

Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
Postbus 96800
2509 JE Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

TNO-rapport

2020 S 011

Vraaggestuurde Programma's Resultaten 2019

Datum	9 maart 2020
Auteur(s)	Peter Werkhoven
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	54 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	
Projectnaam	
Projectnummer	

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2020 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Topsector Chemie	6
2.1	VP Sustainable Chemical Industry	6
2.2	VP Industriële elektrificatie en CCUS	7
3	Topsector Energie	9
3.1	VP Energie in de Gebouwde Omgeving	9
3.2	VP Urban Energy-EnerGO	10
3.3	VP Solar Energy	11
3.4	VP Wind	12
3.5	VP Towards a CO2-neutral industry	13
3.6	VP CO2 Neutral Fuels and Feedstock	14
3.7	VP Naar een maatschappelijk gedragen energietransitie	15
3.8	VP Energiesysteem	16
4	Topsector High Tech Systems and Materials	19
4.1	VP Cyber Risk Management & System Resilience	19
4.2	VP Radar & Sensorsystemen	20
4.3	VP Human Health RM Nano	21
4.4	VP Smart Vehicles	22
4.5	VP Sustainable Vehicles	23
4.6	VP Space & Scientific Instrumentation	23
4.7	VP Semiconductor Equipment	24
4.8	VP Flexible & Free-form Products	26
4.9	VP Sociale Innovatie / Smart Working	27
4.10	VP Environmental Technology	28
4.11	VP HTSM-Bouwinnovatie	29
4.12	VP Intensivering Smart Industry	30
4.13	VP Embedded Systems Innovation	31
5	Topsector HTSM/ICT	33
5.1	VP ICT	33
6	Topsector Life Science & Health	35
6.1	VP Biomedical Health	35
6.2	VP Digital Health Technologies	36
7	Topsector Logistiek en Mobiliteit	38
7.1	VP Betrouwbaar Verkeerssysteem	38
8	Topsector Water	40
8.1	VP Watertechnologie	40
8.2	VP Karakterisering Grondwater	41
8.3	VP Deltatechnologie	42
8.4	VP Maritime & Offshore	42
9	Maatschappelijk Thema Arbeid en Gezondheid	44

9.1	VP Gezond, veilig en productief werken	44
9.2	VP Gezond, Veilig en Kansrijk Opgroeien.....	45
10	Maatschappelijk Thema Duurzame Leefomgeving	47
10.1	VP Duurzaam bouwen.....	47
10.2	VP Smart Cities	48
10.3	VP Milieu en Duurzaamheid	50
10.4	VP Circular Economy.....	51
11	Maatschappelijk Thema Maatschappelijke veiligheid.....	52
11.1	VP Veilige maatschappij.....	52
11.2	VP Kennisopbouw Politie	53

1 Inleiding

De resultaten van de kennisontwikkeling bij TNO over 2019, die mede gefinancierd wordt met de Rijkbijdrage die TNO ontvangt, worden in dit rapport gepresenteerd. De kennisontwikkeling van TNO is breed en multidisciplinair en sluit aan op de behoeften van vakdepartementen (maatschappelijke thema's) en van het bedrijfsleven (topsectoren). Daartoe worden Vraaggestuurde Programma's geformuleerd. De kennis- en innovatieagenda's van de topsectoren, geconcretiseerd in de innovatiecontracten, en de strategische kennisagenda's van de departementen zijn het vertrekpunt voor deze Vraaggestuurde Programma's. Met de stakeholders in de topsectoren en de maatschappelijke thema's is de inhoud van de onderzoeksprogramma's afgestemd.

De kennisontwikkeling wordt gefinancierd uit de Rijkbijdrage toegekend aan TNO (Instituutssubsidie en Programmasubsidie van vakdepartementen) en substantieel aangevuld met bijdragen uit (inter)nationale onderzoeksprogramma's (EU, ZonMw, RVO), PPS-toeslag, en van bedrijven in specifieke projecten of meerjarige programma's.

Aansluiting van TNO Vraaggestuurde Programma's op externe thema's

Onderstaand overzicht geeft de aansluiting van de Vraaggestuurde Programma's van TNO op de topsectoren (blauw) en maatschappelijke thema's (rood) voor de inzet van de Rijkbijdrage. Het genoemde bedrag geeft de omvang van de Rijkbijdrage die TNO in 2019 heeft ingezet op het betreffende thema. *2019 is het laatste jaar waarover apart per Topsector en Maatschappelijk thema wordt gerapporteerd. Met de kanteling naar Missiegedreven Innovatieonderzoek zal de VP Rapportage vanaf 2020 aansluiten bij de nieuwe, integrale thema's en missies.*

Chemie (M€ 5,8) P603 Sustainable Chemical Industry P616 Industriële elektrificatie en CCUS	HTSM/ICT (M€ 7,7) P706 ICT
Energie Transition (M€ 41,0) P505 Urban Energy-EnerGO P307 Energie in de Gebouwde Omgeving P309 Duurzame Energie P321 Solar Energy P322 Wind P323 Naar een CO2-neutrale industrie P324 CO2 Neutral Fuels and Feedstock P325 Energietransitie Studies P326 Energiesysteem	Life Science & Health (M€ 10,0) P203 Biomedical Health P210 Digital Health Technologies
HTSM (M€ 47,4) P103 Cyber Risk Management & System Resilience P104 Radar & Sensorsystemen P511 Human Health RM Nano P402 Smart T&T, HTSM P405 Sustainable T&T, HTSM P607 Space & Scientific instrumentation P612 Semiconductor Equipment P615 Flexible and Freeform Products P207 Sociale Innovatie / Smart Working P512 Environmental Technology P513 HTSM-Bouw Innovatie P617 Intensivering Smart Industry P707 ESI	Logistiek (M€ 4,1) P403 Smart T&T P406 Sustainable T&T
	Water (M€ 4,5) P504 Watertechnologie P508 Deltatechnologie P310 Karakterisering Grondwater P311 Maritiem en Offshore
	Arbeid en Gezondheid (M€ 14,3) (szw) P204 Arbeid P211 Jeugd
	Duurzame Leefomgeving (M€ 12,0) (I&M en BZK) P502 Duurzaam bouwen P509 Smart Cities P510 Milieu en Duurzaamheid P515 Circulaire Economie / P516 Klimaatmiddelen
	Maatschappelijke Veiligheid (M€ 14,2) (V&J) P102 Veilige maatschappij P105 Onderzoeksprogramma V&J P106 Kennisopbouw politie

De doel- en taakfinanciering t.b.v. het Ministerie van Defensie en t.b.v. de Geologische Dienst Nederland (GDN) in het kader van de Mijnbouwwet en Basisregistratie Ondergrond, alsmede de Early Research Programmes (ERP's) zijn hierbij buiten beschouwing gelaten omdat daarover afzonderlijk aan de overheid wordt gerapporteerd.

De resultaten van de kennisontwikkeling worden gerapporteerd aan het ministerie van EZK, de topsectoren/TKI's en de vakdepartementen. Voor de rapportage is er met het ministerie van EZK in het platform Instituten TO2 een bindend format afgesproken, het activiteitenverslag. Per Vraaggestuurd Programma is er een rapportage opgesteld conform het format, die wordt toegezonden aan de betreffende regievoerders van topsectoren en maatschappelijke thema's. Een Managing Director bij TNO is verantwoordelijk voor de afstemming met topsector/TKI of vakdepartement en zorgt voor het autoriseren van de rapportage van de betreffende Vraaggestuurde Programma's.

Afhankelijk van wat de belangrijkste doelgroep is voor de rapportage (bedrijven in het geval van topsectoren en de Nederlandse overheid bij de maatschappelijke thema's) zijn de verslagen in het Nederlands of Engels opgesteld.

2 Topsector Chemie

Aan de topsector Chemie wordt door TNO vanuit de unit Industry (IND) bijgedragen met het VP Sustainable Chemical Industry en het VP Industriële elektrificatie en Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCUS).

TKI	Unit TNO	Vraaggestuurde Programma's
Chemie	IND	P603 Sustainable Chemical Industry
Chemie	IND	P616 Industriële elektrificatie en CCUS

2.1 VP Sustainable Chemical Industry

In 2019 the program Sustainable Chemical Industry continued to develop knowledge through its main Public Private Partnerships *Biorizon*, *Voltachem* and *Brightlands Materials Center (BMC)*. Within these partnerships TNO strengthened its collaborations with industry, clusters, other RTO's and academia. A new collaboration called Brightsite was initiated at the Brightlands Chemelot Campus. Brightsite joins several programs of TNO and partners in the field of "climate proof chemistry".

The results achieved in 2019 across the different partnerships are described below.

Biorizon

The main results for Biorizon include: 1) the commissioning of demo facilities at the Green Chemistry Campus, 2) the production of 22 kg of bio-aromatics for use in application development by the industrial partners, and 3) preparing the launch of a TNO spin-off company to boost development and commercialization of the Biorizon technology portfolio.

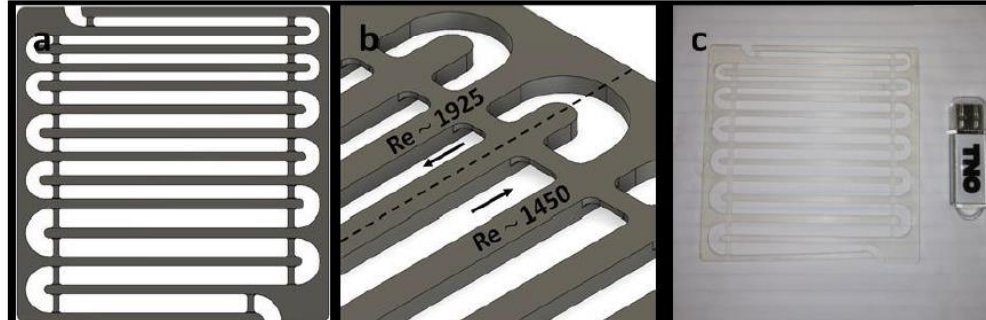
Voltachem

For VoltaChem the main outcomes were 1) the design of a single cell electrochemical reactor at TRL-4 for paired electrosynthesis of key intermediates for bioplastics, 2) the proof-of-principle of two interesting business cases, being electrochemical C-C coupling to tartaric acid and co-production of CO and Chlorine from CO₂ and HCl, and 3) the start of a community-of-practice for Power-2-Specialties.

Brightlands Materials Center (BMC)

The BMC subprogram Sustainable Buildings fostered the development and upscaling of materials for thermochromic windows, both in form of coatings and in form of nanocomposite polymer films. Furthermore, materials were developed that contribute to the improvement of aesthetics and/or efficiency of building integrated photovoltaics (BIPV). The thermochromic window application progressed from TRL3 to TRL4. The materials for BIPV were improved with respect to the optical properties of the encapsulant through addition of tailored nanopigments. Demonstrators have been developed on laboratory scale (TRL4).

The BMC subprogram Lightweight Automotive yielded the following results: 1) realization and opening of the Fieldlab Thermoplastic Composites at the Brightlands Chemelot Campus, including 2) demonstration of the newly designed and customized thermoforming/over-moulding machine, with 3) various demonstrators developed using own developed material processing know-how for hybrid material and advanced simulation models.



2.2 VP Industriële elektrificatie en CCUS

In 2019 the VP Industrial Electrification & CCUS research contributed to the future implementation of affordable industrial electrification technologies that will help to mitigate CO₂ emissions in the industrial production of chemicals and fuels.

The main result in the field of *green hydrogen production in combination with high temperature CO₂ conversion* was the further development of the Solid Oxide Electrolysis cell production line in Petten towards larger scales with accompanying test infrastructure and protocols. Furthermore, the potential for industrial integration in the production of key chemical commodities like methanol, ammonia, CO and the partial oxidation of methane was investigated leading to a concrete research program for the coming years.

In the domain of low temperature electrochemistry, novel reactor and process integration options were developed which will lead to higher efficiencies and lower operational costs that will increase the willingness of industry to adopt these options. Several direct electrochemical CO₂ and biobased conversion options were further developed with focus on formic acid, oxalic acid, maleic acid and lactic acid, which are all very interesting *chemical intermediates for bioplastics*.

Apart from technology developments, we worked on a better understanding of the economics of industrial electrification from a global systems perspective. The energy and feedstock system model framework was further developed allowing for analysis of the import of energy into the Netherlands, including the possibility to choose the origin and international source of the energy, mode of transportation and mode of delivery. Also, the opportunity of e-fuels was investigated, leading to the conclusion that e-methanol and e-kerosine have most potential for long distance transport.

Last but not least, the Fieldlab Industrial Electrification in the cluster Rotterdam-Moerdijk was further developed with regional partners, allowing for business case development, piloting and demonstration of industrial electrification technologies from 2020 onwards.

3 Topsector Energie

De uitdaging binnen de Topsector Energie is om de CO₂-emissies te laten dalen door duurzame energie versneld in te faseren en fossiele energie soepel uit te faseren, terwijl de energievoorziening veilig, beschikbaar en betaalbaar blijft. Tevens is energiebesparing een belangrijk middel. De energietransitie vereist grote technische en maatschappelijke omwentelingen in alle sectoren van de economie, bij overheden en bij burgers.

Het toegepast onderzoek naar de energietransitie is binnen TNO gebundeld in de Unit Energie Transition (voorheen ECN part of TNO). Dit gebeurt in nauwe samenwerking met Units van TNO waar aanpalend onderzoek wordt verricht, zoals Building, Infra & Maritime, Circular Economy & Environment, Industry en Traffic & Transport.

De ambitie van Energy Transition is om samen met kennisinstellingen, bedrijven en de overheid de energietransitie te versnellen zodat Nederland in 2050 een energiehuishouding zonder CO₂-emissies heeft. De energietransitie biedt het Nederlands bedrijfsleven ook de kans om voorop te lopen en hun innovatieve producten te exporteren en zo wereldwijd bij te dragen aan de energietransitie.

Uit de samenvoeging van ECN en TNO zijn 9 Vraaggestuurde Programma's (VP's), ontstaan, vrijwel allemaal één-op-één gelinkt aan de onderzoeksprogramma's van de Topsector Energie.

TKI	Unit TNO	Vraaggestuurde Programma's
Urban Energy	Energy Transition	P307 Energie in de Gebouwde Omgeving
Urban Energy	BI&M	P505 Urban Energy-EnerGO
Urban Energy	Energy Transition	P321 Solar Energy
Wind op Zee	Energy Transition	P322 Wind en P329 Meetprogramma Wind op Zee
Energie & Industrie	Energy Transition	P323 Towards a CO ₂ -neutral industry
Nieuw Gas en Biobased Economy	Energy Transition	P324 CO ₂ Neutral Fuels and Feedstock
MVO	Energy Transition	P325 Energietransitie
Systeemintegratie	Energy Transition	P326 Energiesysteem

3.1 VP Energie in de Gebouwde Omgeving

Het onderzoek naar *Energie in de gebouwde omgeving* richt zich op de ontwikkeling van 'Duurzame collectieve warmtesystemen' en een 'Succesvolle wijkaanpak'. De focusgebieden van 'Duurzame collectieve warmtesystemen' zijn

het ontwerpen en aansturen van 4^e generatie warmtenetten, kostenreductie en veiligheid van geothermie en seizoensopslag van warmte.

De focusgebieden van het programma *succesvolle wijkaanpak* zijn besluitvormingsprocessen, business modellen voor energiepositieve bedrijventerreinen, en sociaal en juridisch onderzoek voor aardgasvrij wonen. De beoogde impact is om een bijdrage te leveren aan het realiseren van een betaalbaar, betrouwbaar, duurzaam en gedragen alternatief voor aardgas als bron van warmte in de gebouwde omgeving. Dit VP heeft in 2019 het eerste volle jaar gedraaid. Het is onderdeel van het overkoepelende TNO programma *Aardgasvrije Wijken* dat naast “Succesvolle wijkaanpak” en “Duurzame Collectieve warmtesystemen” ook het VP programma “Versnelde renovatie van gebouwen” omvat. Dit programma wordt uitgevoerd door TNO BIM.

3.2 VP Urban Energy-EnerGO

Dit VP bestaat uit drie programmalijnen. Het doel van de programmalijn Warmtepompen/systeemintegratie is het creëren van een test- en ontwikkelomgeving voor de implementatie en doorontwikkeling van warmtepompen in gebouwen (Het Heat Pump Application and Knowledge Centre). Doel van de programmalijn compacte warmteopslag is de ontwikkeling van compacte warmteopslag oplossingen met verhoogde energiedichtheid. Doel van de programmalijn Energieopwekking aan de gebouwschil is om grootschalige opwekking van duurzame energie aan de gebouwschil mogelijk te maken door (sub)systemen en concepten tegen lage kosten en waarbij goede esthetische kwaliteit en gebouwintegratie is geborgd. De belangrijkste resultaten uit 2019 zijn:

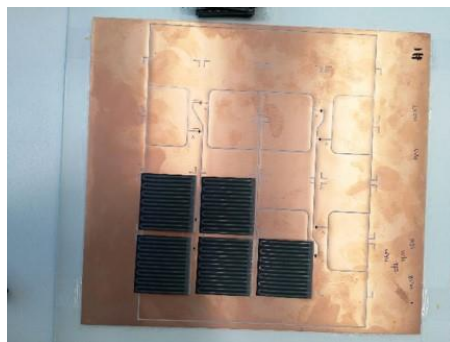
WARMTEPOMPEN: Er zijn simulatiemodellen voor hybride warmtepompen ontwikkeld en gekoppeld aan de emulator testomgeving, en ingezet voor het verbeteren van de prestatie van hybride warmtepompen. Er zijn meetmethoden ontwikkeld en getest om de akoestische prestatie van warmtepompen te kwantificeren, dit werk wordt nog voortgezet in 2020. Er is een model ontwikkeld en experimenteel gevalideerd om de prestatie van warmtepompboilers te verbeteren. Met de ontwikkeling van deze nieuwe modellen en methoden is het Heat Pump Application and Knowledge Centre een unieke faciliteit geworden. Ook is er een warmtepompsysteem wat gebruik maakt van een ijsbuffer gemodelleerd en is een testwoning ingericht met het systeem om het model te kunnen valideren. In de ontwikkeling van een schaalbare oplossing voor de warmtevraag van bestaande gebouwen is een systeemontwerp gemaakt voor het prototype van de installatie met 4 bronnen, dit wordt in 2020 gevalideerd.

Binnen COMPACTE WARMTEOPSLAG zijn met de succesvolle productie van ‘pads’ met een thermochemisch materiaal en een meetopstelling om thermische geleidingscoëfficiënt te bepalen stappen gezet in de ontwikkeling van industrieel en seriematig te vervaardigen energypads. Ook is er fundamentele kennis ontwikkeld op het gebied van hydratatie en dehydratatie kinetiek op korrel en bed niveau onder vacuüm condities. Voor een systeem waarbij een warmtepomp een warmtebatterij oplaadt, is het gelukt om de korrels te stabiliseren. Er is een TCM-reactor model ontwikkeld wat kan ondersteunen bij het ontwerp van toekomstige TCM-systemen. En in de ontwikkeling van een nieuw type reactor is het gelukt om het ontwerp te optimaliseren waardoor de COP van toekomstige systemen significant hoger zal liggen. Met deze resultaten is inzicht verkregen over de optimale vormgeving,

samenstelling en stabiliteitseisen van de reactormaterialen. In IEA verband tenslotte is het internationale netwerk verder uitgebreid en is middels experimenten en het opzetten/verbeteren van methodologie en meettechnieken bijgedragen aan taken van de IEA.

In de lijn ENERGIE OPWEKKING AAN DE GEBOUWSCHIL is gestart met het monitoren van de performance van een op zonnecollector façade elementen met NIR-absorberende coating gebaseerd renovatieconcept op een gymzaal. Tevens is gestart met prototype veldtesten van een systeem met een nieuwe coatingformulering op de zonnewarmtecollectoren. Er is een demonstrator van een smart bouwdeel met geïntegreerde PV gerealiseerd en getest. In de ontwikkeling van de gerobotiseerde plaatsing van PV geïntegreerde dakplaten is een bevestigingssysteem succesvol getest en is een ontwerp voor een semiautonome legmachine opgesteld.

Voor alle drie de programma's geldt dat TNO in het kader van het Bouw en Techniek Innovatie Centrum (BTIC) met een breed consortium een programma heeft opgesteld om betaalbare en gebruikersvriendelijke renovatieconcepten inclusief compacte en slimme warmtepompen en warmtebatterijen te ontwikkelen (omvang 21,4 miljoen euro). Dit voorstel is gehonoreerd uit de additionele middelen voor 2019.



3.3 VP Solar Energy

Solar energy for a climate-neutral energy system

The research program Solar Energy addresses the challenge of rapid, very large scale utilization of photovoltaics (PV) in urban and rural areas, in particular to help reaching national and international climate targets as described in the Dutch Climate Agreement and the Paris Agreement.

In short

Key topics in the programme are: new, integrated applications for efficient, multifunctional and attractive use of space, further cost reduction, and enhanced sustainability in the broad sense. As far as influenceable by PV, also energy system integration is addressed. The program is divided in two main parts: PV Integration & Applications and PV Technologies, together covering most of the PV value chain.

Selected results obtained in 2019

- Opening of the largest bifacial solar noise barrier in Europe along the A50 near Uden (NL), in a European project with partner Rijkswaterstaat. A perfect

- illustration how new PV technology (bifacially operating modules) opens up new application possibilities (infrastructure-integrated PV).
- Understanding and minimizing fire hazards in PV roof systems. We made an inventory of fire cases and a first analysis of possible causes. Based on this we made preliminary recommendations for risk mitigation, for further actions and for more detailed studies and tests.
 - Our joint solar energy system test facility SolarBEAT at the TU/e campus in Eindhoven attracted its 50th user company: Emergo. This shows the need for accurate data on performance and behavior of new, especially roof-integrated systems and the ambition of the growing solar energy sector.
 - Establishment of a new research facility for floating solar at the Oostvoornse Meer (NL). Ambitions to use water areas for generation of solar electricity are high, but gaining 'field' experience is crucial to develop designs optimized for cost, reliability, maintenance, ecology, and other aspects.
 - Demonstration of the first (16 thin-film cells) prototype of a PV 'semi-fabricate' suitable for tailored, yet low-cost, fabrication of end-products for a range of new applications. We call this concept 'mass customization' and it is considered a key to realize an important ambition of the National Science Agenda (NWA): 'every surface generates renewable energy'.
 - In the development of size- and shape-free thin film solar modules based on 'back -end interconnection' we were able to reduce the always present inactive area by more than a factor 2. This is an important step towards industrial application.
 - The design and realization of a high performance 3-dimensionally shaped silicon module for seamless integration in the brand-new Lightyear solar-co-powered electric car. A demonstration of a new, for many unexpected, high-end and also high-value application of PV.
 - Demonstration of a large-area, 18% efficient silicon solar cell based on a novel contact structure employing metal oxides. This is an important building block for the next generation, very-high-efficiency and bifacial and low-cost modules, allowing to further close the gap with the 'ultimate' silicon PV technology.
 - Demonstration of high stability of a perovskite solar cell: in Solliance we achieved less than 5% relative decrease of efficiency after applying stress in an accelerated lifetime test. This shows that perovskites may well form the basis of high-efficiency, low-cost thin-film and tandem solar modules.
 - Demonstration of a bifacial tandem solar cell, combining the performance benefits of our bifacial silicon technology with the gains of stacking a perovskite thin film cell on top of the silicon. This device has an energy yield comparable to a 30% single-sided solar cell, clearly above all present values..

3.4 VP Wind

Om de klimaatdoelstellingen voor Nederland in 2030 en 2050 te realiseren, zal offshore windenergie een belangrijk onderdeel van het energiesysteem moeten worden om zo de CO₂ uitstoot te verminderen. Met de overheid en maatschappelijke organisaties heeft TNO de visie geponereerd dat in 2050 tussen 50GW en 70GW aan offshore windenergie operationeel zal moeten zijn op het

Nederlandse deel van de Noordzee. In 2030 is de doelstelling om 11GW offshore windvermogen draaiend te hebben, maar een groei naar 18GW in 2030 is voor het klimaat te prefereren.

TNO heeft haar onderzoekprogramma gericht op het efficiënt en effectief ondersteunen van deze groei en tegelijkertijd kansen te creëren voor de Nederlandse economie. Het TNO-innovatieprogramma ondersteunt de ontwikkeling en bouw van de windparken met offshore windmetingen, effectievere turbines, verbeterd onderhoud en met name innovatieve schepen en gereedschap. Momenteel is 1GW offshore windvermogen in Nederland gebouwd en wordt er volop bijgebouwd. Er zal tot 2030 11 maal zoveel worden bijgebouwd, daarna zal de groei nog groter zijn. De ondersteuning van TNO om de industrialisatie van offshore windparken inclusief schepen en gereedschappen te creëren heeft tot grote kostenreductie geleid.



De innovaties in offshore windenergie die het R&D programma “Windenergie” heeft gerealiseerd in 2019 hebben resulteert in:

- Reductie van de prijs van offshore windstroom. De grootste turbine ter wereld is in Nederland gebouwd en TNO voert het onderzoek en innovatieprogramma op deze turbine uit. Zowel om de turbine snel in de markt te krijgen als het nog effectiever maken van offshore gebruik. TNO-innovaties in installatie, onderhoud en beheer besparen onze partners veel kosten.
- Integratie in het energiesysteem door flexibiliteit, opslag en markt. TNO heeft een ontwikkelingen in gang gezet om flexibeltopties voor offshore windparken te ontwikkelen en testen op een specifiek ingericht systeem integratie field lab.
- Ruimtelijke en sociale inpassing, multifunctioneel gebruik van ruimte en recycling. TNO pleit voor het op grote schaal integreren van duurzame energieopties in ons landschap, heeft in 2019 innovaties ontwikkelt ter voorkomen van vogel en vleermuis slachtoffers en heeft een concept ontwikkeld om windturbinebladen effectief te kunnen recyclen en met name het glas van de bladen te hergebruiken.

3.5 VP Towards a CO₂-neutral industry

The demand driven program “Towards a CO₂ neutral industry” responds to the societal need for a carbon neutral industry. This is in line with Mission C describing

the transition to a climate neutral industry in 2050¹. Within this program, three solution pathways are being pursued for the development of technologies that are robust towards various future energy scenarios for a society that has a net zero CO₂ emission: Heat, Efficiency and Circularity, and Carbon Capture Use and Storage for the Energy Intensive Industry. Combined, these three challenges answer the themes detailed by the Multi-annual Mission driven Innovation Programs.

Some of the main results of TNO Energy Transition in 2019 are:

- A 2 MW compression heat pump has been installed as part of the Carnot Laboratory for Heat Technology.
- Technical feasibility and advantages of internal cooling demonstrated for exothermal absorption process
- A 100 kt/y amine capture plant based on TNO experience and knowledge was built and inaugurated at the facilities of AVR waste2energy plant

1.



3.6 VP CO₂ Neutral Fuels and Feedstock

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

Selected important results obtained in 2019 are:

- The knowledge gaps for safe production, transport and storage for the future energy systems have been compiled and summarized in the white paper

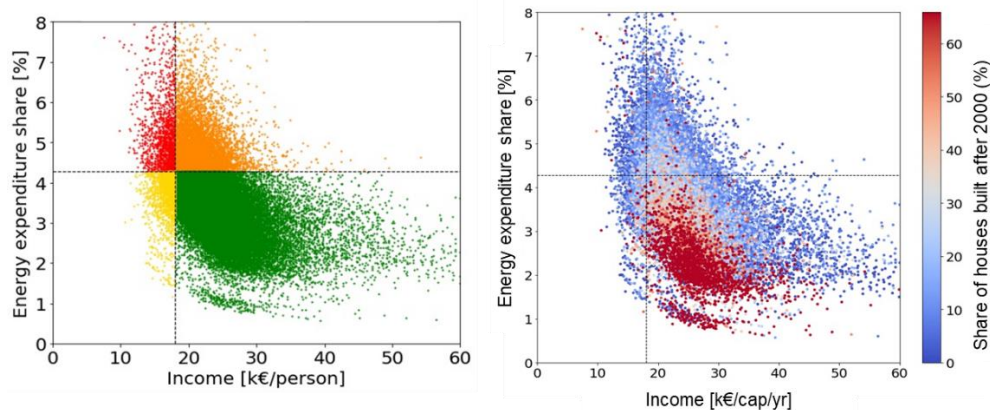
¹ <https://www.topsectorenergie.nl/missies-energietransitie-en-duurzaamheid/missie-industrie>.

- ‘Boosting the Energy Transition - The importance of reliable energy transport in the future’. The paper was released in a symposium with international audience and can be found on the TNO website.
- Existing optimization technology is extended and can now be applied to optimally positioning geothermal doublets, design of a seismic survey for conformance of a CO₂ injection site and wind park design.
 - Seaweed was fractionated and sugars were extracted in the seaweed lab, for further processing into fuel alcohols, within the framework of the recently completed Horizon 2020 project Macrofuels. The fuel alcohols were then blended to E10 and B10. In standardized road tests, performed by DTU in Denmark, these blends were proven to perform indistinguishably from other fuel alcohols. The overall Macrofuels results, which aims to develop viable seaweed-based biofuels production pathways, are summarized in a set of factsheets describing the major findings as well as policy recommendations.
 - A continuous, 50-L/h TORWASH® pilot plant was constructed and commissioned at the urban Waste Water Treatment Plant (WWTP) of Almere, where tests were successfully completed with sewage sludge in 2019. The results show that wastewater treatment can become cheaper for citizens, and that WWTP’s can become more sustainable by generating their own bio-based energy. As a result, a new company has been formed to commercialize this process.
 - A novel component developed has shown to improve cell electrical conductivity and catalyst utilization in electrolyzers. Application of this novel component will enable effective operation of PEMWE at lower temperatures thus improving durability/lifetime. Splitting water using electrolyzers powered by renewable electricity has been identified as a promising route to generate hydrogen (and oxygen).
 - Based on the latest developments in co-electrolysis, a laboratory hardware setup has been realized for experimental validation in 2020. This research is in line with the research goals as defined for MMIP-6 and MMIP-13. The efficiency of co-electrolysis, producing hydrogen and CO from CO₂ and steam is close to steam electrolysis, however the application of co-electrolysis is ideal for integration with high temperature processes e.g. in steel and cement industries.

3.7 VP Naar een maatschappelijk gedragen energietransitie

In 2019 stonden de energietransitie en het klimaatbeleid in het centrum van de belangstelling. Het onderzoek in dit vraaggestuurd programma heeft kennis gegenereerd die het nemen van de besluiten ondersteunt en heeft innovaties ontwikkeld om de implementatie van de energietransitie mogelijk te maken. Voorbeelden zijn het werk op gebied van de inpassing van zonne- en windenergie. De mogelijkheden en de kosten van het inpassen van grote hoeveelheden variabele duurzame bronnen hangen sterk af van de ontwikkeling in andere sectoren. Het al dan niet flexibel kunnen bedrijven van elektrisch aangedreven productieprocessen in de industrie en de aanleg en het gebruik van een laainfrastructuur voor elektrische auto’s zijn belangrijke factoren. De verduurzaming van de industrie is niet alleen een kwestie van nieuwe technologie, maar ook van bedrijfscultuur. In 2019 zijn interventies ontwikkeld om de medewerkers mee te krijgen bij het invoeren van energiebesparende maatregelen. Op het gebied van een rechtvaardige energietransitie is een datagedreven methode

ontwikkeld om wijken te identificeren waar de energietransitie het risico op energiearmoede vergroot. Informatie over energietechnologie is vastgelegd in factsheets, die zijn gepubliceerd op een het webportaal energy.nl, gericht op het delen van feitelijke energie-informatie.



Analyse van het risico op toename van energiearmoede per buurt. Linker figuur: rode kwadrant: hoog risico, gele en oranje kwadrant: beperkt risico en groen kwadrant: laag risico. Rechterfiguur: samenhang risico energiearmoede en ouderdom woning.

3.8 VP Energiesysteem

De energietransitie is een transitie van het volledige energiesysteem. Het grote doel is deze transitie zo te laten verlopen dat het systeem betrouwbaar blijft en duurzaam wordt. Alleen naar losse onderdelen kijken doet geen recht aan het feit dat alles ook met elkaar moet gaan samenwerken. Een goed inzicht hoe technologische ontwikkelingen samenhangen met economische effecten, bekeken vanuit een systeemperspectief is waar de roadmap Energy System in 2019 aan heeft gewerkt. De programmering heeft een focus op een paar onderwerpen: 1. Digitale Integratie waarin enkele sleutel technologieën zijn ontwikkeld, 2. Innovaties voor operationeel management van het energiesysteem en 3. Het Borgen van Leveringszekerheid.

Digitale Integratie. Het bij elkaar brengen van energie, het besturen van de onderdelen van het energiesysteem, het delen van informatie zijn ontwikkelingen die digitale elementen in zich hebben en nodig zijn voor het goed functioneren van het systeem. Een stap daarvoor is het verkrijgen van inzicht in de werking van het systeem met behulp van geavanceerde simulaties en analyses. Hiervoor zijn twee sleutel technologieën ontwikkeld: de taal ESDL en een ecosysteem van instrumenten voor regionale analyses:

- **Sleuteltechnologie 1. ESDL:** Energie informatiebasis. Om met enige betrouwbaarheid analyses te maken van het toekomstige energiesysteem, begint dat met het opbouwen van een bruikbare set aan informatie. Het met elkaar delen van die informatie zorgt ervoor dat dezelfde input en eventueel aannames gebruikt worden in de rekenmodellen, simulaties en optimalisaties. TNO heeft hiervoor de taal ESDL (energy system description language) in 2019 doorontwikkeld die nu in samenwerking met modelbouwers zoals Quintel en

Geodan in de praktijk wordt gebruikt, en in veel gevallen de basis is geworden voor de rekenmodellen. Er is veel interesse en enthousiasme voor deze taal in de sector geconstateerd.

- **Sleuteltechnologie 2. Ecosysteem voor methodiek voor regionale analyses.** In 2019 is een aanpak ontwikkeld voor het methodisch analyseren van de impact die stappen in de transitie, op regionale schaal, hebben op bijvoorbeeld CO2 emissies. Met Ameland als belangrijke case is in beeld gebracht hoe de CO2 ambitie ingevuld lijkt te gaan worden, op basis van voorgenomen projecten. Deze methode maakt volledig gebruik van de ESDL taal, de doorontwikkelde Energie Simulator (ESSIM) en de Geografisch gebaseerde MAP-editor. Dit werk, deze soort van aanpak, zal in 2020 een vervolg krijgen.

Innovaties voor het operationaliseren van het Energie systeem. Uiteindelijk zal het systeem een dynamisch geheel worden van afstemming vraag en aanbod, dispatching van energie deelsystemen, delen van informatie enz. In 2019 is een roadmap samengesteld voor de digitale innovaties die hiervoor nodig zijn. Het tackelen van uitdagingen zoals balanshandhaving en congestiemanagement, in combinatie met trends elektrificatie, hybridisering, decentralisatie en keuzevrijheid van gebruikers, zijn de belangrijkste drivers voor de nodige digitale innovaties. Sleutel technologieën ReFlex en EFI zijn hier goede voorbeelden van.

- **Sleuteltechnologie 3: Diensten platform energie flexibiliteit (ReFlex).** In 2019 is het platform ReFlex ontwikkeld die aan 'value stacking' van beschikbare flexibiliteit een invulling geeft. Dit software platform is in staat de koppeling te leggen tussen beschikbare flexibiliteit in het systeem met energiemarkten en later ook congestie management diensten.
- **Sleuteltechnologie 4: Energie Flexibiliteit Interface (EFI).** Deze interface wordt op EU niveau gestandaardiseerd (CEN/CENELEC TC205/WG18 / European EN50491-12) en is daarmee een cruciale sleutel in het ontsluiten van energieflexibiliteit op een uniforme manier.

Borgen van Leveringszekerheid

Het borgen van leveringszekerheid is één van de grootste opgaves in de energietransitie en daarmee een grote maatschappelijke uitdaging. Dit kan worden bereikt door een viertal oplossingsrichtingen: (1) optimale energietransport en - distributie infrastructuur, (2) energieconversie en -opslag, (3) hybridisatie en flexibilisering van energievraag en (4) CO₂-vrij stuurbaar vermogen. Integrale systeemanalyse is nodig om tot een optimale samenhang te komen.

In 2019 is de 'oplossingsruimte' verder in kaart gebracht en gekwantificeerd:

- Integrale beoordeling van ontwikkelingen binnen het elektriciteitsnet en het gasnet (incl. waterstof) is mogelijk gemaakt binnen modellen op regionale, nationale en internationale schaal;
- Op het gebied van grootschalige energieopslag is inzicht ontwikkeld op de volgende gebieden:
 - operationele strategieën voor het afstemmen van opslagcapaciteit en prestaties op de vraag naar flexibiliteit in het energiesysteem;

- technische risico's en technisch-economische prestaties van energieopslagtechnologieën, waaronder cavernes voor opslag van energiedragers (Compressed Air (CAES), H₂) en H₂-opslag in lege gasvelden;
 - ketenanalyse en optimalisatie van gekoppelde energieconversie en -opslag technologieën;
 - de techno-economische haalbaarheid van innovatieve energieopslagtechnologieën;
 - Het kwantificeren en analyseren van opties voor het flexibiliseren van (industriële) energievraag;
- Het kwantificeren van de toekomstige behoefte aan CO₂-vrij stuurbaar vermogen..

4 Topsector High Tech Systems and Materials

Een groot deel van de kennisontwikkeling van TNO is gericht op de versterking van de concurrentiepositie van het (Nederlandse) bedrijfsleven. Vanuit verschillende units van TNO wordt daarom bijgedragen aan de roadmaps van de topsector HTSM. De belangrijkste inbreng voor de topsector HTSM komt van de unit Industry (IND), maar ook vanuit de units ICT, Defence, Safety and Security (DSS), Circular Economy and Environment (CEE), Buildings, Infrastructure and Maritime (BI&M), Traffic&Transport (T&T) en Healthy Living (HL) komen resultaten van de kennisontwikkeling ten goede aan de doelstellingen van HTSM-roadmaps.

TKI	Unit TNO	Vraaggestuurde Programma's
HTSM	DSS	P103 Cyber Risk Management & System Resilience
HTSM	DSS	P104 Radar & Sensorsystemen
HTSM	CEE	P511 Human Health RM Nano
HTSM	T&T	P402 Smart Vehicles
HTSM	T&T	P405 Sustainable Vehicles
HTSM	IND	P607 Space & Scientific instrumentation
HTSM	ND	P612 Semiconductor Equipment
HTSM	ND	P615 Flexible and Freeform Products
HTSM	HL	P207 Sociale Innovatie
HTSM	CEE	P512 Environmental Technology
HTSM	BI&M	P513 HTSM-Bouw Innovatie
HTSM	ND	P617 Intensivering Smart Industry
HTSM	ICT	P707 ESI

4.1 VP Cyber Risk Management & System Resilience

Digitale veiligheid is een essentiële voorwaarde voor een welvarende samenleving en een sterke economie. Het doel van het Vraaggestuurd Programma (VP) Cyber Risk Management and System Resilience (CRM&SR) is 'Nederland digitaal veiliger en weerbaarder te maken én tegelijkertijd de economische kansen van cybersecurity te verzilveren'. Met dit VP zorgen we ervoor dat TNO samen met andere kennisinstellingen, overheidsinstellingen en (cybersecurity) bedrijven de noodzakelijke ruimte organiseren om toegepast onderzoek uit te voeren en innovaties vanuit het VP een weg te laten vinden naar de markt.

Een gerichte en effectieve cybersecurity aanpak is cruciaal voor het waarborgen van de betrouwbaarheid en vertrouwelijkheid van data, en de continuïteit van ICT netwerken en systemen. Nationale veiligheidsorganisaties en beheerders van vitale processen moeten beter in staat gesteld worden om tijdig cyberdreigingen te onderkennen en te duiden, en voorzien worden van preventief versterkende, maar ook repressieve handelingsperspectieven om - in het geval van versturende cyberincidenten of fenomenen- de continuïteit van maatschappelijke vitale functies te waarborgen. Verder willen we de impact die (cyber) ambities, (geautomatiseerde) werkwijzen en (technische) tooling van cybersecurity

organisaties hebben op cyber professionals vastleggen in een cyber workforce framework om het tekort aan gekwalificeerd cyberpersoneel beheersbaar te maken. We adresseren daarbij de volgende behoeftes van onze partners en klanten, en hebben in 2019 de volgende resultaten gerealiseerd.

- Onze partners vragen om betrouwbare ICT (**trusted ICT**) oplossingen. In 2019 hebben we concrete resultaten opgeleverd, waaronder een Threat Landscape methodiek en metriek voor het onderling vergelijken van de relevantie van dreigingen voor een organisatie, en een belangrijke bijdrage over quantum security binnen de Nationale Quantum Agenda.
- Het ontwikkelen van kennis en innovatie voor zowel overheid als bedrijfsleven, primair beheerders van vitale processen, om adequaat te kunnen (blijven) anticiperen en reageren op de belangrijkste cyberuitdagingen is van belang om onze maatschappij beter weerbaar te maken (**national cyber resilience**); en onderzoek en ontwikkeling van specifieke capaciteiten voor o.m. Defensie, de defensie industrie, EDA en NATO is nodig om de hoofdtaken van Defensie veilig te kunnen uitvoeren (**cyber workforce development**). In 2019 hebben we bijgedragen aan het vormgeven van de Missie Cyberveiligheid onder de nieuwe Kennis- en Innovatie Agenda (KIA) Veiligheid; een Dark Web monitor ontwikkeld om opsporingsinstanties een gestandaardiseerde weergave van beschikbare Dark Web markets te geven; en een hernieuwde versie van de Cyber Security Assistant opgeleverd.

De kennisprogrammering in VP CRM&SR sluit aan bij de uitdagingen en vraagstukken die in de Nederlandse Digitaliseringsstrategie, de Nederlandse Cybersecurity Agenda (NCSA), de Nationale Cyber Security Research Agenda (NCSRA) en de Internationale Cyberstrategie zijn geformuleerd. TNO is sterk betrokken bij **dcypher²**, **het nationale platform voor cyber security onderzoek**. In 2019 is nadrukkelijk aansluiting gemaakt met de Missie Cyberveiligheid van de Kennis en Investerings Agenda (KIA) Veiligheid (in wording). Internationaal participeerde TNO in de relevante werkgroepen.

4.2 VP Radar & Sensorsystemen

The VP consisted in 2019 of 5 program lines: Radar and Integrated Sensor Suites; Mission Critical Systems, Passive Sensors for Defence and Security, D-RACE Advanced Radar Technology (D-ART) and Quantum Sensing. In 2019 also a new activity on Space Situational Awareness (SSA) started. This VP reports to the HTSM Roadmap Security and to the HTSM Roadmap Electronics and contributes to the Societal Theme 'KIA Security' and in particular to its mission Maritieme Hightech voor een veilige zee (topics radar and manning & automation) and to its mission Veiligheid in en vanuit de Ruimte (topic SSA). D-ART is included in the KIA Sleuteltechnologieën as multi-year project MJP88.

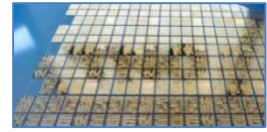


Radar and Integrated Sensor Suites demonstrated in 2019 system building blocks that are built together into a containerized X/S band one-radar system for the next generation frigates of the Royal Netherlands Navy. D-ART explored innovative radar concepts

² <https://www.dcypher.nl/>

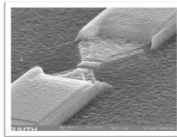
supporting reconfigurability together with new front-end architectures, waveforms and algorithms based on distributed signal generation.

RF front-ends that are crucial for future low-cost X-band Active Electronically Scanned Array (AESA) radars and mainly consist of a chip set designed by TNO are developed in DAISY. This chip set has been tested and analyses have been performed for future industrialisation. A future track has been started to demonstrate full digital receivers and increased RF output power.



H2020 ALFA has had its final demonstration in October to its end-users. ALFA proved to detect and classify various aircraft types and could correctly assess their threat level based on behavioural analysis, a multi target capability is demonstrated.

The feasibility of a miniature proximity sensor with all functionality integrated into one single IC is proven in the project PROSE. The results enables low-power sensors as igniters for various types of ammunition.



Quantum sensing and superconducting technologies are explored that can be used to achieve a highly sensitive, high SNR and frequency-reconfigurable quantum RF-frontend.

Mission Critical Systems are complex software-intensive management systems that are crucial for successfully carrying out missions in the defence/security area. The H2020 project MARISA demonstrated during a live trial in the Dutch Coastguard facilities a data fusion toolkit to correlate and fuse various heterogeneous and homogeneous data and information: anomalous vessel behaviours are correctly detected. A system-of-systems consisting of heterogeneous multi-domain unmanned assets is developed in the PADR project OCEAN 2020.



Passive Sensors for Defence and Security focused on the PENTA project CAVIAR (Cmos imAge sensor and Video research) that started in 2019 and focuses on demonstrating for unmanned flying platforms a low-power, low-cost, low-bandwidth, high-resolution visual observation system using deep learning techniques.

4.3 VP Human Health RM Nano

As one of the Key Enabling Technologies, nanotechnology has emerged in a broad area of industries and applications. By the time regulators became aware of potential omissions in guidance and guidelines addressing the nano-specific nature of chemical substances and products, products were already on the market. This lack of timely alignment has formed a crucial hurdle to appropriately govern the risks of nanotechnology. The public currently also remains unsure about nanomaterials/nanotechnology and potential human health risks, while they would benefit greatly from the use of nanomaterials in innovative materials, products and applications. VP Human Health Risks Nano therefore worked on the development of 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 invested in this VP Human Health Nano in the development of innovative tools, guidance and training to support safe innovation and risk governance for innovative SME, sector organizations and industry in the absence of clear guidance and regulations. The activities of VP Human Health Nano in 2019 consisted of collaborative work in various H2020 EU projects (NanoREG2, NanoFase, caLIBRAte, EC4SafeNano, Gov4Nano) and have resulted 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 2019 have been the development of Safe-by-Design (SbD) and Safe Innovation principles and linkage to the regulatory process with the granting of two major H2020 NMBP projects, which will start in 2020. Extensive knowledge on the effectiveness of Risk Management Measures to mitigate exposure to nanomaterials has been established and has been built into an online searchable tool. Through the participation of TNO, also the Dutch Nanocentre (www.nanocentre.nl) was connected in 2019 to the European EC4SafeNano initiative, as an international nano-safety 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 2019 resulted in clear conclusions and communication on nanomaterial health risks for the commercial success of nanomaterial innovative research and implementation in Europe.

4.4 VP Smart Vehicles

The VP program Smart Vehicles (P402) is aligned with the Topsector HTSM, Roadmap Automotive and aims to strengthen the competitive position of the Dutch automotive and mobility industry. The TKI HTSM Roadmap Automotive is directional for the content of the TNO VP Smart Vehicles program, which contributes to the scope of the Smart Mobility and Green 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 VP Smart Vehicles falls within TNO in the unit Traffic and Transport, in the Roadmap "Smart Traffic and Transport", focusing on the realization of efficient, safe and sustainable mobility.

The main goal of the Smart Vehicles program is to increase traffic safety and throughput, by development of *advanced solutions, tooling and innovative methodologies* that support governments and companies with implementation,



deployment and scaling-up of connected vehicle automation to maximize operational & functional safety of vehicles, while guaranteeing robustness & reliability in real-world conditions.

It is important to show the added value of (semi-) automated driving in which aspects like the behavior of users and other traffic participants, society, business and legal aspects are taken in to account.

In 2019 we have continued to increase the operation domain of automated vehicles, resulting in better performance including more complex maneuvers on highways and towards full automation at lower speeds in confined areas. More insight into behavior and interaction with traffic was obtained via further developing the scenario based assessment methodology Streetwise.

4.5 VP Sustainable Vehicles

The VP program Sustainable Vehicles (P405) is aligned with the Topsector HTSM, Roadmap Automotive and aims to strengthen the competitive position of the Dutch automotive and mobility industry. The TKI HTSM Roadmap Automotive is directional for the content of the TNO VP Sustainable Vehicles Program, which contributes to the scope of the Smart Mobility and Green 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 VP Sustainable Vehicles falls within TNO in the unit Traffic and Transport, in the Roadmap "Sustainable Traffic and Transport", focusing on the realization of efficient, safe and sustainable mobility. The program is focused on a number of important societal challenges in the areas of air pollution, climate change, traffic safety and efficient and reliable mobility. We do this by focusing on lowering the Green House Gas emissions like CO₂ and NO_x.

The main goal of the Sustainable Vehicles subprogram 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) by development of advanced or disruptive technologies, methodologies and solutions that support the governments and companies with implementation and deployment of these solutions into the market. This will contribute to a significant reduction of emission of Green House Gasses (CO₂ and NO_x) as driven by the Paris Agreement 2050 and the US EPA23. In 2019 we have demonstrated on a Diesel-Natural Gas engine the improvements on emission with a new generation high pressure gas fuel system. In this way we verify our control models for an EPA23 + Low NO_x fuel efficient thermal management strategy. In addition, our Aftertreatment toolchain was extended with a validated CH₄ emission model on the basis of which the previously mentioned control models are provided with input.

4.6 VP Space & Scientific Instrumentation

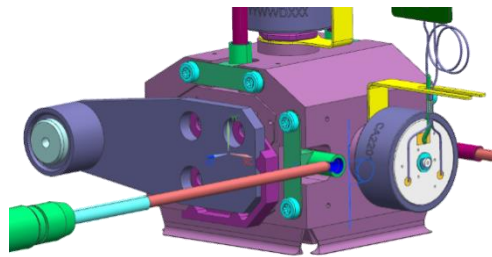
Our multi-annual R&D program supports our ambition to:

- Contribute to preventing climate change and air pollution

- Enable secure broadband connectivity
- Help understanding the Universe
- Stimulate economic growth in the Netherlands and Europe

Therefore, we organise the VP along the following program lines:

- Instruments for Earth Observation and related Space Data Utilisation
- Technologies for Satellite Communication
- Scientific Instrumentation focused on Diagnostics for Fusion Energy
- Instruments for Ground based Astronomy, and
- Space based Astronomy instrumentation



The main Research activities in 2019 were:

- Earth Observation: this activity focused of the design and development of new instruments, development of technology that supports today's instrument realisation, and space data utilisation. Technologies for both radar-based and optical instruments were developed.
- Scientific Instrumentation, with the main activities in Space based Astronomy and Ground based Astronomy: optomechanics design & analysis of subsystems for large telescopes and space-based systems: adaptive optics, segmented mirrors and pointing technology. For Big Science, the technical evaluation and preparation for the most relevant of the many candidate tenders for instrumentation for the Big Science facilities (ITER and Einstein Telescope) with industrial partners were planned.
- Satellite Communication
For Optical communication between satellites and from ground to satellite very stable and accurate optical systems are required, and adaptive optics compensates the disturbance of communication by the earth's atmosphere. In off-loading laser satcom to terrestrial users we worked on (among others) connection with multibeam reconfigurable wide-view RF subsystems. These systems were developed in in close cooperation with our industrial partners.

4.7 VP Semiconductor Equipment

VP Semiconductor Equipment enables knowledge investment in four clusters: system lifetime & productivity improvements for the semiconductor market,

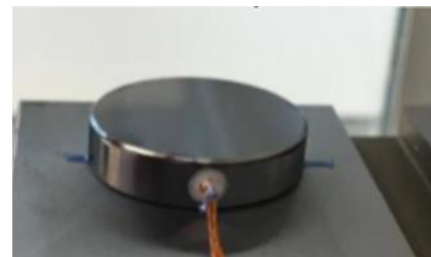
Metrology/ equipment concepts for the semiconductor market, instrumentation for the biomedical market and quantum technology.

With the cluster System lifetime & productivity improvements TNO aims to contribute to the introduction and ramp up of EUV lithography for high volume production of semiconductor devices. TNO's expertise on system lifetime and productivity improvement is being supported by knowledge investment in a/o plasma physics and contamination control using new unique experimental setups (e.g. EBL2). Also commercialization of tools supporting molecular and nano-scale contamination analysis, as Fast Micro and MFIG, is being established.

Within Semicon Metrology advancements have been made to provide novel metrology solutions for semiconductor device development and manufacturing. For that we need to provide sub nm accuracy solutions for surface as well as subsurface device characterizations. Also correlation of feature positions on nm scale, but also on mm scale (e.g. to properly calibrate alignment markers to product structures) is key. Overlay, and its constituents like marker-to-product offsets, layer-to-layer alignment, but also feature roughness plays a still increasingly dominant role.

Photonic Integrated Circuits (PICs) are small optical circuits on a chip, fabricated using the same manufacturing technologies as in electronics manufacturing. PICs have specific advantages, such as low cost in large quantities, but also limitations as compared to more common optical technologies. Our goal in 2019 was to identify those applications for PICs (outside the typical telecommunication domain) where TNO can play a key role in the Dutch ecosystem for integrated photonics, organized in Photon Delta.

Instrumentation for the (bio)medical market aims to improve health while reducing costs by photonics-based innovations and their implementation in health care. Focus is to develop optical diagnostic devices in the following 4 clusters: 1) Retinal imaging 2) Tissue optics 3) Bio-Nanophotonics 4) LIBS for dialysis. The 2019 results achieved are described in the highlights section.



Sample incl. thermometer for detailed thermal analysis in EBL2

Figure: EBL2 system at TNO (left), thermocouple integrated in a mirror sample (right).

QuTech has the ambition to develop the first working prototype quantum computer, as well as a demonstrator of quantum internet. These new concept are gamechangers in the ICT sector and will have an tremendous effect on society. The envisioned developments cover many TRL's, multiple disciplines, and thereby about 15 years. To manage the developments, several roadmaps are defined: 2 focusing

on (different types of) a quantum computer, 1 focusing on quantum internet and 1 focusing on increasing the technology readiness level (TRL) of the (quantum) technology needed to realize QuTech's ambition. TNO's role is to do applied research, increase TRL of the Quantum Computer and Internet systems and bring QuTech technology to society.

The research on quantum technology is reported in the Early Research Program report for QuTech - QuTech 2019.

4.8 VP Flexible & Free-form Products

The **manufacturing** industry is becoming fully digitized, within and between companies. Additive Manufacturing and other digitally controllable processes allow for unprecedented customization and personalization of (industrial / food / pharma) products and for far-reaching agility in manufacturing.

The future's **products** will be smart products, communicating via the internet of things. New disruptive formfactors as alternative to standard PCBs such as thin flexible foils or seamless integration of electronics in anything add smartness to many of the products around us.

The impact of the above will be in many **application domains**. For instance in healthcare, new affordable and less burdening forms of diagnostics and monitoring will emerge. In mobility, next-generation smart batteries will accelerate the transition from fossil fuels to electromobility and smart interactive surfaces will turn complete car interiors into a coherent user interface.

In 2019, several new technologies were demonstrated:

- We showed the world's first transparent fingerprint scanner, which can be unobtrusively integrated for example in a door frame for secure access.
- A novel battery concept was introduced which is all solid state (and thus safe), has higher capacity than current state-of-the-art batteries and can be charged within 10 min. A first half-cell based on this concept was shown.
- Novel sensor arrays were demonstrated and transferred to both production and product partners, for example for integration in mattresses for curing sleep apnea.
- First wearable shown which can monitor continuously heart rate, breathing rate and blood oxygenation with first clinical trials underway.
- New patented technology shown that can print metal tracks down to 10 micron width, which is a necessity for future microLED displays.
- 3D printed thermoplastic composite parts were made with an improved mechanical strength in z-direction of 180% by application of our newly developed B-Right technology.
- 3D printing system was optimized to allow for printing of pharmaceutical pills with reproducibility the hardness was improved to be in the same order as commercial pills.



Transparent high-resolution photodetector: biometric-grade, collaboration with imec Leuven

4.9 VP Sociale Innovatie / Smart Working

Smart Working is a sub-program of the (HTSM) Smart Industry initiative. Smart Working focuses on creating environments in industry work settings that enable higher productivity. To get to this, Smart Working delivers improvements to make work physically less demanding, to support operators in their cognitive tasks and to create working environments that are motivating and stimulating. Better performing operators are crucial to support ever critical processes in companies.

In the program, robotics and digital technologies are deployed in the workplace. The separate projects are focused on exoskeletons, cobotics, cognitive support systems, smart incentives, use of digital information in work settings. The main idea is that operators need to have a maximum of autonomy to decide to use these tools in their work settings. This helps to generate the required knowledge and skills to deal with the necessary changes. The projects therefore create solutions that take account of physical and psycho-social demands on operators at the workplace level (exoskeletons support; augmented reality guidance for operators; models to adapt systems) and at the organizational level (workplace innovation; incentives in smart contracts).

Scientifically, the program connects different social-scientific and engineering perspectives to support operators in the new environment. It delivers tools for assessing impacts of technology changes. The program includes designing work settings and organizational designs. For the success of the program, the disciplines human factors, information technology, organizational sciences and technical sciences need to work in concert on solutions. Next to a new set of projects, the program invested into three Fieldlab environments (RoboHouse, Flexible Manufacturing and Sharehouse) with possibilities to develop, demonstrate and test operator support systems, exoskeletons and hybrid cobotic workplaces. Smart Working has had a successful year in developing the projects and acquiring a new set of long-term projects and collaborations. The current successes are the following:

1. Work and testing areas fully developed and under construction: installation on the shop floor at companies: assembly workstation with AR instructions, several cobotic solutions were integrated at TNO Horse Competence Center in RoboHouse Delft and the human robot collaboration and AR area in the Fieldlab flexible Manufacturing at the Brainport Industry campus. A second environment for testing is being developed in the Sharehouse – the Living Logistics Lab in Rotterdam (STC).
2. Effect studies are performed in industrial settings in manufacturing companies using the developed demonstrators. Effects on productivity, learning time, quality and workload are measured followed by costs & benefits analysis.
3. Models developed: task allocation model for human-robot interaction; general architecture of a system solution (people-oriented architecture); robot-human collaboration (task scheduler, screw robot application; integration of robot, operator and AR operator support system into 1 workplace; job quality framework for assessment of human-robot collaboration scenario's; monitoring technology and labor developed and

applied on 15 jobs. Plus a user guide developed for sectors to develop their own monitoring.

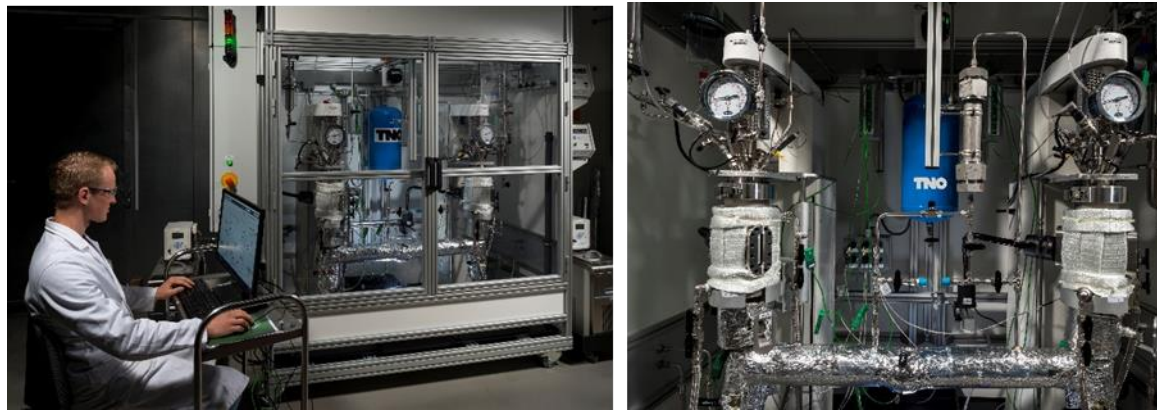
4. Investigations and networks: Virtual ADMA-center; Skills development in industry (Paradigms-project); Inclusive Technology theme within the SMITZH program; successful validation and experiments within manufacturing companies (e.g. Thomas Regout International, KMWE, Senzer, Boers & Co), learning community within FOKUS project, prolongation of collaborations and networks within the Fieldlab Flexible Manufacturing; set-up and redesign of the European Workplace Innovation Network (EUWIN)); the collaboration with the Ulbo de Sitter-institute; the Stichting Registratie ergonomen (SRe).

4.10 VP Environmental Technology

The TNO program 'Environmental Technology' supports the transition to a sustainable society by developing technology, methods and tools to support and quantify sustainability impacts, thereby orchestrating innovation. The overarching goal is (1) to reduce CO₂ emissions, (2) to realize resource efficiency, and (3) to reduce the environmental and their related public health risks. The program has two program lines, Sense4Environment (S4E) and Circular Economy (CE), that are linked with corresponding investments under P510 Environment and Sustainability and P515 Circular Economy.

In the Roadmap Sense4Environment the goal is to develop and validate methods for the determination of air pollution. In 2019, TNO worked on the development of a benzene assay in collaboration with the company SKC. Benzene is a carcinogenic and new methods are needed with increased sensitivity since the currently used methods are not sensitive enough to measure below the lowered occupational exposure level. The assay developed showed that the results are well below the new occupational exposure level for real industrial benzene exposure urine samples.

In the Roadmap Circular Economy, the goal is to reuse materials and reduce CO₂ emissions with a focus on plastic recycling. To complement existing mechanical and thermal-chemical techniques for recycling of waste plastics, development continued of a physical recycling technique based on selective dissolution of polymers, followed by purification and recovery of the polymers. A semi-batch set-up for processing up to 100 g of plastic (Möbius1.0, see Figure 1) was built and tested to recycle plastics using dissolution under superheated conditions. Advantage of this technology compared to current state-of-the-art dissolution processes is the use of less energy for recovery of polymers from the solution by low temperature solvent evaporation processes. A recycling procedure was developed using polyethylene as a model material. In addition the Möbius process was used in this program for tests on other plastics such as thermoplastic composites as well as in other projects funded by P510 and P515: PACK-CE, Plast2bCleaned and will be used in TKI project IMPRES from 2020 onward.



Overview of the Möbius 1.0 set-up.

4.11 VP HTSM-Bouwinnovatie

Construction materials: The commonly used cements contribute considerably to GHG emissions. In a drive towards reduced-emission binders for concrete, other sources than cement clinker are currently under investigation. These resources, such as blast furnace slag and fly ash, raw or calcinated clays and by-products from various industries, have in common that they consist of aluminosilicates, similar to the currently used cement, but have much lower CO₂ emission. However, whereas cements react spontaneously when mixed with water, the side stream materials do not and require some form of activation. The currently used activators have a high GHG emission profile. Moreover their working is poorly understood and they may result binders that are unstable in the long term. Our objective is to develop a methodology (blend tool) for characterizing aluminosilicate side streams and blending it to products that can serve as binder in concrete.

In the research of gel formation in earlier years it was found that if the composition of the solution of the dissolved precursors is not right, no precipitates are formed or they are formed very slowly. The precipitation rate then becomes the rate determining step in the hardening process of the new binders. The research of 2018 had led to theoretical as well as experimental understanding of the first part of the activation system (dissolution). In 2019 precipitation rate models on the basis of the expected behavior of precipitation were derived, and a precipitation test method by means of reverse osmosis has been developed. This is another step ahead towards the blender tool for optimized binder systems based on secondary materials that are cheap, sustainable as well as durable.

Asphalt: The overarching goal is to be able to predict the performance of asphalt with a higher accuracy and for a wider range of materials. This is achieved by elaborating and improving performance models of physical and chemical processes, focusing on the following four aspects. (1. Aging of binder) Aging of asphalt leads to stiffening and embrittlement of its binders, making them more sensitive to damage. TNO has developed an asphalt aging protocol, that is able to rank the ageing resistance of binders. In cooperation with market parties this ageing protocol is fine-tuned to fit a broader range of binders. (2. Predicting stresses and strains in bituminous materials) FEM models are a promising tool to gain more insight in the performance of asphalt mixtures. In 2019 a Matlab code was formulated to transfer visco-elastic material parameters obtained in a bitumen test

into input for a FEM model. (3. Asphalt service life) The lifespan of asphalt is affected by a wide range of parameters. TNO has created a proof of concept for a more holistic service life model that is able to combine the predicted service life based on the ageing model with data on construction and field performance. (4. Sustainable road pavement) The energy consumption of traffic on the road pavement during the use phase is much larger than the energy consumption required for construction of the pavement. Therefore, it is also interesting to investigate whether changes in road pavement can lower the traffic energy consumption. The discriminative power of a laboratory test for rolling resistance was investigated with 3D printing artificial road surfaces. It was found to be limited. On the basis of theoretical studies we found that modelling of deformation of the tire based on surface scans using the principle of 'enveloping' is more promising.

4.12 VP Intensivering Smart Industry

The TNO Smart Industry vision is the following:

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



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

In 2019 TNO was able to double its Smart Industry program as opposed to 2018, with significantly more projects being built and with the one time support of the Topteam HTSM with 1M euro temporary funding, on top of the 2,1 M euro base funding.

Our key results in 2019:

1. We have built big public private projects with more than 100 company participants in the 2 regions where we could create the biggest impact: In South Holland within the Smart Manufacturing Industriële Toekomst Zuid Holland (SMITZH) program of 12M euro and in Brabant within the BIC Fabrieken van de Toekomst program of 22M euro.
2. We have Orchestrated (money for) Innovation in manufacturing ecosystems both regionally, nationally and in Europe.
3. We have created more knowledge development mass for the Dutch Manufacturing industry, by joining forces with the Dutch Universities.

4. And we have strengthened the European Manufacturing Industry by joining forces with European partners and by influencing European policy makers.



4.13 VP Embedded Systems Innovation

The overall mission of ESI (TNO) is phrased as “Embedding leading edge methodologies into the Dutch high-tech systems industry to cope with the ever increasing complexity of their products”. The complexity of high-tech systems is increasing and continues to increase with the integration of systems into a system of systems and our industry taking responsibility over processes and applications in a complex and dynamic customer context. The industry engineering scope is expanding from engineering initial systems to engineering systems and system upgrades during a long product life-cycle. More and more focus is on adaptive and personalized systems. It is of utmost importance that new methodologies are not only generated for individual products or applications, but that opportunities for synergy over research projects, knowledge sharing and knowledge exchange over research partners are fostered. Such an approach leads to faster and more efficient build-up of knowledge, with sharing of solution strategies, best practices, education, and more.

The ESI program and budget stabilized in 2019 in topics and budget. ESI has grown in terms of new industrial partners, strengthened its position in the Netherlands, and improved its position in its international outreach program. In 2019, research effort has taken place for large industrial partners. They consisted of long-lasting partners (ASML, Océ, Philips, Thales, Thermo Fisher Scientific) and new partners (Nexperia and Vanderlande). We continuously strive to expand our network, both nationally and internationally. Nationally, Nexperia has joined the ESI Partner Board. Internationally, ESI continued its collaboration with Fraunhofer IESE and the Systems Engineering Research Center (SERC) in the USA. We have built up a relationship with OFFIS (a German research institute in Oldenburg) and KTH-ICES (Innovative Center for Embedded Systems) in Stockholm, Sweden. These relationships provide a good opportunity for international collaboration, sharing research agendas, research results, and partner networks.

A few examples of successful 2019 ESI research results:

- Methodologies for constraint-based scheduling and associated modeling & analysis techniques.
- Real-time and continuous conversion of operational user data into information, thereby gaining better control over the production process, the use of the product and the future design.
- An approach to create a systems reference architecture that maps customer values and workflows on system functions, a reference system decomposition, and system components.

The relationship with the academic partners has been strengthened. A success was the NWO-ESI (TNO) partnership program called MasCot which has resulted in four academic research projects covering 13 academic positions that will be closely aligned with the ESI research programs and partners.

ESI pays special attention to further generalization, consolidation and dissemination of the research findings. The research programs with individual partners take benefit from each other's results and ESI actively manages the network of partners to share and align experiences and potential solutions. A good example is the signing in April 2019 of a Memorandum of Understanding by TNO, Altran and Obeo for professionalizing the ESI tools and for increasing the number of SW engineers that are capable of working with the developed ESI methods and tools.

A few topics deserve special mention.

- On initiative of ESI, our Partner SERC has conducted a study with five Dutch industrial companies on developing an understanding of organizational systems engineering effectiveness. The results of this study has been shared with each of the individual partners and via a shared workshop.
- A successful full-day ESI symposium attracted a wide audience of 500 subscriptions whom received a program of presentations, academic and industrial key-notes, demonstrations and discussions. The symposium was very well received and in 2020 a next symposium is scheduled.
- We have developed concepts and material for micro-learnings - small and bite-sized learning methods on a focused goal/topic in order to reach a specific goal.

5 Topsector HTSM/ICT

Aan de roadmap ICT van de topsector HTSM wordt door TNO vanuit de unit Information & Communication Technology (ICT) bijgedragen met het VP ICT. Er is een sterke verbinding met het VP Embedded Systems Innovation omdat beide VP's worden uitgevoerd in dezelfde organisatorische eenheid.

TKI	Unit TNO	Vraaggestuurde Programma's
HTSM/ICT	ICT	P706 ICT

5.1 VP ICT

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

The use of Artificial Intelligence (AI) is fuelled by data. **Data sharing** is a key enabler for new business opportunities by combining data sources, 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 2019, we have delivered concrete results that allow for controlled access to, and reliable analysis of, available data, as well as solutions for data interoperability and sensemaking of sensitive data. To resolve the increasing resource scarcity in our physical ICT infrastructures, we aim to provide our stakeholders with **fast and open infrastructures** with instantly and ubiquitously available ultra-high bandwidth connectivity as well as massive 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 2019, we have delivered concrete results that allow the creation of ubiquitous and customized digital infrastructures, and have further developed platforms that enable immersive human communication and adaptation to distributed applications. 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 2019, we have delivered concrete results that enable

automated security, perform security monitoring and detection, implement quantum-safe technology and contributed to resilient engineering of IT and networked systems.

In 2019, results were created in a dedicated **AI** programme, to have AI systems that are acceptably and meaningfully operating in demanding or even critical environments, with a focus on controllable, explainable and responsible AI. These goals are aligned with **national and stakeholder agendas**, specifically the *Nederlandse Digitaliseringsstrategie*, the *Visie en bijdrage Team DDD aan missiegedreven innovatiebeleid*, the *Actieplan Digitale Connectiviteit*, the *Nederlandse Cyber Security (Research) Agenda*, and with stakeholder viewpoints. Sectors that have specific attention are agriculture, telecom providers, government, media and financials, but the underlying technology developments allow TNO to contribute to challenges in 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 2023, our objective is to consolidate this role. Furthermore, we aim to maintain our leading position in ICT standardization and within industry fora.

6 Topsector Life Science & Health

Aan de kennisontwikkeling t.b.v. de topsector Life Sciences & Health wordt door de unit Healthy Living (HL) van TNO bijgedragen door uitvoering van de Vraaggestuurde Programma's Biomedical Health end Digital Health Technologies.

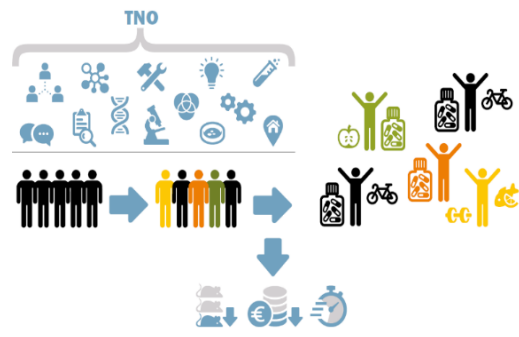
TKI	Unit TNO	Vraaggestuurde Programma's
Life Sciences & Health	HL	P203 Biomedical Health
Life Sciences & Health	HL	P210 Digital Health Technologies

6.1 VP Biomedical Health

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

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

In 2019, we innovated in two lines, "Tools and technologies for Efficient drug (and other intervention) development" and "Improvement of metabolic and immune health". The developments were aligned with other research programs, Digital Health Technologies and Work, Prevention and Health. Just as in the previous years, Early



Research Programs Organ-Function on a chip and Personalised Health were very important contributors to Biomedical Health, feeding the program with new technology for both lines. The new seed ERP Body & Brain which started in 2019 and will be a full ERP as of 2020 is an important contributor for the line Metabolic health improvement. We started new collaborations with Optics(Industry) and EMSA (CEE) in the area of sensor development for non-invasive detection and monitoring of (chronic) inflammation. These sensors will contribute to prevention and management of chronic diseases. We further pursued the shift in the application and development of knowledge from food production to health effects of food. The greatest changes were realized in the line "Improvement of metabolic and immune health", as within this line the focus shifted from optimization of food production processes to use of food interventions to improve of maintain health. This shift is visible in the topics of in 2019 newly started PPP projects.

We setup new modules for Target Safety and Efficacy assessment in drug development, new protocols for drug kinetics in ex-vivo human or porcine livers were setup, and optimized in a number of experiments. We implemented new biomarker analysis methods based on Quanterix (proteins), Nanostring (target genes) and UPLC-HRMS (small molecules) technologies, to support the TNO biomarker laboratory. Our iScreen platforms for testing of metabolism of drugs and effects of (food) interventions was further personalized by collection and characterization of different microbiota samples that can now be used to perform tests in microbiota subtypes (IBD vs. healthy, infant vs adult etc.). Several methods for functional microbiome readouts were developed, such as methods for short chain fatty acids and bile acids, these methods are now integrated in experiments with iScreen. In a PPS study with academic medical centers and a pharma partner we established a list of potential circulating biomarkers for NASH/fibrosis for which ELISA-based assays are currently being developed. Together with partners, we demonstrated the effect of personalized interventions on health and food intake based on knowledge on systems biology. Within the two research lines the developed new knowledge and technologies were applied in different PPP projects that started in 2019. Within the new PPP projects, there are three consortia that are very important for implementation of TNO's 3R policies, the projects Vital Tissue, Ex-vivo Liver perfusion and Animal-free development of tomorrow's medicine.

The impact of the Research Program is visible in the media, where we received attention for activities and latest developments of the LifeStyle4Health initiative that started in 2018. TNO scientists were interviewed for several radio and TV programs as well as for popular publications. We published close to 80 scientific papers, our leading scientists were invited speakers on tens of conferences and we also contributed to the education and training of young scientists, with several master theses which were supervised within projects of Biomedical Health.

We can conclude that 2019 was a very successful second year of the new strategy period 2018-2021. Research Program Biomedical Health will stay focused on technologies for efficient drug development and continue to develop intervention strategies for improvement of metabolic and immune health. Also in 2020 we plan to develop new project consortia which will help us to realize our ambition: Based on our knowledge on metabolic and immune related diseases, we are a recognized and acknowledged partner for industry and professionals as innovators of pre-clinical and clinical technologies. Our technologies and knowledge, such measurement of biomarkers, stratifications of patients, knowledge of the mechanisms of onset of metabolic disorders, combined with methods to influence behavior enable the effective development of personalized interventions for prevention, delay or reversal of disease and thus help to both reduce healthcare costs and enable vital functioning of citizens in our society..

6.2 VP Digital Health Technologies

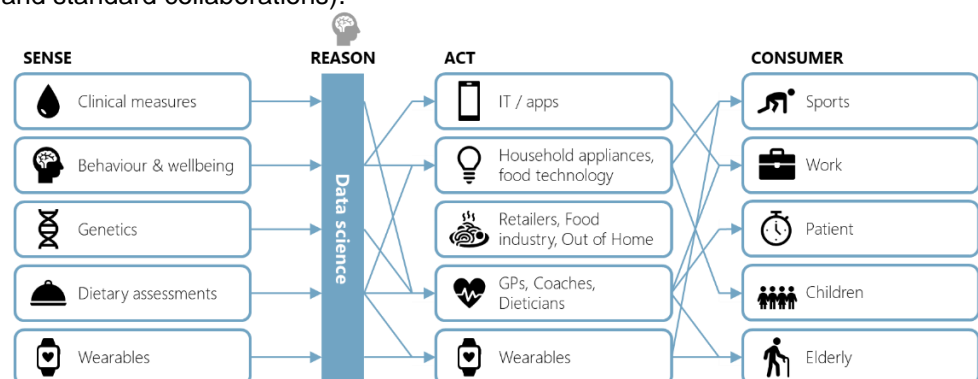
The Digital Health Technology roadmap/program (VP) was started on the 1st of January 2018. The main goal is to develop technology to assist both patients and healthy individuals, by offering guidance about their health and lifestyle and increase their health over the life cycle. Although, digitalization of health care holds the promise of better and more efficient health, especially for lifestyle related diseases there are still challenges. Interoperability and management of health and

consumer data and new digital services targeted for personalized advice on lifestyle are the most important ones. Therefore, we aim to bring together biomedical knowledge, data and information technology services and solutions as well as knowledge about lifestyle change and behavior. This program supports the other Healthy Living programs, Work, Child and Biomedical health.

Data & knowledge collection and management, modeling of the data and giving advice on the data are the key areas of this program. In 2019 collaboration with initiatives and companies that focus on non-invasive measuring of human health has been started (e.g. Holst centre). Data and knowledge management requires privacy-by-design solutions, that request dynamic consent and full transparency of reuse of data for the individual. Two public-private consortia were formed in 2019 to build such an environment. One is focused on the health consumer (Connect2HealthConsumer) and one on the first 1000 days of life (iJGZ). These initiatives will make use of the concept of the 'Personal Health Train (PHT)'. The principle of PHT is that it leaves data at the source and sends algorithms to the data instead of collecting data in a central data repository. Moreover, the Efro project 'NeLL' has been approved which will facilitate sharing of eHealth data and thereby also speed up the validation of eHealth apps. The concept of 'stay healthy and in control of your data' was presented at NCRlive.

For repeatable and reproducible artificial intelligence (AI) we have developed the concept of a 'AI-street'. Moreover the project 'Gluco-Insight' has started to develop models based on continuous glucose-monitoring. The portfolio of the modeling work has enlarged by close collaboration between the units Healthy Living and ICT, which is also visible on the TNO website [here](#). A fruitful international [conference on Personalized Nutrition and Health](#) (PNH) was also organized in 2019.

From the DHT program input on several NWA proposals has been given and we have started writing some proposals for H2020, that are either focused on data reuse or analysis or on personalized health. In 2019 the second Digital Health Technologies (DHT) hackathon was organized in which data analysts and scientists of the different research groups within the unit Healthy Living and ICT work together on cases of the unit Healthy Living. The goals of the meeting were 1) Bring together, work together and create a network with the data people of the unit Healthy Living, 2) Share knowledge using different datasets and joined analysis and 3) Stimulate new projects and opportunities for TNO (overarching research groups and standard collaborations).



7 Topsector Logistiek en Mobiliteit

Het Meerjarenprogramma 2018-2021 van het Thema Logistiek en Mobiliteit beschrijft de hoofdlijnen van de kennisontwikkeling ten behoeve van een aantal beleidsdomeinen van het ministerie Infrastructuur en Milieu. Het betreft met name beleidsthema's, die spelen op het gebied van logistiek, mobiliteit en bereikbaarheid in samenhang met veiligheid, duurzaamheid en stedelijke ontwikkeling. Daarnaast draagt het programma bij aan de Kennis en Innovatie Agenda van de Topsector Logistiek. Het onderzoek wordt uitgevoerd in de unit Traffic & Transport (T&T)

Dep./TKI	Unit TNO	Vraaggestuurde Programma's
I&W/Logistiek	T&T	P403 Smart T&T
I&W	T&T	P406 Sustainable T&T

7.1 VP Betrouwbaar Verkeerssysteem

Een betrouwbaar, efficiënt, veilig en duurzaam transport systeem is een bepalende voorwaarde voor het goed functioneren van onze samenleving en economie.

Doelstelling van de vraaggestuurde programma's (VP) Logistiek en Mobiliteit is om kennis op te bouwen van meetmethoden en modelconcepten op het gebied van mobiliteit en transport van personen en goederen, die bedrijven en overheden beter in staat stellen hun doelstellingen te realiseren.

Op de volgende vijf thema's is in 2019 voortgang gerealiseerd.

1. Mobility-as-a-Service (MaaS) Er zijn stappen gezet in de visievorming omtrent New Mobility/ MaaS. De visie is vervolgens zowel binnen als buiten TNO breed gedeeld. Daarnaast is de samenhang van diverse modelconcepten, inclusief de voor MaaS belangrijke modelcomponenten (verder) ontwikkeld waarmee duiding kan worden gegeven aan de te verwachten mobiliteits- en verkeersimpact van MaaS in verschillende scenario's. Tot slot is er onderzoek gedaan naar de kansen en barrières en zijn de beleidsinstrumenten (op het vlak van strategie, technologie, impact en governance) in kaart gebracht.

2. Smart & Safe mobility: Bestuurders- en voertuigmodellen voor microscopische verkeersmodellering zijn uitgebreid met praktijkdata uit voertuigen met connected ITS (C-ITS) en/of automatische functies, zodat de impact van connected & automated driving (CAD) bij opschaling in de praktijk effectiever verkend kan worden. De opgedane kennis is gebruikt om een visie te vormen op een integrale simulatieomgeving waarin verkend kan worden hoe de introductie van CAD veilig en efficiënt vormgegeven kan worden (met alle bijbehorende variabelen). Ook is praktijkervaring opgedaan met nieuwe ontwikkelingen op het gebied van C-ITS, zoals de mogelijkheden van 5G communicatie en een verbeterde referentie-implementatie van de ETSI ITS PKI.

3. Duurzame mobiliteit: De meetmethoden voor het bepalen van emissies van voertuigen zijn uitgebreid om recht te doen aan ontwikkelingen in het wagenpark

(o.a. meer hybride voertuigen), en in relatie tot de problematiek die speelt (bijvoorbeeld stikstof, klimaatmaatregelen). Naast het accuraat kunnen bepalen van de uitstoot is het ook belangrijk om daadwerkelijk een handelingsperspectief te ontwikkelen om de uitstoot te verminderen. In een aantal projecten is gewerkt aan het handelingsperspectief voor zowel beleidsmakers als consumenten.

4. Logistiek: In de projecten binnen dit thema is aangetoond dat zelforganiserende logistieke concepten te ontwikkelen zijn voor praktijkcases en ook echt werken. Datadelen is essentieel voor innovatie. In een aantal projecten is daarom de kennis verder ontwikkeld op het gebied van o.a. architectuur en technologievernieuwing aangaande betrouwbaar (en veilig) delen van data. Verder is een aantal living labs opgestart. Ook worden via vrachtwagens op de weg, die uitgerust zijn met functies voor automatisch rijden en dataloggers, grote hoeveelheden data verzameld.

5. Modellen: Bij dit thema lag de focus op hoe nieuwe modelconcepten gebruikt kunnen worden om inzicht te bieden in de impact van diverse potentieel disruptieve ontwikkelingen. Meerdere modelconcepten zijn ontwikkeld en getest, voor verschillende stappen in modellering van mobiliteit: vervoervraag, vervoerwijzekeuze, toedeling verplaatsingen aan het netwerk. Ook is gewerkt aan koppeling van de verschillende concepten, zodat een sluitende keten van concepten ontstaat die voor strategische toekomstverkenningen gebruikt kan worden. Ondanks dat Modellen als een apart thema is neergezet is er een grote aansluiting met de andere thema's.

8 Topsector Water

Voor de topsector Water zijn in de periode 2018-2021 vier Vraaggestuurde Programma's t.b.v. de kennisontwikkeling bij TNO geprogrammeerd. Het onderzoek wordt uitgevoerd in de units Circular Economy & Environment (CEE), Buildings, Infrastructuur & Maritime (BI&M) and Energy Transition

TKI	Unit TNO	Vraaggestuurde Programma's
Watertechnologie	CEE	P504 Watertechnologie
Watertechnologie	Energy Transition	P310 Karakterisering Grondwater
Deltatechnologie	BI&M	P508 Deltatechnologie
Maritieme technologie	BI&M	P311 Maritiem en Offshore

8.1 VP Watertechnologie

In het VP Watertechnologie doet TNO onderzoek naar de ontwikkeling van sensoren en analytische methoden voor het monitoren van water en materialen in circulaire processtromen. Hiermee wordt zowel de overheid als het bedrijfsleven ondersteund om de kwaliteit van water en bedrijfsprocessen te begrijpen en te verbeteren in de vier onderdelen van het VP.



Dynamische tests van de zoet-zoutwater-sensor, Amsterdamse Duinen

In het eerste werkpakket werd de zoet-zoutwater-sensor, een optische glasvezelsensor waarmee de saliniteit in water wordt gemeten, verder doorontwikkeld. De zoet-zoutwater-glasvezelsensor werd in 2019 als veldtoepassing in een eerste haalbaarheidsstudie ingezet; een voorbeeld van deze studie is in figuur 1 weergegeven.

Het tweede werkpakket ging over de verdere ontwikkeling van een sensor om betrouwbaar fosfaat in vloeistoffen te kunnen meten. Het technische concept van deze fosfaat-sensor is op fluorescentie gebaseerd en in 2019 werd vooral de sensor-coating geoptimaliseerd en de selectiviteit vastgesteld. Het derde werkpakket heeft betrekking op de ontwikkeling van een sensor voor complexe vloeistofstromen zoals bij het chemisch recycleren van kunststoffen. Deze

sensor is gebaseerd op foto-akoestische spectroscopie (zogenoemd liquid PAS sensor) en er werd een proof-of-concept gerealiseerd.

Het vierde werkpakket was gericht op brede analysestrategieën van complexe processtromen; bijvoorbeeld de volledige chemische samenstellingsanalyse van kunststoffen. Middels literatuurstudie werden methoden in kaart gebracht voor de identificatie van het polymeer zelf, de enorme verscheidenheid aan additieven en ook aan contaminanten.

8.2 VP Karakterisering Grondwater

De beschikbaarheid van voldoende water van de juiste kwaliteit is een belangrijke randvoorwaarde voor de samenleving. Een groot deel van het water wordt uit de ondergrond gewonnen. Dit VP richt zich op de processen in de ondergrond die bepalend zijn voor de kwantiteit en kwaliteit van het grondwater. Bedreigingen voor het grondwater zijn o.a. verzilting, dalende grondwaterstand en conflicterende gebruiksbelangen, bijv. in relatie tot opslag van warmte. Ook spelen de risico's voor het grondwater vanaf het oppervlak een rol (uitspoeling gekoppeld aan landbouw en stedelijk gebied) en activiteiten in de ondergrond (traditioneel olie- en gaswinning, potentieel geothermie, hoge-temperatuur opslag (HTO) en opslag radioactief afval en ook perforaties voor Warmte-Koude Opslag (WKO). Dit vereist informatie en kennis ten aanzien van de dynamiek en de samenstelling van het grondwater als ook de geohydrologische opbouw van de ondergrond.

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

Op het gebied van grondwaterkwaliteitsonderzoek is vooral gewerkt aan het ontwikkelen van nieuwe concepten en methoden voor het in kaart brengen van de redoxtoestand en de leeftijdsverdeling in het grondwater, voor het hoog-frequent karakteriseren van grondwater-oppervlaktewater interactie in stedelijke en rurale gebieden en aan de forensische methoden voor het begrip van herkomst en transport van opkomende stoffen in grondwater. Resultaten van dit onderzoek zijn gerapporteerd in deliverables van GeoERA, op internationale congressen en in peer-reviewed tijdschriften.

De grondwaterdynamiek in Nederland is in kaart gebracht op basis van de stijghoogten in de DINO-databank en de tijdreeksstool van de grondwater tools-website. Verder is een uitgebreide veldproef uitgevoerd, waarbij de reactie van de stijghoogten rondom een tijdelijke grondwateronttrekking in detail is vastgelegd. Er is voortgang geboekt bij het karakteriseren van heterogeniteit in de ondergrond. Resultaten zijn gepresenteerd op belangrijke internationale congressen en in peer-reviewed tijdschriften.

8.3 VP Deltatechnologie

Voor het waarborgen van de waterveiligheid en de waterzekerheid zijn goed functionerende waterbouwkundige constructies (natte kunstwerken) van essentieel belang. Een groot deel van de Nederlandse natte kunstwerken is medio vorige eeuw of nog eerder aangelegd en komt langzaam maar zeker aan het einde van haar technische ontwerplevensduur. Op basis van de huidige beoordelingskaders geldt voor veel (waterbouwkundige) constructies dat de rekenkundige veiligheid onvoldoende is. Hierdoor ontstaat een toenemende vervangings- en renovatieopgave voor dergelijke constructies wat voor de komende decennia kan leiden tot grote investeringen om de beschikbaarheid en de betrouwbaarheid in stand te houden. Het is van belang om deze opgave te reduceren en in de tijd te spreiden.



Veiligheid van constructies: Oosterscheldekering bij storm

De focus van de kennisontwikkelingen binnen het VP Deltatechnologie betreft de technische vraagstukken aangaande de constructieve beoordeling van (waterbouwkundige) kunstwerken. Het onderzoek heeft in 2019 geresulteerd in nieuwe inzichten die van belang zijn voor de vervanging en renovatie van natte kunstwerken. Hiertoe zijn robuuste en betrouwbare modellen ontwikkeld waarmee het huidige en toekomstige veiligheidsniveau van natte kunstwerken kan worden gekwantificeerd. Speciale technieken zijn ontwikkeld voor de bepaling van het jaargebonden veiligheidsniveau indien rekening wordt gehouden met de resultaten van inspecties en metingen (bewezen performance).

8.4 VP Maritime & Offshore

De ontwikkeling van kennis en technologie voor onze maritieme en offshore-industrie is essentieel om de technologische top- en concurrentiepositie te versterken en een duurzame ontwikkeling en groei van de sector te bestendigen. In lijn met de 'Nederlandse Maritieme Strategie 2015-2025', bevordert TNO de inbreng van duurzame, veilige en economische oplossingen. TNO adviseert de overheid met onafhankelijk onderzoek bij de ontwikkeling van beleid en nieuwe regelgeving en voert toepassingsgericht onderzoek uit voor marktpartijen ter versterking van de internationale concurrentiepositie.

Het toegepaste onderzoek in 2019 is onderdeel van ons programma voor de periode 2019-2022. Dit programma is in lijn met de doelen en thema's van de Topsector Water ("Winnen op Zee, Schone Schepen, Slim en veilig varen en Effectieve Infrastructuur") en Topsector Energie (Offshore Wind). Ten slotte baseert ons programma zich op de Meerjarige Missiegedreven Innovatie Programma's (MMIP) en leveren wij een bijdrage in het opstellen en uitvoeren van de voor de sector relevante Kennis en Innovatie Agenda.

TNO streeft naar brede samenwerking en is daarom trots op de opening van het DOTC (Dutch Ocean Technology Centre). Dit initiatief is geïnitieerd door TNO en TU Delft, en versterkt de kennisbasis en de beschikbare onderzoeksfaciliteiten in een langdurige samenwerking met industrie en overheid op het gebied van slimme constructies en duurzaam varen. Verdere samenwerking wordt programmatisch gerealiseerd binnen i-Botics (robotica) en GROW (Offshore Wind).

Hieronder de highlights van de resultaten op onze drie onderzoekslijnen:

Maritieme constructies, slim, veilig en duurzaam. In 2019 is een testprocedure ontwikkeld en gevalideerd voor het bepalen van de breuktaaiheid van lasverbindingen. Door het gebruik van kleinere proefstukken is deze methode erg geschikt voor bestaande constructies. Daarnaast zijn dikke lijmverbindingen tussen staal en composiet succesvol gedemonstreerd onder structurele belasting.

Groene maritieme prestaties. In 2019 zijn vaarprofielen ontwikkeld om emissies in kaart te brengen voor een breed scala aan schepen. Daarnaast zijn proof-of-concepts ontwikkeld voor CO₂ afvang en het gebruik van nieuwe brandstoffen, zoals methanol voor short-sea shipping.

Op het gebied van onderwatergeluid zijn nieuwe (kalibratie-) procedures voor particle motion sensors ontwikkeld. Verder is de eerste validatieslag van modellen voor de verspreiding van onderwatergeluid gemaakt, die door de autoriteiten gebruikt kunnen worden om het onderwater milieu te verbeteren.

Maritieme operaties, veilig en optimaal. In 2019 is binnen het JIP Autonoom Varen een succesvolle demonstratie uitgevoerd op de Noordzee. Daarnaast is de effectiviteit van onderwaterinspectiemethoden onderzocht op testconstructies. Ten slotte is sensor fusie techniek ontwikkeld die, door de combinatie van sensoren, een completer beeld geeft van de (onderwater) omgeving.

9 Maatschappelijk Thema Arbeid en Gezondheid

Aan maatschappelijk thema Arbeid en Gezondheid wordt door TNO vanuit de unit Healthy Living (HL) bijgedragen met het VP Gezond, veilig en productief werken. Naast de Rijksbijdrage van het ministerie EZK (SMO), draagt het ministerie SZW bij met doelfinanciering t.b.v. het Maatschappelijk Programma Arbeidsomstandigheden (MAPA). Ook kennisontwikkeling t.b.v. het onderwerp Gezond en Veilig Opgroeien (dat wordt afgestemd met VWS) maakt onderdeel uit van dit VP.

vakdepartement	Unit TNO	Vraaggestuurde Programma's
SZW	HL	P204 Arbeid
VWS	HL	P201 Gezond, Veilig en Kansrijk Opgroeien

9.1 VP Gezond, veilig en productief werken

Doel van het Vraaggestuurde Programma Arbeid is om kennis en innovaties te ontwikkelen voor een toekomstigbestendige arbeidsmarkt met een hoge kwaliteit van werk. Het programma omvat drie hoofdlijnen: 1. Sustainable work, 2. Future of work en 3. Inclusive work. Deze hoofdlijnen zijn tot stand gekomen in samenspraak met het ministerie van SZW, mede op basis van raadpleging van diverse kennispartners, stakeholders en kennisagenda's.

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

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

Highlights 2019:

1. Totstandkoming onderzoeksproject [EPHOR](#) (EU H2020): grootschalig EU-project met toonaangevende internationale kennispartners, onder regie van TNO. EPHOR richt zich op de reductie van werkgerelateerde ziektelast, via onderzoek naar het '[exposoom van het werkende leven](#)', gedefinieerd als alle blootstellingen op de werkplek en blootstellingen die plaatsvinden tijdens je werkzame leven.
2. In het project House of Skills is een proof of concept van de innovatieve matchingsaanpak 'De Paskamer' concept gelanceerd. Dit leidt tot diverse vervolgotrajecten in 2020: onder meer in de vorm van een skills-benadering voor mensen met een kwetsbare arbeidsmarktpositie en de ontwikkeling van een AI skills-ontologie/methodologie voor skills-matching.
3. De start van diverse nieuwe projecten op het gebied van inclusieve technologie waaronder "Kansen van technologie voor mensen met psychosociale belemmeringen" (Instituut Gak) en "Meer mensen aan het

werk door Augmented Reality” in samenwerking met de Kennisalliantie Inclusie en Technologie, Goldschmeding Foundation en drie sociale werkbedrijven/ondernemingen, Tomin, Blueview en Gresbo, en ondersteund door de topsector Life Sciences & Health.

4. De bijdrage vanuit het monitor Arbeid-programma aan het WRR-rapport ‘[Het betere werk](#)’ en het kabinetsadvies over modernisering van de regelgeving op de Nederlandse arbeidsmarkt van de [commissie Regulering van Werk](#) (commissie Borstlap).

Zie verder de brochure [Toekomstbestendig Werken](#)



9.2 VP Gezond, Veilig en Kansrijk Opgroeien

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

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

Highlights 2019:

Versterken 1^e 1000 dagen

- 1a) centering methodiek naar internationale implementatie d.m.v. gehonoreerd EU voorstel.
- 1b) Centering is indicator geworden binnen de landelijke monitor Kansrijke Start.
- 1c) De D-score is gekozen als internationale maat om ontwikkeling te kunnen meten. Internationale validatiestudie in samenwerking met de WHO is gestart.

Advisering en vroeghulp op maat

- 2a) Health deal gesloten voor inzet slimme e-health technologie (I-JGZ). Wordt gedragen door landelijke bestuurstafel van de Jeugdgezondheidszorg
- 2b) Gepersonaliseerde interventies, bv op maat voorlichtingsprogramma voor HpV vaccinatie is landelijk geïmplementeerd door het RIVM.
- 2c) Scheidingshandboek ontwikkeld en uitgebracht voor jongeren met gescheiden ouders.

Versterken (regionale) samenwerking op terrein van jeugd

3a) Regionale samenwerking bevordert door oprichten van leernetwerken met focus op implementatie van kennis in de regio Midden Holland, Holland Rijnland en Haaglanden. Onze kennis van implementatie en transformatievraagstukken zijn hierbij leidend.

10 Maatschappelijk Thema Duurzame Leefomgeving

In het kader van het maatschappelijk thema Duurzame Leefomgeving zijn er in de periode 2018-2021 drie Vraaggestuurde Programma's t.b.v. de kennisontwikkeling bij TNO geprogrammeerd. Naar aanleiding van de additionele middelen (Rijksbijdrage) die aan TNO zijn toegekend op grond van het regeerakkoord is er sinds 2018 een vierde Programma: Circulaire Economie. De units Buildings, Infrastructure & Maritime (BI&M), Traffic & Transport (T&T) en Circular Economy & Environment (CE) zijn betrokken bij de uitvoering van de onderzoeksprogramma's.

vakdepartement	Unit TNO	Vraaggestuurde Programma's
I&W en BZK	BI&M	P502 Duurzaam bouwen
I&W	T&T	P509 Smart Cities
I&W	CEE	P510 Milieu en Duurzaamheid
I&W en BZK	CEE	P515 Circulaire Economie

10.1 VP Duurzaam bouwen

Dit VP bestaat uit drie programmalijnen. Doel van programmalijn Infrastructuur is voor de verouderende infrastructuur reductie van risico's, hogere beschikbaarheid en reductie van (stijging in) kosten, bij verhoging van de duurzaamheid (reductie CO₂ uitstoot, hergebruik van materialen). Doel van de programmalijn Bouwkwaliiteit is beter inzicht in prestaties van nieuwe of aangepaste gebouwen en bestaande gebouwvoorraad, met name op het gebied van veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid en duurzaamheid, waarbij digitalisering een steeds grotere rol speelt. Doel van de programmalijn Energie in gebouwde omgeving is de transitie naar een energie neutrale gebouwde omgeving te versnellen en de maatschappelijke kosten van de transitie te beperken. De belangrijkste resultaten uit 2019 zijn:

INFRASTRUCTUUR: Er zijn technieken ontwikkeld voor de beoordeling van de constructieve veiligheid, die kunnen bijdragen aan verbetering van Eurocode en fib-Modelcode. Voor het gebruik van niet-lineaire eindige-elementenanalyses is een op partiele factoren gebaseerde ontwerpfilosofie in ontwikkeling. Deze is onder andere gevalideerd met probabilistische modellen. De methoden en modellen zijn gedemonstreerd met praktijkcases zoals een brug in Amsterdam. Daarnaast zijn belastingmodellen ontwikkeld waarin de ruimtelijke spreiding van het vrachtverkeer is verdisconteerd. Het einddoel van deze ontwikkelingen is een belastingkaart voor Nederland. Verder zijn ten behoeve van het vermoeiingsonderzoek proeven en predicties uitgevoerd aangaande de scheurinitiatie en -propagatie onder invloed van wisselende belastingen (CA, VA, low cycle en giga cycle).

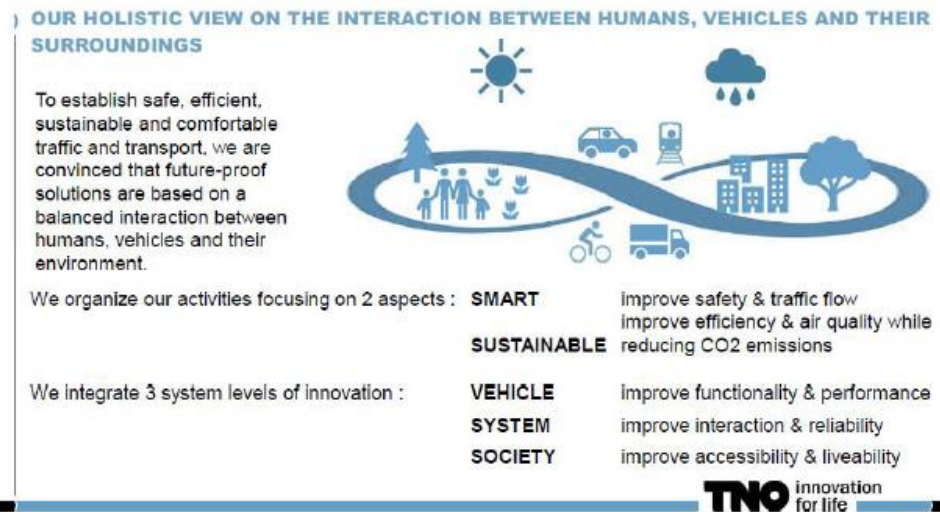
BOUWKWALITEIT: Er is bijgedragen aan een visie op kennisontwikkelingen voor digitalisering binnen de kaders van DigiDealGo en BTIC programma digitalisering. Inhoudelijk voortgang is reeds gemaakt onder meer voor open standaardisatie van datavastlegging en data-uitwisseling, en cases zijn uitgewerkt met toepassing van

AI. Deep learning is succesvol ingezet om scheuren in steenachtige materialen te detecteren. De ontwikkelde risico gebaseerde beoordeling van brandveiligheid is voor de beoordeling van de ontruimcapaciteit van een zorgafdeling gevalideerd. Stappen zijn gezet om effecten van bodemdaling op de gebouwde omgeving te kunnen kwantificeren. Een digitale applicatie voor optimaal ziekenhuisontwerp qua capaciteit is voor zowel een individueel ziekenhuis als voor een regio met meerdere ziekenhuizen in de praktijk getoetst en afgerond.

ENERGIE IN DE GEBOUWDE OMGEVING: Om te komen tot gewenste opschaling van de renovatie is een op productplatforms gebaseerde aanpak uitgewerkt aan de hand van drie cases. Verder is een basis Digital Twin ontwikkeld om de energie prestatie van een individuele woning te benaderen. Om hierin ventilatie en bewonersgedrag mee te nemen is gestart met AI methodieken gevoed door monitoringsdata. Koppeling van fysische modellen aan monitoringsdata voor individuele woningen heeft inzicht opgeleverd over de renovatieconcepten wat betreft energie, comfort en binnenluchtkwaliteit. Voor utiliteitsbouw is de Digital Twin getuned aan de hand van gebouwbeheerssysteem data en sensor data. Ook is er een nieuw ventilatieconcept voor gezonde schoolgebouwen getest en in een schoolgebouw geïnstalleerd voor de praktijktesten en is een warmteterugwinsysteem voor douches geoptimaliseerd en getest in de praktijk. In het kader van het Bouw en Techniek Innovatie Centrum (BTIC) heeft TNO met een consortium een programma opgesteld om betaalbare en gebruikersvriendelijke renovatieconcepten te ontwikkelen (omvang 21,4 miljoen euro), dat is gehonoreerd..

10.2 VP Smart Cities

De roadmap Smart & Safe van de Unit Traffic and Transport richt zich op het mobiliteitssysteem vanuit het perspectief van digitalisering, connectiviteit en automatisering. Hierbinnen valt het Cluster Societal Impact dat met haar innovaties inzet op het vergroten van de economische aantrekkelijkheid van steden en tegelijkertijd op het leefbaarder maken van steden. We richten ons op Nederland en het buitenland, op een manier die aansluit bij belangen van de bewoners en bedrijven (zie figuur 1). Leefbaarder betekent in deze context minder congestie, betere luchtkwaliteit, behalen van CO2 doelstellingen en een gezonde en verkeersveilige leefomgeving. Dit in de context dat steden blijven groeien, aantrekkelijk willen blijven voor burgers en bedrijven, burgers en bedrijven steeds meer vanuit een individueel belang resultaten willen zien, regelgeving op zaken als CO2 en luchtkwaliteit steeds strenger wordt en dat er steeds sneller nieuwe technologieën met grote impact (kansen maar ook beperkingen) beschikbaar komen.



Figuur 1: Werkveld Unit Traffic and Transport

Veel uitdagingen in de steden zijn alleen op te lossen in samenwerking met de stakeholders in de steden en met beyond state-of-the-art kennis. Instrumentarium voor knelpuntenanalyses, scenarioplanning, het monitoren van de daadwerkelijke effecten 'op straat' en het inrichten van een leercyclus voor het adaptief kunnen programmeren van programma's is in de visie van TNO onontbeerlijk om de gewenste doelen te bereiken.

Het vraaggestuurde programma Smart Cities (VP Smart Cities) richt zich op het ondersteunen van complexe besluitvorming in steden, vanuit draagvlak, met een haalbare visie en ondersteuning bij de implementatie. De kennisontwikkeling vertaalt zich naar 3 kennislijnen met een focus op de thema's (toekomstige) mobiliteit en gebiedsontwikkeling.

Visievorming en handelingsperspectief	Urban Learning Cycle en implementatie-ondersteunende tooling	Urban Strategy, data-integratie en modellen
<ul style="list-style-type: none"> • 3 Visiepapers op het gebied van mobiliteit en verstedelijking rond de thema's: CO2-reductie in steden, Digitale transformatie in steden en de Maatschappelijke waarde van Smart Mobility 	<ul style="list-style-type: none"> • Ontwikkeling en toepassing 'Policy by Simulation': inzetten Urban Learning Cycle perspectief gekoppeld aan het Smart Urban Data Platform - ontwikkeling Digital Twin en toepassing in 2 use cases (Amsterdam / Curacao) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vergelijkende studie traditionele modellen met realtime data / big data en de (on)mogelijkheden van Artificial Intelligence voor stedelijke vraagstukken • Tooling rond disruptieve ontwikkelingen: nieuwe mobiliteitsconcepten

Tabel 1: Resultaten en highlights VP Smart Cities 2019

In de kennisontwikkeling van bovenstaande highlights is voor de eerste 2 kennislijnen actief samengewerkt met steden en regio's. De State-of-the-Art kennis is toepasbaar voor stedelijke innovatie en transformatie, op zowel strategisch als tactisch niveau.

In de derde kennislijn wordt verdiept op 'enabling technologies', waar nog een verdere toepassingsslag nodig is voor vertaling naar de praktijk. Het sluit aan op opkomende technologische ontwikkeling.

10.3 VP Milieu en Duurzaamheid

One of the biggest challenges is meeting the Paris climate agreements and the transition to a circular economy in 2050 while industrial production, consumption and mobility is increasing. Emissions must be reduced (for CO₂ by more than 80% in 2050 compared to the level 1990), cycles must be closed and raw materials should be optimally used. This research program focuses on developing circular-economic approaches and supporting measures to improve the environment. There are two program lines in this VP: Environment and Circular Economy.

The Environment program line focuses on climate and emissions, and environment and health. For Climate and Emissions, we continued our work for LOTOS-EUROS which is an open-source chemical transport model. Emission functions for meteorological dependent traffic and agricultural emissions were investigated to improve LOTOS-EUROS. It was found that during cold spells the emissions are impacted by more than 50% due to cold start of vehicles. This investigation resulted in a LOTO-EUROS code for cold start emissions. In addition, LOTOS-EUROS was improved significantly with respect to the temporal variation of ammonia emission. In the EU project Verify, European emission inventories were improved from 6x6 km to 1x1 km. For Environment and Health, three results should be highlighted: (1) polydimethylsiloxane was found to be suitable for quantitative personal exposure measurements; (2) for the development of a health relevant metric on reactivity of particulate matter, the dithiothreitol (DTT) assay was improved and standardized by identifying and optimizing the critical parameters. This assay is widely used as a method to assess the oxidative potential of particulate matter; and (3) TNO developed new methods to measure and identify microplastics in the range below 10 µm using thermal desorption gas chromatography mass spectrometry (TED-GC-MS) and (2) cathodoluminescence (CL) based detection of plastic particles in the electron microscope.

The Circular Economy program focuses on circular plastics, circular building and infrastructure and impact assessment. For circular plastics, the H2020 project PLAST2bCLEANED started in June 2019. The aim is to develop a human and environmental safe recycling process for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) plastics in a technically feasible and economically viable manner. In this project TNO develops dissolution technology using superheated condition for the recycling polymer, bromine and antimony fraction. In the first half year of the project, TNO determined the preferred solution for the dissolution technology and refined the process flow diagram based on experiments. For circular built environment, two quantitative methodologies were further developed: a building materials model (BOB) and a residual value calculator (RVC). Two large improvements on the building materials model were achieved: (1) an adaptive model for office buildings and (2) coupling with logistic models. For the residual value calculator, a prototype was developed based on the needs of stakeholders. For impact assessment, TNO set up a framework on sustainable business modelling containing 5 phases. For each phase relevant tools and

approaches were determined. Various sessions will be hosted by TNO to present these results at the international conference New Business Models 2020.

10.4 VP Circular Economy

The Netherlands has the ambition to achieve a circular economy by 2050: sustainable circular chains in which raw materials are fully reused, no waste is produced and all used energy is sustainably generated. The (intermediate) objective is to use 50% primary raw materials (mineral, fossil and metals) by 2030. With this objective on the use of raw materials, the Netherlands is in line with the level of ambition in comparable countries. Earlier TNO research showed that promoting circular product chains can lead to an additional added value of 7 billion euros in 2025 and 54,000 extra jobs in the next 5 years.

TNO contributes to the solution of this issue on the one hand by improving insight into environmental problems and on the other hand by developing solutions. Many inexpensive and relatively simple measures have already been implemented, what remains are the far more radical and complex options. We develop improved decision support tools, design circular chains and rank new technologies and chain solutions on sustainability. Moreover, we develop technologies for recycling plastics and building materials that make a sustainable contribution to the circular economy. The buildings and infrastructure sector faces two major transitions for the next decade: the energy transition and the circular transition. These transitions ask for innovations and as a consequence, also a next level of impact assessment, for example for upscaling of innovations, incorporating recycling and reuse into (multi) life cycle assessment in a fair way and integral comparison of materials and energy impacts.

For the transition to **circular plastics**, TNO delivered 3 main results: (1) dissolution technology to separate multilayers; (2) packaging model EnvPack to determine the environmental impact of a packaging to guide packaging producers and brand owners; and (3) the Plastic Recycling Impact Scenario Model (PRISM) was improved. The technical potential for plastic recovery from the different sectors was determined and presented to the Transitieagenda Kunststoffen for follow up.

The main result for the transition to circular buildings and infrastructure is the application of the methodology for translating the current environmental impacts of (low technology readiness level) innovations towards a future outlook of their potential impacts for two asphalt technologies at low technology readiness level. It was found that these technologies tend to take a longer period to meet the technical requirements of the top layers of asphalt roads while they can already be applied in an earlier stage to binder and under layers.

For impact assessment, TNO delivered an overview of indicators and recommendations to improve databases/models. In addition, models have been improved to analyse circular perspectives in the framework of the material-energy nexus. Finally, a method is developed to model the effects of sustainable products and services, and of the rate of adoption by consumers on the added value in the ecosystem. This methodology will help developing and designing circular chains.

11 Maatschappelijk Thema Maatschappelijke veiligheid

In het kader van het maatschappelijk thema Maatschappelijke veiligheid voert de unit Defence, Safety & Security (DSS) van TNO het VP Veilige Maatschappij uit. Naast de Rijksbijdrage die door het ministerie EZK beschikbaar wordt gesteld (SMO), draagt het ministerie Justitie&Veiligheid bij middels doelfinanciering. Naar aanleiding van de additionele middelen (Rijksbijdrage) die aan TNO zijn toegekend op grond van het regeerakkoord is er sinds 2018 een nieuw Programma: Kennisopbouw Politie. De programma's worden afgestemd met het ministerie J&V.

Vakdepartement	Unit TNO	Vraaggestuurde Programma's
J&V	DSS	P102 Veilige maatschappij
J&V	DSS	P105 onderzoeksprogramma J&V
J&V	DSS	P106 Kennisopbouw politie

11.1 VP Veilige maatschappij

TNO heeft in 2019 ingezet op een bundeling van onderzoek in het veiligheidsdomein binnen zes programmalijnen: *intelligence*, terrorismebestrijding, versterking strafrechtketen, weerbare professional, nationale veiligheid en *cyber security & societal resilience*. Enkele hoogtepunten uit deze programmalijnen zijn:

- Publicatie van een technologie-agenda voor terrorismebestrijding
- Oplevering van een raamwerk voor de intelligence positie van Gemeenten
- Toepassing van Secure Multi Party Computation (SMPC) en data analyse methoden voor het programma Onvindbaren
- Organisatie van het Cyber Forecasting Toernooi

Naast het geplande onderzoek is in 2019 binnen VPVM gestart met de inhoudelijke vormgeving van meerjarige samenwerkingen met de Dienst Justitiële Inrichtingen (DJI) en het Nationaal Forensisch Instituut (NFI). Met de DJI zal onder andere onderzoek worden gedaan naar de weerbaarheid en training van veiligheidsprofessionals. Met het NFI zal worden gefocust op versterking van de aanpak van de synthetische drugsproductieketen.

De onderzoekslijn nationale veiligheid is in 2019 toegespitst op crisisbeheersing en zal in 2020 worden opgenomen in een meerjarig nationaal innovatieprogramma crisisbeheersing met het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV).

Tenslotte is in 2019 gestart met het project xPrize Avatar waarin TNO in een consortium deelneemt aan de xPrize competitie. Het doel van het project is een winnende cockpit voor de besturing van een robot te ontwikkelen waarin de bestuurder het gevoel heeft zich in de omgeving van de robot (de avatar) te bevinden.

In 2020 zal VPVM zich richten op het uitbreiden van meerjarige samenwerkingen met veiligheidsorganisaties en het versterken van verkennend onderzoek in het nationale veiligheidsdomein.

11.2 VP Kennisopbouw Politie

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

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

Met kennisopbouw voor de politie speelt de politie proactief in op nieuwe technologieën en maatschappelijke ontwikkelingen. Onderwerpen met hoge innovatiebehoefte, passend bij de kennisbasis van TNO, staan centraal in de meerjarige programmering: gestructureerde kennisbasis voor innovatie; politiewerk in het cyberdomein; operationele slagkracht; politie in verbinding; en ontwikkeling professional.

Resultaten zijn onder andere een *innovatieradar en -roadmap* om vast te kunnen stellen welke innovaties wanneer de meest gewenste impact bereiken en wat er nodig is om deze innovaties te implementeren in de organisatie; *innovatieve interventiemogelijkheden* voor politiewerk het cyberdomein; kennisopbouw voor *risicotaxatie real-time* met als resultaat de politie beter in staat te stellen om snel en op uniforme wijze alle relevante informatie mee te nemen in het identificeren en evalueren van risico's omtrent personen bij een 112 melding; de toepassing van het *dynamisch draaiboek* (met o.a. een actueel risico-overzicht en handelingsperspectieven) ter ondersteuning bij grootschalig optreden; de ontwikkeling van een *robot* ten behoeve van een experiment om burger in een politiebureau te ontvangen en te helpen; en de toepassing van een *Virtuele Trainings Omgeving* in de voorbereiding op evenementen.

De kennisopbouwprogramma's helpen de politie met de aanschaf en ingebruikname van een geïnnoveerde (technische) uitrusting, opsporingsmiddelen; en vergroten de weerbaarheid van de politie professional in nauw contact met haar omgeving. Middels kennisopbouw en innovatie wordt de operationele slagkracht van de politie vergroot. Kennisopbouw resulteert in gevalideerde innovatieve onderzoeksconclusies en -aanbevelingen, theorieën, modellen, concepten en prototypen, methoden, technieken, aanpakken, een roadmap naar de toekomst e.d.

Een deel daarvan kan de politie direct gebruiken. De rest is input voor verdere doorontwikkeling tot product of dienst in samenwerking met ook bedrijven. De politie doet de vraagsturing, TNO ontwikkelt een oplossing/technologie en demonstreert die in een relevante omgeving (TRL6) en bedrijven tot een hoger niveau waardoor producten en diensten kunnen worden ontwikkeld voor de veiligheidssector in Nederland. Hiermee wordt het marktfalen in de ontwikkeling van producten voor veiligheidsorganisaties deels opgelost.