

**TNO Onderzoek 2024 - 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                         |            |                     | Veiligheid         |
|      | 3. P310 Karakterisering Grondwater         |            | Circulaire Economie |                    |
|      | 4. P321 Renewable Energy                   |            |                     | Landbouw & Water   |
|      | 5. P323 Co2 Neutral Industry               |            | Mobiliteit          |                    |
|      | 6. P510 Luchtkwaliteit                     |            |                     |                    |
|      | 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                   |            |                     |                    |
| 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  | Alex Leighton (VP-manager), Patrick Punte (Directeur Divisie EMT System Solutions & Environment)  |
| Contactpersonen Overheid   | Timon Vervoorn en Debby Joosen (Ministerie van Klimaat & Groene Groei), Marjolein Bot, Maarten de Vries, Robert-Jan van Egmond, Guus Mulder (Missies) |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>  |   |
| <p>Nederland heeft zich gecommitteerd aan het reduceren van de broeikasgasuitstoot naar nul in 2050<sup>1</sup>. Daaruit volgt de ambitie om het huidige energiesysteem - dat vooral op fossiele brandstoffen is gebaseerd – om te vormen tot een duurzaam energiesysteem: de energietransitie. Met het <a href="#">Nationaal Plan Energiesysteem</a> heeft het ministerie van Klimaat en Groene Groei een belangrijk langere termijnperspectief neergelegd voor het transitiepad. Daaruit blijkt hoe groot de opgave is omdat het energiesysteem het fundament vormt onder de economie en onder onze welvaart en welzijn. Hoe we onze huizen verwarmen, hoe we werken, reizen en produceren, wordt voor een belangrijk deel door het energiesysteem bepaald.</p> <p>De transitie blijkt complex voor beleidsmakers op alle niveaus die werken aan effectief beleid, voor bedrijven die toekomstbestendige strategieën willen ontwikkelen, voor burgers en collectieven: voor de samenleving als geheel. Voorbeelden van complexiteiten zijn: conflicten in het ruimtegebruik, inpassing van nieuwe technologieën, interactie-effecten (zoals ecologie, economie), financiering, betaalbaarheid en gedragsaspecten. Zeker nu het klimaat- en energiebeleid vooral in de praktijk gerealiseerd moet worden, komen allerlei uitvoeringsproblemen aan het licht, zoals netcongestie, vertragingen in de besluitvorming en energiearmoede en energierechtvaardigheid. Met gerichte kennisopbouw wil TNO publieke en private actoren onafhankelijke en feitelijke kennis en inzichten bieden die hen in staat stellen onderbouwde beslissingen te nemen, en de uitvoeringsproblemen aan te pakken, bijvoorbeeld door <a href="#">inzicht te geven in verdelingseffecten</a>.</p> <p>De kennisopbouw vindt plaats in twee aan elkaar gerelateerde onderdelen: Het eerste onderdeel betreft het <i>Vraaggestuurd programma System Transition</i>, dat een brede kennisbasis onderhoudt en ontwikkelt, en bijdraagt aan de Integrale Kennis en Innovatie Agenda (IKIA) en de missies; met name aan de missie Systeemintegratie van de topsector Energie. De belangrijkste doelgroepen van de ontwikkelde kennis zijn bedrijven in de energietransitie (zoals de netwerkbedrijven, MKB en industrie, lokale, (regionale) overheden en energie-consultants. Een voorbeeld van kennisopbouw in dit kader zijn de <a href="#">scenariostudies ADAPT en TRANSFORM</a>, waarin we in 2024 lieten zien hoe bepalend de ontwikkeling van de energie-intensieve industrie is voor de energietransitie.</p> <p>Het tweede onderdeel betreft het <i>onderzoeksprogramma Energietransitiestudies</i>, dat bedoeld is voor het leveren van kennis voor met name beleidsmakers in de energietransitie op alle niveaus<sup>2</sup> en publieke instellingen die daarbij ondersteunen<sup>3</sup>. Dit deel wordt gefinancierd door een programmasubsidie van het ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG). Dit programma omvat onder andere zogenaamde Kennis voor Energiebeleid (KVE-) projecten, waarin TNO onderzoek doet ter ondersteuning van het energie- en klimaatbeleid van KGG. In dat kader is onder andere een analyse uitgevoerd naar <a href="#">draagvlak voor klimaatbeleid</a>.</p> <p>De twee programma's leveren toepasbare kennis op in de vorm van whitepapers, rapportages, webtools en modellen, die hun weg vinden naar beleidsmakers, analisten, strategen en politiek (bijvoorbeeld in de vorm van bijlagen bij kamerbrieven en bijdragen aan technische briefings van de Tweede kamer). Met deze kennis kan effectief beleid worden vormgegeven, en kunnen onderbouwde besluiten worden genomen om de energietransitie te doen slagen. Veel van de resultaten worden gepubliceerd op de website <a href="http://www.energy.nl">www.energy.nl</a> en op <a href="http://www.tno.nl">www.tno.nl</a>. Hieronder staan een aantal belangrijke resultaten vermeld die in 2024 zijn gerealiseerd. Verderop in deze rapportage staat een meer uitvoerige beschrijving van de bereikte resultaten.</p> |   |

<sup>1</sup> Parijs COP 21

<sup>2</sup> Europees, Nationaal en regionaal / lokaal

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

## Net Zero Energy Solutions – highlights:

- TNO heeft de energievraag van airconditioners in woningen onderzocht en gemodelleerd. De resultaten van de scenario analyse zijn gepubliceerd ( '[Schatting van de elektriciteitsvraag van airconditioners in Nederlandse woningen 2021, 2022 en 2030](#)' ), en gebruikt bij de KEV, de monitor 'Verduurzaming Gebouwde Omgeving', en voor inschattingen i.v.m de Richtlijn Hernieuwbare Energie (REDIII). Een Press Release ([Press release TNO](#)) heeft geleid tot publicaties in verschillende kranten, nu.nl, Energiea, RTL news, en een radio-uitzending bij 'Sprakmakers'.
- In 2024 lag de focus voor de marktmodelleringssoftware Tulipa op de verdere ontwikkeling naar een flexibel, betrouwbaar, rekenefficiënt en wetenschappelijk onderbouwd energiesysteemmodel voor optimale meerjarige transitiepaden en energiemarktanalyse. Hierbij is een hoger detailniveau mogelijk terwijl de rekensnelheid behouden blijft. Het model wordt ondersteund door meer dan 45 peer-reviewed publicaties van het ontwikkelingsteam en volgend jaar ingezet met use cases op wind op zee.

## Behavioural and societal transition – highlights:

- Het onderzoek "[Draagvlak voor klimaatbeleid: Toetsing van acceptatieprincipes in online keuze-experimenten](#)" heeft in kaart gebracht in hoeverre het toepassen van acceptatieprincipes in klimaatbeleid bijdraagt aan meer acceptatie van het beleid. Oud-minister Jetten (Klimaat en Energie) heeft de [Tweede Kamer een kabinetsreactie](#) gestuurd op het onderzoek.
- In oktober hebben experts van TNO en CBS in [een technische briefing Kamerleden](#) geïnformeerd over de stand van zaken rondom energiearmoede.

## Sustainability &amp; Circularity Transition Pathways – highlights:

- TNO voerde [een studie](#) uit naar de belangrijkste kostencomponenten en de impliciete levelised cost of hydrogen (LCOH<sub>2</sub>) voor de productie van hernieuwbare waterstof via water-elektrolyse in Nederland. Als resultaat biedt deze studie een bijgewerkte en meer realistische kijk op de kostengegevens van elektrolyseprojecten en presenteert het kostenbandbreedtes in plaats van puntenschattingen om een breder inzicht te geven in de kostencomponenten in de opkomende markt voor waterstofproductie. Dit rapport (RH<sub>y</sub>CEET) is ook beschikbaar via de websites van RVO, de Tweede Kamer en De Vereniging voor Energie, Milieu en Water (VEMW).

In 2024 is een nieuwe update van de [ADAPT- en TRANSFORM-scenario's](#) gepubliceerd. De studie laat zien dat onzekerheid over de toekomstige ontwikkeling van de Nederlandse industrie grote gevolgen heeft voor de toekomstige ontwikkeling van het Nederlandse energiesysteem, met name ten aanzien van de vraag naar duurzame elektriciteit en waterstof en de behoefte aan te importeren biograndstoffen. De scenarioresultaten vinden hun weg in diverse beleidsstukken en vervolgstudies.

| Titel   | VP Geo Energie (P307) <sup>4</sup>  |
|---|---|
| MTIB Thema  | Klimaat en Energie / MMIP4: Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving (individueel en collectief), MMIP 6,7 (Verduurzaming warmtevraag Industrie, CO2 opslag, grootschalige energieopslag) |
| Contactpersonen TNO   | Maurice Hanegraaf (VPM)   |
| Contactpersoon Regievoerder   | TKI Urban: Robert Jan van Egmond  |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>   |   |
| <p>De noodzaak tot versnelde ontwikkeling van warmtenetten en de inzet van geothermie en warmteopslag is opgenomen in het regeerprogramma van het huidige kabinet<sup>5</sup>, en het klimaatakkoord van 2019<sup>6</sup>. Een tweede belangrijk speerpunt van het kabinetsbeleid en de aanbevelingen van de Parlementaire enquêtecommissie aardgaswinning zijn de veiligheidsrisico's van mijnbouwactiviteiten en bijbehorend risicobeleid, bijvoorbeeld een veilig gebruik van de diepe ondergrond voor waterstofopslag. Er wordt gewerkt aan het ontwikkelen van een ruimtelijk programmatische aanpak waarbinnen alle verwachte activiteiten in de ondergrond (Geothermie, bodemenergie, opslag waterstof &amp; compressed air &amp; warmte, gaswinning en zoutwinning) vast worden gelegd. In 2026 zal het kabinet komen met een beleidsprogramma 'Bodem, Ondergrond en Grondwater'. Deze prioriteiten in het regeerprogramma (opschaling duurzame warmtenetten en veiligheid van mijnbouwactiviteiten) sluiten naadloos aan op doelstellingen van dit VP-programma:</p>   |   |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reduceren van pre-drill geologische <i>Exploratie- en Realisatierisico's</i> voor geothermie en warmteopslag door betere data-analyse, acquisitie, publieke informatiesystemen en modellen;</li> <li>2. <i>Verhogen productie geothermie en warmteopslag</i> door betere ontwikkeling van de hulpbronnen, materialen, beheer en monitoring;</li> <li>3. Vergroten van <i>veiligheid</i> en verlagen van mogelijke <i>negatieve (milieu)impact</i> bij ondergrondse activiteiten (geothermie en hoge-temperatuur opslag (HTO), koolstof afvang en opslag (CCS), abandonneren putten);</li> <li>4. Verlagen kostprijs voor <i>aanleg en aansturing van warmtenetten</i> en optimalisatie van warmte- en koudevraag en aanbod door ontwikkeling van de publieke design-toolkit voor operators en overheden;</li> <li>5. Veilige en kosteneffectieve ontwikkeling van <i>CCS en Energie-opslag</i>.</li> </ol>  |   |
| <p>Voor deze doelstellingen werkt TNO in missiegedreven ecosystemen samen met industriepartners en Nederlandse kennisinstellingen (o.a. Deltares, KWR, KNMI, academia). 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 WGO-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), etc. Hieronder worden enkele voorbeelden genoemd van resultaten uit 2024, en verwachte impact ervan:</p> |   |
| <p><u>ad 1. Reduceren van pre-drill risico's:</u></p> <p>Er is grote voortgang geboekt in het met behulp van AI/ML-technieken automatisch interpreteren van 2- en 3D seismiek, in combinatie met boorgegevens. Hierdoor kunnen op semi-automatische wijze geologische lagenmodellen gemaakt worden, waar binnen lagen facies en eigenschappen kunnen worden bepaald. Dit leidt tot lagere exploratierisico's en versnelde ontwikkeling van aardwarmte in ondiepe en matig diepe reservoirs. Modellen zijn ontwikkeld om beter temperatuur- en</p>   |   |

<sup>4</sup> VP307 zich richt op de bijdrage van de ondergrond aan de energietransitie inclusief collectieve warmtesystemen.

<sup>5</sup> <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2024/09/13/regeerprogramma-kabinet-schoof>

<sup>6</sup> <https://www.klimaatakkoord.nl/>

drukeffecten van geothermische productie in de buurt van breuken te voorspellen. Hiermee kunnen beter prior schattingen worden gemaakt van modelijke geïnduceerde seismiciteit. TNO GDN beschikt over een grote database met geologische onderzoeksrapporten die echter moeilijk doorzoekbaar is. Inzet van LLM (Large Language Model) heeft ertoe geleid dat de informatie in deze rapporten beter en sneller beschikbaar is, waardoor meer ondergrondinformatie ter beschikking komt.

#### ad 2. Verhogen productie geothermie en warmteopslag

De groei van geothermie in Nederland heeft ertoe geleid dat aardwarmtewinning meer en meer plaats vindt in clusters van doubletten in plaats van een enkel doublet. Dat betekent dat de ontwikkelingsstrategie belangrijker wordt: waar en wanneer worden nieuwe doubletten geboord, wat is de optimale productiestrategie, etc. De door TNO voor de O&G-industrie optimalisatie-tool EVEReST is ingezet om in het geothermie-veld Middenmeer een dergelijke optimalisatie te doen. Hierbij is ook aandacht besteed aan een optimale plaatsing van geofoons, die geïnduceerde seismiciteit registreren. Door de geofoon-data met PRESEIS te combineren in EVEReST is ook locatie van seismische events beter in de ruimte te plaatsen waardoor beter te voorspellen is wat warmteproductie zal doen met bodembewegingen. Warmtepompen worden steeds belangrijker in het aanbod van warmte uit beschikbare bronnen naar het juiste temperatuurniveau van de vragers te brengen. Om een systeem met warmtepompen te optimaliseren alvorens het uit te voeren zijn bestaande warmtepompmodellen gecalibreerd aan experimentele gegevens.

#### ad 3. Vergroten veiligheid (Well technologie à veiligheid & kostenverlaging):

Een mobiel seismisch array is geïnstalleerd in een doublet in Pijnacker. Dit array verstuurt real time monitoringsgegevens via Wifi, 4/5G en het Starlinknetwerk. Dit betekent dat events sneller gedetecteerd en gemitigeerd kunnen worden. Breukvorming in de ondergrond zorgt voor zogenaamde akoestische emissies. Met labexperimenten in het TNO geomechanisch lab i.c.m. machine learning en velddata (Balmatt in België) is het gelukt clusters van dit soort AE-events te detecteren. Hiermee kan beginnende breukvorming in een vroeg stadium opgemerkt worden.

Gebruik van INSAR satellietwaarnemingen in het gebied van de steenkoolmijnen in Limburg heeft geleid tot en gedetailleerder inzicht in grootte en locatie van de bodembewegingen, en de notie dat (variatie in) grondwaterstanden ook een belangrijke actor is.

Innovatieve boortechneiken zijn onderzocht in het Rijswijk Center voor Sustainable Geo-energy. Deze zullen leiden tot sneller en daarmee goedkoper boren. Ook is in het RCSG onderzoek gedaan naar de oorzaken van instabiele boorgaten in ongeconsolideerd sediment, wat belangrijk is omdat meer geothermische ontwikkelingen plaats vinden in dit soort bodemlagen. RCSG heeft experimenten en simulaties gedaan naar lekkage van putten langs slechte kwaliteit cement, en uitgezocht wat hiervoor de bepalende factoren zijn. Hiermee kunnen in een vroeg stadium risicovolle putten worden geïdentificeerd. Wanneer meer gebruik gemaakt zal worden van de ondergrond voor de opslag van warmte, is er een risico dat grondwater, gebruikt voor drinkwater, wordt verontreinigd (temperatuur, chemie). Onder meer in de HTO Middenmeer is onderzoek gedaan naar het gedrag van warmwaterbellen in de ondiepe ondergrond. Hiermee kunnen betere voorspellingen worden gedaan over mogelijke risico's.

#### ad 4. Verlagen kostprijs warmtenetten:

Warmtenetten zijn een noodzaak voor de verdere ontwikkeling van geothermie, maar de kostprijs ervan is hoog. Die kan lager worden als onder meer de prestaties van warmtepompen, die vaak een rol spelen, beter worden, als, behalve warmte- ook een koudevraag gedekt kan worden, en als de warmtenetten gecombineerd worden met HTO. Voor een ammonia-warmtepomp bepaald dat deze de beste COP heeft voor HTO-productietemperaturen. Vervolgens is een warmtepomp-prestatiemodel gebouwd, waarmee bepaald kan worden hoe de pomp het beste ingezet kan worden in het net. Het model is ook geïntegreerd in de Design Toolkit. Ook is een case uitgerekend voor een lage-temperatuurwarmtenet met verschillende aanbieders en vragers, zowel warmte als koude. Inzet van dit soort tools zal leiden tot beter functioneren van ingewikkelde warmtenetten, daarmee kostenverlaging en een snellere uitrol.

#### ad 5. Ondergrondse energie-opslag en CCS

CCS en waterstof moeten samen een belangrijke bijdrage leveren aan de energietransitie.

Het CREST-model aangepast en verbeterd om hergebruik van oude putten voor de ondergrondse opslag van waterstof te derisken, en er is een overzicht gemaakt van monitoringstechnieken voor CCS en de toepasbaarheid ervan op ondergrondse waterstofopslag.

Behalve in lege gasvelden kan CO<sub>2</sub> ook opgeslagen worden in aquifers, maar dat wordt, in Nederland, nog niet gedaan. Er is een dynamisch aquifermodel gebouwd, waarin de injectie van CO<sub>2</sub> is gesimuleerd, om een indruk te krijgen van de opslagcapaciteit. Ook is op basis van realistische putgegevens uit de Noordzee het put-integriteits- en lekkagemodel voor een oude

put in de buurt van een CO<sub>2</sub>-opslag verbeterd, en verschillende modellen zijn onderzocht die het scheuren van een hogedruk-CO<sub>2</sub>-pijpleiding nauwkeurig voorspellen.  
Het is de verwachting dat deze onderzoeksresultaten zullen bijdragen aan een veiliger opslag van CO<sub>2</sub>, en het vergroten van de opslagcapaciteit van zowel CO<sub>2</sub> als waterstof.

| Titel  | VP Karakterisering en Dynamiek Samenstelling Grondwater (P310)  |
|--|---|
| MTIB Thema   | Water   |
| Contactpersonen TNO  | Maurice Hanegraaf (VP Manager)<br>Tirza van Daalen (Division Director, Geological Survey of the Netherlands)  |
| Contactpersoon Regie-voerder   | Wilbert van Zeventer (Min. I&W), Katja Portegies (RWS); programmaraden TKI Waternologie, TKI Deltatechnologie |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>  |   |
| <p>De beschikbaarheid van voldoende grondwater van goede kwaliteit is een belangrijke randvoorwaarde voor de Nederlandse samenleving. De grondwaterstand is van groot belang voor bijvoorbeeld natuur, landbouw, bebouwing en infrastructuur en heeft een directe relatie met bodemdaling. De kwaliteit van het grondwater bepaalt in grote mate de waarde van dit natuurlijk kapitaal. Verder is grondwater een efficiënte drager van thermische energie en kan gebruikt worden voor warmte- en koudeopslag in de energietransitie.</p> <p>In dit Vraaggestuurd Programma (VP) richt TNO Geologische Dienst Nederland (TNO-GDN) zich op informatie rond de processen in de ondergrond die bepalend zijn voor de kwantiteit en kwaliteit van het grondwater. Bedreigingen zijn o.a. veranderingen in het landgebruik, klimaatverandering en intensiever gebruik van de ondergrond. Hierdoor dreigen dalende grondwaterstanden, verzilting en conflicten, bijv. tussen seizoensopslag van warmte en koude (WKO) en drinkwaterwinning. Voor grondwaterkwaliteit spelen de risico's vanaf het oppervlak een rol (uitspoeling gekoppeld aan landbouw en stedelijk gebied) en door activiteiten in de diepere ondergrond (bijvoorbeeld hoge-temperatuuropslag (HTO) en diepe boringen). De energietransitie doet de noodzaak voor energie gerelateerde activiteiten in de ondergrond sterk toenemen. Ook voor het veiligstellen van de zoetwatervoorziening is een grotere rol van de ondergrond voorzien, bijv. in het Deltaplan Zoetwater met het mitigeren van frequentere zoet-watertekorten en de structuurvisie ondergrond (STRONG) noemt strategische grondwaterreserves. Informatie en kennis ten aanzien van de dynamiek en de samenstelling van het grondwater alsook ten aanzien van de opbouw van de ondergrond is noodzakelijk voor het voorspellen van effecten, afwegen van risico's en het toetsen van beleidsbeslissingen.</p> <p>Binnen de instituten die zich met grondwater bezighouden heeft TNO-GDN een unieke positie door de verbinding met geologie inclusief antropogene materialen in de ondergrond, door de affiniteit met data (o.a. DINOloket.nl) en door de aansturing vanuit de gezamenlijke ministeries via de Geo-informatiecommissie (GIC). Het doel van dit VP is methoden en informatieproducten te ontwikkelen om de effecten op en risico's voor het grondwater te voorspellen van klimaatverandering, ontwikkelingen in de landbouw, verstedelijking en verduurzaming van de energievoorziening. Eventueel gebruik van grondwater in de energietransitie is onderdeel van het VP307, geo-energie. Tussen VP 307 en dit VP (310, KarDySaG) vindt afstemming plaats om de relatie met grondwaterkwaliteit en -kwantiteit goed te adresseren. De kennisontwikkelingsactiviteiten in dit VP 310 KarDySaG leiden tot:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Data-analyse en nieuwe informatieproducten betreffende de ondergrond;</li> <li>- Specifieke advisering van stakeholders aangaande het grondwater;</li> <li>- Bijdrage aan nationale ontwikkelingen, zoals het innovatiecontract Waternologie, specifiek met kennis ten aanzien van grondwater en ondergrond;</li> <li>- Bijdrage aan internationale ontwikkelingen, onder andere via de CSA voor een 'European Geological Service' (een programma van de gezamenlijk Geologische Diensten in Europa).</li> </ul> <p>Hiertoe wordt samengewerkt met universiteiten, met name de Universiteit Utrecht, Wageningen Universiteit en Technische Universiteit Delft, onder meer via gezamenlijk onderzoek en begeleiden van promovendi en studenten die BSc of MSc-thesis onderzoek doen.</p> <p>In 2024 zijn onder meer de volgende resultaten behaald:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eerste bevindingen ten aanzien van grondwatertemperatuurveranderingen sinds de jaren 1980.</li> <li>- Publicatie in peer review paper over gedrag pesticides en opkomende stoffen, waaronder PFAS, in grondwater</li> <li>- Publicatie van een notitie over de achtergrondbelasting van stikstof en fosfor op de waterkwaliteit in kleipolders</li> </ul> |   |

| Titel  | VP Renewable Electricity (P321)   |
|--|---|
| MTIB Thema   | Klimaat en Energie / MMIP1, MMIP2   |
| Contactpersonen TNO  | Mark Overwijk (Division Director Energy Supply), Jan Willem Wagenaar (VP-manager Wind Energy)   |
| Contactpersoon Regie-voerder   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministry of Economic Affairs / Ministry of Climate and Green Growth. Directorate General Climate &amp; Energy                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Debby Joosen (Senior Policy Officer)</li> <li>○ Pim van Leeuwen (Senior Policy Advisor)</li> <li>○ Alice van Rixel (Senior Policy Officer Energy Transition)</li> <li>○ Bart Tulkens (Policy Officer Energy Innovation)</li> <li>○ Marinde Vos (Policy Officer Energy Innovation)</li> <li>○ Ruben Prins (Coordinating policy officer Offshore Wind Energy)</li> <li>○ Eva de Leede (Cluster leader Offshore Wind Energy)</li> <li>○ Laura Jansen (Policy officer Offshore Wind Energy)</li> <li>○ Veerle Heijnen (Policy Officer knowledge for energy policies)</li> <li>○ Sybrand Oomes (Policy Officer Onshore Solar Energy)</li> </ul> </li> <li>• TKI Offshore Energy                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bob Meijer (Director “TKI Offshore Energy”)</li> <li>○ Bram van der Wees (Program manager “TKI Offshore Energy”)</li> </ul> </li> <li>• TKI Urban Energy                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Robin Quax (Program Manager Renewable Electricity)</li> </ul> </li> <li>• Missie Team Electricity                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Albert Polman (Amolf)</li> </ul> </li> </ul> |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>  |   |
| <p>Without question, our sustainable future will require a climate-neutral, reliable and affordable energy system. It therefore is our mission to realize an abundance of offshore and onshore renewable energy, which is fed into a stable energy system in a viable, affordable and sustainable way. For 2050, we foresee an installed capacity of 70GW offshore wind and 200 Gwp solar energy. Therefore, the VP Renewable Electricity research programme supports that ambition, lowering the barriers while doing so. With the evolving geopolitical developments and competition outside EU, it is even more important to increase the competitiveness of EU Industry on wind and solar energy. With these challenges in mind, the long term goals of this VP are:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Support the accelerated generation renewable energy development.</li> <li>2. Improve the integration of large quantities of renewable energy in the energy system.</li> <li>3. Support the EU manufacturing of renewable energy technology.</li> <li>4. Make renewable energy generation more sustainable and circular.</li> <li>5. Integrate renewable energy generation in the environment.</li> <li>6. Further improve the reliability and affordability of renewable energy generation.</li> </ol> <p>While carrying out the research program, several highlights have been achieved in 2024:</p> <p>TNO supports the government in its offshore wind development plans with a long-term measurement program and in 2024, the first data from a new Lidar measurement platform close to the wind farms zones 'Ten noorden van de Waddeneilanden' and 'Doordewind' have been taken. Adding mesoscale model data to these long-term offshore wind measurements shows value. WRF-simulated wind fields, including the Borssele Wind Farm zone effects, have been validated against the Lidar measurements at the platforms EPL and LEG and they show a fair comparison. Last, TNO and partners created a rain atlas, where, for the first time, offshore precipitation has been measured in detail and accurately correlated with other weather data across the Dutch North Sea. Analyses show, that (1) offshore, the incubation period of the leading edge protection system is 50% shorter than onshore, (2) 30% of the yearly damage is accumulated over just 12 hours of high wind and rain and (3) the most erosive area is situated in the northeastern part of the Dutch North Sea.</p> <p>The SWITCH field laboratory is a hybrid power plant developed by TNO as an open innovation research facility together with Wageningen University and Research. It was officially opened on Wednesday 27 March 2024. TNO and Wageningen University</p> |   |



& Research are investigating how our future energy system, with wind and solar as primary sources, can remain stable and affordable. The wind turbines and solar panels were there since 2022 and in 2024 the battery and the electrolyser were installed. After successful acceptance tests, they have reached the operational status. During the last quarter of 2024, the first experiments for optimizing the performance of the wind to battery were finalized, supporting the green energy transition of ports in the EU MagPie project.

Reaching high power conversion efficiencies is a crucial parameter to reduce the solar PV surface area needs, to improve the environmental profile, and to enhance electrical integration options. Tandem solar cells have the capabilities of reaching high efficiencies, because they consist of two or more sub-cells, where each subcell converts energy of a part the solar spectrum. TNO is well positioned in this field as we can combine our expertise and infrastructure to make state-of-the-art hybrid tandems. The initial two terminal hybrid tandem baseline performance has been improved from 17.3% in 2023 to 20.7% during 2024. This is the highest in the world behind only the performance reported by the long running company Oxford PV for this type of architecture.

In the vision of TNO, the reduction of cost price is of utmost importance to be able to seamlessly integrate PV on every surface. The Mass Customisation approach using flexible foils, pick-and-place equipment and roll lamination is an essential asset in this quest. After the first well-functioning modules were built in 2023, the research focused on optimising the encapsulation layer stack and the lifetime of the modules that can be produced. For the first time in 2024 reliability results for flexible thin-film modules laminated on the Mass Customisation line showed a similar quality as standard lab-based laminated modules. These results are of major importance to the TNO and imec spin-off company EnFoil as well as other potential customers.

Combined solar and wind farms have the benefit of multiple surface area use and the advantage of a beneficial energy generation from both solar and wind energy systems. The turbines in such farms cast shadows on the solar panels, concerning static shadow from the tower of the turbine as well as the dynamic shadow caused by the rotating blades. It is observed that the dynamic shade of the wind turbine blade causes serious disturbances of the DC inputs of the inverter, resulting in deviation of the maximum power point tracking monitored. The shadow of the wind turbine results in a total energy loss of about 6% for the given period, park configuration, PV modules, inverter type, and setting. This work was marked as a scientific highlight by 'Scilight'.

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

**Programma jaar 2024 - Samenvatting**

The demand driven program “CO<sub>2</sub> neutral industry” responds to the societal need for a carbon neutral industry as formulated in the Climate Agreement. The government’s central goal with the National Climate Agreement is to reduce greenhouse gas emissions in the Netherlands by 55% by 2030 compared to 1990 levels. An integral knowledge and innovation agenda (IKIA) was established, following the Dutch climate agreement. Five “missions” were defined containing 13 MMIPs (multi-year mission driven innovation programs). Following the missions and MMIP the VP CO<sub>2</sub> neutral Industry is structured in 8 clusters of product market combinations. Below a concise description is presented, together with key highlights for 2024.



Short overview of relevant research topics in the PMC-Clusters in the VP CO<sub>2</sub> neutral industry 2024.

**Industrial CO<sub>2</sub> capture:**

Focuses on cost reduction, process stability, energy efficiency, CO<sub>2</sub> purity, overall emissions of industrial CO<sub>2</sub> capture units. Key words include, blue hydrogen, capture from flue gases and in-process capture. New directions include negative emissions.

**Key highlights 2024:**

- In the context of CO<sub>2</sub> purification, a pilot skid of membrane for O<sub>2</sub> removal technology (DORA) was installed in a waste incinerator. Actual operation was delayed due to long lead time of membrane and unavailability of host plant but started in January 2025. A second skid is under construction at a power plant, with operation start scheduled for February 2025.
- Recommendations formulated that can serve as basis as a European standard for the emission measurement of an amine CO<sub>2</sub> capture plant, including degradation products. Document under review by partners, to be published latest by March 2025.
- Process design/modelling for VPSA regeneration for SEWGS was conducted, with promising results. Experimental validation will be performed in 2025.

**Sustainable Industrial Heat System:**

Technology development to reduce, reuse, store and supply industrial heat. Specific topics include, energy efficient molecular separations; industrial heat pump and storage technology, high temperature heat supply through combustion and electrical heating solutions.

**Key highlights 2024:**

- A 3D printed metallic heat exchanger for a Helium-based thermos-acoustic heat pump was manufactured and tested successfully, at steam-side temperature of 190°C.
- The successful commissioning of two industrial (compression) heat pumps at external locations. ~1100 h tests have been realised in Petten, by the end of Q4/2024 at the Carnot lab with a non HFC (pentane) medium, which continues into 2025 in order to reach 2500 hours.
- In the context of HyFlexFLOx, ammonia was combusted directly (i.e. without (integrated) pre-pyrolysis to produce nitrogen and hydrogen), with acceptable NOx emission levels, without end-of-pipe application of SCR (~100 mg/Nm<sup>3</sup> d.b. @3% O<sub>2</sub>).
- Critical insights were gained in the stability of different electric heating element materials and solutions (ceramic and metallic), specifically under realistic industrial process conditions. Also, the “contactless” heat delivery system based on the combination of inductive and resistive heating was ideated, which will be constructed and tested experimentally in 2025.
- Thermoacoustic decoking for thermal cracking reactors was successfully demonstrated in the lab-scale, in support of the patent application.

**Energy Infrastructure:**

Focuses on (trans)national onshore infrastructure development, for new value chains (H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) coupled to offshore production of green hydrogen or CO<sub>2</sub> storage. Key aspects include supply and demand balancing including storage needs, cost efficiency, quality sensing, safety of operation, public acceptance and minimum negative ecological and societal impact

**Key highlights 2024:**

- Development of knowledge, models, datasets and guidelines for offshore hydrogen production and import of hydrogen carriers. This includes models and validation datasets from TNO's SWITCH lab (in cooperation with other VP), actual offshore grid connections and off-grid conditions as well as offshore desalination. This enables innovation steps required prior to eventual large scale demonstration projects offshore and import initiatives.
- 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.

**Clean Hydrogen Production:**

This PMC Cluster focuses on next generation electrolyser technology development for the low temperature (PEM and AEM) and high temperature (SOE) electrolysers. In this development we focus on: cost reduction, performance improvements, circularity, reduced iridium usage and high precision manufacturing. This includes validation of potential (technical and commercial) of (Dutch) electrolyser components innovations and support electrolyser integration.

**Key highlights 2024:**

- Coordinated the writing of the Groenvermogen “Werkpakket 1” proposal together with a consortium of almost 60 partners. HyPro will start the 1<sup>st</sup> of January 2025. The 50 million budget project will make substantial steps in developing different electrolyser technologies and plasma technology for production of hydrogen. It has a strong focus on making societal impact by bringing together the Dutch manufacturing industry and building the relevant use cases for the Netherlands.

- Strong expansion of the industrial network in the Netherlands. But also internationally TNO is recognized as development partner. As an example, Toshiba Japan has requested validation of their PEM electrolyser MEA's (the key functional component) by TNO (contract to be signed in January 2025)

**Biobased Fuels & Chemicals:**

The research focusses on maximizing the molecular capital from biogenic sources like demolition wood, seaweed and all sorts of agricultural residues. The aim is to develop sustainable bio-fuels for e.g. aviation and shipping. The maximum climate impact is reached when the excess carbon is sequestered either as CO<sub>2</sub> or bio-char.

**Key highlights 2024:**

- The start (or revival) of the TNO technology MILENA gasification technology, OLGA gas cleaning technology and ESME methanation technology to produce green gas, with the start of a FEED study for a 30 MWth commercial plant on demolition wood.
- The Enerchar pilot gasifier co-producing biochar and a burnable gas had several successful continuous 100 hour runs (day & night ) in varying modes of operations. In December the tests established higher throughputs are possible (20 to 35 kg input) and it was successfully operated in "automatic mode" during the night for 10 hours. These are important milestones in the road to market introduction.

**Synthetic Fuels & Chemicals:**

The processes to synthetically produce and convert carbon and nitrogen based value added compounds, like ammonia, formaldehyde, methanol, DME, ethylene, propylene, and kerosene are hindered by low conversion and poor selectivity. This is the main topic of research in this program.

**Key highlights 2024:**

- Over 1000h operation of containerised sorption-enhanced DME synthesis (SEDMES) pilot unit in Petten, including mimicked diluted CO<sub>2</sub> streams and dynamic loads. Full chain process engineered and under construction finalised, validation planned for 2025.
- Sorption-enhanced methanol and DME to olefins proof of concept, showing versatility with respect to feedstock
- Two routes to SAF production were thoroughly investigated with partners: CO<sub>2</sub>-MeOH-olefins-SAF and CO<sub>2</sub>-olefins-SAF. Both routes were assessed from material development, experiments to SAF production and subsequent sizing of the units of operation, cost estimation and an elaborate LCA study:

**Radical New Industrial Processes:**

Within this PMC-Cluster we develop new technological approaches and options, for the longer term with a more embryonic character leading to portfolio rejuvenation.

**Key highlights 2024:**

- A plethora of proof of principle experiments were performed under the supervision of members of the science board in different technologies: inductive heating with nanoparticles, hybrid adsorption/absorption process and recovery of carbon from CO<sub>2</sub>.
- Significant knowledge has been gained in the novel area of electrically driven separation (electro-separation). After a successful state-of-the-art assessment and market consultations, proof of principle for a selected technology to recover formic acid via bipolar electrodialysis was successful.
- A comprehensive analysis for advanced process control with digital tools was performed for a methanol production case study powered by a solar plant. The case study showed the reduction in the operational (flexibility in equipment operation) and investment cost (storage sizing) of the plant. This generic method has a wide potential for use in other industrial processes.

**Industrial Transformation:**

Governments and industrial clusters in North Western Europe will be taking far reaching decisions with respect regional development and interregional connectivity in the coming years. To do so, the relevant stakeholders need to balance the societal, ecological and economic costs and benefits, while fast decision making is needed. Within this PMC Cluster, we develop tools to support this decision making process.

**Key highlights 2024:**

- The Circular Industrial Transformation System (CITS) model has been showcased for the German automotive sector, and the Netherlands plastic packaging sector. This resulted in a) in-depth insights in the Critical Raw Material composition of product groups in the automotive sector and in electronic products, with a focus initially on waste and b) a circularity- and greenhouse gas emissions assessment of the system of plastic packaging in the Netherlands to 2050.
- Publication of the Brightside Transition Outlook 2024, based on the application of the CIMS model that has been developed in previous years under Industrial Transformation, showing insights in how to change the way that Industry produces, feedstock alternatives and routes to renewable carbon.
- Realisation of important spin-off projects resulting in the development of an integral vision of circular carbon for Rotterdam harbour and a first analyses of the impact on Dutch Industry from a shifting demand for products and materials.

| Titel  | VP Lucht kwaliteit (P510)   |
|--|---|
| MTIB Thema   |   |
| Contactpersonen TNO (SD en VPM)  | Alex Leighton (VPM), Patrick Punte (Directeur Divisie EMT System Solutions & Environment) |
| Contactpersoon Regievoerder  | Maarten van der Geest (Min. IenW)   |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>  |   |
| <p>The primary goal of this VP is to advance the knowledge and technology required for precise and accessible atmospheric emission, concentration, exposure, and deposition data. 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.</p> <p>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.</p> <p>The VP's long-term efforts towards 2028, supported by subsidies as well as and direct assignments, target specific developments such as: elucidating health-relevant particulate matter (PM) fractions, developing local and national monitoring and modeling capacities, in-depth understanding of exposure to PM and nitrogen compounds, creating a toolset for quantifying the impact of nitrogen-emitting sources and the implementation of a high-resolution modeling system for greenhouse gases, particulate matter, ozone, and reactive nitrogen.</p> <p>In 2024, some major developments were achieved within the VP Air Quality. In terms of modelling, our open-source chemical transport model LOTOS-EUROS was expanded to include state-of-art chemical reaction schemes (CBM7), improved organic aerosol modelling, enhanced UFP and natural components representation. An UFP measurement campaign was executed and an improved emission inventory was created. Resulting in improved model outputs and better understanding of sources. The knowledge in the field of nitrogen improved by doing measurements in the Veluwe area, flux measurements at Loobos and Zegveld, and an update of DEPAC with PAN deposition. The long-term urban monitoring station and dedicatedly collected samples were analyzed for the health-relevant indicator Oxidative Potential and, by Positive Matrix Factorisation (mathematical technique), linked to emission source categories. Two Nature papers formed dissemination highlights: one paper addressed methane emissions from the Nord Stream subsea pipeline leaks, the other focused on effective realization of abatement measures that can reduce HFC-23 emissions.</p> |   |

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

Key highlights of Circular Strategies & Critical Raw Materials in 2024 are:

- A public private partnership has started (TNO-SusPhos) aiming for sustainable lithium iron phosphate (LFP) battery recycling
- In 2024 the IAM team started the development of the integrated assessment framework “Critical Raw Material Operating System”
- TNO was represented as a panel member at the World Circular Economy Forum, participating in the discussion about circular strategies for sustainable access of critical raw materials

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 scenarios and their impacts to increase circularity; 2) our research methodology for CRM's will result in insights into the best options for the Netherlands to contribute to the EU CRM Act and which policy measures are needed to realize CRM re-use and recycling; 3) the development of new recycling technologies will provide the industry with new options to recycle CRM's that are more sustainable and more economically viable in the Netherlands and Europe.

### Circular Plastics

As of mid-2024, the research activities on Circular Plastics are divided into two topics: “Plastics Recycling Technologies & System Solutions” and “Circularity by Design”, to reinforce the development of circular design principles.

Within the Circular Plastics program (2025-2028), the topic of Plastic Recycling Technologies & System Solutions (PRT&SS) focuses on (1) developing an integral system analysis and design model (CITS) as a basis for decision support and guidance of stakeholders in the transition towards a circular economy, (2) developing sustainable plastic recycling technologies, and (3) developing pre-/post-treatment technologies for recycling. Long-term goals (2025-2028) are:

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

Key highlights of Circular Plastics from PRT&SS in 2024 are:

- The production of >1kg of recycled PO and re-compounding thereof into products at one of our partners.
- Proof-of-concept test of thermal cracking of a mixed post-consumer textile waste at TRL 5 (2 kg/h). The result shows this technology as a valuable recycling technique for these otherwise incinerated waste streams.
- Several scientific publications together with University Utrecht Group of Bert Weckhuysen.

Within the Circular Plastics program (2025-2028), the topic of Circularity by Design (CbD) focuses on (1) the development of polymers and materials for products with improved circularity, including recyclability, reuse, repair and refurbish, (2) understanding the health effects of microplastics and strategies how to mitigate microplastic formation and exposure to microplastics, and (3) the experimental understanding of polymer quality in the life cycle of design, production, use and recycling. Long-term goals (2025-2028) are:

- At least 1 prototype (TRL5) of a tool for inline polymer quality assessment during sorting and/or extrusion.
- At least 2 prototypes (TRL5) of (packaging) products with high recyclate content and/or less prone to microplastics formation during use or recycling.

Key highlights of Circular Plastics from CbD in 2024 are:

- The conclusion of the first MOMENTUM project: development of human health risk assessment of microplastics, with an important role for TNO in development and production of testing materials, toxicology and mitigation strategies.
- Realization of a new extrusion film die that can measure the polymer chemistry and viscosity in-line, using FTIR and pressure probes.
- We made a mono-material retortable soup pouch from PP, demonstrating the possibility to replace the incumbent multi-material solutions with a packaging that has increased recyclability.



The relevance of TNO activities on Circular Plastics for Dutch and European policy is at least threefold: 1) our systemic models provide insights in effective policy measures to increase circularity (in cooperation with PBL); 2) our research on health effects of microplastics and mitigation strategies with respect to material design and recycling technologies can be used to develop guidelines for use and recycling of plastic products (in cooperation with RIVM); 3) our development of knowledge on and prototypes for use of recycled plastics in circular packaging is coordinated with the Program Monitoring and Steering Circular Economy / Product Group Analysis approach and can be used as a basis for policy measures, design guidelines and waste management (e.g. sorting) protocols.

The research that TNO is conducting in these areas serves a societal need, and TNO is developing different effective recycling technologies to be implemented by industry. TNO should invest in these developments to cross the valley of death for innovations by reducing risks for the Dutch industry.

| Titel  | VP Sustainable Chemical Industry (P603)  |
|--|--|
| MTIB Thema   | Sleuteltechnologieën - Mission C / MMIP 6,7,8 / Mission CE   |
| Contactpersonen TNO  | Esther van den Beuken (market manager Circular Carbon), Richard Braal (Division director Industry) |
| Contactpersoon Regievoerder  | Topsector Chemie: Jacqueline Vaessen   |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>  |  |
| <p>The drivers for the Sustainable Chemical Industry program are derived from the value chain drivers for the chemical industry and align with the ambitions of the Topsector Chemie. The program focuses on developing technology through demand-driven Public Private Partnerships (PPPs) embedded in specific regional and national ecosystems, with international collaborations. This program 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 Materials Center, and includes the growing program line Photons-2-Chemicals.</p>   |  |
| <b>Brightlands Materials Center Sustainable Buildings</b>  |  |
| <p>BMC's Sustainable Buildings program focuses on the development and validation of innovative optical materials for sustainable buildings. These materials are either coatings or polymer films with specific solar control functionalities, which are applied in windows and building-integrated photovoltaics (BIPV). Additionally, since 2024 the program focuses on the re-use of old flat glass. In 2024, we established a pilot line for solution-processed coatings on flat substrates and successfully applied this to coat 1 m<sup>2</sup> sized glass sheets with our thermochromic window coating. Furthermore, we improved the performance of thermochromic PVB laminates based on the results of previous real-life tests, and developed lab-scale demonstrators for thermochromic polycarbonate. Moreover, we developed non-sparkling coloured BIPV covers by applying our coloured BIPV coatings to structured glass, and designed and developed a heat-blocking coating for BIPV cover glass on lab scale. Lastly, we performed an initial assessment of applicability of old window glass as substrate for functional coatings and films, and demonstrated first concepts for re-use of window glass at lab scale.</p>   |  |
| <b>Brightlands Materials Center Sustainable Mobility</b>   |  |
| <p>The Sustainable Mobility program line focuses on development of technology for implementation of circular and lightweight, structural thermoplastic composite (TPC) materials in the mobility sector. In 2024, we have shown the applicability of our thermoplastic composites (TPC) recycling technology for varying and mixed waste types, including different polymers and different types of reinforcing fibers such as natural fibers, carbon fibers, and reclaimed fibers from thermoset composite waste. We have also improved the quality of the recycled granulate and scaled up the process to a throughput of over 60 kg/hr. In 2025, we will work on automating the process to make it more robust and reliable and continue working on validating the recycled TPC in a number of industrial use cases. We also work together with different industrial partners to develop materials and processing technology for continuous fiber additive manufacturing (CFAM) for e-mobility and aeronautic products, and validate use case demonstrator products for these sectors. In 2024, we have shown high mechanical as well as thermal performance of these CFAM products, relevant for the targeted applications.</p>  |  |
| <b>Biorizon</b>  |  |
| <p>Biorizon's mission is to revolutionize the chemical industry by enabling commercial production of biobased chemical building blocks, boosting biorefinery revenues and providing the high-performance, circular chemicals and materials that will drive the industry towards a greener future. In 2024, Biorizon achieved several key milestones, including the following examples. Relement, a Biorizon spin-off, focused on the commercialization of bio-aromatic bio-MPA, secured an off-take agreement with Worlée Chemie, marking a significant step in developing sustainable resins. Leveraging Biorizon's world-class expertise, know-how, and facilities, the portfolio of renewable carbon solutions was significantly extended. In 2024, four groundbreaking biobased surfactant candidates were delivered to an industrial partner (adding up to 8), alongside 12 novel biobased plasticizers supplied to Centxebel (adding up to 19). Demonstrating excellence in scaling and sample production, three first-of-a-kind plasticizers were successfully scaled-up with high purity within a 3 month period for pilot-scale validation, reinforcing Biorizon's role in bringing innovative materials to market. A significant leap was made in strengthening Biorizon's oxidation infrastructure with the final design and contractor selection for a kg/hour-scale oxidation reactor. Scheduled for completion</p> |  |

in 2025, this unique facility enables production of highly oxidized biobased building blocks that are desired by industry to expand their renewable carbon horizon.

**Photons-2-Chemicals**

The photons-2-chemicals program focuses on use of (sun)light as sustainable energy source for the production of chemicals and fuels. Currently, it consists of two research lines: (1) the production of chemicals and fuels using CO<sub>2</sub> as carbon source (gas phase reactions at solid catalysts) and (2) the production of fine chemicals (liquid phase reactions using molecular catalysts). In 2024, we have successfully realized a first outdoor demonstrator in form of a small scale photonic device for conversion of CO<sub>2</sub> and green H<sub>2</sub> to CO and CH<sub>4</sub> using a combination of natural sunlight and LED lighting. Based on the performance of this outdoor demonstrator, we comparatively assessed the economics of this process to other technologies for production of green CO/syngas. Additionally, we have developed and demonstrated Cu-based plasmonic photocatalysts for (sun)light-powered conversion of CO<sub>2</sub> to methanol, and established a lab scale proof of concept for light-powered dry methane reforming. For solution-phase fine chemicals production, we optimized a system consisting of an energy-efficient LED light source and a transparent flow reactor, which will be equipped with a sensor for measurements of temperature and light penetration in 2025.

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Titel</b>                 | <b>VP Industrial Electrification and CCU (P616)</b> |
| MTIB Thema                   | Sleuteltechnologieën / Chemie                       |
| Contactpersonen TNO          | Martijn de Graaff, Richard Braal                    |
| Contactpersoon Regie-voerder | Topsector Chemie: Jacqueline Vaessen                |

#### Programma jaar 2024 - Samenvatting

The increasing amounts of renewable wind and solar derived electrical energy offer great opportunities for the industrial production of green hydrogen and the conversion of renewable raw materials (e.g. biomass, CO<sub>2</sub>) to added value chemicals and fuels. 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 CO<sub>2</sub>) 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 increased drastically in recent years due to upcoming national and international legislation (a.o. EU Green Deal, Fit-for-55, Safe and Sustainable By Design, Circular Economy). Furthermore, multiple national growth fund investment proposals were developed with support from this VP (GroenvermogenNL, NXTGEN-Hightech, FutureCarbonNL) that will stimulate research, development and demonstration, substantially improving the international position of The Netherlands in this field.

The program delivered the following concrete technical results in 2024:

- A pressurized SOE cell operating at 7 bar was demonstrated in a 50 cm<sup>2</sup> cell area stack (3 cells). Pressurized operation is a breakthrough for the ceramic SOE cells, as it avoids the use of costly (low-pressure) compressors.
- Dimerization of furfural was successfully demonstrated in a 100 cm<sup>2</sup> flow cell. The importance of this result is that it is an interesting model reaction which can be used to demonstrate electrosynthesis in the kg scale with industrial partners.
- Gas diffusion electrodes (GDE) are the key functional components for CO<sub>2</sub> reduction. Because commercial GDEs did not have the quality needed to do research on scale-up, TNO successfully developed GDE manufacturing in-house.
- A 50 kW plasma reactor is installed at Brightsite and will be started-up early 2025. Together with the tools developed for reactor and kinetics modelling, this is an essential step in the research to scale-up the plasma technology.



Figure: Commissioning of the ZEUS electrochemical CO<sub>2</sub> 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).

Apart from technology developments, we also worked on the further development of the business community of our VoltaChem co-creation platform on Power-2-X and CCU. And on developing our 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   | Vorming NMO (P330) – nieuw VP  |
|---|--|
| MTIB Thema  | Klimaat en Energie   |
| Contactpersonen TNO   | Tirza van Daalen (Directeur Divisie GSN), Michiel van der Meulen (VPM) |
| Contactpersoon Regie-voerder  | Joost Nuijten, Stijn Bouwhuis  |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>   |  |
| <b>Programmalijn 1 Organisatie &amp; Netwerk</b>  |  |
| <p>Het doel van deze programmalijn is het ontwikkelen van de NMO-organisatiestructuur, de externe positionering, de samenwerkingen met partners en kennis/informatie uitwisseling. De ontwikkeling van de positie en rationale gebaseerd op noodzaak, wensen, scope, implicaties en voorwaarden van dit observatorium zullen verder worden uitgewerkt, onderbouwd en versterkt door interacties met de stakeholders. Dit omvat discussies met het bedrijfsleven, de rijksoverheid en andere nationale en Europese belanghebbenden (bijv. werkgeversorganisaties, kennispartners, maatschappelijk middenveld).</p>   |  |
| <b>Programmalijn 2 Monitoring van de toeleveringsketen</b>  |  |
| <p>Een van de meest basale uitdagingen voor het NMO is om de activiteiten die worden geïnitieerd op basis van de NGS en de CRMA te relateren aan het daadwerkelijke Nederlandse publieke belang in het algemeen en aan de nationale economische veiligheid in het bijzonder. Waar zowel de NGS als de CRMA zich richten op de afhankelijkheid (en dus kwetsbaarheid) van de import van grondstoffen van buiten de EU, is de Nederlandse economie meer afhankelijk van de import van 'engineered materials', componenten, sub-assemblies en zelfs eindproducten. De transparantie in mondiale toeleveringsketens is uiterst complex en ondoorzichtig. Het hoofddoel van programmalijn 2 is daarom om inzicht te verschaffen in de kwetsbaarheid van toeleveringsketens, om methodologieën te ontwikkelen om dergelijke inzichten te verkrijgen en om het bredere publiek, beleidsmakers en (indirect) de politiek te informeren over deze kwetsbaarheden.</p>  |  |
| <b>Programmalijn 3 Geologische aspecten</b>   |  |
| <p>De CRMA stelt dat elke lidstaat een nationaal exploratieprogramma moet ontwikkelen om potentiële bronnen van (kritieke) grondstoffen te identificeren. Dit exploratieprogramma moet elke vijf jaar worden geactualiseerd. In Nederland zijn sinds halverwege twintigste eeuw geen grootschalige onderzoeken meer gedaan naar grondstofpotentieel, anders dan organische grondstoffen (olie, gas, kool, turf), zout en aggregaten, en sindsdien zijn zowel de materiaalbehoeften als de exploratie- én Plan 2024 Real 2024 Budget VP from SMO (k€) Budget ERP (k€) Other budget (k€) 5.145*+ 500** 3.265 Total budget (k€) 5.645 3.480 mijnbouwtechnieken aanzienlijk veranderd. Activiteit binnen deze programmalijn is er daarom op gericht om met de kennis van vandaag het (kritieke) grondstoffenpotentieel in de Nederlandse ondergrond te beoordelen en in een nationaal exploratieprogramma te beschrijven. Daarnaast is deze programmalijn gericht op het beschrijven van (kritieke) grondstoffen in de wereld (geologische context, producerende landen, marktwerking) om kennis en inzichten op de mondiale markt te kunnen aanbieden en om de eerste stappen langs de toeleveringsketens in programmalijn 2 te kunnen karakteriseren.</p> |  |
| <b>Programmalijn 4 Data-infrastructuur</b>  |  |
| <p>Het doel van deze programmalijn is het ontwerp en de (technische) ontwikkeling van het deel van het NMO dat data verzamelt, QC toepast op de data, data beheert, de data kan analyseren, en informatie &amp; kennis levert aan belanghebbenden ter ondersteuning van hun processen met betrekking tot grondstoffen, bijvoorbeeld via een website-portaal. Programmalijn 5 Internationale kennispartnerschappen Doelstelling voor 2024 was om vanaf het najaar 2024 de eerste stappen te zetten in de ontwikkeling van de nieuwe WPS programmalijn internationale kennispartnerschappen (pilot 2025) binnen het NMO zowel intern als extern (plan was 20k€ als onderdeel van het 500k€ Buitenlandse Zaken budget 2024-2025).</p>  |  |

| 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 & Technology); Marika Hoedemaeker (VP-manager)   |
| Contactpersoon Regievoerder  | Topsector HTSM: Leo Warmerdam; Topsector Logistiek: Niels Agatz; Topsector Water & Maritiem: Bas Buchner; Ministry of IenW: Michel Duinmayer (IenW-DGMO/Unit Strategie) and Marieke Smit (IenW-DGMO/Unit Strategie); Ministry of VRO (formerly BZK): Arie Versluis (PDGRO/Geobeleid Kennis en Data) en Ellen Driessen (kenniscoördinator bij VRO) |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>  |   |
| <p>The demand-driven programme <i>Smart and Sustainable Mobility</i> is dedicated to advancing knowledge and innovation in smart solutions for both technology and policy. Its primary goal is to enhance the safety, sustainability, and efficiency of the mobility and logistics sector. This involves the significant challenge of increasing road safety and improving the efficiency of mobility and logistics while simultaneously ensuring environmental sustainability. The aim is to achieve very low to zero emissions, powered by renewable energy. Research and development are conducted at three system levels: a) the vehicle, b) the traffic and transport system, and c) mobility within the broader social system context. Regarding the work done in 2024 in the VP Smart and Sustainable Mobility, the following highlights can be mentioned.</p> <p>On the topic of <b>Liveable and resilient cities and regions</b>, TNO expanded the set of impact-assessment-indicators from a broad prosperity (brede welvaart) perspective and developed ways to interpret multiple indicators across multiple scenarios or interventions. This resulted in a 'multi-solution explorer', as well as a 'scenario assessment framework' which are helpful when there are a lot of indicators to consider. TNO also developed a method to analyze policy documents through three narrative layers: (1) central values and humanity, (2) core beliefs of mobility policy, and (3) framing and language. This method helps to understand, reflect, and adapt or create policy narratives for a more sustainable, equitable, and space-efficient mobility system. It can also be used to understand and reflect on a narrative, and to choose a strategy to adapt or create new narratives for achieving these goals.</p> <p>Regarding mobility modelling, TNO offered a dynamic perspective, compared to the static numbers typically available in the market, to indicate real-time needs for EV charging, using Activity Based Modelling for the MRDH region. This helps energy providers to better estimate upcoming energy demands and benefits the power network by avoiding significant load increases in high-demand areas.</p> <p>In the field of <b>Smart and Efficient Mobility</b> 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. The digital infrastructure for future-proof mobility (DITM) project by TNO and partners focuses on developing a digital infrastructure with core technologies like localization, traffic services, digital maps, and energy systems. Successful demonstrations of several technologies took place at the Automotive Campus in Helmond on the 29<sup>th</sup> of May 2024. Key advancements shown here included a Misbehavior Detection System for Intelligent Speed Assistance and an Online Situation-Aware Drivable Space Estimation for Automated Driving. Furthermore the PhD research (co-funded by this VP) on the topic of robust Fault Diagnosis and Occlusion-Aware Motion Planning for Automated by Chris van der Ploeg was finished his year. Chris was awarded the 'young excellent researcher award 2024' for his work.</p> <p>On the topic of CCAM (Connected, Cooperative and Automated Mobility) the first version of a harmonized and scalable Safety Assurance Framework was created which can serve in the EU as a basis for implementation of safe automated driving. Self-organising logistics projects gave first insights in the value of data driven decision making algorithms based on simulations and practical use cases. In these use cases they showed significant potential in reducing trucking kilometers (8 to 16% reduction) and improving efficiency (+25%).</p> <p>Lastly within Smart and Efficient Mobility a logistics module for impact assessment has been integrated into the Urban Strategy digital twinning platform, enhancing the evaluation of logistics impacts on cities.</p> <p>Turning to <b>Sustainable Mobility</b>, TNO contributed to the PBL publication "Klimaatneutrale Mobiliteit in 2050," exploring paths to climate-neutral mobility in the Netherlands by 2050. The study outlines two paths for mobility: one focusing on existing</p> |   |

technologies and biofuels, and the other on new propulsion technology and synthetic fuels. Based on these paths, opportunities, challenges and action perspectives for Dutch policymakers and other stakeholders have been identified.

TNO also won the by MAGPIE organized [Dragons' Den competition](#) (with external jury members) with our developed Green House Gas tool. This tool calculates greenhouse gas emissions of logistics supply chains and assesses the impact of emission reduction measures. It helps ports and stakeholders with emission reporting and strategic decision-making to comply with future emission legislation. With our work on active battery diagnostics we are now able to retrieve data about the State of Health and Remaining Useful Life of the Batteries. This information is key to optimize the use and lifetime of lithium-ion batteries. Also, the TNO developments surrounding a battery passport have made new promising steps in 2024. Besides interpretation of the EU battery regulation and defining a database description, the activities were extended to create an example implementation of the battery passport.

In another project focused on monitoring, TNO monitored the equivalent of 12.5 years of operation of electric excavators in the field. The findings of the measurements, point out that one year of operation (1700 hours) avoids the emission of on average 30 tons of CO<sub>2</sub> and 114 kg of NO<sub>x</sub>.

In the area of **Safe and Sustainable Maritime and Offshore** we combined in 2024 scenario analysis, with fact-based emission measurements, and the development of advanced sustainable technologies. Specifically, TNO contributed to the 'Roadmap Sustainable Energy Carriers for Shipping' by providing content and methodology for RVO, involving over 100 stakeholders. The goal was to prioritize steps for sustainable maritime energy carriers in line with sector policy. TNO, in collaboration with ICCT and Explicit ApS, published a report on methane emissions from LNG-fueled ships, collecting comprehensive real-world data. Measurements were taken onboard and via drones and helicopters. TNO tested methanol as a maritime fuel on a single-cylinder engine, achieving over 90% methanol fraction with lower NO<sub>x</sub> emissions while maintaining diesel efficiency. This research was part of the MENENS consortium. Additionally, TNO piloted a carbon capture system on two LNG-powered vessels, testing CO<sub>2</sub> storage, offloading, and utilization over 500 hours in the EverLong project with international partners.

| 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 (KGG), Debby Joosen (KGG), Hester Dijkstra (KGG), Laurens Oei (KGG), Josephine Ris (KGG), Veerle Heijnen (KGG), Sabine Jansen (VRO), Marjolein van Splunder (EZK), Guus Mulder (TKI Urban Energy), Robert Jan van Egmond (TKI Urban Energy), Robin Quax (TKI Urban Energy) Hans van der Weijde (TKI HTSM, M2i), Bas Buchner (TKI Maritiem) en Bob Meijer (TKI Offshore Energy) |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>   |  |
| <p>VP Duurzaam Bouwen richt zich op het optimaal verduurzamen van de gebouwde omgeving en van maritieme en offshore constructies. Dit betreft met name windturbines op zee, bruggen, viaducten, gebouwen en schepen. Maatschappelijk relevante thema's zijn daarbij CO2-reductie, verminderen van de gasafhankelijkheid, betaalbaarheid, circulariteit, veiligheid, (voorspelbaarheid van) onderhoud en vervanging en digitalisering. VP Duurzaam Bouwen bestaat uit vier deelprogramma's: <a href="#">Infrastructuur</a>, <a href="#">Bouwinnovatie</a>, <a href="#">Energie in de gebouwde omgeving</a>, en <a href="#">Maritieme en offshore constructies</a>.</p>   |  |
| <p><u>Infrastructuur</u></p>  |  |
| <p>Doel van deelprogramma Infrastructuur is het optimaliseren van het beheer van de verouderende infrastructuur door levensduurverlenging, reductie van risico's, hogere beschikbaarheid, beperking van stijging in kosten en duurzaam materiaalgebruik. De kennis die TNO hiervoor ontwikkelt zorgt ervoor dat assetmanagers de beschikking krijgen over modellen en ontwerp- en beoordelingskaders voor wegen van circulaire en milieuvriendelijke materialen en voor diverse constructies (nieuw en bestaand, beton en staal, droog en nat).</p>   |  |
| <p>De kennisinvesteringen zijn uitgevoerd langs de volgende vier thema's: 1) veilige, beschikbare en betaalbare bestaande infrastructuur, 2) data-gedreven beheer en onderhoud, 3) verduurzamen van de infrastructuur en 4) klimaatadaptieve infrastructuur. De belangrijkste resultaten binnen deze vier thema's hebben betrekking op: 1) betrouwbaardere rekenmodellen en -methoden voor bestaande en circulaire constructies die onder andere zijn opgenomen in de <i>fib</i> Modelcode, RBK, NEN 8702 en NEN 8703, 2) digital twins waarin meetgegevens en de resultaten van modellen zijn gecombineerd voor betrouwbaardere uitspraken over de (rest)levensduur van constructies, 3) duurzame materialen en constructies zoals biobased asfalt en het hergebruik van constructie-elementen en 4) probabilistische ontwerptools voor systeemanalyses van waterbouwkundige constructies.</p> |  |
| <p><u>Bouwinnovatie</u></p>   |  |
| <p>Doel van het deelprogramma Bouwinnovatie is de circulaire bouwconomie te versnellen met innovaties voor bouwproducten, bouwelementen en gebouwen op basis van een integrale multicriteria aanpak gericht op veiligheid, duurzaamheid, betaalbaarheid en grootschalige toepassing hiervan in de woning- en utiliteitsbouw.</p>  |  |
| <p>Het thema <i>veiligheid van gebouwen</i> richt zich op de kennisvraag hoe we ervoor zorgen dat bestaande en toekomstige gebouwen in de toekomst voldoende bestand zijn bij veranderende randvoorwaarden. Ten behoeve van hergebruik en herbestemming is in 2024 nagegaan hoe tot een systeembeoordeling is te komen voor hergebruik van bestaande constructieve elementen. Een techniek is ontwikkeld om constructieve eigenschappen te bepalen op basis van modale eigenschappen en deze is gevalideerd voor hoogbouw. Om de effecten van klimaatverandering en bodemdaling voor bestaande gebouwen beter te kunnen voorspellen, zijn modellen ontwikkeld om scheurvorming in metselwerkgebouwen op basis van actuele zettingsprofielen te voorspellen en is een verbeterde techniek voor automatische lintvoegmetingen gevalideerd om gebouwvervormingen in de tijd te volgen.</p>         |  |
| <p>Het effectief <i>verduurzamen van zorggebouwen</i> is een belangrijk thema voor de komende jaren om aan de klimaatdoelstelling te voldoen. In dat kader zijn de ondersteunende activiteiten van TNO in het Expertisecentrum Verduurzaming Zorg (EVZ) in 2024 gecontinueerd. Het contract met betrokken ziekenhuizen in het kader van het Innovatie Platform Ziekenhuizen is verlengd en vanaf 2025 zal nieuw onderzoek vanuit dit platform worden uitgevoerd. Het TKI-project CLAIR en het NWO-project MIST</p>  |  |



die zich beide richten op ventilatie in zorggebouwen, zijn in 2024 van start gegaan. Om het energiegebruik te minimaliseren en comfortbeleving te optimaliseren binnen een ziekenhuis is een voorspellend model op basis van een datagedreven Neural Model uitgewerkt; in 2025 zal dit model worden gevalideerd. In het kader van het VWS Onderzoekprogramma Duurzaam beschikbare zorg is nagegaan hoe om te gaan met toekomstige pandemieën en welke aanpak geschikt is voor de toenemende overlap tussen wonen en zorg.

Het thema *verduurzaming van steenachtige materialen* richt zich op de verduurzaming van constructies voor gebouwen en infrastructuur. In 2024 is het meerjarig onderzoek naar de prestaties van toepassing van alternatieve bindmiddelen van met name beton afgerond. De ontwikkelde modellen, technieken en testmethoden zullen de komende jaren worden ingezet in B2B projecten om materiaalinnovaties gericht op verduurzaming van beton geaccepteerd te krijgen in de markt. Een geavanceerde tool van TNO voor multi-criteria analyse is in 2024 doorontwikkeld voor materiaaltoepassingen en gevalideerd voor een vloer opgebouwd uit hout en beton waarbij gekeken is naar de milieu-impact, constructieve veiligheid en circulariteit.

Toepassing van *houtbouw en andere biobased materialen* (thema) wordt gezien als één van de oplossingen om de klimaatdoelen te halen en een circulaire economie te realiseren. In 2024 is een uitgebreide verkenning uitgevoerd hoe nieuwe probabilistische technieken zijn toe te passen bij het optimaliseren van de constructieve rekenregels voor hout volgens de Eurocode. Daarnaast is voor het classificeren van hergebruikt hout een postprocessingsroutine ontwikkeld voor het interpreteren van CT-scans. Vastgesteld is dat deze wijze van classificatie en die gebaseerd op een ultrasone techniek, tot betere resultaten leiden dan de klassieke visuele methode. Naast hout is ook onderzoek gedaan naar de toepassing van andere biobased (vezel)materialen en binders. In 2024 hebben we voor verschillende biobased isolatiematerialen experimenteel vastgesteld wat de effecten van vochtopname zijn voor het isolerend vermogen. Ook is aangetoond dat vibraties door transport geen effect hebben op de dichtheid van de beschouwde biobased isolatiematerialen. Met deze resultaten kan TNO in de toekomst bijdragen aan de vereiste opschaling.

#### Energie in de gebouwde omgeving

Doel van deelprogramma Energie in de gebouwde omgeving is een energiepositieve gebouwde omgeving in 2050. Hierbij richt TNO zich op het ontwikkelen van kennis en innovaties die in de praktijk leiden tot *snellere, betere, slimmere, en betaalbare* verduurzaming van woningen en utiliteitsgebouwen, waarbij de gebruiker centraal staat.

Binnen het thema *integrale verduurzamingsoplossingen* zijn in 2024 verschillende integrale verduurzamingsoplossingen doorontwikkeld, bestaande uit verschillende combinaties van warmtepomp, thermische collectoren, warmtebatterij, PCM (Phase Change Materials) buffers, PV panelen, al dan niet in combinatie met een energiemanagementsysteem. Ook is een, op fysica gebaseerd, warmtepompmodel ontwikkeld dat onder andere kan worden ingezet voor nauwkeurige systeemevaluaties en ontwikkeling van regeltechnologie.

Binnen het thema *sturen op werkelijke prestaties* is in 2024 een open source ventilatie- en verwarmingsmodel ontwikkeld voor het voorspellen van de energie- en binnenmilieuprestaties na verduurzaming. Ook zijn de ventilatiemodellen verbeterd, zodat alle (sensorgestuurde) ventilatiesystemen uit NTA8800 kunnen worden doorgerekend en diverse verontreinigingen gelijktijdig kunnen worden gesimuleerd. Tenslotte is een eerste versie van een methodiek ontwikkeld om de interactie tussen gebruikers en gebouwssystemen te begrijpen en te verbeteren.

Binnen het thema *slimme gebouwen voor een robuust energienetwerk* is in 2024 met praktijktesten aangetoond dat met een model predictive controller (MPC) de eigen benutting van PV flink kan worden verhoogd. Ook is gestart met het opstellen van een kennisroadmap om tot een energie flexibele gebouwde omgeving te komen. Deze roadmap zal in 2025 in overleg met verschillende TNO experts en externe stakeholders worden afgerond.

Binnen het thema *versnelling bouwverduurzaming* is in 2024 een eerste grootschalige validatie van de contingentenaanpak in de praktijk uitgevoerd. Ook zijn verbeterpunten geïdentificeerd om de kwaliteit en registratie van de data te verbeteren om daarmee de betrouwbaarheid en bruikbaarheid van contingenten te verbeteren. Tenslotte is een blauwdruk ontwikkeld voor woningcorporaties, voor gemeenten en specifiek voor energiearmoede om aan de hand van contingenten te verduurzamen.

Maritieme en offshore constructies

De ambitie van het deelprogramma Maritieme en offshore constructies is om Europees leidend te zijn in toegepast onderzoek (met name lab en praktijktesten), modelleren, en conceptualiseren van geavanceerde, veilige, duurzame, betrouwbare en kosteneffectieve scheeps- en offshore constructies. Dit geldt zowel voor nieuwe als bestaande maritieme en offshore constructies, waarbij de bestaande grenzen worden verlegd en de systemen aangepast worden voor nieuwe omstandigheden (met name drijvende zonne-energie) en extreme condities (met name opslag van vloeibaar/gasvormig waterstof).

Binnen het thema Offshore Renewable Energy (ORE) zijn de kennisinvesteringen rondom drijvende zonne-energie in 2024 aangescherpt op basis van de testcampagnes met drijvende PV platforms, modelvorming, en uitvragen in de sector. Hieruit bleek dat de dynamische (power export) een kritiek en onderbelicht onderdeel van de offshore infrastructuur om duurzame energie aan land te brengen. Daarnaast zijn de eerste surrogaat (machine learning) modellen voor het virtueel testen van rotorbladen gerealiseerd. Vanuit het thema Ship Safety & Reliability (SSR) is in 2024 het nucleaire domein geïntroduceerd en gelanceerd in lijn met de sectorstrategie. TNO heeft de maritieme en sector ondersteund door middel van risico, potentie en wetgeving analyse rondom de toepassing van nucleaire energie aan boord. Hiernaast is er in 2024 een volgende stap gezet in een gevalideerd corrosiemodel en methodologie, specifiek de toepassing van methanol in een brandstoftank zonder coating. Als laatste is er in de context van enkele grote industrie consortia, technisch bewijs op basis van testcampagnes rondom de (veilige) toepasbaarheid van waterstof en methanol. Bijvoorbeeld een vergelijkingsanalyse van het type cofferdam dat benodigd is voor de veilige opslag van methanol aan boord.

| Titel   | VP Future of Work (P204)   |
|---|--|
| MTIB Thema  | Gezondheid en Zorg   |
| Contactpersonen TNO   | Seth van den Bossche (VPM), Sandra Eikhout (DM)  |
| Contactpersoon Regievoerder   | - Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid: Fleur Clemens<br>- Ministerie van Economische Zaken & Klimaat: Sarah-Lee Tilly<br>- Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn & Sport: Kallista de Graaf<br>- Topsector HTSM/Nanotech: Ronny van 't Oever |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>   |  |
| <p>Het Vraaggestuurde Programma Work &amp; Youth Health richt zich op het maatschappelijk thema Gezondheid en Zorg en het thema Human Capital van het Missiegedreven Topsectoren- en Innovatiebeleid. Het programma omvat twee deelprogramma's: <i>Future of Work</i> en <i>Youth Health</i>.</p> <p>Het programma draagt direct bij aan de centrale missie van het maatschappelijk thema Gezondheid en Zorg <i>"In 2040 leven alle mensen in Nederland tenminste vijf jaar langer in goede gezondheid en zijn de gezondheidsverschillen tussen de laagste en hoogste sociaal-economische groepen met 30% afgenomen"</i>. Ook dragen we bij aan missie I <i>"In 2040 is de ziektebelasting als gevolg van een ongezonde leefstijl en een ongezonde leefomgeving met 30% afgenomen"</i> en de aanpalende Human Capital Agenda voor de Kennis- en Innovatieagenda Gezondheid en Zorg 2024-2027. Onze focus ligt hierbij op innovaties (in preventie) voor een gezonde werkomgeving, respectievelijk op gezond, veilig en kansrijk opgroeien.</p> <p>Het deelprogramma Future of Work draagt daarnaast bij aan de doelstellingen uit de Human Capital onderdelen van het Kennis- en Innovatieconvenant 2024-2027 (actielijnen responsieve arbeidsmarkt), alsook het Aanvalsplan Arbeidsmarktcrapte Techniek, Bouw en Energie, het Actieplan Groene en Digitale banen en de Nationale Technologiestrategie. Hierbij ligt de focus op innovaties die arbeidsmarktcrapte en -mismatch verkleinen en arbeidsproductiviteit vergroten.</p> <p>Deelprogramma <i>Future of Work</i>-Toekomstbestendig werk omvat innovaties voor een gezonde en productieve werkomgeving en een toekomstbestendige arbeidsmarkt. Een wendbare arbeidsmarkt met een hoge kwaliteit van werk leidt tot meer brede welvaart, maar is bovendien noodzakelijk om grote maatschappelijke transities (energie, klimaat, digitalisering, gezondheid etc.) mogelijk te maken. De doelgroep van het deelprogramma omvat de (potentiële) beroepsbevolking, werkgevers, overheid en HR/OSH-professionals. Het deelprogramma omvat de volgende kennislijnen en doelen:</p> |  |
| Kennislijnen 2024   | 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 goedkoper kunnen worden teruggedrongen bij bedrijven door ontwikkeling van innovatieve digitale veiligheidsmanagement systemen.  |
| Work Changes & Wellbeing  | Verminderen van werkgerelateerde mentale gezondheids-problemen 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 structurele 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 EZK</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 (HTSM) | 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:

| <b>Kennislijnen 2024</b>                   | <b>Doelstelling 2022-2025</b>   |
|--|---|
| <i>Afstemming VWS</i>                      |   |
| Integrale aanpak 1 <sup>e</sup> 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. |

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

**Programma jaar 2024 - 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 I). 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 2024 have been achieved:

- Validation of a biomarker signature for early detection of developing muscle frailty in male and female subjects.
- A feasibility study to demonstrate the applicability of accelerated mass spectrometry technology for monitoring of functional CAR-T cell tumour engagement.
- Generation of a demo-case of relevance of timing of lifestyle interventions for improved health result in shift workers
- Implementation of digital biomarkers in clinical trials, and feasibility study on the use of the wearables in COPD.
- Advice on the opportunities and challenges of using generative AI in healthcare (VWS)
- Remote data collection platform for digital biomarkers and RWD reuse, including frameworks.

| Titel  | VP Veilige Maatschappij (P102)   |
|--|--|
| MTIB Thema   | Veiligheid   |
| Contactpersonen TNO  | Gwen Jansen-Ferdinandus (VPM), Christa Hooijer (DS&T)                            |
| Contactpersoon Regie-voerder   | Ron Hanoeman en Bas ter Luun, Directie Innovatie, Kennis en Strategie (Min JenV) |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>  |  |
| <p>De veiligheid van de Nederlandse maatschappij staat onder druk van meerdere grote crises die met elkaar interacteren en elkaar versterken. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de onrust die ingrijpende klimaatmaatregelen met zich meebrengen, de polarisatie van de samenleving, de druk op de arbeidsmarkt en het hoge risico op verdere militaire escalatie binnen Europa.</p> <p>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 én de kennisbasis van TNO het meeste waarde toevoegen. Deze opgaven zijn afgeleid van verschillende agenda's en strategieën uit het veiligheidsdomein waaronder de Ontwikkelagenda bestuursdepartement Justitie en Veiligheid, de KIA Veiligheid, de Veiligheidsstrategie voor het Koninkrijk der Nederlanden en de Strategie ter bescherming Noordzee Infrastructuur. De opgaven zijn: 1) Digitale transformatie en veiligheid, 2) Georganiseerde, ondermijnende criminaliteit, 3) Nationale Veiligheid, en 4) Personeelschaarste. Deze opgaven staan niet los van elkaar maar kennen een sterke verbondenheid in de onderliggende dynamieken en de daaruit voortvloeiende kennis- en innovatiebehoeften.</p> <p>De 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 2024 uitgelicht.</p> <p><i>Weerbare samenleving</i></p> <p>De weerbaarheid en veerkracht van de samenleving zijn belangrijke factoren in het beschermen van de nationale veiligheid en het bestrijden van georganiseerde, ondermijnende criminaliteit. De samenwerking tussen overheid, private organisaties en burgers is daarbij essentieel, dit wordt vaak beschreven als de <i>whole of society</i> aanpak. De lange termijn doelen vanuit VPVM om bij te dragen aan de weerbare samenleving zijn: 1) het uitwerken en operationaliseren van integrale <i>foresight</i> en <i>capability based planning</i> methodieken en tools om zicht te hebben en te houden op de dreigingen voor de samenleving en de gevolgen voor de benodigde capabilities van de veiligheidsorganisaties; 2) het ontwikkelen van <i>evidence-based</i> en data gedreven methoden en tools voor fenomeen- en risicoanalyses in ketenverband en het voorspellen van de effecten van beoogde interventies; en 3) het ontwerpen van innovatieve concepten om samenwerkingen binnen de context van de <i>whole of society</i> aanpak te faciliteren, hieronder valt het betrekken en mobiliseren van burgers, ad hoc en ketensamenwerkingen en civiel-militaire samenwerkingen. In dit kader is in 2024 samengewerkt met DGPenV en NCTV aan het integreren van scenario-denken op rijksniveau. De ontwikkelde methodiek en bijbehorende tooling helpt bestuurders om beter in te kunnen spelen op verschillende crisisfasen, en daarbij rekening houden met het brede scala aan (neven) effecten die kunnen opspelen in verschillende domeinen tijdens een crisis. Het ondersteunt bestuurders om niet terug te vallen op standaardprocedures maar om te kiezen van oplossingsrichtingen op maat. Daarnaast is in samenwerking met EZK/KGG en betrokken publieke en private partijen een afwegingskader opgesteld waarmee op eenduidige wijze de kritieke processen en assets binnen de waardeketens van elektriciteit, gas, olie, waterstof en warmte kunnen worden bepaald. Hiermee kunnen de verantwoordelijke partijen risico's en dreigingen beter inschatten en mitigeren en wordt de weerbaarheid van het Nederlandse energiesysteem versterkt.</p> <p><i>Slagvaardige besluitvorming</i></p> <p>De bijdrage van het VPVM aan deze propositie ligt in het versterken van het informatie gestuurd optreden van veiligheidsorganisaties door continu zicht te hebben op posities, capaciteiten, acties en mogelijke intenties van alle betrokken partijen ten behoeve van besluitvorming. Deze doelstelling draagt bij aan alle vier de maatschappelijke opgaven. In 2024 is hiertoe onder andere samengewerkt met DJI, OM, de Douane en de directie AI van het ministerie van JenV. Twee highlights uit dit onderzoek zijn de ontwikkeling van nieuwe AI-modules om kennis te extraheren uit juridische documenten en kaders voor het in balans brengen van betrouwbaarheid en toegankelijkheid bij het gebruik van chatbots voor het raadplegen van beleidsinformatie.</p> |  |

Deze kennis stelt het ministerie van JenV in staat om op verantwoorde wijze keuzes te maken over de inzet van AI en maakt concreet hoe menselijke controle en transparantie in AI-gestuurde besluitvorming gewaarborgd kunnen blijven.

*Effectieve autonome capaciteiten*

Het VPVM draagt bij aan deze propositie door inzetconcepten te ontwikkelen voor autonome robotica die zowel de duurzame inzetbaarheid van personeel als de bestrijding van criminaliteit en het beschermen van de nationale veiligheid versterken. Hiertoe wordt onderzocht op welke manier robots kunnen worden ingezet voor veiligere, betekenisvollere en effectievere taakuitvoering. Dit onderzoek wordt uitgevoerd in samenwerking met politie, DJI, KMar en de Directie Innovatie Kennis en Strategie van JenV. In 2024 is onderzocht hoe meerdere robots samen kunnen werken om een verkenningstaak uit te voeren. Deze kennis geeft inzicht in de stand van de hedendaagse robotica technologie, de mogelijkheden die dit biedt en de technische afwegingen die daaraan ten grondslag liggen. Dit stelt de veiligheidsorganisaties in staat om geïnformeerd het gesprek aan te gaan met marktpartijen. Daarnaast is een methodiek ontwikkeld voor het begeleiden van het innovatieproces specifiek voor robotica toepassingen. Hiermee kan de inzet van robotica bij stakeholders in het veiligheidsdomein op een consistente en relevante methode geëvalueerd worden waarbij de eindgebruiker centraal staat. Deze guide is met succes getoetst bij DJI en politie.

| Titel   | VP Kennisopbouw Politie (P106)  |
|---|---|
| MTIB Thema  | Veiligheid  |
| Contactpersonen TNO   | Gwen Jansen-Ferdinandus (VPM), Tjarda Krabbendam-Hersman (DD), Christa Hooijer (DS&T) |
| Contactpersoon Regievoerder   | Kirsten Hehemann & Sven Hamelink (Politie)  |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>   |   |
| <p>Het Vraaggestuurd Programma Kennisopbouw Politie (VP KOP) heeft als doel om met behulp van kennis en innovatie te zorgen dat de politie haar taken effectief kan blijven uitvoeren zowel op de korte als de lange termijn. Door kennis op te bouwen over relevante trends en ontwikkelingen kan de politie proactief gebruik maken van de nieuwste inzichten en (technologische) mogelijkheden. Op basis van het maatschappelijk thema Veiligheid uit het Missiegedreven Innovatiebeleid, de prioriteitsgebieden uit de Strategische agenda politie 2021-2025, de Science &amp; Technology agenda van de politie én 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 vijf 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.</p>   |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li> <b>Veranderende politieorganisatie.</b> Dit programma richt zich op het duiden en concretiseren van de gevolgen van grote veranderingen binnen de politie op basis van maatschappelijke of technologische ontwikkelingen. Eén van de belangrijkste uitdagingen voor de politie, net zoals vele andere organisaties, is hoe om te gaan met personele schaarste. In een samenwerkingsverband tussen politie, Defensie en TNO wordt gewerkt aan een manier om op basis van systeemanalyses geïnformeerde keuzes te maken over toekomstbestendige maatregelen om de organisatie goed en juist bezet te houden, waarbij ook de mogelijke (on)gewenste effecten in kaart worden gebracht. De eerder ontwikkelde analysemethodiek is in 2024 beproefd op operationeel en tactisch niveau in de politiepraktijk. Hiermee is de meerwaarde van deze aanpak inzichtelijk gemaakt. </li> <li> <b>Politiewerk van de toekomst.</b> In dit kernprogramma wordt onderzocht hoe de politie haar taken adequaat uit kan blijven voeren in een continue veranderende omgeving. In 2024 lag de focus van het onderzoek op de thema's: continue vernieuwingen in de aanpak van ondermijning op basis van reflectie (i.e., double-loop leren), het integraal beveiligen van de politieorganisatie en het optreden in het digitale domein. In 2024 is in samenwerking met de Politie Academie een kat-en-muis spel ontwikkeld om politiemedewerkers uit te dagen met systeemblik naar criminaliteit te kijken. In dit spel ervaart de speler hoe criminelen hun modus operandi om cocaïne te smokkelen aanpassen als gevolg van door de politie gekozen interventies. Dit geeft inzicht in waterbed effecten van interventies en daagt de spelers uit om strategisch en "out-of-the-box" te denken. </li> <li> <b>Politiemedewerker van de toekomst.</b> In dit kernprogramma wordt onderzocht hoe de politiemedewerker continu en op maat kan blijven leren; weerbaar wordt en blijft voor veranderingen en hoge belasting; en adequaat uitgerust wordt voor het uitvoeren van zijn of haar taken. In 2024 zijn de effecten van persoonlijke monitoring (met wearable en app) op bewustwording en gedragsverandering i. r.t. mentale en fysieke fitheid geëvalueerd. Het onderzoek is een van de eerste die laat zien wat de positieve effecten zijn van deze technologie in het hoog-risicodomein. Daarnaast is een gestandaardiseerde evaluatiemethodiek ontwikkeld, de Blue LEAP, waarmee de effecten van kleding en uitrusting op mobiliteit, wendbaarheid, comfort en bruikbaarheid op een gecontroleerde wijze kunnen worden geëvalueerd. De Blue LEAP biedt de politieorganisatie een ontwerp voor een gestandaardiseerd testprotocol als onderdeel van een integraal afwegingskader voor politiemiddelen. </li> <li> <b>Politiedata en intelligence.</b> In dit kernprogramma wordt onderzocht hoe de politie beter informatie-gestuurd kan werken en (zwakke) signalen uit data kan gebruiken om te anticiperen op opkomende fenomenen en crimineel gedrag. Specifiek is in 2024 gewerkt aan het analyseren van Open Source Intelligence (OSINT) ten behoeve van bewaken en beveiligen. Daarbij is onder andere onderzocht op welke manier AI-taalmodellen kunnen worden ingezet zowel in de procesondersteuning als in de uitvoering van de analyse. Deze kennis stelt de politie in staat haar intelligence proces te innoveren en sneller een vollediger beeld te vormen van de veiligheidssituatie op basis van de beschikbare data. </li> </ul> |   |



- **Techniek in de operatie:** In dit kernprogramma worden state-of-the-art detectie en analysetechnieken ontwikkeld om de operationele opsporingscapaciteiten van de politie te verhogen. Hiertoe wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van technologieën zoals ZERO-shot learning, no code AI en instant search om op verantwoorde wijze van losstaande heterogene databronnen tot actiegerichtte informatie te komen. In 2024 zijn bijvoorbeeld nieuwe video- en audiodetectoren gemaakt waarmee bepaald gedrag of objecten kunnen worden herkend (zoals het opengaan van een deur). Daarnaast zijn algoritmes ontwikkeld voor het detecteren, classificeren en identificeren van drones die via radio frequency worden bestuurd. De ontwikkelde algoritmes vormen een belangrijke basis om aansturing van deze drones in stedelijk gebied de te verstoren.
- **Technologie-ontwikkelprogramma.** In dit doorsnijdende programma wordt onderzocht wat specifieke technologische ontwikkelingen voor het werk van de politie kunnen betekenen. In 2024 lag de focus op robotica en privacy enhancing technologies (PETs). Binnen het robotica onderzoek is een inzetconcept uitgewerkt hoe robots autonoom ingezet kunnen worden om gevaar in ontdekte drugs-labs in kaart te brengen. Daarnaast is een kennisbasis opgebouwd rondom PETs waarmee de politie deze technologie effectief kan inzetten en op een veiligere manier persoonsgegevens binnen de organisatie kan ontsluiten.

| Titel   |  |
|---|--|
| MTIB Thema  | Veiligheid,  |
| Contactpersonen TNO   | Marcel van der Graaf (VPM), Christa Hooijer (Director S&T)   |
| Contactpersoon Regie-voerder  | A.P. Venema (Mindef/HDB), Leo Warmerdam, Lucas Roffel (HTSM) |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>   |  |
| <p>The geopolitical context, relevant to this VP, is changing drastically. Russian aggression, which had cast its shadows ahead already in 2014, brought war back into Europe after a long time of relative peace, and revealed vulnerabilities. Territorial threats to the Baltic states and former Eastern Europe are renewed and we see the Middle East become instable.</p> <p>Until now the European countries have relied heavily on NATO, and in particular to the US, for its safety, but this is no longer an option. Europe, including the Netherlands, is urgently rebuilding its deterrence by renewal and re-enforcement of their military capabilities and does so in close collaboration with industry, knowledge institutions and universities.</p>   |  |
|   |  |
| <p><i>The first seven propositions of TNO DSS towards the ministry of defence and defence industry</i></p> <p>Published in 2023, The EU's Common Defence Industrial Strategy (EDIS) aims to strengthen its Defence Technological and Industrial Base (EDTIB) by steering towards interoperability and uniformity of weapon systems and capabilities, by stimulating cross-border collaboration on R&amp;D, and the production of systems on European soil. Defence has become an international playing field and its by no means level. In response, the EDTIB is being translated into the Dutch Defence and Security related Technological and Industrial Base (NLDTIB) policy for The Netherlands, strengthening the industrial involvement and protecting the national interests. For the Dutch Defence industry it is vital to secure a position in the international supply chain. The Vraaggestuurd Programma (VP) P104 is a catalyser in achieving this.</p> <p>P104 aims to bring Science and Innovation at the Frontline. We aim to maintain and further strengthen the global leadership and competitiveness of our national defence and security ecosystem in specific niches, through industrially relevant R&amp;D with an emphasis on the speed of innovation. We predict and translate future operational capabilities into relevant R&amp;D for advanced materials, crucial high-tech components, complex sensors and associated command &amp; control (C2) systems, for our military to protect our territory and that of our allies. This is a combined effort executed in eco-systems, where e.g. TNO as the leading innovator and industry work together with government as launching customer. Technological breakthroughs are pursued in areas that are strategically crucial to the Netherlands, where we have the right to play, where the knowledge cannot be obtained anywhere else, and/or where it leads to economic growth.</p> <p>The research in 2024 was performed in collaboration with industry whenever possible in a revolving set of roughly 40 projects within its eight constitutive themes: (1) Radar and integrated sensor suites; (2) Sensors for Space Domain Awareness; (3) Advanced Materials; (4) Smart Manning and Automation; (5) Collaborative Innovative UxVs; (6) Imaging systems for Defence; (7) Quantum Sensing and (8) Ocean Resiliency and Transparency. Another 40 projects are in various stages of acquisition.</p> <p>The continuous R&amp;D efforts in radar concepts, front-end technology and signal processing over the past decade has resulted in state-of-art industrial radar systems, such as the Thales APAR blk-2 and NS50 radar systems, currently being manufactured. Dutch radar systems are a major export success.</p> |  |

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

|   |  |
|---|--|
| <b>Titel</b>  | <b>VP Cyber Risk Management and System Resilience (P103)</b> |
| MTIB Thema  | Veiligheid   |
| Contactpersonen TNO   | Sjoerd-Jan Wiarda (VPM), Berry Vetjens, (DM)                 |
| Contactpersoon Regie-voerder  | Lukas Roffel (HTSM/Security)                                 |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>   |  |
| <p>The Vraaggestuurd Programma (VP) Cyber Risk Management and System Resilience (CRM&amp;SR) delivered impactful solutions in 2024 to enhance the Netherlands’ digital security and resilience while capitalizing on economic opportunities in cybersecurity. By addressing challenges such as the growing complexity of cyber threats, the looming quantum computing risks, and the demand for secure-by-design practices, the program achieved the following key results:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> <b>Automated Security:</b> Responding to the increasing speed and sophistication of cyber-attacks, the program developed innovative tools such as SOARCA, an open-source security orchestration tool leveraging CACAO playbooks. Demonstrated at global conferences, SOARCA exemplifies scalable, vendor-independent automation. TNO also enhanced self-healing systems like SH4CS and introduced advanced infrastructure modeling capabilities to enable autonomous threat analysis.         </li> <li> <b>Quantum-Safe Technologies:</b> As quantum computing threatens current cryptographic systems, the program prioritized practical PQC migration. The second edition of the PQC Migration Handbook, co-developed with CWI and AIVD, has become the key reference for Dutch organizations and an essential resource for important stakeholders like PCSI partners and Raiffeisen Bank. Successful real-world applications, such as ABN AMRO’s PQC migration, demonstrated the feasibility of quantum-safe transitions. The program also conducted CADI tool evaluations to strengthen cryptographic infrastructure and fostered global collaboration through the PQC Symposium.         </li> <li> <b>Security Monitoring &amp; Detection:</b> To combat sophisticated cyber threats, the program developed advanced detection tools, including IoChecker for dynamic IoC validation and AVOID for detecting AI-powered phishing attacks. Published methodologies like Telosian reduced false positives, while partnerships with OT operators addressed sector-specific vulnerabilities.         </li> <li> <b>National Security:</b> The program collaborated with NCSC to strengthen national cyber resilience by improving software supply chain security, AI-driven threat intelligence, and malware response capabilities. The SBOM Risk Analysis provided actionable mitigation strategies, while a triage model enhanced malware investigation reliability. The IoChecker tool, now open-source, advanced real-time threat validation. Additionally, the updated PQC Migration Handbook, developed with CWI and AIVD, reinforced the Netherlands’ leadership in quantum-safe cryptography.         </li> </ul> <p>Through its innovations, collaborations, and contributions to international standards, VP Cyber strengthened the Netherlands’ position as a leader in cybersecurity. The program’s achievements in 2024 lay the groundwork for continued advancements, addressing emerging challenges such as generative AI threats, quantum risks, and secure-by-design imperatives, ensuring a secure and resilient digital future.</p> |  |

| Titel  | VP ICT (P706)  |
|--|--|
| MTIB Thema   | Sleuteltechnologieën   |
| Contactpersonen TNO  | Berry Vetjens (DM), Björn Håkansson (VPM)  |
| Contactpersoon Regie-voerder   | Frits Grotenhuis (Directeur Topsector ICT), Leo Warmerdam (Director HTSM Top Sector) |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>  |  |
| <p>TNO aims to guide industrial and societal stakeholders in the digitalisation of their business or domain, by integrating the identified enablers in national and European ICT agendas in first-time engineering solutions. These stakeholders have common needs, where they for example seek to take advantage of new opportunities in data sharing, and require fast open infrastructures and trusted ICT solutions to overcome their challenges in operating in digital ecosystems. 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:</p> <p><b>Proposition Data Sharing and AI</b></p> <p>Artificial Intelligence (AI) is widely seen as a transformative technology with lots of capabilities. However, adoption suffers from 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.</p> <p>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.</p> <p>Highlights for 2024 include successful knowledge-driven influencing of EU policy (so that self-sovereign identity adoption is made easier); the publication of a EU-wide blueprint for Data Spaces, to increase interoperability; standards for identity management; a national roadmap; prototypes of digital twins that show how <i>collaborative</i> digital twins can operate; trustworthy and communicative AI based on knowledge graphs; and improved AI systems for better detection of criminal activities by mitigating bias in training sets.</p> <p><b>Proposition Fast and Open Digital Infrastructures</b></p> <p>Digital infrastructures are the foundation for the digitalization of our society and economy, enabling technologies like AI, data ecosystems, digital twins, and the metaverse. Future digital infrastructure integrates network connectivity, storage, and processing, 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, sustainability, and sovereignty, with standardized or open technologies enhancing user flexibility. In 2024, notable achievements include the successful start of the FNS 6G National Growth Fund program, development of federation and orchestration software for Federated Cloud (IPCEI-CIS ECOFED), and the advancements in development of sustainability aware orchestration in IPCEI-CIS Modular Integrated Sustainable Datacenters project. Additionally, various network APIs were specified and developed to enable future mobile services for different sectors.</p> <p><b>Proposition Trusted ICT</b></p> <p>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 applications of this technology is (and should be) researched to find the areas where and how quantum computing will have impact. In 2024, research was conducted on new quantum (inspired) algorithms and methods to use future quantum hardware for solving business problems and societal challenges that have computational bottlenecks and constraints. Potential use cases and proof of concepts were worked out with parties in a wide range of sectors.</p> |  |

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Titel</b>                 | <b>VP Digital Systems (ESI) (P707)</b>           |
| MTIB Thema                   | Sleuteltechnologieën                             |
| Contactpersonen TNO          | Wouter Leibbrandt (DM), Jacco Wesselius (VPM)    |
| Contactpersoon Regie-voerder | Topsector HTSM Systems Engineering: Ronald Fabel |

**Programma jaar 2024 - Samenvatting**

The Netherlands has a world-leading high-tech systems industry generating a consistent and increasingly positive economic and societal impact. They hold and keep their leading position by constantly improving the effectiveness of their engineering, manufacturing, and service throughout the full life cycle of their advanced products. It is the mission of the VP Embedded Systems Innovation (ESI) to strengthen the Dutch high-tech industry by innovating and embedding cutting-edge methodologies into the industry to cope with the ever-increasing complexity of their products.

As described in the VP Plan 2024, the decision was made to broaden the application domain addressed by the VP with *digitalization of the energy system*. Also in this domain, the challenges require systems engineering and systems-thinking methodologies, applied in the context of complex cyber physical systems. There are strong synergies between the challenges the research previously aimed at in the high-tech industry and those in the digital transition of the energy system.

As similar challenges are observed in other societal domains, the scope of the VP is expected to be broadened even further (initial initiatives have been taken in 2024 in: (i) infrastructure and (ii) the defence industry. To reflect the broadening scope, the decision was made to rename future versions of this VP into **VP Digital Systems**.

To fulfil our mission, we:

- participate in national and international agenda setting;
- execute a research program on *engineering methodologies*, (early research and applied research) in close collaboration with partners from the Dutch high-tech industry and from the energy field, tightly linked to academic research, leveraging the value of cooperation in international research consortia;
- consolidate and publicly share the results from this research;
- prepare industrial deployment of the engineering methodologies by:
  - human capital development: defining and executing a competence development program for industry;
  - preparing for scaling-up: bringing results (e.g., software tools) into open source and seeking partnerships with professional tool suppliers, service providers and industry.

In 2023, we summarized our vision on (systems) engineering for the high-tech industry. In 2024, we have continued to shape our research program along this line, and we have concluded that this vision statement applies well to the energy domain, well as to other engineering domains:

*In 2035,  
engineers of complex cyber-physical systems  
will more than double 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.*

This vision guided us in the definition of the program for the coming years, giving more focus on the application of artificial intelligence (combining data-analysis and model-based reasoning) to develop “digital engineering assistants” for (system) engineers (AI4Engineering). In 2024, this resulted in early and applied AI-research in several projects:

**Commented [JW1]:** *Wesselius, J. B. B. B. B.* : added this to address your request to also have early research mentioned. I don't want to go into details in this summary. There is more in later sections in the body of the document.  
Okay?

**Commented [AK2]:** Maybe we should just change the text in yellow to Digital Systems and mention this change, which follows the change of scope of the VP, in the text.

**Commented [JW3R2]:** Or: engineers of complex cyber-physical systems?

**Commented [AK4R2]:** That is also fine. Perhaps your phrasing is more future proof since it addresses the core of our work rather than mention a specific domain, which is the reason we outgrew the shirt last time.

**Commented [AK5]:** It may be nice to mention the KIP studies in a separate list and state that we are also investing in early knowledge development to keep our knowledge base up to date.

**Commented [JW6R5]:** KIP-studies are internal to TNO. I try to avoid internal lingo as much as possible. I called them “study” in this list to set them apart from PPP-projects. For now, I would like to keep this as-is.

**Commented [JW7R5]:** I added “early and” Okay like this (the studies are in the list). I have now called them “knowledge studies”

- a PPP-project to research the application of large language models to reduce the threshold of applying advanced legacy rejuvenation methodologies;
- a PPP-project to research the application of large language models to support systems engineering tasks, focusing on processes in the industry to process field reports and complaints (a process under regulatory constraints that cannot tolerate AI-hallucination);
- a PPP-project to research the application of reinforcement learning to optimize software deployments by minimizing resource usage while satisfying timing requirements;
- a knowledge study on explainable AI, to support our development of digital engineering assistants and their acceptance in the engineering community (trustworthy assistants);
- a knowledge study of probabilistic programming as a new technique for developing digital engineering assistants (the results of which have been applied in a PPP-project researching methodologies for smart diagnostics);
- a knowledge study on causal reasoning to support our development of digital engineering assistants.

Commented [WL8]: "learning" missing?

Commented [AK9]: I would say '... reinforcement learning to optimize software deployments by minimizing resource usage while satisfying timing requirements' ... or a higher level version of that. Hardware configurations are not really relevant here. If you have a few compute nodes, e.g. in a cluster, this is all software.

Another addition to our program that was realized in 2024 is that we were able to broaden our research to address **socio-technical** challenges. Examples of research we performed in 2024:

- a multi-partner knowledge study and a PPP-project to study the interplay of systems engineers and software engineers (or rather the gap between these disciplines that is experienced in the industry);
- a knowledge study to research the business aspects of improving legacy software maintenance;
- PPP-projects researching (next to technical topics) what is needed to develop methodologies that can be used by engineers, as well as a study on usability aspects of engineering tools;
- a PPP-project to research the skills of future systems engineers (in various roles), resulting in proposals to INCOSE for improving their competency profiles.

As described in the VP plan 2024, we have also added the topic of engineering for sustainability and circularity to our program, resulting in a study on this topic and a PPP-project that will be continued in 2025.

This way, we have been able to broaden and strengthen the program lines of ESI and we have continued the academic collaborations in the MASCOT and ZORRO NWO-projects. As always, we have executed our competence development programs (training and consultancy) to bring the results of our research to the industry.

Finally, in 2024, we have started a series of studies and PPP-projects in the energy transition domain, the extension of the VP. Although the initiatives in this field are still young, the synergies with our research in the high-tech industry have already been shown, tapping into the body of knowledge, skills and capabilities developed in the former VP ESI.

|  |  |
|--|--|
| <b>Titel</b>   | <b>VP Sleutelmethodologieën voor Transitie en Transformatie (P901)</b>   |
| MTIB Thema   | KIA Maatschappelijk Verdienvermogen / Sleuteltechnologieën   |
| Contactpersonen TNO  | Rowie Huijbregts (VPM), Wimar Bolhuis (DM), Anne Fleur van Veenstra (DS)   |
| Contactpersoon Regievoerder  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regievoerder: Paul Vetter, Ministerie van Economische Zaken, Directie Innovatie en Kennis (I&amp;K); regievoerder participeert tevens in Externe VP Klankbordgroep en Programmteam KIA MV.</li> <li>• Externe VP Klankbordgroep voorgezeten door DM en VPM – deelname van: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ministerie van Economische Zaken (EZ) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Directie Innovatie en Kennis (I&amp;K)</li> <li>▪ Directie Algemene Economische Politiek (AEP)</li> <li>▪ Directie Strategie Energiesysteem (SES)</li> </ul> </li> <li>○ Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Afdeling Kennis, Internationaal, Europa, Macro-economie (KIEM)</li> </ul> </li> <li>○ Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&amp;W) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Directie Algemeen Strategisch Advies (ASA)</li> </ul> </li> <li>○ Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Directie Strategie, Kennis en Innovatie (SKI)</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>  |  |
| <p>De wereld staat voor grote, complexe uitdagingen zoals klimaatverandering, schaarste aan ruimte en arbeidskrachten, sociale ongelijkheid en snel opkomende technologieën. Deze uitdagingen zetten de brede welvaart onder druk. Het doel van het VP Transitie en Transformatie voor de periode 2024-2028 is 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. Overheden, bedrijven en maatschappelijke organisaties krijgen handelingsperspectief: praktische inzichten en richtlijnen die helpen bij weloverwogen beslissingen om de brede welvaart – het economisch verdienvermogen en het sociaal-maatschappelijk en ecologisch welzijn – structureel te bevorderen in Nederland en Europa.</p> <p>Maatschappelijke innovaties zijn essentieel om technologische vernieuwingen beter te verankeren in de economie en samenleving, waardoor hun impact en rendement toenemen. Deze innovaties ontstaan door een multidisciplinaire aanpak en publiek-private samenwerkingen en dragen bij aan systemische en blijvende verandering. Voorbeelden zijn nieuwe samenwerkingsvormen tussen overheden, bedrijven en burgers, aanpassingen van economische en organisatorische structuren, de ontwikkeling van nieuwe ecosystemen en businesscases, en veranderingen in ruimtelijke planning en wetgeving. Dit faciliteert de opschaling van technologische innovaties. Om kansen en risico's vroegtijdig te identificeren, voeren we strategische analyses uit. Zo verkrijgen we inzicht in trends en ontwikkelingen en ondersteunen we toekomstvisies op thema's zoals strategische autonomie, ruimtelijke inpassing, vitale innovatiecapaciteiten en -systemen, en internationale waardeketens en concurrentie.</p> <p>Het VP richt zich in de periode 2024-2028 op vier impactgebieden. De belangrijkste resultaten van 2024 waarop we voortbouwen in de komende jaren zijn:</p> <p><b>Impactgebied Innovatie:</b> Innovatiesystemen voor transitie en transformatie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kennis- en methodologie-opbouw over transformatieve overheid, transformatief innovatiebeleid, transitie-monitoring, foresighting, innovatie-intelligence en transitie-economie.</li> <li>- Toepassing in o.a. het Europees netwerk Research Infrastructure Technology Infrastructure for Impact (RITIFI), Consortium NXTGEN Hightech, KIA MV Experiment Missiemanagement en AiNed AI-monitoring.</li> <li>- Resultaten omvatten o.a. de publicatie van een hoofdstuk over (transitie)monitoring in de Agenda Key Enabling Methodologies 2024-2027 van CLICKNL en een wetenschappelijk artikel over (transitie)monitoring in het Journal for Research and Technology Policy Evaluation.</li> </ul> <p><b>Impactgebied Digitaal:</b> Waardengedreven digitale samenleving</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kennis- en methodologie-opbouw over adaptieve AI-governance, digital trust en drivers of digital transformation.</li> <li>- Toepassing in o.a. AiNed AI-monitoring.</li> </ul> |  |



- Resultaten omvatten o.a. een geaccepteerde panelindiening en een conferentiepapier voor Amsterdam Trust Summer 2025 over digital trust.

**Impactgebied Ruimte:** Waardengedreven duurzame steden en regio's

- Kennis- en methodologie-opbouw over de transitie naar klimaatneutrale steden, brede welvaart, vitale systemen, innovatiecapaciteit en adaptief bestuur.
- Toepassing in o.a. het Europees netwerk NetZeroCities, de samenwerkingsovereenkomst met gemeente Rotterdam in Programma Vitale Systemen, het relatienetwerk met de gemeenten Amsterdam, Den Haag, Rotterdam en Utrecht, en use cases voor Regiodeal Waterwegregio en RVO.
- Resultaten omvatten o.a. een gevalideerd Brede Welvaart-raamwerk in use cases met de Regio Deal Waterwegregio en RVO, en een ontvangen revisieverzoek voor een wetenschappelijk artikel over klimaatneutrale steden in het journal Sustainable Cities and Society.

**Impactgebied Industrie:** Groene en strategisch autonome industrieën

- Kennis- en methodologie-opbouw over omgaan met onzekerheden in industriële waardeketens, innovatie-orkestratie en financiering van transitieën.
- Toepassing in o.a. het Europees netwerk Alliance for Modelling Industries towards the Green Deal's objectives And circulaRity (AMIGDALA), de Orchestrating Innovation community (TNO en partners) en Centre of Quantum and Society Mission Year Quantum for the Energy Transition community.
- Resultaten omvatten o.a. een ontwikkelde methodologie voor het omgaan met onzekerheden in waardeketens en een online gepubliceerd paper over de rol van innovatie-intermediairs in het succes van sector-overstijgende samenwerkingsverbanden bij het gezamenlijk aanpakken van complexe vraagstukken.

| Titel  | VP Space & Scientific Instrumentation (P607)   |
|--|--|
| MTIB Thema   | Sleuteltechnologieën                           |
| Contactpersonen TNO  | Kees Buijsrogge, Ton Marée                     |
| Contactpersoon Regie-voerder   | Niek Lobé, Rob Postma, Frenk van den Berg (EZ) |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>  |  |
| <p>Our multi-annual R&amp;D program 2025 - 2028 supports our ambition to contribute to <b>preventing climate change and air pollution</b>, enable <b>secure broadband connectivity</b>, help <b>understanding the Universe</b>, and stimulate <b>economic growth in the Netherlands and Europe</b>. Therefore, we organise the VP along program lines directly connected to this ambition; Instruments for <b>Earth Observation</b> and related <b>Space Data Utilization</b>, technologies for <b>Satellite Communication</b>, and <b>Scientific Instrumentation</b> focusing on instruments for <b>Ground-based Astronomy</b>, <b>Space-based Astronomy</b>, and instruments for <b>Big Science and Diagnostics for Fusion Energy</b>.</p> <p>In recent years ESA and the EU have increased priority for the theme <b>Space Situational Awareness</b>, including space weather, Near Earth Objects, and space surveillance and tracking including Space Traffic Management. Within the Netherlands <b>Space Situational Awareness</b> is a key topic in the Dutch Defence Space Agenda, that was released in November 2022. In 2023 the TNO units High Tech Industry and Defence, Safety and Security have decided to join forces by establishing a new proposition <b>Military Use of Space</b>, to optimally support the NLMOD. It is seen that TNO can contribute with its strong heritage in Optical systems and Radar Technology in the field of observation and diagnosis. The proposition will be further developed in 2025.</p> <p>The main parts of the VP Space &amp; Scientific Instrumentation 2024 are summarized below.</p> <p>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.</p> <p>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</p> <p>The programme line Scientific Instrumentation, with the main activities in Space-based Astronomy and Ground-based Astronomy, focused on opto-mechatronics design &amp; 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.</p> <p>Some highlights in 2024 are the approval in February 2024 from the European Space Agency (ESA) for the realization of the Dutch TANGO satellites. TANGO measures greenhouse gas emissions at source level from power plants, coal mines, landfills and factories, among others. The satellites are being developed by the Dutch parties ISISPACE, TNO, SRON and KNMI. TANGO is expected to be ready for launch from early 2027. The EarthCARE mission was launched on the 28<sup>th</sup> of May 2024. It has been designed to make a range of different measurements that together will shed new light on the role that clouds and aerosols play in regulating Earth's climate. In cooperation with Surrey Satellite Technology Ltd (SSTL UK), TNO designed and developed the MSI which will provide information on clouds and aerosols.</p> <p>On 23<sup>rd</sup> of October 2024, TNO won the second prize in the category 'Impact Delivered' at the 16<sup>th</sup> EARTO Innovation Awards for the CubeCAT laser communication terminal. The satellite instrument CubeCAT is developed by TNO in close cooperation with AAC Hyperion (part of AAC Clyde Space) for the onboard electronics, drivers as well as software, and Gooch &amp; Housego (laser transmitter). TNO and FSO Instruments have entered into license and cooperation agreements on 13<sup>th</sup> of March 2024. Under the agreements FSO Instruments will obtain worldwide rights to industrialize and commercialize TNO's laser satellite communication technology. The agreement marks both parties' commitment to build up a long-term partnership to establish an European ecosystem for laser satellite communication, based in the Netherlands. Not much later, on 22<sup>nd</sup> of May 2024, AAC Clyde Space secured rights to leverage TNO's cutting-edge optical technology for manufacturing and distributing laser</p> |  |

satellite communication terminals, marking a significant milestone achieved through a newly inked license agreement. The agreement grants space technology company AAC Clyde Space the right to use TNO's laser communication terminal technology for a period of twenty years. In September 2024 TNO launched a new project called Qu-STAR to define the role of space in quantum information networks. Qu-STAR will have the added benefit of strengthening the position of the Netherlands in this emerging field, leveraging the country's strong expertise in quantum technology, free space optics, and photonics. TNO will collaborate with Airbus Central Research and Technology to take up this task.

In February of 2024, TNO delivered a new Adaptive Secondary Mirror (ASM) for the NASA-IRTF Telescope in Hawaii. TNO has developed a Hybrid-Variable-Reluctance (HVR) DM technology which is reliable, serviceable, durable, scalable, modular, accurate, efficient and powerful. The ASM for the IRTF telescope was developed within a US/Dutch team, comprising the University of Hawaii, NASA IRTF, TNO, University of California in Santa Cruz, NOVA, VDL and Huygens Optics.

|  |  |
|--|--|
| <b>Titel</b>   | <b>VP Semicon &amp; Quantum (P612)</b>   |
| MTIB Thema   | Sleuteltechnologieën   |
| Contactpersonen TNO  | Rogier Verberk (DM)  |
| Contactpersoon Regie-voerder   | for Medical; S. Mentink (Philips), for Semicon; F.List (ASML), for Quantum; M. Blom (Micronit), E. van de Ven and M. van Haere (Min EZK) |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>  |  |
| <p>The goal of TNO's roadmap on Semicon &amp; Quantum is to stimulate the Dutch and European industry to take strategic positions in critical value chains. TNO's technology leadership helps companies to innovate faster than its competitors, or it is the foundation of new startups. We focus on three groundbreaking innovation areas: Quantum technology, Semiconductor chips, and medical devices for non-invasive diagnostics and monitoring. These innovation areas are part of value chains with significant economic impact (high export value), geo-political value (contributing to the sovereignty of Europe), a good fit to the Dutch ecosystem and culture, high societal impact, and beyond state-of-the-art technological challenges resulting in knowledge spillover to other sectors.</p> <p>This focus is chosen as 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 &amp; Semiconductors are key topics, and these topics are also among the top 10 priorities of the Dutch "Nationale Technologie Strategie". The Netherlands has control points in the value chain for integrated circuits, which are crucial for the sovereignty and lasting economic position of the Netherlands and Europe. It is our ambition to realize ground-breaking technological innovations in order to safeguard the position of our control points, and create new ones, to expand Semicon with Quantum, and to co-create Medical Devices to fight congestion in the Dutch medical system.</p> <p>The existing control point in (EUV) lithography systems requires continued investments. Upcoming transitions in heterogeneous integration (more functions on a chip), sustainable equipment &amp; processes, and quantum technologies bring opportunities for additional strategic positions. TNO's technology leadership in, e.g., Quantum, Photonic Integrated Circuits, Acoustic Metrology, Chip Cooling, or Opto-acoustics, will bring new innovation leadership to the Dutch industry, required for new control points.</p> <p>TNO has several priorities in this field. Firstly, it intends to bring together the Dutch Semicon industry to nudge the EU Chips Act towards NL priorities in Semicon equipment and quantum, together with defining a longer term strategy and push sustainability. Furthermore we intend to build the next phase for quantum technology by launching industry ready propositions towards Business-to-business type of projects, e.g., on quantum chip manufacturing services. Other priorities are in the clinical validation of new Medical Devices. The need for new metrology instruments remains high both in the semiconductor industry and in the emerging quantum sector. Towards 2028 we aim to bring some of our revolutionary metrology concepts towards market readiness; our suite currently includes multiple flavors of acoustic metrology, quantum sensing, AFM microscopy.</p> <p>In 2024 good progress is made in characterizing plasma – material interactions in new experimental set-ups and in the measurement of ultra-low flows of particles. Thermal flow and material stress experiments with reticles strengthened the relationship between TNO and reticle suppliers.</p> <p>In the field of Photon Integrated Chips (PIC) the interface between PIC and free space optics has been investigated from a modelling perspective and model integration/connection has been established.</p> <p>In the Quantum Technology domain interesting results are achieved in Quantum computing, Quantum internet and Qubit Research, supported with 10 new IP's.</p> <p>Another priority for 2025/26 is the demonstration of in-chip cooling for data centers, to enable data center energy reuse for block heating. A new element in the way of working is the use of Artificial Intelligence (AI). The proliferation of the application of AI will be supported via several projects, from TOMCA and metrology (anomaly detection), to machine maintenance (test case: EBL2) and AFM control performance. Furthermore the use of AI for high-tech system design will be explored.</p> |  |

|   |  |
|---|--|
| <b>Titel</b>  | <b>VP Flexible and Freeform Products (P615)</b>                                    |
| MTIB Thema  | Sleuteltechnologieën   |
| Contactpersonen TNO   | Ton van Mol  |
| Contactpersoon Regie-voerder  | Erik van de Burgwal (EZK), Marc Hendrikse (Topsector HTSM), Casper Langerak (RVO), |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>   |  |
| <p>The primary ambition of the VP Flexible and Freeform Products/Holst Centre is to strengthen the Dutch high-tech industry through innovations in flexible electronics and digital manufacturing, contributing to a healthy, sustainable, and digital society. The focus is on creating new products and value chains, benefiting industrial partners, and establishing new startups.</p> <p>Our unique approach to innovation is applied to 6 growth platforms:</p> <p><b>New Manufacturing Technologies:</b> Holst Centre aims to develop sustainable, high-performance additive-based manufacturing technologies. This includes LIFT technology, which seeks to achieve a 1000x faster assembly speed using laser-based printing, and 3D printed microelectronics, which aims to develop scalable processes for 3D product build-up. Additionally, the Centre is working on sustainable electronics, with the goal of introducing a new PCB manufacturing technology that significantly reduces CO2 emissions.</p> <p><b>Medical Device Technology:</b> here we focus on developing a patch-based wearable device platform, creating cost-effective integration platforms for diagnostics, and using 3D pharma printing for personalized medication.</p> <p><b>Energy Storage:</b> The energy storage platform aims to develop next-generation battery technology and high-tech electrolysis concepts, with a focus on creating sustainable energy storage devices and manufacturing technologies.</p> <p><b>Advanced Chip Packaging:</b> This platform is working on creating unique and competitive technology platforms for semiconductor and integrated photonics chip packaging, with specific focus areas including power electronics, RF, and integrated photonics.</p> <p><b>Integrated Photonics:</b> The goal is to lead in R&amp;D for SiN and InP photonic chips, developing scalable integration processes for high volumes.</p> <p>Key external and internal developments that took place in 2024 include continued collaboration with Osram and ITEC on LIFT technology, strong industrial interest in smart wound dressings, and progress in battery technology and electrolysis concepts.</p> <p>In 2024, Holst Centre achieved several notable milestones. We successfully developed a <b>microLED display assembly</b> with significantly smaller LEDs and higher interconnect resolutions. The Centre also created a proof-of-concept for <b>smart wound dressings</b>, which garnered strong industrial interest and led to collaborations with medical device companies. Additionally, the <b>AikonHealth startup</b> was launched, focusing on cardiovascular use cases using the Holst Centre's health patch platform. In the <b>Organ-on-Chip</b> domain, the Centre demonstrated the world's first MEA arrays on a commercial production line and achieved biological validation in multiple use cases. Progress was also made in <b>advanced chip packaging</b>, with the development of a proof-of-concept for an all-printed chip package, promising significant cost and environmental benefits. In <b>integrated photonics</b>, the Centre expanded its team and began exploratory efforts for medical applications and optical wireless communication. These highlights reflect the Centre's commitment to driving innovation and creating impactful technologies across various high-tech domains.</p> |  |

|   |  |
|---|--|
| <b>Titel</b>  | <b>VP Smart Industry (P617)</b>  |
| 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 (leader HTSM Roadmap 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) |
| <b>Programma jaar 2024 - Samenvatting</b>   |  |
| <p>In “<b>Vraaggestuurd Programma (VP) Smart Industry</b>”, solutions and technologies for smart manufacturing are developed in line with the National Technology Strategy (NTS) for scaling up manufacturing capabilities and increasing productivity. Specific technology domains for R&amp;D and innovation are:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Data &amp; AI</b></li> <li>• <b>(Opto)Mechatronics incl. robotics</b></li> <li>• <b>Optical systems</b></li> <li>• <b>Intelligent Imaging</b></li> <li>• <b>Cyber security</b></li> </ul> <p>The long-term goal for Smart Industry in the Netherlands is to accelerate productivity growth across all regions. Specifically, the aim is to increase the number of companies adopting Smart Industry practices from 600 (1% of manufacturing companies) to 6000 (10%) within the next five years. Ultimately, the goal is to encompass all manufacturing companies in The Netherlands. The initiative seeks to strengthen the Dutch manufacturing industry to scale up and enhance industrial productivity.</p> <p>Smart Industry aims to create the most circular, interconnected, automated, and intelligent industrial manufacturing ecosystem in the Netherlands, capable of adapting to changing market conditions and customer needs in real time. Furthermore, it aims to improve efficiency, reduce costs, increase sustainability, boost quality, and ensure excellent customer satisfaction for manufacturing enterprises.</p> <p>Smart Industry is crucial for earning power and strategic autonomy of the Dutch and European manufacturing industry. It will increase the agility of the industry to cope with the challenges of tomorrow, like circular economy, resilient supply chains, safety, ageing populations, sovereignty, etc.</p> <p>Within Smart Industry, <b>TNO focuses on R&amp;D for Smart Manufacturing technologies and solutions</b> to transition from manual labour to operator-guided production and ultimately full autonomous manufacturing within integrated and interconnected value chains <b>for the High-Tech Industry</b> in three areas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Scale up:</b> Manufacturing throughput &amp; Quality: <i>“Hyper efficient zero defect first time right”</i></li> <li>• <b>Productivity:</b> Manufacturing variability &amp; flexibility: <i>“High-mix, low volume, high complexity”</i></li> <li>• <b>Strategic Autonomy:</b> Digitalization &amp; value chain integration: <i>“Digitalization, ecosystem assembly, consistency &amp; transparency”</i></li> </ul> <p>The <b>main highlights</b> for VP Smart Industry for <b>2024</b> were:</p> <p><b>Scale up:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>TNO Remanufacturing lab:</b> Start of the creation of test beds for SMEs and R&amp;D for autonomous manufacturing, established through the EU AI matters TEF project resulting in the start of a TNO Remanufacturing lab (<a href="#">video link</a>) which will boost the scale-up of autonomous manufacturing towards a circular economy with respect to repair, refurbish, reuse, recycle, etc.</li> <li>• <b>SEAMIIC:</b> Start of the creation of a test bed for Autonomous Manufacturing for post-processing of 3D printed materials w.r.t. (1) autonomous machine identification, registration, and configuration, and (2) handling, sorting and quality control to maximize benefits from Additive Manufacturing and to increase manufacturing efficiency. Expected first test in 2025.</li> <li>• <b>MVP Autonomous Workflow AM-CNC:</b> Scan, plan and repair workflow. Development of a Minimum Viable Product Lab Demonstrator for autonomous manufacturing workflow in Additive Manufacturing and CNC (Computer Numerical Control) Milling machine in the EU Penelope project: automated processing of components which require accurate dimensions through 3D printing, CNC milling machine in combination with 3D nesting: (<a href="#">video link</a>), this to scale up production efficiency and reduce the usage of critical raw materials.</li> </ul> |  |

- **PoC DVM NDT:** Proof of concept of autonomous inline quality control to scale up manufacturing composites and metal-metal bond processes in NXTGEN High Tech; key for mobility and aerospace industry.
- **New technology inventions Smart Sensors:** Several cutting-edge technologies (in the field of fiber optical sensors) were invented for data acquisition for the development of, for example, high-tech equipment for the energy transition.

**Productivity:**

- **MVP GenAI Instant Work Instruction:** Development of a Minimum Viable Product for beta testing of GenAI Instant Work Instructions, increasing productivity subsequently. In the next years, beta testing is scheduled to measure the actual impact of the productivity growth. More info: [Instant Instructions - Tech Transfer EN](#)
- **MVP GenAI Sequence & Work Instruction from 3DCAD:** Development of a Minimum Viable Product for generating an optimal sequence of assembly steps semi-automatically from 3D data with the help of a human. In the next years a prototype will be developed and validated for beta testing in industrial companies
- **MVP GenAI AR Operator Support:** Start of the development of a Minimum Viable Product in the growth fund “Luchtvaart in Transitie” for Operator Support technology with augmented reality for the assembly of the production of electrical cable trees. A first step up for fully autonomous manufacturing for electrical and hydrogen-driven aeroplanes.
- **SME digitalization method:** Successful round of Digitalization and productivity growth of > 20% for new participating SMEs in the [www.10xklaar.nl](http://www.10xklaar.nl) program.

**Strategic Autonomy – Digitalization:**

- **National Growth Fund NXTGEN High Tech (NGHT):** Within NGHT the first results have been achieved for Smart Industry within the domains Semicon, Laser Satellite Communication and Composites. It is paving the way for the machines of the future [link](#). Factories are becoming more autonomous, personnel are becoming more productive, and machines are becoming smarter. Resulting in increased scale up capabilities and increased productivity. The first results are a blueprint for interoperable data architecture, the blueprint of the digital connector for data sharing and learning modules to improve the capabilities and skills of the existing workforce (capacity booster “metro stations” [Link](#)).
- **Digital Product Passport (DPP):** Several strategic EU projects started (CIRPASS, DaCapo, Sm4tenance) for the development of DPP’s for critical industry sectors within NL to comply with EU legislation.