roffel (HTSM/Security), Fred Boekhorst (Directeur Topsteam ICT)
Programma jaar 2021 - Samenvatting	
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. A focussed and effective approach with respect to cybersecurity is crucial to safeguard the reliability and confidentiality of data and the continuity of ICT networks and systems. National security organisations and administrators of vital services have to be equipped to recognize and interpret cyber threats and be supplied with both preventive fortifications and possibilities for repressive actions to ensure – in the case of disruptive cyber incidents or phenomena – the continuity of vital services. Also, we would like to document the impact of (cyber) ambition, (automated) ways of working and (technical) tooling on cyber professionals in a cyber workforce framework to be able to 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; to enable national security organisations and administrators of vital services to minimize the cyber risks and threats in the context of a quickly evolving digital society; and to facilitate cyber security organisations to describe, build and maintain their cyber personnel work force in an environment of changing ambitions, operations and tooling. We will direct our attention to the following needs by our partners and clients and aim at the following results for 2021: - In a digital society, corporate data is constantly vulnerable to external influences. Our ambition with a trusted ICT approach is to better prevent risks of financial loss, disruption or damage to the assets and reputations of our stakeholders. Our focus is in developing new detection methods of intrusions, in security automation and in development of expertise and new technology on quantum applications and encryption. In-depth knowledge of the various links in the chain and of the chain as a whole are essential in a targeted cyber security approach. In 2021, we will: - o develop integrated detection methods using automated response and self-healing - o we will have created a proof-of-concept for the automatic analysis of and reaction to threats and attacks and - o we will have realised the development of a new zero-knowledge lattice based protocol that can withstand quantum computing. - The development of knowledge and innovation for both the government and business, among others the primary administrators of vital services, in order to be able to anticipate and react effectively on the most important cyber challenges (organisational assurance of cyber resilience, interdependencies of digitised processes and services, a continuously evolving threat landscape) is important in order to make our society more resilient (national cyber resilience). In 2021, we will: - o have created a blueprint for a forecasting platform for joint analyses of emerging cyber threats and developments, - o we will have created a jointly developed guideline (with NCSC) for a secure supply chain and a proof-of-concept (and supporting tools) for quantifying cyber security risks. - o we will also have started the development of a training environment for CSIRTS, together with the Ministry of Foreign Affairs and implementation partners to support international cyber capacity building activities. 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.	
Titel	VP Radar and Sensor Systems (P104)
Missie / MMIP	Veiligheid
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Director Market ISS: K. Agovic VP Manager: F.L.M. van den Bogaart
Contactpersonen Overheid / Topsector	HTSM Roadmap Security: J. Troost – Thales Nederland B.V. HTSM Roadmap Electronics: H. Naus – NXP A. Venema – Ministry of Defence HDB J.C. Dicke – Ministry of Economic Affairs and Climate Policy, Commissariaat Militaire Productie

	KTZ J. Bleijs – Ministry of Defense 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 – CLSK / Space Security Center Charlotte Rutgers – Min. of Defence DMO/JIVC/KIXS
Programma jaar 2021 - Samenvatting	
Within the topic <i>Radar and Integrated Sensor Suites</i> the focus until 2030 is on the development of the next integrated sensor suite for the future frigates of the Royal Netherlands Navy (RNLN). A major short term goal is to demonstrate a functional prototype of an integrated radar and EW sensor suite (EDM). Essential towards 2024 is to establish a robust fundamental and scientific technology basis in sensor signal processing and in very advanced RF technologies (D-ART). Miniaturization and increased integrated functionality are key research questions: custom designed active MMIC and passive RF components that cannot be bought on the market will be demonstrated in 2021 (a.o. SFINX). DAISY2 demonstrates a cost reduction of a factor of 10 compared to the current state-of-the-art. A short-distance range sensor in SiGe MMIC will be validated in a live firing in 2021. An important goal towards 2024 is the research and implementation of advanced radar waveforms to detect and classify objects at very large distances (RAVE) to be demonstrated in a trial in 2023. AI techniques will be made robust and reliable for use on military radars (MANTRA). <i>Mission Critical Systems</i> (MCS) is to develop intelligent software for the next generation military systems, i.e. systems that require minimal human interaction. With such software, combat management, platform and bridge management and unmanned (UXV) systems, can autonomously define and plan mission tasks at run-time and assign optimized internal system resources to significantly reduce costs. In 2021, the MCS flagship project OCEAN2020 will have its trial in the Baltic sea. Underwater, surface and aerial unmanned platforms as well as a CMS from at least 8 countries will be integrated into a unique demonstration of cross-nation and cross-domain UXV operations. The feasibility of a fully-autonomous warning service of hazardous smoke and gas clouds based on heterogeneous fusion of observations from satellites, aircrafts, drones, aerostats and ground sensors will be shown in 2021. Situational awareness of armed forces in an urban environment will be improved with a network of low-cost heterogeneous sensors by autonomous run-time reconfiguration of the sensor nodes and energy harvesting. <i>Imaging Systems for Defence and Security</i> focusses on optical sensors, associated image processing and interpretation. Efficient data handling solutions will be demonstrated for onboard real time processing of high resolution high framerate sensor data on small UAVs allowing live streaming of detailed imagery of multiple objects. The scope will be extended to multi-sensor applications the coming years. <i>Space Situational Awareness (SSA)</i> aims at a step-by-step development towards a national SSA facility. The current intrinsic SSA capacity will be further expanded into a distinctive capability in Europe that allows an information position that would otherwise never be accessible to the Netherlands. Short term goal for 2021 is the demonstration of radar techniques for imaging and classification of space objects. The aim of <i>Quantum Sensing</i> is to lead the way with the rapid developments of quantum scale physics which will undoubtedly have a dramatic impact on the architecture and performance of future defence and security systems. The year 2021 will be characterized by demonstrating advances in quantum navigation, quantum imaging, quantum front-end technologies, quantum magnetometers and in quantum signal processing.	

Titel	VP Space & Scientific Instrumentation (P607)
Missie / MMIP	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Kees Buijsrogge, Hans Klaufus

Contactpersonen Overheid / Topsector	Topsector: Maarten Schipper (Airbus) – Roadmap Space, Marco Beijersbergen (Cosine) Advanced Instrumentation
Programma jaar 2021 - Samenvatting	
Our multi-annual R&D program 2020 – 2023 supports our ambition to: • contribute to preventing air pollution and climate change; • help to understand the Universe; • enable secure broadband connectivity, and; • stimulate economic growth in the Netherlands and the European Union. Therefore, we organize the VP along the following program lines: • instruments for Earth Observation and related Space Data Utilization; • technologies for Satellite Communication; • instruments for Ground-based Astronomy and Space-based Astronomy; Scientific Instrumentation, including • instruments for Big Science, and Diagnostics for Fusion Energy. <i>Instruments for Earth Observation, Space Data Utilization</i> Our main objective in this area is to maintain and strengthen the Dutch position with regard to monitoring the composition of the Earth's atmosphere. We want to contribute to help monitor the Paris agreement and give detailed insight in emissions and spread of air pollutants and greenhouse gases. We have the long term goal for in-orbit-demonstration of a small and very accurate instrument with related downstream models, specifically focused on measurement of NO₂ and CH₄. In addition to the instrument, given the focus in the commercial EO market on information products, we will work on the development of data processing methods that can enable global information services that provide actionable information to decision makers in governments. For 2021 the focus will be on the development of instruments that measure CH₄, NO₂, SO₂, CO₂, CO and aerosols. We will work on improving our LOTOS-EUROS and TOPAS models by including more air quality trace gases and CH₄. <i>Technologies for Satellite Communication</i> Our aim is to develop state-of-the-art optical terminals for ground, air and space usage for the value chain of global satcom providers. We follow four main use cases: Secure & Robust Comms for worldwide Mobile Security Operations; Cyber Proof/Quantum Resilient Comms over Ground Networks for Secure Connectivity; Ultra-High-Speed Global Secure Connectivity Network (constellations); Data Relay for Earth & Space Sciences from (deep) Space. We will work on our four main drivers: • Fast: ultra-high data throughput with a long-term target of a 10 Tbit/s feeder link to a GEO-satellite. • Secure: communication links with ultimate protection, suitable for the quantum era with a long-term target of a Quantum Key Distribution service with satellite nodes, which is resilient to hacking attacks. • Multi-point: simultaneous communication with multiple senders and receivers with a long-term target of a multi-beam optical space terminal in GEO-orbit, receiving data from various nodes (space, aerial, naval) and transmitting towards multiple users. • Far: data links over very long distances with a long-term target of a link to a deep space science mission, such as a planetary or asteroid mission. These various uses cases provide a very promising opportunity for Dutch industry to extend its space-related activities into a commercial market: in this development we will position Dutch high-tech companies as potential suppliers for the terminals and their subsystems based on user requirements from this market. <i>Ground & Space Based Astronomy and Scientific Instrumentation</i> We intend to strengthen our position with regard to developing high-grade instruments to perform world-class science, both in space and on ground. Our long-term goal for Earth-based astronomy is to contribute to the development of the Thirty Meter Telescope (TMT) optics with a 3m diameter deformable mirror. Steps towards that goal are deformable mirrors of increasing size, better support structures and laser guide stars for the big telescopes in the world (UH88, EST, ELT, GMT, MAORY, GEMINI, KECK). For 2021 the goal will be to develop a larger deformable mirror of 60cm diameter (UH-88) to create our first on-sky-heritage. In the space-based astronomy domain we use ESA's long-term planning for space science missions, 'Cosmic Vision 2015–2025', as a guideline. The coming years we will work on pointing mechanisms for the LISA (detection of gravitational waves) mission. We intend to position ourselves for the metrology system for the PLATO (detection	

of terrestrial exoplanets) mission. We are closely connected to the ET Pathfinder that is currently being realized in Maastricht. This instrument will pave the way for the Einstein Telescope, a third generation gravitational wave detector, for which the South of Limburg presents as a promising location. We aim for a technical role in developing mirrors and metrology systems. In addition, we want to contribute to nuclear fusion technology by applying our optical systems design expertise to develop technologies for diagnostic instrumentation in the extremely challenging environment of the nuclear fusion chamber.

Titel	VP Semiconductor Equipment (P612)
Missie / MMIP	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Rogier Verberk, Jochem Janssen
Contactpersonen Overheid / Topsector	Joep Pijnenburg (leader HTSM Roadmap Semiconductor Equipment; ASML) Ton Flaman (leader HTSM Roadmap Healthcare; Philips Healthcare) Frank de Jong (leader HTSM Roadmap Nanotechnology (incl. quantum technology); Thermo Fisher Scientific)

Programma jaar 2021 - Samenvatting

All consumer electronics devices or industrial process, all communications, and all potential solutions to societal challenges rely on integrated circuits (chips). And most of these chips, worldwide, are manufactured with the use of equipment from the Netherlands. TNO's roadmap on Semiconductor Equipment aims to position the Dutch high-tech industry to provide critical enabling technologies to the information driven society and healthcare ecosystem, while creating sustainable jobs and growth of the national GDP now (semiconductor industry) and in the future (quantum technologies).

The Dutch semiconductor industry is leading in lithography, the most critical process step in chip manufacturing, and has dominating positions in equipment & modules for, e.g., metrology and wafer processing equipment. By 2024 the Dutch semiconductor industry aims to have this position enhanced by world record performance in productivity and overlay (immersion lithography), by full industrialization of EUV lithography, by having new metrology concepts introduced, and by having the next generation of high-NA EUV lithography under way. TNO supports all those developments.

TNO does so by introducing new techniques to make equipment more stable and reliable (flow & thermal management, contamination control), and by introducing new tool or module concepts (optical-, scanning probe-, and acoustics based metrology, particle detection methods, sensors). In 2020, e.g., FastMicro sold its first tools for particle detection based on TNO IP, and in 2021 Nearfield Instruments will ship its first SPM metrology system based on TNO IP. TNO also executes supporting research in the fields of material sciences (EUV induced plasma effects, qualification of materials for EUVL mirrors, to extend in 2021 to reticles and pellicles with its EBL2 facilities), and optics (nearfield optics, integrated photonics, computational optics). In 2021 TNO will also start projects on cooling techniques for 5G communication chips, the potential of AI on reading out optical data, and metrology based on quantum mechanics.

TNO's research line on Medical Technologies focuses on accelerating photonics-based innovations and their implementation in health care. Focus in 2021 is to develop diagnostic optical devices for use in both primary and secondary care, including multispectral fundus camera's for early diagnosis of eye diseases and systemic diseases, wearable diagnostic photonic devices, and dose measurements for proton therapy. Last but not least the development of a quantum computer accessible via the web, and a quantum communication channel between Delft and The Hague are two of the main activities for QuTech/TNO. QuTech aims to position the Netherlands as a vivid hotspot for quantum technologies in the coming decade.

Titel	VP Flexible and Freeform Products (P615)
Missie / MMIP	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Ton van Mol
Contactpersonen Overheid / Topsector	Richard Roemers

Programma jaar 2021 - 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. Our focus is on food and pharma and specifically

- Connecting food and health by personalized nutrition
- Resource scarcity and protein transition
- Personalized treatment based upon individual health related data
- More cost and time efficient development of new medication

We develop the process and equipment for these ambitions and this is in line with the KIA sleuteltechnologie *Smart personalized food and medicine*.

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 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. In 2021 we will keep our primary focus on healthcare related applications where we will work on body conformable medical patches and non-contact sensing. 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 and high resolution printing. And finally, in 2021 we will continue working on advanced chip packaging in the framework of CITC Nijmegen activity. The underlying technological challenges have strong resemblance with the Holst Centre Eindhoven activities.

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 VDLETG, and with partners to demonstrate new applications in domains of electronics and energy. The technology development will focus on patterned s-ALD deposition, and the exploration of s-ALD for energy applications, such as performance enhancement of fuel cells and CO₂ capture, alongside continued work in the battery domain. We accelerate our activities on next generations of batteries for electric driving and wearables, making use of our core capabilities in deposition technologies (and in line with KIA 'Batteries of the future'), in collaboration with the newly established start-up LionVolt, that aims to commercialize solid-state batteries with high-aspect ratio 3D geometry. In 2021 we realize part of a battery pre-pilot line infrastructure in support of this work, in particular a dedicated CVD system, and the design and engineering of a newly developed spatial ALD equipment, the first s-ALD machine to be uniquely designed for application in batteries. In parallel, we work on next generation demonstrators and develop shorter-term improvements for existing battery concepts using our S-ALD capabilities.

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

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, a.o. 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)
Missie / MMIP	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Ir. Peter Wolfs
Contactpersonen Overheid / Topsector	Topsector: Prof. dr. E.M. Meijer

Programma jaar 2021 - Samenvatting

The needs of society and the chemical industry are the drivers for the program Sustainable Chemical Industry. In line with the ambitions of the Topsector Chemie the program focuses on developing technology and new business models in demand driven Public Private Partnerships embedded in specific regional, national and international ecosystems. Close cooperation with other demand driven programs and Early Research Programs provides a complete proposition for the chemical value chain. Within this program the knowledge development is organized in the PPP's Biorizon, VoltaChem, Brightlands Materials Center and within in separate program lines. A growing program line is Photons 2 Chemicals.

Biorizon

In 2020, TNO created spinoff company Relement. The focus of Relement will be further scale-up and commercialization of the Diels-Alder technology for the specific bio-aromatics HMA and MPA and demonstration in end-user applications. The Biorizon program will focus on the development of integrated processes of further novel and existing renewable, bio-aromatic products, including bio-aromatic-derived products, and demonstrate these in several end-user applications. In 2021, the focus will be threefold: 1) Development of new research units at TRL 5 in order to validate and troubleshoot the technology, improve process conditions, and provide samples to industrial relevant end-users for application development with existing industrial users. 2) Explore opportunities for a Biorizon Application Centre (together with the other Biorizon program lines). 3) Development of integrated local valorization of hemicellulose residues for production of furfural (derivatives) to secure cheap local feedstocks for bio-aromatics and other important chemicals and building blocks.

VoltaChem

The VoltaChem program line Power-2-Chemicals aims to have demonstrated by 2022 paired electrosynthesis of key plastic intermediates and high value chemicals together with industry and academia. By the end of 2021 we aim 1) to have investigated at least 3 electrochemical routes at proof-of-principle level (TRL2), 2) started working on non-aqueous electrosynthesis developed an electrochemical conversion route from sugars to specialty ingredients at lab scale (TRL3) and 3) experimentally proven the electrosynthesis of biobased maleic and valeric acid in an industrial environment (TRL5). Furthermore we aim to have expanded our industrial and academic network and equipment and knowhow base. The program is closely aligned to the Demand Driven program Industrial Electrification and CCU that has a much broader focus on industrial electrification of commodity chemicals production.

Brightlands Materials Center

In 2023 the program line Sustainable Buildings will have developed VO2-based thermochromic films and coatings that are able to contribute to the reduction of energy usage for heating and cooling of buildings and the transition towards sustainable energy in the built environment. These films and coatings will be produced at pilot scale, and pilot scale window demonstrators will have been integrated in test houses (TRL 6). Furthermore, the program will have developed colored coatings for glass covers of building-integrated photovoltaic modules, produced them at pilot scale and demonstrated their performance on solar modules integrated in occupied houses (TRL 8). Thirdly, the program will have developed nano-composite polyolefin films that prevent unnecessary heat up of photovoltaic modules to improve their performance and extend their lifetime. In 2023, this technology will have been demonstrated in small sized photovoltaic modules (TRL 4-5).

In 2024 the program line Lightweight Automotive aims to have developed and demonstrated multi-physics and multi-scale based material models predicting and optimizing durability and interfaces of thermoplastic composites

for lightweight structural applications. Furthermore, technology and infrastructure to recycle these materials for use in structural and semi-structural applications will be established. In 2021, the operational fieldlab expands with pilot-scale equipment for recycling, and demonstrates performance of resulting recycled long-fiber-compounds in in-house and industrial demonstrators.

Photons 2 Chemicals

In photochemical processes, photophysical aspects of the catalyst and the reactor play an essential role. This includes the size, shape, and material of the reactor, which need to be optimized for light incoupling, the characteristics and positioning of the light source, and heat-transfer properties, particularly when high-intensity light sources are used. The engineering and technological aspects of photochemical processes are key to ensure reproducibility, scalability and industrial application. In the program line photons-2-chemicals, we focus on the use of renewable energy, i.e. sunlight, CO₂ and green H₂ as a feedstock to produce the C₁ molecules CO, CH₃OH (methanol) and CH₄ (methane). These are of interest both as platform chemicals, and for use as fuels. To realize this, we design, develop and validate photocatalysts and tailored reactors for photochemical conversion, primarily focusing on gases as starting materials and solid catalysts. In addition, we are currently developing catalysts and reactors for chemical conversions in liquid phase using tailored artificial LED light sources, focusing on the chemical industry for production of fine/specialty chemicals.

Titel	VP Industrial Electrification and CCUS (P616)
Missie / MMIP	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Ir. Peter Wolfs, Ir. Martijn de Graaff
Contactpersonen Overheid / Topsector	Prof. dr. E.M. Meijer

Programma jaar 2021 - Samenvatting

The increasing amounts of renewable wind and solar derived electrical energy offer great opportunities for the industrial production of green hydrogen and the conversion of renewable raw materials (e.g. biomass, CO₂) to added value chemicals and fuels. This program aims at the development and piloting of novel Industrial Electrification and CCU technologies, and associated value chains and business models. The focus of the program is on the unique combination of industrial electrification (Power-2-X) with carbon capture and utilization (CCU) employing predominantly renewable feedstock (biobased and CO₂) and renewable electricity as energy supply.

In 2021, we will continue further developing the proof-of-principles and proof-of-concepts towards higher TRL together with regional, national and international stakeholders from industry and government. Focus of the activities in 2021 and the expected results will be:

- *Electrosynthesis of chemical commodities using biomass and CO₂ as feedstock: Optimization and scaleup of electrochemical CO₂ conversion technologies for producing Formic, Oxalic and Glycolic Acid.*
- *Capture-integrated electrochemical conversion of CO₂:* Development of capture integrated CO₂ conversion towards TRL-4 and integration of downstream purification and conversion.
- *High temperature electrolysis of CO₂ (Solid Oxide Electrolysis):* Increase of reproducibility, durability and lifetime of SOE and development of novel integration concepts.
- *Electrolyzer industrialization:* Development of low-iridium containing MEA, produced with high-tech ALD/CVD technologies and tested in an electrolysis cell.
- *Electric high-temperature cracking and plasma conversion technology:* Further development of high-temperature cracking and plasma technology, dependent on role in partnership.
- *Value chain development for fuels, fertilizers and materials (plastics, steel):* Assessment of the impact of global energy and carbon prices on strategic relevance. Furthermore, we will focus on supporting the recently started Fieldlab Industrial Electrification (Rotterdam Harbor

Industrial Complex) and collaborate closely with the Hydrohub (Groningen-Eemdelta) and Brightsite (Geleen-Chemelot). In these regional testing facilities the developments from this program, amongst others, can be further piloted and brought towards demonstration together with industry and public stakeholders. Through this approach we aim to accelerate the development and implementation of results, so that our contribution to the 2030 and 2050 climate targets is maximized.

Titel	VP Bouw Innovatie (P513)
Missie / MMIP	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Arjen Adriaanse, IJsbrand van Straalen
Contactpersonen Overheid / Topsector	Bert van Haastrecht (M2i)
Programma jaar 2021 - Samenvatting	
The reduction of CO₂ emissions, use of renewable sources and lengthening of working life of existing structures are the main drivers for this VP HTSM-Bouw Innovatie (building innovation). This VP focuses on <u>Stony materials</u>, <u>Asphalt</u>, and <u>Timber construction</u>. Goal of the subprogram <u>Stony materials</u> is to predict the performance, degradation and service life of existing materials in buildings and structures and new / alternative / secondary materials. Goal of the subprogram <u>Asphalt</u> is to predict material performance taking into account material ageing as well as various fatigue loading regimes over time. Goal of the subprogram <u>Timber construction</u> is to develop new models to predict performances of timber products and to support industry with new integral concepts to scale up the production process. Both the reduction of CO₂ emissions and the use of renewable sources are drivers for various parties to develop new concrete blends. By understanding, for instance, the formation of aluminosilicate chain building blocks that make up our future concrete, the (long term) performance of building materials with new aggregates and binders can be better predicted. Within the subprogram <u>Stony materials</u> a blend tool will be developed with which aluminosilicate side streams can be characterized and blended to alternative binder products for concrete, with similar performance and service life but with higher sustainability and lower cost. This requires measurement techniques and models for describing reaction processes in alternative binders, the reaction products and their stability. The latter is crucial for understanding degradation and for the design of accelerated ageing tests, i.e. durability. In 2021 the focus will be on thermodynamic modelling of the processes involved and a model for predicting precipitation products and rates. The blend tool developed for dissolution will be extended by including the hardening process. Another topic that will be addressed is degradation of stony materials. Extension of life time, use of recycled materials and bio-based binders are essential topics for road owners, contractors and raw material suppliers to make asphalt more sustainable. The models which will be developed within the subprogram <u>Asphalt</u> can be used to forecast maintenance needs of existing materials and to predict the performance in pavements of innovative (more sustainable) materials. This requires a better understanding of ageing phenomena in surface layers, taking into account the use of recycled materials and bio-based binders, and application of rejuvenation techniques as well as mechanical models for translating changes in the behavior of materials to structural performance of pavements. These models are validated using monitoring data. In 2021 research will focus on recyclability of asphalt components, developing an FE-model on these asphalt components and the use of lignin as an alternative binder for bitumen. For the recyclability, binder quality, rejuvenation and binder-aggregate interactions will be addressed. The subprogram <u>Timber construction</u> started its activities in 2020 by exploring the current state-of-the-art. It has been observed that various research questions exist regarding the performances structural strength, fire safety, acoustics and impact of moisture. It is also known that the current timber industry in the Netherlands does not have the facilities to produce structural engineered timber products. For both topics the research needs will be examined in 2021 and TNO will explore options how it might contribute to the market within the coming years.	
Titel	VP Intensivering Smart Industry (P617)
Missie / MMIP	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Rogier Verberk, Sam Helmer, Peter Laloli
Contactpersonen Overheid / Topsector	Henk Gritter, Corinne Cornelisse (EZK), Jan Post (HTSM/Smart Industry)
Programma jaar 2021 - Samenvatting	

The long term TNO objective is the same as the objective of, the HTSM Roadmap Smart Industry, the Routekaart Smart Industry in the NWA and the key enabling technology Engineering & Fabrication technologies.

In 2023, the Netherlands has the most flexible and best digitally connected production network in Europe for the design, production and supply of smart products and associated services. Within this production network the manufacturing companies also achieve substantial energy and material savings in production and the lifespan of the Products. And the employees are continuously able to maintain their (digital) knowledge and skills.



Within this national implementation agenda, 8 transformations are defined as that manufacturing companies in the Netherlands have to make, to achieve the national objective (see picture). Of these 8 transformations, TNO focusses on 4 transformations, i.e.:

1. Flexible Manufacturing
2. Smart Working
3. Digital Factory
4. Connected Factories

And to support manufacturing companies to realize these 4 transformations, TNO develops knowledge on 5 expertise area's:

1. Flexible Manufacturing
2. Smart Work
3. Data Sharing
4. Digital Twinning
5. Smart Response

Titel	VP Environmental Technology (P512)
Missie/ MMIP	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Erlend Deckers (VPM) and Ardi Dortmans (SD)
Contactpersonen Overheid / Topsector	Marc Hendrikse, Bert van Haastrecht (topsector HTSM)
Programma jaar 2021 - Samenvatting	
The world population is growing, consumption and production are increasing. This results in climate change, deterioration of environmental quality (human health, safety and ecosystems), depletion of material resources.	

In Paris worldwide agreements have been made to reduce greenhouse gas emissions by more than 80% in 2050 compared to 1990. This requires an energy transition to a CO₂ neutral society, impacting all sectors. Despite the improved air quality in Europe, yearly approximately 400.000 premature deaths can be attributed to bad air quality. The burden of disease in the Netherlands is caused for more than 5% by poor quality of the environment, a cost of 5-7 billion Euro per year. Environmental risk management and environmental safety are in front of/facing transition: from remediation and management to the prevention of environmental risks and hazards. An example is the development of safety innovations in petrochemicals (Safety Delta Nederland)

In addition, the Netherlands has the ambition to realize a circular economy by 2050: sustainable circular chains in which resources are fully reused or renewable, no waste is produced and all energy is from sustainable sources. The Knowledge and Innovation Agenda Circular Economy (KIA-CE, 15 October 2019) provides an overview of necessary knowledge development for the mission-driven innovation policy. The KIA-CE aims at a reduction in the need for primary resources by 50% in 2030 and a fully circular economy in 2050. The most important methods are maximizing resource efficiency and minimizing the ecological footprint. These methods have been elaborated in the 3 MMIPs under this KIA-CE.

TNO contributes to abovementioned ambitions by on the one hand improving the insight and on the other hand developing solutions for both government and business. In the VPs of the Unit CEE we work on better measuring, better modelling and improved decision support systems for environment, air quality and process safety. We design circular chains, assess new technologies and chain solutions for sustainability and develop sustainable technologies for plastics, building materials and electronics.

The research program in this VP has three focus areas: Circular Plastics, Circular Manufacturing Industry and Environment and Health. The most important foreseen developments for 2021 are:

1. The scale up of the chemical recycling technology to TRL4 for two types of plastics
2. Develop a roadmap delivering insights in technology development to support the transition towards a circular manufacturing industry (e.g. electronics / batteries)
3. A public-private partnership on sensing of benzene in air on industrial sites

This program is closely related and interacts with other programs such as P510 Environment and Sustainability, P515 Circular Economy, P504 Water technology and ERP Decarbonisation.

Titel	VP ICT (P706)
Missie / MMIP	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Berry Vetjens (DM) / Omar Niamut (VPM)
Contactpersonen Overheid / Topsector	Fred Boekhorst

Programma jaar 2021 - 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 for example 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, but access to data is hindered by lack of trust between data owners, data interoperability and business models. Our ambition is to resolve all barriers for data sharing, by enabling data sharing across domains, ensuring interoperability of data sharing systems, avoiding vendor lock-in and achieving national data-hub(s) eco-systems. In 2021, we aim at i) an operational eSSIF lab; ii) a Multi-Party Computation (MPC) pilot in healthcare with operational sensitive data; iii) a data sharing pilot in agriculture and iv) joining European data hubs as a Dutch data sharing hub. To resolve the increasing resource scarcity in our digital infrastructures, we aim to provide our stakeholders with **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. In 2021, our key contributions will be i) the establishment of the Dutch Cloud Coalition that TNO will leverage to represent the Dutch industry in the GAIA-X Foundation; and ii) pushing the technical boundaries in the 5G test infrastructure available for Dutch operators and sectors, by further expanding our unique multi-vendor 5G stand-alone network technically and towards sectors in the 2nd phase of the proven 5Groningen initiative and Delft Do IoT field lab. In a digital society, corporate data is constantly vulnerable to external influences. Our ambition with a **trusted ICT** approach is to make a difference in 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 chain and of the chain as a whole are both essential in a targeted cyber security approach. In 2021, deliver automated security methods and models, a quantum optimization pipeline framework and novel detection methods. These goals are aligned with national and stakeholder agendas, specifically the *Nederlandse Digitaliseringsstrategie*, the *KIA (Digitale) Sleuteltechnologieën 2020-2023*, the *European data strategy 2019-2022*, the *position paper on Responsible Data Sharing*, the *Nederlandse Cyber Security (Research) Agenda*, and with strategic stakeholder viewpoints. Sectors that have specific attention are agriculture, telecom providers, government, media and financials, but the underlying fundamental technology developments allow TNO to contribute to challenges in other domains as well such as defence and security, industry, energy, construction, healthcare and mobility and logistics. In relation to the above-mentioned goals, the VP ICT actively engages in stakeholder management on both the national and the European level, with academic partners and partners from industry. Until 2024, our objective is to consolidate this role. Furthermore, we aim to maintain our leading position in standardization of digital technologies and within industry fora.

Titel	VP Embedded Systems Innovation (ESI) (P707)
Missie / MMIP	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Henk-Jan Vink (Managing Director TNO ICT), Frans Beenker (VP manager)
Contactpersonen Overheid / Topsector	HTSM embedded systems / Brit Meier

Programma jaar 2021 - Samenvatting

The Dutch high-tech industry is responsible for a large portion of the Dutch private R&D expenditures and many of them play a world-wide dominant role. Complex industrial products are brought to the market with high speed, enhanced functionality and better cost performance ratio. These products represent a key element of the competitive position of our high-tech industry.

Product innovation is pre-dominantly implemented as a complex multi-disciplinary interplay between software and physical components (i.e. cyber-physical systems). This interplay has a large impact on key system qualities such as safety, reliability and performance. Business models continue to expand (from selling boxes to delivering integrated solutions and services) and there is a continuous drive towards efficiency – do more with less people in less time. The complexity of high-tech systems grows steeply; e.g. due to the drive towards autonomous systems and the additional challenges caused by integration of AI. As a result, a more fundamental basis of Systems Engineering is required to improve the efficiency, effectiveness, quality and costs of the architecting, design and integration processes and of the resulting products. In addition, the high-tech companies need a highly qualified workforce with leading professional capabilities for architecting, design and engineering requiring special attention to be given to continuous education through all career stages. This all requires special attention to be paid to systems engineering methodologies, especially those addressing the following aspects of system architecting and design:

- **Multidisciplinary architecting and engineering.** The essence of system engineering is in addressing the heterogeneity and multi-disciplinary aspects of product architecting and engineering.
- **Efficient and effective product innovation process.** There is a significant need to improve on the efficiency, effectiveness, quality and costs of the product innovation process. Techniques for product design need to involve

modelling, analysis (e.g. AI-based), virtualization and simulation to achieve the desired results. There is a continuous trend towards model-driven system design and engineering in all phases of a product life cycle.

- **Life-cycle context.** There is an increased interaction between the supplier and user of high-tech systems. Requirements changes have to be accommodated quickly and the integration in a, often ill-defined, customer operating environment and workflow is critical. New techniques are required for product design that position product design in a system-of-systems and life-cycle context.
- **Human capital development.** A systematic investment in a life-long learning program for education and training of system architects.

These aspects support the high-tech industry in achieving their challenges in offering value propositions over the life-cycle of their products and address the main trends that are driving the complexity of high-tech systems. Together, they represent the main aspect of the ESI research program for 2021 - 2024.

The target result of ESI is in driving advances in high-tech systems technology by ¹⁾ creating impactful and industrially applicable architecting and design methodologies and ²⁾ providing innovation support to high-tech industry with industrially supported tools, knowledge- and experience-sharing activities and a focused competence development program. A summary of the targeted 2021 results is as follows:

International positioning and visibility:

- Exploiting our international cooperation network of research institutes;

Research targets per strategic program line:

- Functional performance optimization and performance optimization for distributed systems;
- Verification and validation of system updates/upgrades;
- SW modularization, interfacing and SW legacy techniques;
- Design for diagnostics and advanced failure diagnostics;
- System reference architecting, value-based architecting, platform approaches, (configure to order) and relationship with SW architecting;

Sharing, dissemination and competence development:

- A successful ESI symposium in April 2021;
- Exploiting the added value of the large ESI network for exploiting synergies in research with various partners and exchanging experiences;

New courses, course offerings, working approach specific for our target groups.