

**TNO-rapport**

**TNO2018-R10944**

**Onderzoeksplannen 2019  
Topsector Water**

Datum	21 september 2018
Auteur(s)	Dr. Petra Krystek, Dr. Ir. A.H.J.M. Vervuurt, Ir. P.D. Boersma, Dr. Ir. W.J. Zaadnoordijk
Autorisatie	Dr. M.G.M. de Kroon
Aantal pagina's	24 (incl. bijlagen)
Regievoerend departement	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Alle rechten voorbehouden.

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

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

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

© 2018 TNO

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>VP Deltatechnologie (P508)</b> .....	<b>3</b>
1.1	Samenvatting.....	3
1.2	Korte omschrijving .....	4
1.3	Resultaten 2019.....	5
1.4	Dynamiek.....	6
<b>2</b>	<b>VP Karakterisatie van grondwater, dynamiek, samenstelling en processen (P310)</b> .....	<b>8</b>
2.1	Samenvatting.....	8
2.2	Korte omschrijving .....	9
2.3	Resultaten 2019.....	10
2.4	Dynamiek.....	12
<b>3</b>	<b>VP Watertechnologie (P504)</b> .....	<b>13</b>
3.1	Samenvatting.....	13
3.2	Korte omschrijving .....	14
3.3	Resultaten 2019.....	15
3.4	Dynamiek.....	17
<b>4</b>	<b>VP Maritiem &amp; Offshore (P311)</b> .....	<b>18</b>
4.1	Samenvatting.....	18
4.2	Korte omschrijving .....	19
4.3	Resultaten 2019.....	20
4.4	Dynamiek.....	23
<b>5</b>	<b>Ondertekening</b> .....	<b>24</b>

# 1 VP Deltatechnologie (P508)

<b>Algemene gegevens</b>	
Titel VP/ERP	<b>VP DeltaTechnologie (P508)</b>
ERP/Topsector/Maatschappelijk Thema	Topsector Water, Deltatechnologie Maatschappelijk thema: Gebouwen en Infrastructuur
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Peter Paul van 't Veen Adri Vervuurt
Contactpersoon overheid of topsector	Rob Koster (TKI) Rob Hofman (RWS)

## 1.1 Samenvatting

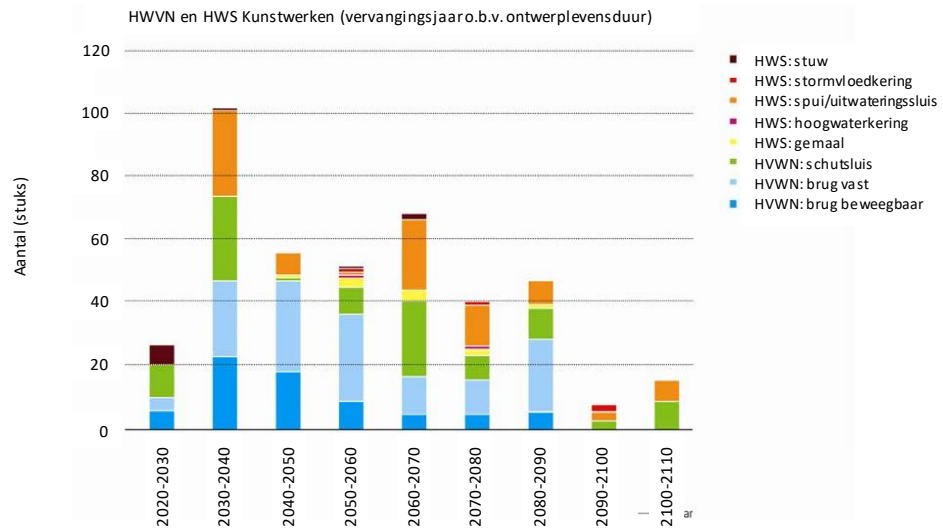
Een steeds groter deel van de Nederlandse civiele waterbouwkundige constructies (natte kunstwerken) uit de vorige eeuw is toe aan vervanging of renovatie om het functioneren en de daarvan afhankelijke waterveiligheid en waterzekerheid te waarborgen (Figuur 1). Hiertoe hebben Deltares, TNO en Marin enige jaren geleden een gezamenlijke kennisagenda voor de natte kunstwerken opgesteld. Het doel hiervan is dat er voldoende inzicht komt in problemen die op het gebied van natte kunstwerken spelen en de modellen en methoden die voorhanden zijn om de (rest)levensduur van natte kunstwerken voldoende betrouwbaar te voorspellen. Het uiteindelijke doel is dat op basis van de ontwikkelde kennis beter gefundeerde, toekomstbestendige keuzes kunnen worden gemaakt waarin rekening wordt gehouden met de technische en functionele levensduur van de natte kunstwerken die onderdeel uitmaken van een netwerk.

Om het hiervoor genoemde doel te bereiken wordt in het kennisprogramma Natte Kunstwerken ingezet op de ontwikkeling van kennis op het gebied van bestaande en nieuwe kunstwerken alsmede het systeem waar deze onderdeel van uitmaken. Voor bestaande constructies wordt daarbij vooral ingezet op het gebruik van meetgegevens voor het beheer en onderhoud ervan en het bepalen van de technische staat en de restlevensduur. Voor de toekomstbestendigheid is het verder van belang dat rekening wordt gehouden met veranderende belastingen, ander gebruik en wijzigingen in de criteria die door de maatschappij en klimaatverandering aan ons worden gesteld. Voor nieuwe constructies wordt vooral ingezet op innovatieve oplossingen voor vervanging en renovatie van natte kunstwerken. Voor het systeem spelen met name de functionele staat en functionele restlevensduur van de kunstwerken als onderdeel van een netwerk een rol van betekenis, alsmede de besluitprocessen bij de vervanging en renovatie.

De werkzaamheden van TNO in het kennisprogramma richten zich vooral op bestaande constructies. De belangrijkste beoogde resultaten voor 2019 omvatten:

- Een toolbox voor de probabilistische modellering van natte kunstwerken (onder andere in relatie tot de interacties tussen grond en constructie).
- Een betrouwbaardere aanpak voor het modelleren van het constructieve gedrag van constructies (damwanden, kademuuren) die aan degradatie onderhevig zijn (Alkali Silica Reactie - ASR, corrosie van staal en wapening).

- Specificaties voor meetsystemen voor degraderende constructies (in het bijzonder voor stalen damwanden) gebaseerd op akoestische meetmethodes. De toepassing zal worden gedemonstreerd op een praktijkcase
- Aangescherpte beoordelingsmethodiek voor geboude verbindingen in innovatieve type vezelversterkte kunststoffen.



Figuur 1 – Omvang van de vervangingsopgave voor Rijkswaterstaat (uit Vervangingsopgave Natte Kunstwerken, gevoeligheidstest)

## 1.2 Korte omschrijving

Nederland kent als waterrijk land vele sluisen, stuwen, waterkeringen en kademuren of damwandconstructies. Voor het waarborgen van de waterveiligheid en waterzekerheid is het goed functioneren van deze waterbouwkundige constructies (natte kunstwerken) van essentieel belang. Een groot deel van deze constructies is medio vorige eeuw aangelegd en komt langzaam maar zeker aan het einde van de technische ontwerplevensduur. Daar komt bij dat het functioneren van deze constructies nadelig wordt beïnvloed door het intensievere gebruik dan bij het ontwerp was voorzien. Hierdoor ontstaat in de komende decennia een omvangrijke en toenemende vervangings- en renovatieopgave. Voor eigenaren en beheerders van natte kunstwerken kan dit leiden tot grote investeringen om de beschikbaarheid en de betrouwbaarheid in stand te houden. Op basis van de levensduur verwachtingen van natte kunstwerken wordt geschat dat er tot 2030 ca. 100 natte kunstwerken van Rijkswaterstaat (zoals sluisen, stuwen en stormvloedkeringen) aan vervanging of grootschalige renovatie toe zijn en nog eens circa 150 kunstwerken in de tien jaar erna. Het is van belang om dit aantal te reduceren en de renovatie en vervanging in de tijd te spreiden en ervoor te zorgen dat het areaal aan natte kunstwerken na vervanging en renovatie voldoet aan de veranderende criteria die de maatschappij en klimaatverandering ons stelt.

Het doel van het Kennisprogramma Natte Kunstwerken voor 2022 is dat er voldoende inzicht is opgebouwd in problemen die spelen en de modellen en methoden die voorhanden zijn, zodanig dat de (rest)levensduur van natte kunstwerken voldoende betrouwbaar kan worden ingeschat waardoor beter gefundeerde keuzes kunnen

worden gemaakt door de assetmanagers en beheerders van natte kunstwerken, rekening houdend met het systeem waar deze kunstwerken deel van uitmaken, hun technische staat (technische levensduur) en de functie die ze daarin kunnen en moeten vervullen (functionele levensduur) nu en in de toekomst.

Om de hiervoor genoemde doelstelling te bereiken wordt ingezet op de ontwikkeling van kennis binnen de volgende drie onderwerpen:

1. Bestaande kunstwerken:
  - Toepassen van data in management van bestaande kunstwerken
  - Bepalen van de technische staat en technische restlevensduur van bestaande kunstwerken
  - Effect van veranderende belastingen en veranderend gebruik voor bestaande kunstwerken
2. Nieuwe kunstwerken
  - Innovatieve oplossingen voor vervanging en renovatie van natte kunstwerken
3. Systeemwerking
  - Bepaling van de functionele staat en functionele restlevensduur
  - Besluitprocessen tbv. vervanging en renovatie van natte kunstwerken
  - Kunstwerken in netwerkmodellen

In de kennisontwikkeling van TNO ligt de nadruk op onderwerp 1. De technische en functionele eisen die aan een kunstwerk worden gesteld staan echter niet los van de eisen die gesteld worden aan het systeem en van de besluitprocessen. Mede om die reden wordt het onderzoek samen uitgevoerd met Deltares en is er een grote betrokkenheid van Rijkswaterstaat en marktpartijen (zoals Boskalis, DIANA FEA of FibreCore).

Tot slot wordt opgemerkt dat de kennisontwikkelingen binnen het Kennisprogramma Natte Kunstwerken nauw samenhangen en complementair zijn aan het TNO Early Research Programme (ERP) Structural Integrity (Use Case Bridge en Use Case Offshore Wind) en aan het vraaggestuurde programma Duurzaam Bouwen van TNO (P502). Een aantal mechanismes die van belang zijn voor natte kunstwerken zijn immers ook relevant zijn voor droge kunstwerken (zoals bruggen en viaducten), offshore kunstwerken of gebouwen. In het bijzonder betreft dit kennisontwikkeling met betrekking tot de degradatie van materialen en constructies. Ook de kennisontwikkeling op het gebied van de veiligheidsbeoordeling is in dit kader generiek toepasbaar.

### 1.3 Resultaten 2019

Het onderzoek binnen het kennisprogramma Natte Kunstwerken richt zich in 2019 onder andere op de doorontwikkeling van de toolbox voor de probabilistische modellering van natte kunstwerken (inclusief de modellering van de interactie tussen grond en constructie) en op het creëren van efficiënte en robuuste interfaces tussen eindige elementenmodellen en de genoemde toolbox om de betrouwbaarheid van constructies te kunnen beoordelen.

Op het gebied van het modelleren van degradatie en de constructieve gevolgen ervan worden de werkzaamheden uit 2018 in 2019 gecontinueerd. Dit zal leiden tot een verbeterde aanpak voor het modelleren van het constructieve gedrag van

staalconstructies (damwanden, kademuren) met staalcorrosie en betonconstructies met wapeningcorrosie en/of ASR.

Op het gebied van meten, monitoren en inspecties van stalen damwanden is in 2017 en 2018 aandacht besteed aan de specificaties voor inspectie van gecorrodeerde onderdelen van de damwand hetgeen in 2019 moet leiden tot het specificeren van een meetstelsel voor stalen damwanden gebaseerd op een uitbreiding van de akoestische meetmethode die is ontwikkeld voor het kwantificeren van de scheurgrootte in stalen orthotrope brugdekken. De toepassing zal worden gedemonstreerd op een praktijkcase en heeft als uiteindelijk doel dat de constructieve veiligheid van damwandconstructies betrouwbaar kan worden beoordeeld. Naast het ontwikkelen van innovatieve inspectietechnieken voor natte kunstwerken is er ook aandacht voor de ontwikkeling van monitoringssystemen voor natte kunstwerken en SHM<sup>1</sup>-gebaseerde schade-identificatie.

Voor het eenvoudiger beschikbaar krijgen van meetgegevens is het de bedoeling dat in 2019 en daarna de inpassing van de informatie in besluitvormingsprocessen rondom vervanging en renovatie zal plaatsvinden. Ook zal de relatie worden gelegd met besluitvormingsprocessen voor vervanging en renovatie, waarbij de beslissingscriteria uitgebreid zouden kunnen worden door zowel de informatie over de technische staat en de (rest)levensduur te benutten als ook de informatie over de functionele staat en levensduur en de informatie voortkomend uit analyses van het systeem als geheel.

Met betrekking tot het ontwikkelen van innovatieve technische oplossingen voor de vervanging en renovatie van natte kunstwerken in de komende programmaperiode wordt vooral aandacht besteed aan de kennisontwikkeling rondom het toepassen van Vezelversterkte Kunststoffen (VVK) in constructieve elementen (sluisdeuren). Indien er belangstelling is in de markt zullen ook studies naar innovaties met andere materialen (bijv. hout of constructief glas) opgezet worden.

De technische en functionele staat van een kunstwerk heeft een sterke relatie met de prestatie van het systeem. In 2019 wordt onderzocht in hoeverre informatie over het object te koppelen is aan informatie over het systeem op zo'n wijze dat de risicoanalyses tot nieuwe inzichten leiden, bijvoorbeeld voor systemen waarin niet-waterkerende objecten (windturbines, kabels en leidingen) in de waterkerende systemen (dijken) zijn geïntegreerd.

#### **1.4 Dynamiek**

Inhoudelijk borduren de ontwikkelingen in 2019 voort op de kennisontwikkelingen uit voorgaande jaren waarin met name stappen zijn gemaakt in de kennisopbouw betreffende ASR en probabilistisch modelleren en het modelleren van situaties waarbij de samenwerking van grond en constructie een rol van betekenis speelt (grond-constructie-interactie). Daartoe zijn voornamelijk verkennende en verdiepende bureaustudies en schaalmodelproeven uitgevoerd. In 2019 verschuift het accent naar praktijkrelevante demonstratieprojecten en experimentele onderzoeken op bestaande kunstwerken. Verder staat voor de komende jaren de

---

<sup>1</sup> Structural Health Monitoring

doorontwikkeling van de ontwikkelde modellen op de rol waarbij het de verwachting is dat eind 2022 gekalibreerde, praktisch toepasbare modellen beschikbaar zijn.

Zoals aangegeven wordt in het kennisprogramma Natte Kunstwerken nauw samengewerkt met Rijkswaterstaat en Deltares. Daarnaast worden in 2019 Boskalis en FEA DIANA (voorheen TNO DIANA BV) in het kennisprogramma betrokken, evenals Fibre Core (producent van vezelversterkte kunststofconstructies). Tot slot worden gesprekken over samenwerking gevoerd met Port of Rotterdam.

## 2 VP Karakterisatie van grondwater, dynamiek, samenstelling en processen (P310)

<b>Algemene gegevens</b>	
Titel VP/ERP	<b>Karakterisering en Dynamiek Samenstelling Grondwater (KarDySaG)</b>
ERP/Topsector/Maatschappelijk Thema	Topsector Water
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Tirza van Daalen Willem Jan Zaadnoordijk
Contactpersoon overheid of topsector	Rob Koster (TKI) Rob Hofman (RWS)

### 2.1 Samenvatting

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

Dit VP richt zich op de processen in de ondergrond die bepalend zijn voor de kwantiteit en kwaliteit van het grondwater. Bedreigingen zijn o.a. veranderingen in het landgebruik, klimaatverandering en intensiever gebruik van de ondergrond. Hierdoor dreigen verzilting, dalende grondwaterstanden en conflicten, bijv. tussen seizoensopslag van warmte en koude (WKO) en drinkwaterwinning. Ook spelen de risico's voor het grondwater vanaf het oppervlak een rol (uitspoeling gekoppeld aan landbouw en stedelijk gebied) en activiteiten in de diepere ondergrond (traditioneel olie- en gaswinning, potentieel geothermie, hoge-temperatuuropslag (HTO) en opslag radioactief afval). De energietransitie doet de noodzaak voor energie gerelateerde activiteiten sterk toenemen. Ook voor het veiligstellen van de zoetwatervoorziening is een grotere rol van de ondergrond voorzien, bijv. in het Deltaplan Zoetwater en wordt gezocht naar strategische grondwaterreserves in het kader van de Rijksstructuurvisie Ondergrond (STRONG). Om effecten te voorspellen en beleidsbeslissingen te toetsen is informatie en kennis ten aanzien van de dynamiek en de samenstelling van het grondwater alsook ten aanzien van de opbouw van de ondergrond een eerste vereiste.

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

- Data-analyse en nieuwe informatieproducten betreffende de ondergrond;
- Specifieke advisering van stakeholders aangaande het grondwater;
- Bijdrage aan nationale ontwikkelingen, zoals het innovatiecontract Watertechnologie, waarbij specifiek kennis ten aanzien van grondwater en ondergrond wordt ontwikkeld en ingebracht;
- Bijdrage aan internationale ontwikkelingen, onder andere via GeoERA-projecten (GeoERA is een EU-ERANET-programma van geologische diensten in Europa; de projecten zijn 1 juli 2018 gestart en hebben een looptijd van 3 jaar).



Door de verbreding van het informatie- en dienstenpakket, krijgt de GDN niet alleen nationaal, maar ook internationaal een steviger positie op het gebied van innovatieve Geo-informatie, kennisproducten, en tools.

De doelstelling voor 2022 omvat een nieuw speerpunt, namelijk stedelijk grondwater omdat in de stad het energievraagstuk het nijpendst is, klimaatverandering zich uit in toenemende hittestress en te hoge en te lage grondwaterstanden grote economische consequenties hebben (water- en vochtverlast en schade aan funderingen en infrastructuur). De genoemde ontwikkelingen vragen om intensivering van de huidige inspanning voor het ontwikkelen van kennis van grondwaterdynamiek en grondwatersamenstelling. Deze doelstelling kan alleen verwezenlijkt worden bij verhoging van het jaarlijkse budget.

In 2019 worden de volgende resultaten voorzien:

- Update van de Web applicatie voor visualisatie van de grondwaterkwaliteit op basis van gebruikers-feedback;
- Inzicht in het vóórkomen van “nieuwe” stoffen en gassen in grondwater, te publiceren in wetenschappelijke en populaire media, om zo de bewustwording te vergroten;
- Resultaten uit NWO-projecten over zoet/zout grondwater, en uit GeoERA-projecten. Wetenschappelijke publicatie en versterkte kennispositie;
- Verbeterde methode tijdreeksmodellering en interpolatie voor karakterisering van scheidende lagen;
- Overzicht van kennis betreffende relaties tussen energieopslag en risico's voor grondwater.

Het belang van het KarDySaG-onderzoek wordt onderschreven door de programmaraden van TKI Deltatechnologie (23 februari 2018) en TKI Watertechnologie (19 juni 2018) en door inhoudelijke specialisten van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (22 mei 2018).

## 2.2 Korte omschrijving

Overeenkomstig de roadmap ‘Geological Survey of the Netherlands’ (Van der Meulen e.a., 2013) richt dit vraaggestuurde programma zich op het ontwikkelen van methoden om dynamische processen in de grondwaterkwantiteit en -kwaliteit te karakteriseren en het bijbehorend ontwikkelen van kennis en informatieproducten die zich richten op bescherming en benutting van grondwater. De doelstelling van dit VP is het onderzoeken op welke wijze de eigenschappen en het gedrag van het grondwater inzichtelijk gemaakt kunnen worden en het ontwikkelen van bijbehorende data-analyse-instrumenten en informatieproducten. Hierbij komen ook aan de orde het geavanceerd meten en monitoren van grondwater en de interactie van grondwater met sediment en oppervlaktewater. Er wordt een bijdrage geleverd aan nationale ontwikkelingen, zoals het innovatiecontract Watertechnologie, en Europese ontwikkelingen, onder andere via deelname aan werkgroepen van de Europese Kaderrichtlijn Water. Het programma kende vier focuspunten, te weten 1) grondwaterkwaliteit en -herkomst, 2) zoet/zout grondwater, 3) grondwaterdynamiek en 4) grondwater en energie waar bij verhoging van het jaarlijkse budget aan toegevoegd wordt 5) stedelijk grondwater. Deze toevoeging is mede ingegeven door

feedback van gebruikers van de informatieproducten die bij focuspunt 3) ontwikkeld zijn.

Verder komen alle focuspunten samen in de grote maatschappelijke uitdagingen van energietransitie, klimaatadaptatie, leefbare omgeving en duurzame productie.

Het programma levert data-analyse-instrumenten en informatieproducten op die via de TNO-GDN-website beschikbaar gesteld worden. De ontwikkelde kennis en methoden worden ingezet voor specialistisch advies in marktprojecten. De wetenschappelijke resultaten (onder meer uit de diverse AIO-projecten) worden gepresenteerd op congressen en gepubliceerd in peer-reviewed tijdschriften om de internationale, wetenschappelijke validiteit van de ontwikkelde methoden te bewijzen. Een groot deel van het huidige onderzoek wordt de komende tweeënhalve jaar ingebed in het GeoERA-programma waarin de geologische diensten van Europa samenwerken in een zogenaamde European Research Area. Daarbij vindt uitwisseling van kennis en ervaring met andere Europese geologische diensten zoals GEUS (Denemarken), BGS (Groot-Britannië) en BRGM (Frankrijk) plaats. De TNO-GDN bijdrage voor het grondwateronderzoek binnen GeoERA wordt deels betaald uit KarDySaG vanwege de verbetering van de kennispositie binnen Europa op dit vlak. Daarnaast dragen de GDN en marktpartijen bij.

In aanvulling op voorgaande onderwerpen blijkt er behoefte te zijn aan meer inzicht in de dynamiek van het ondiepe grondwater in stedelijk gebied dan kan worden geleverd met de huidige informatieproducten. In het kader van de Basisregistratie Ondergrond (BRO) zullen meer gegevens van het stedelijk grondwater beschikbaar komen, maar er is ook nieuwe kennis nodig om hiermee passende informatieproducten te kunnen opstellen. Grondwaterkwaliteit in het stedelijk gebied is ook een belangrijk aspect, o.a. omdat veel stedelijk oppervlaktewater te sterk wordt gevoed met nutriënten vanuit het grondwater.

## 2.3 Resultaten 2019

### 2.3.1 Focuspunt Grondwaterkwaliteit en –herkomst

Het onderzoek naar opkomende stoffen en gassen in grondwater en naar isotopen en datering wordt ingebed binnen GeoERA, waarbij samenwerking is voorzien met de provincies Limburg en Noord-Brabant en de waterbedrijven Brabant Water en WML. Met de afronding van de pilot voor de grondwaterkwaliteitsatlas (een webapplicatie voor visualisatie van geharmoniseerde grondwaterkwaliteitsgegevens) in 2018 kan in 2019 feedback verwacht worden om onderliggende methoden te verbeteren (en worden ook externe opdrachten verwacht).

Een nieuwe activiteit is het herleiden van de achtergrondbelasting van het oppervlaktewatersysteem met nutriënten. Dit is een kritisch punt in de evaluaties Kaderrichtlijn Water en Nitraatrichtlijn. In West- en Noord-Nederland is de achtergrondbelasting hoog en met de huidige beleidsevaluatie-instrumenten is het niet goed mogelijk om kwantitatief inzicht te krijgen in de achtergrondbelasting versus landbouwbelasting. Nieuwe instrumenten zijn daarom nodig die voor klei- en veengronden beter modelmatig inzicht verschaffen in deze achtergrondbelasting. In 2019 zullen metingen in een proefgebied gecontinueerd worden en zal op basis van deze data een 1-dimensionaal nutriëntentransportmodel gemaakt worden waarin de kinetiek van interacties met andere stoffen zoals Fe verwerkt zit (in 2018 is namelijk gebleken dat de betreffende stoffen chemisch niet in evenwicht zijn bij de uitspoeling

vanuit de grond naar het oppervlaktewater). Deze resultaten zullen gerapporteerd worden in een artikel voor een peer-reviewed tijdschrift.

### 2.3.2 *Focuspunt Zoet/zout grondwater*

Deelname aan het NWO-project 'Rise and fall' wordt voortgezet. Dit project richt zich op de ruimtelijke verdeling en dynamiek van zoet en zout grondwater in Vietnam, middels grootschalige hydrologische modellering en in situ monitoring.

Ook zal bijgedragen worden aan het STW-project Water NEXUS waarin een AIO zich bezig houdt met de toegevoegde waarde van AEM-metingen (Airborne ElectroMagnetic survey; electromagnetische metingen met behulp van een helikopter) in de voorspelling van het dynamisch gedrag van zout grondwater. In het verlengde hiervan zal de kartering van de zoutconcentratie verbeterd worden samen met andere Europese geologische diensten binnen GeoERA. Hieraan is grote behoefte in Nederland voor de zoetwatervoorziening en de aanwijzing van strategische grondwatervoorraden. In 2019 zal een proefkartering uitgevoerd worden voor een pilotgebied waar verschillende informatiebronnen beschikbaar zijn, zoals geofysische metingen, waterkwaliteitsmetingen en ondergrondmodellering. De proefkartering zal uitmonden in een methode om de informatiebronnen te combineren waarbij adequaat rekening gehouden wordt met de verschillen in nauwkeurigheid, ruimtelijke resolutie en tijdschaal.

### 2.3.3 *Focuspunt Grondwaterdynamiek*

De in 2015 en 2016 ontwikkelde grondwatertools, METRAN (tijdreeksanalyse) en GDN-Isohypsentool, zijn beschikbaar op de GDN website <http://www.grondwatertools.nl> en blijken te voorzien in een behoefte en leiden tot marktkansen. Naast deze concrete producten uit voorgaande jaren zijn er nog diverse onderzoeksvragen rond grondwaterdynamiek. Aandacht heeft hierbij ook de interpretatie van ruimtelijke en temporele variaties van stijghoogtes in diepe peilbuizen waarvoor een dichtheidscorrectie substantieel kan zijn. Recentelijk is gebleken dat zich problemen voordoen met deze correctie mogelijk door lekkage van buizen en beperkt onderhoud. In 2019 zal onderzocht worden hoe de toepassing van de grondwatertools verbeterd kan worden. Hierbij zal samengewerkt worden met de TU Delft en andere geologische diensten binnen GeoERA. Een van de mogelijke toepassingen is het gebruik van tijdreeksmodellen van grondwaterstanden om te bepalen in hoeverre grondwater beschermd wordt tegen verontreiniging door (onder-) bovenliggende kleilagen. Hiervoor is een pilot voorzien in samenwerking met de provincie Overijssel.

Ook zal in 2019 de tijdreeksmodellering uitgebreid worden met niet-lineariteit. De mogelijkheid om niet-lineaire reacties van het grondwater te detecteren is van belang voor het evalueren van knikpunten bij klimaatverandering.

### 2.3.4 *Focuspunt Grondwater en energie*

Afronding van de grondwater-zuurstofkaart is voorzien voor 2019. Deze kaart is o.a. nuttig met betrekking tot putverstopping door menging van zuurstofhoudend en ijzerhoudend grondwater en door afbraakcondities van organische microverontreinigingen. Er zal verder gegaan worden met een methodiek om de verticale heterogeniteit van aquifersedimenten te karakteriseren. Dit voorziet in een informatiebehoefte om dichtheidstroming (door temperatuur- of zoutverschil) beter te kunnen voorspellen. Dit is wenselijk om bijvoorbeeld het energierendement van hoge-temperatuuropslagsystemen beter te kunnen voorspellen (het is ook van belang voor het rendement van zoet-wateropslag).

Binnen GeoERA zal een literatuurstudie uitgevoerd worden naar de mogelijke invloed van energie-gerelateerde activiteiten in de (diepe) ondergrond op het (ondiepe(re)) grondwater. Daarbij zullen de mogelijke risico-routes geïnventariseerd worden voor een pilotgebied waarbij samengewerkt zal worden met de provincie Noord Brabant en het waterbedrijf Brabant Water.

### 2.3.5 *Focuspunt Stedelijk grondwater (onder voorbehoud)*

In dit nieuwe focuspunt komen aspecten terug van de andere focuspunten waarbij vooral de resolutie en gevraagde betrouwbaarheid verschillen.

Grondwater in stedelijk gebied heeft een zeer grote ruimtelijke en temporele variabiliteit door de grote heterogeniteit van de ondergrond (o.a. door vergravingen en ondergrondse infrastructuur) en de aanwezigheid van WKO-systemen, verharding en drainage. De hoge economische waarden en de uitdagingen van de energietransitie en klimaatverandering stellen bovendien extra eisen aan het stedelijk grondwater. De uitdagingen bij dit focuspunt liggen in het produceren van meer gedetailleerd inzicht en op bruikbare wijze weergeven van de zeggingskracht van de resultaten. In 2019 zal concreet worden onderzocht hoe de resolutie van de grondwatertoolsresultaten vergroot kan worden voor het freatisch grondwater, waar behoefte aan is onder andere voor het onderhoud en de aanleg van ondergrondse leidingen en infrastructuur. Dit zal een overzicht opleveren van daarvoor benodigde data en eventuele methode-ontwikkeling.

Meer informatie over het stedelijk grondwater is van groot belang niet alleen voor beheer van de infrastructuur, maar ook voor klimaatadaptatie, energietransitie en leefbaarheid in het algemeen. Hiervoor is wel uitbreiding van het jaarlijkse budget vereist.

### 2.3.6 *Overige activiteiten*

Samenwerking met universiteiten, met name de Universiteit Utrecht en Technische Universiteit Delft, onder meer via gezamenlijk onderzoek en begeleiden van stagiaires en studenten die BSc of MSc-thesis onderzoek doen.

Kennisdisseminatie binnen Nederland middels het presenteren van resultaten van het onderzoek op Nederlandse bijeenkomsten in Nederlandse vaktijdschriften.

## 2.4 **Dynamiek**

De veranderingen ten opzichte van het oorspronkelijke plan zijn tweeledig. In de eerste plaats is er een nieuw aandachtspunt: stedelijk grondwater en maken de energietransitie en klimaatverandering diverse informatie vragen nijpender. In de tweede plaats zal de TNO-GDN bijdrage aan grondwateronderzoek binnen GeoERA-projecten deels uit KarDySaG gefinancierd worden omdat deze bijdragen aan de beoogde resultaten van het VP op Europese schaal. Dat heeft het grote voordeel dat kennis en ervaring uitgewisseld wordt met andere geologische diensten en dat ook aandacht gericht wordt op vraagstukken op Europese schaal. Dit betekent wel dat minder aandacht besteed zal kunnen worden aan specifieke Nederlandse problemen en aan fijnere resolutie voor informatieproducten, tenzij het jaarlijkse budget verhoogd wordt. Ook kan zonder een verhoging geen onderzoek gedaan worden aan de vraagstukken rond stedelijk grondwater.

### 3 VP Watertechnologie (P504)

Algemene gegevens	
Titel VP/ERP	P504 / Watertechnologie
ERP/Topsector/Maatschappelijk Thema	Water
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	dr. Petra Krystek, dr. Ardi Dortmans
Contactpersoon overheid of topsector	drs. Dirk Jan Sloot en Wilbert van Zeventer (I&W), prof. Jan Peter van der Hoek (TKI Watertechnologie)

#### 3.1 Samenvatting

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

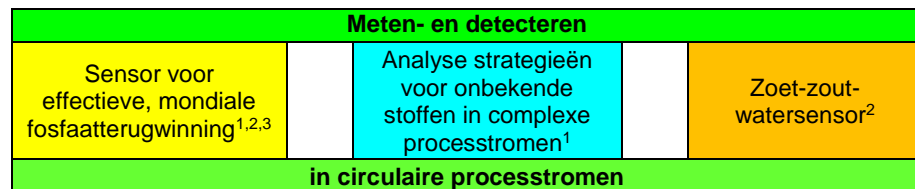
Nederland heeft de ambitie om in 2050 een volledig circulaire economie operationeel te hebben: duurzame circulaire ketens waarin grondstoffen volledig worden hergebruikt, geen afval wordt geproduceerd en alle gebruikte energie duurzaam is opgewekt. Met als (tussen)doelstelling om in 2030 50% primaire grondstoffen (mineraal, fossiel en metalen) te gebruiken. Eerder TNO-onderzoek toonde aan dat het bevorderen van circulaire productketens kan leiden tot een extra toegevoegde waarde van 7 miljard Euro in 2025 en 54.000 extra banen in de komende 5 jaar.

TNO draagt bij aan de oplossing van deze vraagstukken door enerzijds verbeteren van het inzicht in circulaire processtromen en het ontwikkelen van oplossingen. Door het innoveren in meten & detecteren in processtromen, inclusief proceswater en het modelleren ontstaat beter inzicht in de oorzaken van problemen, waardoor betere en efficiëntere technieken en maatregelen ontwikkeld kunnen worden. Veel goedkope en relatief eenvoudige maatregelen zijn inmiddels al doorgevoerd, wat resteert zijn de veel ingrijpender en complexere opties. TNO ontwikkelt daarvoor verbeterde decision support tools en ontwerpen wij circulaire ketens. Bovendien ontwikkelen we technologieën zoals recycling van in eerste instantie kunststoffen die een duurzame bijdrage leveren aan de circulaire economie.

Dit VP richt zich i.h.b. op de Innovatiethema's 'Resource Efficiency' en 'Smart Water Systems' uit de Kennis- en Innovatieagenda 2018 – 2021 van het TKI 'Watertechnologie'. In 2021 wil TNO naast twee sensing-oplossingen ook analysestrategieën voor het identificeren van nieuwe, opkomende stoffen ontwikkeld hebben. Hierbij gaat het om de identificatie van stoffen en hun metabolieten maar ook om het aantonen van mogelijke complexe interacties tussen deze stoffen. Dit zal ertoe leiden dat microverontreinigingen door nieuwe processen vroegtijdig in beeld kunnen worden gebracht en dat schade door deze stoffen in processen en/of op de gezondheid, voorkomen wordt. Alle oplossingen dienen de circulaire economie (waaronder kunststofketens); met potentie tot opschaling en valorisatie. De beoogde resultaten voor 2019 zijn proof-of-concepten, nationale demonstratieprojecten en technologie-verkenning.

Dit VP is in dynamiek vanwege een aantal redenen. Ten eerste werden eind 2017 een aantal onderzoeksactiviteiten van TNO naar WUR verplaatst; met name ook gericht op watertechnologie. Dat maakte herpositionering binnen TNO noodzakelijk.

Hierdoor werd in 2018 een nieuwe positie in de sensor- en analytische methode-ontwikkeling ingevuld welke in 2019 verder wordt aangescherpt. Ten tweede speelt er de nadere uitlijning van verschillende activiteiten binnen de 5 VPs die door de voor dit VP leidende TNO unit Circulaire Economie en Milieu worden bediend. Om voldoende focus en massa te behouden en nog hogere impact te creëren is daarom intensivering van de relaties met VPs rond Circulaire Economie gezocht. Samen resulteren deze 2 bewegingen in dit voorstel waarin de historie nog doorklinkt. Het onderzoek naar sensoren voor watertoepassingen (historie), staat nu naast onderzoek naar sensoren voor fosfaat in water (circulaire economie issue) en sensoren voor toepassing in bijvoorbeeld recycling processen (circulaire economie, al dan niet in een waterige omgeving) en de ontwikkeling van analyse strategieën wordt breder en voor complexe processtromen ingezet. Wij verwachten dat in een volgende bijstelling hier in overleg met de regievoerders een volgende slag in gemaakt kan worden ter verbetering van de coherentie en impact.



\*Aansluiting bij TKI Watertechnologie Innovatiethema: <sup>1</sup> Resource efficiency, <sup>2</sup> Smart water systems, <sup>3</sup> Sustainable cities

### 3.2 Korte omschrijving

Dit VP sluit aan op de Kennis- en Innovatieagenda 2018 – 2021 van het TKI 'Watertechnologie'. TNO heeft met de kennispartners, bedrijfsleven en overheid een bijdrage geleverd aan de totstandkoming van het 'Innovatiecontract Watertechnologie' en draagt programmatisch bij middels deelname in de Programmaraad van de TKI-Watertechnologie en de brancheorganisatie Envaqua; werkgroep Sensoring en Automatisering. Tevens is TNO betrokken bij het WaterSNIP project van RIVM aangaande innovaties in het Landelijk Meetnet Mestbeleid (LMM).

TNO richt zich op uitdagende circulaire processtromen; inclusief proceswater in bijvoorbeeld land- en tuinbouw, maar ook afval- en complexe vloeistofstromen bij de teruggewinning van grondstoffen. Hiermee heeft dit VP ook een enabling karakter voor andere sectoren. Schoon, veilig en energiezuinige producties zijn cruciaal, zowel aan de inputzijde als aan de outputzijde van processen. Grote uitdagingen hierbij zijn de mestverwerking en het terugwinnen van waardevolle componenten uit afvalstromen als remedie voor de dreigende, mondiale schaarstes aan grondstoffen zoals bijvoorbeeld fosfaat.

Meerdere elementen binnen de circulaire economie vragen versterkt aandacht en ze hebben betrekking op de detectie en het voorkomen van nieuwe stoffen in circulaire processtromen en de kansen voor een circulaire economie door het nuttig hergebruiken van reststoffen. Nieuwe, nog onbekende stoffen kunnen circulaire processen maar ook de gezondheid negatief beïnvloeden en verdienen steeds meer aandacht. In toenemende mate wordt daarbij gekeken naar oplossingen die leiden tot het sluiten van de procesketen. Nationaal maar zeker ook internationaal is de ontwikkeling van gesloten, decentrale of ontkoppelde systemen als antwoord op

slinkende grondstof- en watervoorraden een belangrijke trend. Middels recycling en volledig circulaire processen komen hierbij steeds nieuwe input- en outputstromen maar ook secundaire stromen aan bod. Hierbij is het tijdig, betrouwbaar en robuust aantonen van (chemische) stoffen in de input – en outputprocesstromen cruciaal. Betrouwbare, innovatieve analysemethoden maar ook slimme en snelle detectiemethoden, early-warning systemen, sensornetwerken en robuuste monitoring-&control-systemen zijn essentieel.

Hierdoor sluit TNO met dit VP expliciet aan op de Innovatiethema's 'Resource Efficiency' en 'Smart Water Systems' uit de Kennis- en Innovatieagenda 2018 – 2021 van de TKI 'Wartertechnologie'.

### 3.3 Resultaten 2019

In 2019 zullen de volgende inhoudelijke activiteiten en beoogde resultaten aan bod komen:

**Sensorontwikkeling voor mondiale fosfaatterugwinning** – De activiteiten zullen zich richten op doorontwikkeling van glasvezel-gebaseerde sensoren voor fosfaat en multi-parameters in het kader van de grondstofterugwinning en -reducering. Het is relevant om naast de pure, technische ontwikkeling vroege tests in praktijkrelevante, circulaire processtromen op te zetten. Op deze manier wordt in een vroeg stadium aandacht besteed aan mogelijke interferenties en hierdoor worden minder geschikte combinaties van techniek, stoffen en matrix tijdig in kaart gebracht. Op de AquaTech Amsterdam (vooraanstaande internationale beurs, najaar 2019) zal opnieuw een demonstrator stand worden ingevuld. De activiteiten zullen resulteren in proof-of-concept sensor-concepten waarbij relevante partijen voor de doorontwikkeling en noodzakelijke commercialisatie van deze technologie actief zullen worden benaderd, daarbij bijvoorbeeld ook medenemend de belangen van MinLNV in deze problematiek.

**Ontwikkeling analyse-strategieën voor onbekende stoffen** – M.b.t. nieuwe, opkomende stoffen is er behoefte aan innovatieve identificatiemethodologieën. Hierbij zal worden gefocust op het identificeren van (nano)deeltjes maar vooral op nieuwe, onbekende stoffen in complex samengestelde processtromen en b.v. grondwater; dit is een zogenoemde non-target benadering. Dat wil zeggen dat niet naar specifieke componenten wordt gezocht, maar naar alle afwijkende componenten. In dit kader zal ook de representatieve bemonstering, de monsterhoudbaarheid en de mogelijke conservering cruciaal zijn. Hiervoor zal de ontwikkelstrategie worden verkend en er zullen tests worden uitgevoerd; de nieuwste analysetechnieken zullen worden verkend en in demo's worden gebruikt, zodat aansluitend gefundeerde investeringen kunnen plaatsvinden en nieuwe analytische implementatie kan beginnen. Als eerste complex samengesteld modelsysteem zullen uitgangsstromen van kunststofrecycling worden gehanteerd. Met name kunststoffen met functionele en/of structurele additieven zijn hiervoor relevant, zoals gemengde PE/PP stromen met (nano)deeltjes voor mechanische of brandvertragende eigenschappen. Daarbij zijn reinigingsprocessen voor deze uitgangsstromen en de uiteindelijke kwaliteit en veiligheid van de geproduceerde basisgrondstoffen (zoals monomeren) voor hergebruik en de kwaliteit en veiligheid van reinigingsstromen, zeker ook voor de industriële proceswater stromen, van groot belang. Doel voor 2019 is een eerste analyse demo te ontwikkelen verbonden aan de binnen TNO in ontwikkeling zijnde proefopstelling voor chemische recycling (chemolyse/solvolyse).

Dit doen we om de ontwikkelingen voor water beter te verbinden aan de ontwikkelingen in circulaire economie (TA Kunststoffen van het Rijksbrede programma “NI Circulair in 2050”), die komend jaar naar verwachting binnen het NL innovatie ecosysteem veel aandacht zullen krijgen. Wij ambiëren nadrukkelijk deze analyse strategie en demo ook voor andere waterige toepassingen in te zetten.

**Sensorontwikkeling voor zoet-zoutwater** – Gebaseerd op lopende ontwikkelactiviteiten zal de verdere doorontwikkeling en toepassing van de zoet-zoutwater-sensor bij nationale partners plaatsvinden. Hierbij gaat het om het project ‘Fiber Optic Salinity tracing (for) environmental research (FOSTER)’. Deze glasvezelsensor zal t/m eind 2020 op twee locaties worden getest. De Duinen Amsterdam en de Zandmotor zijn daarbij interessante opties, voor de eerste locatie vindt samenwerking met Waternet plaats en voor de tweede met Deltares.

#### ***Externe partijen***

Naast de bestaande contacten en samenwerkingen met bedrijven op het gebied van sensoriek-, analyse- en behandelingstechnologie en publieke organisaties, zullen in het komende jaar de publiek-private samenwerkingen met internationaal gerenommeerde sensorfabrikanten worden uitgebouwd. Binnen het TKI Watertechnologie stemmen KWR, Wetsus, Deltares, NWO, Stowa en TNO hun onderzoek agenda’s op elkaar af. Tevens vindt er op projectbasis samenwerking plaats met de afzonderlijke partners zoals het RIVM. De koppeling tussen fundamenteel onderzoek en toegepast onderzoek past binnen de samenwerking die bestaat met universitaire onderzoeksgroepen aan TU Delft, UTwente, Wageningen Universiteit en VU. Maar ook op internationaal niveau zullen de contacten worden geïntensiveerd middels het ‘Network of reference laboratories, research centres and related organisations for monitoring of emerging environmental substances’ (NORMAN).

#### ***Externe aansluiting***

Dit VP sluit nadrukkelijk aan bij de Kennis- en Innovatieagenda van de TKI ‘Watertechnologie’. Hiervoor worden door TNO kosteneffectieve sensortechnologieën en analysemethoden ontwikkeld om voor maatschappelijke uitdagingen zoals de circulaire economie ook voor de toekomst alle processtromen zeker te stellen. Deze worden geoptimaliseerd; juiste volumestromen, juiste concentraties en juiste schaal van kringlopen.

TNO innoveert in sleuteltechnologieën m.b.t. meet- en detectietechnologie en de moderne analytische wetenschap. Het inzetten van non-target analyses levert nieuwe proces- en materiaalrelevante informatie over recyclaten op welke ook antwoorden leveren op maatschappelijke uitdagingen.

Met dit Vraaggestuurd Programma sluit TNO op routes van de Nationale Wetenschapsagenda (NWA) aan; deze routes zijn ‘Meten en detecteren: altijd, alles en overal’, ‘Circulaire economie & grondstoffenefficiëntie: Duurzame circulaire impact’ en de ‘Sustainable development goals voor inclusieve mondiale ontwikkeling’. Middels de doorontwikkeling van de zoet-zoutwater-sensor levert TNO invulling aan de sectorale agenda; i.h.b. het Deltaprogramma Zoetwater. Hierbij gaat het om het doel dat de zoetwatervoorziening en de ruimtelijke inrichting in 2050 klimaatbestendig zijn. Effecten, zoals b.v. de zoutindringing welke door de hete en droge zomer van 2018 ontstonden, worden eveneens onderzocht. Nieuwe sensoren



en analyses zijn expliciete tools voor de betrouwbaarheidsbewaking en het beheer van de kwaliteit. Middels nieuwe, non-target benadering en het identificeren van microverontreinigingen draagt dit Vraaggestuurd Programma bij aan 'Nederland Circulair 2050'; dat wederom de ambitie heeft om in 2030 50% minder primaire grondstoffen te gebruiken en in 2050 een volledig circulaire economie operationeel te hebben.

### 3.4 Dynamiek

De genoemde doelstellingen geven een verschuiving aan naar profilering als 'innovatieve, technologie provider' waarbij bredere aansluiting bij de groeiende vraag naar betere detectiemethoden vanuit de overheden (zoals IenW – de Strategische Kennis Innovatie Agenda (SKIA), EZ en RWS) en het bedrijfsleven wordt gerealiseerd. Het inzetten op technologie bij de directe waterbehandeling (d.w.z. decentrale waterzuiveringsinstallatie) hoort niet meer bij de scope. Een verdere aanscherping resulteert in het meten en detecteren van chemische stoffen. Een eerdere verkenning van mogelijkheden om de TNO technologie rond immunosensoren door te ontwikkelen richting in-line sensoriek voor bacteriële vervuiling met b.v. E. coli of Legionella werd medio 2018 on-hold gezet. De nadere uitwerking is momenteel gaande, en zal plaatsvinden in nauw contact met de stakeholders in de sector. Mogelijk kan dit nog leiden tot bijstelling van accenten in het komende VP.

In 2018 heeft TNO contact gelegd met het (Nederlandse) Centre of Expertise Water technology (CEW) en relevante kennismakingsgesprekken gevoerd. TNO's activiteiten worden in de komende periode in dit consortium ingebed en vormen een complementaire externe aansluiting. In 2018 heeft TNO eveneens contacten gelegd met Stowa welke in de toekomst zeker nog meer vorm zullen krijgen. Ook heeft de aansluiting bij RWS in 2018 een nieuwe impuls gekregen. Hierbij zal het ook gaan om samenwerking en aansluiting met passive sampling en laser-induced breakdown spectroscopy, (LIBS) als nieuwe monitoringsstrategie.

Hoewel in 2018 nog de nadruk op de methodeontwikkelingen met de bij TNO beschikbare analysetechnieken voor microplastics lag, zal in 2019 ook heel nadrukkelijk naar technieken worden gekeken welke net op de markt geïntroduceerd zijn maar nog niet voor grootschalige applicaties voldoende doorontwikkeld zijn. Het identificeren van onbekende stoffen (non-target) en metingen in complex samengestelde vloeistoffen worden onderzocht. De activiteiten zullen zijn gericht op het ontwikkelen en valideren van detectie- en analysemethodes, detectie van zowel vorm/grootte als chemische samenstelling, en koppeling met in-line sensing / sampling methodes. Hiervoor zullen partnerships met instrumentenfabrikanten en -leveranciers of andere laboratoria en selfservice faciliteiten worden aangegaan.

Voor circulaire economie ligt het nieuwe accent op meten en detecteren voor het onderhouden van stofkringlopen (bijvoorbeeld kunststoffen) en niet meer specifiek op de technologische ontwikkeling om schaarse stoffen uit processtromen te halen. De nieuwe resultaten zullen centraal staan in processen van de circulaire economie waaronder ook de beoordeling en de nieuwe gebruiksmogelijkheden van bijvoorbeeld kunststof-recyclaten.

## 4 VP Maritiem & Offshore (P311)

Algemene gegevens	
Titel VP/ERP	P311 / Maritiem & Offshore
ERP/Topsector/Maatschappelijk Thema	Water
Contactpersonen TNO (DM en VPM)	Drs. P.P. van 't Veen, Ir. P.D. Boersma
Contactpersoon overheid of topsector	Dr. B. Buchner (TKI Maritiem)

### 4.1 Samenvatting

Onze toekomst ligt op het water. De Noordzee, onze waterwegen en binnenwateren zijn als transportverbinding, havenontsluiting, schone bron voor grondstof, voedsel en energie van groot belang. Nederland heeft een competitieve maritieme sector met een toonaangevende rol bij het oplossen van huidige en toekomstige maatschappelijke vraagstukken. De ontwikkeling van kennis en technologie voor onze maritieme en offshore-industrie is essentieel om de technologische top- en concurrentiepositie te versterken en een duurzame ontwikkeling en groei van de sector te bestendigen. In lijn met de 'Nederlandse Maritieme Strategie 2015-2025', bevordert TNO de inbreng van duurzame en veilige oplossingen waarmee het belang van de samenleving als geheel wordt gediend. In dit kader adviseert TNO de overheid met onafhankelijk onderzoek en nieuwe regelgeving. Voor de Maritieme & Offshore sector zijn de speerpunten "*Zuinig en schoon onderweg*" en "*De Noordzee als kraamkamer voor duurzame offshore energie*" het meest van toepassing.

Het onderzoeksprogramma (VP) Maritiem & Offshore voor de periode 2019 - 2022 voert toegepast onderzoek uit in lijn met de onder de Topsector Water geformuleerde innovatiethema's, "Winnen op Zee, Schone Schepen, Slim en veilig varen en Effectieve Infrastructuur". In cross-sectorale samenwerking met de Topsector Energie wordt onderzoek verricht op hernieuwbare "Offshore" energie zoals Offshore Wind constructies en systemen.

De volgende doelstellingen voor 2022 hebben onze prioriteit:

- **Maritieme constructies, slim, veilig en duurzaam**, Om de trends op de zee goed te kunnen bedienen worden schepen, constructies en infrastructuur steeds groter en complexer. Van super(hef)schepen, varende op of met waterstof of LNG, tot drijvende eilanden op zee. De komende jaren richt het onderzoek zich op constructies en materialen om een nieuwe generatie schepen en constructies mogelijk te maken die past bij de opgaven vanuit de energietransitie en het verduurzamen van activiteiten op de (Noord-)zee. In 2019 wordt het onderzoek naar "slimme" constructies met geïntegreerde sensoren voortgezet; Beoogde resultaten voor 2019 zijn de uitvoering en verwerking van onderzoek naar geavanceerde mathematische modellen voor "slimme" en dikwandige composietstructuren voor scheeps- en offshore constructies onder extreme condities, een publicatie op dit onderwerp en rapportage van het lopende breukmechanicaonderzoek voor Offshore (wind) constructies.
- **Groene Maritieme prestaties**, "*Innovatie voor duurzame en schone schepen, transport en operaties op zee*". Op basis van recente klimaatdoelstellingen, wetgeving en een kaderrichtlijn maritieme strategie wordt kennis ontwikkeld en ingezet voor de doelstelling op emissievrije voorstuwing voor en het handhaven van een goede milieutoestand van de betrokken wateren (acceptabele

akoestische emissie)<sup>2</sup>. De zee als bron voor voedsel (aqua-farming) en duurzame energie vraagt om slimme en duurzame constructies en installaties waarbij rekening wordt gehouden met de onder- en bovenwater omgeving. Beoogde resultaten voor 2019 zijn een modelinstrumentarium om integraal CO<sub>2</sub> equivalentie te analyseren voor maritiem transport en het beschikken over gevalideerde meetdata. Op onderwatergeluid zijn de verkregen meet- en rekenresultaten verwerkt t.b.v. de meerjarige Noordzee achtergrondgeluid trendanalyse.

- **Maritieme operaties, veilig en optimaal.** In de ontwikkeling van autonoom varen en onderwaterrobotica wordt onderzocht op welke wijze kunstmatige intelligentie en verdere integratie van autonomie in (slimme) schepen en hulpsystemen, boven en onderwater in interactie met hun omgeving het best kunnen worden toegepast. Hierin wordt de benodigde kennisontwikkeling gedaan die past bij de verregaande digitalisering van onze sector en die beoordelingskaders en beslissingsondersteuning realiseert; Beoogde resultaten voor 2019 zijn de realisatie van de onderzoeksmogelijkheid “onderwaterproeftuin in de Noordzee”, waarin inspectie- en afgeleide operaties kunnen worden beproefd met drones, een maritiem “situational awareness” model t.b.v. de JIP “autonoom varen” en een publicatie op dit onderwerp.

De “onderzoek koers” is in synergie met de topsectorstrategie, met de “Blauwe Route: water als weg naar innovatieve en duurzame groei”, onderdeel van de Nationale Wetenschapsagenda (NWA), en met Portfolio voor onderzoek en innovatie en de doelstellingen van de EU, “WATERBORNE VISION 2030”. In de onderzoek uitvoering streeft TNO naar (inter-)nationale en (cross-) sectorale samenwerking.

## 4.2 Korte omschrijving

Het lange termijn doel van het VP in 2022 vanuit de roadmap Maritime & Offshore per doelstelling:

	Omschrijving:
<b>Maritieme constructies;</b> <i>“Slim, veilig en duurzaam”</i>	<p>TNO wil d.m.v. het uitvoeren van toegepast onderzoek naar materialen en (composiet) constructies met geïntegreerde sensoriek de ontwikkeling van een nieuwe generatie “slimme” constructies mogelijk maken en de bestaande generatie veilig inzetbaar houden. Met de realtimekoppeling aan inzetbaarheids- en levensduurmodellen wordt naast ontwerpverificatie een “kosten-optimale” inzet mogelijk. Deze nieuwe constructies zijn nodig in opwekking, opslag, overslag en het transport en gebruik op zee van duurzame energie en in relatie met de komende generatie “cryogene” brandstoffen (H<sub>2</sub>). In 2022 is het toegepast onderzoek gereed om de eerste volledige sensor geïntegreerde prototypes te realiseren voor toepassingen in Offshore wind, H<sub>2</sub> opslag aan boord en overslag en integratie in maritieme Megaconstructies zoals drijvende eilanden.</p> <p><b>Benodigde kennis/technologie:</b> Kennis over “maritieme” toepassing van materialen (o.a. hogere sterkte stalen, metalen en composieten) en constructies onder extreme omstandigheden (extreem lage temperaturen en dynamische belastingen). Aan de simulatie-/modelkant is kennisontwikkeling nodig op het probabilistisch rekenen in combinatie met Structural Integrity/ breukmechanica modellen met</p>

<sup>2</sup> De kaderrichtlijn mariene strategie heeft tot doel “Europa’s zeeën en oceanen te beschermen en te herstellen en ervoor te zorgen dat de door de mens ontplooidde activiteiten een duurzaam karakter hebben.

	name voor constructieve beschouwingen die buiten de bestaande normen vallen. Waar nodig kan onderzoek de bestaande regelgeving op veiligheidsgebied evolueren.
<p><b>Groene Maritieme prestaties;</b></p> <p><i>“Innovatie voor duurzame en schone schepen, transport en operaties op zee”</i></p>	<p><b>Verbrandingsemisatie:</b> Ons doel is om op basis van operationele vaarprofielen en daadwerkelijk gemeten emissies in 2020 inzicht te hebben in oplossingen om aan de IMO-klimaatdoelstelling te kunnen voldoen. In 2022 kunnen de ontwikkelde oplossingen op pilotbasis worden geïmplementeerd in nationale, Europese en internationale projecten. TNO ontwikkelt een modelinstrumentarium waarmee enerzijds energiezuinig kan worden gevaren en anderzijds via technische maatregelen de CO<sub>2</sub> equivalentiewaardering kan worden uitgevoerd.</p> <p><b>Benodigde kennis/technologie:</b> Kennisontwikkeling is nodig op methodieken voor emissiemetingen waaronder “big-data” toepassing voor digitale emissiemeting, de CO<sub>2</sub> equivalentiewaardering in combinatie met nieuwe brandstoffen met sterke reductie op CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en SO<sub>x</sub>, hybride aandrijvingsvormen en CO<sub>2</sub> afvang aan boord in combinatie met optimalisering van vaarprofielen</p> <p><b>Geluidsemisatie:</b> Ons doel is om voorafgaand aan een maritieme operatie een inschatting te kunnen maken of de geplande maritieme en offshore activiteiten voldoen aan juridische kaders. Regelgeving is vol in ontwikkeling mede als gevolg van de Europese kaderrichtlijn maritieme strategie. Dit om op termijn een goede milieutoestand van de betrokken wateren te garanderen.</p> <p><b>Benodigde kennis/technologie:</b> Kennisontwikkeling op onderwatergeluid betreft het verder verbeteren van akoestische modellen om vooraf een goede inschatting te kunnen maken welke geluidniveaus kunnen optreden, welke impact dit heeft op het dierenleven en in hoeverre mitigerende maatregelen op onderwatergeluid de niveaus tot een aanvaardbaar niveau kunnen terugbrengen.</p>
<p><b>Maritieme operaties;</b></p> <p><i>“veilig &amp; optimaal”.</i></p>	<p>Ons doel is om maritieme operaties boven en onderwater veiliger en efficiënter te maken. Dit door ondersteuning van de mens in veeleisende, complexe en dynamische taakomgevingen. De nadruk ligt op de ontwikkeling van maritieme autonome operaties en onderwaterrobotica. Op het gebied van autonoom varen is de doelstelling om in 2022 een volledige autonoom varende short-sea schip te demonstreren.</p> <p><b>Benodigde kennis/technologie:</b> De integratie van sensoriek (sensorfusion) en waarnemings-systemen om de “situational awareness” op te bouwen in combinatie met het ontwikkelen van beslisondersteuning.</p>

### 4.3 Resultaten 2019

Onderwerp	Beoogde resultaten en deliverables voor 2019 en betrokken partijen
<b>Maritieme constructies;</b>	- Testresultaten m.b.t. “dikwandige” (composiet-) constructies, toepasbaar voor een scheepshuid, turbinebladen en Offshore

<p><i>“Slim, veilig en duurzaam”</i></p>	<p>constructies met koppeling aan een inzetbaarheids- en levensduurmodel;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Publicatie en sectormeeting over materialen en constructies die kunnen worden ingezet m.b.t. de komende generatie “cryogene” brandstoffen (H2 &amp; LNG);</li> <li>- DOTC- expertmeeting m.b.t. materialen en “mega” constructies;</li> <li>- Een trainingsmodule voor de sector op dynamic structural response en op schip gerelateerde noise&amp;vibration.</li> <li>- Demonstraties van experimentele resultaten en publicatie over het uitgevoerde staal gerelateerde fracture- en (corrosion) fatigue onderzoek.</li> </ul> <p><i>Er is externe aansluiting bij de KIA van de topsector Water&amp;Maritiem/materialen en constructies en het toekomstperspectief uit de NWA/Blauwe Route op het thema “leven op het water” en “water als bron”.</i></p>
<p><b>Groene Maritieme prestaties;</b></p> <p><i>“Innovatie voor duurzame en schone schepen, transport en operaties op zee”</i></p>	<p><b>Verbrandingsemissie:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- In 2019 wordt kennis ontwikkeld en informatie vergaard en modelvorming tot stand gebracht m.b.t. de belangrijkste parameters voor emissie mitigerende maatregelen (brandstoffen, vaarprofielen). Hierbij wordt in-situ emissie gemeten voor diverse operationele vaarprofielen.</li> <li>- De blauwdruk voor een totaal integraal afwegingsmodel moet in de loop van 2019 gereedkomen. Waar mogelijk wordt brede samenwerking met stakeholders en brancheorganisaties gezocht.</li> </ul> <p><b>Geluidsemissie:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Een rapport over het in 2018 ingezette onderzoek naar het meten van deeltjessnelheid onderwater staat gepland. Hierin staan de resultaten van deze nieuwe meettechnologie waarbij de experimentele resultaten worden geanalyseerd en met eerdere modelstudies worden vergeleken;</li> <li>- Modellen worden ontwikkeld om de effectiviteit van de maatregelen die kunnen worden ingezet om onderwatergeluid te mitigeren (installatie-werkzaamheden) beter te begrijpen en zodoende te kunnen optimaliseren;</li> <li>- Er wordt gemeten en gerekend om het achtergrondgeluid van de Noordzee in beeld te brengen t.b.v. het realiseren van een meerjarige trendanalyse;</li> <li>- De tussenrapportage wordt verwacht over de analyse van het effect van het installeren van infrastructuur op zee d.m.v. heien en trillen, waarbij met name de geluidspropagatie via de zeebodem onderwerp van onderzoek is.</li> </ul> <p><i>In samenwerking met universiteiten TUD, Imares/WUR, NIOZ en Maritieme &amp; Offshore partijen en TO2 Marin en Deltares en het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.</i></p> <p><i>Er is externe aansluiting bij de KIA van de topsector Water&amp;Maritiem/schoon varen en het toekomstperspectief uit de NWA/Blauwe Route op het thema “water als blauwe weg”.</i></p>

<p><b>Maritieme operaties;</b></p> <p>“veilig &amp; optimaal”.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Voor 2019 staat de realisatie van het “field lab” “onderwaterproeftuin in de Noordzee” gepland. De resultaten over de inzet van onderwaterdrones voor inspectie- en afgeleide operaties worden onderzocht en gerapporteerd.</li> <li>- De validatieresultaten worden verwacht van akoestische onderwater-communicatie voor toepassingen op “<i>condition-based maintenance</i>”;</li> <li>- Op autonoom wordt de kennisontwikkeling op toepassing van geavanceerde sensoren, systemen, big data-analyse en ontwerpmethodieken verder voortgezet en het model opgeleverd om de maritieme “situational awareness” op te bouwen (MSA) waarmee de integratie van gegevens tot beslisinformatie volgt.</li> </ul> <p><i>Er is externe aansluiting bij de KIA van de topsector Water&amp;Maritiem/materialen en constructies en het toekomstperspectief uit de NWA/Blauwe Route op het thema “water als blauwe weg”.</i></p>
--	---

TNO werkt langs diverse lijnen en met diverse partijen aan de benodigde kennisontwikkeling:

- (Inter)nationale samenwerkingsprogramma’s: Nationale Wetenschaps Agenda /Blauwe route, H2020 Blue Growth/ EFRO & Interreg en TTW;
- Grootschalige samenwerkingsverbanden op basis van vraagsturing: DOTC<sup>3</sup>, I-BOTICS<sup>4</sup> en GROW<sup>5</sup>;
- Kennis Innovatieprogramma’s die aansluiten bij de agenda van het Maritieme Cluster, waarin wordt samengewerkt met Nederlandse onderzoeksinstituten als MARIN, DELTARES, NLR, IMARES, NIOZ en universiteiten TUD, UT, TUE, WUR en samenwerkingsverbanden Maritiem Kennis Centrum/MKC.
- Beoogd wordt, om vanuit het Dutch Ocean Technology Center (DOTC) waarbij aan de hand van een uitgewerkte visie op materialen en constructies een programmatische samenwerking loopt op het thema materialen en constructies die bijdragen aan een duurzame Maritieme sector, een programmatische uitvoering operationeel te hebben.
- Multidisciplinaire TNO Early Research Programma’s (ERP): o.a. Structural Integrity, i-Botics. TNO investeert o.a. in de meerjarige kennisontwikkeling met de Early Research Programs (ERP’s) op essentiële kennisgebieden om een sterke vraag gestuurde technologiebasis te leggen voor de samenwerking in bovengenoemde JIC’s en consortia.

<sup>3</sup> DOTC: Dutch Ocean Technology Center, Een samenwerking geïnitieerd door de Technische Universiteit Delft (TuD) met de focus op kennis en faciliteiten op materialen en constructies onder extreme omstandigheden, gekoppeld aan de uitdagingen voor de (Noord)zee;

<sup>4</sup> I-BOTICS: Een samenwerking met de Universiteit Twente dat zich richt op praktische gerobotiseerde innovaties en applicaties.

<sup>5</sup> GROW: Een samenwerking met doelstelling op de kostenreductie van Offshore Wind en waarde creatie in het energie- & ecosystem.

#### 4.4 Dynamiek

Meer dan voorheen zal worden ingezet op langdurige samenwerking via grotere initiatieven zoals: DOTC, i-BOTICS en GROW. Hiermee wordt het vraaggestuurd onderzoek gekoppeld met toegepast en fundamenteel onderzoek. Met langdurige visie-gedreven samenwerking, op een beperkt aantal thema's, wordt een betere aansluiting verwacht bij de nationale agenda's met een efficiëntere inzet van kennis(werkers) in een aansprekende context. Dit moet ook resulteren in een betere inbedding van multidisciplinair onderzoek en cross-sectorale samenwerking en in het versnellen van innovaties. In aanvulling hierop zal de onder de NWA genoemde living lab aanpak worden gestimuleerd die wetenschappelijke, sociale en technologische innovatie in één programma combineert: er worden nieuwe producten ontwikkeld en tegelijkertijd wordt het gedrag van de eindgebruikers beïnvloed doordat ze direct betrokken zijn en nieuwe mogelijkheden krijgen. De NWA geeft aanvullend richting in de samenwerking op de Blauwe Route (partners TO2- NWO), waarin we ons richten op het beter Begrijpen, Benutten en Beschermen van oceanen, zeeën, delta's en rivieren.

De huidige early researchprogramma's binnen TNO zijn er specifiek op gericht om de kennisbasis te vernieuwen waarop vraag gestuurde technologieontwikkelingen uit de markt voortborduren. De uit de ERP's Structural Integrity en Human Enhancement voortgekomen kennis is door koppeling met use-cases met de industrie een springplank geworden voor deelname in diverse consortia.

Ten opzichte van 2018 is de onderzoek focus gericht op het bereiken van de energietransitie doelstellingen en het verduurzamen van de sector. Er ligt duidelijk minder focus op Diepzee en Arctische ontwikkelingen.

De effecten van een sterke digitalisering van de maatschappij waarbij systemen en processen in veel hogere mate dan voorheen autonomie vertonen in mens-machine interactie en gekoppeld zijn aan modellen hebben steeds meer invloed op ons onderzoek. Naast doelstellingen op veilig, beschikbaar en betrouwbaar en betaalbaar worden robuust voorspelbaar, optimaal en samenhang steeds belangrijker.

## 5 Ondertekening

Delft, 21 september

Dr. M.G.M. de Kroon  
Managing Director Buildings, Infrastructure & Maritime