

Chem.I.KIA: De bijdragen van Holland Chemistry aan de Kennis en Innovatieagenda's op de missies en sleuteltechnologieën (2020-2023)

Leeswijzer

Holland Chemistry heeft in het vorige stadium van het topsectorenbeleid in 2015 beschreven hoe in de subdisciplines van de chemie innovaties gerealiseerd kunnen worden. Deze beschrijving is gedaan langs 4 roadmaps in publiek privaatsamenwerkingsverband. We lieten als Topsector Chemie zien hoe die innovaties van belang zijn voor de maatschappelijke uitdagingen van deze tijd en het verdienvermogen van de Nederlandse Economie: groene en duurzame chemie voor slimme oplossingen en materialen gevoed door hoogstaand wetenschappelijk onderzoek. Het op 26 april 2019 door het kabinet aangenomen nieuwe missiegedreven innovatiebeleid vraagt echter om een kanteling. Hoe kan –gedacht vanuit concrete missies- de chemie bijdragen aan een duurzame, veilige en gezonde toekomstige samenleving, en welke sleuteltechnologieën en –methodologieën zijn daarbij cruciaal? De oorspronkelijke subdisciplinaire roadmaps hebben daarmee niets aan relevantie ingeboet, maar het heeft ons wel voor de taak gesteld om expliciet per missiethema, de bijdrage vanuit de chemie op te schrijven. In dit document zijn de beschrijvingen opgenomen van deze bijdrage per missiethema. Onze bijdrage komt samen met die van andere topsectoren, bij coördinatoren die daarmee de overkoepelende Kennis en Innovatieagenda's (KIAs) opstellen. Voor het gemak en herkenbaarheid hebben we onze gebundelde bijdrage de naam **Chem.I.KIA** gegeven. We volgen in de Chem.I.Kia allereerst de indeling van de missiethema's: 1. Energietransitie en Duurzaamheid 2. Landbouw, Water en Voedsel 3. Gezondheid en Zorg 4. Veiligheid. Hierbij tekenen we aan dat de vastgestelde missie op veiligheid vooral gericht is op *security* en dat de relatieve bijdrage vanuit de chemie gering is. Daarna volgt de bijdrage aan de sleuteltechnologieën en tot slot de bijdrage aan de zogenaamde "KIA-6" waarin sectorspecifieke uitdagingen en verdienvermogen aan bod komen.

Omdat innovatie zich niet laat beperken door landgrenzen en wel door onvoldoende menselijk kapitaal besteden we in de inleidende hoofdstukken nog extra aandacht aan de internationaliseringsagenda en de *Human Capital Agenda*

0	<i>Inleiding</i>	<i>Pagina 1</i>
1	<i>Bijdrage Chemie Energietransitie en Duurzaamheid</i>	<i>Pagina ...</i>
1a	<i>missiethema Energie en Klimaat</i>	<i>Pagina ...</i>
1b	<i>missiethema Circulaire Economie</i>	<i>Pagina ...</i>
2	<i>Bijdrage Chemie aan missiethema Landbouw, Water, Voedsel</i>	<i>Pagina ...</i>
3	<i>Bijdrage Chemie Gezondheidszorg</i>	<i>Pagina ...</i>
4	<i>(nog) geen bijdrage aan Veiligheid</i>	
5	<i>Bijdrage Chemie Sleuteltechnologieën</i>	<i>Pagina ...</i>
6	<i>Topsectorspecifiek (Safety Delta Nederland)</i>	<i>Pagina ...</i>

0. Inleiding

Chemie is een creatieve wetenschap die zich richt op het ontwerp zowel materialen als materiaalomzettingen: chemische reacties. De chemische industrie speelt een centrale rol in de missie energie & klimaat: via electrificatie. In de circulaire economie zullen nieuwe energiezuinige “chemische reactoren” recyclings en productieprocessen ontworpen moeten worden. De chemie is zelf daarmee deel van de uitdaging en tegelijkertijd ook de *enabler* van de oplossingen voor beide missiethema’s.

Deze dubbele verantwoordelijkheid heeft tevens een belangrijke plek in de R&D-strategieën in op interregionaal, Europees en wereldwijd niveau. De acties die in het missie gedreven beleid op de agenda staan, komen vrijwel integraal terug in de Trilaterale strategie voor het ARRRRA (Antwerpen – Rotterdam – Rhine – Ruhr Area) cluster. Dit is het grootste verbonden chemiecluster ter wereld. Het momentum voor de eerste grote pilots en demos voor een CO₂ neutrale chemische industrie lijkt daar al te ontstaan. Het valt te verwachten dat dit onderwerp daarmee een vooraanstaand onderdeel zal worden van de SUSCHEM-ETP agenda en van de SPIRE-programmering binnen Horizon Europe.

(de hiernavolgende paragraaf nog wat breder in te kleden met voorbeelden over de hele breedte van de missies/STs)

Voor de missie ‘landbouw, water en voedsel’ wordt kennis van nieuwe chemische processen ontwikkeld ten behoeve van de witte biotechnologische productie en waterzuivering. Voor veilig en gezond voedsel zullen in toenemende mate complexe productieprocessen een rol spelen waarin chemie een belangrijke rol speelt. Nieuwe sensoren kunnen bijdragen aan duurzame landbouw en aan een vermindering van voedselverspilling.

Sensorontwikkeling komt ook sterk terug in voor het missiethema gezondheid en zorg, voor onder meer point-of-care diagnostiek. De basale chemische kennis van moleculaire processen vormt de basis in de zoektocht naar nieuwe meer effectieve moleculaire markers in de diagnose en behandeling van ziekten.

Ook het missiethema ‘veiligheid’ bevat opgaves waar de chemie een rol zal spelen, onder meer door de ontwikkeling van nieuwe materialen en sensoren. Dit missiethema is voornamelijk gericht op digitale en militaire veiligheid. Aangezien de bijdrage van de chemie hier als minder direct wordt gezien is de beschrijving daarvan beknopter dan voor de overige missiethema’s.


De chemie heeft een belangrijke rol in het ontwikkelen van een aantal sleuteltechnologieën, met name in de sleuteltechnologiegroepen *Chemische Technologieën, Advanced Materials en Life Science Technologieën*. Secundair zijn ook *Engineering and Fabrication Technologieën* en *Photonics and Light Technologieën* van belang. In deze Chem.I.KIA staat een uitgebreidere beschrijving van de verschillende opgaven bij deze technologieën. In de overkoepelende KIA Sleuteltechnologieën komen hiervan de voor chemie prioritaire programma’s *Circular Plastics, Evidence Based Sensing, Soft Advanced Materials, Electrochemische conversie en materialen en industriële electrificatie, Katalyse en Procestechologie, Meten en Detecteren* en *Bridge – life science technologie* terug.

Tot slot zijn er een aantal programma’s, voortkomend uit de organisatie van de Topsector Chemie, die van belang zijn voor het verdienvermogen van de sector en/of de ontwikkeling van regionale verbanden en kennisinfrastructuur. Deze programma’s zijn door het TKI Chemie aangemeld voor de topsectorspecifieke ‘KIA 6’.


Samenvattend kan gesteld worden dat de Chemie een centrale rol zal spelen in vrijwel alle missies van de Kennis & Innovatie Agenda. De sector weet als geen ander dat dit alleen zal slagen wanneer over sectoren heen wordt verbonden, en wanneer de ketens van fundamenteel tot de pilot en demo aan elkaar worden geknoopt.

0.1 Verbindingen

De chemische communities van kennis en bedrijfsleven hebben elkaar steeds gevonden in de vier grote subdisciplines van de chemie. Zowel in de communities of innovation als de programmaraden die de kansen voor samenwerking telkens weer vormgeven en de *roadmaps* bewaken en aanjagen is die disciplinaire organisatie te herkennen: CoAM, CCPT&S, CoL en CND. Om tot de bijdrage aan de missies te komen moet op meerdere niveau's interdisciplinair samengewerkt worden. Hieronder is in een tabel weergegeven hoe de disciplines betrokken zijn zijnde maatschappelijke uitdagingen en sleuteltechnologieën

	Betrokkenheid programmarden bij Maatschappelijke Uitdagingen en Sleuteltechnologieën	Maatschappelijke Uitdagingen						Sleuteltechnologieën						
		Energietransitie en Duurzaamheid: klimaat	Energietransitie en Duurzaamheid: Circulaire Economie	Gezondheid en Zorg	Landbouw, Voedsel en Water	Veiligheid	Advanced Materials	Chemical Technologies	Life Science Technologies	Photonics and Light Technologies	Digitale Technologieën	Engineering and Fabrication Technologieën	Quantum Technologieën	Nano Technologieën
Programmaaraad	Chemical Conversion and Process Technology	●	●		●		●	●	●			●		
	Chemistry of Advanced Materials	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	Chemistry of Life			●	●		●	●	●					
	Chemical Nanotechnology and Devices	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	
●	Programmaaraad sterk betrokken bij de maatschappelijke uitdaging / ontwikkeling van de sleuteltechnologie													
●	Programmaaraad betrokken bij de maatschappelijke uitdaging/ontwikkeling van de sleuteltechnologie													

Het beeld wordt nog vollediger wanneer je in kaart brengt hoe de verschillende programmatische initiatieven van Holland Chemistry zoals die in de afgelopen 3 jaar in gang zijn gezet, verbinden met missiethema's en de afzonderlijke groepen sleuteltechnologieën. Hier is de rol van chemie als *enabler* duidelijk zichtbaar. Alle programmatische initiatieven van Holland Chemistry dragen in grote mate bij aan meerdere missiethema's en/of sleuteltechnologieën. Verbinding met andere sectoren is in veel gevallen wenselijk of zelfs noodzakelijk om het maximale potentieel van innovaties te benutten.

 Connecties Holland Chemistry initiatieven met Maatschappelijke Uitdagingen en sleuteltechnologieën		Energieovergang en Duurzaamheid: Klimaat en energie	Energieovergang en Duurzaamheid: Circulaire Economie	Gezondheid en Zorg	Landbouw, Voedsel en Water	Veiligheid	Advanced Materials	Chemical Technologies	Life Science Technologies	Photonics and Light Technologies	Digitale Technologieën	Engineering and Fabrication Technologieën	Quantum Technologieën	Nano Technologieën	Kia6 - Sectorspecifiek
Programmatiese initiatieven	Materialen NL, waaronder SAM, Mat4Sus, BPM, en BMC	●	●		●		●	●				●		●	●
	ElektroChemische Conversie en Materialen (ECCM)	●	●				●	●							●
	Evidence Based Sensing	●	●	●	●		●	●	●	●	●				●
	Future Medicine Initiative			●			●	●	●						●
	GoCHem	●	●				●	●				●			●
	Safety Delta Nederland	○	○	○	○		○	○	○			○		○	
ingediende MIPs	ARC CBBC (al gestart)	●	●				●	●							
	Evidence Based Sensing	●	●	●	●			●	●	●					
	Chemische recycling		●				●	●							
	Katalyse en Procestechologie	●	●				●	●							
	Meet- en Detectietechnologie	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				
	Chemical Technologies for medical innovation			●			●	●	●						

- Programma draagt sterk bij aan de maatschappelijke uitdaging / de sleuteltechnologie
- Programma draagt bij aan de maatschappelijke uitdaging / de sleuteltechnologie
- Programma is randvoorwaarde (product en omgevingsveiligheid is *license to operate*)

0.2 Internationale agenda

Het behoeft geen toelichting dat maatschappelijke uitdagingen noch kennis en innovatie gebonden wordt door nationale grenzen. De internationale agenda van HC bestaat uit de onderdelen R&D-samenwerking (kennis en innovatie), handelsbevordering en strategische acquisitie. De focus van de activiteiten ligt vooral op het eerste.

Het ligt voor de hand dat Nederland:

- Focust op innovatieopgaven die niet alleen relevant zijn voor Nederland, maar waarvoor Nederland ook relatief goed gepositioneerd is en dus ook concurrentievoordeel en export kan behalen; maar ook:
- Onderkent waar de positie van Nederland mede beïnvloed wordt door, of afhankelijk wordt van, innovatieopgaven van (buur)landen;
- Samenwerkt met andere landen en overheden om schaalgrootte te bereiken en collaterale gevolgen van de voorliggende missies aan te pakken.

ARRRA (trilaterale samenwerking)

Wat betreft samenwerking, ligt de Europese Commissie (bv Horizon Europe en het Innovatie Fonds) voor de hand. Maar voor de chemische industrie bestaat nog een andere zeer aantrekkelijke samenwerkingsmogelijkheid, zowel binnen als buiten dit EU-kader: regionale crossborder samenwerking zoals beoogd in de Trilaterale Strategie. Deze is opgezet door de overheden van Nederland, Vlaanderen en

Noordrijn-Westfalen, en betreft een samenwerking tussen overheden, bedrijven en kennisinstellingen op basis van een gedragen strategische agenda. Deze agenda is tot stand gekomen vanuit de observaties dat:

- de chemische industrie in de Trilaterale Regio een significante veroorzaker is van broeikasgasemissie;
- de chemische industrie in de Trilaterale Regio thans zeer nauw verbonden is door een gedeelde infrastructuur van fossiele energie en grondstoffen, alsmede hierop tot stand gekomen mondiaal-competitieve waardeketens van grootbedrijf en MKB: crossborder door de Trilaterale Regio en met een nauwelijks te overschatten economische impact; en vanuit de urgentie dat:
- innovatie en groei noodzakelijk zijn om het concurrentievermogen van de Chemische Industrie in een vergrijzende Trilaterale Regio op een mondiale markt te vergroten, en
- drie nationaal-gestuurde Transities niet noodzakelijkerwijs de beste manier voor Nederland is.

Uitvoering van de Trilaterale Strategie geschiedt d.m.v. drie Tafels, waarbij de Innovatietafel door Nederland geleid wordt. Deze Innovatietafel is gericht op de opschaling, validering, demonstratie en integratie van technologieën en systemen (mede via de Energie- en Infrastructuurtafels) waarmee doelstellingen voor grondstoffen en energietransitie op efficiënte wijze binnen de drie regio's van de Trilaterale Regio kunnen worden bereikt. Uitgaande van een diagnose van de broeikasgasemissies en hierdoor erkende behoeften van de chemische industrie zijn vanuit deze Innovatietafel 7 thema's en bijbehorende industriële vraagstellingen gedefinieerd. De noodzaak van Trilaterale crossborder samenwerking en de principiële bereidheid om Trilateraal samen te werken in consortia door chemische industriële bedrijven werd vervolgens door de Industrie vastgesteld. Voor elk van deze thema's hebben industriële bedrijven vervolgens in workshops concreter gemaakt wat de innovatieopgave in trilateraal verband de-facto inhoudt en het eerste consortium is inmiddels gestart.

Het ligt voor de hand specifieke calls zodanig op te zetten dat het meedoen aan deze vanuit de Overheden opgezette Trilaterale Strategie in beginsel een voordeel oplevert bij de evaluatie van de calls – ervan uitgaande dat deelnemende bedrijven mee investeren. Een weloverwogen koppeling van de nationale agenda voor de Chemische Industrie (MMIP, InvestNL) met die van Vlaanderen en Noordrijn-Westfalen (en vervolgens ook de EU) heeft namelijk voordelen:

- Het biedt de regionaal met Vlaanderen en NoordRijnWestfalen zeer nauw verbonden, maar in essentie internationaal-opererende chemische industrie (met vaak meerdere vestigingen binnen de Trilaterale Regio) een consistent regionaal innovatiebeleid binnen een gedeelte van de wereld dat er industrieel mondiaal toe doet;
- Trilateraal-geïnitieerde innovaties werken verbindend en hebben bij implementatie een vergrote impact: coherentie van de transitie in de regio, verhoging van de mondiale concurrentiepositie; gelijksoortige maatschappelijke impact in de drie landen met nieuwe mogelijkheden voor crossborder samenwerkingen inclusief grenswerkers;
- Het verhoogt de kansen voor innovatieve Nederlandse industrie en MKB voor crossborder waardeketens van een duurzame economie;
- Geïnduceerde consequenties voor de toekomstige infrastructuur van energie- en grondstoffen alwaar die van trilateraal belang zijn, worden door coherente innovatieagenda's beter manifest en kunnen alsdan gezamenlijk worden aangepakt;
- Het drukt de kosten en de risico's van het realiseren van de innovatieopgaven voor Nederland zonder dat dit ten koste gaat van resultaten waar Nederlandse partijen aan meewerken en directe toegang toe hebben.

EU

Naast de trilaterale strategie voor het ARRRRA cluster loopt de Europese verbinding vooral via SuschemNL. De voornaamste activiteit is een betere aansluiting bij en benutting van de EU Horizon programma's. In de SIRA, de strategische agenda van het Europese technologie Platform Suschem, is de relatie met de ambities en de roadmaps in de KIA gevat. De mogelijkheden in het Horizon programma worden momenteel al redelijk benut, maar er liggen

nog meer kansen voor consortia met Nederlandse partijen. SuschemNL zal dit blijven aanjagen met voorlichting, informatie over relevante calls en constructieve feedback op voorstellen in ontwikkeling.

Publiek-private samenwerkingskansen in andere prioriteitslanden

EZK en het Chinese Ministry of Science and Technology (MOST) zijn een MoU aangegaan in zake een Program of Cooperation in de chemie. Vanuit Nederland is de ambitie om samenwerking te realiseren tussen de consortia van de grotere programmatische initiatieven zoals CBBC en SAM met vergelijkbare Chinese consortia. De eerste gezamenlijke 'call' met CBBC op duurzame coatings wordt in 2019 uitgewerkt.

Internationale kennisversteking aan de basis

NWO werkt op landelijk niveau samen met zusterorganisatie NSFC (Natural Science Foundation of China) en op regionaal niveau met de Science & Technology Commission van de Chinese provincie Guangdong (GDST). Met beide worden bilaterale projecten in de chemie gefinancierd. Het NSFC programma' richt zich op fundamenteel publiek onderzoek, het GDST programma op fundamenteel-publiek-privaat onderzoek met als doel excellent onderzoek ten behoeve van innovaties bij bedrijven. NWO is als medefinancier van ARC-CBBC ook nauw betrokken bij de MOST-EZK samenwerking.

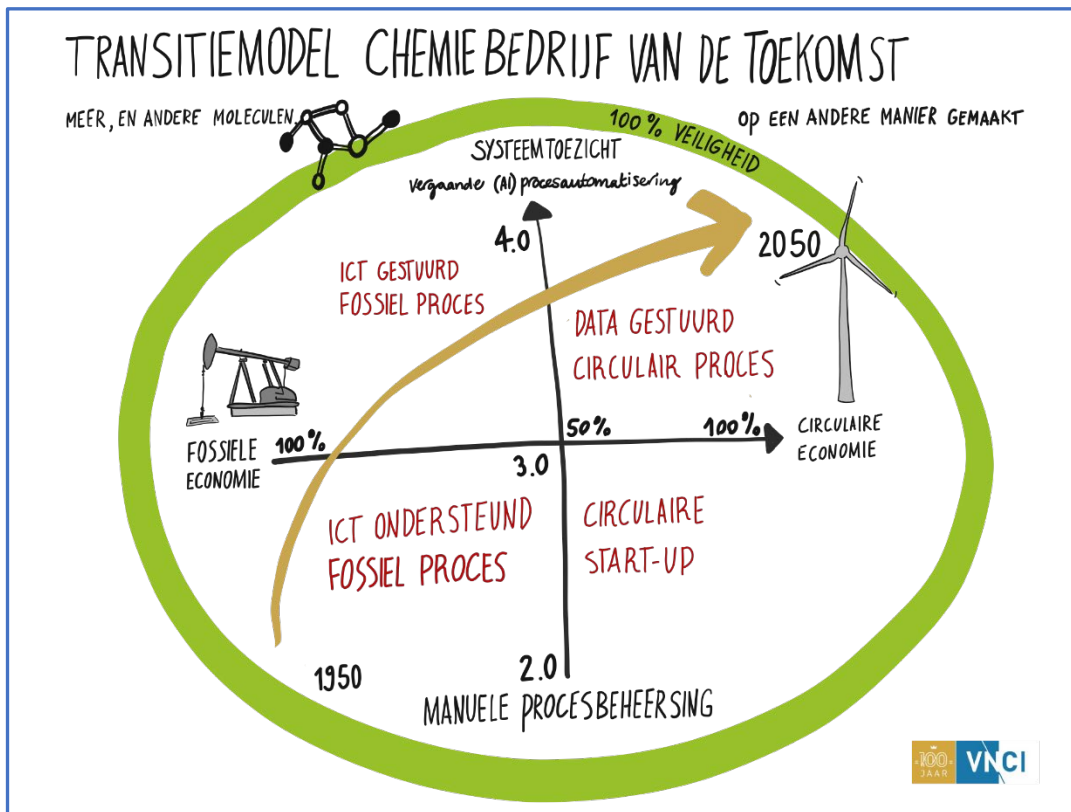
Verkenningmissies in China/Japan/Duitsland/VS (DIT GRAAG IN EEN APART KADER?BOXJE)

Op het gebied van (chemische) recycling en circulaire economie hebben verkennende missies plaatsgevonden naar China en Japan. Later dit jaar volgt een missie naar Duitsland en volgend jaar de Verenigde Staten. Deze missies scherpen de ideeën over de invulling van de KIA op Klimaat en Duurzaamheid: ze vormen de *benchmark* voor de technology gap ten behoeve van de klimaatdoelstellingen voor de chemische sector. Er wordt via deze weg geïncubatie gericht voor welke oplossingsrichtingen het voor Nederland gunstig is de samenwerking te zoeken, om de benodigde innovatieportfolio completer, sneller of betaalbaarder te maken

0.3 Human Capital agenda

Als onderdeel van het missiegedreven innovatiebeleid verdient ook het onderwerp Human Capital grote aandacht in de KIA 2020-2023. Een gezonde en innovatieve sector kan niet zonder goede mensen. Opbouw van technologie en van kennis en kunde (in de hoofden en 'handen' van mensen) zullen ook in de toekomst voortdurend hand in hand moeten (blijven) gaan.

De uitdagingen voor de chemiesector op het gebied van innovatie zijn groter dan ooit. De onderstaande figuur toont een grafische weergave van de transitiedynamiek van de chemiesector tussen 1950 en 2050. Uit de figuur blijkt duidelijk dat zowel op het gebied van duurzaamheid als digitalisering nog een grote (simultane) slag gemaakt moet worden. Het gaat echter niet alleen om procesinnovatie. Ook de (nieuwe) producten van de chemiesector zullen moeten passen in een 100% duurzame economie.



Binnen de huidige en nieuwe human capital agenda zijn twee thema's bijzonder relevant:

- Bemensing van de sector is een groot zorgpunt vanwege de hoge natuurlijke uitstroom van de chemiesectoren gedurende de komende jaren (30% in 2030; 50% in 2040). Gezien de heersende arbeidsmarktkrapte van technisch personeel in alle sectoren is verbetering van het imago van de chemie sector een grote uitdaging.
- (Technische-) skills en competenties/ gedragscompetenties van de medewerker/ chemicus van de toekomst moeten worden afgestemd op de transitieopgaven waar de sector voor staat. Door de toenemende snelheid van innovatie zal met name ook het thema "Leven Lang Ontwikkelen" prominenter op de agenda moeten komen te staan.

De afgelopen jaren is de rol van de Topsector Chemie voor het eerste thema vooral monitorend en stimulerend geweest. Het gaat hierbij om:

- Opbouwen en onderhouden van kennis over de arbeidsmarktsituatie in relatie tot uitstroom vanuit opleidingen (arbeidsmarktdashboard)
- Supporten van organisaties (o.a. Stichting C3) en events (o.a. Global Woman's breakfast, Nationale Scheikunde Olympiade) om de opleidingsvijver groter te maken door de keuze van jongeren in het algemeen en vrouwen in het bijzonder voor beta- en techniek te stimuleren.
- Supporten van de talentenprogramma's voor (chemische) topstudenten in het hbo en w.o. (75 nieuwe studenten per jaar van COAST, ISPT, VNCI en NWO).
- Supporten van duurzame inzetbaarheidsinitiatieven met AWWN en OVP (subsidies, workshops)
- Aanjagen van het bewustzijn bij bedrijven dat men zelf in actie moet komen ("human capital alert")

Voor het tweede thema is de rol van de Topsector gericht geweest op eco-systeem inrichting en op visie ontwikkeling/ aanjagen van het transitie proces. Het gaat hierbij om:

- Stimuleren van publiek private samenwerkingen tussen bedrijven en studenten/ kennisinstellingen via 5 COEs, 5 CIVs en 5 RIFs om leerprocessen te organiseren, dichtbij de praktijk (bijv. "Plant of the Future" in Brielle).
- Stimuleren van nieuwe practoraten (procestechiek), lectoraten (biobased, kunststoftechnologie) en leerstoelen (electrochemie) in de chemie

- Aanjagen van curriculumontwikkeling in het onderwijs (mbo, hbo, wo) m.b.t. de onderwerpen duurzaamheid, digitalisering, veiligheid en soft skills
- Organiseren van workshops met het werkveld voor visie-ontwikkeling over de chemicus en docent van de toekomst.
- Opzetten van samenwerkingen met andere topsectoren op het gebied van ondermeer ICT en onderwijs innovatie (Learning communities)

Ook in de komende HCA zullen deze thema's op de agenda (moeten) blijven staan. Qua resources betekent dit het volgende:

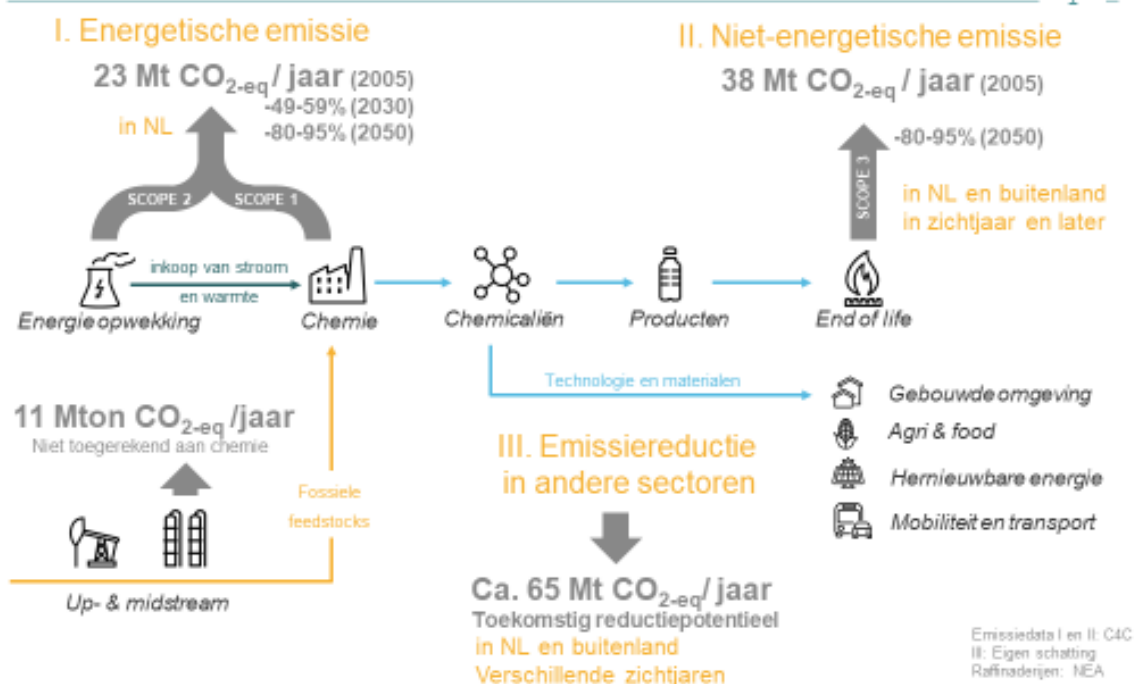
- In cash zullen m.n. de arbeidsmarkt monitor en de talentenprogramma's een voortgezette investering vergen van de Topsector (kosten ca 150 keur/jaar).
- In natura zal er voortgezette aandacht nodig zijn voor ontwikkeling van vaardigheden en competenties, op alle opleidingsniveaus, in samenwerking met bedrijven en opleidingen om het missiegedreven innovatiebeleid vorm te geven (kosten ca 25-50 keur/jaar). Bij deze laatste activiteit zal nadrukkelijk de samenwerking met de overige topsectoren worden gezocht. Daarvoor wordt verwezen naar de integrale Human Capital Agenda in de KIA.

1. Energietransitie en Duurzaamheid

De uitdagingen voor de maatschappij rondom de missiethema's energietransitie en duurzaamheid zijn enorm en grijpen op velerlei manieren op elkaar in. De chemie is daarin in een prominente actor. Als deel van het probleem en als deel van de oplossing. Voordat we in 1a en 1b uiteenzetten hoe de bijdrage van de chemie in de KIAs tot uitdrukking komt is het noodzakelijk dat we de positionering van de chemie hierin visualiseren. De opgaven die uit het klimaatakkoord en de transitieagenda's circulaire economie komen vragen om een integrale portfolio benadering van de innovaties die gerealiseerd moeten worden om de doelstellingen van de akkoorden te bereiken. In de opmaat hiernaartoe heeft Holland Chemistry een portfolio én *gapanalyse* uitgevoerd onder de naam Klimaat-PITCH.

In onderstaand figuur wordt de reductieopgave van de chemische sector. Die betreft niet alleen de CO₂ (equiv) emissies aan de schoorsteen van de industrie als producent (I). Omdat de materiaalkringlopen (bijvoorbeeld die van de kunststoffen) nog verre van gesloten zijn, is de impact op emissies *end-of-life* (II) nog een factor anderhalf groter. Dat laat onverlet dat vele van de producten op zichzelf weer een kritieke rol kunnen spelen bij de reductie van broekiasgasemissies in andere sectoren (denk bijv aan lichtere materialen in de mobiliteitssector).

De reductieopgave van de chemie als sector ... en als leverancier van oplossingen voor andere sectoren



De chemie als sector heeft aangegeven dat er scenario's denkbaar zijn waar de emissiereductiedoelstellingen van 2030 en 2050 haalbaar zijn. Daarvoor wordt echter gerekend op het kunnen inzetten van vele innovaties. De terechte vraag ligt voor of de huidige pijplijn met innovaties voldoende robuust is om aan de opgave te kunnen voldoen. In ons toekomstbeeld voor een klimaatneutrale chemiesector, is de lineaire productieketen een deel geworden van een gesloten kringloop.

Analysekader

Gap tussen innovaties en klimaatdoelstellingen

4 -

Emissie-oorzaken

In hoeverre kan toekomstige technologie, de huidige emissies reduceren?

Materiaal (fossiele koolstof)

- 1 Hoofdplossing: Afval scheiden, splitsen, opwerken (mechanisch en chemisch)
- ⚠ Niet oplosbaar: verliezen van materiaal en single-use producten; energie voor recycling
- 🏗 Randvoorwaarden: Zo hoog mogelijke kwaliteit retourstromen; beperken aantal componenten; design for recycling

Energie

- 2 Hoofdplossing: Elektrificatie
- ⚠ Moeilijk oplosbaar: Hogetemperatuur warmte
- 🏗 Randvoorwaarden: Beschikbaarheid duurzame stroom, opslag/stabiliteit

Biobased plastics en single-use products

Materiaal (biobased en CCU)

Biobrandstoffen

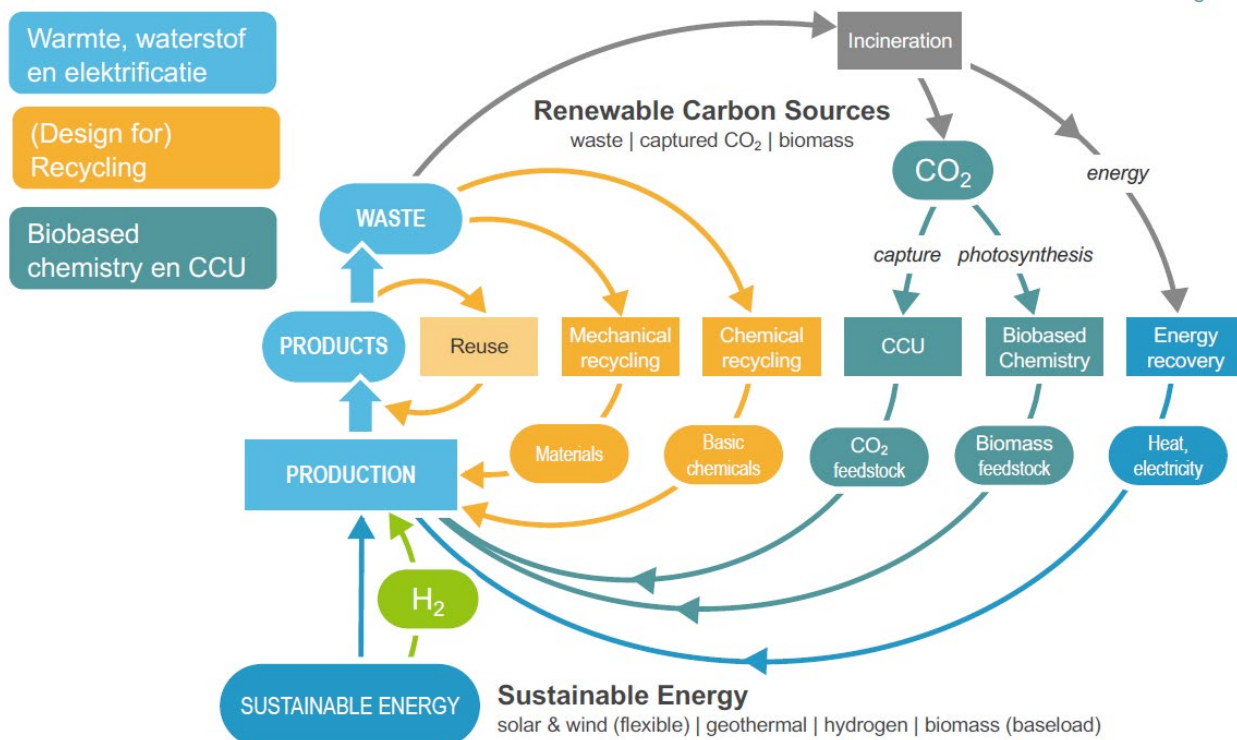
- 3 Hoofdplossing: Zou 'gaps' uit 1 en 2 kunnen opvullen.

🏗 Randvoorwaarden: De herkomst inclusief milieubelasting upstream; en bij CCU de beschikbaarheid van duurzame energie.

Oplossingen voor klimaatneutrale chemiesector in alle scopes

Gesloten kringloop, hernieuwbare koolstof, hernieuwbare energie

6 -



Om een inschatting te maken van de robuustheid van de innovatiepijplijnen voor de deelttechnologieën die passen in bovenstaande kringloop zijn experts bevestigd. Enerzijds om een goede inschatting te krijgen van het huidige TRL niveau, en de factoren die de snelheid van doorstroming/opschaling bepalen, anderzijds om de impact te bepalen op energievraagreductie, fossiele C en klimaat (CO₂ reductie).

Circulaire economie

Expert assessment volwassenheid en impact van hernieuwbare feedstocks

7 -

	Technologiegroep	Impact			TRL									
		Energie vraagreductie	Fossiel substitutie	Klimaat CO ₂ reductie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
(Design for) recycling	1. Design for recycling	++	++	++	[Orange bar]									
	2. Afvaldetectie en -scheiding	++	++	++					[Orange bar: combinatie]					
	3. Mechanische recycling	++	+	++			[Orange bar: voorbehandeling]					[Orange bar: recycling]		
	4. Solvolyse	?	+	+							[Orange bar]			
	5. Depolymerisatie	?	+	+							[Orange bar]			
	6. Pyrolyse	0/+	0/+	+/?							[Orange bar]			
	7. Vergassing (syngas)	0/+	0/+	+/?									[Orange bar]	
Biobased	8. Biobased vinylpolymeren	0/?	0/+	0/?					[Blue bar: Partial BB]				[Blue dot: PE]	
	9. Biobased polyesters	0/?	+	+/?					[Blue bar: Partial BB]				[Blue dot: PLA]	
	10. Bioplastics polyamides en rubbers	0/?	+	+/?			[Blue bar: Synth. Rubbers]				[Blue bar: PA 6,6]			
	11. Biobased single use producten	0/?	+	+							[Blue bar]			
	12. Biobrandstof 1 ^e generatie	0/?	0/+/?	0/+/?									[Blue bar: feedstock]	
	13. Biobrandstof 2 ^e generatie	0/?	+/?	+/?							[Blue bar]			

Effect op de gehele keten, beoordeeld ten opzichte van huidige systeem

Hernieuwbare energie(dragers)

Expert assessment volwassenheid en impact van warmte, waterstof en elektrificatie

8 -

	Technologiegroep	Impact			TRL									
		Energie vraagreductie	Fossiel substitutie	Klimaat CO ₂ reductie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Warmte	14. Geothermie / restwarmte	0/?	++	+					[Blue bar: UDG]				[Blue bar]	
	15. Warmtepomp	++	++	++					[Blue bar]					
	16. Elektrisch verwarmen	+/?	++	+					[Blue bar: Boiler / Droger]					
HT Warmte	17. Waterstof boiler	0	+/?	+/?					[Blue bar]					
	18. Fornuis	0	++	+/?					[Blue bar: Elektrisch]		[Blue bar: Biogas]			
	19. Overige	0	+/?	+/?			[Blue bar: Plasma heating inductie]				[Blue bar: Microgolf]		[Blue bar: ATFD]	
Waterstof	20. H ₂ via elektrolyse	--	++	++					[Blue bar]			[Blue bar: Alkalisch / PEM]		
	21. H ₂ uit methaan of reststroom	-	-	+/?					[Blue bar: Methaanpyrolyse]		[Blue bar: SMR+CCS Vergassing]			
	22. Fotokatalytisch	+/?	++	++/?					[Blue bar]					
Power-to-Products	23. Elektrochemische CO ₂ activering	-	+/?	+			[Blue bar: o.a. MeOH]							
	24. Low carbon brandstoffen*	0	0	+					[Blue bar]					
	25. Low carbon chemicaliën*	0	0	+					[Blue bar: o.a. SNG]					
	26. Solar fuels	+/?	+/?	+/?			[Blue bar]							
	27. CCU†	--	++	+			[Blue bar]							

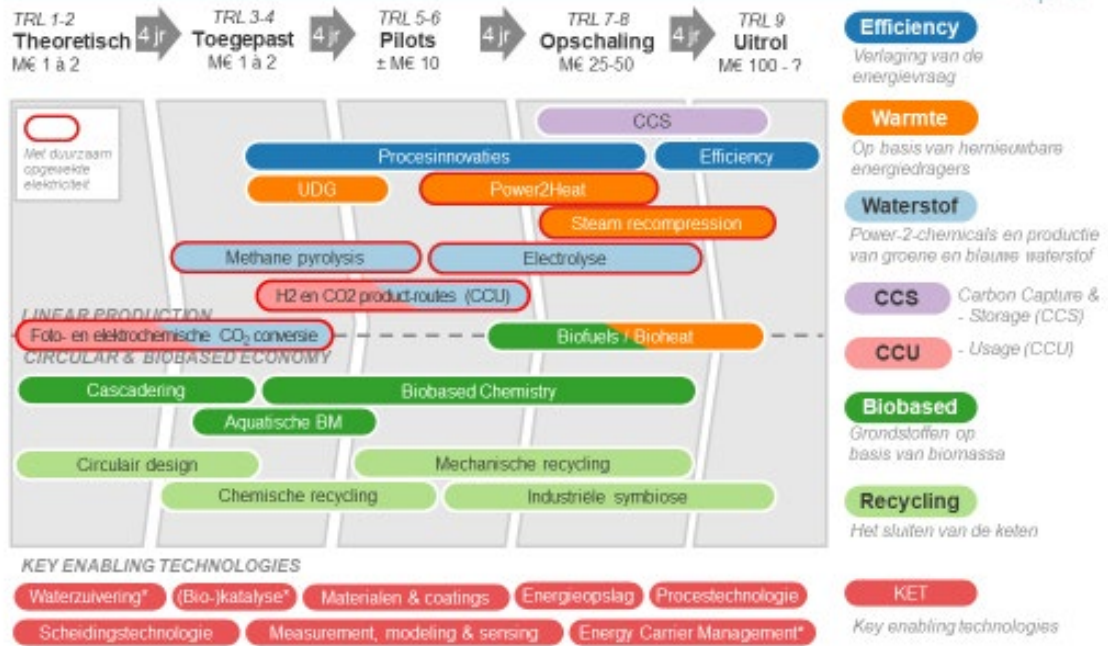
*conventionele routes met low carbon H₂ † Het gebruik van CO₂ uit de lucht of uit rookgas als grondstof. Dit overlapt deels met 25-27

— Elektrificatie
— Waterstof
— Biomassa

Effect op de gehele keten, beoordeeld ten opzichte van huidige systeem

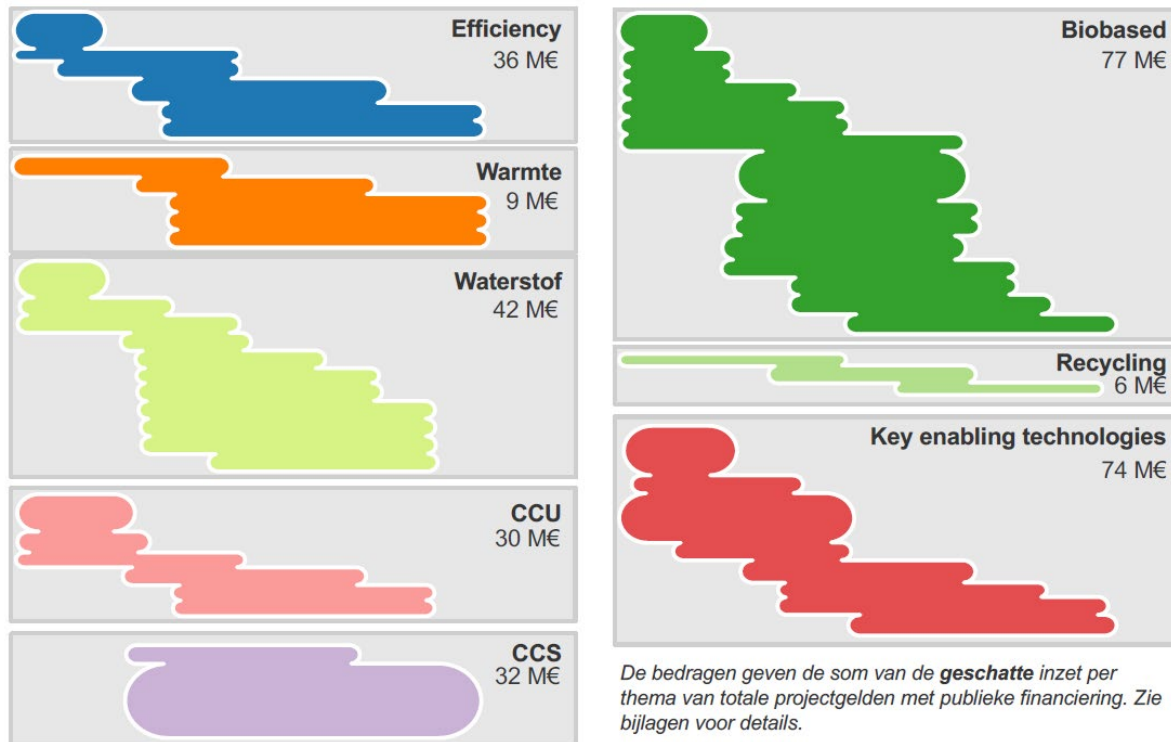
De innovatiepijplijn

Synthese van routekaarten (C4C, VEMW, DECHEMA)



Grafische samenvatting – fase 1: inventarisatie

Onderzoek- en innovatieprogramma's per thema (eind 2018)



1a Bijdrage Chemie subthema Energie en Klimaat (ook wel IKIA)

De IKIA klimaat beschrijft het belangrijkste klimaatdoel voor 2050. Dan moet de emissie van broeikasgassen gedaald zal zijn met 95% ten opzichte van 1990. Hiervoor zijn 5 submissies gedefinieerd:

- A. Een volledig CO₂-vrij electriciteitssysteem in 2050.
- B. Een CO₂-vrije gebouwde omgeving in 2050.
- C. In 2050 zijn grondstoffen, producten en processen in de industrie netto klimaatneutraal en voor tenminste 80% circulair.
- D. Emmisieloze mobiliteit voor mensen en goederen in 2050.
- E. In 2050 is het system van landbouw en natuur netto klimaatneutraal.

Deze submissies zijn onderverdeeld in 13 Meerjarige Missiegedreven Innovatie-Programma's (MMIP's). De chemie kan als belangrijke productiesector een significante bijdrage leveren aan vrijwel alle MMIP's. Het ontwikkelen van nieuwe processen voor elektrochemische/elektrokatalytische conversie, elektrificatie van energie-intensieve chemische processen, Carbon Capture and Use, verbeterde scheidingsprocessen, de productie van sleutelbouwstenen zoals waterstof met CO₂ neutrale processen en het verdergaand inzetten van biomassa of nieuwe grondstoffen gebaseerd op de opwerking van afval of de chemische ontvlechting van polymeren.

1. Bijdrage van de Topsector Chemie per MMIP (ook in tabelvorm hierna)

1. Hernieuwbare elektriciteit op zee

Chemische processen en materialen voor energie-opslag en -conversie; Nieuwe materialen voor windmolen-wieken en voor zonnecellen. Deze materialen moeten duurzaam zijn en CO₂-neutraal geproduceerd worden; Chemische processen en materialen voor energiewinning uit water; Product- en procesontwerp moet rekening houden met circulaire economie; recycling van windmolenbladen en PV materialen.

2. Hernieuwbare electriciteitsopwekking op land en in de gebouwde omgeving

Rationeel ontwerp van chemische processen en geavanceerde materialen voor energie-productie (PV), -opslag en -conversie; Nieuwe materialen voor windmolenbladen, zonnecellen, ontwerp van producten en productiemethoden met circulaire economie in gedachten (met name voor kritische grondstoffen); recycling van windmolenbladen en PV-materialen; Opwekking van nieuwe en schone brandstoffen/fuels voor chemische opslag van energie, via waterstof en CO₂ conversie.

3. Versnelling Energie-renovaties in de gebouwde omgeving

Duurzame productieprocessen met 100% carbon efficiency; slimme materialen met flexibele en functionele eigenschappen; procesintensificatie; slimme materialen met flexibele eigenschappen, ontwerp van producten en productiemethoden met circulaire economie in gedachten (met name voor kritische grondstoffen); Gebouw-geïntegreerde PV materialen; horizontale recycling van asfalt en beton.

4. Duurzame warmte (en koude) in de gebouwde omgeving

Rationeel ontwerp van chemische processen en geavanceerde materialen voor energie-opslag en -conversie; procesintensificatie; geïntegreerd ontwerp van katalysatoren en reactoren. Geavanceerde materialen voor dakbedekking, gevelbekleding, isolatie.

5. Het nieuwe energiesysteem in de gebouwde omgeving in evenwicht

Procesintensificatie, conversie en opslag van elektrische energie

6. Sluiting van industriële kringlopen (zie Missie Circulaire Economie voor meer gedetailleerde uitwerking)

Verbeterde efficiency van bestaande chemische processen; ontwerp van nieuwe waardeketens, producten en materialen met circulair oogmerk.; Procesintensificatie; Katalytische conversie; duurzame waterstofproductie, scheidingstechnologie; gebruik biobased feedstocks (zowel voor bestaande processen en materialen als voor nieuwe materialen (nieuwe biobased ketens)) en hernieuwbare bronnen zoals chemische opwaardering van afval en chemische ontvlechting van kunststof tot bruikbare bouwstenen of zelfs monomeren. Synthese van circulaire anorganische

systemen voor energieopwekking, katalyse en scheiding. Verbinding met food (voedselafval als feedstock), CO₂ als koolstofbron. Horizontale recycling waar mogelijk.

7. CO₂-vrij industrieel warmtesysteem

Gebruik biobased feedstocks en hernieuwbare bronnen, zoals elektriciteit, duurzame waterstof productie; Rationeel ontwerp van chemische processen, optimale warmte en energie integratie; procesintensificatie en procesefficiëntie; geavanceerde materialen voor energie-opslag en -conversie; inzet van restwarmte voor stadsverwarming.

8. Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen

Elektrochemie en elektrokatalyse aan C₁-verbindingen en grotere moleculen; Radicale vernieuwing van energie-intensieve processen (ammonia, waterstof, kraken) bijvoorbeeld door elektrificatie; duurzame waterstofproductie; procesintensificatie; geïntegreerd ontwerp van katalysatoren en reactoren; Ontwerp van producten en productiemethoden met circulaire economie in gedachten (met name voor kritische grondstoffen).

9. Innovatieve aandrijving en gebruik van duurzame energiedragers voor mobiliteit

Rationeel ontwerp van chemische processen en geavanceerde materialen voor energie-opslag en -conversie; geavanceerde materialen voor Energy storage; elektrochemie en elektrokatalyse voor waterstofproductie en chemische conversies; geavanceerde materialen voor lichte voertuigen; kunststof en composieten met lagere rolweerstand voor banden, nieuwe batterijen; wegen met geïntegreerde zonnecellen of piezoelektrische elementen.

10. Doelmatige vervoersbewegingen voor mensen en goederen

Geavanceerde materialen (zie 9); integraal ontwerp productie- en logistieke processen; procesintensificatie voor decentrale productie

11. Klimaatneutrale productie food en non-food

Katalytische processen voor valorisatie van voedselafval; biokatalytische/enzymatische processen; scheidingstechnologie voor producten van biologische oorsprong; CO₂ als grondstof; geavanceerde verpakkingsmaterialen; lokale productie van kunstmest; verbeterde vorming van kunstmest (precision/slow-release); Gewasbescherming; Downscaling machines en reactoren voor decentrale/lokale circulaire systemen; Biobased en afbreekbaar landbouwplastic.

12. Land en water optimaal ingericht op CO₂-vastlegging en gebruik

CO₂ als grondstof, nieuwe C₁-chemie, industriële biotechnologische conversies, CO₂ vastleggen in mineralen.

13. Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem

Rationeel ontwerp van chemische processen en geavanceerde materialen voor energie-opslag en -conversie; Elektrochemische conversie (power to molecules), duurzame waterstofproductie; ontwerp van producten en productiemethoden met circulaire economie in gedachten (met name voor kritische grondstoffen).

2. Uitwerking oplossingsstrategieën chemie

De bijdrage van de chemie ligt vooral op het creëren en toepassen van nieuwe processen voor (bijvoorbeeld elektrochemische) conversie en productie van de chemische bouwstenen, voor de bereiding van materialen en devices voor energie-opslag en -conversie, processen voor CCU, meet- en regeltechniek, scheidingstechnologieën, processen en devices voor conversie van biomassa en andere niet-fossiele bronnen naar grondstoffen voor de chemie, nieuwe katalysatoren en katalytische processen, en geavanceerde materialen.

A Een volledig CO2-vrij elektriciteitssysteem in 2050	Een CO2-vrije gebouwde omgeving in 2050	C In 2050 zijn grondstoffen, producten en processen in de industrie netto klimaatneutraal of voor ten minste 80% circulair	D Emissieloze mobiliteit voor mensen en goederen in 2050	E In 2050 is het systeem van landbouw en natuur netto klimaatneutraal
MMIP 1: Hernieuwbare elektriciteit op zee <ul style="list-style-type: none"> Chemische processen en materialen voor energie-opslag en –conversie (P) Nieuwe materialen voor windmolen-wieken en voor zonnecellen. Deze materialen moeten duurzaam zijn en CO2-neutraal geproduceerd worden (P, A) Chemische processen en materialen voor energiewinning uit water Product- en procesontwerp moet rekening houden met circulaire economie (P,A) Recycling van windmolenbladen en PV materialen 	MMIP 3: Versnelling Energierenovaties in de gebouwde omgeving <ul style="list-style-type: none"> Duurzame productieprocessen; 100% carbon efficiency (P) Slimme materialen met flexibele en functionele eigenschappen (P, A) Procesintensificatie (P) Product- en procesontwerp moet rekening houden met circulaire economie (P,A) Gebouw-geïntegreerde PV materialen Horizontale recycling van asfalt en beton 	MMIP 6: Sluiting van industriële kringlopen <ul style="list-style-type: none"> Verbeterde proces-efficiency (P) Ontwerp van nieuwe waardeketens, producten en materialen met circulair oogmerk (P,A) Katalytische conversie (P) Duurzame waterstofproductie (P) Scheidingstechnologie (P) Biobased feedstock (P): zowel voor bestaande processen en materialen als voor nieuwe materialen (nieuwe biobased ketens) Chemische opwaardering van afval (P) Horizontale recycling waar mogelijk Chemische of mechanische ontvlechting van kunststof tot grondstof(P) Voedselafval als feedstock (P) CO₂ als koolstofbron (P) Synthese van circulaire anorganische systemen voor energieopwekking, katalyse en scheiding 	MMIP 9: Innovatieve aandrijving en gebruik van duurzame energiedragers voor mobiliteit <ul style="list-style-type: none"> Rationeel ontwerp van chemische processen en geavanceerde materialen voor energie-opslag en –conversie; Nieuwe materialen voor energie-opslag Elektrochemie en elektrokatalyse voor waterstofproductie en chemische conversie Lichtgewicht materialen voor voertuigen Kunststof en composieten met lage rolweerstand Nieuwe batterijen Wegen met geïntegreerde zonnecellen of piezoelektrische elementen 	MMIP 11: Klimaatneutrale productie food en non-food <ul style="list-style-type: none"> Katalyse voor valorisatie van voedselafval Biokatalytische /enzymatische processen Scheidingstechnologie voor biobased producten CO₂ als grondstof Geavanceerde verpakkingsmaterialen Lokale productie van kunstmest Verbeterde vorming van kunstmest (precision/slow-release) Gewasbescherming Downscaling machines en reactoren voor decentrale/lokale circulaire systemen Biobased en afbreekbaar landbouwplastic
MMIP 2: Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en in de gebouwde omgeving <ul style="list-style-type: none"> Chemische processen voor energie-productie, -opslag en -conversie (P) Nieuwe materialen voor energie-productie, -opslag en conversie (P, A) Nieuwe materialen voor windmolen-wieken en voor zonnecellen (P, A) Recycling van windmolenbladen en PV materialen Product- en procesontwerp moet rekening houden met circulaire economie (P,A) Opwekking van nieuwe en schone brandstoffen/fuels voor chemische opslag van energie. Via waterstof en CO₂ conversie. 	MMIP 4: Duurzame warmte (en koude) in de gebouwde omgeving <ul style="list-style-type: none"> Chemische processen voor energie-opslag en –conversie (P) Nieuwe materialen voor energie-opslag en –conversie Procesintensificatie Ontwerp van katalysatoren en reactoren (P) Nieuwe materialen voor dakbedekking, gevelbekleding en isolatie (P,A) 	MMIP 7: CO2-vrij industrieel warmtesysteem <ul style="list-style-type: none"> Gebruik biobased feedstock Hernieuwbare bronnen (elektriciteit) Duurzame waterstof productie Rationeel ontwerp van processen Optimale warmte- en energie-integratie Procefficiëntie Geavanceerde materialen voor energie-opslag en -conversie Procesintensificatie Inzet van restwarmte voor stadsverwarming 	MMIP 10: Doelmatige vervoersbewegingen voor mensen en goederen <ul style="list-style-type: none"> Integraal ontwerp productie- en logistieke processen Procesintensificatie voor decentrale productie Materialen: zie 9 	MMIP 12: Land en water optimaal ingericht op CO2-vastlegging en gebruik <ul style="list-style-type: none"> CO₂ als grondstof Industriële biotechnologische conversies CO₂ vastleggen in mineralen
<p style="text-align: center;">MMIP 13: een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem</p> <ul style="list-style-type: none"> Ontwerp van chemische processen en geavanceerde materialen voor energie-opslag en –conversie Electrochemische conversie (power to molecules) Duurzame waterstofproductie Ontwerp van producten en productiemethoden met circulaire economie in gedachten 				

1b Bijdrage Chemie subthema Circulaire Economie

1. Missie Circulaire Economie en aanpak

In 2050 is in Nederland een duurzaam gedreven, volledig circulaire economie gerealiseerd. Dat wil zeggen dat in het economisch systeem zoveel mogelijk gebruik wordt gemaakt van hernieuwbare (inter)nationaal algemeen beschikbare en duurzame grondstoffen, waarbij het behoud van natuurlijk kapitaal als uitgangspunt wordt genomen.

In het Rijksbrede programma Circulaire Economie 'Nederland Circulair in 2050' wordt aan deze missie verdere inhoud en een extra impuls gegeven langs drie strategische paden:

- het efficiënt en hoogwaardig benutten van grondstoffen in bestaande waardenetwerken
- het waar nodig en mogelijk vervangen van fossiele, kritieke en niet-duurzaam geproduceerde grondstoffen door alternatieven
- het socio-economisch en technisch anders inrichten van gebieden en waardeketens waardoor de gewenste transitie naar de circulaire economie een extra impuls krijgt.

Het Rijksbrede Programma "Nederland Circulair in 2050" onderscheidt hierbij 5 prioritaire grondstofketens waarvoor transitieagendas zijn opgesteld: biomassa en voedsel, bouw, consumentengoederen, kunststoffen en maakindustrie.

2. Prioriteiten Transitieagendas en oplossingsstrategieën chemie

De chemie zal vanuit haar positie in diverse waardeketens aan de prioriteiten van de transitieagendas een belangrijke bijdrage leveren: als duurzame en groene maaksector zijn er in de circulaire economie nieuwe markten te winnen. Zonder uitputtend te kunnen zijn valt hierbij te denken aan vermindering voedselverspilling, innovatie in materiaalontwerp, recycling, leveringszekerheid van kritieke grondstoffen, vervanging van zorgwekkende grondstoffen en reductie van broeikasgasemissies in brede zin. Vanuit de prioriteiten binnen de Topsector Chemie is deze bijdrage op hoofdlijnen als volgt:

- Design voor circulariteit: ontwikkeling van duurzame circulaire functionele en structurele materialen zoals polymeren, composieten, natuurlijke (biogebaseerde en hernieuwbare) materialen, metalen en anorganische materialen.
- Circulaire grondstoffenketens en productieprocessen: het duurzaam vervaardigen van circulaire producten via chemische processen alsmede het verkrijgen van chemische technologieën die herstel, onderhoud en hergebruik bevorderen, ook door inzet van andere materialen in de waarde keten.
- Vertrouwen, gedrag en acceptatie: het toekomstbestendig inrichten en in stand houden van circulaire grondstofketens en productieprocessen door goede afstemming met en inbedding in een quadruple helix structuur met overheden, bedrijven, kennisinstellingen en consumenten/gebruikers.

In de uitvoering zal toegepast en fundamenteel onderzoek hier altijd hand-in-hand gaan om snelle opschaling van nieuwe oplossingen mogelijk te maken. Bestaande en zich ontwikkelende ondersteunende technologieën zoals synthese, modelleren, spectroscopie, chemometrie en analytische chemie zijn noodzakelijk om de onderwerpen met succes aan te pakken, naast belangrijke ondersteunende methoden uit de sociale, economische en gedragswetenschappen als transitie-, complexiteits-, gedrags- en businessmodellen.

3. Uitwerking oplossingsstrategieën chemie

De bijdrage van de chemie ligt vooral op het creëren en toepassen van inzicht in mechanismen voor functioneel en structureel gedrag van polymeren, fijnchemie, (nano)composieten en high tech materialen voor toepassingen in bijvoorbeeld medicijnen, coatings, dunne films, asfalt, beton, vervoersmiddelen en high tech equipment. Dit geldt voor de gehele levensduur van waarde creatie van een materiaal in een circulaire keten inclusief de bijbehorende socio-economische aspecten tav business modellen, acceptatie door gebruikers en consumenten en wet- en regelgeving. Meer specifiek richt de chemie zich op 3 hoofdlijnen:

1) Design voor circulariteit

- a) Circulaire materialen en producten met uitzicht op duurzaam meervoudig hergebruik
- b) Materialen voor meervoudig hergebruik uit ongebalanceerde (niet ideale, gemengde) retourstromen
- c) Materialen die leiden tot eenvoudiger en beter karakteriseren en scheiden van gemengde afvalstromen
- d) Zuivere materialen en producten die gemengde afvalstromen voorkomen
- e) Materialen die herstel, onderhoud en hergebruik bevorderen

- f) Modellen voor beter begrip van structuur-eigenschaps- en structuur-prestatierelaties van (bouwstenen van) circulaire producten (knowledge/evidence-based expertsystemen voor ontwerp van circulaire materialen)
- g) Materialen voor het afvangen van CO₂ (en andere broeikasgassen) ten behoeve van hergebruik van die afgevangen stoffen

Toelichting: Levensduurverlenging is van groot belang, maar ook het ontwikkelen van mogelijkheden voor reparatie en hergebruik. Naast inspectie- en reparatiemethoden moeten hiervoor nieuwe materialen met gecombineerde structurele en functionele eigenschappen ontwikkeld worden. Nodig zijn materialen met gekende en noodzakelijke eigenschappen voor hergebruik en minimale accumulatie van contaminanten. Denk hierbij bijv. aan het gebruik van tracers in combinatie met spectroscopische analysetechnieken of methoden die de introductie van een materialenpaspoort mogelijk maken. Ook zijn bijvoorbeeld nodig nieuwe katalysatoren, elektrodematerialen en membraanmaterialen voor recyclingprocessen.

2) Circulaire grondstoffenketens en productieprocessen

- a) de volledige transformatie van huidige op inzet van fossiele brandstoffen gebaseerde productieprocessen naar emissiearme (-loze) processen mede door afvangst en conversie van emissies die ontstaan uit de energieopwekking voor productieprocessen
- b) ontwikkeling van nieuwe routes voor grondstoffefficiënte proces/productcombinaties en op basis van biomassa incl cascadering
- c) synthesesmethodes om duurzame stoffen en materialen te produceren, al dan niet uit hergebruikstromen via recycling
- d) processen voor herstel, onderhoud en hergebruik van materialen en producten
- e) karakteriserings- en scheidingsmethoden voor complexe / gemengde afvalstromen
- f) modellen voor beter begrip en optimalisatie van circulaire processing routes (digital twin voor ontwerp van chemische processen), mede om nieuwe kansrijke routes te identificeren

Toelichting: Elektrificatie (incl elektrochemische conversie), gebruik van waterstof en duurzame warmte zijn belangrijke opties. Een wezenlijke vraag is welke schaal nodig is op welke locatie en met welke logistiek deze industriële transformatie kan worden gerealiseerd, de opgaven onder de energie- en klimaattransitie kunnen hiervan niet los worden gezien. Optimalisatie van productieprocessen door dynamische processturing en het ontwikkelen van circulair systeembegrip door combinatie van metingen en geavanceerde data-analyse zijn van groot belang.

3) Vertrouwen, gedrag en acceptatie

- a) de ontwikkeling en validatie van business, impact en verdienmodellen voor bestaande en nieuwe spelers in circulaire ketens al/dan niet gebaseerd op een data-gedreven aanpak
- b) actieve participatie van consumenten en gebruikers bij de ontwikkeling van producten en specificaties
- c) het creëren van vertrouwen bij alle betrokken stakeholders bij de implementatie van nieuwe technologische oplossingen
- d) de formulering en promotie van standaarden, wet- en regelgeving die de transformatie van industrie en maatschappij naar een circulaire economie bevorderen

Toelichting: Product as a service en circulaire accounting zijn voorbeelden van innovaties om de introductie van een circulaire economie te ondersteunen. Fieldlabs en social media bieden nieuwe mogelijkheden, in B2B kan optimalisatie van afspraken over productspecificaties (zonder overspecificatie: 'fit for use') helpen om afval als gevolg van off-spec te voorkomen. In- en uitgangskwaliteitscontrole, certificering en beveiligde communicatie voor stoffen en halffabricaten, alsook onderhoudssystemen voor producten kunnen leiden tot meer vertrouwen in nieuwe circulaire producten en diensten bij consumenten en gebruikers. Nationale acties, maar zeker ook internationale samenwerking zal nodig zijn omdat circulariteit niet ophoudt bij landsgrenzen.

4. Relaties en samenwerkingsverbanden

De topsector Chemie heeft een uitgebreid netwerk van bedrijven, onderzoeksinstituten (toegepast en fundamenteel) die kunnen bijdragen aan de genoemde oplossingen. Daarbij wordt gebruik gemaakt van een diversiteit van samenwerkingsverbanden zoals bijvoorbeeld via CBBC, ECCM, ISPT, VNCI, COAST, NWA, NWO en TO2 instrumentarium alsmede internationale, landelijke en regionale overheden.

2 Bijdrage Chemie missiethema Landbouw, Water en Voedsel

De topsector Chemie kan een grote bijdrage leveren aan het realiseren van een meer duurzame productie van gezonde en veilige voeding. Voor het realiseren van kringlooplandbouw, klimaatneutrale landbouw en voedselproductie, gewaardeerd, gezond en veilig voedsel en een duurzame Noordzee, oceanen en binnenwateren en bescherming van de delta worden in dit document de bijdragen van de topsector Chemie beschreven.

Overzichtstabel van de missies gedefinieerd voor Landbouw, Water en Voedsel

	A Kringlooplandbouw	B Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie	C Klimaatbestendig landelijk en stedelijk gebied
Missie	In 2030 is in de land- en tuinbouw het gebruik van grondstoffen en hulpstoffen substantieel verminderd en worden alle eind- en restproducten zo hoog mogelijk verwaard. De emissies naar grond- en oppervlaktewater zijn tot nul gereduceerd. Ecologische omstandigheden en processen vormen het vertrekpunt voor voedselproductie waardoor biodiversiteit zich herstelt en de landbouw veerkrachtiger wordt.	In 2050 is het systeem van landbouw en natuur netto klimaatneutraal.	Nederland is in 2050 klimaatbestendig en waterrobuust.
TSC bijdrage	<ul style="list-style-type: none"> Chemische conversie, scheidingstechnologie en monitoring t.b.v. hergebruik afvalstromen Duurzame productie van eiwitrijke grondstoffen en biomassa 	<ul style="list-style-type: none"> Monitoren van concentraties diverse stoffen in lucht, water, bodem Verbetering opname van stikstof door planten Precisiedosering van nutriënten Verbeterde diervoeding: minder broeikasgassen Afvangen, omzetten of vastleggen schadelijke uitstoot 	
	D Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel	E Duurzame Noordzee, oceanen en binnenwateren	F Nederland is en blijft de best beschermde delta ter wereld, ook na 2100
Missie	In 2030 produceren en consumeren we gezond, veilig en duurzaam voedsel en verdient de boer een eerlijke prijs.	Voor de mariene wateren is er in 2030 en voor rivieren, meren en estuaria in 2050 een balans tussen enerzijds ecologische draagkracht en waterbeheer (waterveiligheid, zoetwatervoorziening en waterkwaliteit) en anderzijds de opgaven voor hernieuwbare energie, voedsel, visserij en andere economische activiteiten.	Nederland is en blijft de best beschermde delta ter wereld, ook na 2100, door het tijdig - op basis van klimaatscenario's en knippuntanalyses- nemen van toekomstbestendige en integrale maatregelen tegen beheersbare kosten

TSC bijdrage	<ul style="list-style-type: none"> • Vroege detectie van vervuilingen in materiaalstromen • Fundamenteel begrip vertering van voedsel 	<ul style="list-style-type: none"> • Scheidingstechnologie en chemische ontvlechting voor waterzuivering, b.v. verwijderen (micro)plastics • Nieuwe safe-by-design materialen • Monitoren waterkwaliteit 	<ul style="list-style-type: none"> • Innovatieve dijkversterkingen
--------------	---	---	---

A. Kringlooplandbouw:

Circulaire landbouw houdt in dat zoveel mogelijk stromen duurzaam worden benut en hergebruikt. Hierbij kunnen een aantal technieken die standaard in de chemie worden gebruikt van groot nut zijn, zoals chemische conversie, scheidingstechnologie en monitoring. Om tot een vermindering van meststoffen en water en betere benutting van nutriënten in dierlijke mest en afvalwater te komen moet de samenstelling bekend zijn en de technologieën om de conversies en scheidingen te bewerkstelligen verder ontwikkeld worden, zoals bijvoorbeeld geavanceerde membranen. Naast deze end-of-pipe solution is het ook noodzakelijk om naar nieuwe technieken te kijken die het mogelijk maken om een gezonde, robuuste bodem en teeltsystemen zonder emissies naar grond- en oppervlaktewater te bewerkstelligen. Voor beide opties is het van uiterst belang dat zoveel mogelijk hergebruik van organische zij- en reststromen in de voedselketen plaatsvindt. Hierbij is begrip van chemische conversie en scheidingsprocessen nodig om de keten te sluiten. Een speciaal aandachtsgebied is de duurzame productie van eiwitrijke grondstoffen en biomassa. De chemie speelt een rol in het mogelijk maken van deze eiwittransitie, door het ontwikkelen van verrijkings- en bewerkingsprocessen, en methoden om in-line de (bio)chemische samenstelling van materiaalstromen continu te meten en te optimaliseren. Door de eiwittransitie ontstaan meer reststromen waarvoor de eerder beschreven technologieën essentieel zijn.

B. Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie

Chemische processen zijn de basis van landbouw en voedselproductie. Om landbouw en voedselproductie klimaatneutraal te maken is kennis van de onderliggende chemie essentieel. Om te komen tot emissiereductie in bodem en landgebruik in de landbouw is het nodig om concentraties goed te kunnen monitoren in de bodem, de lucht en in de plant. Met deze kennis en geavanceerde materialen voor de gecontroleerde afgifte van nutriënten en meststoffen kan precisiedosering van nutriënten bereikt worden en overbemesting worden voorkomen. Ontwerp en synthese van nitrificatieremmers kunnen de opname van stikstof uit mest verbeteren en uitspoeling ervan verminderen. Om de veehouderij duurzamer te maken, kan de chemie voedseladditieven voor verbeterde pens- en darmfermentatie ontwikkelen om tot vermindering van broeikasgassen (CO_x, NO_x) en ammoniak te komen. Waar deze toch ontstaan worden deze vastgelegd of omgezet m.b.v. katalytische en elektrochemische conversie. Door zo efficiënt mogelijk gebruik te maken van alle zij- en reststromen kan energie worden bespaard en in sommige gevallen zelfs opgewekt. Bovendien kan de uitstoot van schadelijke stoffen zoals CO₂ en ammoniak worden voorkomen. Waar deze stoffen toch worden geproduceerd, kunnen deze stoffen worden vastgelegd en/of omgezet. Energiebesparing kan ook worden bereikt door de ontwikkeling en toepassing van geavanceerde materialen in de glastuinbouw zoals semi-doorlatende PV-panelen als kasdek.

D. Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel

Om tot gezond en veilig voedsel te komen is begrip van een groot scala aan chemische processen van belang.

Deze processen betreffen de productie van ingrediënten en levensmiddelen, gevolgd door de consumptie en vertering, en uiteindelijk de metabolische omzetting ervan. Om flexibel om te kunnen gaan met verschillende grondstoffen is het nodig om goede controle te hebben over de processen die uitgevoerd worden om ze te verwerken tot ingrediënten en voedingsmiddelen. Om de veiligheid hiervan te garanderen moet de aanwezigheid en concentraties van onzuiverheden in vloeistoffen en materiaalstromen, toxines (bijv. mycotoxines) of medicijnresten (bijv. antibiotica) gemonitord worden. Vroegtijdige detectie kan grootschalige verspilling voorkomen. Op deze manier kunnen gezonde en voedzame levensmiddelen gemaakt worden met minimale impact op het milieu. Door slim gebruik te maken van sensoren die de gassamenstelling in verpakte levensmiddelen monitoren kan hun houdbaarheid verlengd worden en voedselverspilling verminderd worden. Los van de productie van ingrediënten en levensmiddelen kan de chemie ook een essentiële bijdragen leveren aan het begrip van de vertering van voedsel en het effect dat

het heeft op de mens. Hierdoor kunnen mensen bewust gezonde keuzes maken. Gezondheid van dieren kan gemonitord worden door nieuw te ontwikkelen biomarkers en bijbehorende meetmethoden.

E. Duurzame Noordzee, oceanen en binnenwateren:

De chemie kan een belangrijke bijdrage leveren aan het gezond en schoon houden van onze rivieren, meren, intergetijdgebieden, zeeën en oceanen. Enerzijds kan scheidingstechnologie en chemische ontzouting van plastic afval uit het water bijdragen aan het terugdringen van vervuiling. Anderzijds kan de chemie nieuwe materialen ontwikkelen die "safe by design" zijn, bijvoorbeeld zonder toxische bestanddelen of afbreekbaar in zeewater. Analytische chemie zorgt voor constante monitoring van de waterkwaliteit.

F. Nederland is en blijft de best beschermde delta ter wereld, ook na 2100

De chemie kan bijdragen aan de bescherming van de Nederlandse delta door de ontwikkeling van innovatieve dijkversterkers.

CONCEPT

3 Bijdrage Chemie missiethema Gezondheid en Zorg

De topsector Chemie kan uitstekend bijdragen aan het verbeteren van de gezondheid en zorg van de Nederlandse bevolking. De chemie speelt een cruciale rol bij het ontwikkelen en produceren van nieuwe geneesmiddelen. Daarnaast zijn er geavanceerde chemische technieken die snel de werkzaamheid van een medicijn bij een individuele patiënt kunnen meten en zelfs kunnen voorspellen waardoor het steeds beter lukt om patiënten als uniek individu te behandelen. In dit document beschrijft de topsector chemie wat deze kan bijdragen aan het missiethema Gezondheid en Zorg en de vier missies.

Missie I; Leefstijl en leefomgeving

In deze missie wordt genoemd dat minder fijnstof, minder microplastics, minder geluidsoverlast, minder geneesmiddelenresten in het oppervlaktewater en een beter binnenklimaat thuis een belangrijke bijdrage aan meer gezondheid leveren. Ook voor de werkomgeving wordt opgemerkt dat risico's van gevaarlijke stoffen bijdragen aan gezondheidsschade.

De topsector Chemie kan bijdragen aan het verbeteren van de fysieke leefomgeving en de werkomgeving door het meten van de stoffen die vrijkomen – en het modelleren hiervan – om uiteindelijk de data te kunnen interpreteren om tot handelingsperspectief te komen en uiteindelijk ziekte te verminderen en te voorkomen. Om dit goed te kunnen doen is de behoefte om steeds op een persoonlijkere schaal gegevens in kaart te kunnen brengen. Hiervoor zijn nieuwe sensoren nodig welke de juiste chemische componenten kunnen meten, met een verhoogde resolutie met betrekking tot plaats en tijd. Dit vereist ontwikkeling van sensoren (en de validatie daarvan) als ook de ontwikkeling van modellen die met een hogere plaats en tijd resolutie om kunnen gaan. Verder kan de Chemie ook een rol spelen bij het efficiënt verwijderen van schadelijke stoffen uit het milieu en bij het meer optimaal doseren/personaliseren van geneesmiddelen zodat wordt voorkomen dat geneesmiddelenresten in het oppervlaktewater terecht komen.

Daarnaast levert de Chemie een belangrijke bijdrage aan nieuwe ontwikkelingen op het gebied van voeding. Het is de Chemie die ons voedsel kan uitsplitsen in koolhydraten, eiwitten, vetten, vitamines en sporenelementen waardoor het effect van voedsel op gezondheid gemeten kan worden. Verder is de Chemie essentieel voor het ontwikkelen van nieuwe voedingsmiddelen en voedingsinnovaties waardoor consumenten hun voeding kunnen aanpassen aan de behoefte van hun lichaam en hen helpen gezondere keuzes te maken met betrekking tot hun voeding en dus leefstijl. Zo kan de Chemie bijvoorbeeld het mondgevoel van voedingsmiddelen veranderen wanneer dit anders is dan de consument gewend is doordat er een verandering in de samenstelling is aangebracht om het voedingsmiddel gezonder te maken.

Missie II; Toegang tot zorg

Nieuwe chemische personalized sensoren kunnen kennis genereren over de gezondheidsstatus van individuen. Op deze manier kan extramuraal de biochemische status van patiënten voortdurend gemonitord worden waarna zo nodig tijdig geïntervenieerd kan worden.

Verder kan de Chemie nieuwe aangrijpingspunten voor interventie (medicijnen, voedingssupplementen) identificeren en ontwikkelen en ook markers identificeren voor het testen en monitoren van (leefstijl-) interventies. Bijvoorbeeld bij een verandering in dieet, wat een effectieve en economische interventie is, en het vervolgens monitoren van de voedingsstoffen, vitamines en sporenelementen. Ook kan de Chemie 'smart devices' ontwikkelen die de leefstijl monitoren door het meten van componenten of biomarkers in bloed, zweet of adem. Deze meetapparatuur kan vervolgens door mensen thuis gebruikt worden bij voorkeur op een niet-invasieve of minimaal-invasieve manier wat een bijdrage levert aan de toegang tot zorg van deze gebruikers.

Verder kan de Chemie bijdragen aan **meer effectieve en betaalbare geneesmiddelenzorg** door het ontwikkelen en implementeren van testen op basis van analytische chemie die biomarkers identificeren van chronische ziekten voordat deze ziekten zich in de patiënt manifesteren. Deze biomarkers, maar ook, biosensoren en biochips maken het mogelijk om preventieve interventies toe te passen bijvoorbeeld bij neurodegeneratieve ziekten, de voorstadiën van kanker en cardiovasculaire problemen. Daarnaast is de analytische chemie ook essentieel bij de ontwikkeling van point-of-care-diagnostiek wat de toegang tot zorg aanzienlijk zal verbeteren.

Missie III; Mensen met chronische ziekten

Verschillende chronische ziekten worden veroorzaakt door een verstoorde communicatie in en tussen cellen door o.a. genetische schade en mutaties en/of externe factoren (bacteriële/virale infecties, luchtvervuiling).

Inzicht in de processen die ontregeld zijn bij chronische ziekten is essentieel voor effectieve geneesmiddelontwikkeling. Een veelzijdige aanpak (multi-omics, chem/bioinformatics) waarbij wordt gekeken naar veranderingen in genetisch materiaal (mutaties), het interactoom en de

eiwitsamenstelling van patiënt materiaal zal kennis en inzicht geven op welke wijze men het meest effectief kan ingrijpen.

Daarnaast kan de Chemie bijdragen aan het monitoren en verbeteren van gezondheid van individuen door middel van het opzetten van chemische detectiemethoden zoals diagnose/monitoring met companion diagnostics van onder andere biomarkers in combinatie met datagestuurde feedback op doseringssystemen.

De Chemie speelt een belangrijke rol bij het ontwikkelen van geneesmiddelen, van kleine moleculen tot antilichamen. Hierbij is er ook een belangrijke rol voor Organ-on-a-Chip technologie bij de ontwikkeling van deze geneesmiddelen wat ook bijdraagt aan het verminderen van proefdierexperimenten.

Bestaande of nieuw te ontwikkelen kleine moleculen of antilichamen bieden de mogelijkheid om specifiek in te grijpen in het ziekteproces. De Chemie is cruciaal voor de synthese van deze kleine moleculen zoals bijvoorbeeld het genereren van antilichaam conjugaten en nanodeeltjes voor drug-delivery en de kwaliteitscontrole van deze geneesmiddelen door analytische chemie.

Verder kan De Chemie contrastreagentia en moleculaire beeldvormende technologieën ontwikkelen die het mogelijk maken om ziekte status en het effect van interventies zichtbaar te maken op een niet-invasieve manier. Dit kan worden toegepast voor chronische hart- en vaatziekten, de functie van de hersenen (oa bij dementie) en bij de prognose van de uitzaaiing van kanker, een ziekte die dankzij de ontwikkelingen op medisch gebied steeds meer als een chronische ziekte wordt gezien. De Chemie is ook instrumenteel in de analyse van "liquid biopsies" die op grote schaal een breed palet aan bekende biomarkers kunnen detecteren om zo chronische ziekten te kunnen monitoren gedurende het behandeltraject. De Topsector Chemie kan en wil derhalve een cruciale rol spelen bij het voorkomen, monitoren en behandelen van chronische ziekten.

Missie IV; Dementie

Chemische kennis is nodig om inzicht te verkrijgen in de moleculaire (ontregelde) processen van dementie. Het ontwikkelen van preklinische modelsystemen en platform technologieën om celkweken (minibrains) maar ook de neuron-on-a-chip techniek mogelijk te maken kan niet zonder Chemie. Hierbij kan de Chemie bijdragen aan het ontwikkelen van de hiertoe benodigde apparatuur met onder andere kennis van oppervlaktechemie, dynamische concentratie omstandigheden en chemische methodes ter analyse en identificatie van biomarkers.

Daarnaast is de Chemie essentieel voor de verdere ontwikkeling van **regeneratieve geneeskunde** door het ontwikkelen van nieuwe technologie voor het screenen van moleculaire defecten in stamcellen van patiënten bijvoorbeeld op psychische en hersenziekten waarbij het bestuderen van het orgaan zelf, het brein van de patiënt, geen optie is. Hierdoor kunnen ook grootschalige methoden ontwikkeld worden om interventies voor deze ziekten te testen. Bovendien is voor regeneratieve geneeskunde, orgaan transplantatie en het gebruik van stamcellen de chemie van de kweekmethode (concentraties, vloeistof dynamiek) cruciaal om deze innovatieve technieken kosteneffectief en dus op grote schaal te kunnen implementeren.

Krachtenbundeling:

In Nederland is er een grote verscheidenheid aan universiteiten, academische medische centra als ook biotech startups die zich op bovenstaande richten. Dit heeft zich al vertaald in het Soft Advanced Materials project, het Future Medicines Initiative en het Evidence Based Sensing partnership. Dit veld zal in samenwerking met patiënt organisaties een relevante chemische bijdrage kunnen leveren aan een verbeterde gezondheid.

4 Bijdrage Chemie missiethema Veiligheid

Het missiethema veiligheid is afgebakend tot *security*, en richt zich daarbinnen op de volgende missies:

1. Integrale aanpak van georganiseerde criminaliteit
2. Maritieme hightech voor een veilige zee
3. Veiligheid in en vanuit de ruimte
4. Cyberveiligheid
5. Genetwerkt optreden op land en vanuit de lucht
6. Samen sneller innoveren voor een adaptieve krijgsmacht
7. Data en intelligence
8. De veiligheidsprofessional

Bij deze missies liggen expliciete uitdagingen voor de chemie op in ieder geval de gebieden van sensorontwikkeling en geavanceerde materialen. Voor Holland Chemistry zijn hier dan ook zeker gebieden waar de aansluiting gezocht kan worden. Vanwege het meer ondersteunende karakter van de Chemie bij dit missiethema's zal de bijdrage in een later stadium worden uitgewerkt.

5 Bijdrage Chemie aan de Sleuteltechnologieën

Om resultaten te boeken op de vier maatschappelijke thema's is technologieontwikkeling onontbeerlijk. Chemie speelt hier een belangrijke rol. Chemische Technologieën zijn onmisbaar bij het realiseren van de missies die horen bij de maatschappelijke uitdagingen *Energie en Duurzaamheid*, *Landbouw, Water en Voedsel*, *Gezondheid en Zorg* en *Veiligheid*.

In deze *Chem.I.KIA* worden, evenals in de KIA Sleuteltechnologieën, de acht groepen van sleuteltechnologieën gehanteerd zoals die worden gebruikt in het missiegedreven innovatiebeleid. Vanwege de reikwijdte van deze clusters is dit deel van de roadmap uitgebreider dan de omschrijvingen van de bijdrage per maatschappelijke uitdaging. Hieronder worden de benodigde ontwikkelingen genoemd binnen de voor de chemie belangrijkste groepen van sleuteltechnologieën. In de omschrijving staat weergegeven welke MeerJaren Programma's (MJPs) op sleuteltechnologieën door de topsector Chemie worden ondersteund.

1. Chemische Technologieën.

Om gehoor te geven aan de maatschappelijke wens om een hoge levensstandaard te handhaven met een veel kleinere ecologische footprint is de ontwikkeling van nieuwe chemie noodzakelijk.

Bijdragen uit de katalyse, procestechnologie, scheidingstechnologie, materiaalontwikkeling en meet- en detectietechnologie (analytische chemie) zijn noodzakelijk voor de transitie naar een low carbon economy, om nieuwe duurzame routes voor de synthese van chemicaliën te kunnen ontwikkelen, en om nieuwe geavanceerde chemicaliën en materialen te ontwerpen, gebruikmakend van processen met een sterk gereduceerde ecologische footprint. Ook digitalisering speelt hier een cruciale rol om productieprocessen zo efficiënt mogelijk te kunnen monitoren en bijsturen.

Op de korte termijn kan chemie bijdragen aan verbeterde efficiëntie van bestaande processen, nieuwe processen voor de conversie van biomassa naar chemicaliën en het ontwerp van bio-raffinaderijen. Voor het maken van nieuwe functionele materialen moeten nieuwe methoden voor katalysatorontwikkeling, duurzame syntheseroutes, en het verkrijgen van fundamenteel inzicht in mechanismen voor de synthese van complexe functionele moleculen worden ontworpen. Om onze fundamentele kennis van chemische processen verder te brengen worden nieuwe analytische- en modeleertechnieken ontwikkeld, die ook de verdere versterking van elektrochemie en elektrokatalyse ondersteunen.

Op de middellange termijn zullen chemische technologieën bijdragen aan de verdergaande elektrificatie van de chemische industrie, en de overgang naar biomassa als grondstof voor chemicaliën. Ook voor ontwikkelingen in de gezondheidszorg zoals bijvoorbeeld de productie van nieuwe medicijnen levert chemie een belangrijke bijdrage.

Chemische procestechnologie, katalyse en analyse zijn zeer sterk vertegenwoordigd in Nederland, en verenigd in de respectievelijke *Communities of Innovation* [ISPT](#), [NIOK/VIRAN](#) en [COAST](#). Nederlands wetenschappelijk onderzoek in deze disciplines behoort tot de wereldtop, en is relatief sterk toepassingsgericht. Producenten, gebruikers, en academische onderzoekers werken nauw samen in de katalyse, procestechnologie en analytische chemie. Vanuit verschillende topsectoren is de wens gerezen om stakeholders in het materialenveld bij elkaar te brengen om kennisuitwisseling te bevorderen en mogelijkheden voor samenwerking te verkennen. Dit omdat het materialenveld zeer breed is en er vele initiatieven en platforms actief zijn op het gebied van deze sleuteltechnologie. Om dit te realiseren is het landelijk platform MaterialenNL opgericht rond februari 2019 door de topsectoren Energie, HTSM en Chemie. Specifiek op het gebied van polymeerchemie is [DPI](#) een belangrijk verbindend instituut. De onderzoeksvragen vanuit Chemie rond materialen zijn uitgewerkt in de paragraaf [Advanced Materials](#).

Met opmerkingen [FT1]: @Martine: wil je hier een link invoegen naar het betreffende hoofdstuk?

Naast deze gebieden is Chemistry for Life, oftewel Chemie voor de gezondheidszorg, een belangrijke tak binnen de topsector Chemie. Op het gebied van sleuteltechnologieën is hiervoor het MJP *Chemical Technologies for Medical Innovations* ingediend. Binnen de huidige indeling van sleuteltechnologieën valt dit onder *life science technologies*.

a. Chemisch reactor-ontwerp, proces-intensificatie en katalyse

Voor de realisatie van een duurzame chemische industrie en het hergebruiken van een verscheidenheid aan materialen zijn nieuwe reactorontwerpen, bijvoorbeeld voor flow-chemie, verdergaande procesintensificatie, en meer duurzame katalytische processen nodig. Hiervoor werkt de topsector Chemie onder andere mee aan de adviescommissie [voor Elektrochemische Conversie & Materialen \(ECCM\)](#). Deze commissie adviseert de Nederlandse overheid om de overgang te kunnen maken naar een CO₂-neutrale industrie gebaseerd op intermitterende duurzame energieopwekking, -opslag en -conversie. De commissie wordt gesteund in haar missie door de topsectoren HTSM, Energie en Chemie, het ministerie van EZK, het ministerie van OCW, NWO en TNO.

ECCM is het sectoroverstijgende thema om bovengenoemde transitiedoelstelling te bereiken. De commissie coördineert inspanningen op het gebied van ECCM op nationaal niveau, door het initiëren van nieuwe samenwerkingsinitiatieven en door het adapteren van initiatieven die passen binnen het [adviesrapport](#) dat de commissie heeft gepubliceerd. Vanuit nationaal perspectief adviseert de commissie de overheid over welke inspanningen nodig zijn voor samenwerking over de hele innovatieketen.

Daarnaast is de commissie bezig met het opbouwen van een ECCM-gemeenschap van kennisinstellingen, bedrijven, overheden en NGO's. Hiertoe organiseert de commissie conferenties op het gebied van ECCM. In 2019 zal een ECCM-graduate school worden geïntroduceerd om verder te bouwen aan een ECCM-gemeenschap in Nederland.

Voor dit programma zal een MJP worden opgenomen in de overkoepelende KIA sleuteltechnologieën. Daarnaast wordt in die KIA het brede MJP *Katalyse en Procestechologie* opgenomen, geïnitieerd door de topsector Chemie, waarin onder andere (bio)katalyse, ontvlechting van polymeren en procesintensificatie worden geadresseerd.

Binnen de sleuteltechnologie chemische katalyse wordt geprioriteerd op het ontwikkelen van nieuwe katalytische routes voor onder andere de vervanging van radicaalpolymerisaties, voor het gebruik van variabele, biobased feedstock, voor het gebruik van CO₂ en N₂ als grondstof, voor fotokatalyse en C1 chemie. Een belangrijk aandachtspunt is chemische ontvlechting en green chemistry, beide bijdragend aan het echt circulair maken van plastics zodat deze zonder resten van andere materialen zoals katalysatoren of weekmakers gebruikt kunnen worden. Op korte termijn kan chemie bijdragen aan verbeterde efficiëntie van bestaande processen, o.a. door geïntegreerd multi-scale katalysator/reactor ontwerp en de ontwikkeling van nieuwe C1-chemie.

Voor verdere elektrificatie van de chemische industrie en overgang naar een duurzaam systeem zijn ontwikkelingen in de proces-intensificatie, nieuwe koolstof-efficiënte processen en producten, en nieuwe processen voor biotechnologische conversies benodigd. Nieuwe katalytische routes voor de vervanging van radicaalpolymerisaties, begrip van structuur/eigenschapsrelaties en rationeel syntheseontwerp voor nieuwe functionele materialen, en verbeterde procestechologie versterken de zoektocht naar geavanceerde functionele materialen. Fundamenteel onderzoek zal zich op deze termijn moeten richten op het rationaal ontwerp van chemische processen voor de conversie en opslag van energie, en de synthese van nieuwe materialen en moleculen, met als ultieme doel de complete controle over het ontwerp en de operatie van chemische processen van atomaire- tot reactor-schaal. Hier is ook de transitie van batch- naar flow-reactoren belangrijk en de daarvoor benodigde

ontwikkeling van hoog-volume flow reactoren. Hiermee kan tegelijkertijd het transport van gevaarlijke chemicaliën worden beperkt, door bijvoorbeeld chloor ter plaatse te maken.

De sleuteltechnologie biokatalyse kan unieke katalysatoren voor een veelvoud van chemische processen leveren. Dit gaat via een ontwikkelcyclus van het ontdekken van een biokatalytische activiteit, randomiseren, screenen op betere toepasbaarheid, selectie van het beste proces etcetera. Door deze manipuleerbaarheid en maakbaarheid van biokatalysatoren is er vrijwel altijd een mogelijkheid om de juiste katalysator te ontwikkelen. Dit kan betrekking hebben op substraten van hernieuwbare origine, van fossiele origine of hybride combinaties. Dit geldt ook voor substraten en producten van grote moleculaire complexiteit, zoals geneesmiddelstructuren, en labiliteit, en van een groot bereik aan molecuulgewicht: van monomeren tot polymeren. Vitamines en artificial sweeteners zijn voorbeelden van hoogwaardige producten die de biokatalyse mogelijk maakt, net als grotere peptiden en oligosacchariden.

Daarnaast zal een combinatie van bio- en chemokatalyse mogelijk zijn, en zal integraal katalyse – processtechnologie/ reactor ontwerp bijdragen aan een optimale resultaten. Synthese door middel van enzymen wordt eenvoudiger door het ontwikkelen van "step-economic" processen, waardoor minder stappen nodig zijn om een stof te maken. Het combineren van meerdere enzymen kan leiden tot kunstmatige metabolismen, en de mogelijkheid om synthese van meer complexe stoffen in één reactor te doen.

Biokatalyse wordt als groene productiemethode gezien omdat biokatalysatoren als voordeel hebben dat ze niet afhankelijk zijn van schaarse grondstoffen maar steeds opnieuw via fermentatie kunnen worden verkregen. Biokatalysatoren zijn toepasbaar in alle domeinen van de industriële chemie. Het is mogelijk geworden om enzymen te gebruiken om abiotische reacties uit te voeren om verbindingen te maken die niet uit de natuur stammen (b.v. C-B of C-S verbindingen). Biokatalysatoren zijn dus een weg naar het ontwikkelen van nieuwe metabolische processen en bieden alternatieven voor het omzetten van biomaterialen tot producten met meer waarden.

b. Scheidingstechnologie

Chemische scheidingstechnieken en methodieken zullen van groot belang zijn in de overgang naar een circulaire economie. Met technieken als chromatografie, geavanceerde destillatie en extractieprocedures of membraantechnologieën moet waarde gecreëerd worden uit zeer complexe afvalstromen. Moleculen van een grote verscheidend zoals metalen, vetten, zuren en basen zullen met hoog rendement gescheiden moeten worden. Er moeten geschikte technieken ontwikkeld worden om onzuiverheden te verwijderen, zodat hernieuwde grondstoffen met de gewenste zuiverheid en specificaties kunnen worden vervaardigd. Om scheidingstechnologie daadwerkelijk duurzaam uit te voeren moet het energieverbruik van scheidingsprocessen omlaag worden gebracht. Een bijkomende uitdaging voor de nieuwe "scheidingsstechnieken" is het feit dat in de nabije toekomst alleen klimaatneutrale en milieuvriendelijke oplosmiddelen gebruikt kunnen worden.

c. Meet- en detectietechnologie

"Door meten tot weten" geldt ook voor chemische processen. Van chemische processen kan door het verzamelen van veel data een digitale kopie gemaakt worden: een 'digital twin'. Hiermee kan het proces beter worden gemodelleerd en aangepast. Voor een beter begrip van chemische processen zijn meet- en beeldvormingstechnieken nodig met een hoge chemische, temporele en ruimtelijke resolutie. Robuustheid van deze systemen is een voorwaarde voor industriële acceptatie. In de farmaceutische industrie zijn analytische technieken van groot belang om volgens het principe *Quality by Design* te kunnen werken.

Hierbij moet veel aandacht zijn voor zogenaamde in-line/on-line (in-situ) meetmethoden, die geen gecompliceerde monsternamen uit bijvoorbeeld corrosieve reactie condities behoeven. Het onderzoek wat nodig is op dit gebied kan langs vier lijnen worden ingedeeld:

Revoluties in Resoluties (RiR) stelt zich ten doel om de ruimtelijke, tijds- en chemische resolutie van metingen te vergroten. Hierdoor kan met een veel hogere mate van detail naar de werkelijkheid

gekeken worden en kennis verkregen worden. Naast meer detailinformatie met "hoge resolutie" beeld technieken zoals microscopie (Confocal LM, EM, SAXS, LEIS, Fluorescentiemicroscopie, AFM/SPM, NanoIR) zullen hoge-resolutie-technieken zoals 2-dimensionale chromatografie belangrijk zijn. Met betrekking tot chemische structuur-analyse, zullen technieken zoals NMR, MS, Xray met hoge resolutie nodig zijn om complex samengestelde (bio)polymeer complexen te kunnen identificeren.

Orthogonal Analysis Systems (OAS) combineert twee of meer orthogonale chemische, fysische of biologische analysetechnieken om daarmee (cor)relaties tussen chemische, fysische en biologische eigenschappen op te sporen. Voorbeelden hiervan zijn 2D-vloeistof chromatografie gekoppeld aan ion mobiliteit spectrometrie en massa spectrometrie. Dit kan worden ingezet om structuur/eigenschap- en structuur/prestatie-relaties te onderzoeken.

Analysing Intact Systems (AIS) ontwikkelt non-destructieve en non-invasieve analysemethoden om de monstereintegriteit te waarborgen. Dit is zeer relevant in omstandigheden waarin maar weinig monstermateriaal beschikbaar is of het object van onderzoek kostbaar uniek of van menselijke of dierlijke aard is. Hierbij kunnen de spectroscopische technieken zoals NMR-, infrarood- en raman-spectroscopie een voorname rol spelen.

Bringing the lab to the Sample (L2S) stelt zich ten doel om in-situ analyse mogelijk te maken, zodat in veel gevallen met geminiaturiseerde instrumenten gemeten kan worden waar en wanneer daar behoefte aan is. De onderzoekslijn is ook een belangrijke enabler voor zogenaamde Citizen Science.

Nauwkeurige diagnostiek kan mogelijk worden gemaakt met Companion Diagnostics en leiden tot gepersonaliseerde medicijnkeuze (Personalized Medicine). Hierdoor kan de effectiviteit van medische behandelingen ten eerste worden vergroot en ten tweede nauwkeuriger worden voorspeld. In relatie hiermee wordt gedacht aan sensoren en micro-analysesystemen gebaseerd op microfluidics om real-time medicijnconcentraties te kunnen meten. Op deze manier kan voor iedere patiënt de perfecte dosering worden afgesteld en worden gevaarlijke fluctuaties voorkomen. Daarnaast kan met deze methoden point-of-care diagnostiek worden ontwikkeld en kunnen deze meet- en detectietechnologieën worden ingezet voor *genome sequencing and editing*. Ook voor voedselveiligheid en -duurzaamheid kunnen deze sensoren worden ingezet. Hiermee kan preciezer worden bepaald of voedsel van goede kwaliteit is, of er geen gifstoffen in zitten en wat de houdbaarheid is. Bovendien kunnen variabele grondstoffen worden gekarakteriseerd om een uniform eindproduct van hoge kwaliteit te realiseren. Op dit voor meerdere sectoren en missiethema's belangrijke onderzoeksgebied zijn door de topsector Chemie twee MJPs ingediend, namelijk *Meten en Detecteren* en *Evidence Based Sensing*.

d. Micro & macro flow chemische reactoren

Het streven binnen de farmaceutische chemie en farmacie is om batchproductieprocessen te vervangen door 'continuous manufacturing'. Dit houdt in veel gevallen in dat batch reactoren door flow reactoren vervangen zullen worden. Deze transitie wordt mede ingegeven door het beleid van de Amerikaanse FDA. Hierdoor is er een groeiende belangstelling voor flow-chemie op kleine laboratorium- en pilot plant-schaal.

De chemie achter flow-chemische processen is in de basis bekend. Deze processen worden sinds jaar en dag toegepast en krijgen momenteel veel aandacht vanwege de verwachte hoge kwaliteit van de eindproducten, verbeterde veiligheid en lagere milieubelasting door het reduceren van het verbruik van bijvoorbeeld oplosmiddelen. Nederland heeft een goede infrastructuur voor en kennis van micro- en macro flow reactoren.

Het combineren van foto- en elektro-geïnduceerde katalyse met flow-chemie kan worden gezien als een cruciale sleuteltechnologie, die in de nabije toekomst een prominente positie zal innemen. Binnen farmaceutische chemie van bijvoorbeeld AstraZeneca, J&J en Novartis wordt flow-chemie al op pilot plant-schaal toegepast. Bedrijven die in Nederland op dit gebied veel kennis hebben opgebouwd zijn Chemtrix (wereldwijde ontwikkeling, productie en verkoop van micro- en grote schaal (pilot) flow-reactoren) en Innosyn die gezamenlijk met Chemtrix 3D geprinte flow-reactoren toepast in het

ontwerp van nieuwe (foto gekatalyseerde) chemie voor onder andere de farmaceutische industrie. In het ontwerp van chemische routes en het optimaliseren van chemische processen zijn high-throughput experimentation platforms in toenemende mate opgebouwd uit meerdere gekoppelde flow-reactoren. Deze benadering zorgt voor een versnelde ontwikkeling van industrieel gevalideerde productie processen, zeker omdat de chemie in flow-reactoren direct schaalbaar is!

e. Lab-on-a-chip, microfluidics

Lab-on-a-chip systemen zijn, afhankelijk van de toepassing, te classificeren als chemische of life sciencetechnologieën. De technologie wordt dan ook breed ingezet, onder andere in sensor-achtige toepassingen. Ze kunnen worden gebruikt om automatische monitoring van farmaceutische maakprocessen te ontwikkelen. Ook kan hiermee automatische monitoring van voedselproductie worden gerealiseerd. Vanuit de topsector Chemie is op dit onderwerp het MJP 'Chemical Technologies for Medical Innovations' ingediend.

Een andere belangrijke toepassing is het testen van medicatie in organ-on-a-chip systemen. De microfluidic devices kunnen ontwikkeld worden in combinatie met biologische modellen (cellen, weefsel) voor high-throughput testing en dedicated tests en screening waardoor de cyclus van onderzoek tot inzet in de zorg korter wordt. Daarnaast kunnen organ-on-a-chip systemen op termijn dierproeven overbodig maken en een voorspellende waarde hebben voor de werking van medicatie bij proefpersonen en patiënten. De ontwikkeling van implanteerbare devices voor gepersonaliseerde dosering is een belangrijk doel voor de komende jaren. Er is een logische link met het thema *Bringing the lab to the sample* in meet- en detectietechnologie zoals hierboven beschreven.

f. Chemische en mechanische recycling

Om een duurzame economie te realiseren moet er ingezet worden op nieuwe technologieën voor hergebruik van materiaal. Dit kan zowel om mechanische als chemische recycling gaan. Er moeten processen ontwikkeld worden om uit polymeren gemaakte materialen zoals PET opnieuw te gebruiken, maar ook om katalysatoren opnieuw in te kunnen zetten. Karakterisering van afvalstromen speelt hier een belangrijke rol; hiervoor is de meet- en detectietechnologie zoals hierboven beschreven nodig. Daarnaast moeten producten en processen zó worden ontworpen dat ze passen binnen een circulaire economie. In de overkoepelende KIA sleuteltechnologieën wordt op dit thema het MJP 'Circular Plastics' opgenomen.

2. Life Science Technologies

Chemische technologieën en Life Science technologieën hebben veel raakvlakken en overlappende gebieden. Chemie vormt de basis voor veel biochemisch onderzoek zoals biochemische conversie, evenwichtsreacties en biokatalyse, doorgaans samengevat als de "Omics". Alle chemische-analytische methodieken zijn bijna één op één vertaalbaar naar sleuteltechnologieën die in Life Sciences de toekomstige innovaties moeten ondersteunen: bijvoorbeeld sensoren voor ademanalyse of in het algemeen gasanalyse.

Ook binnen de life science technologieën is een hogere ruimtelijke resolutie, ook bij beeldvorming van in-vitro weefsel of levende organismen een belangrijk doel.

Procesanalyse speelt ook binnen de life sciences een belangrijke rol, onder andere ter ondersteuning van de ontwikkeling van zogenaamde "biofarmaceutische stoffen" zoals antistoffen of therapeutische eiwitten. Chemische procesengineering is vergelijkbaar op het gebied van Organ-on-a-Chip en microflow chemie, zeker op het gebied van vloeistofdynamica. Tot slot heeft chemie een belangrijke rol in de klinische diagnostiek.

Het aanpassen en ontwerpen van effectieve chemie aan materiaal oppervlakten, heeft in Nederland een sterke positie en is van groot belang voor LSH-platformen zoals RegMedXB, de biomedische

materialen ontwikkelingen, en welhaast de meest voor de hand liggende "3D printen en polymeer chemie" van medicijn formuleringen. Moderne zelf organiserende polymeerdeeltjes met zeer specifieke chemische (reactieve groepen) of biologische (celproliferatie) eigenschappen worden ontwikkeld om aan de uitdagingen voor "gepersonaliseerde en vooral ook precisie" behandelen te voldoen. Een zestal specifieke sleuteltechnologieën met een sterk chemisch karakter zijn:

a. Biosensoren

Hier is een belangrijk aandachtsgebied de ontwikkeling van sensoren voor continue biomarker-monitoring in zowel levende organismen (point-of-care diagnostiek, dosiscontrole) als voor biofarmaceutische productieprocessen. Het specifiek chemisch modificeren van de oppervlakten van sensoren, teneinde zeer specifieke eiwitten aan het oppervlak te immobiliseren vraagt om nieuwe beter begrepen oppervlaktechemie en technologieën die dat proces weer kunnen controleren.

b. Bio-active sensing and actuation devices

Veel lab-on-a-chip en biosensor ontwikkelingen zijn gebaseerd op herkenningssystemen uit de biologie. Hierbij worden bijvoorbeeld DNA en antilichamen gebruikt om DNA sequenties, eiwitten, cellen/pathogenen, contaminanten in voeding en milieu te detecteren.

c. Organ on a chip

In dit nieuwe, innovatieve modelsysteem kunnen eigenschappen van meerdere organen nagebootst en gecombineerd worden. Op deze manier kan de interactie tussen verschillende organen worden bestudeerd en de opname en het effect van medicatie tegelijkertijd in meerdere organen bestudeerd worden. Op deze manier is dit een toevoeging aan andere modelsystemen. Er is een duidelijke link naar de maatschappelijke uitdagingen 'Gezondheid en Zorg' en 'Landbouw, Water en Voedsel'.

d. Microfluidics, microreactoren, sensing in living organisms

Bij het maken van medicijnen speelt chemie een grote rol. Een goed voorbeeld is de ontwikkeling van nieuwe antibiotica. Hiervoor worden ook de microfluidic devices in de vorm van microflowreactoren, beschreven onder chemische technologieën, ingezet. Vanuit de topsector Chemie is op dit onderwerp het MJP *Chemical Technologies for Medical Innovations* ingediend. Op het gebied van gezondheid speelt ook *advanced material-body interactions*: hier kan bijvoorbeeld gedacht worden aan het meten van microplastic-accumulatie in levende organismen en het in kaart brengen van luchtverontreiniging en de toxiciteit daarvan in stedelijke en industriële omgeving.

e. Imaging Technologies

Beeldvormende technieken zoals optical coherence tomography, NMR en PET zorgen voor steeds betere resolutie en meetbereik in de life science technologies. De ontwikkeling van hulpstoffen hiervoor zoals betere contrastmiddelen is de komende jaren een belangrijk aandachtspunt.

f. Gewasbescherming

Belangrijke doelen voor de komende jaren zijn de ontwikkeling van doelgerichte, soortspecifieke gewasbeschermers die bovendien milieuvriendelijk zijn. Er zijn biologisch afbreekbare gewasbeschermers nodig die wel een voldoende lange levensduur hebben om effectief te zijn.

3. Advanced Materials

Kunstmatig gemaakte materialen zijn de bouwstenen van onze samenleving. Ontwikkelingen op het gebied van materiaalchemie hebben al sinds de steentijd talloze nieuwe technologieën en toepassingen mogelijk gemaakt en zullen dat nog lang blijven doen. Nederland heeft een zeer sterke positie in het onderzoek naar geavanceerde materialen en een hoge ambitie om voorop te lopen op het gebied van 'rational material design'. Vanuit verschillende topsectoren is de wens gerezen om stakeholders in het materialenveld bij elkaar te brengen om kennisuitwisseling te bevorderen en mogelijkheden voor samenwerking te verkennen. Dit omdat het materialenveld zeer breed is en er vele initiatieven en platforms actief zijn op het gebied van deze sleuteltechnologie. Om dit te realiseren is het landelijk platform MaterialenNL opgericht rond februari 2019 door de topsectoren Energie, HTSM en Chemie. Dit platform van platformen heeft inmiddels op 2 juli haar eerste overleg gehad, waarin het opstellen van een vernieuwd Materialenrapport 2020 en een Materialencongres 2020 is besproken.

Het onderzoek naar materiaalchemie moet op de korte termijn worden gefocuseerd op het fundamentele, mechanische inzicht in functionaliteiten en eigenschappen van geavanceerde materialen. Op de (middel)lange termijn zal dit inzicht en begrip leiden tot de mogelijkheid om rationeel materialen te ontwerpen. Fundamenteel onderzoek naar de functionaliteit en eigenschappen van materialen is hiervoor een vereiste, inclusief (voorspellende) modelontwikkeling van materiaalsamenstelling en eigenschappen. Recycling van materialen speelt hier een belangrijke rol. Het eerder genoemde MJP 'Circular Plastics' behandelt onder meer dit onderwerp. Specifiek voor de ontwikkeling van bio/soft materials wordt het MJP *Soft Advanced Materials* opgenomen in de overkoepelende KIA sleuteltechnologieën, wat een uitbreiding van het reeds lopende onderzoeksprogramma op dit thema betreft.

Binnen het onderzoeksveld chemie van geavanceerde materialen zijn er drie hoofdtaken te onderscheiden: materialen met toegevoegde functionaliteit, dunne films en coatings en materialen voor duurzaamheid.

a. Materialen met toegevoegde functionaliteit

De maatschappij moet meer bereiken met minder: bijvoorbeeld een vliegtuig met een lager gewicht maar een betere performance. Vaak moet er ook functionaliteit toegevoegd worden. Denk bijvoorbeeld aan materialen die zo ontworpen worden dat ze een bepaalde thermische of mechanische reactie hebben, of zich kunnen aanpassen aan de omgeving. Materialen die meerdere functionaliteiten combineren, 'slimme materialen', voegen maatschappelijke en economische waarde toe. Onder dit onderzoeksgebied vallen ook biorelated en soft materials (materialen voor implantaten, gerichte medicijnafgifte), composieten en ceramics, designer en metamaterialen, optische / elektronische / magnetische materialen. Voor het ontwikkelen van dergelijke materialen zijn nieuwe methodes nodig voor synthese, karakterisatie en verwerken van deze materialen.

b. Dunne films en coatings

In dunne films en coatings heeft het oppervlak effect op de eigenschappen van het materiaal. Daarnaast kan het oppervlak bepaalde functionaliteiten toevoegen bij het gebruik van het materiaal. Komende jaren moet worden ingezet op het ontwikkelen van 'smart surfaces'. Onder deze groep valt onderzoek naar slimme, inclusief 2D materialen zoals grafeen, en slimme / zelf-helende / zelf-organiserende materialen met toepassingen bij bijvoorbeeld wind op zee. evenals bio(related) materials en soft materials.

c. Materialen voor duurzaamheid

Uiteindelijk moet materiaalontwikkeling leiden tot een kleinere *ecofootprint* en onder andere door circulariteit tot minder afhankelijkheid van geopolitieke ontwikkelingen (voorzieningszekerheid). De voorraad fossiele brandstoffen en ruwe materialen neemt af en klimaatverandering dwingt samenlevingen om nieuwe, duurzame bronnen en materialen te gebruiken. Daarnaast moeten materialen worden ontwikkeld om energie op te slaan, duurzaam energie op te wekken en om te zetten, en om schaarse materialen te vervangen. Hiervoor loopt bijvoorbeeld het [ECCM-programma](#), waarvoor de topsector Chemie ook een MJP heeft ingediend. Komende jaren moet worden ingezet op ontwikkeling van materialen voor energie conversie en opslag en op bio (related) materials en soft materials.

4. Photonics and Light Technologies

Fotonica is een sleuteltechnologie die veel gebruikt wordt in de chemie, en waar voor chemische (sensor)toepassing veel ontwikkeling aan gedaan wordt. Hierbij kan gedacht worden aan de klassieke spectroscopische technieken zoals UV/VIS, mid- and nearby-IR, Raman, maar ook fluorescentie- en fosforescentiespectroscopie, die standaard toegepast worden als meet- en detectietechnologie voor de structuuranalyse van polymeren en chemicaliën.

Combinaties van spectroscopie en microscopie (confocale fluorescentiemicroscopie, or IR/Raman imaging) worden onder andere toegepast om de kristallijne polymorfie van kleine moleculen te bepalen.

Met name door de ontwikkelingen in de geïntegreerde fotonica, waarin Nederland een leidende rol heeft (PhotonDelta), zijn er heel veel mogelijkheden om lab-instrumenten te miniaturiseren. De toepassing van nabij-infrarood spectroscopie (NIR) in de chemische industrie is wijdverspreid in een grote verscheidenheid van processen. Ook in Organ-on-Chip systemen is de toepassing ervan onontbeerlijk. Nu zijn deze toepassingen vaak nog gebaseerd op (fluorescentie)microscopie maar in de toekomst zal dit zich meer en meer richten op geïntegreerde (bio)sensoren. Daarnaast kan photonica worden ingezet om materiaaleigenschappen te veranderen, door bijvoorbeeld de actieve stof in medicatie te (de)activeren na inname.

5. Digital technologies

Digital technologies is een *enabler* voor doelen die beoogd worden voor de "fabriek van de toekomst". Onder deze term worden meerdere hard- en softwaretechnieken samengebracht. Dit omvat sensortechnologieën zoals onder andere bij Meet- en detectietechnologie beschreven staat, dataprocessing (chemometrie, de vertaling van data naar informatie), en de verwerking en doorzoeking van grote databanken. In de Suchem SIRA, die als basis voor het Horizon Europa programma van SPire zal dienen, vormen de "digital technologies" een van de drie pilaren van de R&D strategie. Digital twins kunnen worden gebruikt voor smooth operational excellence en de transitie naar flexibele customized manufacturing. Er moet worden gestreefd naar een systeem waarbij productieprocessen volledig geautomatiseerd kunnen worden gestuurd: operator-free manufacturing. Ook bij *safe by design* speelt dit een belangrijke rol. Nieuwe digitale technologieën zullen het mogelijk maken om materiaaleigenschappen beter te kunnen voorspellen.

6. Engineering and Fabrication Technologies

Hoewel chemische en biotechnologische engineering al meerdere "engineering & fabrication technologies" omvatten, is er duidelijk de noodzaak om aandacht aan integrale proces engineering te geven. Het onderwerp van chemische sites, het management van ingangs-, afval- en recyclestromen zoals het hergebruik van materialen en het zuiveren van water vóór en na gebruik vragen om deze "proces engineering methoden". Binnen deze sleuteltechnologieën vallen een aantal voor de chemie zeer relevante onderdelen, zoals additive manufacturing, sensors and actuators, cyberphysical systems en high-frequency and mixed signal technologies. Cyberphysical systems om de digitale data die in een chemische installatie gegenereerd worden, op een veilige manier te verkrijgen en verwerken, zonder enige vorm van betrokkenheid van ongewenste partijen verdient veel aandacht. Hetzelfde geldt voor de high-frequency and mixed signal technologies.

Voor additive manufacturing geldt dat op termijn biomedische materialen, katalysatoren, reactoren maar ook voedsel en medicatie via 3Dprinting gemaakt moeten kunnen worden. Ook continuous manufacturing wordt dan mogelijk waardoor chemische processen anders ontworpen kunnen worden. De mogelijkheid tot recycling speelt hier een belangrijke rol. Vanuit de topsector Chemie is hiervoor het MJP 'Chemische Recycling' ingediend.

Bijdrage aan KIA 6: Omgevingsveiligheid (SDN)

Vooralsnog is slecht één meerjarenprogramma voor de 6^e (topsectorspecifieke) KIA ingediend:

Safety Delta Nederland - (petro)chemische industrie in een veilige omgeving

Penvoerder

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (in afwachting van de oprichting van de entiteit 'Safety Delta Nederland' later dit jaar)

Nederland is dichtbevolkt, verschillende functies vinden dicht op elkaar plaats. De maatschappelijke impact van incidenten en de risico's bij aanwezigheid van gevaarlijke stoffen in ons milieu zijn daarom groot. Voor bedrijven is veiligheid dan ook niet minder dan een 'license to operate' en voor de maatschappij als geheel is het creëren van een gezonde en veilige leefomgeving een 'must'.

In die context staan we voor zowel grote uitdagingen als kansen. Veiligheidsuitdagingen vanwege de veiligheidsimplicaties van nieuwe ontwikkelingen rond bijvoorbeeld de energietransitie, de grote (petro)chemische industrie (44.000 banen, 10^e ter wereld), de steeds breder gevoelde noodzaak om blootstelling aan zeer zorgwekkende stoffen te vermijden en de stormachtige ontwikkelingen rond nanomaterialen en biotechnologie. En economische kansen om optimaal gebruik te maken van Nederland als kennis- en innovatieland.

Beoogde aanpak

Nederland zet hoog in met de (op te richten) Safety Delta Nederland. Hierin werken overheid, het bedrijfsleven en de wetenschap structureel samen om van de Nederlandse (petro)chemische industrie de veiligste ter wereld te maken (zie voor volledige lijst met *partners van de SDN* de paragraaf 'ecosysteem'; als juridische entiteit wordt SDN dit jaar opgericht).

De ambitie van de SDN (niet alleen zeer veilig, maar ook *veiligste in relatie tot andere landen*) houdt in dat niet alleen omgevingsveiligheid op zich en behoud van de 'licence to operate', maar ook economische kansen rond vestigingsklimaat en de vermarkting en export van kennis een essentieel onderdeel van de SDN vormen: Nederland als topregio voor de ontwikkeling en toepassing van veiligheidsinnovaties in de (petro)chemie. De Safety Delta Nederland gaat daarmee wezenlijk verder dan het programma Programma Duurzame Veiligheid 2030, dat aan de wieg stond van de triple-helix samenwerking die heeft geleid tot deze ambitie.

De samenwerking vindt onder andere plaats langs de sporen innovatie, kennis en 'trusted partners' (vertrouwen binnen triple-helix en tussen bedrijven als het om veiligheidsissues gaat).

Cross-sectoraal

Op het gebied van omgevingsveiligheid, en dus op het gebied van de Safety Delta Nederland zijn talloze 'cross-sectorale links' te benoemen. Zeer interessant is in dit verband de 'driehoek' Omgevingsveiligheid, Safe by Design en Sleuteltechnologieën.

De SDN ambities en ook het borgen van de bescherming van mens en milieu tegen risico's van gevaarlijke stoffen, kunnen alleen bereikt worden als veiligheid vast verankerd is in de ontwerpfase. Daarom moet sterk worden ingezet op kennis en innovatie 'aan de voorkant', bij het ontwerp van nieuwe materialen, producten en processen. De link met kennis- en innovatieontwikkelingen in programma Safe by Design is dan ook essentieel. Dit programma is veel breder dan de (petro)chemische industrie. Het richt zich op een nieuw verantwoordelijkheidsbesef rond 'veiligheidsdenken' bij ontwerpers, van studenten tot onderzoekers en van MKB tot multinationals. In dit kader zijn o.a. samenwerkingsagenda's afgesloten met universiteiten van Delft (TUD) en Wageningen (WUR). Belangrijke focus ligt hier op kennis en innovatie rond nanomaterialen, biotechnologie, advanced materials, chemische stoffen en (al dan niet chemische) alternatieven voor functies waar ZZS (zeer zorgwekkende stoffen) worden gebruikt.

En als we het over de (petro)chemische sector of over Safe by Design hebben is het moeilijk een ontwikkeling van sleuteltechnologieën te bedenken die géén relatie heeft met omgevingsveiligheid.

Dit geldt dus ook ontwikkeling rond deze technologieën in andere sectoren dan de (petro)chemische industrie.

Welke kennis- en innovatievraagstukken zijn te benoemen in het programmavoorstel?

Om de doelstellingen en ambities te halen zijn 7 essentiële innovatie trajecten benoemd:

- Persoonlijke fouten zonder gevolgen
- Snelle detectie
- Geavanceerd corrosie management
- Voorkomen werken in besloten ruimtes
- Veilige circulaire pyrolyse chemie
- (Nieuwe) kennis op de juiste plek
- Veiligheid door een trusted 3-helix partnership

Per innovatie-traject zijn de afgelopen maanden 'onderzoeksvragen' geformuleerd (aan de hand van input uit de industrie, de wetenschap en overheid), waarop antwoorden gevonden zullen moeten worden. Aan veel van deze onderzoeksvragen wordt al gewerkt, een aantal ervan is wel benoemd maar nog niet opgepakt, en wellicht blijkt de komende jaren dat er nog essentiële vragen onbenoemd zijn gebleven of vragen overbodig blijken (beide mogelijk als gevolg van nieuwe ontwikkelingen).

Om het antwoord op deze onderzoeksvragen te verkrijgen, worden minimaal 11 focusgebieden onderscheiden waarop onderzoek en ontwikkeling nodig is (academische R&D, industriële R&D en/of meer hybride zoals niet-academische centra m.b.v. (keten)partnerships)

- Robotics
- Inspectie technologie
- Artificiële intelligentie
- Modelleren
- Machine learning
- Virtual & augmented reality
- Wireless sensors
- Materiaal ontwikkeling
- Operational excellence
- Standaards
- Leren van incidenten

In de **BIJLAGE "SDN INNOVATIE TRAJECTEN"** is de relatie tussen ambities en doelen, de innovatietrajecten, de onderzoeksvragen en de focusgebieden schematisch weergegeven.

Afstemming met andere KIA's

KIA Energietransitie en Duurzaamheid en KIA Sleuteltechnologieën

Zoals eerder vermeld is er een sterke link met Safe by Design en met de ontwikkelingen rond Sleuteltechnologieën. Daarom zal voor het behalen van de SDN-doelstellingen, naast uitvoering van het eigen programma, ook afstemming plaats moeten vinden met de KIA voor Energietransitie en Duurzaamheid (incl. circulaire economie en circulair design) en de KIA Sleuteltechnologieën. En niet alleen bij het opstellen van de KIA's maar ook bij het opstellen van de KIC, het uitvoeren van de KIA's en niet te vergeten het *plukken van de vruchten van innovatie*.

Sleuteltechnologieën waar op gelet moet worden omdat ze naar verwachting een grote rol gaan spelen in de veiligheid van de (petro)chemische industrie zijn onder andere fotonica (bijvoorbeeld optische systemen voor temperatuurmeting, controle), kunstmatige intelligentie (bijvoorbeeld robottechnologie in productieproces, onderhoud en beveiliging etc.), nanotechnologie (bijvoorbeeld nanokatalysatoren in chemische reacties) en quantumtechnologie (bijvoorbeeld ontwikkeling sensitieve systemen voor monitoring van olie en gas depots of constructies).

Voor *safe design* van chemische stoffen, materialen, producten en processen bestaan de volgende uitdagingen, die een sterke link met omgevingsveiligheid hebben en hetzij in de 6^eKIA (als onderdeel van Omgevingsveiligheid), hetzij in de KIA Energietransitie en Duurzaamheid terecht zouden moeten komen (als onderdeel van Circulaire Economie):

- Thematische 'research and development' voor het herontwerpen van toepassingen waarin nu nog zeer zorgwekkende stoffen worden gebruikt, zoals beschreven in de Safe Chemicals Innovation Agenda. Dit richt zich zowel op het voorkomen van emissies waaraan mens en

milieu kunnen worden blootgesteld als op een Circulaire Economie waarin hergebruikte materialen en producten veilig zijn.

- Voor het vervangen van zeer zorgwekkende stoffen zal nadrukkelijk verder moeten worden gekeken dan alleen naar vergelijkbare andere stoffen - ook de functionaliteit van het betreffende product of proces zal bezien moeten worden om innovatie vanuit andere invalshoeken mogelijk te maken.
- Methodologische ontwikkelingen om safe design te integreren in het ontwerpproces, incl. ontwikkeling van betere risico-assessmentmethoden om nieuwe ontwikkelingen in vroeg stadium te kunnen testen.
- Het vormgeven van safe chemical design als nieuwe interdiscipline. Dit vraagt o.a. om integratie tussen chemie, toxicologie, industrieel ontwerp en circulair ontwerp en het opzetten van nieuwe netwerken, onderwijsprogramma's en ondersteunende infrastructuur voor bedrijven.

En daarvoor is weer kennis en innovatie rond de sleuteltechnologieën zoals nanotechnologie, nieuwe biotechnologie en advanced materials (bijv. combinatie van nano, bio, robotica) bijzonder relevant. Nieuwe vormen zullen vaak heel snel en in kleine hoeveelheden op de markt komen. En steeds vaker zal het complexere hybriden betreffen die de grenzen van de regelgeving en daarmee ook de voorgeschreven risico-assessmentprocedures overschrijden.

Overige KIA's

Verder zijn er overduidelijke links met de ontwikkelingen op het gebied van Security (KIA Veiligheid) en van Mobiliteit (bijv. in relatie tot logistiek van chemische producten).

3. Ecosysteem (max 250 woorden)

Welke clusters, kennisinstellingen, overheden en private partijen maken deel uit van het ecosysteem rondom dit MJP en onderschrijven het?

SDN is een samenwerking tussen

- de (petro)chemische industrie (incl. toeleveranciers, contractors etc.)
- de overheid (als beleidsmaker, bevoegd gezag en toezichhouder)
- de toegepaste wetenschap en onderzoek en onderwijs.

Partners SDN (tot nu toe...)

Industrie

Dow, Shell, Koninklijke VNCI (Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie), VNO NCW, VNPI (Vereniging Nederlandse Petroleumindustrie), Veiligheid Voorop, Verbond van Handelaren in Chemische Producten, VOTOB (Vereniging van Nederlandse tankopslagbedrijven)

Overheid

BRZO+, Gemeente Barendrecht (ik weet niet hoe deze gemeente berokken is, beslissing Bas ?), Inspectie Leefomgeving en Transport, RWS, Inspectie SZW, IPO, Ministerie van EZK, Ministerie van IenW, Ministerie van JenV, Ministerie van SZW, Omgevingsdienst Midden- en West-Brabant, Omgevingsdienst Midden-Holland, Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied, RUD Zuid Limburg, VRR (Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond)

Wetenschap, onderzoek en onderwijs

RIVM, TNO, TU Delft, University of Twente, Instituut Fysieke Veiligheid, Chorda, STC Training & Consultancy, Tauw, World Class Maintenance

Overige belangrijke spelers

TKI chemie, Campus en Science parken (o.a. Brightlands), overige kennis- en onderwijsinstellingen, overige decentrale overheden en overheidsinstanties

Indirect

Spelers in de triple helix op het gebied van:

- de energietransitie
- ontwikkeling sleuteltechnologieën
- Ontwikkelingen rond circulair design en safe by design
- Security
- Mobiliteit, logistiek, vervoer
- Ruimtelijk-, veiligheids- en milieubeleid

Welke relatie is er met andere nationale, regionale en/of Europese (inhoudelijke) initiatieven?

- De SDN beoogt o.a. samenhang te brengen in de meer dan 100 bestaande nationale en regionale inhoudelijke initiatieven door deze bijv. te bundelen en te coördineren. Onderdeel daarvan is de inventarisatie van initiatieven die i.h.k.v. SDN reeds is uitgevoerd en mede tot input van dit document heeft geleid.
- Hoewel de focus van SDN nationaal is, houden de doelen om een beter vestigingsklimaat te creëren in Nederland voor zowel Nederlandse als buitenlandse bedrijfsleven, en om de opgedane kennis en innovatie te kunnen vermarkten, ook in dat buitenlandse initiatieven goed op de radar moeten staan.
- Vanuit het SDN zijn zeer waarschijnlijk links te leggen met onderdelen met het EU Horizon programma binnen Nederland (moet nog verder uitgezocht worden)
- Het is waarschijnlijk dat er verbanden komen met de industriële regio's rond Aken en Antwerpen.
- Veel partners van de SDN opereren ook internationaal.

Bouwt het voort op een bestaand programma of is het een nieuw initiatief?

De Safety Delta Nederland is een nieuwe organisatie, die zelfs al vóór de officiële oprichting als juridische entiteit (later dit jaar) vele partners heeft.

De ambitie 'veiligste (petro)chemische industrie ter wereld' kan worden beschouwd als een belangrijk resultaat van de (1 juli 2020 aflopende) samenwerking tussen overheid, (petro)chemische industrie en wetenschap in het programma Duurzame Veiligheid 2030 (DV2030; o.a. besproken in de kamerbrief over een 'schoon, gezond en veilig Nederland' van 5 juni 2018). Dit programma heeft als doelstelling dat in 2030 geen noemenswaardige incidenten meer zullen plaatsvinden. In 5 'roadmaps' wordt hierin samengewerkt aan verbetering van de veiligheid door verduurzaming van het assetmanagement, een integrale uitvoering van beleid, transparantie van de sector, ruimte voor (petro)chemische clusters en de ontwikkeling van een hoogwaardig kennis-ecosysteem.

4. Belang voor de topsector(en) (max 250 woorden)

Welke topsector(en) zijn betrokken bij dit programmavoorstel en waarom?

TKI chemie

Hoe draagt dit programmavoorstel bij aan het versterken van de kennisbasis van topsector(en) en samenwerking van de topsector(en) en kennisinstellingen?

Het hele programma is gericht op:

- Het vergroten van de kennisbasis rond het thema 'omgevingsveiligheid' door praktisch en theoretisch onderzoek in de sector en bij kennisinstellingen
- Een betere inzet van de bestaande en nieuwe kennis, zowel i.r.t. tot de eigen veiligheid als voor vermarkting en het verkrijgen van een goed vestigingsklimaat
- En verbetering van de structuren die ervoor nodig zijn om voorgaande te bewerkstelligen, incl. samenwerking, onderwijs, kennisdeling etc.

5. Verdienvermogen (max 250 woorden)

Op welke wijze richt het voorstel zich op het verdienvermogen, waar liggen de economische kansen en hoe worden die verzilverd? Hoe worden startups en scale ups, innovatief MKB en nieuwkomers betrokken?

Het 'relatieve' aspect van de ambitie (veiligste ter wereld betekent feitelijk *in relatie tot andere landen*) verraadt dat niet alleen omgevingsveiligheid op zich en behoud van de 'licence to operate', maar ook economische kansen rond vestigingsklimaat en vermarkting en export van kennis een essentieel onderdeel van de SDN vormen.

Dit betekent feitelijk dat niet alleen de (petro)chemische sector (de spil in dit programma), maar ook iedere andere speler die opereert in deze Safety Delta (lees: Nederland) hiervan kan profiteren.

In principe kan iedereen die een rol speelt in het vergroten van de omgevingsveiligheid, hetzij door kennis te ontwikkelen, hetzij door deze toe te passen, actief participeren in de SDN. Om de Safety Delta te doen slagen wordt i.i.g. gezocht naar samenwerking binnen de veiligheidsregio's (grotweg in te delen in de regio's rond de 6 grote chemie-clusters in Nederland), en tussen deze regio's onderling.

6. Financieel (tabel)

Geef een indicatie van benodigde publieke en private financiering op jaarbasis (Welke financiële private commitments zijn reeds gegeven)?

De financiering van de SDN zal grotendeels uit bestaande budgetten moeten komen. Om de SDN te laten slagen wordt gedacht aan de volgende uitgangspunten:

- Door het SDN voorkomen we minimaal 1 serieus incident per jaar in NL met een equivalente waarde van 10 miljoen (MM) euro aan directe en indirecte schade (NB dit is een zéér conservatieve schatting).
- Veiligheidsinvesteringen hebben een pay-out van minder dan 0.5, d.w.z. dit vereist voorlopig een investering van 20 MM euro per jaar in NL.
- Als we aannemen dat we voor de helft van de vereiste investering aanhaken bij lopende initiatieven (industrie technologie, TNO, scienceparken etc.), gestimuleerd door hogere efficiency m.b.v. SDN en aangevuld met inhoudelijke 'winst' uit cross-overs met bijv andere KIA's (Sleuteltechnologie, Energietransitie en Duurzaamheid, Veiligheid(/security), dan hebben we 10 MM euro "autonome" investering in SDN nodig.
- Dit zou je kunnen splitsen in 5 MM euro industrie, en 5 MM euro overheid
- Voor 300 chemische BRZO-bedrijven betekent dit bijvoorbeeld jaarlijks bij een 80/20 distributie, een extra investering van $10 \times 300 + 90 \times 20 + 200 \times 1$ euro ($\times 1000$), waarvan circa 90 % in kind (fte's)
- Voor de overheid betekent dit bijvoorbeeld 1 MM euro cash voor SDN organisatie, 1,5 MM euro in kind overheid resources (RIVM etc.) en 2,5 MM toegekende KIA gelden (aanvraag wordt aan gewerkt)
- Na 5 jaar zou je bij 20 MM per jaar gecombineerd, waarvan 1 MM SDN organisatie kosten per jaar, de kennisacademy volledig functionerend op zijn plek moeten hebben voor circa 25 MM, en 5 ambities gerealiseerd moeten hebben voor 15 MM per ambitie (exclusief gerelateerde bedrijfskapitaal investeringen)
- Het overgrote deel van het budget wordt uiteindelijk betaald door beter gebruik van bestaande budgetten.

ZIE VOLGENDE PAGINA VOOR TABEL MET EERSTE INSCHATTING FINANCIERINGSBEHOEFTE

Per jaar		Industrie		Overheid		Wetenschap/hbo	
		Cash	In kind	Cash	In kind	Cash	In kind
Ambities	ontwikkelen		2.5 (5x0.5) (d)			1,75 (5x0,35)	
	implementatie						
Kennis	ontwikkelen		2.0 (5x0.4) (e)		1.5 (c)	0,75	
	distributie	0,5 (a)					
Trusted partnership	organisatie			1.0 (b)			
	communicatie						

10 MM euro "autonome" investering in SD
(Naast 10 MM "aanhaken bij lopende initiatieven")

- (a) Regionale veiligheidsnetwerken versterken
- (b) SDN organisatiefunding inclusief ambitie managers, admin en communicatie
- (c) Bestaande kenniscentra inbrengen (RIVM e.a.)
- (d) Specifieke resources binnen de asset voor inhoudelijke ontwikkeling van de ambitie
- (e) Inhoudelijke bijdrage aan de kennisvergaring en deling

(NB Onderstaande tabel nog niet goed in te vullen op deze korte termijn)

<i>bron</i>	Benodigd totaal	Nog te verwerven	Verworven commitment
<i>Private middelen</i>			
<i>PPS toeslag</i>			
<i>TO2 middelen</i>			
<i>NWO</i>			
<i>Universiteiten/hogescholen</i>			
<i>Regionale middelen</i>			
<i>Departementale middelen</i>			
<i>EU middelen</i>			
<i>ROMs en InvestNL</i>			
<i>Anders, namelijk:</i>			
Totaal bedrag (mln EUR per jr)			