

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		Circulaire Economie	Veiligheid
	3. P310 Karakterisering Grondwater			
	4. P321 Renewable Energy		Mobiliteit	Sleutel-technologie
	5. P323 Co2 Neutral Industry			
	6. P510 Luchtkwaliteit		Landbouw & Water	
	7. P515 Circulaire Economie			
	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	Marijke Menkveld (VP-manager), Kemo Agovic (Directeur Divisie EMT System Solutions & Environment)
Contactpersonen Overheid	Debby Joosen en Timon Vervoorn (Ministerie van KGG), Marjolein Bot, Robin Quax, Robert-Jan van Egmond, Guus Mulder (Missies)
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
Het VP System Transition doet onderzoek naar de energietransitie en richt zich daarbij op urgente vragen die moeten worden beantwoord om energie- en klimaatdoelen te realiseren. De energietransitie in Nederland wordt gedreven door de klimaatcrisis en door het groeiende momentum voor strategische autonomie en concurrentievermogen van de EU. Met kennisontwikkeling wil TNO beleidsmakers en beslissers helpen bij het ontwikkelen van effectief beleid en toekomstbestendige strategieën. Daarbij zullen we waar nodig problemen en oplossingen agenderen.	
In de komende jaren willen we de samenwerking met onze partners CPB, PBL, RVO en CBS binnen de Kenniscoalitie energietransitie (KCET) verder versterken, zodat de KCET een bekende kennisleverancier wordt voor de regering voor integrale vraagstukken rond de energietransitie. In 2025 zijn we in deze samenwerking het programma Energietransitie Integraal Kostenoverzicht (EIK) gestart. Het doel van EIK is de kennis te ontwikkelen in de vorm van data, modellen en studies, waarmee de kosten van energietransitie beter in beeld worden gebracht.	
Samen met CPB en PBL bracht TNO in 2025 de Inkomenseffecten van woningverduurzaming in kaart. De resultaten waren aanleiding voor ABN-AMRO om een pilot te starten waarbij de bank de volledige verduurzaming van woningen regelt, zonder dat de eigenaar zelf veel hoeft te doen. Het doel is om verduurzaming mogelijk te maken met een 'gesloten beurs', waarbij de lagere energierekening de hogere hypotheeklasten compenseert.	
Het door TNO geïnitieerde Landelijk Onderzoeksprogramma Energiearmoede is in september 2025 afgelopen. Het programma heeft energiearmoede op de beleidsagenda gezet en actuele en gerichte kennis ontwikkeld over energiearme huishoudens en de effectiviteit van maatregelen om deze huishoudens te helpen. Voortbouwend op dit programma zal RVO, in samenwerking met de betrokken ministeries en TNO, een Nationaal Observatorium Energiearmoede oprichten. Het Observatorium zal structureel inzicht bieden in de omvang en gevolgen van energiearmoede.	
In 2025 heeft het Nationaal Burgerberaad Klimaat zijn advies aan het kabinet, de Tweede Kamer en de rest van Nederland overhandigd. De aanbevelingen zijn door CE Delft beoordeeld op impact en vergeleken met TNO onderzoek dat het potentieel van leefstijlveranderingen berekende. Leefstijlverandering kan aanzienlijk bijdragen aan klimaatdoelen. De inzichten worden door het ministerie van KGG gebruikt voor haar 'aanpak duurzaam leven'. In 2025 is TNO gestart met onderzoek naar drijfveren van mensen rond de leefstijlverandering "minder ver vliegen".	
Netcongestie is een urgent probleem. TNO publiceerde een visie over regionalisering van het NPE. De visie betreft een aanpak waarmee een vergelijking kan worden gemaakt tussen bottom-up opgestelde regionale energieplannen en de nationaal vastgestelde ambities in de NPE. Dit is als concept geïmplementeerd in de Ruimtelijke Energie Verkenner. Met financiering uit het Kennis voor energiebeleid programma is TNO in 2025 een onderzoek gestart naar de prioritering door netbeheerders bij de verzwaring van laagspanningsnetten en brengen we het potentieel van flexibele vraag bij bedrijven in kaart. Ook deden we onderzoek naar de bijdrage van decentrale oplossingen aan vermindering van de kosten van netverzwaring en de rol van energiegemeenschappen.	
TNO presenteerde het energiesysteemmodel Tulipa tijdens de Julia 2025 conferentie in Parijs. Tulipa zal worden gebruikt in de NWO projecten DEMOSSES en MODES. Deze projecten onderzoeken het ontwerp van energiesystemen en energiemarkten met meerdere energiedragers die flexibeler zijn en een hoog aandeel variabele hernieuwbare energiebronnen kunnen integreren.	
Om een klimaatdoel van netto-nul uitstoot in 2050 te bereiken, zullen ook de industrie en de lucht- en scheepvaart afstand moeten doen van het gebruik van fossiele brandstoffen. TNO publiceerde in 2025 het onderzoek Fossil free energy system and chemical industry. Dit onderzoek was een belangrijke bron voor de beleidsaanbevelingen in de Visie	

op duurzame koolstof in de chemische industrie. De publicatie van ons onderzoek naar de [financierbaarheid van first of a kind' \(proef\)installaties](#) voor geavanceerde biobrandstoffen trok veel aandacht op LinkedIn, en leidde tot een artikel op de website IndustrieLinqs: [Waarom de eerste fabriek vaak niet van de grond komt](#).

Titel	VP Geo Energie (P307)
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/K: Ronald Schillemans, Pieter Jongerius
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
In het Coalitie-akkoord 2026-2030 'Aan de slag'¹ van het kabinet Jetten zijn klimaat en energie belangrijk. De in het Klimaatakkoord² gestelde doelen staan onder druk maar het kabinet houdt de ambitie vast deze te halen. Het kabinet wil investeren in energie(zekerheid) en betaalbare energie van eigen bodem. Maatregelen hiervoor zijn onder meer opslag van CO₂ op de Noordzee, verlenging van de SDE++-regeling (subsidie Stimulering Duurzame Energie) met zes openstellingsronden, productie van groen gas en waterstof, en het vol inzetten op warmtenetten ter vermindering van netcongestie. Dit laatste wil het realiseren door overname van private warmtebedrijven, en participatie in nieuwe ontwikkelingen. Ook is het kabinet van plan te werken aan de bouw van tenminste vier nieuwe kerncentrales. Deze prioriteiten in het regeerprogramma en het Klimaatakkoord (verduurzaming warmtevraag, CO₂-reductie, kernenergie) sluiten goed aan op de doelstellingen van het VP307-programma, waarbij het budget in 2025 vooral is ingezet voor de volgende onderwerpen: 1. Warmteproductie, transport en opslag: geothermie, bodemenergie en warmtenetten 2. Ondergrondse energie-opslag 3. Transport en opslag CO₂ 4. Geïnduceerde seismiciteit 5. Ondergrondse opslag van radioactief afval Voor deze doelstellingen werkt TNO in missiegedreven ecosystemen samen met industriepartners en Nederlandse kennisinstellingen (o.a. Deltares, KWR, KNMI, academia zoals UU en TUD). De missies worden o.a. gedreven door kennisagenda's die samen met industrie en de kennisinstellingen worden gedefinieerd. De benodigde innovaties worden vervolgens grotendeels (ca. 50% van het SMO-budget) gerealiseerd in nationale en internationale onderzoeksprogramma's zoals bijvoorbeeld de MOOI-projecten WarmingUP GOO (Geothermie Opslag en Opschaling) en MOOI-BES (Diepe bodemlussen), RESULT (reservoirs en slimme putten in stedelijk gebied), DHARA (Downhole Array Research at Ammerlaan), ACCEL-UTES (Versnelling ondergrondse warmteopslag Utrecht Science Park), Geo4All (Verbeteren economische haalbaarheid, voorspelbaarheid en betrouwbaarheid geothermiesystemen), Diameter (Versnelling medium diepe geothermie), Geode (online GIS-portaal voor exploratiegegevens, samen met EBN), ThermoGIS (online GIS-portaal voor geothermische potentie en warmte-opslag), etc. De belangrijkste resultaten zijn: - De Design Toolkit, een tool om warmtenetten met verschillende warmtebronnen en -gebruikers te ontwerpen, is uitgebreid om de Toolkit realistischer te maken, en gebruikt om van een bestaande case in Rijswijk over de	

¹ <https://www.kabinetsformatie2025.nl/documenten/2026/01/30/aan-de-slag---coalitieakkoord-2026-2030>

² <https://www.klimaatakkoord.nl/>

levensduur van het warmtenet te berekenen of vraag en aanbod op elkaar aansluiten, en wat de meest kosteneffectieve optie is. De uitrol van warmtenetten op andere plaatsen kan met de Toolkit versneld worden en efficiënter verlopen;

- Modellen zijn doorontwikkeld om voor CO₂-opslag op put- of veldschaal, en op netwerkschaal te berekenen of de opslag veilig en kosteneffectief uitgevoerd kan worden. Deze modellen kunnen direct gebruikt worden voor CO₂-opslag in het in 2025 gestarte project Porthos, en voor Aramis;
- Onderzoek voor de opslag van radioactief afval toont aan dat diepe kleisteenlagen waarschijnlijk geschikt zijn. Deze lagen zijn niet eerder in beeld geweest en vergroten dus het opslagpotentieel.
- De resultaten van karakterisatie-studies in WarmingUp GOO naar matig diepe lagen laten zien dat deze lagen interessant zijn voor opslag en warmtewinning. De resultaten zijn voor het publiek beschikbaar gemaakt via de website www.thermogis.nl.

Hoogtepunten van het onderzoek:

De **Design Toolkit** is verder doorontwikkeld, zo worden alle typen assets van een warmtenet nu ondersteund (producenten, gebruikers, transport en zowel tank- als HTO-opslag). Een gebruiker kan in de Design Toolkit op eenvoudige wijze op een kaartje een complex warmtenet schetsen. De toolkit optimaliseert vervolgens dit netwerk. Ook zijn realistischere optimalisaties van cashflows en uitrol van het warmtenet toegevoegd. De workflow succesvol toegepast in de complexe Rijswijk-case. Daarnaast zijn binnen **Heat Geo** nieuwe modellen en putconcepten ontwikkeld voor betere prestaties van geothermische systemen, en zijn op het gebied van **opslag van waterstof** grote stappen gezet in put-integriteit, geochemische modellering en geomechanische analyses. Voor **CCS** zijn simulatie-instrumenten versneld en uitgebreid. Hierdoor kan CO₂-opslag zowel op lokale (reservoir) als regionale (netwerk) doorgerekend worden op veiligheid en kosten. Verder is nieuwe kennis opgedaan over **geïnduceerde seismiteit** aan de hand van een studie naar afkoeling rond injectieputten en langs breuken. Het onderzoek naar **ultra-diepe opslag van radioactief afval** aanzienlijk verdiept. Diepe voorkomens van klei-gesteenten van Carboon-ouderdom lijken goede mogelijkheden te bieden voor opslag.

Titel	VP Karakterisering en Dynamiek Samenstelling Grondwater (P310)
MTIB Thema	Water
Contactpersonen TNO	Maurice Hanegraaf (VP Manager) Tirza van Dalen (Division Director GDN)
Contactpersoon Regievoerder	Wilbert van Zeventer (Min. I&W), Katja Portegies (RWS); programmaraden TKI Watertechnologie, TKI Deltatechnologie
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
Het Vraaggestuurd Programma KarDySaG richt zich op het versterken van nationale kennis op verschillende grondwater thema's: grondwaterkwaliteit, grondwaterdynamiek, verzilting, grondwatertemperatuur, en bodemdaling. Deze kennis is essentieel voor het omgaan met grote maatschappelijke uitdagingen zoals droogte, klimaatverandering, drinkwaterbeschikbaarheid, energietransitie en veilig gebruik van de ondergrond. In 2025 is veel voortgang geboekt. Zo is de koppeling van Grondwaterstanden-in-Beeld³ met de Basisregistratie Ondergrond (BRO)⁴ gerealiseerd, een grote stap richting actuele en betrouwbare grondwaterinformatiediensten. Hierdoor kunnen overheden en gebruikers voortaan zien hoe het actuele grondwatersysteem zich verhoudt tot historische, 'normale' situaties, inclusief droogte- en natte perioden. Binnen het thema grondwaterkwaliteit lag de nadruk op het ontwikkelen van analysemethoden voor vergrijzingstrends, PFAS-gedrag en nutriënt-rijke exfiltratie. Daarnaast zijn congres bijdragen geleverd over radionucliden in Paleogene sedimenten en over nutriëntenrijk grondwater in Flevoland. Deze inzichten worden gebruikt in beleidsdossiers zoals de Kaderrichtlijn Water en de Nitraatrichtlijn. Voor grondwaterverzilting is intensief gewerkt binnen het FreshEM-NL⁵ project, waar nieuwe airborne elektromagnetische data zijn verzameld voor de kustregio's. TNO onderzocht verbeterde inversiemethoden voor saliniteitsmodellen en voerde een kwaliteitscontrole uit op de bestaande nationale modellen voor zoet-brak-zout-interfacepublicatie op Grondwatertools.nl. Op het gebied van grondwaterhoeveelheden werd de overgang van de verouderde interne software naar het open-source timeseriesplatform <i>Pastas</i> voltooid, waarmee Nederland aansluit bij internationale state-of-the-art grondwatermodellering. De grondwatertemperatuurmetingen daterend uit de jaren '80 waren opnieuw uitgevoerd in 2024 en zijn in 2025 geanalyseerd. De bevindingen vormen de basis voor een vernieuwd, landelijk temperatuurprogramma dat tevens relevant is voor geothermie. Ook is er een uitgebreid whitepaper over meervoudig gebruik van de ondergrond opgesteld. Dit document adviseert over een meer integraal, toekomstbestendig governance-kader voor energieopwekking, drinkwatervoorziening en klimaatadaptatie binnen de steeds drukker wordende ondergrond. Tot slot werd in Friesland een innovatieve methode ontwikkeld om ondiepe (grondwater-gerelateerde) en diepe (mijnbouw-gerelateerde) bodemdaling van elkaar te scheiden. Deze nieuwe workflow bleek zeer succesvol en leidde tot kennisdoorbraken en vervolfinanciering binnen het TNO KGG-werkprogramma.	

³ <https://www.grondwatertools.nl/>

⁴ <https://basisregistratieondergrond.nl/>

⁵ <https://freshem.nl/>

Titel	VP Renewable Electricity (P321)
MTIB Thema	Klimaat en Energie MMIP 1 “Hernieuwbare elektriciteit op zee” MMIP 2 “Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en de gebouwde omgeving”
Contactpersonen TNO	Mark Overwijk (Division Director Energy Supply), Jan Willem Wagenaar (VP-manager Renewable Electricity)
Contactpersoon Regie-voerder	• Ministry of Economic Affairs / Ministry of Climate and Green Growth. Directorate General Climate & Energy ○ Pim van Leeuwen (Senior Policy Advisor) ○ Alice van Rixel (Senior Policy Officer Energy Transition) ○ Debby Joosen (Senior Policy Officer) ○ Bart Tulkens (Policy Officer Energy Innovation) ○ Marinde Vos (Policy Officer Energy Innovation) ○ Veerle Heijnen (Policy Officer knowledge for energy policies) ○ Sybrand Oomes (Policy Officer Onshore Solar Energy) ○ Ruben Prins (Coordinating policy officer Offshore Wind Energy) ○ Eva de Leede (Cluster leader Offshore Wind Energy) ○ Laura Jansen (Policy officer Offshore Wind Energy) • Topsector Energy ○ Bob Meijer (Director “TKI Offshore Energy”) ○ Bram van der Wees (Program manager “TKI Offshore Energy”) ○ Robin Quax (Program Manager Renewable Electricity) • Missie Team Electricity ○ Albert Polman (Amolf)

Programma jaar 2025 - Samenvatting

Without question, our sustainable future will require a climate-neutral, reliable and affordable energy system. It is our mission to realize an abundance of offshore and onshore renewable energy, which is fed into the energy system in a reliable, viable, affordable and sustainable way. For 2050, we foresee an installed capacity of 70 GW offshore wind and 200 GWp solar energy. This means for this ‘Vraaggestuurd Programma’ Renewable Electricity a focus on efficiency and cost reduction. In recent years, geopolitical developments put more and more emphasis on energy independence and energy security with direct impact on and the demand for manufacturing and renewable energy generation capabilities in EU and NL. Secondly, increasing amounts of renewable energy with a highly intermittent character need to be fed into the energy system and matched with demand. So, flexibility in the system is necessary. This can be achieved through flexible generation or demand, coupling generation to storage or other assets and improvement of the energy infrastructure. Further, societal developments are such that we require the renewable energy generation to be both circular and in perfect harmony with nature. With these challenges in mind, the long term goals of this VP are:

1. Support the EU manufacturing of renewable energy technology.
2. Improve the reliability and affordability of the energy system.
3. Increase flexibility in the energy system and enhance storage and conversion methods.
4. Make renewable energy generation more sustainable.

With respect to reliability and affordability, the first offshore wind farms will reach end-of-life. However, limited real-world experience with utility-scale offshore wind decommissioning exists. Therefore, TNO investigated cost estimates associated to the removal and transport of offshore wind farm subsystems using TNO’s high-fidelity UWISE Decommission software. It was found that the full removal costs are estimated at 172.5 k€/MW, while partial removal costs are 110.6 k€/MW, incl. cutting foundations 6 m below seabed and leaving cables and scour protection behind. Here, scour protection removal is the largest cost contributor and we see that larger wind farms with larger wind turbines have lower

costs per MW. Last, we found that port distance has a moderate impact, but that activity durations are a major sensitivity factor due to the large uncertainty induced by limited field experience. These insights help our government in improving future offshore wind tenders and so improving the reliability and affordability of offshore wind.

In order to increase the flexibility in the energy system, TNO and partners are looking at the coupling of offshore wind to hydrogen production and to energy storage. With respect to the former, TNO has shown that for a 4 GW offshore wind farm connected to onshore electrolysis a breakeven Net Present Value can be achieved, obviously when the hydrogen off-take prices are right. Furthermore, the Net Present Value is slightly higher when the electrolyser is only and fully coupled to the wind farm as compared to the case where it runs at baseload, sometimes purchasing power from the grid. With respect to storage, particularly Long-Duration Energy Storage (LDES) is becoming increasingly important. Therefore, TNO together with technology developers, grid operators, renewable energy suppliers and industrial users has recently started the MOOI RenewaFLEXNL project, which develops and validates three Dutch, electrical and thermal storage systems with 8–100 hour durations. These cases show how LDES can cut renewable curtailment, ease congestion and provide dependable, low carbon energy across the economy

TNO has successfully managed to replace silver by copper in solar cells and reduces costs and increases sustainability. Specifically, TNO has applied copper electrodes to silicon heterojunction solar cells using a new screen-printing technique. This advancement enables electricity generation from silver-free silicon solar cells to be comparable to that of silicon solar cells with the traditionally used silver electrodes. By switching to copper, solar cell manufacturing becomes more cost-effective and sustainable, while also reducing dependence on silver and mitigating risks related to future shortages or price increases.

Encapsulations of PV laminates play an important role in the reliability of such laminates. Therefore, TNO defined an appropriate bill of materials and set of processing parameters encapsulation strategy for reliable perovskite based PV laminates in 2025. Accelerated ageing tests have proven the materials and processes, with stable perovskite performance after IEC testing protocols. The processing for encapsulation is currently done on sheet to sheet level, and is suitable for processing on roll to roll. In this way, this development enhances the manufacturing process.

There not only is a growing demand to develop solar parks for renewable energy supply, but also to do this in perfect harmony with nature. In the EcoCertified Solar Parks project, TNO and partners conclude that solar parks can deliver renewable energy while significantly improving nature quality, provided they are designed and managed with ecological goals in mind. The results of the research have been translated into the EcoCertified Solar Parks quality label, that support the development of solar parks in which damage to nature is prevented, above-ground ecological restoration is made possible, and soil health is preserved. The label is managed and issued by The Greenlabel Institute and is available to the market since September 3, 2025.

As part of the preparation for the new Strategic Plan of TNO for 2026-2029, a comprehensive TNO-wide research portfolio review was conducted. The review resulted in strategic choices to strengthen certain propositions (research lines) through additional investments, while reducing investments in other propositions. For the Renewable Electricity programme the outcome is that (1) The proposition Accelerating Offshore Wind will be significantly reduced, (2) The proposition System Transformation will be increased for challenges on land, and decreased in the coming years for challenges offshore, and (3) a decision on solar propositions will be made in 2027 depending on the development of the PV manufacturing industry in NL/EU. Based on the above, a new R&D program structure is implemented as of 2026 with a higher industrial focus.

Titel	VP CO2-neutral industry (P323)
MTIB Thema	Klimaat en Energie, Missie C; MMIP 6, 7 & 8
Contactpersonen TNO	Stephan Janbroers (VPM), Néstor González Díez, Richard Braal (DM)
Contactpersonen Regie-voerder	Peter Besseling, Paul Verbraak (KGG) , Rob Kreiter (TKI-E&I), Jörg Gigler (TKI- 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. By 2025, TNO aims to achieve key milestones in these areas, such as scaling up CCS implementation, reducing the costs of clean hydrogen production, and developing resilient energy infrastructure. 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.

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

Figure 1. Short overview of relevant propositions in the VP CO2 neutral industry 2024 / 2025. Note that Industrial Transformation is also part of VP323 and covers the systemic overview over the propositions mentioned.

Sustainable Fuels & Chemicals

The sub-proposition “Sustainable Fuels and Chemicals” focuses on developing thermo-catalytic reactor technology and optimizing process integration to produce sustainable fuels and chemicals. The main challenges include high production costs and the complex choice of feedstocks, which can be used in different applications such as energy, materials, or fuels.

Key highlights 2025:

- TNO was selected by the EEMSGAS consortium as supplier of the technology for Green Gas production, this project was awarded a 30 M€ subsidy end of 2025, which will kick start the FEED phase in 2026.
- The Biorizon program is expanding the furan based platform to polyols and will kick-start an intensification program in 2026.

- The thermal processing / thermal cracking technology will expand towards recycling of textiles into high value building blocks (fuels and chemicals).
- Digitalization is successfully applied in research, using Polyscout in designing novel molecules that can be synthesized using the Biorizon platform and the development of digital tools for the MILENA gasification process.
- Two developments of TNO show high yield and selectivity to generate a drop-in SAF. First the conversion of syngas to linear and branched alkanes and secondly the production of SAF aromatics from olefins and benzene were both successfully demonstrated. This combination potentially yields a 100% SAF.
- A spin out company for further upscaling and market implementation of the FABIOLA biomass fractionation technology is realised.

Industrial Carbon Capture

The sub proposition Industrial Carbon Capture contributes to the decarbonisation of the industry by providing in-depth knowledge on in-process capture technology on efficient cycle design and sorbent behavior to the market as well as solutions and technologies for improved solvent lifetime, energy efficiency and emission reduction for post-combustion technologies. To future-proof CCUS systems, TNO explores electrification strategies, including heat pump integration, and develops advanced monitoring and conditioning solutions to ensure captured CO₂ meets stringent specifications for safe transport and storage in a cost effective manner.

Key highlights 2025:

- SEWGS TRL7 demonstration: Multicolumn pilot campaign at steel plant completed (150 ton CO₂ captured), validating the model and new sorbent formulation performance.
- DORA technology TRL7 validation. For CO₂ capture assets, pilot skid of membrane for O₂ removal technology (DORA) was installed and operational in a waste incinerator and at a power plant.
- CONCAWE report published: The first report for the CONCAWE study on implementation of CO₂ capture in refineries is published on the CONCAWE website.
- Umicore paper published: A paper was published for the miniplant campaign at Umicore in Belgium by TNO and Umicore.
- Electrified Carbon Capture Feasibility a study showed that integrated heat pumps in refineries for carbon capture are economically feasible, marking a major step toward electrified CCS systems.

Sustainable Industrial Heat

The SIHS sub-proposition has adopted the approach from the MMIP 7 implemented in 2023. Specific topics include, industrial heat pumps and (high temperature) heat storage and transfer technologies high temperature heat supply through combustion and direct electrical heating solutions.

Key highlights 2025:

- TNO-EMT SIH undergone a substantial review and consolidation process. Several development lines were discontinued or transferred to the sub-proposition Process Efficiency and Flexibility. The new structure now also includes a newly-emerged topic of nuclear heat, in support of the Small-Modular Reactor (SMR) developments. Also, a more systematic approach was taken regarding *ad hoc* and structured consultancy and services, now defined as the Strategic Services and Consultancy cluster. Both new PMC have delivered substantial B2B and B2G turnover in 2025
- Several new projects were acquired and/or started, covering basically all fields of investigation. These include MOOI ECHOED, NWO-NGF HYCARB (resistive/inductive and molten salt for e-heating), CETP Chase and TARIP (combination of CHP or TAHP with TES for different end-users) and KGG Nuclear heat decoupling.
- Two technology lines entered the Technology Transfer assessment programme, namely the HyFlexFIOx burner and the ThermoAcoustic Heat Pumps. Both were assessed marketable and proceed with commercial partner search into 2026.

Clean Hydrogen Production

To reach our climate goals we see green hydrogen produced via water electrolysis as a key enabler to improve the integration of renewable electricity in our energy system and decarbonize the carbon emitting sectors. The focus in 2025 has been on supporting Dutch and international manufacturing industry in development of high-tech electrolyser stacks and components with high durability and based on widely available materials. The focus is on development and validation of specific components (see the more detailed summary of the proposition), as well as creating the world-class research infrastructure and community.

Key highlights 2025:

- Together with GroenvermogenNL, a community of practice was initiated which focusses on providing the research infrastructure and testing and validation capabilities to enable the Dutch manufacturing industry to compete internationally. Three very well-attended workshops, in which the industrial partners played a very important role, were organized to scope the community of practice.
- The testing infrastructure at different scales has been upgraded to allow much more detailed analysis of degradation processes and losses in the electrolyzers. These advanced characterisation techniques are now used for example to develop much needed accelerated stress protocols for the electrolyser components and cells.
- The 250 kW at Entrance (Hanzehogeschool, Groningen) is almost fully commissioned and has been operated for the first time.
- Several projects are ongoing in which international clients have their components validated at the Faraday lab because of its unique infrastructure (in addition of course to multiple projects with Dutch companies).

Energy Infrastructure

The proposition Energy Infrastructure is focused on the developments that (trans)national infrastructure needs in order to maximize its value in a renewable-dominated and CO₂-neutral landscape. It includes the role of new value chains around alternative energy vectors (H₂, NH₃), carbon streams (CO₂) and the potential of offshore (North Sea) for system integration.

Key highlights 2025:

- Improved knowledge and modelling guidelines on specific threats for hydrogen production systems related to hydrogen compressors and other dynamic operations such as blow-down and venting. Field tests investigated compressor-electrolyser interactions and pulsation effects, prompting advances in system analysis and industry proposals.
- Development of IEA H2 Task 46 (currently on hold), which was aimed at developing integrated offshore hydrogen systems and promoting international collaboration. TNO aims to become task leaders, attending the November 2025 ExCo meeting in Paris.
- Import infrastructure gaps were analyzed, validated by TNO experts, and existing capabilities assessed for the continuation of national programs on hydrogen import and transport (HyTROS).
- Also in 2025, TNO arranged for the sharing and exchanging of knowledge with industry and relevant stakeholders around several topics: HEROW platform, workshops around import, EFRC, NEN, GERG. This enables TNO to continue fulfilling its role at the center of the ecosystem around future (molecular) energy infrastructure.

Industrial Transformation

The Industrial Transformation (IT) program offers independent advice to help industry and government make informed decisions on transitioning to sustainable energy and materials, focusing on technology, infrastructure, and regional development.

Key highlights 2025:

- Finalization of a framework of modelling tools, essential data and knowledge for analysing the key transformation questions and challenges towards a decarbonized and sustainable industry. The framework is relevant to propositions in the EMT divisions Industry, SSI and Vector and is applicable to process Industry portfolio in the Netherlands for meeting future net-zero and circularity goals.
- Realisation of the proof of concept (based on a Polyimide 6 (PA6) use case) of the SCIARS model. The SCIARS concept and modelling approach is suitable for assessment of the carbon lifecycle in value chains, from raw material sourcing to end use, including process steps and system effects. The PA6 use case will be included in the next Brightsite Transition Outlook, to be expected in Q1, 2026. Moreover SCIARS will be used in the Groenvermogen project HyCARB, for impact assessment of CO₂ conversion routes to carbon-based fuels and platform chemicals.

Process Efficiency & Flexibility

To reach the goal of the Dutch multiyear Innovation program 'Towards a CO₂-Free Industrial Energy System' we see process efficient and flexible technologies as critical enablers for the electrification of industry. The aim of the Process Efficiency & Flexibility sub-proposition is to accelerate innovation, development and scale-up of efficient & flexible technologies to reduce energy use & energy dependency of industrial processes.

Key highlights 2025:

- Successful transfer of TNO membrane manufacturing technology to a European membrane manufacturer. The TRL7 demonstration of the prototype for pervaporation in acrylic ester production was successfully completed after 800 hour long-duration testing.
- A methodology was developed to quantify flexibility of chemical process by evaluating the range of uncertainties under which a process remains feasible (Flex Index). The methodology is validated with two case studies: methanol production from CO₂ and renewable H₂, and pre-Water Gas Shift unit upstream TNO's SEWGS technology.
- Energy system models have been further developed to model energy system costs and flexibility of technologies. With these models, industry plants and clusters can design their energy system based on the technologies that are present, the infrastructure limitations and price scenarios to determine optimal combinations of technologies.
- Significant advancements were made in organic based pseudocapacitor and redox flow battery technologies. Self-standing PFAS-free film electrodes were successfully developed achieving full device demonstrated performances, which are in line with state of the art commercial devices.

Experimental proof-of-concept for two use cases for electrically driven separations (recovery of formic acid and electrochemical separation of CO₂).

Titel	VP Luchtkwaliteit (P510)
MTIB Thema	Atmospheric emissions
Contactpersonen TNO (SD en VPM)	Bas Henzing (VPM), Kemo Agovic (DM)
Contactpersoon Regievoerder	Maarten van der Geest (Min. IenW)
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
The primary goal of this VP is to advance the knowledge and technology required for precise and accessible data on the emission, concentration, exposure, and deposition of atmospheric compounds. Accurate measurements and simulations are a crucial basis for effective strategies to mitigate emissions, leading to cleaner air, climate change mitigation, and biodiversity restoration, in line with public environmental targets. Investments in the Air Quality program enhance TNO's capabilities in measuring, sensing, modeling, satellite observation, data assimilation, and emission inventories. The integrated approach of the VP, combining measuring and modelling capabilities, aims to provide widely applicable emission verification solutions for both the Netherlands and international contexts, supporting both governmental and business projects. The VP's long-term efforts toward 2028, supported by subsidies and dedicated assignments, focus on both overarching and highly specific developments. The overarching aims include the creation of a high-resolution regional and local modelling system and measurement-based verification of emission inventories through inverse modelling. More specific objectives encompass the development of an air-quality monitoring toolset with more relevant health-relevant indicators, methods to derive source-specific nitrogen emission and deposition estimates with quantified uncertainties, and better and new inventories of emerging greenhouse gases such as CH₄, N₂O, H₂, CFCs and ozone. In addition, P510 targets the development of novel methods to track changes in environmental DNA over time. In 2025, some major highlights were achieved within P510 Air Quality. High-resolution modelling delivered new insight into ultrafine particle (UFP) behavior across the Netherlands, taking contributions from shipping as an example. A new plume-in-grid model, adding sub grid details to LOTOS-EUROS, successfully demonstrated NH₃ and NO_x gradients at 200-metre resolution, revealing spatial patterns that conventional larger scale models cannot capture. Inverse modelling, applied to new long-term PM and oxidative-potential measurement datasets in Rotterdam, resulted in the identification of eight PM source types. Additionally, semi-automated plume-detection software improved the attribution of emissions from agriculture, shipping, aviation and landfills from mobile measured datasets. The first emission-uncertainty dataset for CAMS-REG was delivered in the CORSO project. For the air-quality toolset, important steps were taken towards new health-relevant indicators. Automated analysis of UFP clusters in a Scanning Electron Microscope (SEM) also enabled source apportionment of these clusters. For oxidative potential (OP) the first Dutch source-specific OP estimates were made, and national high-resolution OP maps were produced based on TOPAS. First steps were made for non-target screening at the TNO lab: testing of PDMS-foam passive samplers and drafting of analysis protocols. In reactive nitrogen deposition, validation of the DEPAC-1D module and improvements from the CAMAERA project enhanced the representation of vegetation-specific and seasonal processes in LOTOS-EUROS. For emerging greenhouse gases, mismatches between satellite-based and inventory-based CO emissions from global iron and steel plants demonstrated that co-emitted species like NO_x and CO can help to improve satellite-based CO₂ estimates. TNO also contributed to the IPCC's hydrogen report, which is an emerging greenhouse gas. New size-resolved sampling methods for environmental DNA in air were designed, and an initial effort was made to integrate eDNA information into high-resolution modelling, strengthening the link between air quality and ecosystem-health indicators.	

Titel	VP Circulaire Economie (P515)
MTIB Thema	Circulaire Economie
Contactpersonen TNO (DM/SD en VPM)	Devin Boom (VPM), Kemo Agovic (DM)
Contactpersoon Regie-voerder	Vincent van Doninck, Wilma van Hunnik, Martijn Reubzaet, Ministerie I&W
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
The circular economy is an important lever to secure access and reduce dependency on (critical raw) materials, and thereby strengthening the Dutch earning capacity. At the same time, it also continues to enable progress toward the sustainable development goals and the Paris Agreement on climate change. A circular economy minimizes the use & depletion of exhaustible raw materials by optimally re-using materials, components, and products, and by using renewable raw materials. Thus, the circular economy contributes to prevention of climate change, environmental pollution, and loss of biodiversity, delivering socio-economic benefits. The activities in this VP aim to accelerate the transition to a circular economy in the Netherlands, and thereby contribute to the Dutch Grondstoffenstrategie and strategic autonomy. This is achieved in the following ways, a.o.: • Committing to Circular Economy goals 2050 & 2030 (i.e., 100% circular economy and 50% reduction of use of abiotic raw materials, respectively). • Intensifying research concerning criticality and strategic autonomy (Grondstoffenstrategie 2022, EU CRMA). • Supporting updated circular economy goals focused on enhancing material efficiency: retaining materials within the value chain, substitution conventional materials with biobased and secondary raw materials, and minimizing consumption of (critical) raw materials, and expanding the CRM recycling capacity (ICER 2025, NPCE 2023) • Supporting research that targets Design for Recycling, Circular materials and circular processes (KIA CE). • Supporting ambition towards circular industry and circular build environment (CE policy). The VP Circular Economy focuses on 2 topics: Circular Strategies & CRM, and Circular Plastics. Circular Strategies & CRMs The overall goal of the CS&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 by developing both key enabling methodologies (KEMs) and contributing to key enabling technologies (KETs). 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: 1. The development and deployment 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 & infra and defense; 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;	

3. The development of proven sustainable electrochemical recycling toolbox for CRM rich waste streams such as electronic waste, Li-ion batteries and solar panels, as a basis for further adoption of sustainable CRM recycling processes by the industry.

Key highlights of Circular Strategies & Critical Raw Materials in 2025 are:

- The RVO CRM Lion project as part of the NGF3 program “Material Independence & Circular Batteries” was awarded. The patent application was submitted (priority date July 2025) of the TNO technology for electrochemical battery recycling that will be upscaled in this NGF3 project.
- A public private partnership named Hidden Treasures has started, which focuses on tracking CRMs throughout a mechanical process and identification of potential losses of CRMs (TNO-Road2Work-Holland Recycling)
- The prototype of MIST, an integrated decision-support framework for critical raw material value chain actors, was delivered.

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 and reduce material dependency; 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. We will translate these results into policy support by maintaining structured engagement with the relevant ministries, science-based input to the NPCE/ICER cycles, and formal contributions to action agendas and cross-sector roadmaps.

Circular Plastics

Research on Circular Plastics is divided into two themes: “Plastics Recycling Technologies & System Solutions” (PRT&SS) and “Circularity by Design” (CbD).

Within the 2025-2028 Circular Plastics program, PRT&SS aims to provide technologies and system insights that help companies and governments accelerate the transition towards 100% circular plastics. It focuses on the development of optimal sorting, pretreatment and recycling technologies, supported by system-level analysis to reduce the ecological footprint of material production and use. Key activities are: (1) developing integral system analysis and design models (CITS, PRISM model) to support European circularity and sustainability assessment, legislation development and investment decisions; (2) developing sustainable plastic recycling technologies to TRL6/7 for industrial uptake; and (3) developing pre-/post-treatment technologies for recycling. The other theme, CbD focuses on (1) developing polymers and materials with improved circularity (incl. recyclability, reuse, repair and refurbish); (2) understanding and mitigating health effects of microplastics formation and exposure; and (3) experimentally assessing polymer quality across the full life cycle, from design to recycle.

Long-term goals (2025-2028) of PRT&SS and CbD are:

1. Advance TNO circular plastic models (incl. higher R-strategies, recyclate quality, recycling cascades, integration with energy and economy models) to answer complex societal questions;
2. Scale-up to TRL6/7 TNO recycling technologies for high-volume, technically challenging plastics wastes (incl. Möbius dissolution for polyolefins and ABS, thermal cracking of mixed post-consumer textile waste), extend feedstock base, and develop electrification solutions for plastic recycling;
3. Development of scalable pre-treatment technologies (e.g. Upwash and liquid-phase pyrolysis, LPP), and further advance dissolution-based pre- (or post-) treatment.
4. Develop TRL5 prototype(s) for inline polymer quality assessment during sorting and/or extrusion.
5. Develop TRL5 (packaging) product prototypes with high recyclate content and/or less prone to microplastics formation during use or recycling.

Key highlights of Circular Plastics from PRT&SS and CbD in 2025 are:

- Commissioned TNO Möbius dissolution pilot plant (“TNO Möbius Leto”) at TRL5 (PoC); produced ~5kg recycled SAN from End-of-Life vehicles waste, and recompounded into partner products.
- Demonstrated in-situ solvolysis & enhancement of glass- and carbon-fiber thermoset composites.
- Demonstrated thermal cracking of mixed post-consumer textile waste to BTX recyclate at TRL5.
- Updated circular plastic models (PRISM, CITS, pMFA) for improved reliability.

- Published several scientific papers with Utrecht University on catalytic depolymerisation (Bert Weckhuysen Group).
- Developed circular flexible packaging prototype with improved seal for sustainable e-commerce.
- Expanded use of recycled polyethylene in flexible packaging.
- Demonstrated in-line sensing tools for assessing plastic quality.

TNO's Circular Plastics activities directly support Dutch and European policy by providing evidence-based insights and practical solutions for a circular economy. TNO's systemic models (with PBL) guide effective circularity policies, while research on microplastics (with RIVM) informs safe use and recycling guidelines. Prototypes and knowledge for recycled plastics in circular packaging underpin design standards, waste management, and sorting protocols. Simultaneously, TNO develops scalable recycling technologies that reduce innovation risks for Dutch industry, enabling new solutions to reach the market and contribute to a sustainable, circular economy.

Titel	VP Sustainable Chemical Industry (P603)
MTIB Thema	Sleuteltechnologieën - Mission C / MMIP 6,7,8 / Mission CE - ChemistryNL / TKI Groene Chemie & Circulariteit
Contactpersonen TNO	Esther van den Beuken (market manager Circular Carbon), Richard Braal (Division director Industry)
Contactpersoon Regievoerder	Topsector Chemie: Jacqueline Vaessen

Programma jaar 2025 - Samenvatting

Sustainable Chemical Industry

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 ChemistryNL. 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 works in close collaboration with other VP programs and Early Research programs, providing a comprehensive proposition for the chemical value chain. This program is organized in the PPP's Biorizon and Brightlands Material Center (BMC), and includes the program Photons-2-Chemicals.

Brightlands Materials Center – Sustainable Buildings

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 (BIPV). Additionally, since 2024 the program focuses on the re-use of old flat glass. In 2025, we successfully demonstrated that all steps required to produce and deposit our SunSmart thermochromic coating to float glass are scalable to industrial scale. Furthermore, we installed multiple thermochromic SunSmart windows in test and office buildings to monitor their real-life performance. In addition, we optimized the performance of thermochromic interlayers for laminated smart windows, demonstrated that vanadium can be recycled for use in vanadium dioxide based smart windows, realized a proof-of-concept for delamination of laminated glass end of life, contributed to the development of a 100% circular window comprising re-used glass panes and developed coatings and front sheets that reduce the operating temperature of BIPV panels.

Brightlands Materials Center – Sustainable Mobility

BMC's Sustainable Mobility program focuses on development of technology for implementation of circular and light-weight, structural thermoplastic composite (TPC) materials in the mobility sector. In 2025, we have further developed and automated our TPC recycling pilot line to improve recycling process stability and consistency. Furthermore, we have validated the recycled TPC materials in different applications, matching the required mechanical performance. In addition, we have demonstrated the use of recycled TPC materials in 3D printing processes for small-and large-scale processing. We have developed and implemented new methodologies for continuous fiber additive manufacturing of

lightweight, complex shaped structural components, and validated mechanical performance and weight saving potential compared to metal components. We have developed and validated two different products for e-mobility and aeronautics applications.

Biorizon

Biorizon's mission is to make the chemical industry more sustainable and resilient by developing and scaling up biobased building blocks as alternatives to fossil resources. Towards 2029, Biorizon is focused on further scaling-up production technologies for sustainable building blocks, accelerating the introduction of new biobased materials in industry, and strengthening collaborations with partners across the value chain. In 2025, construction of a new pilot for the development and production of oxy-functionalized sustainable building blocks started. Furthermore, multiple novel biobased materials were developed and tested. More than twenty new biobased additives and monomers were synthesized, and the first applications were validated in collaboration with industrial partners.

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. The program consists of three research lines: (1) the production of chemicals and fuels using CO₂ as carbon source, (2) photoelectrochemical production of green H₂ and (3) the production of fine chemicals. For CO₂ conversion, we designed pilot scale outdoor demonstrators for syngas production using a combination of sunlight and LED light to ensure process continuity, and started production of process components such as photoreactors, solar concentrators, LEDs and optical sensors for monitoring of temperature and irradiance. Furthermore, we developed and validated novel catalysts for light-powered conversion of CO₂ and CH₄ to syngas (dry reforming) and CO₂ to methanol. For green H₂ production, we developed multiple photoelectrochemical materials and device demonstrators on lab scale. For synthesis of fine chemicals, a tailored integrated system comprising a LED light source, a transparent flow reactor and optical sensors for real time process monitoring has been established in 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

Programma jaar 2025 - Samenvatting

The increasing amount and decreasing prices of renewable wind and solar energy as well as increasing prices for fossil fuels in Europe, create a need for technologies to produce molecules from renewable sources. Industrial scale conversion of water and renewable raw materials (e.g. biomass, CO₂) to added value chemicals and fuels using electricity is key technology for the future of the European industry. This program aims at the understanding, 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 CO₂) and renewable electricity as energy supply. We do this for stakeholders from the process industry, the associated equipment supply industry and for government.

The industrial interest in electrification, green hydrogen and CCU has been driven by (upcoming) national and international legislation such as the EU Green Deal, Fit-for-55, Safe and Sustainable By Design, Circular Economy, etc.

Multiple national growth fund investment proposals were developed with support from this VP (GroenvermogenNL, NXTGEN-Hightech) that will stimulate research, development and demonstration, substantially improving the international position of The Netherlands in this field. TNO play a leading role, executing and coordinating the R&D programs for these growth funds.

The program delivered the following concrete technical results in 2025:

- TNO has successfully validated the high performance of a three-cells solid oxide electrolysis (SOE) short stack operation under pressurized conditions, which is a key enabler for efficient integration with downstream industrial processes.
- A spin-off company Thoriant has been created with TNO, Maastricht University and Ebert HERA B.V. as founding partners and will focus on the conversion of methane to ethylene and hydrogen.
- Commodities

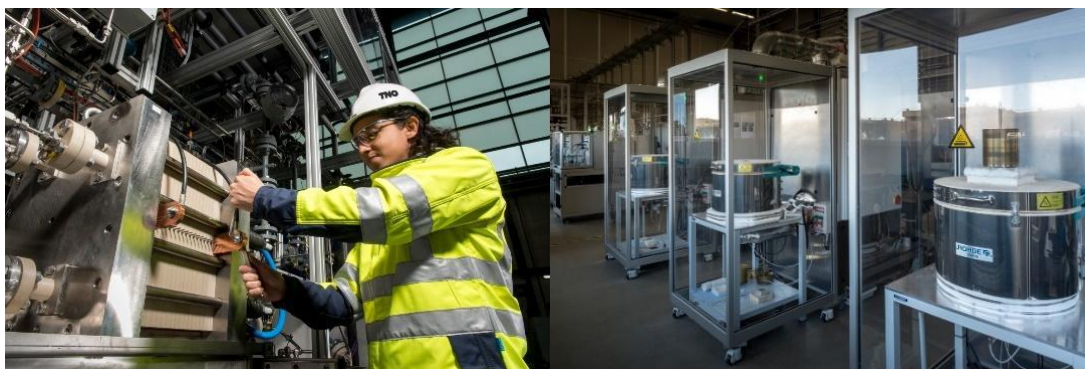


Figure: Commissioning of the ZEUS electrochemical CO₂ conversion pilot at TNO in Rijswijk (left) and overview of the test stations for Solid Oxide Electrolysis stack component testing at TNO in Petten (right).

In addition to technology developments, we also invested in the business community of our VoltaChem co-creation platform on Power-2-X and CCU. We further developed methods for independently comparing Power-2-X routes and technologies using a combination of Techno Economic Analysis (TEA), Life Cycle Assessment (LCA) and Value Chain Assessment (VCA). Last but not least, we supported multiple large companies and SME's in assessing the feasibility

of implementing their technology, and we worked further on identifying a new location and developing a new business and financial model for the Fieldlab Industrial Electrification (FLIE) in Port of Rotterdam.

Titel	VP Smart and Sustainable Mobility (P407)
MTIB Thema	Mobiliteit / Missie D+ (MMIP 9 & 10; deel-KIA Toekomstbestendige Mobiliteitssystemen)
Contactpersonen TNO (DS en VPM)	Arjen Adriaanse (Director of Science); Marika Hoedemaeker (VP-manager)
Contactpersoon Regievoerder	Topsector HTSM: Leo Warmerdam; Topsector Logistiek: Niels Agatz; Topsector Water & Maritiem: Olaf Waals; Ministry of IenW: Michel Duinmayer (IenW-DGMO/Unit Strategie) and Marieke Smit (IenW-DGMO/Unit Strategie); Ministry of VRO: Arie Versluis (VRO/Geo-informatie)
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
The demand-driven programme <i>Smart and Sustainable Mobility</i> is dedicated to advance knowledge and innovation in smart technology and policy solutions. Its primary goal is to enhance the safety, sustainability, and efficiency of the mobility and logistics sector. Regarding the work done in 2025 in the VP Smart and Sustainable Mobility, the following highlights for each of the four focus areas can be mentioned. For the focus area of Liveable and resilient cities and regions, the following key developments are of significant relevance. Firstly, the development of <i>Large-scale Agent Based Simulation (LABS)</i>, which concerns a new fast, scalable agent-based traffic simulation using open data, enabling near real-time testing of citywide policies like EV charging, mobility hubs, and road space changes for quicker, better-informed planning. For EV charging, TNO extended its Activity Based Model (part of LABS) to simulate charging behaviour, incorporating charging infrastructure limits. This helps with forecasting demand, locating charging hotspots, anticipating peak loads and planning grid upgrades. For <i>spatial planning</i>, the Spatial Impact Assessment Framework (SIAF) and Spatial Allocation Modelling (SAM) provide fast spatial assessment and neighbourhood-level modelling, enabling policymakers to explore scenarios, visualise impacts, and make spatially explicit decisions on housing and infrastructure using accessible spatial data and digital-twin simulations. In <i>Resilience modelling</i>, methodologies were developed which consider planned disruptions and corresponding traffic demand changes, to be used for asset management planning and minimising vulnerability during maintenance. <i>Artificial Intelligence (AI)</i> is finding its way into our research and tools. We developed a Generative AI tool that suggests policy interventions based on user goals, accelerating early-stage policy design and brainstorming. For the focus area of Safe and Efficient Mobility, research funded by this VP was carried out to make the transport of people and goods safer and more efficient by the development and introduction of smart systems. In 2025, major progress was made in <i>Self-organising logistics</i>, supported by new insights from simulations and practical use cases. Within the Next Level Logistics project, a prototype decentralised multi-fleet control algorithm for multi-company road transport was developed using real operational fleet data. Several projects advanced automated logistics by analysing how <i>Connected, Cooperative and Automated Mobility (CCAM)</i> can be <i>integrated into logistics</i> operations and assessing the resulting impacts. MODI and CAT4Yards helped logistics stakeholders understand requirements and impacts of automated transport, enabling well-founded decisions for real-world deployment. Additional <i>CCAM technical advances</i> were made across several projects, including remote-operation interfaces in MODI, improved localisation and motion planning in DITM, and enhanced shared perception in Ecomobility.	

Safety-assessment related developments included the SUNRISE Safety Assurance Framework, the V4SAFETY simulation-based assessment framework, and the AWARE2ALL driver situational awareness model. Finally, AITHENA delivered a competence measure for trustworthy trajectory planning, showing strong performance prediction potential when enriched with contextual information.

In the focus area of **Sustainable Mobility**, we have strengthened our international knowledge position on *brake wear and tyre abrasion* in 2025 by publishing an international scientific paper. We also evaluated the EU Roadworthiness Package (RWP) with the aim of ensuring that motor vehicles continue to comply with safety and environmental standards when used on public roads. The RWP comprises a series of EU directives relating to the General Periodic Inspection (APK) and roadside inspections. Our suggested changes focus in particular on the emission of air pollutants from the exhaust.

Our *heavy duty vehicle fleet model* has been further expanded and improved in 2025. It is capable of taking grid congestion and mitigation measures into account when determining realistic growth for zero emission trucks. The model has been used by Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) to study the effect of grid congestion on the growth of zero emission freight. The model will also be used in projects such as Zero Emission corridor (fleet development on the corridor).

We have measured *High Pressure Direct Injection (HPDI) in a Hydrogen-Internal Combustion Engine* (H2-ICE) within the Green Transport Delta Hydrogen project and demonstrated that this concept has a higher efficiency and a higher power density (more load from the same engine size) in comparison to other H2-ICE concepts and in comparison to the diesel engine. H2-ICE provides a 98% CO₂ reduction compared to fossil-based engines, has ultra-low NO_x emissions and a low TCO. It is therefore important that high performance hydrogen engine propelled trucks are allowed to drive everywhere. At this moment we see HPDI being used primarily in trucks and off-road machinery, like construction equipment and maritime (inland waterway) applications.

In the area of **Safe and Sustainable Maritime and Offshore** we continued to combine in 2025 scenario analysis, with fact-based emission measurements, and the development of advanced sustainable technologies. In relation to sectoral policy development, TNO has now become a more in depth partner with the ministry of Infrastructure and Watermanagement, via the 'Kennisagenda Duurzame Scheepvaart'. This four year program embeds structural collaboration expanding on the PBL Study towards climate neutral mobility, and the 'Roadmap Brandstoftransitie scheepvaart'. The kennisagenda embeds topics on (inter)national policy support (e.g., IMO and EU representation) and shore power developments. Furthermore, we advanced emission measurement and modelling by expanding methane-emission research with ICCT, updating its POTAMIS and POSEIDON models, and focusing on emissions from ships at berth. Insights on NO_x were presented at the International Maritime Organisation (IMO). Additionally, TNO expanded work on integrating maritime energy systems, including ammonia, methanol/DME, and onboard carbon-capture technologies, while focusing on methane-slip mitigation solutions for more sustainable LNG use.

Titel	VP Duurzaam Bouwen (P502)
MTIB Thema	Klimaat en Energie
Contactpersonen TNO	Arjen Adriaanse (DM) en IJsbrand van Straalen (VPM)
Contactpersoon Regievoerder	Programmacommissie Deltatechnologie (PCDT), Thematisch overleg via het Afsprakenkader TNO-RWS-IenW, Jelle Bluemink (VRO), Hans Weijers (VRO), Bart Brink (TKI Bouw & Techniek), David van der Woude (VRO), Debby Joosen (KGG), Hester Dijkstra (VRO), Josephine Ris (KGG), Sabine Jansen (VRO), Marjolein van Splunder (KGG), Frank Klinckenberg (VRO), Casper van Mourik (KGG), Kasper Baarends (VRO), Guus Mulder (TKI Urban Energy), Robert Jan van Egmond (TKI Urban Energy), Robin Quax (TKI Urban Energy), Hans van der Weijde (TKI HTSM, M2i), Olaf Waals (TKI Maritiem) en Bob Meijer (TKI Offshore Energy)
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
VP Duurzaam Bouwen richt zich op het optimaal verduurzamen van de gebouwde omgeving en van maritieme en offshore constructies. Dit betreft met name gebouwen, droge en natte kunstwerken, lijninfrastructuur, windturbines op zee en schepen. Maatschappelijk relevante thema's zijn daarbij CO₂-reductie, oplossen woningnood, verminderen van de gasafhankelijkheid, betaalbaarheid, circulariteit, veiligheid, (voorspelbaarheid van) onderhoud en vervanging, en digitalisering. Het VP bestaat uit vijf deelprogramma's: <u>Infrastructuur</u>, <u>Bouwinnovatie</u>, <u>Versnelling energietransitie gebouwde omgeving</u>, <u>Maritieme en offshore constructies</u> en <u>Klimaatadaptatie</u>.	
<u>Infrastructuur</u>	
Het deelprogramma <i>Infrastructuur</i> richt zich op het optimaliseren van het beheer en duurzaam vernieuwen van verouderende infrastructuur. Dit wordt bereikt door middel van levensduurverlenging, beheersing en reductie van risico's voor veiligheid en bruikbaarheid, en het stimuleren van duurzaam materiaalgebruik. De impact komt tot uiting in een beter beheersbare en betaalbare vervangings- en renovatieopgave, een effectievere planning en prioritering van ingrepen met minimale hinder voor bereikbaarheid, een versnelling van de transitie naar circulaire en klimaatneutrale infrastructuur, en een hogere productiviteit in de hele keten — zowel technisch als organisatorisch. De kennis die TNO hiervoor ontwikkelt, zorgt ervoor dat assetmanagers de beschikking krijgen over modellen en ontwerp- en beoordelingskaders voor constructies (nieuw en bestaand, beton en staal, droog en nat) van circulaire en milieuvriendelijke materialen voor wegen.	
In 2025 zijn onder andere richtlijnen omtrent de veiligheidsfilosofie voor bewegingswerken uitgerold richting de markt. Ook is een opstelling ontwikkeld voor een betere voorspelling voor de toepassing van wapening in nieuwe betonsoorten. Voor asfalt is een monitorprogramma gestart in een demonstrator met biobased bindmiddelen en is een eerste slag gemaakt voor betere voorspellingsmodellen voor duurzamere productietechnieken voor het hergebruik van warm asfalt.	
<u>Bouwinnovatie</u>	
Het deelprogramma <i>Bouwinnovatie</i> versnelt de transitie naar een circulaire bouweconomie, bevordert industrialisatie en garandeert veiligheid door innovaties te ontwikkelen voor bouwproducten, bouwelementen en gebouwen. Duurzaamheid, betaalbaarheid en grootschalige toepassing binnen de woning- en utiliteitsbouw staan daarbij centraal.	
In 2025 is een visie ontwikkeld gericht op toekomstige bouwregelgeving en de opschaling van de circulaire bouweconomie. In het kader van <i>houtbouw en biobased materialen</i> zijn innovatieve methoden en modellen geïntroduceerd, waardoor biobased oplossingen voor renovatie en constructie efficiënter en beter kunnen worden ingezet. Dit heeft geleid tot verbeterde prestaties, kostenbesparing en een optimaler gebruik van materialen. Aangaande <i>industrialisatie en conceptuele bouw</i> is TNO in 2025 gestart met een kennisagenda en voorstellen, gericht op de automatische interpretatie van regelgeving, digitalisering van woningproductie en vernieuwende productiemethoden. In het kader van <i>verduurzaming van zorggebouwen</i> is een proof of concept voor toestandsafhankelijk onderhoud van een luchtbehandelingskast ontwikkeld en is een methodologie uitgewerkt om de impact van biophilisch en biobased ontwerp op cliëntenwelzijn te meten. Dit om het onderhoud, de duurzaamheid en het welzijn in de zorgsector te bevorderen, met specifieke aandacht voor monitoring, welzijn en beleidsvorming. Ook is voor <i>veiligheid van gebouwen</i> de door TNO ontwikkelde multi-criteria analysetool voor het ontwerp van gebouwen verder ontwikkeld en gevalideerd. Tevens zijn	

nieuwe modellen en monitoring voor bodemdaling geïntroduceerd en is de praktische beoordeling van constructieve veiligheid op gebouw- en elementniveau verder uitgewerkt.

Versnelling energietransitie gebouwde omgeving

Het deelprogramma *Versnelling energietransitie gebouwde omgeving* streeft naar een energiepositieve gebouwde omgeving in 2050. Dit wordt gerealiseerd door de ontwikkeling van kennis en innovaties die de verduurzaming van woningen en utiliteitsgebouwen versnellen, met aandacht voor kwaliteit en betaalbaarheid en waarbij de gebruiker centraal staat.

In 2025 heeft een herijking van de strategie plaatsgevonden, wat heeft geleid tot drie nieuwe strategische thema's met bijbehorende kennisroadmap. Op het gebied van *datagedreven diensten* zijn in 2025 verschillende toevoegingen gedaan aan de clustertool om de bruikbaarheid ervan te vergroten, is op basis van historische data aangetoond dat TNO met de clustertool in staat is de technische toepasbaarheid van maatregelen te voorspellen en is een grey box model voor een warmtepomp ontwikkeld en gevalideerd aan de hand van labmetingen. Ten aanzien van het *optimaliseren van flexibiliteitsruimte* op het elektriciteitsnet is in 2025 een methode ontwikkeld om de flexibiliteitsruimte voor een utiliteitsgebouw te voorspellen en is een start gemaakt met de ontwikkeling van een model predictive controller voor aansturing van de warmtepomp via het S2 communicatieprotocol. Tot slot, is binnen het thema *ontwikkelcentrum voor verwarmings-, koel- en tapwatersystemen* aan de hand van systeemsimulaties inzicht verkregen in het effect van nachtverlaging, waterzijdig inregelen en de prestatie van hybride warmtepompen. Bovendien is voor het eerst een controller-in-the-loop opstelling gerealiseerd, waarmee kan worden getest hoe de aansturing van een warmtepomp daadwerkelijk functioneert in gesimuleerde praktijksituaties.

Maritieme en offshore constructies

Het deelprogramma *Maritieme en offshore constructies* richt zich op het ontwikkelen van veilige, circulaire en kosten-efficiënte oplossingen voor scheeps- en offshore constructies onder extreme omstandigheden. TNO past een gecombineerde aanpak via lab, praktijk, en rekenmodellen toe om de veiligheid en (kosten)effectiviteit van (nieuwe) technische oplossingen aan te tonen voor de groeiende vloot op alternatieve brandstoffen. De opgedane kennis wordt omgezet in onder andere globale regelgeving via de International Maritime Organisation (IMO).

In 2025 heeft TNO de opzet van het Safe Energy Transition (SET) programma verkend, ten behoeve van het testen van materialen en constructies in extreme condities. Dit programma bouwt voort op de ontwikkelde diepte kennis rondom het toepassen van methanol (e.g., corrosie vorming in scheepstanks), en de verkenning van TNO's rol aangaande nucleair (e.g., veiligheid aan boord ten tijde van calamiteiten) in het maritiem en offshore domein. Verder focust een deelprogramma zich op het monitoren en de circulariteit van maritieme en offshore constructies.

Ook heeft TNO, in samenwerking met de offshore windindustrie, zich toegelegd op levensduurvoorspelling en monitoring van windturbinebladen met rekenkracht-efficiënte modellen en grootschalige tests. In 2025 is dezelfde methodologische ontwikkeling toegepast bij levensduurvoorspelling van grote drijvende constructies (e.g., PV-panelen), en dynamische belaste (stroom)kabels ten gevolge van extreme (zeegaande) bewegingen. Tenslotte is binnen de gecombineerde aanpak van lab, praktijk, en rekenmodellen ten behoeve van levensduurvoorspelling in 2025 ook circulariteit van het staal meegenomen.

Klimaatadaptatie

Het deelprogramma *Klimaatadaptatie* richt zich op een klimaatadaptieve gebouwde omgeving. Binnen dit programma worden methoden en oplossingen ontwikkeld om de effecten van klimaatverandering op onze leefomgeving te beoordelen en zorg te dragen dat gebouwen, infrastructuur en de gebruikers ervan bestand zijn tegen extreme omstandigheden in de toekomst.

In 2025 is gestart met het programma klimaatadaptatie met looptijd tot en met 2029. Door TNO wordt in dit programma ingezet op een klimaatrobuuste kritieke infrastructuur, een bebouwde omgeving waarin schade als gevolg van veranderingen in grondwater en ondergrond wordt voorkomen en het voorkomen van een ongezond binnenmilieu als gevolg van veranderingen in het klimaat.

In 2025 zijn belangrijke stappen gezet die bijdragen aan de ontwikkeling van een instrument voor veerkrachtgestuurd infrastructuurrisicomanagement. Daarnaast zijn de definities van gebouwtypologieën geactualiseerd om gebouwschade beter te kunnen voorspellen en karakteriseren, en zijn INSAR-analyseroutines ontwikkeld voor zowel de validatie van modellen als het identificeren van funderingstypen en bewegingen van gebouwen en dijken. Verder zijn modellen vernieuwd waarbij de KNMI-klimaatscenario's worden toegepast om de impact op het binnenklimaat voor bewoners en op het grondwaterpeil in de bebouwde omgeving te bepalen. Tenslotte is een veldmonitoringonderzoek naar het binnenklimaat opgezet en is een proof of principle gerealiseerd voor een kosteneffectieve technologie om schimmel te meten.

Titel	VP Future of Work (P204)
MTIB Thema	Gezondheid en Zorg
Contactpersonen TNO	Seth van den Bossche (VPM), Marjoleine van der Zwan (MD)
Contactpersoon Regie-voerder	Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid: Davide Balestra/Marieke Maas Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn & Sport: Kallista de Graaf Ministerie van Economische Zaken & Klimaat: Sarah-Lee Tilly Topsector HTSM/Nanotech: Ronny van 't Oever
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
2025 vormde het afrondingsjaar van de vorige strategieperiode van het Vraaggestuurde Programma Work & Youth Health én het voorbereidingsjaar op de vernieuwde strategische koers die vanaf 2026 wordt ingevoerd. Het programma richt zich op het maatschappelijk thema Gezondheid en Zorg en op het Human Capital-domein binnen het Missiegedreven Topsectoren- en Innovatiebeleid. Vanuit de twee deelprogramma's – Future of Work en Youth Health – wordt bijgedragen aan de centrale missie om in 2040 vijf jaar extra gezonde levensverwachting te realiseren en gezondheidsverschillen met 30% te verkleinen. Het programma ondersteunt daarnaast de centrale missie, gericht op het terugdringen van ziektebelasting door ongezonde leefstijl en leefomgeving, en sluit aan bij de Human Capital Agenda Gezondheid en Zorg 2024–2027. De focus ligt op preventieve innovaties die een gezonde werkomgeving bevorderen en op het stimuleren van gezond, veilig en kansrijk opgroeien. Binnen het deelprogramma Future of Work ligt de nadruk op innovaties die arbeidsmarktkrapte en -mismatch verminderen, arbeidsproductiviteit versterken en de kwaliteit van werk verhogen. Dit sluit direct aan bij de Human Capital-onderdelen van het Kennis- en Innovatieconvenant 2024–2027, het Aanvalsplan Arbeidsmarktkrapte, het Actieplan Groene en Digitale Banen en de Nationale Technologiestrategie. Een adaptieve en veerkrachtige arbeidsmarkt is een randvoorwaarde voor het slagen van grote maatschappelijke transitie in energie, klimaat, digitalisering en gezondheid. De doelgroep bestaat uit de (potentiële) beroepsbevolking, werkgevers, overheden en HR/OSH-professionals. In de aanloop naar de nieuwe strategie ontwikkelde zich in 2025 een duidelijke dynamiek richting een meer toekomstgerichte en systeemgedreven benadering. De versnellende impact van AI en digitalisering, de noodzaak van een Skills-based Labour Market, stijgende arbeidsmarktkrapte en nieuwe gezondheid- en veiligheidsrisico's vragen om innovatieve, mensgerichte en schaalbare oplossingen. De nieuwe strategie (2026–2029) legt daarom sterkere accenten op human-centric AI, digitale werkinnovaties, versnellen innovatie-adoptie, van integrale aanpakken voor gezondheid en duurzame inzetbaarheid, en op datagedreven arbeidsmarkt- en skillssystemen. Hiermee markeert 2025 een scharnierpunt: het jaar waarin de doelen van de oude strategie zijn voltooid én de fundamenten zijn gelegd voor een vernieuwd programma dat technologie, arbeidsproductiviteit, skills, gezondheid en brede welvaart sterker met elkaar verbindt. Het deelprogramma omvat de volgende kennislijnen en doelen:	
Kennislijnen 2025	Doelstelling 2022-2025
<i>Afstemming SZW</i>	
Inclusive Work	Nederlandse arbeidsmarkt inclusiever maken, door middel van innovaties die inclusief ondernemerschap vergroten. Duurzame instroom verhogen, door versterking en (technologische) innovatie van de uitvoeringspraktijk.
Labour Market Innovation	Adaptiviteit van de Nederlandse arbeidsmarkt en leven lang ontwikkelen (upskilling/reskilling) bevorderen, door ontwikkeling van skills-gebaseerde strategieën.

Occupational Exposome	Ontwikkeling effectieve preventieve maatregelen voor werk gerelateerde aandoeningen, in het bijzonder aandoeningen als gevolg van blootstelling aan gevaarlijke stoffen.
Occupational Safety Innovation	Efficiënter maken van veiligheidsmanagement zodat arbeidsongevallen en incidenten kunnen worden teruggedrongen bij bedrijven door ontwikkeling van innovatieve digitale veiligheidsmanagement systemen.
Work Changes & Wellbeing	Verminderen van werkgerelateerde mentale gezondheidsproblemen door vergroten van inzicht in oorzakelijke factoren en het ontwikkelen van effectieve interventies.
Monitoring & Foresight	Structurele monitoring van ontwikkelingen in de Nederlandse arbeidssituatie via verschillende datastromen en verkenningen naar de (potentiële) impact van technologische en maatschappelijke veranderingen op werk en arbeidsmarkt.
Healthy Living Environment	Bevorderen van gezondheid door ontwikkelen van gezondheidsbeschermende en -bevorderende (fysieke/sociale) leefomgeving en 'Health in all Policies', in zowel beleid als praktijk.
<i>Afstemming EZ</i>	
Smart Working	Oplossingen leveren voor en het optimaliseren van duurzame (industriële) werkplekinnovaties voor verhoogde productiviteit m.b.v. slimme technologieën.
<i>Afstemming HTSM</i>	
Safe Chemical Innovation	Toepassingen ontwikkelen die gemakkelijk te implementeren zijn door de industrie binnen hun eigen product innovatie processen om nieuwe chemicaliën, (nano/geavanceerde) materialen en/of producten te ontwikkelen welke inherent veilig en duurzaam zijn (SSbD) gedurende de gehele levenscyclus.

Deelprogramma *Youth Health-Jeugd*: gezond, veilig en kansrijk opgroeien richt zich op kinderen en jongeren vanaf preconceptieperiode tot jongvolwassene met als doel dat ieder kind zo goed mogelijk kan participeren in de maatschappij. Specifieke aandacht gaat uit naar het bereiken van kwetsbare gezinnen. Het deelprogramma omvat de volgende kennislijnen en doelen:

Kennislijnen 2025	Doelstelling 2022-2025
<i>Afstemming VWS</i>	
Integrale aanpak 1 ^e 1000 dagen	Ondersteuning van (aanstaande) ouders, door doorontwikkeling van preventie- en zorgmodellen waarbij zelfmanagement, interactief leren en peer support centraal staan. Ontwikkeling van wereldwijd geaccepteerde maat om ontwikkeling van kinderen te kunnen monitoren. (D-score)
Preventie en Jeugdhulp op maat	Ondersteuning en versterking van kinderen, ouders en professionals in het (preventieve) veld voor jeugd, inclusief integratie van digitale innovaties middels doorontwikkeling I-JGZ platform.

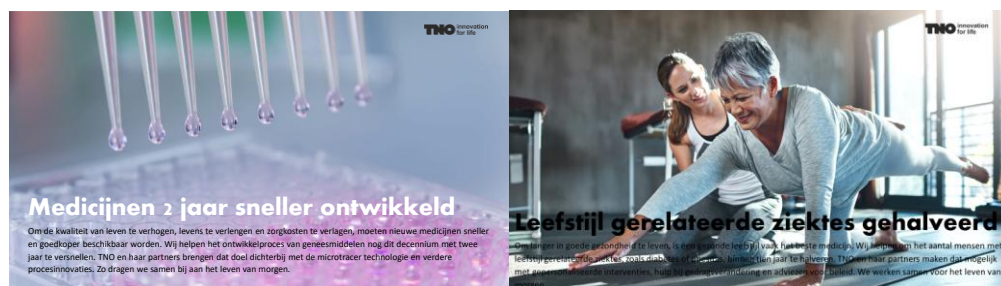
Samenwerking en implementatie	Ondersteuning van organisaties om de transitie en transformatie van het jeugdstelsel goed vorm te geven. Landelijk implementeren van effectieve interventies op het terrein van scheiding en pesten. Opzetten van duurzame leernetwerken en ontwikkelen van implementatiestrategieën.
-------------------------------	---

Titel	VP Biomedical and Digital Health (P203)
MTIB Thema	Gezondheid en Zorg
Contactpersonen TNO	Jasper Kieboom (VPM), Martin Kirch
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'). The program 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 further contributes to *reducing health issues that are the consequence of an unhealthy lifestyle or exposure to unhealthy environment* (mission II). Our research also contributes to *preventing chronic diseases and increase the proportion of people with a chronic illness or lifelong disability that can participate in society* (mission III).

Our research focusses on reducing the risk of disease development (prevention) and on improved disease management. We do so by developing breakthrough technologies and approaches such as lifestyle interventions, digital health technologies and drug development tools. The research program Biomedical and Digital Health significantly contributes to the two moonshots of TNO illustrated below:



The program has been executed with private partners, knowledge institutes, government and citizens (the quadruple helix), primarily through public-private-partnerships, fully or partially co-funded by the program. Funding from other sources has been added including funding from EU, National Growth funds and ZonMw funding. All projects aimed to develop and implement new technologies and approaches that can be used in the real world. This in turn has led to projects that are conducted as contract research for public and private partners.

As contribution to the above missions and moonshots the following examples of short-term results for 2025 have been achieved:

We continued the validation of a biomarker signature for non-invasive fibrosis staging in metabolic dysfunction-associated steatohepatitis (MASH) patients, using clinical cohorts in the Netherlands and Denmark. The biomarker signature has now been integrated as an exploratory arm in the 'Zorgpad' for MASH patients. Reflecting its potential as an important clinical innovation, the TNO biomarker signature was highlighted during the plenary session of the past edition of the annual meeting of the prestigious American Association for the Study of Liver Disease. Full ownership of the assay reagents has been transferred to TNO and opportunities for commercialisation through out-licensing are currently being explored. Using our proprietary preclinical models, we contributed to further elucidation of the mode of action of a novel lipid-lowering intervention currently in phase III clinical trials (expected to end this year). This intervention, developed by a Netherlands-based pharmaceutical company, is expected to meet its clinical end-points and to offer an affordable and much-needed addition to the treatment options for hyperlipidaemic patients who do not achieve adequate cholesterol reduction with the current standard of care.

In close collaboration with partners, we have been developing technologies that enable remote care and support the transition toward value-based healthcare. Our work focuses on solutions for conditions such as cardiovascular diseases and sleep apnea, ensuring patients are actively involved and remain at the centre of the innovation process. We have developed wearable technologies for cardiovascular screening and continuous monitoring, while advancing digital biomarker development and validation to ensure reliability, clinical relevance, and real-world adoption.

In collaboration with international partners we developed a technical proof-of-principle for a personal health vault governed by citizens aimed at sharing of preventive health data. This proof-of-principle was tested in two pilots. A basis set of standardised preventive health measures was created that were applied in the pilots. Lastly, a whitepaper describing the legal frameworks and a governance structure for sharing preventive health data for a preventive health data space was finalized.

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)
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
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 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 samenwerking binnen de overheid (<i>whole of government</i>), maar ook tussen overheid en bedrijfsleven en burgers (<i>whole of society</i>)⁶. 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. Binnen het Vraaggestuurd Programma Veilige Maatschappij (VPVM) ontwikkelt TNO nieuwe kennis, technologie en sociale innovaties met én voor onze partners in het veiligheidsdomein. Om impact te 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 van 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. 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 highlights van 2025 uitgelicht. <i>Weerbare samenleving</i> De weerbaarheid en veerkracht van de samenleving zijn belangrijke factoren in het beschermen van de nationale veiligheid. In 2025 is in samenwerking met publieke en private partners de propositie aangescherpt en zijn de doelen aangepast naar vier thema's waarin TNO een onderscheidende bijdrage levert: (1) het beschermen van vitale infrastructuur en processen door integrale dreigings- en risicoanalyse methodieken en innovatieve oplossingen voor beschermen en herstel te ontwikkelen; (2) het versterken van weerbare gemeenschappen via nieuwe organisatie- en samenwerkingsconcepten en effectieve communicatie; (3) strategisch omgaan met schaarste door inzicht te bieden in de verspreiding en bestuurbaarheid van schaarste binnen ketens; en (4) het tegengaan van beïnvloeding door het ontwikkelen van centrale aanpakken tegen desinformatie en het opzetten van simulatie- en experimenteeromgevingen. In 2026 start TNO een nieuw vraaggestuurd programma Weerbaarheid (P108) met een focus op deze thema's. De weerbaarheid van veiligheidsprofessionals en veiligheidsorganisaties als essentieel onderdeel van hun voortzettingsvermogen blijft een thema in het VPVM. Het nieuwe VP zal zich focussen op weerbaarheid vanuit het bredere perspectief om de continuïteit van de samenleving te waarborgen in tijden van toenemende militaire- en hybride dreigingen. Ondertussen zijn in 2025 ook verschillende belangrijke inzichten opgedaan en zijn innovatieve concepten ontwikkeld. Zo is in samenwerking met DGPenV en de NCTV een AI-algoritme ontwikkeld op basis van Large Language Model technieken om ten tijde van langdurige crisis sneller een meer omvattend beeld te vormen van de huidige situatie	

⁶ 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).

en van verschillende opties hoe die situatie zich verder kan ontwikkelen. Daarnaast is in samenwerking met het KCR2 een wargame ontworpen waarmee civiele en militaire partijen gezamenlijk een scenario hebben doorleeft rond groot-schalig militair transport door Nederland. Deze simulatie heeft verschillende uitdagingen blootgelegd die nu door de stakeholders worden opgepakt. Tot slot is in samenwerking met meerdere publieke en private partijen het scenario 72-uur zonder stroom geanalyseerd en zijn drie concrete spanningsvelden geïdentificeerd die samenwerking in deze context belemmeren. Voor elk spanningsveld is een oplossingsrichting geformuleerd die de betrokken partijen in 2026 verder gaan concretiseren en implementeren.

Slagvaardige besluitvorming

De bijdrage van het VPVM aan deze propositie ligt in het versterken van het informatie gestuurd optreden van organisaties uit het veiligheidsdomein 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 is hierop samengewerkt met onder andere DJI, OM en Douane. Zo is bijvoorbeeld een proof-of-concept tool ontwikkeld waarin AI en data-analyse technieken worden ingezet om de besluitvorming ten aanzien van verzoek, bezwaar of verlof binnen DJI sneller en meer uniform te laten verlopen. Daarnaast zijn in samenwerking met DGSenB en Directie Innovatie, Kennis en Strategie (IKS) van JenV innovatieve systeemanalyse en visualisatie tools ontwikkeld waarmee beleidsmakers inzichten uit systeemmodellen kunnen vertalen naar beleidsafwegingen ten behoeve van *evidence-based* beleidsvoering.

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 autonome systemen kunnen worden ingezet voor veiligere, betekenisvollere en effectievere taakuitvoering. Dit onderzoek wordt uitgevoerd in samenwerking met politie, DJI, KMar en de Directie IKS van JenV. In 2025 zijn prototypes van softwaremodules ontwikkeld om robots autonoom informatie te laten verzamelen in een nog onbekende dynamische omgeving.

Titel	VP Kennisopbouw Politie (P106)
MTIB Thema	Veiligheid
Contactpersonen TNO	Gwen Jansen-Ferdinandus en Henri Bouma (VPM), Tjarda Krabbendam-Hersman (DD) en Christa Hooijers (DS)
Contactpersoon Regievoerder	Sven Hamelink, Kirsten Hehemann, Marian Luursema (Politie)
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
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 & 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 resultaten. • De veranderende politieorganisatie. De politie staat voor grote personele uitdagingen door arbeidsmarktkrapte, uitstroom van personeel en toenemende maatschappelijke en technologische complexiteit. Binnen het programma Politie Goed en Juist Bezet is kennis opgebouwd naar innovatieve, toekomstbestendige oplossingen om de organisatie wendbaar en goed bezet te houden. Zo is een verkenning uitgevoerd naar competentie-gebaseerde strategische personeelsplanning. Deze inzichten vormen een basis voor strategische besluitvorming over inzet, werving en ontwikkeling. Daarnaast werkt politie aan het systematisch in kaart brengen van de benodigde vermogens over de hele organisatie om toekomstbestendig te blijven in een snel veranderende wereld. In 2025 is een proof-of-concept ontwikkeld om dit op schaal, geautomatiseerd te kunnen doen: een analysepijplijn waarin een large language model (LLM) trends, doelen en strategieën in visiedocumenten annotteert en koppelt aan politievermogens. • Politiewerk van de toekomst. Om het anticiperend vermogen van de politie op maatschappelijke en technologische ontwikkelingen te versterken, is gewerkt aan drie onderzoekslijnen: politiewerk in het digitale domein, coherente toegangsbeveiliging en de double-loop aanpak ondermijning. Voor het digitale domein zijn kennisproducten en proof-of-concept tools ontwikkeld om de informatiepositie rond cybercriminaliteit en digitale operaties te verbeteren. Het onderzoek naar coherente toegangsbeveiliging leverde inzichten op in factoren die informatiedeling beïnvloeden, getoetst aan een wetenschappelijk gedragsmodel (COM-B) en aangeboden voor internationale publicatie. De double-loop aanpak ondermijning richtte zich op data-gedreven werken, systeemanalyse en reflectief leren om adaptieve criminele netwerken effectiever te bestrijden. Dit resulteerde in methodologie, toolbox en onderwijsinzet, waarmee het fundament is gelegd voor een lerende en innovatieve aanpak van ondermijning. • Politie medewerker van de toekomst: Het programma Weerbaar en Wendbaar richt zich op innovaties die de veerkracht en flexibiliteit van politieorganisatie en medewerkers versterken. In 2025 zijn onder meer een conceptprompt voor een AI-gedreven digitale adviseur ontwikkeld en getest, een wetenschappelijke publicatie over verandervermogen en leiderschap opgeleverd, en een methodiek voor dialoog over weerbaarheid van jong gediplomeerden geïntroduceerd. Daarnaast is een survey uitgevoerd om de doorwerking van kennis in de organisatie te meten. Binnen het programma Politie middelen van overmorgen is een afwegingskader ontwikkeld om nieuwe middelen te beoordelen, inclusief een Quickscan, evaluatie van de Blue LEAP-testmethodiek en een demonstrator van het Systeem Politieagent. Ook zijn toekomstige technologieën verkend. Tot slot is binnen Datagedreven adaptieve XR-training een prototype-dashboard getest in VR-trainingssessies, met richtlijnen voor didactische inzet en ontwerp. Deze resultaten vormen een basis voor innovatieve toepassingen die leren, uitrusting en adaptiviteit van de politie versterken. • Politiedata en intelligence: Het programma Politiedata en Intelligence richt zich op het versterken van het intelligenciewerk met innovatieve analysemethoden en AI-toepassingen. In 2025 zijn onder meer het IDIOM-prototype voor dreigingsinschatting verbeterd, indicatoren aangescherpt en een OSINT-demonstrator met AI-assistent ontwikkeld. Daarnaast zijn AI-technieken zoals Markov- en procesmining toegepast om afwijkingen in processen te detecteren, en is systeemdynamica ingezet voor analyses van maatschappelijke onrust. Ook	

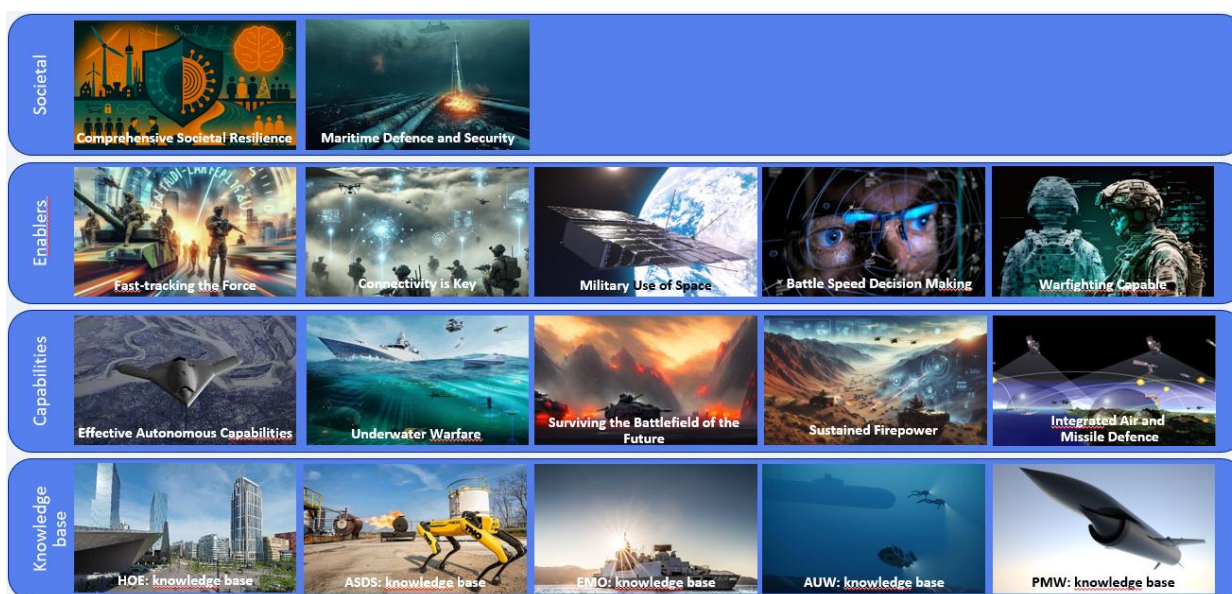
vond een workshop plaats met de intel-AI-denktank over actuele AI-toepassingen. Binnen Modelgedreven data-integratie (VocabularyHub) is een demonstrator opgeleverd die inzicht biedt in informatiemodellen en interoperabiliteit verhoogt via mappings en richtlijnen voor beheer. Deze innovaties dragen bij aan snellere, betrouwbaardere informatie-uitwisseling en een toekomstbestendige intelligencefunctie.

- **Techniek in de operatie:** Het programma TOPS10 richt zich op technologieën die het operationeel beeld van politieoperaties versterken door slimme inzet en combinatie van databronnen. In 2025 zijn diverse proof-of-concepts en demonstrators ontwikkeld waarmee automatisch gebeurtenissen en afwijkende patronen kunnen worden gedetecteerd op basis van video-, audio-, geo- en RF-signalen. Binnen Counter Drones (C-UAS) is samen met Defensie gewerkt aan detectie, classificatie en identificatie van drones via RF-signalen, inclusief real-time algoritmes voor drukke omgevingen en selective jamming. Daarnaast zijn succesvolle tests uitgevoerd met mitigatietechnieken tegen 5G-gestuurde drones en is gestart met onderzoek naar het gebruik van telecominfrastructuur voor drone-detectie. Ook is een passief detectienetwerk opgezet met meerdere sensortechnologieën om een kostenefficiënt en robuust systeem voor dronebewaking te realiseren. Deze innovaties leggen de basis voor toekomstbestendige oplossingen tegen snel evoluerende dreigingen.
- **Technologie-ontwikkelprogramma's:** Het programma Robotica richt zich op het ontwikkelen van inzetconcepten voor autonome en op afstand bediende robotica binnen het nationale veiligheidsdomein. In 2025 is gewerkt aan een politie-use case (Forward Observer-robot), waarbij inzichten zijn opgedaan in operationele behoeften en situational awareness via autonome kaartopbouw. Ook zijn stappen gezet in tele-operatie, waaronder een demonstrator die volledig via een VR-bril werkt, en is een sensorsuite geïntegreerd op een politieplatform. Daarnaast is een overzicht opgesteld van interoperabiliteitsoplossingen en relevante standaarden. Het programma Privacy-Enhancing Technologies (PETs) onderzocht hoe PETs de politie helpen gegevens veilig en effectief te delen, in lijn met AVG-principes. Kansrijke toepassingen zoals data-integriteit, gezichtsherkenning en synthetische data zijn geëvalueerd, inclusief juridische en organisatorische randvoorwaarden. Deze kennis vormt een basis voor toekomstige implementatie van PETs als sleuteltechnologie binnen de politie.

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	F. Leijten, L. Hallman (Mindef), 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. The Netherlands and Europe are taking actions to become strategically less dependent, both economically and for its defence. New investments in new defensive capabilities (or their renewal) are announced daily and industry is stepping up its R&D and production. Consequently we experience an increasing and long-term demand for all innovations in Vraaggestuurd Programma P104.



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

P104 contributes to the realization of all strategic TNO DSS propositions as presented above, with emphasis on: Integrated Air and Missile Defence; Sustained Firepower; Surviving on the battle field of the future; Effective Autonomous Capabilities; Maritime Defence and Security; Military Use of Space; and our Knowledge base.

Following the TNO-wide portfolio review, and in light of European rearmament, the White spot topics 'Cost-effective radio-frequency (RF) seekers', 'Optical/laser mesh communication terminals for drones', 'Exploding Foil Initiators', and 'Munitions Production' have been added to the portfolio starting in 2026, including the associated impulse funding. Due to the urgency of these topics, P104 budget was made available in 2025 to kick-start the developments. This has already led to results and valorisation opportunities.

P104 forms a crucial part of a mature financing mix, where this programme boosts the exploration of industrial and ecosystem participation in technology development as well as the subsidised investment in high potential, low-TRL developments. We help to maintain and further strengthen the global leadership and competitiveness of our national industrial defence and security ecosystem in specific niches through industry-relevant R&D with an emphasis on the speed of innovation. We do this through a revolving set of approximately 40 running projects and a comparable number of opportunities in various stages of acquisition.

The international defence and security market is by no means a level playing field and national boundaries play an important role. We keep striving for lasting impact, international collaboration, and growth. We continue to support our units propositions. We will bring Science and Innovation at the Frontline.

Titel	VP Cyber Risk Management and System Resilience (P103)
MTIB Thema	Veiligheid
Contactpersonen TNO	Sjoerd-Jan Wiarda (VPM), Berry Vetjens, (DM)
Contactpersoon Regie-voerder	Frits Grotenhuis, Digital Holland; Martijn Lucassen, MinEZ Directie Digitale Economie
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
The Vraaggestuurd Programma (VP) Cyber Risk Management and System Resilience (CRM&SR) delivered concrete results in 2025 that strengthened the cyber resilience of Dutch industry, critical infrastructures and public organisations. The programme addressed the increasing complexity of cyber threats, growing regulatory pressure (notably NIS2 and preparation for the Cyber Resilience Act), and the need to move from reactive security to secure-by-design and resilient-by-design approaches. The VP plan 2025–2028 was developed prior to TNO’s strategic reorganisation into new Product-Market Combinations (PMCs), which was implemented as of jan 1, 2025. While the original plan still reflected the pre-2026 structure, execution and reporting in 2025 were deliberately aligned with the new PMC structure as formalised in the VP plan 2026–2029. This ensured continuity, comparability and forward alignment with TNO’s updated way of working. Across the three PMC clusters, Cybersecure Products & Systems, Secure Data & Communication, and Cyber Resilient IT/OT Infrastructures, the programme achieved tangible outcomes, as defined in the Theory of Change, in 2025. These outcomes should be understood as substantial and necessary steps in a broader multi-year transition towards structurally embedded cybersecurity, rather than isolated or incremental improvements. • Availability: VP Cyber delivered a portfolio of new tools, methodologies and demonstrators to industry and public stakeholders, including automated vulnerability testing, post-quantum cryptography migration tooling, Mobile OT security testing station, secure AI methodologies and roadmaps, autonomous resilience technologies and sector specific demonstrators in energy and hightech. These assets were made accessible through open-source, applied research projects and public private partnerships. • Adoption: secure-by-design practices were actively transferred into industrial and governmental contexts through pilots, field labs, training programmes, public–private partnerships and standardisation activities. Two dedicated initiatives, the Brabant House of Cyber and the INSYST programme, were launched to structurally stimulate adoption and embed VP Cyber innovations in product development, operational practices. • Readiness: organisations increased their capability to anticipate, withstand and recover from advanced cyber threats through improved detection and response capabilities in operational environments, including e.g. contributions to the National Detection Network (NDN) of the National Cybersecurity Center (NCSC) and further developments of advanced monitoring and analytics for the Security Operation Center of the Dutch Tax Authority (Belastingdienst). For Cybersecure Products & Systems, key highlights of concrete outputs include the launch of the Brabant House of Cyber as a regional public–private platform for cybersecurity-by-design in high-tech and defence-related products; the initiation of a dedicated Secure AI research line establishing an initial knowledge base, roadmap and first tools to address security, robustness and assurance risks of AI-enabled products and systems; the granting and start of the TKI INSYST programme on secure software for autonomous maritime systems where we jointly innovate to realise secure autonomous vessels; and the establishment of an open-source community, by providing workshops and tutorials, around WuppieFuzz to accelerate adoption of automated security testing. Within Secure Data & Communication, the CONFIDENTIAL6G project was completed with national and international partners, delivering validated cryptographic building blocks for future mobile networks. In parallel, practical guidance on post-quantum cryptography migration was disseminated through the PCSI initiative with financial institutions and public organisations. In addition, TNO delivered The Future of Authentication together with the National Cyber Security Centre, supporting strategic decision-making on digital identity and authentication.	

Within Cyber Resilient IT/OT Infrastructures, TNO further strengthened its position in OT security and autonomous cyber resilience. This included the launch of the Innovatiecoalitie Cyberveilige Energietransitie with the Province of South Holland, strengthened OT security capabilities through real-world demonstrations of cyber-attacks and their detection in energy and water labs, fundamental technological advances in Autonomous Cyber Resilience (ACR) such as self-healing of PLCs, and continued international contributions to security playbook automation standards such as OASIS CACAO.

Through close collaboration with ministries, regulators, industry partners, regional ecosystems and European consortia, VP Cyber translated research into actionable outcomes that support national security, economic resilience and technological sovereignty. The 2025 results form a robust foundation for the scaled-up, PMC-driven execution of the VP Cyber programme in the 2026–2029 period.

Titel	VP ICT (P706)
MTIB Thema	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO	Berry Vetjens (DM), Björn Håkansson (VPM)
Contactpersoon Regie-voerder	Frits Grotenhuis (Directeur Topsector ICT)
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
TNO works on Quality of Life in a digitalizing world and Earning Power for The Netherlands as key impact goals, by finding innovative answers to the big challenges of our time. The challenges in digital technologies have recently also surged to the top of international political agenda's. The answers to these challenges are therefore key for both industrial and societal stakeholders and include focus on sovereignty, sustainability and integration of public values, and involves integrating the identified enablers in national and European ICT agendas in first-time engineering solutions.	
To guide these developments, the VP ICT focuses on the common needs of our stakeholders with a portfolio of Product Market Combinations (PMCs) clustered in three distinct propositions:	
Proposition Data Sharing and AI	
Artificial Intelligence (AI) is widely seen as a transformative technology with lots of capabilities. However, in the AI adoption many parties have concerns about trustworthiness, privacy, and ethics. Our ambition is to increase trustworthiness by adopting Hybrid AI, combining knowledge-driven and data-driven approaches, so that the factuality of Generative AI is increased.	
The use of AI is fuelled by data. Data sharing is a key enabler for new business opportunities by combining data sources, but access to data is hindered by lack of trust between data owners, insufficiency in data interoperability and limited business models. Our ambition is to resolve barriers for data sharing by enabling data spaces within and across domains, ensuring interoperability of data sharing systems, avoiding vendor lock-in and achieving national data-hub(s) ecosystems.	
Data is the essential ingredient in other services that are needed in mature data ecosystems: product provenance and identity. Digital twins are another growing area that leverages data and AI to create more reliable and manageable complex systems.	
Highlights for 2025 include the publication of the updated Data Spaces blueprint e.g. used for open source data space building blocks (by SIMPL) and applied by European Data Spaces, adoption and endorsement of Privacy Enhancing Technologies (in parliament, by SMEs and by for instance AIVD), showcases of Hybrid AI and LLMs in Agrifood, Digital identity management in the labour market, successful Digital Twins in various domains, and EU-level digital product passport initiatives.	
Proposition Fast and Open Digital Infrastructures	
Digital infrastructures are the foundation for the digitalization of our society and economy, enabling technologies like AI, data ecosystems and cloud platforms. Future digital infrastructure integrates network connectivity, storage, and (AI) compute, achieving a seamless cloud-edge continuum through virtualization and cloud-edge federation that can be wirelessly accessed by 'everyone and everything'. These infrastructures focus on performance, sovereignty, resilience and sustainability, with standardized or open technologies enhancing user flexibility. In 2025, in the Future Network Services (FNS) program, TNO launched the national 6G testbed across 5 field-labs which provides an open platform for cutting-edge 6G research and real-world experimentation, empowering entrepreneurs to develop, test, and scale innovative solutions in collaboration with TNO, academia and industry. Over 100 letter-of-intents were signed by SMEs showing concrete intention of making use of the testbed in phase 2 of the program. In addition, TNO has filed 6 new patent applications.	
Equally relevant were the developments in cloud federation through IPCEI-CIS ECOFED and MISD, strengthening Dutch and European capabilities in interoperability, sustainability, and digital sovereignty. Finally, multiple telco API	

proofs-of-concept were validated with application domain-specific services demonstrating how programmable networks and edge cloud exposure may offer additional monetization opportunities in the telco market.

Proposition Trusted ICT

Quantum computing is expected to provide great value for numerous industries, scientific fields and public organisations. While the hardware is not yet fully matured, the focus here is to find the areas where and how quantum computing will have impact. In 2025, the capabilities of the Quantum Application Lab Facility has been extended and applied to explore quantum solutions for (for example) methane detection, aviation marketing optimization, power cable maintenance and modelling of processes relevant for the semiconductor industry.

Within these exploration projects the stakeholders were able to determine if and how quantum computing applications are valuable. The solutions found, as well as the tools used are released as open source code. Within the European landscape, Trusted ICT has continued its leading role in quantum standardisation as well as starting the establishment of an excellence center for quantum computing within EuroHPC JU.

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
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
Over the past decades, physical systems have been increasingly subject to digitalization. The rationale for digitalization is simple: it unlocks enormous potential in terms of functionality, performance, variability, flexibility, etc. Digitalization is now a fact across almost all physical systems as new digital developments, such as AI, are introduced.	
VP Digital Systems has the goal to strengthen Dutch society and economy in view of these digital transitions with methodologies where systems engineering is used in a broad sense 1. to manage the complexity of advanced digital systems and 2. to leverage the full potential of applying digital technologies in physical systems. In view of the complexity inherent to digital systems, the growing international competition, and the shortage of skilled technical experts, the VP wants to deliver methodologies to realize the following vision on future systems engineering:	
<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>	
The VP addresses both digitalization of engineering and engineering of digitalization. The initial focus of VP Digital Systems is to develop, validate, and embed such methodologies in two domains. In the high-tech systems domain, the VP has established a strategic role for itself in the strong eco-system. In the energy domain, the VP is investing in establishing a similar role.	
To achieve its goal / realize its vision, VP Digital Systems supports the following actions:	
Agenda Setting and Programming: VP Digital Systems collaborates closely in research programs with eco-systems in the high-tech systems industry and in the energy domain, linked to the relevant innovation agendas and the national technology strategy. Highlights were the development of the <i>Actieagenda Digitalisering Energiesysteem</i> (ADE) which will drive the national research and innovation agendas for energy systems digitalization, and the development of a vision for almost all of the VP’s program lines including research outlook.	
Research: VP Digital Systems does research projects based on strategic research questions from the respective domains with a close cooperation with industry, market, government agencies, and academic groups. The approach for VP Digital Systems is demand-driven, rather than technology driven. Highlight was the joint FuESSE collaboration with the Dutch grid operators, a significant milestone towards future extension of the VP’s partnership foundation.	
Valorization: VP Digital Systems’ valorization focuses on further embedding the research from the VP’s applied research in high-tech industry, the energy domain and in other societal domains including defense and infrastructure. It includes consolidation and dissemination of research results in publicly accessible platforms. To promote the industrial use of VP Digital Systems results, methodologies and tools into high-tech industry practise, and thereby growing impact and presence, we initiated the creation of new business models. Closely connected, mature results have been addressed in new market partnerships, the results include the Renaissance tools for complex software code rejuvenation, the open S2 standard for energy flexibility interoperability and the sector-wide application of the Energy System Definition Language (ESDL). In the training area, we have delivered a significant contribution to system competence development programs in the Dutch defense area.	

Titel	VP Sleutelmethodologieën voor Transitie en Transformaties (P901)
MTIB Thema	KIA Maatschappelijk Verdienvermogen / Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO	Tessa Bruijne (VP Manager), Lotte de Groen (plaatsvervangend Markt Directeur) en Anne Fleur van Veenstra (DS)
Contactpersoon Regievoerder	- Regievoerder: Ashna Raghoebarsing, Ministerie van Economische Zaken, Directie Innovatie en Kennis (I&K); regievoerder participeert tevens in Externe VP Klankbordgroep en Programmteam KIA MV. - Externe VP Klankbordgroep voorgezeten door DM en VPM – deelname van: - Ministerie van Economische Zaken (EZ) - Directie Innovatie en Kennis (I&K) - Directie Algemene Economische Politiek (AEP) - Directie Strategie Energiesysteem (SES) - Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) - Afdeling Kennis, Internationaal, Europa, Macro-economie (KIEM) - Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) - Directie Algemeen Strategisch Advies (ASA) - Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) - Directie Strategie, Kennis en Innovatie (SKI)
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
De wereld stond ook in 2025 voor grote, complexe uitdagingen zoals klimaatverandering, schaarste van ruimte en arbeidskrachten, sociale ongelijkheid, en snel opkomende technologieën. Deze uitdagingen zetten de brede welvaart van Nederland onder druk. Het doel van het Vraaggestuurde Programma (VP) Transitie en Transformaties voor de periode 2025-2028 is bijdragen aan het richting geven aan en versnellen van maatschappelijke veranderingen om deze uitdagingen aan te pakken. We realiseren impact door technologische innovaties te versterken met expertise, methoden en vaardigheden op het gebied van maatschappelijke innovatie en strategie. We bieden overheden, bedrijven en maatschappelijke organisaties handelingsperspectief: praktische inzichten en richtlijnen die helpen bij het nemen van weloverwogen beslissingen om de brede welvaart, het economisch verdienvermogen en het sociaalmaatschappelijk en ecologisch welzijn, structureel te bevorderen in Nederland en Europa. Maatschappelijke innovaties zijn essentieel om technologische vernieuwingen beter in de economie en samenleving te verankeren, waardoor hun impact en rendement worden vergroot.⁷ Deze innovaties ontstaan door een multidisciplinaire aanpak en publiek-private samenwerkingen, en helpen om tot systemische en blijvende verandering te komen. Dit faciliteert ook opschaling van (technologische) innovaties. Om kansen en risico's vroegtijdig te identificeren, voeren we strategische analyses 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. Het VP richtte zich in de periode 2025-28 op vier impactgebieden (Innovatie, Digitaal, Ruimte en Industrie) en proposities. De resultaten voor 2025 richtten zich op het versterken van kennisopbouw binnen deze vier impactgebieden, door middel van deelname aan Nederlandse en Europese ecosystemen: Innovatie: Propositie Innovatiesystemen voor transitie en transformaties. Deze propositie richt zich op kennisopbouw over transformatieve overheid, transitie monitoring en transitie-economie. - 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: Propositie Waardengedreven digitale samenleving. Deze propositie richt zich op kennisopbouw over adaptieve sturing van AI en datagestuurde transitie.	

⁷ Zie TNO Vector Agenda voor actieonderzoek naar maatschappelijke innovatie (2023): [Maatschappelijke innovatie: noodzakelijke stap om te kunnen versnellen - TNO Vector](#)

- Kennisopbouw rond adaptieve sturing van AI en datagedreven transitie.
- Onderzoek naar **governance-modellen** voor duurzame ICT, digitale soevereiniteit en versterking van digitaal vertrouwen.
- **Ruimte: Propositie Economische, governance en ruimtelijke strategieën** (voorheen Waardengedreven duurzame steden en regio's). Deze propositie richt zich op kennisopbouw over klimaatneutraliteit en brede welvaart.
 - Verdiepen van kennis over klimaatneutraliteit en brede welvaart.
 - Ontwikkelen van een **leerlijn** voor onderwijs over deze thema's.
- **Industrie: Propositie Groene en strategisch autonome industrieën**. Deze propositie richt zich op kennisopbouw over onzekerheden in waardeketens, strategische autonomie en financiering van transitie.
 - Versterken van inzicht in onzekerheden in waardeketens, strategische autonomie en financiering van transitie.
 - Verbeteren van **methoden** voor het orkestreren van innovatieprocessen en ontwikkelen van nieuwe financieringsmodellen.

In relatie tot het VP en ten behoeve van de diensten van TNO Vector, waarin dit VP is gelieerd, onderhouden en ontwikkelen we door op een kennis- en toepassingsportfolio van **Sleutelmethodologieën** oftewel **Key Enabling Methodologies (KEMs)**. We bouwden hierbij voort op de onderzoeksagenda Key Enabling Methodologies (2024-27), onderdeel van de KIA MV (2024-27).⁸ Voor het VP als geheel lag de focus in 2025 op het aanscherpen en valideren van het dienstenportfolio in relatie tot het KEM-portfolio, waarbij specialisatie binnen de vier genoemde propositie centraal stond.

⁸ Zie [De KEM-agenda - CLICKNL](#)

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 (MinEZ)
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
Our multi-annual R&D program 2026 - 2029 supports our ambition to contribute to preventing climate change and air pollution, enable secure broadband connectivity, help understanding the Universe, and stimulate economic growth in the Netherlands and Europe, making this all happen in a sustainable way. Therefore, we organise the VP along program lines directly connected to this ambition; Instruments for Earth Observation and related Space Data Utilization, technologies for Satellite Communication, and Scientific Instrumentation focusing on instruments for Ground Based Astronomy, Space Based Astronomy, Big Science and Diagnostics for Fusion Energy, and system development for In-Orbit-Servicing to extend the lifetime of satellites and their payloads. The main parts of the VP Space & Scientific Instrumentation 2025 are summarized below. The programme line Earth Observation focused on the design and development of new instruments, development of technology that supports today's instrument realisation, and space data utilisation. The programme line Satellite Communication focused on developing state-of-the-art optical terminals for ground, air and space usage for the value chain of global satcom providers. Furthermore TNO started in 2024 to intensify investments in quantum communication and internet enabled by space nodes and continued this investment in 2025. The programme line Scientific Instrumentation, with the main activities in Space-based Astronomy and Ground-based Astronomy, focused on opto-mechatronics design & analysis of subsystems for large telescopes and space-based systems. For Big Science the focus was on starting 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, for nuclear fusion technology the focus was on applying our optical systems design expertise to develop technologies for diagnostic instrumentation in the extremely challenging environment of the nuclear fusion chamber. The programme line In-Orbit-Servicing focused on contributing to a long-term space sustainability with its expertise in the field of Optics, Optomechatronics, Radar and Space System Engineering, enabling the required space systems for Guidance, Navigation and Control (GNC), rendezvous proximity operations, inspection and docking. A first step is to get involved in the EU pilot mission for In-Space Operations and Services (ISOS). Some highlights in 2025 are the official announcement on 9th of July 2025 by the Dutch consortium ISISPACE, TNO, SRON, and KNMI on the construction of the Twin Anthropogenic Greenhouse gas Observers (TANGO) following contract signature between the European Space Agency ESA and ISISpace on 26th of June 2025. Furthermore TNO received support from the Netherlands Space Office's (NSO) Space Instruments Program to start hands-on technology development together with SRON and KNMI for the instrument EARTHINSPECT; Emission of Ammonia Research with Thermal INfrared SPECTrometer. On 12th of August 2025 the MetOp-SG-A1 weather satellite was launched successfully from Kourou, French Guiana, aboard an Ariane 6 rocket. With it, the powerful Copernicus Sentinel-5A instrument went into space to become operational– a major step forward in how we monitor the air we breathe and an important final milestone for the TNO team that largely contributed to the realization of this instrument. In February 2025 TNO successfully established a first Dutch hybrid quantum channel for secure communication. In a pioneering field test (code name KiQqer), quantum entanglement was successfully distributed among three devices located in different buildings on the TU Delft Campus. This small-scale configuration simulates a future satellite-ground network connection. The communication system's components were developed by six different companies; Qunnect, Single Quantum, Qblox, Xairos, OPNT and Fortaegis. By the end of summer 2025, TNO announced participation in the project SEEWQCI which stands for 'South-East Europe to Western Europe Quantum Communication Infrastructure'. Together with partners in Greece, Bulgaria, and Cyprus, TNO is rolling out one of Europe's first cross-border quantum	

networks. In the Dutch consortium, the Ministry of Foreign Affairs and the AIVD are working together with Quantum Delta and TNO. The project SEEWQCI is part of the EuroQCI project, where the European Commission is working on a quantum-secure communication infrastructure for all of Europe. In December 2025, TNO and Airbus have successfully made an optical data link between an aircraft and a geostationary satellite at a data rate of 2.6 Giga Bit per second (Gbps). This proves that secure, high-speed communication from air to space is possible for both military and commercial connections, and it's a boost for European competitiveness.

In February 2025 it was announced that a special committee that performed an independent assessment on leading technologies for the future Keck Adaptive Secondary Mirror (KASM), had consensus to proceed with the TNO technology. This decision has led to TNO signing its first contract with the W. M. Keck Observatory in December 2025 to initiate the design of Keck's Adaptive Secondary Mirror. The telescope's view will improve significantly with TNO's high-density Adaptive Secondary Mirror.

Titel	VP Semicon & Quantum (P612)
MTIB Thema	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO	Rogier Verberk (DM), Kees de Koning (VPM)
Contactpersoon Regie-voerder	Medical; S. Mentink (Philips), Semicon; F.List (ASML), Quantum; M. Blom (Micronit), M.Janson, W.Schaap (MinEZ)

Programma jaar 2025 - Samenvatting

The goal of TNO's roadmap on Semicon & Quantum is to stimulate the Dutch and European industry to develop strategic positions ('control points') in critical value chains. TNO's technology leadership helps companies to innovate faster than their competitors, and is the foundation of new startups. The focus on the semiconductor industry and quantum technologies is because of the high geo-economic value, and the significant economic impact (high export value) of these sectors. Any significant industry, vital infrastructure, and potential solution to societal challenges relies on integrated circuits (chips) to generate, process, and store data. The European Council states in its Strategic Agenda 2024-2029 that Quantum Technologies & Semiconductors are key topics, and these topics are also among the 10 priorities of the Dutch "Nationale Technologie Strategie". It is our ambition to realize ground-breaking technological innovations to safeguard the position of Dutch leaders (like ASML), and to create new ones within the semiconductor industry, as well as in the emerging quantum industry. The focus on medical devices for non-invasive diagnostics and monitoring is motivated by the ambition to fight the congestion in the Dutch medical system. This portfolio contributes directly to the sovereignty of Europe, while these 'beyond state-of-the-art' technologies generate significant spillovers to other sectors as well.

TNO continues its support to ASML by developing new technologies to continuously improve the DUV and EUV lithography systems. As well in the field of equipment lifetime improvements as on metrology interesting steps are taken. E.g., more accurate RGA sensors for gas measurement in the EUV scanner, faster and more accurate heat load measurements at the wafer stage. A Transparent Retarding Field energy analyzer (tRFEA) has been developed to measure plasma ion currents in an EUV light beam. Techniques to tailor the plasma and reticle environment by means of voltage biasing have been developed. A study has been conducted to understand the impact of EUV exposure and H2 plasma conditions on defect repair under scanner-like conditions. Furthermore particle release behavior is studied with the E-beam set-up. All these developments aim at a better conditioning of critical parts in the EUV vacuum environment and improving the lifetime of key performance elements.

Furthermore understanding and conditioning of the DUV immersion hood for reduced defectivity has been conducted.

A study has been conducted on the replacement of PFAS containing compounds that are used in the EUV scanner, focusing on lubricants and elastomers. Measurements are ongoing.

In the Metrology proposition, a new metrology technique to image the latent image in resist on wafers, based on Infrared Atomic Force Microscopy (IR-AFM) has been developed. New metrology techniques like XPS angle-resolved, surface and depth profiling for assessing EUV reticle damage mechanisms have been developed.

In our Quantum Proposition, the year 2025 has marked the beginning of a turn. After years of knowledge development, mostly via the partnership with TU Delft, we developed new offerings to start supporting the ecosystem of Quantum companies that is flourishing in The Netherlands. We also identified key IP that can be licensed or spun out into new startups and engaged much more strongly in international collaboration via a very strong involvement in European projects. We also secured first Public Private Partnership and business to business projects with SMEs.

In the proposition Medical Devices the Retinal Imaging QRI system has been completed, approved for use in a clinical study and tested on a human subject with good quality images. In the field of wearable optic and sensing we have developed a novel multi-color sensing platform, that uniquely allows the remote and continuous measurement of microvascular health and response to challenges (heat/cold, pharmaceuticals, allergic reaction. In the application field Ultrasound we have developed a photoacoustic setup that allows us to demonstrate the signal-to-noise benefit of IPUT transducers compared to piezo-electric transducers in photoacoustic applications.

Titel	VP Flexible and Freeform Products (P615)
MTIB Thema	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO	Ton van Mol
Contactpersoon Regie-voerder	Erik van de Burgwal (MinEZ), Peter Stolk (Topsector HTSM)
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
In VP Flexible and Freeform Products (Holst Centre), it is our ambition to strengthen Dutch industry by creating innovations based on our capabilities in thin film electronics and hybrid printed electronics combined with 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. Through our unique business model of shared innovation and industrial residents we actively transfer our innovations to our industrial partners as well as the establish new start-up companies. Our technology portfolio enables 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. 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. New approaches to innovation are needed such as a serial spinout model, focused programmatic initiatives and pilot lines that involve the relevant value chain players and stakeholders. Our unique approach to innovation is applied to 5 growth platforms: ➤ New manufacturing technologies aims to boost EU electronics manufacturing by deploying sustainable, high-performance additive technologies—ultra-fast and ultra-precise LIFT assembly, fully 3D-printed microelectronics, and low-carbon printed PCB production—to establish globally competitive, EU-based industrial leadership by 2030. In 2025, we delivered a functional LIFT-based microLED manufacturing flow and manufactured customer prototypes, for 3D-printed electronics we performed early customer validation and demonstrated fully recyclable, low-impact electronics with up to 90% environmental reduction in an industrial LED product. ➤ Health, aims to position Dutch MedTech as a leader in personalized healthcare by 2030 through clinically validated wearable patches, large-scale adoption of 3D-printed personalized medicines in pharmacies, and fully	

integrated lab- and organ-on-chip platforms for diagnostics and research. In 2025, across our activities on wearables, organ-on-chip and pharma printing, we delivered ICU and smart wound patch prototypes with industrial partners, realized multiple smart wellplate and OoC concepts with startups and panel makers, and installed the first hospital-integrated 3D pharma printer to enable clinical trials of personalized medicines.

- **Energy storage** aims to build a Dutch-led ecosystem for next-generation batteries and high-tech electrolysis by leveraging thin-film and display manufacturing technologies to establish gigafactory supply chains, circular battery concepts, and multiple globally competitive equipment and spin-off companies by 2030. In 2025, we demonstrated breakthrough sALD-enabled performance in batteries and electrolysis—delivering major life-time, catalyst-reduction and stack innovations—while securing and advancing the OBIC pilot line, maturing pouch-cell reproducibility, and initiating proprietary electrolyzer equipment development towards commercialization.
- **Advanced packaging** The program aims to establish globally competitive advanced chip-packaging platforms by 2030 through additive-manufactured, high-reliability power electronics packages and ultra-low-loss, panel-level manufacturable mmWave RF packages operating beyond 100 GHz. In 2025, we delivered a validated lead-free die-attach and a first fully printed MOSFET package for power electronics, and we have advanced key RF packaging building blocks and partnerships toward integrated, thermally optimized, panel-level mmWave packages in 2026.
- **Integrated photonics** with a focus on (i) upscaling InP and SiN production in NL, (ii) creating solutions to heterogeneously integrate InP, SiN and its electronic driving chips in one package using panel level fabrication processes. Integrated photonics advanced significantly in 2025: TNO and imec-Holst Centre opened a shared photonic characterization lab, while a proof-of-concept for glass-based optical redistribution layers was achieved in collaboration with DNP under the NGF PhotonDelta program. Two new pluggable interconnect concepts—for data centers and photonic biosensing—were developed and will be commercially fabricated in 2026. In phase 2 of NGF PhotonDelta, TNO secured eight projects spanning InP/SiN chip production, packaging, and applications. Additionally, the EU Chips Act Photonics for Quantum (P4Q) proposal received a positive evaluation and is now in the negotiation phase.

Titel	VP Smart Industry (P617)
MTIB Thema	Sleuteltechnologieën
Contactpersonen TNO	Mark Courage (DM)
Contactpersoon Regie-voerder	Peter Stolk (Chair HTSM Top Sector), Leo Warmerdam (Director HTSM Top Sector), John Blankendaal (Program Council HTSM Smart Industry & Managing Director Brainport Industry), Pieter Waasdorp (Directeur ondernemerschap EZ), Abdessalam Es-Saghir (EZ, Senior Policy Advisor Smart Industry), Karima Bihaki (EZ, Senior Policy Advisor Smart Industry)
Programma jaar 2025 - Samenvatting	
The Vraaggestuurd Programma (VP) Smart Industry accelerates smart manufacturing solutions aligned with the National Technology Strategy (NTS). It targets scaling production and boosting productivity in five technology domains: • Data & AI • (Opto)Mechatronics incl. Robotics • Optical Systems • Intelligent Imaging • Cybersecurity Ambition: Develop new manufacturing technology and increase adoption of Smart Industry practices from 600 companies (1%) to >6,000 (>10%) by 2030, driving sector-wide transformation toward circular, digital, automated, robotized and intelligent manufacturing. This enables real-time adaptation to market demands, improving efficiency, sustainability, and strategic autonomy for Dutch and European industry. This transformation is essential for the earning power and strategic autonomy of the Dutch and European manufacturing sectors. Ultimately resulting in the creation of flexible autonomous manufacturing systems with a high level of Digitalisation, automation & robotization, so called NXTGEN Hightech Autonomous Factory - “dark factory” TNO contributes through R&D in autonomous manufacturing solutions, digital integration, and productivity enhancement, focusing on: • Scale-up: Hyper-efficient, zero-defect manufacturing • Productivity: High-mix, low-volume flexibility • Strategic Autonomy: Digitalization and ecosystem resilience Towards 2027 Institute Funding (IF)⁹ is directed towards co-financing ongoing EU projects and National Growth Fund projects like NXTGEN Hightech. Therefore, Smart Industry is positioned in 2025 towards High Tech Defence Industry and in transition toward alternative funding models with stronger private co-investment anticipating on possible future IF reductions. The main highlights for VP Smart Industry for 2025 were: Scale-up: Throughput & Quality • Defence industry integration: Embedded smart manufacturing in MoD roadmaps; positioned NL firms in EU supply chain and European Defense Fund (EDF) infrared camera call. • Autonomous manufacturing: In-line ultrasound quality control (DVM) for composites and metals; tech transfer trajectory for patented NDT innovation initiated. • Smart photonic sensor breakthroughs: IPUT® validated for high-throughput NDT; LigH2t® sensor achieved sub-100 ppm hydrogen detection, triggering OEM R&D collaboration. LIGH2T: Large-Scale Integrated Gas H2 Fiber Optical Sensor and Detector • SEAMIIC Test Bed: First autonomous post-processing modules for 3D-printed parts realized; ML-based quality control field testing started. SEAMIIC: Autonomous parts handling and quality control	

⁹ Institutional Funding (IF) = Annual funding for TNO from the national government

- **Autonomous workflow demonstrator:** Scan–plan–repair workflow combining 3D printing and CNC milling; pivoted toward defence and circularity applications. [3D Nesting: precision quality control and manufacturing efficiency](#)

Productivity: Flexibility & Variability

- **Digital work instructions platform:** Initiated the launch of a new Joint Venture with EHV Group, “Instant Productivity B.V.”
- **GenAI assembly sequencing MVP:** Semi-automated generation of assembly steps from 3D CAD data; new IP created and filed.
- **Remanufacturing lab** ([video link](#)): First SMEs supported via EU AI Matters TEF; kick-started the Circular Business Program Semicon.
- **Human-centric augmentation toolkit:** AI-driven prediction of human intention for adaptive work instructions (SEISMEC), enabling Industry 5.0 principles.

Strategic Autonomy: Digital Integration

- **Digital Twin Frameworks:** UNS piloted for unified data management across heterogeneous systems.
- **Digital Product Passport Adoption:** Scaled tools and standards across sectors (CIRPASS, DaCapo, Sm4tenance, NGHT SI06).
- **Data Space Expansion:** Extended SCSN to new ERP platforms and European data spaces.
- **Neurosymbolic AI for Decision Support:** Designed AI system for tire retreading process (ROB4GREEN), mapping operator challenges and tech landscape for pilot deployment.