

**TNO Onderzoek 2025 - Overzicht Vraaggestuurde Programma's volgens het MTIB**

Unit	Vraaggestuurde Programma's (VPs)	MTIB Thema	MTIB Legenda	
EMT	1. P325 System Transition		Klimaat & Energie	Gezondheid en Zorg
	2. P307 Geo-energy			
	3. P310 Karakterisering Grondwater		Circulaire Economie	Veiligheid
	4. P321 Renewable Energy			
	5. P323 Co2 Neutral Industry		Mobiliteit	Sleutel-technologie
	6. P510 Luchtkwaliteit			
	7. P515 Circulaire Economie		Landbouw & Water	
	8. P603 Sustainable Chemical Industry			
	9. P616 Industriële elektrificatie en CCUS			
	10. P330 Vorming NMO (CRM)			
MBE	11. P407 Smart and Sustainable Mobility			Publiek
	12. P502 Duurzaam bouwen			Publiek / Privaat
HLW	13. P204 Future of Work			
	14. P203 Biomedical Health			
DSS	15. P104 Radar & Sensorsystemen			
	16. P102 Veilige maatschappij			
	17. P106 Kennisopbouw politie			
ISP	18. P103 Cyber Risk & Resilience			
	19. P706 ICT			
	20. P707 Digital Systems (ESI)			
	21. P901 Transitions & Transformations			
HTI	22. P607 Space & Scientific instrument.			
	23. P612 Semicon & Quantum			
	24. P615 Flexible and Freeform Products			
	25. P617 Smart Industry			

Titel	VP System Transition (P325)
MTIB-thema	Klimaat en Energie
Contactpersonen TNO	Christiaan van den Berg (VP-manager), Patrick Punte (Directeur Divisie EMT System Solutions & Environment)
Contactpersonen Overheid	Timon Vervoorn en Debby Joosen (Ministerie van Klimaat & Groene Groei), Marjolein Bot, Maarten de Vries, Robert-Jan van Egmond, Guus Mulder (Missies)
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>Nederland heeft zich gecommitteerd aan het reduceren van de CO<sub>2</sub>-uitstoot naar nul in 2050<sup>1</sup>. Daaruit volgt de ambitie om het huidige energiesysteem - dat vooral op fossiele brandstoffen is gebaseerd – om te vormen tot een duurzaam energiesysteem: de energietransitie. Met het <a href="#">Nationaal Plan Energiesysteem</a> heeft het ministerie van Klimaat en Groene Groei een belangrijk langere termijnperspectief neergelegd voor het transitiepad. Daaruit blijkt hoe groot de opgave is omdat het energiesysteem het fundament vormt onder de economie en onder onze welvaart en welzijn. Hoe we onze huizen verwarmen, hoe we werken, reizen en produceren, wordt voor een belangrijk deel door het energiesysteem bepaald.</p> <p>De transitie blijkt complex voor beleidsmakers op alle niveaus die werken aan effectief beleid, voor bedrijven die toekomstbestendige strategieën willen ontwikkelen, voor burgers en collectieven: voor de samenleving als geheel. Voorbeelden van complexiteiten zijn: conflicten in het ruimtegebruik, inpassing van nieuwe technologieën, interactie-effecten (zoals ecologie, economie), financiering en gedragsaspecten. Zeker nu het klimaat- en energiebeleid vooral in de praktijk gerealiseerd moet worden, komen allerlei uitvoeringsproblemen aan het licht, zoals netcongestie, vertragingen in de besluitvorming en energiearmoede. Met gerichte kennisopbouw wil TNO publieke en private actoren onafhankelijke en feitelijke kennis en inzichten bieden die hen in staat stellen onderbouwde beslissingen te nemen, en de uitvoeringsproblemen aan te pakken.</p> <p>De kennisopbouw vindt plaats in twee aan elkaar gerelateerde onderdelen: Het eerste onderdeel betreft het <i>Vraaggestuurd programma System Transition</i> (inzet van Rijksbijdrage ca. € 6 miljoen), dat een brede kennisbasis onderhoudt en ontwikkelt, en bijdraagt aan de Integrale Kennis en Innovatie Agenda (IKIA) en de missies; met name aan de missie Systeemintegratie van de topsector Energie. De belangrijkste doelgroepen van de ontwikkelde kennis zijn bedrijven in de energietransitie (zoals de netwerkbedrijven, MKB en industrie, lokale en regionale overheden en energie-consultants. Een voorbeeld van kennisopbouw in dit kader zijn de <a href="#">scenariostudies ADAPT en TRANSFORM</a>, waarin we in 2024 lieten zien hoe bepalend de ontwikkeling van de energie-intensieve industrie is voor de energietransitie.</p> <p>Het tweede onderdeel betreft het <i>onderzoeksprogramma Energietransitiestudies</i> (omvang ca. € 5 miljoen), dat bedoeld is voor het leveren van kennis voor met name beleidsmakers in de energietransitie op alle niveaus<sup>2</sup> en publieke instellingen die daarbij ondersteunen<sup>3</sup>. Dit deel wordt gefinancierd door een programmasubsidie van het ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG). Dit programma omvat onder andere zogenaamde Kennis voor Energiebeleid (KVE-) projecten, waarin TNO onderzoek doet ter ondersteuning van het energie- en klimaatbeleid van KGG. In dat kader is onder andere een analyse uitgevoerd van de verdere aanscherping van de Europese energiebesparingsdoelen (Fit-for-55, REPowerEU), waaruit bleek dat het huidige en het aangekondigde beleid niet voldoende zijn om de voorgestelde energiebesparingsdoelen te halen en dat aanvullend beleid nodig is.</p> <p>De twee programma's leveren toepasbare kennis op in de vorm van whitepapers, rapportages, webtools en software (onder andere rekenmodellen), die hun weg vinden naar beleidsmakers, analisten, strategen en politiek (bijvoorbeeld in de vorm van bijlagen bij kamerbrieven). Met deze kennis kan effectief beleid worden vormgegeven, en kunnen onderbouwde besluiten worden genomen om de energietransitie te doen slagen. Veel van de resultaten worden gepubliceerd op de website <a href="http://www.energy.nl">www.energy.nl</a> en op <a href="http://www.tno.nl">www.tno.nl</a>.</p>	

---

<sup>1</sup> Parijs COP 21

<sup>2</sup> Europees tot lokaal

<sup>3</sup> Zoals PBL en RVO

Titel	VP Geo Energie (P307) <sup>4</sup>
MTIB Thema	Klimaat en Energie / MMIP4: Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving (individueel en collectief), MMIP 6,7 (Verduurzaming warmtevraag Industrie, CO2 opslag, grootschalige energieopslag)
Contactpersonen TNO	Maurice Hanegraaf (VPM)
Contactpersoon Regievoerder	TKI UE: Robert Jan van Egmond, TKI Geo Energie: Jorg Gigler, EZ/KGG: Ronald Schillemans, Pieter Jongerius

### Programma jaar 2025 - Samenvatting

Het budget van VP307 wordt ingezet op de proposities: Warmte (geothermie, bodemenergie, warmteopslag en warmtenetten), Energieopslag (vooral H<sub>2</sub>), CO<sub>2</sub>-transport en -opslag, en geïnduceerde seismiciteit door mijnbouwactiviteiten. De noodzaak tot verduurzaming van de warmte- en koude vraag, en de versnelde uitrol van warmtenetten met de inzet van geothermie en warmteopslag, is opgenomen in het Klimaatakkoord. Ook zijn er in het Klimaatakkoord ambitieuze doelstellingen opgenomen over de opslag van CO<sub>2</sub> en de productie en aanleg van infrastructuur voor waterstof. Een ander belangrijk speerpunt van het kabinetsbeleid is de implementatie van de aanbevelingen van de Parlementaire Enquêtecommissie Aardgaswinning over de veiligheidsrisico's van mijnbouwactiviteiten en het bijbehorende risicobeleid. Er wordt gewerkt aan het ontwikkelen van een ruimtelijke programmatische aanpak, waarin alle verwachte activiteiten in de ondergrond worden vastgelegd. Al deze prioriteiten uit het Klimaat- en Regeerakkoord sluiten naadloos aan op de doelstellingen van dit VP-programma.

#### Warmte:

- Reduceren van pre-drill geologische exploratie- en realisatierisico's voor geothermie en warmteopslag door betere data-analyse, acquisitie, publieke informatiesystemen en modellen.
- Verhogen van de productie van geothermie en warmteopslag door betere resourceontwikkeling, materialen, beheer en monitoring.
- Verlagen van de kostprijs voor de aanleg en aansturing van warmtenetten en optimalisatie van warmte/koude vraag en aanbod door ontwikkeling van de publieke design-toolkit voor operators en overheden.

#### Geïnduceerde Seismiciteit:

- Vergroten van de veiligheid van mijnbouwactiviteiten door beter begrip van spanning en verbreken van gesteentelagen boven ondergrondse mijnbouw activiteiten.

#### Energie- en CO<sub>2</sub>-transport en -opslag:

- Veilige en kosteneffectieve ontwikkeling van CO<sub>2</sub>- en waterstofopslag in lege gasvelden, zoutlagen en aquifers in Nederland.

In 2025 richt TNO zich op bovenstaande doelen en prioriteiten. Op het gebied van warmte wordt onder meer geïnvesteerd in AI-gedreven open source-modelleringstools die (ondiepe) geothermische reservoirs en breuken veel beter in kaart kunnen brengen. Op het gebied van geothermieproductie ontwikkelt TNO de GEMINI 'digital twin' om chemische processen in geothermische systemen te simuleren, met als doel vroegtijdig problemen zoals

<sup>4</sup> VP307 richt zich op de bijdrage van de ondergrond aan de energietransitie inclusief collectieve warmtesystemen. De naam van VP307 is vanaf 2021 gewijzigd in Geo Energie omdat er binnen TNO Energietransitie in 2021 een nieuwe roadmapstructuur is ingesteld en dit beter aansluit bij de programmering van het VP. VP307 maakt nu onderdeel uit van de Roadmap Sustainable Sub surface van de Geologische dienst Nederland (GDN).

corrosie en scaling te detecteren. Daarnaast wordt verder gewerkt aan software voor warmtenetten, waaronder tools voor het ontwerp en de optimalisatie van lage-temperatuurnetten en warmte-opslag (UTES). In CO2-opslag focust TNO op verbeteringen van simulatiehulpmiddelen, zoals de ACTION-netwerksimulator, die transportnetwerken optimaliseert om kosten te verlagen en veiligheid te waarborgen. Er wordt ook gewerkt aan de MOLE-tool, die specifiek voor waterstofopslag wordt ontwikkeld. Daarnaast is TNO in 2024 gestart met onderzoek naar de veilige opslag van nucleair afval in diepe boorgaten (5000m, FUDD-initiatief). Dit onderzoek richt zich op de ontwikkeling van boortechnologieën en het ontwerpen van veilige afsluitingssystemen. TNO werkt op deze onderwerpen vaak samen in missie gedreven ecosystemen met industriepartners en Nederlandse kennisinstellingen. Naast deze investeringen wordt ook geïnvesteerd in nationale en internationale onderzoeksprogramma's zoals WarmingUP, GOO, SafeGeo, Diepe Bodemlus (WGO-BES), DRAGLOW, RESULT, SafeGeo, en Downhole Array Research at Ammerlaan (DHARA).

Titel	VP Karakterisering en Dynamiek Samenstelling Grondwater (P310)
MTIB Thema	Water
Contactpersonen TNO	TNO Geologische Dienst Nederland – Paul Bogaard, Willem Jan Zaadnoordijk (VPM)
Contactpersoon Regie-voerder	Wilbert van Zeventer (Min. I&W), Katja Portegies (RWS); programmaraden TKI Watertechnologie, TKI Deltatechnologie
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>De beschikbaarheid van voldoende grondwater van goede kwaliteit is een belangrijke randvoorwaarde voor de Nederlandse samenleving. De grondwaterstand is van groot belang voor bijvoorbeeld natuur, landbouw, bebouwing en infrastructuur en heeft een directe relatie met bodemdaling. De kwaliteit van het grondwater bepaalt in grote mate de waarde van dit natuurlijk kapitaal. Verder is grondwater een efficiënte drager van thermische energie en kan gebruikt worden voor warmte- en koudeopslag in de energietransitie. Het recente advies van de Studiegroep Grondwater<sup>5</sup> concludeert dat het grondwatersysteem tegen haar grenzen aan loopt, of deze in sommige gebieden al heeft bereikt. Het is niet meer vanzelfsprekend dat ons grondwater in de toekomst voor al deze functies voldoende beschikbaar is.</p> <p>In dit Vraaggestuurd Programma (VP) richt TNO – Geologische Dienst Nederland (TNO-GDN) zich op informatie rond de processen die bepalend zijn voor de kwantiteit en kwaliteit van het grondwater. Deze worden beïnvloed door o.a. veranderingen in het landgebruik, klimaatverandering en intensiever gebruik van de ondergrond. Hierdoor veranderen grondwaterstanden en de kwaliteit van het infiltrerende (regen)water dat het grondwater aanvult. Dit kan leiden tot verdere bodemdaling, verzilting, overbelasting van het watersysteem zoals in Noord-Brabant en tekort aan drinkwater. Voor grondwaterkwaliteit spelen de risico's vanaf het oppervlak een rol (uitspoeling gekoppeld aan landbouw en stedelijk gebied) en door activiteiten in de diepere ondergrond (bijvoorbeeld hoge-temperatuuropslag). Zowel voor het mitigeren van watertekorten als voor de energietransitie is een grotere rol van de ondergrond voorzien. Informatie en kennis ten aanzien van de dynamiek en de samenstelling van het grondwater alsook ten aanzien van de opbouw van de ondergrond is noodzakelijk voor het voorspellen van effecten, afwegen van risico's en het toetsen van beleidsbeslissingen om het watersysteem op orde te brengen en vervolgens te houden in het licht van deze veranderingen.</p> <p>Het doel van dit VP is methoden en informatieproducten te ontwikkelen om de wisselwerking te voorspellen van het grondwater met klimaatverandering, bodemdaling, ontwikkelingen in watergebruik, ondergrondse activiteiten, verstedelijking en andere landgebruiksveranderingen. Er bestaat een nauwe relatie tussen dit VP en het VP Geo-energie (gebruik van grondwater in de energietransitie), de nieuwe VPs Climate Adaptation (bodemdaling) en Balanced Spatial Choices (ruimtelijke ordening van de ondergrond) en TNO-GDN's Geo-informatie Programma (wat betreft beheer van grondwatergegevens en hydrogeologische kartering). Tussen deze programma's vindt afstemming plaats om de relatie met grondwaterkwaliteit en -kwantiteit goed te adresseren.</p> <p>De doelstellingen voor de komende vier jaar van dit VP 310 KarDySaG zijn gericht op:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- De doorontwikkeling en externe positionering van de TNO-GDN informatieportfolio op grondwatergebied (<a href="http://grondwatertools.nl">grondwatertools.nl</a>);</li> <li>- Specifieke advisering van stakeholders aangaande het grondwater;</li> <li>- Bijdrage aan nationale programma's, zoals de TKI's Watertechnologie en Deltatechnologie, specifiek met kennis ten aanzien van grondwater en ondergrond;</li> <li>- Bijdrage aan internationale ontwikkelingen, onder andere via de CSA voor een 'European Geological Service' (GSEU, een programma van de gezamenlijke Geologische Diensten in Europa).</li> </ul> <p>Hiertoe wordt samengewerkt universiteiten - met name de Universiteit Utrecht, Wageningen Universiteit en Technische Universiteit Delft, onder meer via gezamenlijk onderzoek en begeleiden van promovendi en studenten die BSc- of MSc-thesisonderzoek doen -, en met kennispartijen zoals Deltares en WEnR.</p> <p>In 2025 worden de volgende resultaten voorzien:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Informatie over de actuele toestand (o.a. droogte-indicator) van het grondwater in Nederland op basis van grondwaterstanden uit de Basisregistratie Ondergrond</li> </ul>	

<sup>5</sup> Grondwater: onzichtbaar en onmisbaar! Advies studiegroep grondwater, 28 november 2022

- Uitbreiding van grondwaterkwaliteitsbeeld.nl met nieuw ontwikkelde trendtools en vergrijzingsindicatoren;
- Kennisontwikkeling tbv kartering van zoet-brak-zout grondwater (in samenhang met het FreshEM project)
- Inzicht in veranderingen van grondwatertemperaturen sinds de jaren 1980.

Titel	VP Renewable Electricity (P321)
MTIB Thema	Klimaat en Energie / MMIP1, MMIP2
Contactpersonen TNO	Wim Boogaard (Division Director Energy Supply), Jan Willem Wagenaar (VP-manager Wind Energy), Sjoerd Veenstra (Proposition Manager Solar Energy, SDT)
Contactpersoon Regie-voerder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministry of Economic Affairs / Ministry of Climate and Green Growth. Directorate General Climate &amp; Energy <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pim van Leeuwen (Senior Policy Advisor)</li> <li>○ Alice van Rixel (Senior Policy Officer Energy Transition)</li> <li>○ Debby Joosen (Senior Policy Officer)</li> <li>○ Bart Tulkens (Policy Officer Energy Innovation)</li> <li>○ Marinde Vos (Policy Officer Energy Innovation)</li> <li>○ Veerle Heijnen (Policy Officer knowledge for energy policies)</li> <li>○ Sybrand Oomes (Policy Officer Onshore Solar Energy)</li> <li>○ Ruben Prins (Coordinating policy officer Offshore Wind Energy)</li> <li>○ Eva de Leede (Cluster leader Offshore Wind Energy)</li> <li>○ Laura Jansen (Policy officer Offshore Wind Energy)</li> </ul> </li> <li>• TKI Offshore Energy <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bob Meijer (Director “TKI Offshore Energy”)</li> <li>○ Bram van der Wees (Program manager “TKI Offshore Energy”)</li> </ul> </li> <li>• TKI Urban Energy <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Robin Quax (Program Manager Renewable Electricity)</li> </ul> </li> <li>• Missie Team Electricity <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Albert Polman (Amolf)</li> </ul> </li> </ul>

### Programma jaar 2025 - Samenvatting

The overall ambition of the VP Renewable Electricity is to enable large-scale deployment of wind and photovoltaic solar energy, through a research program that is conducted together with partners from industry and science. We focus on reducing the generation cost of renewable electricity and developing (technological) solutions to resolve barriers concerning implementation. These solutions should also increase renewable electricity systems' economic, societal, and ecological value and improve performance. Furthermore, it should result in a better market position for our public and private partners and contribute to Europe's renewable energy leadership, enabling a significant market share.

In addition, even though solar and wind deployment efforts have been significant and successful in the Netherlands, tremendous acceleration efforts are needed in both sectors to ensure we reach our national goals towards 2030 and 2050. Thus innovation efforts such as described in this VP will remain key to be able to accommodate this acceleration. Recent developments in the energy markets and geopolitical arena further substantiate these acceleration and innovation needs.

The enormous ambitions of **offshore wind** encounter barriers such as the speed of implementation and the integration in the energy system. Additional societal challenges are on the aspects of circularity and ecology. The TNO Wind Energy R&D programme aims to tackle these barriers, where this programme is part of the TKI Offshore Energy and seamlessly aligns with the MMIP 1 “Hernieuwbare elektriciteit op zee”, based on Mission A: “Een volledig CO<sub>2</sub>-vrij elektriciteitssysteem in 2050”. In order to support the implementation of the large amount of offshore wind energy, the primary goals for the next three years are to:

1. Support the accelerated offshore wind development.
2. Improve the integration of large quantities of wind energy in the system.
3. Make wind energy generation more sustainable and circular.
4. Integrate wind energy generation in the environment.
5. Further improve the reliability and affordability of wind energy.

In this respect we present a few key developments and promises towards 2025:

Supporting the acceleration of offshore wind development, TNO provides government and industry with *high quality wind information* across the North Sea by executing a long term measurement programme. Recently, a new LiDAR measurement platform became operational close to the future wind farms ‘Ten Noorden van de Waddeneilanden’ and Doordewind and in 2025 we will evaluate the first measurements at the new platform. Further, we will investigate large scale wind farm cluster effects in mesoscale modelling as added value to such wind measurements.

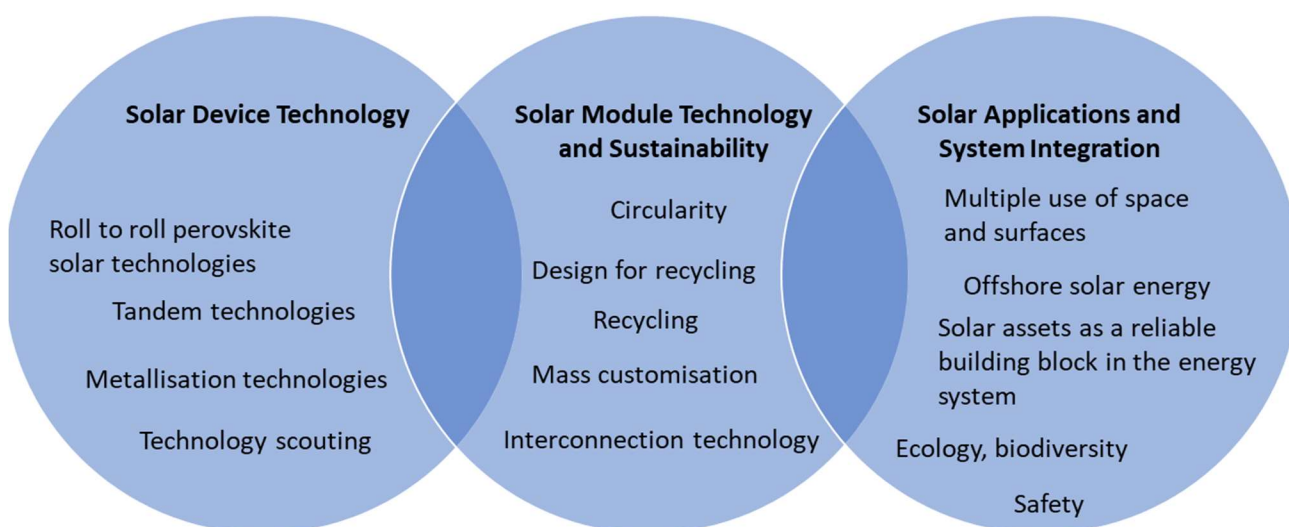
Improving the *reliability of wind farms* by automating inspections and maintenance reduces wind power costs and lowers the barriers to accelerating offshore wind. TNO and partners are developing robotic technologies, specifically drones and crawlers, in combination with blade digital twins to automate and digitize inspections and maintenance. Following the proof of principle of drones inspecting wind turbine blades, TNO will further assess the benefit of drone residency in offshore wind farms. In 2025, we will connect inspections with a blade digital twin for predictive maintenance and start developing algorithms for drone localization across the blade.

TNO is developing the SWITCH scaled, hybrid power plant as an open innovation research facility on system integration together with Wageningen University and Research. Having festively opened the SWITCH facility in March 2024 and building upon the preparations that are ongoing, we will perform several wind to battery tests to investigate green power supply to docked vessels in the Port of Rotterdam. The direct connection of wind and solar to a battery will be tested as well in order to provide a more stable supply to the grid, mimicking offshore conditions. Also, and specifically for 2025, the SWITCH lab will be prepared for the experiments testing a direct connection between the wind turbine, the solar panels, and an electrolyser. This is a first step towards demonstration in offshore conditions, where offshore hydrogen generation will be piloted at the Q13a platform. We expect this to be of extreme relevance for the upcoming offshore wind tenders.

To *integrate wind energy seamlessly in the ecological system*, TNO develops bird impact and monitoring systems and deterrence systems. We are installing a number of WT-Bird systems inside and outside the Netherlands (Groningen, USA, Taiwan) to gain a wider knowledge on bird impacts. In collaboration with RWE we are specifically studying the effectiveness of black blades in order to mitigate bird impacts. Also, we are applying advanced image recognition software to the bird monitoring system and results show that it is possible to track birds. In 2025, we aim to deliver an improved understanding of bird behaviour around wind turbines and to validate the black blade impact mitigation concept.

For **solar** TNO envisions that in 2050 200 GWp will be installed in the Netherlands. Solar should be acceptable to society, of superior sustainability and economically affordable. In this transition, the Dutch solar ecosystem will be optimally positioned for local supply, export and re-use of critical raw materials which originate outside the EU. TNO Solar Energy supports this transition with R&D on the whole value chain from cell development towards the applications of solar energy.

The TNO Solar Energy R&D programme is part of the TKI Urban Energy and fully aligns with the MMIP 2 “Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en de gebouwde omgeving”, and for Offshore solar with MMIP 1 “Hernieuwbare elektriciteit op zee”. Below figure shows how the R&D within this program is divided in three themes.





The major developments and goals that are foreseen for 2025 are:

For Solar Device Technologies the main development is to strengthen the connection with our commercial partners as new business opportunities appear in the area of *PV manufacturing, innovative (circular) module technology, PV integration and system integration*. Companies look for opportunities to develop new markets with the new PV technologies. We can support our partners with know-how, IP, process methods and validating the processed devices. In a similar manner TNO supports material suppliers and equipment manufacturer with development of wet and dry deposition methods and validating the use of new materials and process equipment respectively.

The activities in the area of c-Si are now focused on *supporting new manufacturers and improving the sustainability profile of the main stream solar technology* by implementing novel metallization routes. Our infrastructure and expertise also allows us to make new c-Si cells specifically for tandem devices and integrated solar applications.

The activities in the area of single junction perovskite solar devices are focusing on *flexible modules* as this allows to serve new markets. Our next steps in this area are to setup a R&D pilot line for roll-to-roll processed perovskite PV foils. In 2025 we will have the blue print of the line ready. We also aim to expand our perovskite sheet-to-sheet process capability to *process full sized hybrid and all-perovskite tandem solar cells*. With the expansion we can increase the throughput of samples which will enable reliability evaluation. We aim to demonstrate wafer scale perovskite/cSi tandems with an efficiency gain relative to the single cell counterparts. We will also demonstrate 100 cm<sup>2</sup> all-perovskite tandem mini-modules.

The most important shift in focus for Solar Module Technologies and Sustainability, is the increased attention for recycling technology for standard (Asian produced) PV modules. As for the massive production of PV a number of *critical raw materials* are still essential, the PV modules at end-of-life can be considered a very valuable urban mine that should be *retained in The Netherlands*. We aim to contribute to this by development of recycling techniques that enable re-use and recycling strategies at a higher level of circularity. Another important goal is to actively build upon the work done in 2024 where we support local manufacturing in the field of customised PV by technology development for module manufacturing, specifically for integration purposes to enable solar energy generation on every surface.

For Solar Applications and System Integration TNO will be active on a broad palette of applications:

- **Solar on land** will focus on *eco-inclusive parks* and certification of those parks as well as designing solar parks for glare mitigation.
- For **solar on water** TNO is developing solutions for higher wave class categories and here TNO will aim for a project in the IJsselmeer to demonstrate the solutions.
- For **offshore floating PV** the developments are foreseen in the area of modelling and accurate data acquisition in several projects in order to validate those models.
- The developments for **Building integrated PV (BIPB)** are foreseen on reducing the fire safety risks by establishing guidelines for module electrical design and on reducing the costs for façade integrated PV by a new integrated PV panel design.
- In the field of **infrastructure integrated PV (IIPV)**, we will strengthen the interaction with partners, especially related to the OER projects of Rijkswaterstaat, and support the development of innovative solutions for the infrastructure.
- In the field of **vehicle integrated PV (VIPV)** TNO will start the development of color integration in 3D shaped vehicle parts and will validate the energy flow model, as well as the annual energy yield model, with measured data from an European measurement campaign.
- TNO will extend the activities on using the sun for thermal energy in a project in which **combined photovoltaic and thermal (PVT)** energy systems will be tested in real life conditions, generating data to validate our system models. Up to now this was mainly done under lab conditions.
- **PV and the energy system** is a topic that was started in 2024 and will be strengthened in 2025 by collaborating with Dutch and international project developers aiming at optimizing strategic maintenance, hybrid systems (e.g. solar and wind combined), and grid congestion solutions. This knowledge development will assist the forming of the new energy system integration proposition in the division.

In **conclusion** the multidisciplinary approach and international collaboration with various research organizations and the market allow TNO to adapt and thrive despite the current challenges in both the solar and wind sectors. The recently published

Draghi report emphasizes the importance of reshoring and increasing local content in the renewable energy industry to enhance EU competitiveness. The SolarNL program aligns quite well with these conclusions. By leveraging its expertise and focusing on innovative solutions, TNO can thus continue to play a crucial role in advancing both the solar and wind markets. This includes addressing supply chain risks and ensuring the reliability and availability of materials and the acceleration of deployment. These innovation efforts in a rapidly evolving landscape and in such dynamic markets as solar and wind are evermore needed to ensure we meet our national goals for renewable electricity towards 2030 and 2050. And to ensure a better market position for our public and private partners and contribute to Europe's renewable energy leadership.

<b>Titel</b>	<b>VP CO2-neutral industry (P323)</b>
MTIB Thema	Klimaat en Energie, Missie C; MMIP 6, 7 & 8
Contactpersonen TNO	Stephan Janbroers, Néstor González Díez
Contactpersonen Regie-voerder	Peter Besseling, Paul Verbraak, & Roy Dekker (EZ/KGG) , Rob Kreiter (TKI-E&I), Jörg Gigler (TKI-Nieuw Gas)

**Programma jaar 2025 - Samenvatting**

The demand driven program “CO2 neutral industry” articulates TNO's comprehensive strategy to drive the Dutch industrial sector toward carbon neutrality by 2050, in alignment with the Dutch National Climate Agreement and the broader objectives of the European Green Deal. This plan is structured around three critical pillars: sustainable feedstock, energy transformation, and infrastructure development, each designed to foster significant reductions in greenhouse gas emissions. Within these pillars, eight targeted sub-propositions serve as focal points for innovation and development. These include the advancement of sustainable fuels and chemicals, the deployment of industrial carbon capture and storage (CCS) technologies, and the enhancement of process efficiency through electrification and other energy-efficient practices. Additional sub-propositions address clean hydrogen production, sustainable industrial heat, process flexibility, and energy infrastructure, all of which are crucial for transitioning to a circular and carbon-neutral economy.

**Feedstock**



Sustainable fuels & chemicals  
Industrial carbon capture

**Energy**



Sustainable industrial heat  
Green hydrogen  
Process efficiency & Process flexibility

**Infrastructure**



Safety & integrity of transport infrastructure  
New molecular infrastructure  
System flexibility

**Short overview of relevant propositions in the VP CO<sub>2</sub> neutral industry 2024 / 2025. Note that Industrial Transformation is also part of VP323 and covers the systemic overview over the propositions mentioned.**

By 2025, the VP323 CO<sub>2</sub> Neutral Industry program aims to achieve significant milestones across several key areas. In sustainable fuels and chemicals, the FABIOLA technology will be spun out, with integrated assessments improving biochar valorization and biomass processing. In industrial carbon capture, continuous operation of advanced technologies like DORA and SEWGS will enhance emissions reduction and solvent efficiency. The sustainable industrial heat program will develop high-temperature thermoacoustic heat pumps and hybrid heating systems. For clean hydrogen production, PEM electrolyser technology will advance with reduced iridium use, while offshore electrolysis innovations scale up from the PosHYdon test to a 500 MW demonstration. Additionally, AI will be integrated into energy infrastructure management to optimize distribution networks, supporting the overarching goal of industrial decarbonization by 2050.

The plan is heavily supported by strategic collaborations with industry leaders, academic institutions, and government bodies, ensuring that the Dutch industrial sector not only meets its climate targets but also remains a competitive and sustainable force in the global market.

Titel	VP Luchtkwaliteit (P510)
MTIB Thema	
Contactpersonen TNO (SD en VPM)	Alex Leighton (VPM), Patrick Punte (Directeur Divisie EMT System Solutions & Environment)
Contactpersoon Regie-voerder	Maarten van der Geest (Min. IenW)
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>The Netherlands is facing pressing environmental challenges related to anthropogenic emissions. Approximately 11.000 premature deaths can be attributed yearly to bad air quality. Climate change may lead to catastrophic sea level rise, droughts, and more frequent extreme weather around the globe. And significant biodiversity loss is expected if the critical loads for atmospheric nitrogen deposition keep being exceeded in the Dutch nature areas. To curb these impacts and to comply with European legislation, the Dutch government has committed to a strict set of agreements:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- In 2020 the “Schone Lucht Akkoord (SLA)” was signed, which aims for 50% air quality-related health gain in 2030 and focuses on the WHO guideline values for <b>particulate matter and NO<sub>2</sub></b>.</li> <li>- In 2016 the Netherlands committed to the Paris climate goals and therefore now aims to reduce <b>greenhouse gas</b> emission by 49% in 2030 through the “Klimaatwet”.</li> <li>- In 2021 the “wet stikstofreductie en natuurverbetering (WSN)” was accepted, which sets a target of 74% area of the Dutch Natura2000 reserves to be below the critical deposition load (KDW) for deposition of <b>reactive nitrogen</b> in 2035.</li> </ul> <p>Because the targets of these agreements are ambitious, TNO focusses, within the VP Air Quality, on the development of technological solutions for an innovative, state-of-the-art verification and monitoring infrastructure for atmospheric emissions, concentrations and depositions. Such an infrastructure is needed for a thorough understanding of the current situation and the effect of emission reduction policies. It supports policy improvements and tracking of their results.</p> <p>The solutions we seek are demand-driven. For air quality, we take inspiration from discussions with the ministry of IenW and various theme groups within the SLA (municipalities and provinces). For reactive nitrogen, we focus on LNV and provinces come up with generic questions. For Greenhouse gases the developments and questions are mainly determined at European level. Some challenges require similar technological solutions.</p> <p>Our mission is to deliver innovative solutions in these fields to governments, industry, companies, and citizens to facilitate informed decision making and to provide action perspective. With a wide range of competences in the field of designing and operating measuring and modelling systems for atmospheric emissions, TNO is well equipped for this. Within this effort, TNO also seeks synergy with Dutch scientific partners such as RIVM, KNMI, SRON, TUD, RUG, WUR, VU, UU, and GGD and several European partners.</p> <p>Key results for 2025 are:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Particulate matter (PM) and ultrafine particles (UFP):</b> health relevant ranking and source attribution based on labelled simulations, physicochemical composition, chemical reactions during transport and/or health-related indicators (like oxidative potential) as compared to mass concentrations.</li> <li>- Set up of a <b>high resolution modelling capacity</b> simultaneously solving meteorology and atmospheric composition.</li> <li>- Establish the capacity for <b>monitoring of airborne environmental DNA</b> and link changes to source specific exposures.</li> <li>- Tests performed of the new TNO toolset (sampling, analysis, and models) for <b>quantification of the origin of ammonia</b> in air and deposited material near Natura 2000 regions.</li> <li>- <b>Near-Real-Time (NRT) emission estimation</b> for air pollutants and greenhouse gas emissions in the Netherlands.</li> <li>- <b>New subjects</b> that rely on measuring and modelling systems developed under this program are upcoming: deposition of Total Suspended PM, climate adaptation and the interdependency with air pollution, non-target and suspect screening.</li> </ul>	

Titel	VP Circulaire Economie (P515)
MTIB Thema	Circulaire Economie
Contactpersonen TNO (DM/SD en VPM)	Alex Leighton (VPM), Patrick Punte (Directeur Divisie EMT System Solutions & Environment)
Contactpersoon Regie-voerder	Bas Warmenhoven, Wilma van Hunnik (IenW)
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>The Circular Economy is an essential means to achieve the sustainable development goals, conform to the Paris agreement on climate change, and provide a reliable supply of secondary raw materials, specifically strategic &amp; Critical Raw Materials (CRM). A circular economy greatly reduces the use &amp; depletion of exhaustible raw materials by optimally re-using materials, components, and products, and by substituting with renewable raw materials. In doing so, the circular economy contributes to prevention of climate change, environmental pollution, and loss of biodiversity. It also has positive socio-economic effects (see “Mogelijke doelen voor een circulaire economie”, Policy Brief, PBL, July 2021).</p> <p>In the past few years several documents and reports have been published by a.o. the EU, the Dutch government and/or Dutch ministries, and PBL that describe - at a high level - the (Dutch) policy and priorities concerning a more circular economy (a.o. KIA CE 2023, Grondstoffenstrategie 2022, ICER 2023, NPCE 2023, Vooruitgang in de circulaire economie (PBL) 2024, EU CRM Act, etc). The activities in this VP aim to accelerate the transition to a more circular economy in the Netherlands, as well as to contribute to the potential of the circular economy for the Grondstoffenstrategie and strategic autonomy. This VP relates to the high-level policy and goals in the following ways, a.o.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Committing to Circular Economy goals 2050 &amp; 2030 (respectively 100% circular economy and 50% reduction of use of abiotic raw materials)</li> <li>• Intensifying research concerning criticality and strategic autonomy (Grondstoffenstrategie 2022, EU CRMA).</li> <li>• Supporting maximizing raw material efficiency, Design for Recycling, Circular materials &amp; processes (KIA CE).</li> <li>• Supporting ambition towards circular industry and circular build environment (CE policy).</li> <li>• Supporting prioritized value chains (plastics, build environment, manufacturing industry, batteries / electronic devices (ICER 2023, NPCE 2023).</li> </ul> <p>The VP Circular Economy focuses on 2 topics: Circular Strategies &amp; CRM, and Circular Plastics.</p> <p><b>Circular Strategies &amp; CRM</b></p> <p>The overall goal of the CS&amp;CRM program is to develop science-based strategies helping society to move towards a renewable, circular economy respecting the boundaries of our earth system and human wellbeing. We facilitate the energy and concomitant materials transition and address the challenges related to (critical) raw materials with new methods and technical solutions.</p> <p>We do this by working on 1) Evaluating the environmental, economic and social consequences of actions to move towards a decarbonized and circular economy with state of the art assessment method, 2) Assessing the potential of the circular economy for CRM, developing potential circular strategies for CRM, 3) Development of sustainable and economically viable recycling processes for CRM recovery from the urban mine and electrification of current chemical recycling processes. Our goals for this program (2025-2028) are:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. The development of an integrated assessment framework to evaluate the environmental, economic and social consequences of actions to move towards a decarbonized and circular economy at national, EU and global scales. The results of quantifying these consequences are used to develop thought leadership and actively guide decisions of governments and sector organizations. The framework focusses on the domain of critical raw materials and the following strategic sectors: energy technologies, electronics, ICT, other high-tech industry, building &amp; infra and defense.</li> <li>2. The development of a methodology that assesses the practical implementation of different R-strategies for CRM's within end-of-life value chains, which will give support to all parties that need to act according to the critical raw material act and assesses the circular potential of the urban mine in EU and specifically the Netherlands.</li> <li>3. The development of proven sustainable electrochemical recycling technologies for electronic waste, Li-ion batteries and solar panels, as a basis for further adoption of sustainable recycling processes by the industry.</li> </ol>	

More specifically, our priorities for 2025 are:

1. Design and implementation of a modelling framework that allows for the integration of dynamic material flow analysis, prospective life-cycle assessment (including social and costing aspects), and general equilibrium modelling. Design of a decision-making framework to translate model outcomes to actionable insights.
2. Design of a framework for the methodology to assess R-strategies with a specific focus on recycling. In addition, a material and recycling technology database is set up which forms the basis of the methodology.
3. Achieving optimization of the electrochemical leaching processes for metallic metals and LFP battery materials in small scale by expanding our work from this year to different redox mediators and reaction conditions. And investigating sustainable metal separation and recovery technologies to address complex mixtures of metals and varying concentration ranges.

TNO activities on Circular Strategies & CRM are highly relevant for Dutch and European policy makers and businesses:: 1) our integrated assessment work on provides insights in policy scenario's and their impacts to increase circularity; 2) our research methodology for CRM's will result in insights into the best options for the Netherlands to contribute to the EU CRM Act and which policy measures are needed to realize CRM re-use and recycling; 3) the development of new recycling technologies will provide the industry with new options to recycle CRM's that are more sustainable and more economically viable in the Netherlands and Europe.

### Circular Plastics

As of mid-2024, the research activities on Circular Plastics are focused on two topics: Circular Plastics and Circularity by Design, where the latter consolidates TNO activities on material design from renewable resources (recyclate and biomass) to reinforce the development of circular design principles. This VP reports on Circular Plastics and Circularity by Design for recyclates.

The Circular Plastics program (2025-2028) focuses on (1) developing an integral system analysis and design model (CITS) as a basis for decision support and guidance of stakeholders in the transition towards a circular economy, (2) developing sustainable plastic recycling technologies, and (3) developing pre-/post-treatment technologies for recycling. The priorities of the Circular Plastics program for 2025 include:

1. Maturing the TNO modelling suite on circular plastics (including e.g. higher R-strategies, recyclate quality and cascading of recycling options) to be able to answer complex societal questions and linking to other TNO energy and economy models;
2. scale-up of the TNO Möbius dissolution technology to TRL 5 for polyolefins and ABS, as well as further broadening the feedstock base of solvolysis, thermal cracking and electrification of the reactor concept, obtaining all information for proof-of-concept of plasma cracking, finalizing 2PhD thesis on catalytic depolymerization and exploring exploitation routes;
3. Upwash and liquid-phase pyrolysis (LPP) technology that can be scaled in batch mode for pre-treatment, and further development of *dissolution-based technology* as pre- (or post-) treatment as well.

The Circularity by Design program (2025-2028) focuses on (1) development of products with improved circularity, including recyclability, (2) understanding the health effects of microplastics and strategies how to mitigate microplastic formation and exposure to microplastics, (3) experimental understanding of polymer quality in the life cycle of design, production, use and recycling. The priorities of the Circularity by Design program for 2025 include:

1. Extension of the Circular Packaging sealing model to polypropylene and PET and demonstration at maximally TRL5 of a "design for reuse" circular flexible packaging with "design for/from recycling" principles suitable for sustainable E-commerce;
2. Scaling up of product- and process mitigation strategies in order to reduce microplastics emissions. Increased understanding of health effects of microplastics;
3. Deploy measurement tools to assess the quality of plastics during processing and recycling, using viscosity, chemical and mechanical characterization tools. Implement predictive tools to predict the quality of plastics after processing and in use to improve the economic value of the plastics.

The relevance of TNO activities on Circular Plastics for Dutch and European policy is at least threefold: 1) our systemic models provide insights in effective policy measures to increase circularity (in cooperation with PBL); 2) our research on health effects of microplastics and mitigation strategies with respect to material design and recycling technologies can be used to

develop guidelines for use and recycling of plastic products (in cooperation with RIVM); 3) our development of knowledge on and prototypes for use of recycled plastics in circular packaging is coordinated with the Program Monitoring and Steering Circular Economy / Product Group Analysis approach and can be used as a basis for policy measures, design guidelines and waste management (e.g. sorting) protocols. The research that TNO is conducting in these areas serves a societal need. Furthermore, TNO is developing different effective recycling technologies, to be implemented by industry. TNO should invest in these developments to cross the valley of death for innovations by reducing risks for the Dutch industry.

<b>Titel</b>	<b>VP Sustainable Chemical Industry (P603)</b>
MTIB Thema	Sluuteltechnologieën - Mission C / MMIP 6,7,8 / Mission CE
Contactpersonen TNO	Esther van den Beuken (market manager Circular Carbon), Richard Braal (Division director Industry)
Contactpersoon Regievoerder	Topsector Chemie: Jacqueline Vaessen
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>The drivers for the Sustainable Chemical Industry program are derived from the value chain drivers for the chemical industry and align with the ambitions of the Topsector Chemie. The program focuses on developing technology through demand-driven Public Private Partnerships (PPPs) embedded in specific regional and national ecosystems, with international collaborations. This program is organized in the PPP's Biorizon and Brightlands Material Center, and includes the growing program line Photons-2-Chemicals.</p> <p><b>Brightlands Materials Center Sustainable Buildings</b></p> <p>BMC's Sustainable Buildings program focuses on the development and validation of innovative optical materials for sustainable buildings. These materials are either coatings or polymer films with specific solar control functionalities, which are applied in windows and building-integrated photovoltaics. Additionally, since 2024 the program focuses on re-use of old flat glass from windows and solar panels. To date, we have developed thermochromic coatings and films for the production of thermochromic solar control windows. They are transparent in the visible, and switch from a solar infrared light transmissive to a solar heat blocking state and vice versa. They are applied in windows for intermediate climates, and result in substantial reduction of energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and costs for heating and cooling of buildings. In 2025, we will produce 1m<sup>2</sup> demo-windows with thermochromic coatings and films, install them in test buildings for performance monitoring and carry out a life cycle assessment. Furthermore, the concept will be diversified to other matrix materials. In the field of re-use of old flat glass, we have performed an initial assessment of applicability of old window glass as substrate for functional coatings and films. First concepts for re-use of uncoated window glass were established at lab scale. In 2025, we will continue this and expand it towards coated and laminated window glass and old glass from solar panels. For laminated glass products, we will aim at establishing a proof of concept for an energy and cost efficient triggered release concept. In the field of BIPV, we designed a heat blocking coating for application on cover glass and established it on lab scale. Furthermore, non-sparkling color coated BIPV cover glass was established on lab scale. In 2025, we focus on further development and optimization of heat blocking coatings, integration of heat blocking functionality in polymer front sheets and scale up and performance monitoring of color coated BIPV panels.</p> <p><b>Brightlands Materials Center Sustainable Mobility</b></p> <p>BMC's Sustainable Mobility program focuses on development and implementation of circular and lightweight, structural thermoplastic composite (TPC) materials in the mobility sector. The ability to use these materials in a wider range of products and components will enable accelerating the energy transition by lowering fuel consumption and extending range of electric vehicles, resulting in reduction of CO<sub>2</sub> emissions. Development of recycling technologies for these materials further supports the sustainability transition. In 2023 and 2024, we have shown the applicability of the thermoplastic composites recycling technology for different waste types, including different polymers and different types of reinforcing fibers such as natural fibers, carbon fibers, and reclaimed fibers from thermoset composite waste. We have also improved the quality of the recycled granulate, allowing application in a wider range of manufacturing processes and ensuring higher product performance in application. We have validated the performance of recycled TPC in a number of applications. In 2025, we will work on scaling-up and automating the process to make it more robust and validating the recycled TPC in a number of industrial use cases. We also work together with different industrial partners to develop materials and processing technology for continuous fiber additive manufacturing for e-mobility and aeronautic products, and validate use case demonstrator products for these sectors.</p>	



**Biorizon**

Biorizon, and specifically the Horizon 2 program line (Biorizon H2), holds a robust global IP position along with unique know-how and research facilities, all supporting biobased chemicals technology platforms, that offers manifold opportunities to access biobased chemical products. This enables cross-sectoral value chains, boosting revenues for biorefineries, and provides sustainable building blocks for the chemical industry, promoting applications for a circular society.

For 2025, Biorizon H2 aims to realize infrastructure to accelerate the development and scale-up of bio-aromatic building blocks and Dutch biobased developments in general. Within Furan's Technology, the focus is on facilitating the demonstration of localized furfural production and further scaling up and process development towards three key targets: bio-maleic anhydride, bio-adipic acid, and biobased surfactants. Within Bio-Aromatics the aim is to facilitate the scale-up and further development of safe and sustainable plasticizers and polyols for e.g. textile and composite applications. Additionally, a key Diels-Alder reaction for the production of bio-phenol will be validated.

**Photons-2-Chemicals**

The photons-2-chemicals program focuses on use of (sun)light as sustainable energy source for the production of chemicals and fuels. Currently, it consists of two research lines: (1) the production of chemicals and fuels using CO<sub>2</sub> as carbon source (gas phase reactions at solid catalysts) and (2) the production of fine chemicals (liquid phase reactions using molecular catalysts). To date, we have developed catalysts for the (sun)light-powered conversion of CO<sub>2</sub> to CO, CH<sub>3</sub>OH and CH<sub>4</sub>. We have demonstrated the corresponding chemical conversions in batch and continuous flow processes from lab to small pilot scale. The first real-life outdoor demonstrator for CO and CH<sub>4</sub> production using natural sunlight as energy source, combined with artificial LED lighting for (semi-)continuous processing, has been achieved in 2024. Based on the performance of this outdoor demonstrator, catalyst, reactor and other process components will be further optimized in the coming years. Furthermore, alternative (lighting) technologies for processing in absence of sunlight are currently evaluated based on energy efficiency and cost price. The developed catalysts for CH<sub>3</sub>OH production will be further optimized. Additionally, the feasibility of novel (sun)light-powered processes will be assessed e.g., production of chemicals with more than 1 carbon atom and dry reforming of methane. For photochemical production of fine chemicals, we validated combinations of available transparent flow reactors and LED light sources for development of integrated photochemical set-ups. Based on the results from this study, we designed a tailored system comprising an LED light source, a transparent flow reactor and sensors for process monitoring, which will be realized in 2024-2025.

Titel	VP Industrial Electrification and CCU (P616)
MTIB Thema	Sleuteltechnologieën / Chemie
Contactpersonen TNO	Martijn de Graaff, Stephan Janbroers
Contactpersoon Regie-voerder	Topsector Chemie: Jacqueline Vaessen
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>The increasing amounts of renewable wind and solar derived electrical energy offer great opportunities for the industrial production of green hydrogen and the conversion of renewable raw materials (e.g. biomass, CO<sub>2</sub>) to added value chemicals and fuels. This program aims at the development and piloting of disruptive Industrial Electrification and CCU technologies, and associated value chains and business models. The focus of the program is on the unique combination of industrial electrification (Power-2-X) with carbon capture and utilization (CCU) employing predominantly renewable feedstock (biobased and CO<sub>2</sub>) and renewable electricity as energy supply.</p> <p>In 2025, we will continue further developing the proof-of-principles and proof-of-concepts towards higher TRL and market maturity together with regional, national and international stakeholders from industry and government. Focus of the activities in 2025 and the expected results will be:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Value chain development for fuels, fertilizers and materials</i>: Whitepaper on Next Generation Power-2-X and standard approach for multi-variable analysis, coupling into existing knowledge and methodologies (TEA, LCA, etc), first value chain integration experience;</li> <li>2. <i>Electrosynthesis of high-value chemicals using biobased feedstock</i>: Operational experience with PERFORM, and KPI's and development plan established for multi-year electrochemical biobased feedstock conversion scale-up (delayed from 2024);</li> <li>3. <i>Integrated CO<sub>2</sub> capture and electrochemical CO<sub>2</sub> conversion</i>: Long-term testing (&gt;1000 hours) of electrochemical CO<sub>2</sub> to Formic Acid technology under relevant industrial conditions at &gt; 500 cm<sup>2</sup> scale (delayed from 2024);</li> <li>4. <i>High temperature electrolysis of CO<sub>2</sub> and Water (Solid Oxide Electrolysis)</i>: Scale-up approach defined for Solid Oxide Electrolyzers and first experimental results in co-electrolysis mode (CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O) based on steam electrolysis experience;</li> <li>5. <i>Electrolyzer industrialization</i>: First test results components and manufacturing approaches for low temperature electrochemical CO<sub>2</sub> conversion cells;</li> <li>6. <i>Plasma synthesis technology</i>: Two new patents for using arc, spark or microwave technology in plasma synthesis and at least one economically viable route to ethylene identified.</li> </ol> <p>Furthermore, we continue our support of the Fieldlab Industrial Electrification (Rotterdam Harbor Industrial Complex) and collaborate closely with Brightsite (Geleen-Chemelot). In these regional testing facilities the developments from this program, amongst others, can be further piloted and brought towards demonstration together with industry and public stakeholders. Through this approach we aim to accelerate the development and implementation of the technologies, so that our contribution to the 2030 and 2050 climate targets is maximized.</p>	

Titel	Vorming NMO (P330) – nieuw VP
MTIB Thema	Klimaat en Energie
Contactpersonen TNO	Tirza van Daalen (Directeur Divisie GSN), Michiel van der Meulen (VPM)
Contactpersoon Regie-voerder	Joost Nuijten, Stijn Bouwhuis
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>In samenhang met recente geopolitieke ontwikkelingen is er in Europa grote aandacht ontstaan voor strategische autonomie en daarmee samenhangende leveringszekerheid van kritieke grondstoffen. In Nederland heeft dat geleid tot de Nationale Grondstoffenstrategie (NGS) en Europees tot het ontwikkelen van de CRM Act. Daarnaast is het Nationale Programma Circulaire Economie (NPCE) in ontwikkeling waarin doelen m.b.t. leveringszekerheid tot op heden niet zijn vastgesteld.</p> <p>Een van de lopende onderzoeken betreft een coördinerend, adviserend en monitorend “observatorium” dat zich bezighoudt met de eisen en vraagstukken die voortkomen uit de NGS en CRM Act. Het Nederlands Materialen Observatorium (NMO) initiatief is voorzien om ingebed te worden in de Geologische Dienst Nederland (onderdeel van TNO). De gedachtevorming en onderzoek rondom de implicaties, benodigdheden, en voorwaarden van een observatorium zijn nog in volle gang, alsmede de gesprekken met bedrijfsleven, overheid en andere nationale en Europese stakeholders.</p> <p>Het NMO zoals voorzien verzamelt, beheert en levert in opdracht van de Nederlandse overheid gegevens, informatie en kennis over primaire- en secundaire (kritieke) grondstoffen, inclusief, leveringszekerheid en strategische autonomie, om beleidsmakers en bedrijven in staat te stellen (beter) in te spelen op risico's met betrekking tot grondstofschaarste in Nederland en de EU. Het NMO functioneert als eerste aanspreekpunt in tijden van materialencrisis. De voorziene scope van een NMO is:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Het verstrekken van gegevens en informatie over (primaire en secundaire) grondstoffen binnen het Koninkrijk der Nederlanden;</li> <li>• Inzicht bieden in het gebruik van mineralen en andere (kritieke) grondstoffen (CRM) in Nederland;</li> <li>• Inzicht bieden in toeleveringsketens voor kritieke grondstoffen;</li> <li>• Inzicht bieden in het huidige en toekomstige aanbod van secundaire materialen in Nederland en de effecten van circulair beleid op vraag en aanbod van materialen;</li> <li>• Beoordelen van de toeleveringsrisico's en handelingsperspectief voor overheidsinstanties;</li> <li>• Beoordelen en inspelen op technologische innovaties die relevant zijn voor de vraag naar en levering van (primaire en secundaire) grondstoffen;</li> <li>• Beoordelen van de Environment Social Governance (ESG) aspecten van de levering van materialen aan de EU-economie.</li> </ul> <p>Binnen dit VP loopt 1 programma dat is onderverdeeld in 4 programmalijnen:</p> <p><b>Programmalijn 1 Organisatie en Netwerk:</b>  Het doel van deze programmalijn is het ontwikkelen van de NMO organisatiestructuur. Hierbij gaat het zowel om de externe positionering als om de ontwikkeling van de NMO organisatiestructuur zelf.</p> <p><b>Beoogde resultaten 2025</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Operationeel programmamanagement en communicatie activiteiten.</li> <li>• Institutionalisering NMO.</li> <li>• Ontwerpen en uitvoeren van gewenste publieke interactie, het verder positioneren van het NMO in de relevante EU/NL gremia, het verder vaststellen en verkennen van haar adviserende functie vanuit de overheid, en het vormgeven van de interactie met bedrijfsleven.</li> <li>• Bepalen samenwerking met andere partijen.</li> </ul> <p><b>Programmalijn 2 Monitoring van de waardeketen:</b>  Het doel van deze programmalijn is om inzicht te verschaffen in de kwetsbaarheid van toeleveringsketens, om methodologieën te ontwikkelen om dergelijke inzichten te verkrijgen en om het bredere publiek, beleidsmakers en (indirect) de politiek te informeren over deze kwetsbaarheden.</p> <p><b>Beoogde resultaten 2025</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwikkeling van een set adequate instrumenten en methodologieën op basis van CRMA-eisen (voorraadvorming, stresstests van waardeketens).</li> </ul>	

- Ontwikkeling van adequate methodologieën (en onderliggende gegevens) voor inzichten in en beoordelingen van de toeleveringsketen, inclusief risicobeoordelingen en beoordelingen van gevolgen voor het algemeen belang.
- Technologie en innovatie trendwatching en daaropvolgende deep dives voor geselecteerde technologieën.
- Inzicht verschaffen in het (Nederlandse) potentieel van toelevering uit secundaire bronnen en van mitigatie van toelevering door 'circulaire' initiatieven (zoals levensduurverlenging van assets).

#### Programmalijn 3 Voorkomen en expertise minerale hulpbronnen:

Het doel van deze programmalijn is het beschikbaar hebben van informatie over de mineraalvoorkomens en het grondstof-potentieel in Nederland en om te helpen bij het onderzoek naar alternatieve bronnen van grondstoffen die van belang zijn voor de Nederlandse economie en samenleving.

#### *Beoogde resultaten 2025*

- Een aanvang voor een nationaal exploratieprogramma om potentiële bronnen van (Kritieke) Grondstoffen te identificeren
- Het ontwikkelen van een methodiek ter ondersteuning van geologisch onderzoek naar een bepaalde grondstof, grondstoffengroep of regio.

#### Programmalijn 4 Data- en informatie-infrastructuur:

Het doel van deze programmalijn is het ontwerp en de (technische) ontwikkeling van het deel van het NMO dat data verzamelt, QC toepast op de data, data beheert, de data kan analyseren, en informatie & kennis levert aan belanghebbenden ter ondersteuning van hun processen met betrekking tot grondstoffen, bijvoorbeeld via een website-portaal.

#### *Beoogde resultaten 2025*

- Het verder ontwikkelen van de verwachtingen door de stakeholders van het NMO met betrekking tot de data en informatie. Dit vereist informatie over de belanghebbenden, de vereiste gegevens en informatie en interactiemiddelen.
- Definitie van de gegevens die nodig zijn om aan de behoeften te voldoen, inclusief de gegevens die door het project in programmalijn 2 en 3 zijn gecreëerd.
- Een architectonisch ontwerp van de data- en informatie-infrastructuur.
- Implementatie van een eerste versie van een informatiesysteem als onderdeel van het NMO.

<b>Titel</b>	<b>VP Smart and Sustainable Mobility (P407)</b>
MTIB Thema	Mobiliteit / Missie D+ (MMIP 9 & 10; deel-KIA Toekomstbestendige Mobiliteitssystemen)
Contactpersonen TNO (DS en VPM)	Arjen Adriaanse (Director of Science & Technology); Marika Hoedemaeker (VP-manager)
Contactpersoon Regie-voerder	Topsector HTSM: Leo Warmerdam; Topsector Logistiek: Niels Agatz; Topsector Water & Marietiem: Bas Buchner; Ministry of IenW: Michel Duinmayer (IenW-DGMO/Unit Strategie) and Marieke Smit (IenW-DGMO/Unit Strategie); Ministry of VRO (formerly BZK): Arie Versluis (PDGRO/Geobeleid Kennis en Data) en Ellen Driessen (kenniscoördinator bij VRO)
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>The demand-driven programme, Smart and Sustainable Mobility, is dedicated to advancing knowledge and innovation in smart solutions for both technology and policy. Its primary goal is to enhance the safety, sustainability, and efficiency of the mobility and logistics sector. This involves the significant challenge of increasing road safety and improving the efficiency of mobility and logistics while simultaneously ensuring environmental sustainability. The aim is to achieve very low to zero emissions, powered by renewable energy. Research and development are conducted at three system levels: the vehicle, the traffic and transport system, and mobility within the broader social system context.</p> <p>Looking ahead to 2025, the programme has set several key goals on the topic of <b>Liveable and resilient cities and regions</b>. One of the main objectives is to enhance the destination choice modelling in our macroscopic strategic transport models, which will support studies into suitable new housing locations. Additionally, the programme aims to demonstrate the capabilities of the Large Scale Micro Simulator, which can model trips and traffic in large urban or regional networks in detail, through a first use case.</p> <p>In terms of resilience, the programme will investigate the types of disruptions relevant to the mobility and spatial system, assessing the probability of their occurrence and their expected effects on traffic efficiency and safety. Furthermore, the role of narratives in policy making will be explored to facilitate the transition to sustainable, equitable, less space-consuming, and resilient cities and regions. This includes visualizing the interlinked impacts within the mobility, spatial, and energy systems and identifying suitable approaches for balancing or weighing indicators from various dimensions of welfare and well-being.</p> <p>Lastly, the programme will develop a position paper on the use of AI in predictive and prescriptive traffic and transport models, highlighting the potential of AI to revolutionize traffic management and optimization.</p> <p>In the realm of <b>Smart and Efficient Mobility</b>, our vision for 2025 includes several key advancements. We are focusing on the development and implementation of automated transport technology in logistics. This journey begins with (semi-)closed yards and progresses to automated road transport between hubs. Our primary goals here are to enhance efficiency and reduce operational costs, ensuring the success of these innovations. Additionally, we are committed to advancing the safety aspects of automated driving, with a particular emphasis on communication with the environment and comprehensive safety assessments. We are also developing data-driven autonomous planning algorithms for asset sharing within connected logistics networks and scaling innovative organizational logistics concepts.</p> <p>Turning to <b>Sustainable Mobility</b>, our efforts are centred on optimizing battery utilization, emissions and hydrogen. Regarding battery behaviour understanding the fundamentals is crucial, and we are continually striving to deepen our knowledge of battery fundamentals. This allows us to model, monitor, and predict battery performance over its lifetime. By 2025, TNO aims to combine a battery aging digital twin with a charge time estimation digital twin and demonstrate this technology on a real heavy-duty electric vehicle. Furthermore, building on TNO’s expertise in measuring tailpipe emissions, we aim to establish an international knowledge position regarding brake wear and tire wear emissions. We also plan to bring the health impacts of these non-tailpipe emissions to the attention of policymakers. On hydrogen we are working on two main topics. The four-year Green Transport Delta project on hydrogen which will conclude in 2025, focusing on product innovation in hydrogen combustion engines and fuel cells for trucks, buses, inland vessels, and non-road mobile machinery. And secondly we aim to realize a heavy-duty hydrogen combustion engine with direct injection, capable of meeting a targeted load range of over 20 bar BMEP (Brake Mean Effective Pressure), competitive with current diesel engines.</p>	

In the area of **Safe and Sustainable Maritime and Offshore**, we are working towards five key results to guide the maritime energy transition and validate sustainable technologies. These include developing a supply chain model for alternative energy carriers, with a particular focus on sustainable methanol, and standardizing onboard NOx and methane slip (CH4) measurements. We are also creating a base model for energy management of future powertrains. We will be conducting mono-cylinder tests with alternative fuels to determine emissions, and we will be working on further integrating carbon capture and NOx aftertreatment systems.

Titel	VP Duurzaam Bouwen (P502)
MTIB Thema	Klimaat en Energie
Contactpersonen TNO	Arjen Adriaanse (DM) en IJsbrand van Straalen (VPM)
Contactpersoon Regie-voerder	Programmacommissie Deltatechnologie (PCDT), Thematisch overleg via het Afsprakenkader TNO-RWS-IenW, Jelle Bluemink en Hans Weijers (VRO), Bart Brink (TKI Bouw & Techniek), David van der Woude (KGG), Debby Joosen (KGG), Hester Dijkstra (KGG), Laurens Oei (KGG), Josephine Ris (KGG), Veerle Heijnen (KGG), Sabine Jansen (VRO), Marjolein van Splunder (EZK), Guus Mulder en Robert Jan van Egmond (TKI Urban Energy), Robin Quax (TKI Urban Energy) Hans van der Weijde (TKI HTSM, M2i), Bas Buchner (TKI Maritiem) en Bob Meijer (TKI Offshore Energy)
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>VP Duurzaam Bouwen richt zich op het optimaal verduurzamen van de gebouwde omgeving en van maritieme en offshore constructies. Dit betreft met name windturbines op zee, bruggen, viaducten, gebouwen en schepen. Maatschappelijk relevante thema's zijn daarbij CO<sub>2</sub>-reductie, verminderen van de gasafhankelijkheid, betaalbaarheid, circulariteit, veiligheid, (voorspelbaarheid van) onderhoud en vervanging en digitalisering. VP Duurzaam Bouwen bestaat uit vier deelprogramma's: <u>Infrastructuur</u>, <u>Bouwinnovatie</u>, <u>Energie in de gebouwde omgeving</u>, en <u>Maritieme en offshore constructies</u>.</p>	
<p><u>Infrastructuur</u></p>	
<p>Doel van deelprogramma Infrastructuur is het optimaliseren van het beheer van de verouderende infrastructuur door levensduurverlenging, reductie van risico's, hogere beschikbaarheid, beperking van stijging in kosten en duurzaam materiaalgebruik. De kennis die TNO hiervoor ontwikkelt zorgt ervoor dat assetmanagers in 2025 de beschikking krijgen over modellen en ontwerp- en beoordelingskaders voor wegen van circulaire en milieuvriendelijke materialen en voor diverse constructies (nieuw en bestaand, beton en staal, droog en nat).</p>	
<p>Het onderzoek op het gebied van infrastructuur wordt uitgevoerd binnen vier thema's: 1) veilige, beschikbare en betaalbare bestaande infrastructuur, 2) data-gedreven beheer en onderhoud, 3) verduurzamen van de infrastructuur en 4) klimaatadaptieve infrastructuur (resilience). De onderzoeken binnen de vier thema's leiden in 2025 tot een kwantificering van het effect van additionele meetgegevens voor de betrouwbaarheid van onze modellen. Daarnaast worden de veiligheidseisen voor (weg)constructies van circulaire materialen en constructies met hergebruikte elementen vormgegeven en worden de eisen aan klimaatadaptatie voor transportnetwerken nader gedefinieerd.</p>	
<p><u>Bouwinnovatie</u></p>	
<p>Doel van het deelprogramma Bouwinnovatie is de circulaire bouweconomie te versnellen door innovaties te ontwikkelen voor bouwproducten, bouwelementen en gebouwen op basis van een integrale multicriteria aanpak gericht op veiligheid, duurzaamheid, betaalbaarheid en grootschalige toepassing hiervan in de woning- en utiliteitsbouw.</p>	
<p>Bij de kennisontwikkeling staan centraal: levensduurverlenging, beoordeling van constructieve veiligheid voor externe invloeden (gebruik, klimaat, aardbevingen en bodemdaling), nieuwe bouwmaterialen en hernieuwbare grondstoffen en industrialisatie, standaardisering en digitalisering van het bouwproces.</p>	
<p>In 2025 wordt een opzet ontwikkeld voor een nieuwe beoordelingssystematiek om de constructieve veiligheid van bestaande constructies snel en eenduidig vast te stellen om onnodige afkeur te voorkomen. Het meerjarig onderzoek naar predictive twinning voor het signaleren en voorspellen van afwijkingen in het presteren van luchtbehandelingssystemen wordt voortgezet; de in 2024 ontwikkelde demonstrator wordt in praktijktests bij tenminste één ziekenhuis getoetst. Aangaande beton lag afgelopen jaren de focus hier sterk op het vervangen van cement. In 2025 en de jaren daarna zal de focus verschuiven naar hergebruik van betonnen elementen en materialen, en het verlengen van de levensduur. Aangaande biobased materialen worden in 2025 beoordelingstechnieken ontwikkeld voor hergebruik van hout in constructies en toepassing van biobased isolatiematerialen in de praktijk.</p>	
<p><u>Energie in de gebouwde omgeving</u></p>	
<p>Doel van deelprogramma Energie in de gebouwde omgeving is een energiepositieve gebouwde omgeving in 2050. Hierbij richt TNO zich op het ontwikkelen van kennis en innovaties die in de praktijk leiden tot <i>snellere, betere, slimmere, en betaalbare</i> verduurzaming van woningen en utiliteitsgebouwen, waarbij de gebruiker centraal staat.</p>	

Gericht op integrale systeemoplossingen zetten we in 2025 de ontwikkeling van integrale energieconcepten door, onder andere rondom (hybride) warmtepompen, een zonactieve gebouwschil en de verduurzaming van warm tapwater. Ook ontwikkelen we in 2025 een duurzaam afwegingskader voor integrale oplossingen.

Om te kunnen sturen op werkelijke prestaties ontwikkelingen wij in 2025 uurlijkse rekenmodellen ter beoordeling van prestaties en ter benutting van flexpotentieel van gebouwen. Ook wordt een start gemaakt met onderzoek naar klimaatadaptatie en wordt een methodiek om de interactie tussen eindgebruikers en innovaties op te halen en te verbeteren toegepast en geoptimaliseerd.

Om energienetwerken robuster en duurzamer te krijgen richten wij ons op de ontwikkeling en demonstratie van verschillende energiemanagementsystemen (gebaseerd op 'model predictive controllers') voor energieflexibilisering voor woningbouw (HEMS) en utiliteitsgebouwen (BEMS).

Om gebouwverduurzaming te versnellen wordt de tool voor gebouwclustering doorontwikkeld en wordt de contingentenaanpak (zowel de aanbod- als de vraagzijde) gevalideerd in de praktijk. In samenwerking met de installatiebranche wordt verder gewerkt aan de versnelling en versimpeling van het installatieproces voor warmtepompinstallaties.

#### Maritieme en offshore constructies

Ten slotte is de ambitie van het deelprogramma Maritieme en offshore constructies om veilige, duurzame, betrouwbare en kosteneffectieve scheeps- en offshore constructies mogelijk te maken. Dit geldt zowel voor nieuwe als bestaande drijvende constructies, waarbij de bestaande grenzen worden verlegd en de systemen aangepast worden voor nieuwe omstandigheden en extreme condities. TNO richt zich daarbij op drie thema's, op basis van de sector strategie (o.a. 'Sectoragenda Maritieme Maakindustrie', 'Roadmap Duurzame Energiedragers voor de Scheepvaart'), waarin voor 2025 de volgende resultaten worden beoogd.

Thema 1: Ontwikkelen en demonstreren van een veiligheidsmethodiek voor de introductie van alternatieve energiedragers (zoals waterstof, methanol, ammoniak, batterijen, nucleair) op basis van equivalente veiligheid. Op basis van de sector strategie staan in 2025 demonstraties van ongeval scenario's, de waarschijnlijkheid van optreden, en de consequenties centraal. Hieruit volgen in 2025 de eerste blauwdrukken voor algemene toepassing en acceptatie van alternatieve ontwerpen. In 2025 ligt de focus op het inventariseren van 'Materials under Extreme Conditions' (MEC) faciliteiten, en een first concept voor digitalisering via AI en machine learning tools voor snelle en betrouwbare integratie tussen praktijkdata, labdata, en modellering. Binnen dit thema wordt nauw samengewerkt met het VP P407 (Sustainable Mobility – Thema Green Maritime Performance).

Thema 2: Verminderen, hergebruiken en recyclen, combineert veiligheid, kostenreductie en emissiereductie. De lange termijn noodzaak voor circulariteit vanuit de sectorstrategie, en deelname in Groeifonds project "[groeien met groen staal](#)" is een belangrijke aanleiding om dit thema apart te noemen. In 2025 selecteert TNO toepassingen en modellen voor de materiaaleigenschappen en samenstelling van hergebruikt en gerecycled staal in maritieme en offshore constructies.

Thema 3: Het verlengen van de levensduur van maritieme en offshore constructies met gegeneraliseerde en gevalideerde modellen voor zowel constructies van staal en van composiet. In 2025 is het doel om een *proof-of-concept* door te ontwikkelen van een model dat met probabilistische aanpak en monitoringsdata de levensduur kan voorspellen van een composieten windturbineblad. Dit gebeurt op basis van coupontesten op lijmverbindingen en delaminaties en het effect hiervan op de globale levensduur. Verder worden in 2025 de bestaande modellen voor de levensduurvoorspelling van staal uitgebreid, o.a. door deze te valideren voor lasverbindingen. Binnen dit thema wordt nauw samengewerkt met VP P321 (Renewable Electricity).



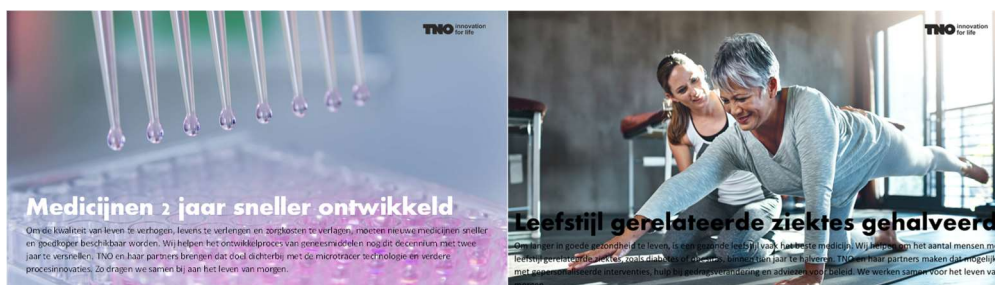
Titel	VP Future of Work (P204)
MTIB Thema	Gezondheid en Zorg
Contactpersonen TNO	Seth van den Bossche (VPM), Sandra Eikhout (DM)
Contactpersoon Regievoerder	Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid: Fleur Clemens - Ministerie van Economische Zaken & Klimaat: Joren Schep* (tot q4 2024) - Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn & Sport: Joline van de Rijt, Kallista de Graaf - Topsector HTSM/Nanotech: Ronny van 't Oever
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>Het Vraaggestuurde Programma Work &amp; Youth Health richt zich op het maatschappelijk thema Gezondheid en Zorg en het thema Human Capital van het <a href="#">Missiegedreven Topsectoren- en Innovatiebeleid</a>. Het programma omvat twee hoofdlijnen: <i>Future of Work</i> en <i>Youth Health</i>.</p> <p>Het programma draagt direct bij aan de centrale missie van het maatschappelijk thema Gezondheid en Zorg <i>"In 2040 leven alle mensen in Nederland tenminste vijf jaar langer in goede gezondheid, en zijn de gezondheidsverschillen tussen de laagste en hoogste sociaal-economische groepen met 30% afgenomen"</i>. Ook dragen we bij aan missie I <i>"In 2040 is de ziektelast als gevolg van een ongezonde leefstijl en een ongezonde leefomgeving met 30% afgenomen"</i> en de aanpalende Human Capital Agenda voor de Gezondheid en Zorg Kennis- en Innovatieagenda 2024-2027. Onze focus ligt hierbij op innovaties (in preventie) voor een gezonde werkomgeving, respectievelijk op gezond, veilig en kansrijk opgroeien. Het deelprogramma <i>Future of Work</i> draagt tevens bij aan de Human Capital onderdelen van het Kennis- en Innovatieconvenant 2024-2027 (actielijnen responsieve arbeidsmarkt), alsook het Aanvalsplan Arbeidsmarktkrapte Techniek, Bouw en Energie én het Actieplan Groene en digitale banen. Hierbij ligt de focus op innovaties die arbeidsmarktkrapte en -mismatch verkleinen en de productiviteit van werkorganisaties vergroten.</p> <p><i>Future of Work-Toekomstbestendig werk</i></p> <p>Het deelprogramma <i>Toekomstbestendig werk</i> omvat innovaties voor een gezonde en productieve werkomgeving en een toekomstbestendige arbeidsmarkt. Een wendbare arbeidsmarkt met een hoge kwaliteit van werk leidt tot meer brede welvaart, maar is bovendien noodzakelijk om grote maatschappelijke transities (energie, klimaat, digitalisering, gezondheid etc.) mogelijk te maken. De doelgroep van het deelprogramma omvat de (potentiële) beroepsbevolking, werkgevers, overheid en HR/OSH-professionals. Kennisontwikkeling vindt plaats langs de volgende lijnen: Inclusive work, Labor market innovation, Smart work, Occupational exposome, Occupational safety innovation, Safe chemical innovation, Monitoring &amp; forecasting, Work changes &amp; wellbeing en Healthy living environment. Afstemming over de programmering vindt plaats met het ministeries van SZW, het ministerie van EZK en de topsector HTSM.</p> <p>Kerdoelen en -resultaten 2025: in 2025 zullen verschillende schaalbare aanpakken voor arbeidsmarktkrapte ontwikkeld worden. Samen met de Europese Commissie (DG RTD) zal een Europees platform voor Industry 5.0 concepten worden opgezet. Daarnaast versterken we de inzet op AI-adoptie, productiviteitsverhoging en Safe &amp; Sustainable by Design toepassingen.</p> <p><i>Youth Health-Jeugd: gezond, veilig en kansrijk opgroeien</i></p> <p>Het deelprogramma <i>Jeugd: gezond, veilig en kansrijk opgroeien</i> richt zich op kinderen en jongeren vanaf preconceptieperiode tot jong volwassene met als doel dat ieder kind zo goed mogelijk kan participeren in de maatschappij. Specifieke aandacht gaat uit naar het bereiken van kwetsbare gezinnen. Kennisontwikkeling vindt plaats via de volgende lijnen: integrale aanpak 1<sup>e</sup> 1000 dagen, preventie en jeugdhulp op maat, samenwerking &amp; implementatie. Afstemming vindt plaats met het ministeries van VWS.</p> <p>Kerdoelen en -resultaten 2025: 1) implementatie en opschaling van het gebruik van de D-score op individueel niveau door de Jeugdgezondheidszorg en 2) doorontwikkeling I-JGZ platform en 3) opzetten van duurzame leernetwerken en ontwikkelen van strategieën om innovaties te implementeren binnen regionale werkplaats SAMEN, geheel in lijn met de Hervormingsagenda Jeugd en Kwaliteit en Blijvend Leren netwerk.</p>	

<b>Titel</b>	<b>VP Biomedical and Digital Health (P203)</b>
MTIB Thema	Gezondheid en Zorg
Contactpersonen TNO	Jasper Kieboom (VPM), Sandra Eikhout (DM)
Contactpersoon Regie-voerder	Nico van Meeteren (Topsector LSH)

**Programma jaar 2025 - Samenvatting**

The research program Biomedical and Digital Health supports the mission driven innovation approach of the Dutch Ministry of Health, Wellbeing and Sports ('VWS'). It supports **the central mission: aiming for Dutch citizens living 5 years longer in good health and reducing the health differences between the higher and lower social classes**. TNO research contributes to **reducing health issues that are the consequence of an unhealthy lifestyle or exposure to unhealthy environment (mission I)**. Our research will also **contribute to preventing chronic diseases and increase the proportion of people with a chronic illness or lifelong disability that can participate in society as desired (mission III)**.

We do this by reducing the risk of disease development (prevention) and by helping to manage disease by developing ground-breaking technologies and approaches such as lifestyle interventions, digital health technologies and drug development. The research program Biomedical and Digital Health significantly contributes to the two moonshots of TNO illustrated below:



To help achieve the moonshots, newly developed technologies and knowledge will be implemented in the context of the quadruple helix that includes collaborations with other research programs, academic and industrial partners, health professionals in field labs, healthcare insurance companies, governmental and local policy makers, and citizens to provide systems solutions. The research is conducted used through public-private consortia and projects with industry (e.g. in services for industry and growth fund ('Groefonds') projects).

To contribute to above missions and moonshots some examples of short-term results for 2025 are:

- Investigate gender-related health issues, specifically those associated with muscle health and post-menopausal complications, such as insulin resistance and steatotic liver disease, and endometriosis, with the aim to subtype degrees of susceptibility and provide rationales for development of therapeutic or preventive interventions.
- Further development of use-cases for highly sensitive and specific metabolic flux analyses in humans, using accelerated mass spectrometry technology, focusing on disease subtyping, diagnostics and therapeutic efficacy studies. This will allow further understanding of interindividual differences in disease development, progression and treatment response, which is relevant for differentiating between low-risk and at-risk individuals.
- Demo-case of relevance of timing of lifestyle interventions for improved health result in shift workers.
- Implement digital biomarkers in clinical trials and healthcare.
- Explore technical solutions to make individual health data reusable in a privacy-by-design way that is fully transparent to reduce the impact of cancer by supporting early diagnostics.
- Orchestrate innovation by supporting the implementation of frameworks for patient centric digital health trials.

Titel	VP Veilige Maatschappij (P102)
MTIB Thema	Veiligheid
Contactpersonen TNO	Gwen Jansen-Ferdinandus (VPM), Christa Hooijer (DS&T)
Contactpersoon Regie-voerder	Ron Hanoeman en Bas ter Luun, Directie Innovatie, Kennis en Strategie (Min JenV)
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>De veiligheid van de Nederlandse maatschappij staat onder druk van meerdere grote crises die met elkaar interacteren en elkaar versterken. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de onrust die ingrijpende klimaatmaatregelen met zich meebrengen, de polarisatie van de samenleving, de druk op de arbeidsmarkt en het hoge risico op verdere militaire escalatie binnen Europa. Om in deze <i>polycrisis</i> te acteren is samenwerking essentieel, zowel de samenwerking binnen de overheid (<i>whole of government</i>), maar ook tussen overheid en bedrijfsleven en overheid en burgers (<i>whole of society</i>)<sup>6</sup>. Deze samenwerking vereist nieuwe manieren van communicatie, informatiedeling, afstemming en besluitvorming en dit alles in de context van het dynamische speelveld van maatschappelijke en technologische ontwikkelingen.</p> <p>Binnen het Vraaggestuurd Programma Veilige Maatschappij (VPVM) ontwikkelt TNO nieuwe kennis, technologie en sociale innovaties voor onze partners in het veiligheidsdomein. Om impact te kunnen creëren is gekozen om het onderzoek te focussen op vier maatschappelijke opgaven waar de strategische samenwerkingsrelaties met onze partners en de kennisbasis van TNO het meeste waarde toevoegen. Deze opgaven zijn afgeleid van de opgaven beschreven in de Ontwikkelagenda bestuursdepartement Justitie en Veiligheid en de prioriteiten en actielijnen beschreven in verschillende strategieën waaronder de KIA Veiligheid, de Veiligheidsstrategie voor het Koninkrijk der Nederlanden en de Strategie ter bescherming Noordzee Infrastructuur. De opgaven zijn: 1) Digitale transformatie en veiligheid, 2) Georganiseerde, ondermijnende criminaliteit, 3) Nationale Veiligheid, en 4) Personeelsschaarste. Deze opgaven staan niet los van elkaar maar kennen een sterke verbondenheid in de onderliggende dynamieken en de daaruit voortvloeiende kennis- en innovatiebehoeften.</p> <p>De unieke kennisbasis van TNO is gefocust in proposities die in gezamenlijkheid met onze strategische partners worden opgesteld. De programmering van het VPVM draagt bij aan de proposities Weerbare samenleving, Slagvaardige besluitvorming en Effectieve autonome capaciteiten. Hieronder wordt een beknopt overzicht gegeven van hoe deze proposities bijdragen aan de maatschappelijke opgaven en worden enkele beoogde resultaten voor 2025 uitgelicht.</p> <p><i>Weerbare samenleving</i></p> <p>De weerbaarheid en veerkracht van de samenleving zijn belangrijke factoren in het beschermen van de nationale veiligheid en het bestrijden van georganiseerde, ondermijnende criminaliteit. De samenwerking tussen overheid, private organisaties en burgers is daarbij essentieel, dit wordt vaak beschreven als de <i>whole of society</i> aanpak. De lange termijn doelen vanuit VPVM om bij te dragen aan de weerbare samenleving zijn: 1) het uitwerken en operationaliseren van integrale <i>foresight</i> en <i>capability based planning</i> methodieken en tools om zicht te hebben en te houden op de dreigingen voor de samenleving en de gevolgen voor de benodigde capabilities van de veiligheidsorganisaties; 2) het ontwikkelen van <i>evidence-based</i> en data gedreven methoden en tools voor fenomeen- en risicoanalyses in ketenverband en het voorspellen van de effecten van beoogde interventies; en 3) het ontwerpen van innovatieve concepten om samenwerkingen binnen de context van de <i>whole of society</i> aanpak te faciliteren, hieronder valt het betrekken en mobiliseren van burgers, ad hoc en ketensamenwerkingen en civiel-militaire samenwerkingen. In 2025 worden hiertoe verschillende technologische en sociale innovaties ontwikkeld. Zo wordt in samenwerking met het DGPenV en de NCTV een AI-algoritme ontwikkeld op basis van <i>Large Language Model</i> technieken om ten tijde van een langdurige crisis sneller een meer omvattend beeld te vormen van de huidige situatie en van verschillende opties hoe die situatie zich verder kan ontwikkelen. Daarnaast wordt een serious game ontwikkeld om burgers</p>	

<sup>6</sup> Zie voor een toelichting Trendanalyse Nationale Veiligheid 2024 Hoofdrapport (ANV, 2024) en Verkenning naar het versterken

van maatschappelijke weerbaarheid en veerkracht in tijden van crises (NIPV, 2024).

te betrekken bij de *whole of society* aanpak. Tot slot wordt in samenwerking met de DGSenB en de Directie Innovatie, Kennis en Strategie van JenV een suite van innovatieve systeemanalyse methoden en visualisatie tools ontwikkeld waarmee beleidsmakers inzichten uit systeemmodellen kunnen vertalen naar beleidsafwegingen ten behoeve van *evidence-based* beleidsvoering.

#### *Slagvaardige besluitvorming*

De bijdrage van het VPVM aan deze propositie ligt in het versterken van het informatie gestuurd optreden van veiligheidsorganisaties door continu zicht te hebben op posities, capaciteiten, acties en mogelijke intenties van alle betrokken partijen ten behoeve van besluitvorming. Deze doelstelling draagt bij aan de maatschappelijke opgaven Nationale veiligheid en het bestrijden van Georganiseerde, ondermijnende criminaliteit en ook aan de Digitale transformatie en de aanpak van Personeelsschaarste. In 2025 wordt hiertoe onder andere samengewerkt met DJI, OM en de Douane. Zo wordt een proof-of-concept tool gevalideerd waarin AI en data-analyse technieken worden ingezet om de besluitvorming ten aanzien van verzoek, bezwaar of verlot binnen DJI te ondersteunen.

#### *Effectieve autonome capaciteiten*

Het VPVM draagt bij aan deze propositie door inzetconcepten te ontwikkelen voor autonome robotica die zowel de duurzame inzetbaarheid van personeel als de bestrijding van criminaliteit en het beschermen van de nationale veiligheid versterken. Hiertoe wordt onderzocht op welke manier robots kunnen worden ingezet voor veiligere, betekenisvollere en effectievere taakuitvoering. Dit onderzoek wordt uitgevoerd in samenwerking met politie, DJI, KMar en de Directie Innovatie Kennis en Strategie van JenV. In 2025 worden softwaremodules ontwikkeld om meerdere robots autonoom informatie te laten verzamelen in een nog onbekende en dynamische omgeving. Daarnaast wordt een publiek-privaat ecosysteem opgericht om de ontwikkeling van robotica oplossingen voor het veiligheidsdomein te versnellen.

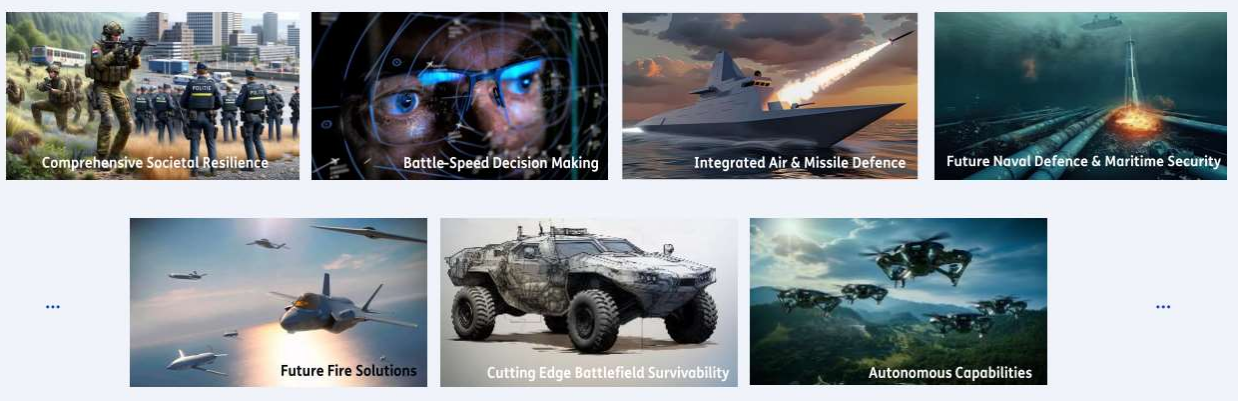
Titel	VP Kennisopbouw Politie (P106)
MTIB Thema	Veiligheid
Contactpersonen TNO	Gwen Jansen-Ferdinandus (VPM), Christa Hooijer (DS&T)
Contactpersoon Regievoerder	Kirsten Hehemann & Sven Hamelink (Politie)
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>Het Vraaggestuurd Programma Kennisopbouw Politie (VP KOP) heeft als doel om met behulp van kennis en innovatie te zorgen dat de politie haar taken effectief kan blijven uitvoeren zowel op de korte als de lange termijn. Door kennis op te bouwen over relevante trends en ontwikkelingen kan de politie proactief gebruik maken van de nieuwste inzichten en (technologische) mogelijkheden. Op basis van het maatschappelijk thema Veiligheid uit het Missiegedreven Innovatiebeleid, de prioriteitsgebieden uit de Strategische agenda politie 2021-2025, de Science &amp; Technology agenda van de politie en voortbouwend op de kennis en ervaringen uit de eerdere kennisopbouw programmering is een meerjarige onderzoeksprogrammering opgezet voor 2022 t/m 2025. Deze programmering richt zich op vier kernprogramma's en een doorsnijdend technologie ontwikkelprogramma. De focus van deze programma's wordt per jaar aangescherpt op basis van de opgedane ervaringen en externe ontwikkelingen. Hieronder volgt een korte beschrijving van de programma's en enkele beoogde resultaten.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> <b>Politiewerk van de toekomst.</b> In dit kernprogramma wordt onderzocht hoe de politie haar taken adequaat uit kan blijven voeren in een omgeving die verandert als gevolg van maatschappelijke en technologische ontwikkelingen. In het onderzoek ligt de focus op de thema's: strategische personeelsplanning, continue vernieuwingen in de aanpak van ondermijning op basis van reflectie (i.e., double-loop leren), optreden in het digitale domein en de planning van toekomstbestendige politie vermogens. Concrete doelen in 2025 zijn o.a. het ontwikkelen van een analyseraamwerk waarmee de politie op basis van systeemdenken toekomstgerichte interventies kan formuleren met betrekking tot strategische personeelsplanning en het ontwikkelen van methodieken om double-loop leren te bevorderen. </li> <li> <b>Politiemedewerker van de toekomst.</b> In dit kernprogramma wordt onderzocht hoe de politiemedewerker continu en op maat kan blijven leren; weerbaar wordt en blijft voor veranderingen en hoge belasting; en adequaat uitgerust wordt voor het uitvoeren van zijn of haar taken. Concrete doelen in 2025 zijn o.a. het evalueren van de relatie tussen theoretisch leren en praktijkervaring en het ontwikkelen van een raamwerk om de impact van middelen en innovaties op het agentsysteem af te wegen. Daarnaast wordt onderzocht hoe VR-trainingsmiddelen meer op maat kunnen worden ingezet door het ontwikkelen van dashboards en adaptieve interventies. </li> <li> <b>Politiedata en intelligence.</b> In dit kernprogramma wordt onderzocht hoe de politie beter informatie-gestuurd kan werken en (zwakke) signalen uit data kan gebruiken om te anticiperen op opkomende fenomenen en crimineel gedrag. In 2025 worden verschillende prototypen die eerder in het programma zijn opgezet doorontwikkeld en geëvalueerd met beoogde eindgebruikers. Deze prototypen zijn gericht op het verbeteren van de samenwerking en het effectiever benutten van beschikbare data bij het maken van dreigingsinschattingen voor te beveiligen personen en het duiden van risico's uit open source data. Daarnaast wordt onderzocht hoe een semantisch model kan worden ontwikkeld en ingezet om verschillende databronnen binnen de politie op een betekenisvolle en geautomatiseerde manier aan elkaar te koppelen. </li> <li> <b>Techniek in de operatie:</b> In dit kernprogramma worden state-of-the-art detectie en analysetechnieken ontwikkeld om de operationele opsporingscapaciteiten van de politie te verhogen. Hiertoe wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van technologieën zoals ZERO-shot learning, no code AI en instant search om op verantwoorde wijze van losstaande heterogene databronnen tot actiegerichte informatie te komen. Daarnaast worden in 2025 counter drones technologieën ontwikkeld waaronder radio frequentie-detectiemethodes, selective jamming, en technologieën voor de bestrijding van 5G-bestuurde drones. </li> <li> <b>Technologie-ontwikkelprogramma.</b> In dit doorsnijdende programma wordt onderzocht wat specifieke technologische ontwikkelingen, namelijk robotica en privacy enhancing technologies (PETs) voor het werk van de politie kunnen betekenen. Concrete doelen in 2025 zijn het evalueren van nieuwe functionaliteiten ten behoeve van de autonome inzet van een robot in een forward-observer use case en het toetsen van PETs in een specifieke politie use case gericht op integriteitscontrole. </li> </ul>	

Titel	VP Radar and Sensor Systems (P104)
MTIB Thema	Veiligheid,
Contactpersonen TNO	Marcel van der Graaf (VPM), Christa Hooijer (Director S&T)
Contactpersoon Regie-voerder	A.P. Venema (Mindef/HDB), Leo Warmerdam, Lucas Roffel (HTSM)

**Programma jaar 2025 - Samenvatting**

The Netherlands must remain a secure and safe country for its citizens to work and live in. Developments like climate change, migration and changing geopolitics pose serious challenges to our society and to our defence and security organisations. It is the unfortunate fact that the best way to avoid a conflict is to prepare for it. P104 is an important element in the chain of measures to achieve this, through its research collaboration with our (strategic) partners and industry.

P104 is and has consistently been organized and executed to contribute to the security and safety of The Netherlands, the geopolitical context to this is changing drastically. Russian aggression brought war back into Europe after a long time of relative peace, and revealed vulnerabilities through extensive use of drones and the depletion of supply-chains; Fast evolution of threats requires the speed of innovation to increase rapidly; Territorial threats to the Baltic states and former Eastern Europe are renewed. A very different example of this changed landscape is formed by instabilities in the Middle East, showing threats of saturation attacks and naval use of drones as experienced in the Red Sea by the Royal Netherlands Navy. Investment in new defensive capabilities (or their renewal) is the daily news and industry is stepping up its R&D and production. Europe is taking action to become strategically less dependent, both economically and for its defence. Consequently we foresee an increasing and long-term demand for all innovations in P104, and maybe even an increase of the programme scope.



*The first seven propositions of TNO DSS towards the ministry of Defence and defence industry*

The Vraaggestuurd Programma (VP) P104 aims to bring Science and Innovation at the Frontline. We aim to maintain and further strengthen the global leadership and competitiveness of our national defence and security ecosystem in specific niches, through industrially relevant R&D with an emphasis on the speed of innovation. We predict and translate future operational capabilities into relevant R&D of advanced materials, crucial high-tech components, rugged subsystems and complex sensor and associated command & control (C2) systems, for our military to protect our territory and that of our allies. This is a combined effort executed in eco-systems, where e.g. TNO and industry work together with government as launching customer. Technological breakthroughs are pursued in areas that are strategically crucial to the Netherlands, where we have the right to play, where the knowledge cannot be obtained anywhere else, and/or where it leads to economic growth.

The Dutch policy based on the “Missiegedreven Topsectoren en Innovatiebeleid”, for P104 formed by the Topsector HTSM, the KIA Veiligheid and the KIA Sleuteltechnologieën, was unchanged in 2024, after a reformulation in 2023. The EDTIB expresses the need for European acquisition of military capabilities and the increased importance of research and development, and is now urgently adopted. In 2024, this EDTIB is being translated into an NLDTIB policy for The Netherlands, strengthening the industrial involvement and protecting the national industry. Together with our main stakeholder, TNO has translated this policy framework into TNO DSS’s research implementation according to Propositions, see the figure above. The VP already

contributes, next to research through other financing sources, to achieving the goals of these and this will be further strengthened over the duration of this multi-year plan.

The research will be performed in collaboration with industry whenever possible in a revolving set of roughly 40 projects within its eight constitutive themes: (1) Radar and integrated sensor suites; (2) Sensors for Space Domain Awareness; (3) Advanced Materials; (4) Smart Manning and Automation; (5) Collaborative Innovative UxVs; (6) Imaging systems for Defence; (7) Quantum Sensing and (8) Ocean Resiliency and Transparency. Another 40 projects are in various stages of acquisition.

The continuous R&D efforts in radar concepts, front-end technology and signal processing over the past decade has resulted in state-of-art industrial radar systems, such as the Thales APAR blk-2 and NS50 radar systems, currently being manufactured. Dutch radar systems are a major export success.

From 2025 onward, the now fully-granted NGF proposal POLARIS will serve as a long-term (8-year) civil-military collaboration in which medical, telecommunication and defence industries will join forces with their research partners in an effort to create a common (dual-use) technology basis on which Dutch high-value manufacturing industry can excel.

In 2025, we will continue to identify relevant eco-system and setting up public-private partnerships on the topic 'Advanced Materials for Defense', that was added to the portfolio in 2024.

Titel	VP Cyber Risk Management and System Resilience (P103)
MTIB Thema	Veiligheid
Contactpersonen TNO	Sjoerd-Jan Wiarda (VPM), Berry Vetjens, (DM)
Contactpersoon Regie-voerder	Lukas Roffel (HTSM/Security)
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p><i>Cybersecurity as a top priority</i></p> <p>Our society is digitizing at a rapid pace, as is our dependency on digital products, services and infrastructures. Unfortunately, the complexity of digital infrastructure, combined with a shortage of cybersecurity professionals, makes it hard to guard effectively against cyber incidents. Hostile states and criminal organizations have vast resources and advanced technical capabilities to compromise our digital systems. As a result, the <i>probability</i> of cyber incidents will increase, as well as the <i>impact</i>.</p> <p>In a bid to protect public values while ensuring long-term economic growth, Cybersecurity is now at the top of political agendas. However, faced with the threats described above, building a durable, cyber resilient society remains a formidable challenge.</p> <p><i>Ambition to guide industry and societal stakeholders towards a durable, cyber resilient society</i></p> <p>TNO's long-term ambition is develop knowledge to overcome challenges (that stakeholders face) in navigating the transition to a durable cyber resilient digital society. We focus on the innovations and ecosystems that are high-impact in terms of national security and economic growth. These include the convergence of IT/OT infrastructures where private and public parties that operate complex, hybrid, critical and/or multi-stakeholder infrastructures want to keep these infrastructures cyber resilient. A second priority is targeting manufacturers of digital products (and related services) that need to ensure life-cycle security of their products and comply with new EU legislation like the Cyber Resilience Act (CRA).</p> <p>Our ambition aligns with the challenges also identified in the cybersecurity policy frameworks that are currently being developed and implemented. These include, for example, the EU directives Network and Information Security (<a href="#">NIS-2</a>), Product Liability Directive (<a href="#">PLD</a>) and Cyber resilience Act (<a href="#">CRA</a>) addressing the cybersecurity of digital products. Relevant national policies include, for example, the <a href="#">National Cyber Security Strategy (NLCS)</a>, <a href="#">the National Strategic Autonomy (DOSA)</a>, the <a href="#">National Strategy digital Economy</a> and the <a href="#">National Technology Strategy (NTS)</a>.</p> <p><i>Focus on generic innovations for cyber resilient IT-OT infrastructures and cybersecure products</i></p> <p>In 2025 we will focus, on the one hand, on generic (technical and non-technical) innovations specifically targeting the application segments of cyber resilient IT-OT infrastructures and cybersecure products, and on the other hand, on selected cases, working towards innovations / demonstrators in specific market segments. Relevant innovation themes in the portfolio include: Automation of Security Operation, Secure Software, Security Monitoring &amp; Detection, and Quantum-safe Technologies.</p> <p>For 2025 we strive for the following concrete results:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relevant knowledge, capabilities, market offers and external coalitions for the application segments cyber resilient IT-OT infrastructures and cybersecure products, for example in the field of Autonomous Cyber Resilience, Secure Software or Supply Chain Security.</li> <li>• Relevant and generic innovations and demonstrators in the field of secure software development, security monitoring &amp; detection and automation in cybersecurity for IT-OT infrastructures, and quantum-safe technology.</li> <li>• A shared cyber platform for open-source, open/shared data and open/shared test facilities. The platform is intended to address many of the cybersecurity challenges and is the foundation to spur innovation and collaboration with ecosystem partners.</li> <li>• Monitoring data and hands-on experience with cyber security tooling in an operational renewable energy fieldlab environment</li> <li>• Several demonstrations and releases of improved open source software versions with additional functionality, specifically on the SOARCA and SH4CS (self-healing for cyber security) software</li> </ul>	



Titel	VP ICT (P706)
MTIB Thema	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO	Berry Vetjens (DM), Björn Håkansson (VPM)
Contactpersoon Regie-voerder	Frits Grotenhuis (Directeur Topsector ICT), Leo Warmerdam (Director HTSM Top Sector)
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>TNO aims to guide industrial and societal stakeholders in the digitalisation of their business or domain. We do this by integrating the enablers identified in national and European ICT agendas into first-time engineering solutions. These industrial and societal stakeholders have common needs; to overcome their challenges in operating in digital ecosystems. In VP ICT we have structured these common needs in three categories: Data sharing and AI, fast open digital infrastructures and trusted ICT solutions. To guide these developments, the VP ICT aims to reach the following goals:</p> <p><u>Data sharing and AI</u></p> <p>The use of Artificial Intelligence (AI) is fuelled by data. <b>Data sharing</b> 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, insufficiency in data interoperability and limited business models. Our ambition is to resolve barriers for data sharing by enabling data spaces in and across domains, ensuring interoperability and federation of data sharing systems, compliance with European legislation (AI Act, Data Act, Data Governance Act etc), avoiding vendor lock-in and achieving national data-hub(s) ecosystems. On top of data sharing we are starting to develop Reliable Digital Twinning, Digital Product Passport, Norm Engineering and Communicative AI (Large Language Models)</p> <p>In 2025, we aim at:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i) launching GPT-NL, a Large Language Model for Dutch language compliant with European values;</li> <li>ii) building a Digital Product Passport ecosystem, to ensure cross sectoral alignment;</li> <li>iii) launching Green Data Spaces for trusted access to office building to enable (energy) service providers to achieve significant energy reduction;</li> <li>iv) Integrate human agency &amp; oversight in the implementation of AI systems, by developing human-in-the-loop and human-on-the-loop mechanisms implemented in our research platforms for establishing knowledge spaces (TNO Knowledge Engine) and vocabulary hubs (Semantic Treehouse).</li> </ul> <p><u>Fast open digital infrastructures</u></p> <p>In <b>fast and open digital infrastructures</b>, we design the future digital infrastructure as the foundation for digitalisation in and of society. Digital infrastructures need to be built responsibly if they are to serve and drive the digitalisation of society and economy. Digital infrastructures are increasingly being made up of a composition of telco, cloud and edge infrastructures, creating a seamless cloud-edge continuum. With fast and open infrastructures, we focus on the combination of performance, sustainability and sovereignty. In 2025, our key contributions will be:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i) Expand our existing multi-vendor 5G core and radio platform with improved sustainable and smart network management features;</li> <li>ii) Trial-scale proof-of-concepts showing predictive QoS service for changing network conditions in automotive use cases;</li> <li>iii) First proof-of-concepts in FNS with respect to 6G sensing (ISAC) in the ‘wireless detection’ (Transport) and ‘wireless factory’ (smart industry) leading applications;</li> <li>iv) Proof-of-concept of new service APIs with TNO’s 5G+ core for quality-on-demand, device location, connectivity insights, and energy consumption;</li> <li>v) Paper about the opportunities offered by modular sustainable edge data centers (eDCs);</li> <li>vi) Developing group of collaborating IX labs as well as network of companies to stimulate Immersive Metaverse show-cases in NL.</li> </ul>	

### Trusted ICT

Our ambition with a **trusted ICT** approach is to deliver practicable implementations of relevant applications on current and near-future quantum computing hardware. With a focus on practicable algorithms for quantum optimization, in 2025 our key contributions will be:

- i) various new implementations for experimental industry-led use cases using (simulated) quantum hardware;
- ii) experiment<sup>7</sup> with new implementations and algorithmic building blocks;
- iii) development of various new algorithms that utilize the core of multiple quantum computers, also known as distributed quantum computing;
- iv) expand the ecosystem and QAL collaboration<sup>8</sup> with various industry partners; and
- v) strengthen the position of the Netherlands in the European quantum algorithm ecosystem by joining and starting various EU collaborations.

These goals are aligned with national and stakeholder agendas, specifically the KIA Digitalisering 2024-2027, Herijking sleuteltechnologieën 2023, Verzamelbrief Digitalisering maart 2024, the Government-wide vision on generative AI of the Netherlands, De Nationale Technologiestrategie, the European Data Strategy for 2030, the European Vision for the 6G Network Ecosystem, Quantum Delta NL, and with strategic stakeholder viewpoints. Until 2025, we aim to consolidate and maintain our leading position in standardisation of digital technologies and within industry fora.

---

<sup>7</sup> [TNO - Quantum · GitHub](#)

<sup>8</sup> [Quantum application development for tomorrow's business solutions - Quantum Application Lab](#)

Titel	VP Digital Systems (ESI) (P707)
MTIB Thema	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO	Wouter Leibbrandt (DM), Jacco Wesselius (VPM)
Contactpersoon Regie-voerder	Topsector HTSM Systems Engineering/Ronald Fabel, Topsector Energy Dir. Digitalization/Claire Groosman
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>VP Digital Systems focusses on complex cyber-physical systems that undergo a Digital Transition. For wide range of societal challenges innovation and functional improvements of cyber-physical systems are needed, e.g., the energy system, the mobility infrastructure and high-tech equipment. Digitalization, when done right, will accelerate other transitions, enable crucial functions and features needed for cyber-physical systems, while conserving high standards of reliability. Both the engineering of digital solutions in a systems approach and digital system engineering will be essential for efficient design and optimal operation of cyber-physical systems and their constituent components. In many cases, the digital transition concurs with another societal transitions, such as the energy transition or the mobility transition. In these cases, we speak of a <i>twin transition</i>, resulting in significant societal impact.</p> <p>VP Digital Systems builds upon the results from the VP formerly known as VP ESI; VP ESI has been integrated in this VP, and a second focus area has been added, as announced in VP ESI 2024: the energy domain. In the future, we expect other domains to be added in a similar way. VP Digital Systems 2025 addresses two <i>twin transitions</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- the digital transition of high-tech systems (product focus) + the transition of industry in their systems engineering approach (product engineering focus);</li> <li>- the energy transition + the digital transition of energy systems.</li> </ul> <p>In those <i>twin transitions</i>, and in other similar ones, digitalization enables achieving unprecedented levels of functionality, performance, scalability, and flexibility. Digitalization makes the resulting systems inherently more complex, however. The VP enables research on methodologies to address the challenges of managing the complexity of such digital systems. These include the architecting of increasingly complex systems, the advent of collaborative systems as part of systems-of-systems, the impact of new technology developments like AI, lifecycle concerns, and in testing, verification and validation of ever more complex systems. Overall, these innovative methodologies are needed to enable leveraging the promised benefits of the digital transition.</p> <p>The VP contributes to solving complex societal challenges, driven by: (i) the complexity explosion as discussed above; (ii) the growth of international competition, and (iii) the shortage of skilled technical experts (the human capital challenge). Combining these three, we have the following vision for future engineering of complex digital systems:</p> <p style="text-align: center;"><i>In 2035, engineers will have more than doubled their productivity and effectivity by their intense “side-by-side” collaboration with digital engineering assistants tapping into the organization’s system, domain, and engineering knowledge.</i></p> <p>VP Digital Systems will enable industry and engineering enterprises in the Netherlands to realize this vision with validated, usable innovative systems engineering (SE) methodologies, tools, and expertise (consultancy and competence development programs). It aims to have societal impact with:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- acceleration of innovation and engineering, strengthening the competitive position of the Dutch industry;</li> <li>- acceleration of innovation and engineering, delivering digital (cyber-physical) systems for societal challenges and transitions;</li> <li>- enhancing engineering efficiency and effectiveness to deal with the shortage of (experienced) engineers.</li> </ul> <p>A selection of the targeted deliverables for 2025:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Agenda setting:</b> a series of vision reports on future research in the VP, an update of the HTSM Systems Engineering Roadmap, and the Agenda Digitalization of the Energy System (ADE).</li> <li>- <b>Research:</b> Methodologies for AI-supported systems engineering, for Synthesis-Based Engineering, for system-level cyber-resilience, for sustainability and circularity, for scaling-up the energy-grid, and for reference architecting of the</li> </ul>	

energy system. In addition, we target developing enhancement of existing methodologies and tools, such as Renaissance for the rejuvenation of legacy software, including the exploration of the value of GenAI/LLMs.

- **Valorization:** methodologies and tools available in open-source, close collaboration with implementation partners to scale-up the adoption of methodologies and tools developed in the VP, networking to share the knowledge developed in the VP, training programs, and potentially consultancy programs.

Titel	VP Sleutelmethodeën voor Transitie en Transformatie (P901)
MTIB Thema	KIA Maatschappelijk Verdienvermogen / Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO	Rowie Huijbregts (VPM), Wimar Bolhuis (DM), Anne Fleur van Veenstra (DS)
Contactpersoon Regievoerder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regievoerder: Paul Vetter, Ministerie van Economische Zaken, Directie Innovatie en Kennis (I&amp;K); regievoerder participeert tevens in Externe VP Klankbordgroep en Programmteam KIA MV.</li> <li>• Externe VP Klankbordgroep voorgezeten door DM en VPM – deelname van: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ministerie van Economische Zaken (EZ) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Directie Innovatie en Kennis (I&amp;K)</li> <li>▪ Directie Algemene Economische Politiek (AEP)</li> <li>▪ Directie Strategie Energiesysteem (SES)</li> </ul> </li> <li>○ Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Afdeling Kennis, Internationaal, Europa, Macro-economie (KIEM)</li> </ul> </li> <li>○ Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&amp;W) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Directie Algemeen Strategisch Advies (ASA)</li> </ul> </li> <li>○ Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Directie Strategie, Kennis en Innovatie (SKI)</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• TKI CLICKNL en KIA MV: Bart Ahsmann <ul style="list-style-type: none"> <li>○ VPM lid van Programmaraad TKI CLICKNL en Programmteam KIA MV</li> </ul> </li> </ul>
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>De wereld staat voor <b>grote, complexe uitdagingen</b> zoals klimaatverandering, schaarste van ruimte en arbeidskrachten, sociale ongelijkheid, en snel opkomende technologieën. Deze uitdagingen zetten onze <b>brede welvaart</b> onder druk. Het doel van het VP Transitie en Transformatie voor de periode 2025-2028 is bijdragen aan het <b>richting geven aan en versnellen van maatschappelijke veranderingen</b> om deze uitdagingen aan te pakken. We realiseren <b>impact</b> door technologische innovaties te versterken met expertise, methoden en vaardigheden op het gebied van <b>maatschappelijke innovatie</b> en <b>strategie</b>. We bieden overheden, bedrijven en maatschappelijke organisaties <b>handelingsperspectief</b>: praktische inzichten en richtlijnen die helpen bij het nemen van weloverwogen beslissingen om de brede welvaart – het economisch verdienvermogen en het sociaal-maatschappelijk en ecologisch welzijn – structureel te bevorderen in Nederland en Europa.</p> <p><b>Maatschappelijke innovaties</b> zijn essentieel om technologische vernieuwingen beter in de economie en samenleving te verankeren, waardoor hun impact en rendement worden vergroot<sup>9</sup>. Deze innovaties ontstaan door een multidisciplinaire aanpak en publiek-private samenwerkingen, en helpen om tot systemische en blijvende verandering te komen. Voorbeelden zijn nieuwe manieren van samenwerking tussen overheden, bedrijven en burgers, aanpassingen van economische en organisatorische structuren, de ontwikkeling van nieuwe ecosystemen en business cases, en veranderingen in ruimtelijke planning en wetgeving. Dit faciliteert de <b>opschaling</b> van technologische innovaties. Om kansen en risico's vroegtijdig te identificeren, voeren we <b>strategische analyses</b> uit. Zo begrijpen we trends en ontwikkelingen beter en helpen we toekomstvisies te vormen op belangrijke thema's voor innovatie zoals strategische autonomie, ruimtelijke inpassing, vitale innovatiecapaciteiten- en systemen, en internationale waardeketens en concurrentie.</p> <p>Het VP richt zich in de periode 2025-28 op vier <b>impactgebieden</b> en <b>proposities</b>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Innovatie</b>: Propositie Innovatiesystemen voor transitie en transformatie. <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Kennisopbouw over transformatieve overheid, transitie-monitoring en transitie-economie.</li> </ul> </li> <li>• <b>Digitaal</b>: Propositie Waardengedreven digitale samenleving. <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Kennisopbouw over adaptieve sturing van AI en data-gestuurde transitie.</li> </ul> </li> </ul>	

<sup>9</sup> Zie TNO Vector Agenda voor actieonderzoek naar maatschappelijke innovatie (2023): [Maatschappelijke innovatie: noodzakelijke stap om te kunnen versnellen - TNO Vector](#)

- **Ruimte:** Propositie Waardengedreven duurzame steden en regio's.
  - Kennisopbouw over klimaatneutraliteit en brede welvaart.
- **Industrie:** Propositie Groene en strategisch autonome industrieën.
  - Kennisopbouw over onzekerheden in waardeketens, strategische autonomie en financiering van transities.

Het VP wil om impact en opschaling te bereiken, drie **rollen** optimaal invullen:

- **Impact Versneller:** Om de positieve impact van nieuwe technologie te versnellen, is de combinatie met maatschappelijke innovaties noodzakelijk. Deze stelt overheden, bedrijven en burgers in staat om innovaties sneller te benutten en om als gevolg effectief en efficiënt op te schalen. We identificeren en verwijderen belemmeringen om opnameprocessen te versnellen en stimuleren samenwerking.
- **Integrator:** Het is wenselijk om expertises and disciplines te integreren en relevante publieke en private partijen te verbinden, hun inspanningen te coördineren, en zo synergiën te creëren. In complexe transitie en transformaties is dergelijke integratie noodzakelijk om de succesansen te vergroten.
- **Initiator:** Het strategisch initiëren van nieuwe thema's, identificeren van nieuwe bedrijven en partners, en agenderen van innovatiekansen is wenselijk. Dit kan Europa en Nederland een voorsprong geven, zeker als dit opgevolgd wordt met de orkestratie van nieuwe ecosystemen, kennis over waardeketens en business models, governance modellen, en ondersteunend beleid (zie de diensten hieronder).

Het VP ontwikkelt kennis en methoden ten behoeve van deze **diensten** voor opdrachtgevers en partners:

- A. **Agenda Setting:** Uitvoeren van strategische studies, verkennen van technologische toekomstbeelden, analyseren van socio-technische systemen en ontwikkelen van innovatie- en transitieagenda's.
- B. **Orchestrating Innovation:** Organiseren en coördineren van ecosystemen om innovatie te stimuleren voor transitie en transformaties.
- C. **Value Chain and Scaleup Design:** Organiseren en coördineren van waardeketens om innovatie, business en markten te stimuleren, met specifieke aandacht voor risico's, control points en finance.
- D. **Economic Impact and Value Analysis:** Analyseren van de economische, maatschappelijke en duurzaamheid-impact van innovaties en transitie op bedrijven en economieën.
- E. **Societal Impact Assessments:** Evalueren van de maatschappelijke impact van nieuwe technologieën en wetgeving.
- F. **Governance and Monitoring:** Ontwerpen en implementeren van besluitvormings- en governance-processen binnen en tussen organisaties, en opzetten van monitoringsmechanismen om de ontwikkeling van innovaties voor transitie en transformaties te volgen.
- G. **Policy Advice:** Bieden van interdisciplinair beleidsadvies op Europees, nationaal en lokaal niveau.

Ten behoeve van deze diensten onderhouden en ontwikkelen we een kennis- en toepassingsportfolio van **Sleutelmethodologieën** oftewel **Key Enabling Methodologies (KEMs)**. We bouwen hierbij voort op de onderzoeksagenda Key Enabling Methodologies (2024-27), onderdeel van de KIA MV (2024-27)<sup>10</sup>.

De **beoogde resultaten voor 2025** richten zich op het versterken van kennisopbouw binnen vier impactgebieden, door middel van deelname aan Nederlandse en Europese ecosystemen:

- **Innovatie:** Innovatiesystemen voor transitie en transformaties
  - Ontwikkeling van kennis over transformatieve overheid, transitie monitoring en transitie-economie.
  - Ontwikkelen van *tools* om duurzame innovaties sneller op te schalen en onhoudbare systemen af te bouwen.
- **Digitaal:** Waardengedreven digitale samenleving
  - Kennisopbouw rond adaptieve sturing van AI en datagedreven transitie.
  - Onderzoek naar *governance-modellen* voor duurzame ICT, digitale soevereiniteit en versterking van digitaal vertrouwen.

<sup>10</sup> Zie [De KEM-agenda - CLICKNL](#)

- Ruimte: Waardengedreven duurzame steden en regio's
  - Verdiepen van kennis over klimaatneutraliteit en brede welvaart.
  - Ontwikkelen van een *leerlijn* voor onderwijs over deze thema's.
- Industrie: Groene en strategisch autonome industrieën
  - Versterken van inzicht in onzekerheden in waardeketens, strategische autonomie en financiering van transities.
  - Verbeteren van *methoden* voor het orkestreren van innovatieprocessen en ontwikkelen van nieuwe financieringsmodellen.

Voor het VP als geheel ligt de focus in 2025 op het aanscherpen en valideren van het dienstenportfolio in relatie tot het KEM-portfolio, waarbij specialisatie binnen de vier proposities centraal staat.

Titel	VP Space & Scientific Instrumentation (P607)
MTIB Thema	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO	Kees Buijsrogge, Ton Marée
Contactpersoon Regie-voerder	Niek Lobé, Rob Postma, Frenk van den Berg (EZ)
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>Our multi-annual R&amp;D program 2025 - 2028 supports our ambition to contribute to <b>preventing climate change and air pollution</b>, enable <b>secure broadband connectivity</b>, help <b>understanding the Universe</b>, and stimulate <b>economic growth in the Netherlands and Europe</b>. Therefore, we organize the VP along program lines directly connected to this ambition; Instruments for <b>Earth Observation</b> and related <b>Space Data Utilization</b>, technologies for <b>Satellite Communication</b>, and <b>Scientific Instrumentation</b> focusing on instruments for <b>Ground Based Astronomy</b>, <b>Space Based Astronomy</b>, and instruments for <b>Big Science and Diagnostics for Fusion Energy</b>.</p> <p>In recent years ESA and the EU have increased priority for the theme <b>Space Situational Awareness</b>, including space weather, Near Earth Objects, and space surveillance and tracking including Space Traffic Management. Within the Netherlands <b>Space Situational Awareness</b> is a key topic in the Dutch Defence Space Agenda, that was released in November 2022. In 2023 the TNO units High Tech Industry and Defence, Safety and Security have decided to join forces by establishing a new proposition <b>Military Use of Space</b>, to optimally support the NLMOD. It is seen that TNO can contribute with its strong heritage in Optical systems and Radar Technology in the field of observation and diagnosis. The proposition will be further developed in 2025.</p> <p>Our main objective in the area of Earth Observation and Space Data Utilization is to maintain and strengthen the Dutch position with regard to monitoring the composition of the Earth's atmosphere. We want to contribute to help monitor the Paris agreement and give detailed insight in emissions and spread of air pollutants and greenhouse gases. We have the long-term goal for in-orbit-demonstration of a small and very accurate instrument with related downstream models, specifically focused on measurement of greenhouse gasses and air pollution. In addition to the instrument, given the focus in the commercial EO market on information products, we will work on the development of data processing methods that can enable global information services that provide actionable information to decision makers in governments.</p> <p>Our goal for the 2025 and further is a next (after TANGO) Dutch small satellite instrument that will measure emissions (like NO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, aerosols) with a very high accuracy. Long-term development will focus on the measurement in Thermal Infrared (TIR) (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O) and on Volatile Organic Component (VOCs). We will work on improving our LOTOS-EUROS and TOPAS models by including more air quality trace gases and CH<sub>4</sub>.</p> <p>In the domain of Satellite Communication our aim is to develop state-of-the-art optical terminals for ground, air and space usage for the value chain of global satcom providers. We follow four main use cases: Secure &amp; Robust Comms for worldwide Mobile Security Operations; Cyber Proof/Quantum Resilient Comms over Ground Networks for Secure Connectivity; Ultra-High-Speed Global Secure Connectivity Network (constellations); Data Relay for Earth &amp; Space Sciences from (deep) Space. Furthermore TNO started in 2024 to intensify investments in quantum communication and internet enabled by space nodes.</p> <p>Each of these use cases have their own timeline of development, where the first laser satcom constellations are in industrial development right now, but deep Space data relay using laser satcom is foreseen to be further away in the future. We will work on our four main drivers; fast, secure, multi-point and far communication. For fast communication the long-term goal is ultra-high data throughput of 10 Tbit/s feeder link to a GEO- or MEO-satellite. Secure communication focusses on links with ultimate protection, suitable for the quantum era with a long-term target of a Quantum Key Distribution service with satellite nodes, which is resilient to hacking attacks. Multi-point communication facilitates simultaneous communication with multiple senders and receivers with a long-term target of a multi-beam optical space terminal in GEO-orbit, receiving data from various nodes (space, aerial, naval) and transmitting towards multiple users. With far communication TNO looks at data links over very long distances with a long-term target of a link to a deep space science mission, such as a planetary or asteroid mission.</p> <p>These various use cases provide a very promising opportunity for Dutch industry to extend its space-related activities into a commercial market: in this development we will position Dutch high-tech companies as potential suppliers for the terminals and their subsystems based on user requirements from this market.</p>	



We intend to strengthen our position with regard to developing high-grade instruments to perform world-class science, both in space and on ground. For this, we work together with universities and scientific institutes. In the realization of the instrumentation we involve industry where possible. For each subdomain (Ground Based Astronomy, Space Based Astronomy, Scientific Instrumentation), we have a specific focus.

Our long-term goal for Ground Based Astronomy is to contribute to the development of the Thirty Meter Telescope (TMT) optics with a 3m diameter deformable mirror foreseen to be reached in the coming five to seven years from now. Steps towards that goal are deformable mirrors of increasing size, better support structures and laser guide stars for the big telescopes in the world (UH88, EST, ELT, GMT, MAORY, GEMINI, KECK). After successful demonstration in 2024 of the deformable mirror of 24cm on the NASA IRTF, for 2025 the goal will be to test a deformable mirror of 60cm diameter on the UH-88 telescope and extend our on-sky-heritage.

In the Space Based Astronomy domain we use ESA's long-term planning for space science missions, 'Cosmic Vision 2015–2025', and the Voyage 2050 Senior Committee advice 'Voyage 2050' as a guideline in combination with the Dutch science community (SRON, NOVA, TU Delft, ..) ambitions and priorities. The coming years we will work on the Point Ahead Angle Mechanism (PAAM) for the LISA (detection of gravitational waves) mission. TNO's PAAM design is in the baseline design of the optical bench. Given LISA mission adoption by ESA beginning 2024 we aim to lead the further PAAM development until flight.

Within the domain of Scientific Instrumentation we aim for contributing to the development of silicon mirror technology and the metrology system of the Einstein Telescope, in co-operation with Dutch scientific institutes, universities and companies. In addition, we aim to contribute to nuclear fusion technology by applying our optical systems design expertise to develop technologies for diagnostic instrumentation in the extremely challenging environment of the nuclear fusion chamber. Within NL we co-operate on this with DIFFER and ITER-NL.

<b>Titel</b>	<b>VP Semicon &amp; Quantum (P612)</b>
MTIB Thema	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO	Rogier Verberk (DM)
Contactpersoon Regie-voerder	for Medical; S. Mentink (Philips), for Semicon; F.List (ASML), for Quantum; M. Blom (Micronit), E. van de Ven and M. van Haere (Min EZK)
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>The goal of TNO’s roadmap on Semicon &amp; Quantum is to stimulate the Dutch and European industry to take strategic positions in critical value chains. TNO’s technology leadership helps companies to innovate faster than its competitors, or it is the foundation of new startups. We focus on three of the most strategic value chains in the high-tech industry, each with significant economic impact (high export value), geo-political value (contributing to the sovereignty of Europe), a good fit to the Dutch ecosystem and culture, high societal impact, and beyond state-of-the-art technological challenges resulting in knowledge spillover to other sectors: semiconductor industry, quantum technologies, and medical photonics.</p> <p>Consumer electronics, mobile devices, industrial processes, communication equipment, the car industry, artificial intelligence and nearly all potential solutions to societal challenges rely on computer chips (IC’s) to generate, process, and store data. All chips from all over the world are manufactured by the use of Dutch equipment. Besides a healthy industry by itself, this position has demonstrated to be a strategic asset for both The Netherlands and Europe.</p> <p>Lithography equipment by ASML and Carl Zeiss is a control point in the global value chain of chips, and thus to AI, mobile connectivity, autonomous vehicles, and IoT. Our program on Systems Lifetime and Productivity helps to strengthen this position by pushing the productivity of DUV and EUV lithography equipment by more advanced thermal management, contamination control, material sciences, metrology, optics and optomechanics. Developing and utilizing unique technology infrastructure like EUV beam lines, and optical and vacuum test rigs are an integral part of this strategy, especially in the development of high-NA EUV equipment. Our program starting in 2024 is on the replacement of PFAS containing materials and components demonstrates that not only performance but also sustainability is important now. For the current generation lithography systems studies will be performed to understand complex gas/liquid interactions and thermal conditions, the latter one having a spin-off program on in-chip cooling, which has the potential to significantly reduce the energy consumption of Data Centers.</p> <p>Within the Metrology program new equipment concepts (incl. optical, acoustic and scanning probe microscopy) are currently being tested on the next generation of semiconductor devices, in collaboration with world leading chip manufacturers. In 2024 we hope to bring Dutch equipment development industry on board, towards yet another strategic vendor position. With Dutch equipment vendors we research new metrology concepts for heterogeneous integration (the next big transition in chip manufacturing industry where multiple chips (incl. photonic integrated circuits) will have to be stacked, or be placed on chiplets). For the coming year, the focus will be on new technologies meant for SEMI process integration loop in order to detect process anomalies based on physical or chemical defects by high precision characterization in device/multi-device(system) levels and on the encapsulated environment.</p> <p>Within the mission of QuTech, we continue the development of quantum computing and quantum internet. 2024 Milestones include steps towards future hybrid HPC and quantum computers (partners include SURF), and establishing a world’s first quantum communication channel for entanglement distribution between Delft and Den Haag. Also in the next three years: further hardware improvements including further optimizing supporting (optical) equipment by using photonics integrated circuits, as well as increasing the amount of qubits for computing by a factor of 100 by creating scalable architectures.</p> <p>Based on this knowledge position in quantum technologies and systems engineering, in 2024, TNO will, for the first time, manufacture quantum chips for European companies. The Quantum-sensing program will continue the development of N-V based sensors and use-case testing. The Testbed Facility uniquely equipped with technology developed fully within TNO, in partnership with academia (e.g. TU Delft), and commercially acquired, becomes available for third parties collaboration in 2024.</p>	

TNO's research on Medical Photonics focusses on accelerating photonics- and acoustics based innovations that can help people to stay healthy, diagnose diseases earlier, facilitate remote patient management, and supporting affordable and easily accessible healthcare for the ageing population. To achieve this we collaborate with instrument vendors to develop diagnostic optical devices for use in home, primary and secondary care, including multispectral fundus camera's for early diagnosis of eye diseases as well as systemic diseases, wearable diagnostic photonic devices for remote patient management, and optoacoustic sensors based on photonic integrated circuits to boost the performance of photoacoustic and ultrasound devices.

<b>Titel</b>	<b>VP Flexible and Freeform Products (P615)</b>
MTIB Thema	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO	Ton van Mol
Contactpersoon Regie-voerder	Erik van de Burgwal (EZK), Casper Langerak (RVO), Marc Hendrikse (Topsector HTSM), Leo Warmerdam (HTSM)
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>In VP 'Holst Centre' it is our ambition to strengthen Dutch industry by creating innovations based on our capabilities in flexible electronics and digital manufacturing and our strong position in Brainport to link up to local industry. Our innovations combine economic impact with a contribution to a healthy, sustainable and digital society. We enable a novel portfolio of products for the benefit of our industrial partners as well as the establishment of new start-up companies.</p> <p>Flexible electronics and digital manufacturing promise to provide technological solutions to important societal challenges such as energy storage, sustainable electronics industry, affordable healthcare and a digital society. They can also unlock significant new economic activity.</p> <p>However, progressing from the laboratory bench to the point where it provides the basis of a commercially successful business or product has become increasingly challenging due to increasing complexity of the technology as well as the environment where the product will be implemented.</p> <p>New approaches to innovation are needed such as a serial spinout model and focused programmatic initiatives that involve the relevant value chain players and stakeholders.</p> <p>Our unique approach to innovation is applied to 6 growth platforms:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>New manufacturing technologies</b> for electronics production with a focus on creating a sustainable production technology for electronic products and further leveraging printing technologies towards other markets such as displays, packaging, and integrated photonics. The key deliverable for 2025 is to develop new tool concepts for laser transfer of micro-electronics components which are &gt;10-100x faster than current state-of-the-art assembly equipment.</li> <li>➤ <b>Medical device technology</b>, focuses on platforms for remote patient monitoring in close collaboration with imec-nl and X-on-chip for advanced diagnostics and accelerated development of new drugs, partially executed in collaboration with TNO Unit Healthy Living and Work as well as in collaboration with the University of Twente. For 2025, the key deliverables are to launch a new platform for ultrasound wearables, and launch a spin off based on this platform for blood pressure measurements. For X-on-chip the intention is to jointly with TNO HLW, imec-nl, and UT launch a joint demonstrator integrating membranes, sensors for Gut-on-chip.</li> <li>➤ <b>Energy storage</b> has the aim to enable a Dutch battery technology eco-system and a high-tech hydrogen electrolyzer ecosystem, focusing on next-generation device concepts and the equipment and production technology for such devices. <ul style="list-style-type: none"> <li>For Batteries a new pilot line will be built in 2025, while for electrolyzers a new device concept will be validated based on 3D battery technologies learnings to showcase higher power efficiency while using 10x less Ir.</li> </ul> </li> <li>➤ <b>Advanced packaging</b> focuses on creating unique solutions for next generation of power and RF electronics. This roadmap is executed as part of the Chip Integration Technology Centre (CITC) in Nijmegen, a collaboration between TNO and Delft University of Technology and Holland Semiconductors. For 2025, the key deliverables are: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proof-of-concept of a fully additively manufactured functional package for power electronics.</li> <li>• All building blocks ready for antenna-in-package integration for 6G/mmWave applications.</li> </ul> </li> <li>➤ <b>Integrated photonics</b> with a focus on (i) upscaling InP and SiN production in NI, (ii) creating solutions to heterogeneously integrate InP, SiN and its electronic driving chips in one package. This roadmap is executed as part of the</li> </ul>	

Photonics Integration Technology Centre (PITC), a collaboration between TNO and University of Twente, Eindhoven University of Technology and PhotoDelta. The key deliverables for 2025 are to show a tool concept for submicron LIFT ready to transfer InP coupons on SiN wafers, and to have a project plan in place for setting up a 6 inch pilot line InP.

**Personalized medicine and sustainable food** with a focus on creating processing equipment development and the sustainable food is part of the Digital Food Processing Initiative (DPFI) together with Wageningen University & Research and Eindhoven University of technology. In 2025 the focus will be on expanding the collaboration with Erasmus MC to validate 3D printing for more use cases and develop a machine concept for large scale production of meat replacements while maintaining the special texture of meat.

<b>Titel</b>	<b>VP Smart Industry (P617)</b>
MTIB Thema	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO	Mark Courage (DM)
Contactpersoon Regie-voerder	Marc Hendrikse (Chair HTSM Top Sector), Leo Warmerdam (Director HTSM Top Sector), John Blankendaal (leader HTSM Roadmap Smart Industry & Managing Director Brainport Industry), Robert van der Zwan (Member Management Team EZ) and Ilkay Kizil (EZK, Senior Policy Advisor Smart Industry)
<b>Programma jaar 2025 - Samenvatting</b>	
<p>In VP <b>“Smart Industry” (Dutch equivalent Industry 4.0 / 5.0)</b>, solutions and technologies for smart manufacturing are developed in line with the National Technology Strategy (NTS). Specific technology domains are:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Data &amp; AI</b></li> <li>• <b>(Opto)Mechatronics incl. robotics</b></li> <li>• <b>Optical systems</b></li> <li>• <b>Intelligent Imaging</b></li> <li>• <b>Cyber security</b></li> </ul> <p>The long-term goal for Smart Industry in the Netherlands is to accelerate productivity growth across all regions. Specifically, the aim is to increase the number of companies adopting Smart Industry practices from 600 (1% of manufacturing companies) to 6000 (10%) within the next five years. Ultimately, the goal is to encompass all 60,000 manufacturing companies in The Netherlands. The initiative seeks to strengthen the Dutch manufacturing industry for scale up and enhance industrial productivity.</p> <p>Smart Industry aims to create the most circular, interconnected, automated, and intelligent industrial manufacturing ecosystem in the Netherlands, capable of responding to changing market conditions and customer needs in real-time. Furthermore, it aims to improve efficiency, reduce costs, increase sustainability, boost quality, and ensure excellent customer satisfaction for manufacturing enterprises. Smart Industry is crucial for earning power and strategic autonomy of the Dutch and European manufacturing industry. It will increase the agility of the industry to cope with the challenges of tomorrow, like circular economy, resilient supply chains, safety, ageing populations, sovereignty, etc.</p> <p>Within Smart Industry, TNO focuses on <b>Smart Manufacturing technologies and solutions</b> to boost the <b>1) earning power 2) create strategic autonomy and 3) increase labour productivity (&gt; 5%/yr.)</b> for the high-tech industry. Focus of TNO in this domain is on:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Scale up: Manufacturing throughput &amp; Quality:</b> <i>“Hyper efficient zero defect first time right”</i></li> <li>• <b>Productivity: Manufacturing variability &amp; flexibility:</b> <i>“High-mix, low volume, high complexity”</i></li> <li>• <b>Digitalization &amp; value chain integration:</b> <i>“Digitalization, ecosystem assembly, consistency &amp; transparency”</i></li> </ul> <p>Key objectives for VP Smart Industry for 2025 are:</p> <p><b>Scale up: Manufacturing throughput &amp; quality</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Scale up program for private investors:</b> develop a program for successful scale up of start-ups and scale-ups. This to improve the NL position w.r.t. the number of successful high tech scale-ups.</li> <li>• <b>Autonomous manufacturing for sustainable mobility:</b> test proof of concept(s) for in-line quality control of composite and metal structures through direct velocity mapping (ultrasound non-destructive inspection) and operator support systems for application in lightweight structures to boost new mobility solutions.</li> <li>• <b>Autonomous manufacturing for High Tech Equipment for Semicon &amp; LSC:</b> test proof of concept(s) for autonomous manufacturing for Laser SatCom, Semicon and Energy Transition (for example NGF NGHT). For example, in 2025 it is foreseen to establish an autonomous vision quality control for torq tooling cell testbed for the semicon assembly industry. In addition, it is foreseen to have established a smart end-2-end additive manufacturing test bed for sorting, quality control and handling.</li> <li>• <b>Autonomous manufacturing for High Tech Equipment for energy transition:</b> execute a proof of concept on an industrial scale with revolutionary hydrogen and catalyst temperature optical fibre measurements, which can be integrated into fuel cells and/or electrolyzers. This accelerates data acquisition for sustainable manufacturing in the energy transition domain.</li> </ul>	

**Productivity: Manufacturing variability & flexibility**

- **Further develop the TNO technical portfolio of Industry 4.0 solutions, which contains:** industrial application concepts (AI based) operator and decision support systems, hybrid human-robot work cells, zero-programming concepts for flexible robotization, precise vision and ultrasound quality assurance, inspection and meteorology tools for zero-defect manufacturing, adaptive dashboards and data analytics tools, digital product passport, interoperable data connectors and fibre optical solutions for data acquisition.
- **Smart manufacturing demonstrator hubs:** expand the footprint and services portfolio for two smart innovation manufacturing demonstrator hubs (Eindhoven & Delft) which act as test beds for SMEs creating “test-before-invest” autonomous manufacturing solutions (NGF NGHT, EU horizon TEF and TKI). For 2025 for example it is foreseen to execute the first validation tests with AI applications like autogenerated work instructions and operator AR/digital support in the in 2024 established TNO remanufacturing lab to support manufacturers in their transition towards circular economy.

**Digitalization & value chain integration**

- **Deliver national standards and blueprints for digitalization for smart manufacturing:** common approaches for shopfloor connectivity, data models (describing products, processes, resources, etc.), digital twinning, digital twin capabilities and data sharing across organizations and value chains (data spaces). For 2025 it is envisioned that these will be tested and validated within the domains of the NxtGen high tech programs for the value chains semicon, energy, agrifood and composites.
- **Accelerate the digitalization of the Dutch industry:** support the implementation industry 4.0 solutions into the ecosystem of the Dutch industry by increasing the involvement of technology integrators and technology providers. In addition, orchestrating the national Smart Industry ecosystem through participation in large-scale national Growth fund programs (NXTGEN High Tech, Mobility fund, Aviation in Transition), National program office Smart Industry (FME, Metaalunie, TNO), EU projects, associations (Open Industry 4.0, IDTA, IDSA) and collaboration with other RTO's.
- **Artificial Intelligence (AI) for manufacturing:** launch the minimum viable product (MVP) AI platform for the automatic generation work instructions from video & speech and validate the added value for the industry. Develop MVP AI apps for track & trace of high-tech components. Continue the development and execution of the AI for Manufacturing roadmap and expand the roadmap to Human AI.
- **Explore added value of Smart Industry technology in new value chains like Maritime, Infra and Defence:** explore how smart industry technology can be utilized within the Maritime, Infra and Defence sectors. Develop a collaboration platform for innovation and implementation of smart industry technology like the high-tech industry.