



Actieagenda

Procestechnologie

2025

Versie 1.0 | 22 december 2025





Kennis- en Innovatie Agenda
Sleuteltechnologieën

Bezoekadres

Winthontlaan 2
3526 KV Utrecht
+31 (0)30 - 6001 328

Postadres

Postbus 3021
3502 GA Utrecht
The Netherlands

Actieagenda

Procestechologie

2025

Versie 1.0 | 22 december 2025



Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1. Inleiding	9
2. Analyse: de kansen van procestechnologie	12
2.1. Kracht van het Nederlandse ecosysteem	12
2.2. Kansen en uitdagingen	12
2.3. Internationale positionering	14
2.4. Kansen voor de toekomst	17
3. Ambitie	19
3.1. Ambitie uit de NTS (2024)	19
3.2. Economische en maatschappelijke opgave	19
3.3. Innovatieopgave	20
3.4. Kennis- en technologieopgave	20
3.5. Ecosysteemopgave	21
4. Innovatieprogramma	22
4.1. Programmastructuur	22
4.2. Bouwen op bestaande activiteiten	23
4.3. KPIs	24
5. Toepassingsgebieden	27
5.1. Duurzame Koolstofhub Noordwest-Europa	27
5.2. Kritieke Grondstoffen	36
6. Technologische verdieping in procestechnologie	46
6.1. Ontwerp voor kostenefficiëntie, schaalbaarheid en circulariteit	46
6.2. Digitalisering, AI en datascience als versneller en ontwerpmotor	46
6.3. Systeemintegratie en opschaling	47
7. Ecosysteemactiviteiten	49
8. Organisatie	51
8.1. Financiering	52
9. Vervolg programma ontwikkeling	53

Samenvatting

Nederland: circulaire grondstoffenrotonde (Noordwest-)Europa

Nederland en de Europa staan voor de uitdaging om in een zeer volatiele geopolitieke situatie hun economie te versterken, de samenleving te verduurzamen en weerbaarder te maken. De EU heeft met het Rapport van Draghi een heldere analyse en een actieplan opgeleverd, wat nu implementatiekracht vereist. Oud-ASML CEO Peter Wennink heeft het Draghi rapport vertaald naar de Nederlandse context door met ideeën te komen voor het versterken van het Nederlandse verdienvermogen en investeringsklimaat.¹ Hierbij zijn de randvoorwaarden voor het mogelijk maken van investeringen en hieraan gekoppelde economische groei helder in beeld gebracht. Economisch kansen voor veelbelovende technologieën en markten zijn benoemd en 51 door het bedrijfsleven geïnitieerde vlaggenschipprojecten zijn geïdentificeerd.

De route naar toekomstige welvaart

Peter Wennink: “Het is essentieel om te focussen op domeinen waar Nederland een strategische positie op kan bouwen en behouden. We moeten inzetten op hoogtechnologische niches waarin we onderscheidend zijn. Deze zijn moeilijker te imiteren en kunnen daardoor een duurzamer concurrentievoordeel opleveren. De focus in het rapport ligt daarom op vier domeinen:

- Digitalisering & AI;
- Veiligheid & Weerbaarheid;
- Energie- & Klimaattechnologie;
- Life sciences & Biotechnologie.

Deze domeinen zijn samen bepalend voor onze toekomstige welvaart en vormen de ruggengraat van de grote transitie van deze eeuw. Mede door hun internationale maatschappelijke relevantie kennen de domeinen een explosief groeiende vraag en bepalen ze in toenemende mate de geopolitieke machtsverhoudingen. Door gericht te investeren in deze gebieden, kan Nederland zijn strategische relevantie binnen Europa en de wereld versterken, en bijdragen aan de oplossingen voor de grote uitdagingen van deze tijd.”

Vanuit de (chemische en procestechnologische) industrie zijn tijdens de verschillende gesprekken en rondetafeldiscussies twee grote kansen voor de Nederlandse/Noordwest-Europese economie naar voren gebracht die in het Wennink-rapport zijn opgenomen:

- Het opzetten van een duurzame koolstofhub: door vergroening van krakers, vergassing, methanol-to-olefines, biobaseerde chemie, circulaire kunststoffen, afvalrecycling en CCU – investeren in nieuwe waardeketens met verdienpotentieel en behoud van de sterke clusters.

¹ De route naar toekomstige welvaart; Een sterk Nederland in een relevant Europa, Rapport Wennink (dec.2025)



- Zorgen voor de beschikbaarheid van kritieke grondstoffen door middel van circulariteit en/of het ontwikkelen van alternatieven voor hightech, energiesystemen, chemische industrie, defensie, enz.

Elektrificatie (met groene stroom) van thermische processen is hierbij nodig, om fossiele energie (aardgas en olie) te vervangen, en het gebruik van groene waterstof, voor het verminderen van CO₂-uitstoot en het sluiten van koolstofkringlopen.

Beide onderwerpen dragen bij aan de ontwikkeling van drie van de focusdomeinen uit het Wennink-rapport, terwijl AI en digitalisering een innovatie-impuls zullen geven.

Europese en Nederlandse klimaatdoelen², de Critical Raw Materials Act (CRMA), nieuw industriebeleid en onlangs uitgebrachte relevante kamerbrieven (industriebeleid met focus, belang van de chemie voor defensie) bekrachtigen het momentum van het Wennink-rapport. Daarnaast komen de thema's overeen met die van de Kennis- en Innovatie Agenda (KIA) Circulaire Chemie en Materialen en de KIA Circulaire Economie.^{3,4}

De bestaande industriële en chemische infrastructuur biedt de kennis, capaciteit en schaal om economische kansen te verzilveren en expertise uit te bouwen. In de industrieclusters wordt al samengewerkt tussen bestaande bedrijven, start-up's en scale-up's, kennisinstellingen, nationale en regionale Ontwikkelingsmaatschappijen (InvestNL, ROM's)⁵, havenbedrijven, innovatiehubs en-platform en lokale, regionale en nationale overheden aan de transitie. Hiermee heeft Nederland de basis van een uniek ecosysteem in handen, waardoor Nederland leidend kan worden in de opbouw van nieuwe ketens met duurzame en circulaire grondstofstromen.

Het bovenstaande momentum heeft geleid tot het formuleren van een heldere ambitie voor de Nationale Technologiestrategie (NTS) Actieagenda Procestechnologie⁶:

2 Kamerbrief Definitief ontwerp-Klimaatplan 2025-2035, Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 14 maart 2025

3 KIA Circulaire Chemie en Materialen, ChemistryNL

4 KIA Circulaire Economie 2024-2027 (okt. 2023)

5 Regionaal Versterkingsplan Nationale Technologiestrategie, Regionale ontwikkelingsmaatschappijen, (sept. 2025)

6 De Nationale Technologiestrategie Bouwstenen voor strategisch technologiebeleid.

In 2035 speelt Nederland een centrale rol in de circulaire grondstoffenrotonde Noordwest-Europa voor duurzame en kritieke grondstoffen.

Belang maatschappij

De circulaire grondstoffenrotonde is niet alleen goed voor de industrie, maar vooral ook voor de maatschappij. Het versterkt de economie met nieuwe banen dichtbij huis en het draagt bij aan een toekomstbestendig Nederland waar welvaart, welzijn, veiligheid en duurzaamheid samengaan.

Bijdrage industrie

De Nederlandse chemie is, met haar rol in het Antwerp-Rotterdam-Rhine-Ruhr Area (ARRRA)-cluster, al decennialang de koolstof- en kennishub van Noordwest-Europa en een van de koplopers op het gebied van recycling. Door gebruik te maken van biogene grondstoffen, afval weer te gebruiken als grondstof en alternatieve materialen te ontwikkelen, wordt de basis gelegd voor een concurrerende, kennisintensieve en duurzame chemiesector. Hiermee blijft Nederland strategisch relevant in een onrustige wereld en houden we grip op de productie van noodzakelijke dagelijkse producten, hoogwaardige innovatieve materialen en energiedragers. De chemie is daarmee een onontkoombare 'enabler' voor andere sectoren om te kunnen verduurzamen en innoveren.

De NTS Actieagenda Procestechnologie richt zich op de ontwikkeling, opschaling en implementatie van technologische oplossingen voor de doelstellingen die Nederland zich stelt. Daarnaast bieden de innovatieve technologische ontwikkelingen ook nieuwe economische en maatschappelijke kansen, die de strategische richting en prioriteiten van Nederland positief kunnen beïnvloeden.

Om bovenstaande ambitie en doelstellingen te ondersteunen zetten we met de NTS Actieagenda Procestechnologie in op het creëren van een circulaire grondstoffenrotonde, bestaande uit twee gedragen en gefocusseerde innovatieprogramma's; *Duurzame koolstofhub* en *Kritieke grondstoffen*, en een technologisch verdiepingsprogramma waarbij de zich snel ontwikkelende toepassing van Artificial Intelligence (AI) en digitalisering als vliegwiel voor de versnelling van innovatie dienen.

Belangrijke uitgangspunten voor de transitie naar een duurzame en concurrerende industrie en dus ook voor het slagen van deze innovatie- en verdiepingsprogramma's zijn:

- Het creëren van **randvoorwaarden**, waardoor het loont om **investeringen in Nederland/Europa** te doen;
 - Concurrerende elektriciteitskosten
 - Versnellen en versimpelen van vergunningverlening
 - Harmoniseren van EU-regels zonder aanvullende Nederlandse eisen (inclusief CO₂-heffing)
 - Betaalbare en tijdig beschikbare infrastructuur voor elektriciteit, H₂, CCS
 - Het tegengaan van dumping van chemische producten uit niet EU-regio's
 - Het organiseren van vraagcreatie op EU-niveau voor groen vermogen

Het belang van de benodigde randvoorwaarden wordt breed gedeeld, zoals blijkt uit de consistentie van de verschillende rapporten die recent zijn verschenen^{7,8}.

- Het verder **versterken** van de bestaande **innovatie-ecosystemen**;

Het vaststellen en helder communiceren van de gezamenlijke ambitie, het delen van kennis en ervaringen plus het leren van andere industrieën en landen zijn hiervoor van groot belang. Zie hoofdstuk 7 (*Ecosysteemactiviteiten*).

- Het optimaal gebruik maken van **verschillende financieringsbronnen**;

Bij het ontwikkelen van de NTS Actieagenda Procestechnologie is geredeneerd vanuit het budget wat nodig is, hierbij niet beperkt door een van tevoren opgelegd innovatiebudget. Om de strategische ambitie van Nederland waar te kunnen maken, zijn verschillende financieringsbronnen noodzakelijk (investerings- en innovatiefondsen, PPS-middelen, Europese subsidies, etc.). Hierbij dient gekeken te worden naar alle fases van innovatie- en productontwikkeling. Een in de R&D fase succesvolle procesinnovatie heeft alleen maatschappelijke en economische impact wanneer er financiering voor opschaling wordt gevonden en de innovatie daadwerkelijk succesvol wordt geïmplementeerd.

- Het **versterken** en **aanvullen van unieke kennis, competenties en capaciteiten**;

Het is essentieel om de kennis, competenties en capaciteiten bij bedrijven (bestaand en nieuw), universiteiten, HBO's, MBO's en andere kennisinstellingen voor de innovatieprogramma's beter in kaart te brengen. Door het concurrentievermogen te vergelijken met andere landen wordt duidelijk welke gaten moeten worden gedicht om succesvol te kunnen zijn.

- Het definiëren van relevante, voor de specifieke doelen van de NTS geschikte **Key Performance Indicators**;

Deze dienen ondersteunend te zijn aan en stimulerend zijn voor het realiseren van bovenstaande ambities van Nederland en Europa.

- Het opzetten van een **versimpelde** en **effectieve governance** op landelijk niveau;

Investering van publieke middelen dient gericht te zijn op systeemimpact; dus vooral op geïntegreerde programma's en niet alleen op individuele projecten. Publiek private programmering met focus op samenhangende prioriteiten en duidelijke en gedragen ontwikkeldoelen is voorwaarde voor de realisatie van de strategische ambitie van Nederland.

De actieagenda is tot stand gekomen door middel van uitgebreide consultatie en expertsessies.

7 Routes naar Realisatie; Keuzes voor het klimaat en de energietransitie, Rijksoverheid, (dec. 2025)

8 Kantelpunt voor klimaat en industrie; Nationale keuzes tijdens een industriële transformatie, Overlegtafel CO₂-heffing (dec. 2025)

1. Inleiding

Procestechnologie, inclusief procesintensificatie, richt zich op het ontwerpen en opereren van veilige, (energie) efficiënte en stabiele productieprocessen in onder meer de chemische, voedingsmiddelen- en farmaceutische industrie en de energiesector, en op de integratie daarvan in complexe systemen. De Nederlandse procestechnologie vormt de ruggengraat van processen en is de sleutel voor uitvoering en toepassing. Ze kan commerciële kansen helpen verzilveren in de mondiale groeiemarkten van morgen, zoals ook benoemd in de kamerbrief over industriebeleid met focus.⁹ De Industrieagenda 2030^{10,11} en het nieuwe industriebeleid van EZ hebben als ambitie om het verdienvermogen van Nederland structureel te versterken door een grotere bijdrage van hoogwaardige industrie aan het BBP. Nederland moet minder afhankelijk worden van buitenlandse toelevering en meer economische groei realiseren door technologisch leiderschap en industriële capaciteit. Doel is om een sterke industriële basis te behouden en deze uit te breiden, zodat industrie 10-15% van de economie uitmaakt en een groter aandeel van de hoogwaardige productie levert. In lijn hiermee hebben de Regionale Ontwikkelingsmaatschappijen (ROM's) regionale versterkingsplannen opgesteld om nieuwe bedrijvigheid op NTS-technologieën in kansrijke markten te stimuleren en verder te ontwikkelen. Deze plannen zijn gebaseerd op een waardeketen-aanpak en tot stand gekomen binnen het bovenregionale samenwerkingsverband ROM-Nederland. Hun bevindingen en voorstellen voor de RV-NTS Waardeketen Groene Chemie sluiten nauw aan bij deze actieagenda. Dit onderstreept dat de opschalingsopgave niet op zichzelf staat, maar onderdeel is van bredere regionale en nationale strategieën.

Procesintensificatie richt zich op de ontwikkeling van compacte, efficiënte processen, die minder energie en grondstoffen verbruiken, wat bijdraagt aan de Nederlandse doelstellingen om in 2050 klimaatneutraal te zijn en 100% circulair te kunnen produceren.

De Nederlandse procestechnologie staat aan de basis van een duurzame, circulaire, efficiënte en concurrerende chemische industrie en versterkt ook andere industrieën, zoals voeding, farmacie en energie, door hoogwaardige productieprocessen en duurzame oplossingen mogelijk te maken. Zij vormt hiermee het stille fundament onder onze samenleving. Juist nu, in een wereld vol verandering en onzekerheid, wordt duidelijk hoe belangrijk dit fundament is. We hebben te maken met schaarste, met geopolitieke spanningen en met een klimaat en een milieusituatie die om actie vraagt.

De (chemische en procestechnologische) industrie hoort tot de pijlers, ofwel 'kritieke infrastructuur' in bredere zin, waarop andere focussectoren als circulaire economie, energie, defensie, hightech en gezondheid hun groei kunnen realiseren.¹² Recent is het belang van de chemie voor defensie uitgewerkt in de brief van het Ministerie van Defensie.¹³ Innovatie in procestechnologie is vaak sterk

9 Kamerbrief Industriebeleid met focus, Ministerie van Economische Zaken, 17 oktober 2025

10 Sociaal Economische Raad

11 Federatie Metaal en Elektrotechnische Industrie

12 *MaterialenNL: Strategic Autonomy. Kennisagenda strategische autonomie voor grondstoffen* (aug. 2023)

13 Kamerbrief Update versnelling opbouw industrie, innovatie en kennis voor Defensie, Ministerie van Defensie, 6 oktober 2025

gekoppeld aan specifieke processen, grondstoffen en duurzaamheidsdoelen van Nederlandse bedrijven, wat lokale ontwikkeling, snelle co-creatie en maatwerkoplossingen mogelijk maakt. Door kennis en ontwikkelcapaciteit dichtbij huis te hebben, kunnen bedrijven sneller testen, opschalen en integreren in bestaande fabrieken, wat cruciaal is voor concurrentie en verduurzaming.

Al in januari 2024 heeft het ministerie van Economische Zaken de NTS gepubliceerd, waar procestechnologie als een van de tien sleuteltechnologieën is benoemd. Dit vanwege de bijdrage die procestechnologie heeft aan toekomstig verdienvermogen en strategische relevantie door de sleutelrol die het speelt in het aanpakken van maatschappelijke uitdagingen op het gebied van klimaat en energie, circulaire economie, veiligheid, gezondheid, water en voeding. Deze actieagenda bouwt voort op de strategische agenda procestechnologie inclusief procesintensificatie van de NTS en is de vertaling naar de uitvoering via innovatieprogramma's. Het huidige momentum waarin de genoemde actuele politieke en maatschappelijke belangen en marktkansen samenvallen, vraagt ons inziens echter een bredere kijk op de procestechnologie. Naast het verkrijgen van toegang tot en het verwerken van duurzame en circulaire koolstof richten we ons ook op kritieke grondstoffen. In een circulaire economie streeft men naar een grotere leveringszekerheid van grondstoffen, een toekomstig verdienvermogen, een schoner milieu en leefomgeving, het tegengaan van klimaatverandering en het herstel van biodiversiteit. Hierbij zijn ook toegang tot metalen en mineralen, en circulair watergebruik, zoals ook gesteld in de Kaderrichtlijn Water, in de industrie van belang. Water is bovendien essentieel in procesintensivering (gesloten kringlopen, hergebruik koel-/proceswater). Circulaire koolstof en daarmee het sluiten van koolstofkringlopen (biomassa, afval/plastics en CO/CO₂ als grondstof) ten behoeve van grondstofzekerheid is een belangrijk speerpunt binnen de Actieagenda Procestechnologie, echter ook voor kritieke grondstoffen is een innovatieprogramma ontwikkeld en zijn acties vastgesteld.

De actieagenda focust zich dan ook op de onderstaande waardeketens:

- a. Waardeketens voor producten die nodig zijn voor het dagelijks leven, de energietransitie, voeding en een weerbare en veilige samenleving gebaseerd op hernieuwbare en circulaire koolstof (organische chemie) en met duurzame energie als hulpstof:
 - Gesorteerde plastic stromen
 - Gemengde afvalstromen
 - Biobased grondstoffen en restmaterialen
 - Teruggewonnen CO₂ (en eventuele verwerking richting eiwitten)
- b. Waardeketens voor kritieke grondstoffen (anorganische chemie) voor:
 - Lithium, neodymium en dysprosium, germanium, vanadium en mangaan, en platinagroep metalen en hun alternatieven
 - Mogelijk aanvullende grondstoffen die kritiek zijn voor overige NTS-en
 - Mogelijke mineraalketens zoals fosfor

Elektrificatie (met groene stroom) van thermische processen is nodig, om fossiele energie (aardgas en olie) te vervangen, en het gebruik van groene waterstof, voor het verminderen van CO₂-uitstoot en het sluiten van koolstofkringlopen. Ontwikkeling en implementatie van procestechnologie en -intensificatie is vereist over de schakels van de integrale waardeketens. De bijbehorende verwerkingsprocessen vragen bovendien aandacht voor (relatieve) verlaging/optimalisatie van water- en energiegebruik en zuivering van afvalstromen naar lucht en water.

We onderscheiden grofweg drie processen:

1. Winning van primaire grondstoffen uit biomassa, lucht (N₂, O₂ en CO₂) en water (onder andere algen);
2. Chemische conversie (katalytisch, elektrochemisch, biochemisch) en opzuiveren van reactieproducten;
3. Recupereren en terugwinnen van grondstoffen uit afvalstromen.

De volgende procestechnologieën (in combinatie met slimme fabrieksintegratie) zijn hiervoor vereist:

- Chemische reactoren¹⁴ op basis van katalyse (chemisch, biochemisch);
- Elektrochemische en fotochemische reactietechnologieën (reductie, oxidatie, pH-shift), aangedreven door groene elektriciteit;
- Scheidingstechnologieën met hoge selectiviteit en energie-efficiëntie, met gebruik van geavanceerde hulpstoffen en -materialen (membranen, sorbenten, solventen) en van fysische velden (ultrageluid, microgolven, schokgolven, magneet), inclusief elektrificatie en warmte-integratie;
- Procesintensificatie, ter verhoging van materiaal- en energie-efficiency van geïntegreerde processen, elektrificatie en warmte-integratie (inductieve verwarming van endotherme reacties);
- Flexibiliteit van geëlektrificeerde processen, op- en afschakelen van processen en inpassing van buffertechnieken (elektriciteit, warmte, tussenproducten), mede mogelijk gemaakt met machine learning/AI en datascience (omvangen van variabiliteit van elektriciteit opwekking met wind/zon).

14 Er zijn Nederlandse kansen voor procesontwerp en productie van modulaire, flexibele productieconcepten met compacte installaties, zodat snel geschakeld kan worden tussen processen en producten en decentraal in een fabriek nabij het afval kan worden geproduceerd. In de grondstoffentransitie is zowel opschalen als "afschalen" wenselijk: continue containerfabriekjes en 100 kton/jaar of meer installaties.

2. Analyse: de kansen van procestechnologie

2.1. Kracht van het Nederlandse ecosysteem

Met de unieke combinatie van geïntegreerde industrieclusters, Rotterdam-Moerdijk, North Sea Port, Chemelot, Chemport/Delfzijl, Noordzeekanaalgebied, die elkaars grondstoffen, (bij) producten, reststromen en stoom gebruiken, en de geografische ligging met grote havens en rivierdelta's binnen het ARRA-cluster plus infrastructurele verbindingen tussen clusters en met het achterland, is het geen toeval dat Nederland zo'n sterke industrie opgebouwd heeft binnen Europa. Koolstof, de grondstof voor vele materialen om ons heen, komt binnen via de havens. Nu komt deze grondstof nog voornamelijk binnen in vorm van aardolie, echter de havens zijn goed uitgerust om grote hoeveelheden plantaardige grondstoffen en circulaire reststromen, twee van de drie koolstofbronnen van de toekomst, te verwerken.¹⁵

Daarnaast beschikt Nederland over een uitstekende kennisinfrastructuur met hoogopgeleide werknemers en behoort ze tot de kopgroep op de benodigde technologische routes om fossiele koolstof te vervangen, kritieke metalen te recyclen of alternatieve materialen te ontwikkelen. Uit de hoog specialistische kennis van chemie en materialen die in de afgelopen honderd jaar is opgebouwd – deels voortkomend uit de fossiele industrie – ontstaan tal van initiatieven, gevoed door de vruchtbare samenwerking tussen kennisinstellingen en bedrijven. Er zijn veel spin-offs van universiteiten, instituten en bedrijven die zich met pilot-, demoplants en R&D afdelingen vaak vestigen rondom de verschillende industriële clusters in Nederland.¹⁶ Hiermee kan ons land leidend zijn in de wereldwijde transitie naar duurzame producten en de ontwikkeling van nieuwe producten met geavanceerde eigenschappen. Door het verduurzamen van de bestaande industrie, haar concurrentiekracht te vergroten en gelijktijdig in geïntegreerde clusters nieuwe industrie op te bouwen, investeren we in de toekomst van Nederland.

2.2. Kansen en uitdagingen

Deze actieagenda beschrijft hoe ons land, vertrekkende vanuit de basis van nu, via ombouw van installaties en opbouw van nieuwe ketens en fabrieken, kan transformeren tot de hub voor duurzame koolstof en kan gaan voorzien in circulaire materialen en kritieke grondstoffen. Procestechnologie biedt ook oplossingen voor andere maatschappelijke uitdagingen, zoals in de eiwittransitie door bij te dragen aan de ontwikkeling van innovatieve eiwitbronnen, in het watermanagement met onder andere oplossingen voor waterzuivering en verwijdering van zeer zorgwekkende stoffen en in de energietechnologie door de ontwikkeling van nieuwe generatie zonnecellen en batterijen.ⁱ

¹⁵ Roadmap Conversion and Proces Technology, ChemistryNL

¹⁶ Investeringsagenda Innovatieve Chemie, ChemistryNL (okt. 2025)

2.2.1. Een goede uitgangspositie

De Nederlandse procesindustrie is een economische motor: ongeveer 50.000 bedrijven behoren tot de procesindustrie en genereren samen ruim € 181 miljard omzet (in 2023)^{17,18}, goed voor 4% van het BBP¹⁹. De industrie is goed voor 80% van de goederenexport en speelt daarmee een sleutelrol in de handelspositie van Nederland.

De procesindustrie biedt werk aan 200.000-250.000 mensen en creëert per directe baan minimaal 5 indirecte banen. Haar innovatiekracht in energie- en grondstoffentransitie maakt de procesindustrie bovendien onmisbaar voor het realiseren van nationale en Europese klimaat- en circulariteitsdoelen²⁰. Nederland behoort met sterke kennisclusters tot de wereldtop in procestechnologie en -intensificatie. Een recente analyse van TNO laat zien dat Nederland nog steeds met procestechnologie in de wereldwijde top 10 staat op het gebied van innovatie en technologie²¹.

2.2.2. De juiste randvoorwaarden

Peter Wennink: "Nederland kan haar maatschappelijke doelen alleen realiseren als de economische randvoorwaarden gericht zijn op een hoogproductieve economie. Daarvoor is het nodig dat investeringen hier kunnen landen, technologie kan doorgroeien en bedrijven kunnen opschalen. Zonder deze randvoorwaarden zal groei van minimaal 1,5 tot 2,0% niet worden bereikt en blijft onze technologische achterstand verder oplopen^{iv}."

Allereerst moet er ten opzichte van de rest van de wereld en Europa een 'level playing field' zijn. Dat betekent concurrerende elektriciteitskosten voor de industrie, geen extra Nederlandse CO₂-heffing boven op het ETS, betrouwbare en betaalbare infrastructuur voor elektriciteit, waterstof en CCS. Vergunningverlening in Nederland moet sneller en eenvoudiger worden, zonder extra nationale eisen bovenop de Europese regels. Daarnaast moet de regeldruk worden verminderd en dient er ruimte te komen om te experimenteren via zogeheten regulatory sandboxes, met duidelijke kaders waarbinnen innovatieve technologieën kunnen worden getest. Tot slot moet dumping vanuit andere regio's tegen worden gegaan.²²

Naast deze algemene randvoorwaarden is voor de NTS Actieagenda Procestechnologie specifiek van belang:

- Het harmoniseren van de **End-of-Waste status** in Europa (EU Kaderrichtlijn Afvalstoffen) en de regels voor afvaltransport (onder andere EU Waste Shipment Regulations) die grensoverschrijdende handel en investeringen doen vastlopen.

17 Federatie Nederlandse Levensmiddelen Industrie

18 Koninklijke Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie

19 Nederlandse industrie herstelt in 2024, CBS, 29 januari 2025

20 Een nieuw fundament: beeld van de bètasector (jan. 2019)

21 Een blik onder de motorkap: sleutelen aan de technologie positie van Nederland, TNOVector, 12 december 2025

22 Sterke industrie voor een sterk Nederland; Het tij keren voor de producten van morgen, VNCI (2025)

- Het **versoepelen van exportrestricties** voor plastic afval, ook binnen de EU, zodat grondstofstromen voor recycling zekerder worden en sneller beschikbaar komen.
- Het **versoepelen van vergunningen voor biobased/circulaire processen en producten**.
- Deze zijn vreemd genoeg vaak strenger dan die voor bestaande, fossiele chemie. Hierdoor lopen investeringen vast of wordt uitgeweken naar het buitenland.
 - Stikstof/NOx-vergunningen onder de Omgevingswet en Habitatrichtlijn (RvS): intern salderen vereist nu altijd een natuurvergunning en zwaardere onderbouwing, waardoor circulaire chemieprojecten vertragen of niet doorgaan.
 - Mass-balance regels voor chemische recycling (PPWR/SUPD) zijn binnen de EU niet geharmoniseerd, wat leidt tot onduidelijkheid over opbrengst, rendement en prijs en daardoor investeringen in duurzame productie afremt.
- Het **versnellen en versimpelen van opschaling** van pilot naar demo, naar first-of-a-kind (FOAK) en latere generatie commerciële units.²³ Hiervoor is het nodig om naast het uitbreiden van bestaande financieringsinstrumenten ook nieuwe financieringsvormen te ontwikkelen, zoals blended finance en publiek-private samenwerkingen.
- Het borgen van **integratie in bestaande clusters**. Nieuwe spelers hebben vaak de kraamkamer van de bestaande industrie nodig en kunnen bij de bouw van (pilot, demo) fabrieken profiteren van reeds aanwezige infrastructuur (chemieclusters/havens), nieuw aan te leggen infrastructuur voor duurzame energiebronnen en grondstoffen (H₂/CO₂/syngas/elektriciteit)ⁱⁱⁱ en mogelijkheden om bijproducten af te zetten.
- Het organiseren van **vraagcreatie op EU-niveau**. De (nog) beperkte afzetmarkt voor duurzame producten maakt dat deze producten nog niet concurrerend zijn. Dit terwijl de kosten van duurzame grondstoffen slechts een verhoging van 1 à 2% van het eindproduct tot gevolg heeft.²⁴ Garanties, (conditional) offtake, Contract For Difference /mandaten zijn nodig om onrendabele toppen te kunnen dekken en bankfinanciering te ontsluiten. Daarnaast dient onderzocht te worden of bindende productnormen (bijmengverplichtingen voor recycleert en biograndstoffen), EU-brede certificering, product labels en preferentiecriteria voor Europese producten kunnen worden ingevoerd.
- Het **ondersteunen van het innovatie-ecosysteem**;
- Dit door het ontwikkelen van vaardigheden door onder andere fieldlabs, pilotfaciliteiten, supply-chain-afspraken, versterken MKB-absorptie en talentpijplijn voor technisch geschoold personeel.
- Het **verhogen van politieke en maatschappelijke acceptatie**:
- regelgeving rond biomassa- en recyclingroutes, dient te worden vastgelegd in helder en consistent beleid.

2.3. Internationale positionering

Internationale technologische hotspots

Wereldwijd liggen de belangrijkste hotspots voor procestechnologie in Europa, de Verenigde Staten en Azië. In de tabel hieronder zijn internationale hotspots benoemd per systeemtechnologie.

²³ Bankability of Defossilised First-of-a-Kind Chemicals & Fuels Production Projects, TNO (nov. 2025)
²⁴ Mobilizing consumer demand for sustainable investments, Deloitte (sept. 2025)

Internationale hotspots per systeemtechnologie

Fase waardeketen	Technologieën	Hotspots
Systeemintegratie		Duitsland (Fraunhofer), Verenigde Staten (MIT, NREL), Japan (smart manufacturing)
Grondstof-voorbewerking	Innovatieve inzameling (closed loops), karakterisering, sortering, wassen, drogen en zuiveren/scheiden, mechanische/fysische/chemische voorbehandeling feedstock	Duitsland, China (vooral in batterijen en magneten), Nederland (plastics)
	(bio-)raffinage	Zweden en Finland
	Eiwitextractie	Vlaanderen
	Mineral processing	Canada
	Urban mining	China
	Watersplitsing	China
	CO ₂ -afvang, opslag en omzetting/electrolyse	Noorwegen, VK, Verenigde Staten, China, Nederland
Conversietechnologie	Elektrochemische conversie	Verenigde Staten, Duitsland
	Fischer-Tropsch	Zuid-Afrika, Nederland, VK
	Katalyse	Japan, Duitsland, Korea, Nederland
	Methanol-to-x	China
	Eiwitproductie- en precisiefermentatie	Verenigde Staten, Duitsland, Vlaanderen, Nederland
	Hydrometallurgie	Duitsland en Frankrijk
Nabehandelings-technologie	Productscheiding- en opzuivering	Verenigde Staten, Duitsland, Zwitserland, Japan Frankrijk, Nederland
	Energie-efficiënte scheidingstechnologieën	China, Nederland
	AI-gestuurde filtratie	Frankrijk, Verenigde Staten en Japan
Waterzuivering & -behandeling	Watertechnologie en membranen	Japan, Singapore, Korea, Nederland
	Ontzouting	Israël
	Upgrading - hydrotreatment, extractie	Verenigde Staten, Nederland
AI & datascience		Verenigde Staten (Silicon Valley, process AI), Duitsland (digital twins), Zuid-Korea, Japan
Modellering & systeemengineering		Duitsland (AspenTech Europe), Verenigde Staten (AspenTech HQ), Zweden (modular plants), Japan

2.3.1. Hoe verhoudt het Nederlandse ecosysteem zich tot het internationale speelveld?

Nederland behoort met sterke kennisclusters tot de wereldtop in procestechnologie en -intensificatie. Een recente analyse van TNO laat zien dat Nederland nog steeds in de wereldwijde top 10 staat op het gebied van innovatie en technologie^{xviii}. Deze positie staat wel onder druk. We zijn specifiek sterk in flexibele en duurzame productie gericht op energiebesparing, terugwinning en hergebruik van grondstoffen en grondstoffenrecycling. Nederland blinkt uit in waterzuivering en -behandeling dankzij een sterke kennisinfrastructuur (onder andere Wetsus, Deltares, NTCP), decennia ervaring met watermanagement, gecombineerd met innovatieve technologieontwikkeling zoals membranen, sensortechnologie en circulaire waterconcepten. Op het gebied van geavanceerde sorteer- en scheidingstechnologie onderscheidt Nederland zich met plasticafval sorteertechnologie, ontwikkeling van (chemische) recyclingprocessen, membraanscheidingen, reactieve destillatie, sorptietechnieken en hybride scheidingsmethoden voor vloeistoffen en gassen. Ook heeft Nederland een sterke positie in (bio)katalyse; cruciaal voor conversie van fossiele en biograndstoffen, mede ten behoeve van circulaire routes (recycling van plastics en gebruik van reststromen en CO₂ als grondstof). Daarnaast onderscheidt het zich met industriële biotechnologie, bioprocestechnologie en precisiefermentatie, met onder andere kennisinstellingen als Wfbr en de Biotech Campus Delft.

Bovendien is de Nederlandse industrie sterk in systeemintegratie en de implementatie van nieuwe technologieën in bestaande processen. Enerzijds op het gebied van de integratie van clusters, wat efficiëntie en synergie tussen bedrijven bevordert. Anderzijds met betrekking tot slimme fabrieksintegratie. Daarnaast is Nederland sterk in robotica, het digitaliseren van industriële processen door middel van digital twins, AI-gedreven procesoptimalisatie, Internet of Things en industrie 5.0 oplossingen. Ook heeft Nederland sterke publiek-private samenwerkingen, een hoogwaardige kennisstructuur en fieldlabs. Zwakkere punten zijn de beperkte industriële opschaalcapaciteit en de recycling van kritieke grondstoffen, wat in Nederland nog in de opstartfase verkeerd. Internationaal is Nederland een sterke, kennisintensieve speler op het gebied van ontwerp en engineering, maar minder in grootschalige hardware productie voor de procesindustrie dan Duitsland, Verenigde Staten of China. Verder maakt Nederland samen met Noordrijn-Westfalen en Vlaanderen deel uit van het ARRRA-cluster, het grootste Europese chemiecluster, waarmee het 40% van de Europese chemische industrie beslaat. Dit alles bij elkaar creëert een sterke uitgangspositie om in de toekomst succesvol te blijven.

Nederland kan zich onderscheiden door decentrale, modulaire en circulaire fabrieksconcepten met integratie van digital twins en AI voor flexibele productie.

2.3.2. Partners en concurrenten

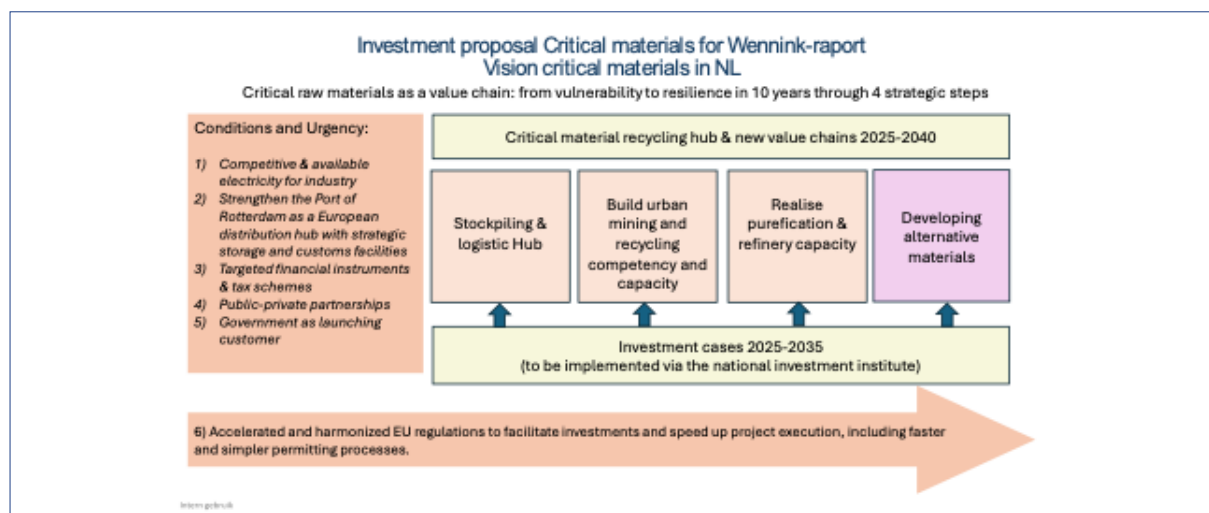
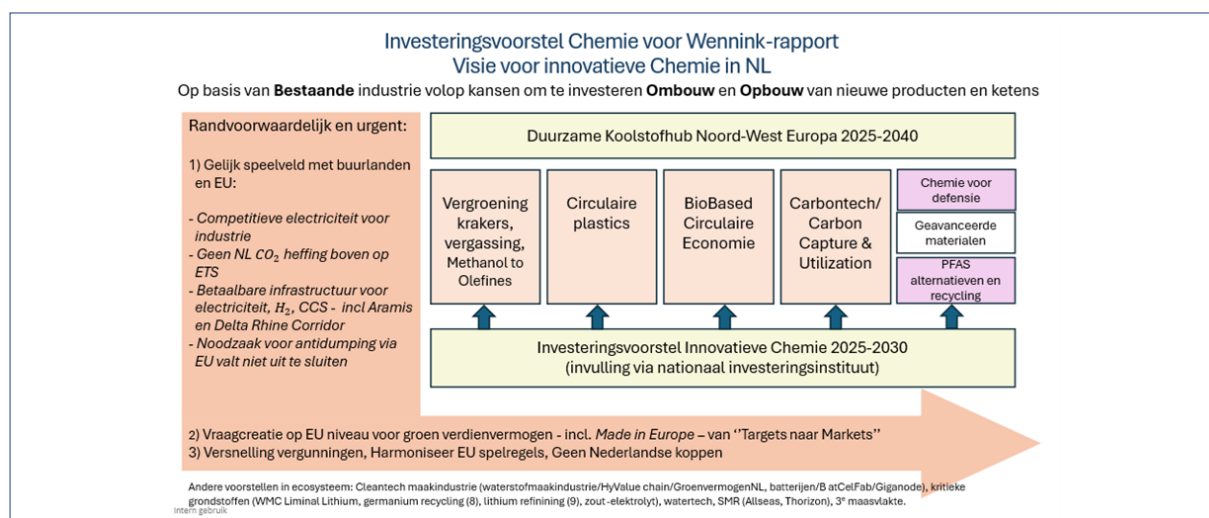
Strategische partners voor Nederland zijn Duitsland en Frankrijk, Noorwegen, Zweden, Finland, Japan, Singapore en de Verenigde Staten. Concurrenten zijn China, dat massaal investeert in elektrochemische conversie en urban mining, de Verenigde Staten met snelle commercialisatie van procesintensificatie en CCU, en Japan/Korea met sterke posities in batterijrecycling en fotochemische conversie.

2.4. Kansen voor de toekomst

In onderstaande figuren staan de investeringsvoorstellen met bijbehorende technologiegebieden en randvoorwaarden, zoals die door de 'Chemie Tafel' en de 'Kritieke grondstoffen Tafel' aan Peter Wennink zijn gedaan.

De NTS Actieagenda Procestechnologie, het Wennink-rapport en de kamerbrief over het Nederlandse industriebeleid dragen bij aan het momentum voor ambitieuze, procestechnologische publiek-private samenwerkingsverbanden voor de koolstof verwerkende industrie en waardeketens rond kritieke grondstoffen. Dit biedt Nederland kansen op het gebied van een duurzame en schone industrie, nieuwe toepassingen en grondstofzekerheid.

Op basis van de analyse van het Nederlandse ecosysteem, groeimarkten, strategische uitdagingen en internationale positionering stellen we een SWOT-analyse op van de internationale kansen en uitdagingen voor de Nederlandse procestechnologie:



Sterktes • Sterke kennisbasis in sleuteltechnologieën zoals scheidingstechnologieën, biotech, organische chemie en katalyse. • Decennialange ervaring met de implementatie van deze technologieën in koolstof verwerkende industrie, waterzuivering, advanced recycling en systeemintegratie. • Infrastructuur en geografische ligging gunstig, met name voor duurzame energie uit wind op zee en voor import, export, inzameling, voorbewerking en transport van afval, biograndstoffen en halffabricaten. • Sterke agrosector speelt belangrijke rol in het leveren en verwerken van biograndstoffen.	Zwaktes • Tekort aan duurzame energie en netcapaciteit. • Onderzoek naar kritieke grondstoffen relatief kleinschalig. • Een structureel, meerjarig industrie- en investeringsbeleid ontbreekt. • Onvoldoende aandacht voor watermanagement in relatie tot duurzame koolstof verwerkingsroutes en recycling en terugwinning van kritieke grondstoffen.
Kansen • Nederland en de ARRA-regio beschikken over grote, geïntegreerde chemische clusters die een goed uitgangspunt vormen voor een competitief en duurzaam energiesysteem. Deze industriële assets kunnen samen met partners worden ingezet voor niet-fossiele koolstofroutes en nieuwe, hoogwaardige waardeketens, waarbij de CO₂-uitstoot steeds biogener wordt en in de toekomst kan dienen als hernieuwbare CO₂-bron. • Binnen EU groeit het besef van strategische relevantie, wat gepaard gaat met gerichte investeringen. • Kansen ontstaan in ontwerp en productie van decentrale, modulaire en circulaire fabrieksconcepten, ondersteund door digital twins, AI, datascience en industrie 5.0.	Bedreigingen • Europese en Nederlandse industrie onder druk, waardoor de bereidheid om te investeren sterk afneemt. • Regulering loopt achter, onder meer bij End-of-waste-status en door een ongelijk speelveld met energetische toepassingen van hernieuwbare koolstof. • Markt voor duurzame producten en materialen ontbreekt, ondanks ontwikkeling Ecodesign for Sustainable Products Regulation in EU. • Concurrentiedruk neemt toe door dumping vanuit andere continenten. • Ontslagen en pensioneringen leiden tot een afname van ervaren R&D-personeel dat de transitie kan dragen.

3. Ambitie

3.1. Ambitie uit de NTS (2024)

In 2035 verlaagt Nederland haar emissies door het realiseren van een select aantal commerciële platformtechnologieën voor biomassa, afvalconversie en CO₂. We exporteren technologie inclusief essentiële hardware en leveren zo ook internationaal een bijdrage aan emissiereductie. Hiervoor realiseren we (pre-)commerciële flagship plants (bijv. een installatie voor thermochemische conversie, een bioraffinaderij, een vergassingsfabriek en fermentatiefabriek), importeren we groene intermediates en transformeren we de bestaande Nederlandse chemische industrie, zodat deze toekomstbestendig en duurzaam is.

Circulaire koolstof en daarmee het sluiten van koolstofkringlopen ten behoeve van grondstofzekerheid is een belangrijk speerpunt binnen de NTS Actieagenda Procestechnologie (organische materialen). We willen het gebruik van fossiele grondstoffen zoveel mogelijk terugdringen en nieuwe (bio)chemische ketens ontwikkelen op basis van hernieuwbare of gerecyclede koolstof houdende grondstoffen. Sinds het opstellen van de NTS is, door de geopolitieke ontwikkelingen en het belang van toegang tot kritieke metalen en mineralen, procestechnologie voor deze kritieke anorganische materialen ook onderdeel geworden van de actieagenda. Daarnaast is het thema water belangrijker geworden, waardoor gesloten kringlopen en het hergebruik van koel- en proceswater bij procesintensivering nu essentieel zijn.

De onderstaande technologieën vormen de basis voor het realiseren van deze opgave:

- Omnivore processen zoals vergassing en in geringere mate pyrolyse;
- Reactietechnologieën aangedreven door elektriciteit waaronder elektrochemie, bio(elektro) chemische processen en elektrochemische fermentatie die de capaciteit hebben om door middel van elektriciteit duurzame grondstoffen of direct CO₂ om te zetten in bruikbare moleculen;
- Geavanceerde scheidingstechnologieën voor het creëren van grondstoffen met een constante input kwaliteit en het minimaliseren van emissies via water en lucht;
- Geavanceerde online identificatie (technologieën die kunststoffen snel en nauwkeurig kunnen herkennen) -, sorteer- en scheidingstechnologieën;
- Metallurgische processen;
- Flexibiliteit van geëlektrificeerde processen, op- en afschakelen van processen en inpassing van buffertechnieken (elektriciteit, warmte, tussenproducten), ondersteund met machine learning/AI en datascience.

3.2. Economische en maatschappelijke opgave

Ambitie: *het ecosysteem streeft ernaar om in 2035 een centrale rol te spelen in de circulaire grondstoffenrotonde Noordwest-Europa, zowel voor duurzame koolstofchemie als voor de benoemde kritieke grondstoffen. Dit betekent dat Nederland een sleutelrol speelt in strategische waardeketens voor circulaire koolstof en essentiële materialen, met sterke clusters die hoogwaardige producten en technologieën leveren op basis van hernieuwbare grondstoffen en geavanceerde recycling.*

Het realiseren van deze ambitie vraagt om het ontwikkelen en opschalen van procestechnologieën voor grondstofvoorbewerking, conversie, nabewerking en waterbehandeling, inclusief elektrificatie en digitalisering, en het ontwikkelen van alternatieve materialen en recyclingroutes. Er moeten geïntegreerde waardeketens worden opgebouwd in industriële clusters waarin bestaande industrie, start-ups en scale-ups samenwerken, ondersteund door miljardeninvesteringen in R&D, pilot- en demofaciliteiten en de ombouw en opbouw van industrie. Daarnaast is een programmatische aanpak nodig met sterke publiek-private samenwerking, internationale verankering en slimme regelgeving (zoals CRMA en ETS), aangevuld met instrumenten voor financiering en marktcreatie. Cruciaal is het benutten van Nederlandse sterktes in chemie, logistiek en watertechnologie, gecombineerd met AI-gedreven procesoptimalisatie, om zowel economische impact als maatschappelijke meerwaarde te realiseren.

3.3. Innovatieopgave

Ambitie: *in de circulaire grondstoffenrotonde Noordwest-Europa zijn geavanceerde procestechnologieën – van omnivore reactoren, elektrificatie van scheidingsprocessen tot AI-gestuurde optimalisatie en zero-liquid discharge watercircuits – de standaard. PFAS is waar mogelijk vervangen door milieuveilige alternatieven, en recyclingketens voor lithium, germanium, neodymium, vanadium en platinagroep metalen zijn operationeel. Nederland draagt niet alleen bij aan het strategisch relevant maken van Europa, maar exporteert ook technologie en (operationele)kennis wereldwijd.*

Om dit te realiseren zijn gerichte acties nodig: procestechnologieën voor grondstofvoorbewerking, conversie, nabewerking en waterbehandeling dienen verder ontwikkeld en vooral opgeschaald te worden van lab naar commerciële schaal, inclusief elektrificatie en AI-gestuurde optimalisatie. Tegelijkertijd moeten haven- en industrieclusters worden ingericht voor geïntegreerde waardeketens en closed-loop watercircuits. Machine learning, kunstmatige intelligentie en industry 5.0 helpen om de innovatiesnelheid te verhogen.

3.4. Kennis- en technologieopgave

Ambitie: *in 2035 hebben we cruciale kennis ontwikkeld inzake optimale integratie van bestaande en nieuwe waardeketens en uniforme normen, definities en ontwerpeisen vastgelegd voor producten, processen en grondstoffen binnen de waardeketen. Er zijn robuuste methoden ontwikkeld voor het karakteriseren en opwerken van heterogene circulaire en biogene stromen, inclusief technologie voor torrefactie, bio-raffinage en PFAS-substitutie. Conversieprocessen zijn geoptimaliseerd met modulaire, flexibele reactoren die draaien op hernieuwbare energie en geschikt zijn voor variabele feedstocks, ondersteund door katalytische innovaties voor hogere selectiviteit en stabiliteit. Voor nabewerking beschikken we over energie-efficiënte scheidingstechnologieën en elektrificatie van thermische processen, terwijl contaminanten zoals PFAS ecologisch-verantwoord en economisch aantrekkelijk worden verwijderd. Daarnaast is er kennis opgebouwd over zero-liquid discharge en grootschalige waterrecycling, inclusief de effecten van verontreinigingen op proceswater. Voor kritieke grondstoffen zijn selectieve extractie- en raffinageprocessen, sensor- en AI-technologie voor real-time detectie ontwikkeld en toegepast.*



Om de benodigde kennis te ontwikkelen zijn de volgende acties essentieel: industrie, kennisinstellingen en overheid dienen gezamenlijk uniforme normen en kwaliteitscriteria voor feedstocks, processen en producten op te stellen, inclusief ontwerpregels voor installaties. Vervolgens moeten deze standaarden in praktijk worden getest en gevalideerd via pilots en demofaciliteiten, zodat ze toepasbaar en schaalbaar zijn in verschillende waardeketens. Ten slotte is internationale verankering nodig door opname in Europese kaders, certificeringssystemen en digitale productpaspoorten, zodat transparantie, interoperabiliteit en brede adoptie worden gegarandeerd. Zie hoofdstuk 5 (5.1.2 *Te adresseren kennisvragen*) voor de onderliggende kennisvragen en technologieën.

3.5. Ecosysteemopgave

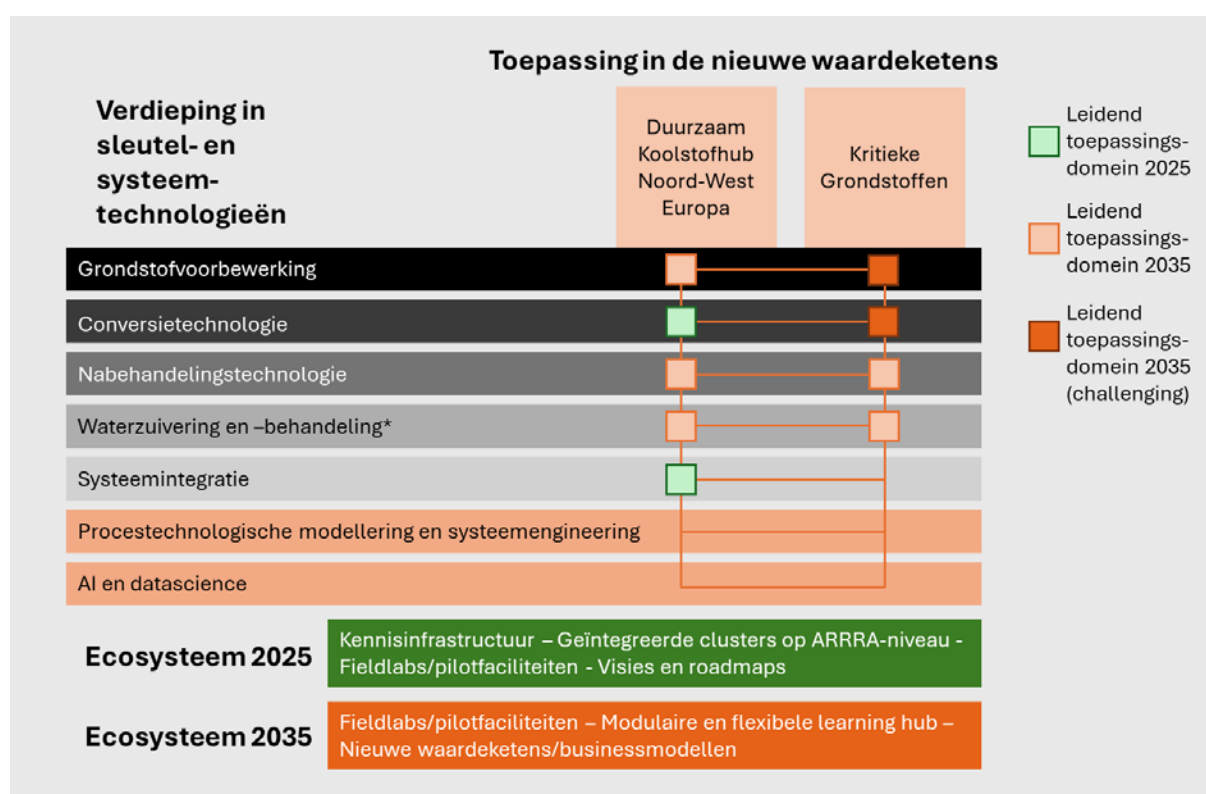
Ambitie: *in 2035 speelt het Nederlandse ecosysteem een centrale rol in de circulaire grondstoffenrotonde Noordwest-Europa.*

Er dient vraag te ontstaan naar duurzame producten en grondstoffen en Nederland moet een level playing field bieden op het gebied van energie-infrastructuur en de daaraan gerelateerde energiekosten. Daarnaast zijn grootschalige investeringen nodig in R&D en infrastructuur. Hierdoor wordt industriële opschaling van technologieën voor grondstofvoorbewerking, conversie, nabewerking en waterbehandeling mogelijk. Samenwerking en kennisdeling binnen en tussen clusters, nieuwe en bestaande waardeketens, verschillende ecosystemen, sectoren, bedrijven en kennisinstellingen leveren hieraan een belangrijke bijdrage. Ook dienen innovatieve manieren van samenwerking inclusief nieuwe businessmodellen ontwikkeld te worden.

4. Innovatieprogramma

4.1. Programmastructuur

De voorgestelde programmastructuur voor de NTS Actieagenda Procestechnologie bestaat uit twee innovatieprogramma's en een verdiepingsprogramma, die verdieping vinden in sleutel- en systeemtechnologieën, zoals te zien in onderstaande figuur.



*Al wel positie verworven, maar nog niet in dit toepassingsgebied.

In deze afbeelding is goed te zien dat er drie soorten kruispunten bestaan. In de groene kruispunten zet Nederland al stappen. Er zijn diverse pilots, demo's en zelfs een aantal commerciële fabrieken op deze gebieden, welke verder opgeschaald, uitgerold en robuust gemaakt moeten worden. In de Investeringsagenda Innovatieve Chemie zijn 30 pilot- en 10 demoprojecten benoemd waarmee afstemming zal worden gezocht.^{vi} De oranje gebieden betreft procestechnologieën, waarvoor we de kennis in huis hebben, maar waar deze nog niet toegepast wordt in de praktijk. Dit zijn de kruispunten waarin deze actieagenda, die tien jaar vanaf nu beslaat, een groot verschil kan maken. De donkeroranje gebieden zijn waardevolle kruispunten, omdat ze van belang zijn voor het verdienvermogen en de strategische relevantie van Nederland, maar er in Europa nog niet veel op gebeurt, wat betekent dat er een economische (inclusief export) kans ligt. Op deze gebieden is de kennis echter nog beperkt en is investeren met hoge prioriteit noodzakelijk.

4.2. Bouwen op bestaande activiteiten

De bij deze actieagenda betrokken kennisinstellingen en bedrijven zijn zonder uitzondering onderdeel van andere publiek-private samenwerkingsverbanden, innovatieprogramma's en -coalities. Door deze brede diversiteit is het onmogelijk om binnen de ruimte van dit document een totaaloverzicht te geven van alle bestaande activiteiten, waarop wordt voortgebouwd. Er is daarom gekozen om een overzicht van enkele van de grootste en belangrijkste programma's te geven, die raakvlakken hebben met de innovatieprogramma's die zijn uitgewerkt in deze actieagenda.

Programma/ initiatief	Relatie met actieagenda	Toelichting
NGF Circular Plastics NL	Duurzame koolstofhub	Groeifondsprogramma dat samenwerking stimuleert tussen bedrijfsleven en kennisinstellingen om materiaal- en procesinnovaties te versnellen en zodoende gerecycled plastic van hoge kwaliteit te produceren en kringlopen te sluiten.
NGF BioBased Circular	Duurzame koolstofhub	Groeifondsprogramma dat de ontwikkeling van een nieuwe Nederlandse biogebaseerde kunststofindustrie versnelt, gericht op volledig circulaire waardeketens voor materialen, zoals bioplastics, harsen, coatings en textiel, ter vervanging van fossiele grondstoffen.
KIA Chemie, KIA CE	Duurzame koolstofhub, kritieke grondstoffen	KIA Chemie raakt duurzame koolstof doordat zij inzet op elektrificatie, biobased grondstoffen en circulaire koolstofketens in chemische processen, inclusief technologieën voor CO ₂ -conversie en hergebruik van polymeren. De KIA Circulaire Economie sluit hierbij aan door ketens te sluiten voor kritieke grondstoffen en koolstof, met focus op recycling, herontwerp en substitutie.
ISPT, programma grondstoffen-transitie	Duurzame koolstofhub, kritieke grondstoffen	Onafhankelijke stichting met een onderscheidend, sterk en breed netwerk van experts uit verschillende sectoren en disciplines in de procestechnologie. Dit door wetenschappelijke expertise te koppelen aan praktijkervaring in programma's en projecten.
TKI Groene Chemie & Circulariteit (ChemistryNL)	Duurzame koolstofhub, kritieke grondstoffen	Initiatiefnemer van de Investeringsagenda Innovatieve Chemie, de Innovatie-agenda CCRM en KIA Chemie (in samenwerking met MaterialenNL).
Groen-vermogen	Duurzame koolstofhub	Groeifondsprogramma dat investeert in waterstof-technologie, groene chemie en biobased innovaties.
TKI Energie & Industrie	Duurzame koolstofhub, kritieke grondstoffen	Raakt duurzame koolstof door focus op elektrificatie, waterstof en CO ₂ -conversie in industriële processen, waarmee fossiele koolstof wordt vervangen door hernieuwbare bronnen. Inzake kritieke grondstoffen gericht op efficiënter gebruik, recycling en substitutie van metalen en mineralen in energie-intensieve sectoren.
NMO – Nederlands Materialen Observatorium	Kritieke grondstoffen	NMO is door TNO* opgericht, in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken. Samen met kennisinstellingen, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties brengt het kritieke grondstoffenketens in kaart. Het signaleert leveringsrisico's en ondersteunt bedrijven door alternatieve bronnen te onderzoeken, recycling te stimuleren en vervangende materialen te vinden.

* TNO ontwikkelt bovendien diverse technologieën voor duurzame koolstofverwerking (waaronder CO₂-afvang, -opslag en -hergebruik), alternatieve materialen ter vervanging van kritieke grondstoffen en het terugwinnen hiervan uit industriële reststromen.

4.3. KPIs

Hoe definiëren wij succes?

De NTS Actieagenda Procestechnologie is ondersteunend aan en een stimulans voor het realiseren van verdienvermogen en het oplossen van maatschappelijke uitdagingen op die domeinen waar Nederland een strategische positie op kan bouwen en behouden (Energie- & Klimaattechnologie, Veiligheid & Weerbaarheid, Life sciences & Biotechnologie).

De NTS Actieagenda Procestechnologie is met name een zeer belangrijke factor bij het realiseren van de duurzame koolstofhub en voor het veiligstellen van kritieke grondstoffen. Hiervoor zijn naast langjarige investeringen in deze actieagenda, de eerdergenoemde randvoorwaarden, en een effectieve governance ook specifieke condities van belang. Met het eindbeeld van de actieagenda in 2035 voor ogen komen we uit op de onderstaande parameters, streefwaarden en benodigde condities.

Parameters	Streefwaarden	Benodigde condities
Aantal startups dat doorgroeit naar scale-up* (met name grondstofvoorbewerking en - nabewerking inclusief waterzuivering en -behandeling)	Eerste succes** scale-up: 2 per jaar (eerste 3 jaar), 3 in jaar 4-5, 6 in jaar 5, 10 per jaar vanaf jaar 6 Commercieel succes *** scale-up: 1 per jaar (eerste 3 jaar), 2 in jaar 4-5, 3 per jaar vanaf jaar 5	Vroege fase kapitaal, scaleup fondsen, piloting capacity, versnelde vergunningverlening voor pilots, commerciële landing (launching customer programma's)
Aantal Pilots/demo's/first of a kind-projecten	5 per jaar	Capex de risking, Opex subsidie of contract for difference, geprioriteerde aansluiting elektriciteit, omgevingsruimte, implementatie Investeringsagenda Innovatieve Chemie
Investeringen in projecten met relevante schaal	€ 1-5 miljard per jaar	Vraagontwikkeling, regelgevingszekerheid, stabiele CO ₂ prijs (ETS), blended finance, verkorte doorlooptijd vergunningen, infra locaties, risicodeling

Strategische control points voor clusterbehoud en technologieontwikkeling	- Behoud geïntegreerde clusters met behulp van nieuwe control points - Nieuw: omnivoor proces wat met behulp van sensoren/AI gemixte feedstock meerdere koolstofbronnen aan kan, idealiter met hieraan een bestaande vergasser geschakeld dan wel een bestaande vergasser hiervoor geschikt gemaakt - Nieuw: waterzuiveringsproces geïntegreerd in procestechnologische route duurzame koolstofhub - Nieuw: kennisinstellingen leggen met elkaar een onafhankelijke PT/chemie database aan ten behoeve van het versnellen van de ontwikkeling van nieuwe, modulaire processen en nieuwe materialen (in samenwerking met de maakindustrie)	- Clusterregie inzake infra, planning, en industriële symbiose, level playing field voor energie en utilities. - Toegang tot feedstockvariatie (biogeen, afvalplastics, CO₂, biogas), modulaire pretreatment, compatibiliteit met bestaande vergassers - Procescompatibiliteit, efficiënte verwijdering van verontreinigingen - PT/chemie referentiedatabase met gestandaardiseerde ontwerpsheets, massabalansen, CAPEX/OPEX benchmarks, emissies
Gereduceerde time to market: - Aan de voorkant: AI-design; - Aan de achterkant: modulariteit, opschalings-kennis, voorkomen valley of death; - In governance door bij succes meteen door te kunnen zonder nieuwe procedures /aanvragen, door fases parallel te plannen en risico's te nemen	Time to market 3-5 jaar na Final Investment Decision pilot	AI enabled engineering, modularisatie, leverancierscontracten, parallelle planning (inkoop, vergunningen, hazard and operability study, brugfinanciering pilot→demo→commercieel), adaptieve managementstructuur
Boost geven aan nieuwe waardeketens met maakindustrie, procestechnologie en chemie inclusief service industrie (export)	2-5% groei export	Consortia met OEM, integrator, chemiebedrijf, kennisinstelling, showcases/living labs
Aantal samenwerkingen met Nederlandse of Europese maakbedrijven	NTS R&D programma helpt de core technologie van 5 bedrijven verder (bedrijven investeren 1 miljoen euro per jaar)	Co R&D contracten, testfaciliteiten, co investering/matching fonds
Fieldlabs met regulatory sandboxes en grote internationale aantrekkingskracht	2	Juridische basis (tijdelijke afwijkingsregeling met heldere scope), data en transparantie
Ontwikkeling samenhangende, kennisinstellingen-verbindende programma's aansluitend bij NTS-Actieagenda	5 doorbraaktechnologieën	Effectieve governance, programmafocus, gerichte onderzoeksmiddelen

Instroom universiteiten	700 HBO-studenten chemie/chemische technologie/procestechnologie per jaar 500 universitaire studenten chemische/procestechnologie per jaar	Capaciteitsfinanciering, toekomstgericht curriculum, stage/afstudeerpool, wervingscampagne
Ratio fossiele/circulaire koolstof verwerkt	Transparante koolstofboekhouding vanaf 2030	Eenduidige definities, datastandaarden, meetinfrastructuur
Balans technology- en community readiness level	Ontwikkelen monitoringssysteem	Monitoring, adoptieplan

* Definitie scale-ups: start-ups die eerste fase na start hebben overleefd en ook eerste succes hebben behaald.

** Eerste succes: het behalen van minimaal drie van onderstaande strategische mijlpalen:

- Eerste industriële samenwerking of launching customer
- Geslaagde pilot op semi-industriële schaal
- Toekenning van substantiële vervolgfianciering (bijv. >€5M)
- IP-portfolio opgebouwd (patenten, licenties)
- Positieve LCA of CO₂-reductiepotentieel aangetoond

*** Daarnaast onderscheiden we een categorie scale-ups die ook commercieel succes hebben behaald door daadwerkelijk commerciële omzet te realiseren.

5. Toepassingsgebieden

5.1. Duurzame Koolstofhub Noordwest-Europa

Dit innovatieprogramma beschrijft relevante kennisvragen en ontwikkeldoelen die nodig zijn om tot een passend technologieportfolio voor de transitie naar een duurzame koolstofhub te komen, inclusief de investeringen die hiervoor benodigd zijn. In de rapporten *Visie op duurzame koolstof voor de chemische industrie*²⁵ en *Perspectief op de chemie*²⁶ van de rijksoverheid staan twee hoofdroutes centraal om te komen tot het eindbeeld van een duurzame koolstofchemie:

- De adaptatie van bestaande petrochemie voor het gebruik van duurzame koolstof, inclusief mechanische en chemische recycling routes (ombouw);
- Nieuwe chemie en biochemische omzettingen (nieuwbouw).

In de Duurzame Koolstofhub Noord-West Europa komen deze routes samen en bouwen we aan een technologiebasis die werkt met duurzame grondstoffen en hernieuwbare energie, gericht op de toekomstige vraag naar producten. Denk hierbij ook aan producten met andere eigenschappen voor bestaande toepassingen. Bijvoorbeeld de productie van eiwitten via chemische en biochemische productie of het biologische materiaal PEF ten behoeve van drank/voedselverpakking in plaats van het fossiele PET.

Voor beide routes zijn innovatieve en efficiënte procestechnologieën van het grootste belang. In de transitie naar een Duurzame Koolstofhub is de veranderende input een van de grootste uitdagingen. Dit vanwege de overgang van homogene, goed gedefinieerde, fossiele stromen, naar heterogene, diverse duurzame koolstofstromen, die vaak variëren per bron en seizoen en veel onzuiverheden bevatten. Dit vereist complexe, energie-intensieve grondstofvoorbewerkingsstappen om de stromen geschikt te maken voor conversieprocessen en innovatieve nabehandelingsstappen om contaminaties te verwijderen.

5.1.1. Drivers

De recente geopolitieke ontwikkelingen hebben de strategische weerbaarheid en relevantie van Nederland urgenter gemaakt. Dit innovatieprogramma helpt om Nederland minder afhankelijk te maken van fossiele importstromen. Het draagt bij aan technologieontwikkeling die zorgt voor meer controle over de toegang tot koolstofbronnen en het circulair maken van een van de belangrijkste grondstoffen voor onze dagelijkse producten: koolstof. Bovendien bouwt het innovatieprogramma voort op onze sterktes in chemie, agri- en biotechnologie. Hierbij zijn onze goede geografische ligging en haven- en clusterinfrastructuur direct van toegevoegde waarde. Nu investeren betekent koploper worden in duurzame koolstofchemie en nieuwe waardeketens doorontwikkelen en verankeren. Zo stellen we toekomstig verdienvermogen veilig en vergroten we geopolitieke weerbaarheid. De realisatie van een Duurzame Koolstofhub Noordwest-Europa levert duizenden hoogwaardige banen, toekomstbestendig verdienvermogen en miljoenen tonnen CO₂-emissiereductie op door middel van bestaande en nieuwe producten en bedrijvigheid.

²⁵ *Visie op duurzame koolstof in de chemische industrie*, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (okt. 2025)

²⁶ *Perspectief voor de chemie*, Ministerie van Klimaat en Groene Groei (okt. 2025)

5.1.2. Te adresseren kennisvragen

Om de bestaande petrochemie geschikt te maken voor het gebruik van duurzame koolstof en te komen tot nieuwe (bio)chemische omzettingen, wordt gebruik gemaakt van diverse technologieën. Deze technologieën richten zich op de grondstofvoorbewerking-, conversie- of nabehandelingstap inclusief waterzuivering en -behandeling. Het onderstaande overzicht bevat technologieën op verschillende treden van de TRL-ladder, maar ook off-the-shelf technologieën.

Fase waardeketen van koolstofstromen	Technologieën
1. Grondstofvoorbewerking	1. Innovatieve inzameling (closed loops), karakterisering, sortering, wassen, drogen en zuiveren/scheiden, mechanische/fysische/chemische voorbehandeling feedstock 2. Torrefactie 3. CO ₂ -afvang 4. (Geavanceerde) chemische recycling a. Enzymolyse b. Solvolyse c. Thermochemische recycling (en katalytische depolymerisatie) - pyrolyse (thermisch en/of katalytisch) - vergassing d. Plasmarecycling 5. (Co-)electrolyse (van CO ₂) 6. (Bio-)raffinage 7. Eiwit-extracties
2. Conversie van grondstof naar product (brandstoffen of chemicaliën)	8. Fysische / Mechanische recycling a. Dissolutie + precipitatie 9. Vergassing 10. Synthese van basischemicaliën a. Methanolsynthese en/of Fischer-Tropsch (FT) b. (elektrisch / FCC) kraker c. CO ₂ conversietechnologie d. Plasma e. Fotochemie 11. Verdere downstream processing a. Methanol-to-olefins (MtO) b. Methanol-to-aromatics (MtA) c. Ethanol-dehydratatie (EtO) 12. Nieuwe duurzame chemische of bio-chemische routes voor de productie van basischemicaliën (zoals alcoholen, (vet)zuren en amines) & duurzame producten zoals bio-based plastics (bijvoorbeeld PEF, PHA's, PLA, resins, coatings, additives en adhesives). 13. Eiwit- en precisiefermentatie richting food/feed a. Methanol-to-protein (MtP) b. CO ₂ /circular feedstocks to protein 14. Cellulaire agricultuur 15. CCS t.b.v. negatieve emissies (biogeen afgevangen CO ₂ permanent opslaan) en tweerichtings opslag 16. (Bio-)raffinage
3. Nabewerking (opzuiveren, opwaarderen, valoriseren reststromen)	17. Gasscheiding 18. Waterzuivering en -behandeling 19. Productscheiding- en opzuivering 20. Upgrading (hydrotreatment, extractie)

Binnen dit innovatieprogramma zijn kennisvragen benoemd inzake *systeemintegratie*, *grondstofvoorbewerking* (karakteriseren, sorteren, wassen, drogen, zuiveren maar ook bio-raffinage, torrefactie en dissolutie), *conversie* (procestechnologie voor mechanische, solvolyse, pyrolyse en vergassing inclusief katalyse), *nabewerking* (gasscheiding, upgrading) en *waterzuivering en -behandeling*.

- *Systeemintegratie*
 - Hoe kunnen we EU en Nederland stapsgewijs circulair maken en ons voorzien van de benodigde grondstoffen, materialen en producten in de toekomst voor een weerbare Europese samenleving en economie?
 - Hoe kan technologie(door)ontwikkeling de integratie van bestaande en nieuwe waardeketens versterken?
 - Hoe vertalen we techno-economische analyse naar procestechnologische ontwikkelingsdoelen en programma/funnel management?
 - Welke ontwikkeling is nodig voor slimme combinaties en integratie van procestechnologische stappen bij diverse feedstocks?
 - Welke slimme samenhang van technologieën leidt tot de best passende overkoepelende oplossing (complementariteit van technologieën)?
 - Hoe gebruiken we bestaande installaties voor nieuwe conversies?
 - Hoe realiseren we ombouw en uitbouw van havencomplexen voor import en verwerking van biogene grondstoffen en afvalstromen?
 - Hoe organiseren we slimme Technology Knowledge Transfer in Europa?
 - Hoe optimaliseren we processen voor rendement, lage CO₂-uitstoot en kosten, inclusief hergebruik van infrastructuur?
 - Hoe versnellen we het proces van lab naar commerciële fabriek?
- *Grondstofvoorbewerking*
 - Hoe garanderen we kwaliteit en hoeveelheid van feedstocks in gecascadeerde verwerkingsroutes? Aan welke minimale specificaties moeten feedstock- en productstromen voldoen?
 - Welke feedstock en recycle stromen lenen zich technisch economisch het beste voor welke verwerkingsroutes?
 - Welke technologieontwikkeling is nodig voor sortering, wassen, drogen en zuiveren van afvalstromen?
 - Welke voorbewerkingstechnologie is het meest geschikt voor landbouwresidu, Refuse Derived Fuel (RDF) en natte stromen?
- *Conversie*
 - Welke innovatie is nodig voor geavanceerde reactoren (duurzame energie, flexibiliteit, semi-continu)?
 - Welke (bio-)katalytische innovatie is nodig om selectiviteit, stabiliteit en opbrengst te verbeteren?
 - Hoe ontwikkelen we alternatieven/recycleketens voor PFAS?

- *Nabewerking*
 - Welke ontwikkeling in scheidingstechnologie is nodig om onzuiverheden en schadelijke sporen te verwijderen?
 - Hoe maken we thermische scheidingsoperaties elektrisch en energie-efficiënt?
 - Hoe scheiden we hoofd- en bijproducten optimaal?
 - Hoe reduceren we emissies naar lucht?
- *Waterzuivering en -behandeling*
 - Hoe beperken we extra vraag naar waterzuivering en -behandeling bij overgang naar secundaire grondstoffen?
 - Welke invloed hebben lage concentraties PFAS en andere verontreinigingen op de continuïteit, voorspelbaarheid en prestaties van installaties en processen?

Nieuwe processen en of technologieën die door (nieuwe) bedrijven gemaakt kunnen worden, zijn vooral te verwachten inzake grondstoffenvoorbewerking en -nabewerking inclusief waterzuivering en -behandeling. In de volgende fase van dit innovatieprogramma zal dit worden geconcretiseerd.

5.1.3. De impact van een duurzame koolstofhub Noordwest-Europa

Dit programma draagt bij aan het veiligstellen van duurzaam verdienvermogen (welvaart) in combinatie met het halen van de maatschappelijk vastgestelde (internationale) doelen op het gebied van klimaat, milieu, circulariteit en gezondheid. De ambitie om rond het midden van de eeuw in Nederland circa 20 megaton hernieuwbare koolstof te converteren, zoveel mogelijk uit duurzame en circulaire bronnen, (expertadvies *De toekomst van duurzame koolstofchemie in Nederland*)²⁷ draagt bij aan het vergroten van autonomie en leveringszekerheid. Deze ambitie heeft zijn spin-off naar andere sectoren.

Systeemintegratie in clusters (bestaande en nieuwe) en op fabrieksniveau biedt hiertoe kansen. Het doel is om (nieuwe) platformroutes te ontwikkelen die geschikt zijn voor zowel circulaire als virgin biomassa en die meerdere waardeketens ontsluiten.

5.1.4. Aanpak

Dit innovatieprogramma is vormgegeven vanuit een aantal leidende principes:

- We kiezen expliciet voor een ketenaanpak, waarin verduurzaming, verdienvermogen en strategische relevantie hand in hand gaan en worden gestuurd door de marktvrage naar (bestaande en nieuwe) producten en brandstoffen. Het organiseren van vraagcreatie op EU-niveau, bijvoorbeeld bindende productnormen (bijmengverplichtingen voor recyclelaat en biograndstoffen), EU-brede certificering, product labels en preferentiecriteria voor Europese producten zijn randvoorwaardelijk, maar vallen buiten de scope van dit programma.
- Het bovenstaande vereist fundamentele aanpassingen van de productieketens, waarbij we maximaal gebruik maken van bestaande kennis, technologie en infrastructuur.

²⁷ *De toekomst van duurzame koolstofchemie in Nederland*, Sanne Akerboom, Gert Jan Kramer, Yvonne van der Meer, Arnold Stokking, Bart Strengers, Jacqueline Vaessen, 31 maart 2025

- Elke technologie in de waardeketen van koolstofstromen,
- grondstofvoorbewerking → conversie → nabewerking → toepassingen, valt in de scope van dit innovatieprogramma (zie het technologieoverzicht op pagina 28 en 29). Daarnaast is het belangrijk om design for circularity in het proces in te bedden, opdat de processen zo efficiënt mogelijk circulair gemaakt worden. Omdat het uiteindelijk gaat om de optimale combinatie van duurzame feedstock – proces – output/ applicatie is systeemintegratie als technologiedomein toegevoegd.
- Toekenning van middelen binnen dit innovatieprogramma gebeurt op basis van een met relevante stakeholders uit te werken besliskader. Dit besliskader zal criteria bevatten voor *toekomstig verdienvermogen*, *time to market*, *strategische relevantie* en *milieu-impact* (focus op gewogen impact; niet op technologie). Door het toepassen van het besliskader worden in de volgende fase van het programma een aantal waardeketens en bijbehorende procestechnologische routes geselecteerd om focus aan te brengen. Op deze manier sturen we bij technologieontwikkeling in een vroeg stadium op concrete ontwikkelingsdoelen.
- Er wordt voortgebouwd op en actief samengewerkt met bestaande (Nationaal Groeifonds) innovatieprogramma's, innovatie-ecosystemen en industrieclusters. Dit om dubbeling te voorkomen, slagkracht en synergie te realiseren en de gaten die vallen binnen en tussen de innovatieprogramma's te vullen.

5.1.5. Werkpakketstructuur

Het programma wordt ingedeeld in vijf (5) werkpakketten:

Werkpakket 1: systeemintegratie en coördinatie

Het verdienvermogen van de Nederlandse (bio)chemische procesindustrie is in sterke mate gestoeld op hoge efficiëntie door integratie in industriële clusters. In de grondstoffentransitie waarbij we gelijktijdig werken aan ombouw van de bestaande (basis)chemie en de opbouw van geavanceerde chemie is systeemintegratie een continu aandachtspunt. Systeemintegratie gaat niet alleen om het slim verbinden van verschillende energie-, materiaal- en waardeketens, zodat koolstof, moleculen en producten zo hoogwaardig en circulair mogelijk worden benut (cascaderingsprincipe). Het vraagt ook om het afstemmen van functies, stromen en besluitvorming, zodat het totale systeem efficiënter, flexibeler en betrouwbaarder wordt. In dit werkpakket kijken we over ketens heen en wordt onderzocht hoe energie-, grondstof- en materiaalstromen op elkaar aansluiten (kwaliteiten en volumes), waar knelpunten ontstaan, welke technologieën elkaar versterken en hoe beleid, markt en infrastructuur samen werken. Hiermee onderzoeken we mogelijkheden om tot een geïntegreerd industriesysteem te komen, waarin door toegepaste systeemanalyse circulariteit, beschikbaarheid en duurzaamheid met elkaar in balans zijn. Vanuit dit werkpakket ontstaan inzichten die de technologische ontwikkeldoelen sturen (systemische planning van technologieontwikkeling, ook buiten dit innovatieprogramma), maar tegelijkertijd geven de technologieontwikkelingen in de andere werkpakketten informatie op basis waarvan het systeem het best kan worden ontwikkeld door de tijd heen.

Betrokken partijen: bedrijven, brancheorganisaties, Groeifondsen, Groene Chemie, Nieuwe Economie/ROM's, ISPT, ngo's, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Ministerie van Klimaat en Groene Groei, universiteiten/hogescholen, TNO.

Werkpakket 2: grondstofvoorbewerkingstechnologie

Om invulling te geven aan de transitie naar hernieuwbaar en circulair gebruik van koolstof is het cruciaal om de heterogene mix aan hernieuwbare/circulaire grondstoffen geschikt te maken voor bestaande en nieuwe (bio)chemische conversieroutes en principes (zoals bv C1-chemie, suikerchemie, petrochemie, (precisie)fermentatie, etc). Een aantal partijen is al ingesprongen op deze vraag naar nieuwe processen voor grondstofvoorbewerking. Deze dienen te worden ondersteund in de opschalingsfase.^{vi} Een belangrijk aandachtspunt is dat de bestaande chemie vooral op (waterarme, koolstofrijke) vloeistoffen en gassen is gebaseerd, daar waar voor de nieuwe chemie de grondstoffen veel meer in vaste vorm en met relatief veel water beschikbaar zijn. Een ander belangrijk aandachtspunt is het verwijderen van (accumulerende) stoorstoffen uit de circulaire stromen. PFAS is een zeer relevant en actueel voorbeeld. Binnen dit werkpakket worden ook de technologische uitdagingen op het gebied van PFAS-recycling en -substitutie in beeld gebracht en vertaald naar procestechnologische ontwikkeldoelen. De innovatiefocus zal liggen op het ontrafelen van de heterogene mix aan grondstoffen en het opwerken hiervan naar goed gedefinieerde en zoveel mogelijk gestandaardiseerde grondstofstromen, die geschikt zijn voor de conversiestap (werkpakket 3). Dit krijgt invulling door de ontwikkeling van fit-for-purpose identificatie- en karakteriseringstechnologieën (wat zit er in mijn (nieuwe) feedstock-stromen?), sorteer- en scheidingstechnologieën (hoe maak ik ze geschikt voor de conversiestap?). Daarnaast dient voorbewerkingstechnologie op het gebied van bijvoorbeeld verdichting (door) ontwikkeld te worden. Dit om niet onnodig met grote volumes grondstoffen naar de plaats van verwerking te slepen. De mogelijkheden van machine learning en AI zijn integraal onderdeel van dit innovatieprogramma en werkpakket 2 in het bijzonder. Dit geldt ook voor de verwerking en verwaarding van de reststromen die overblijven na het sorteren en scheiden.

Betrokken partijen: Avantium, Biobased Circular, BTG, Chaincraft, Chemelot, Chemport 10 X 10 X 10, CPNL, DOPS, gemeenten, Gidara, ISPT, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Ministerie van Klimaat en Groene Groei, NTCP, Obbotec, Perpetual Next, ReSolved Technologies, TNO, Torrgas, Twence en universiteiten/hogescholen.

Werkpakket 3: conversietechnologie

Nederland ziet twee kansrijke ontwikkelingen voor toekomstig verdienvermogen in de Nederlandse duurzame koolstofchemie: ombouw van fossiele naar groene basischemie en opbouw van geavanceerde chemie. Deze zijn onderling verbonden, onder andere omdat voor de opbouw van duurzame geavanceerde chemie groene basischemicaliën, materialen en halffabricaten nodig zijn. Dit werkpakket richt zich op verschillende, parallel lopende innovatielijnen:

- Ontwikkeling gericht op *aanpassing* van (de meest toekomstbestendige) processen en reactoren om duurzame grondstoffen (werkpakket 2) te converteren naar de huidige set van (tussen)producten en eindproducten;



- Ontwikkeling gericht op *nieuwe* processen en reactoren om duurzame grondstoffen (werkpakket 2) te converteren naar de huidige set van (tussen)producten en eindproducten;
- Ontwikkeling gericht op processen en reactoren om *duurzame* grondstoffen (werkpakket 2) te converteren naar *nieuwe* (tussen)producten en eindproducten.

De laatste lijn vraagt ook om productontwikkeling - welke functionaliteiten worden in de toekomst gevraagd voor specifieke toepassingen in bijvoorbeeld defensie, hightechindustrie of de farmaceutische industrie. In dit werkpakket liggen duidelijke dwarsverbanden met andere Nationale Technologiestrategieën, zoals Energy Materials, AI & Data en Biomolecular & Cell Technologies. In deze aanpak wordt zowel de duurzame inzet (ombouw) van de huidige 'installed base' (inclusief kennispositie en infrastructuur) als de opbouw van de procestechnologie van de toekomst ondersteund. Voor succesvolle gelijktijdige ombouw en opbouw is aansturing vanuit het systeemperspectief (werkpakket 1) cruciaal.

Betrokken partijen: bijna alle genoemde bedrijven, Groene Chemie/Nieuwe Economie/ROM's, Groeifondsen, ISPT, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Ministerie van Klimaat en Groene Groei, universiteiten/hogescholen, VNCI.

Werkpakket 4: nabewerkingstechnologie

Circulaire feedstocks kennen een grotere variatie in samenstelling en/of kwaliteit dan hun fossiele tegenhangers. Deze komen na de conversiestap onvermijdelijk terug in de tussen- en eindproducten (werkpakket 3). Ook in de nieuwe processen voor bestaande/nieuwe producten worden we geconfronteerd met vervuilingen, die de functionaliteit van producten nadelig beïnvloeden. Doelstelling van dit werkpakket is het ontwikkelen van robuuste en efficiënte nabewerkingstechnologieën, om de (tussen)producten te laten voldoen aan de specificaties die worden gesteld voor de (eind)toepassing. De verwachting is dat de ontwikkeling van een doorbraaktechnologie voor een van de waardeketens en onderliggende procestechnologische routes voor nabewerking reëel is. Een aantal partijen is al ingesprongen op deze vraag naar nieuwe processen voor nabewerkingstechnologieën. Deze dienen te worden ondersteund in de opschalingsfase.^{vi} Dit zal verder worden uitgewerkt in de volgende fase van het innovatieprogramma. Nabewerking vraagt om geavanceerde scheidingstechnologieën, waarmee storende vervuilingen uit de processtromen kunnen worden verwijderd. Of waarmee heel precies waardevolle componenten uit bijproductstromen kunnen worden geïsoleerd. Daarnaast zullen procesresiduen, waarvoor geen verdere verwerking mogelijk is, zoveel mogelijk beperkt moeten worden.

Betrokken partijen: Alfa Laval, Avantium, Blue Circle Olefins, Chemelot, Chemport 10 x 10 x 10, DOW, Groeifondsen, Groene Chemie, Nieuwe Economie/ROM's, ISPT, kennisinstellingen, ministeries, Shell, universiteiten/hogescholen en vele anderen.

Werkpakket 5: waterzuivering en -behandeling

De introductie van biomassa en afval als grondstof heeft als consequentie dat er veel water verwerkt moet worden. Water wordt geïntroduceerd in het systeem als waswater of als water

opgesloten in de grondstoffen. Anderzijds wordt water gevormd door het verwijderen van ongewenste zuurstof middels hydrogenering. Daar tegenover staat dat water dat gebruikt wordt als reagens in de processen (bijvoorbeeld voor elektrolyse voor groene waterstof) van hele hoge zuiverheid moet zijn. Bovendien dient door wettelijke verplichtingen (Kaderrichtlijn Water) het door de industrie geloosde proces-/koelwater zelfs schoner te zijn dan dat het werd ingenomen. Dit stelt Nederland, traditioneel sterk in waterzuivering- en waterbehandelingstechnologie, voor de uitdaging om vervuilde waterstromen voorbij bestaande kwaliteitsnormen op te zuiveren. Tot slot moet dit gebeuren in veel grotere volumes dan er tot op heden worden verwerkt. De ambitie is om een innovatief waterzuiveringsproces te integreren in een specifieke procestechnologische route binnen de duurzame koolstofhub. In de volgende fase van het innovatieprogramma wordt dit verder uitgewerkt. In ieder geval zullen experts met kennis van watertechnologie actief bij het programma worden betrokken.

Betrokken partijen: drinkwaterbedrijven, industrie, ISPT, kennisinstellingen (onder andere Wetsus en universiteiten), ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, waterschappen.

Gantt chart

Werkpakket	Omvang (€ mln)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. Systeemintegratie + coördinatie	200										
2. Grondstof voorbereiding	300										
3. Conversie	600										
4. Nabehandeling	450										
5. Waterzuivering en -behandeling	450										

Verbinding met andere actieagenda's

- Biomolecular & Cell Technologies**
 Op het gebied van (witte) industriële biotech gaat het om alternatieve grondstoffen en opschaling van fermentatietechnologie en cellulaire agricultuur. Voor (groene) industriële biotech ligt de focus op de link met agrifood en de verwerking van biomassa en reststromen tot grondstoffen.
- Energy Materials**
 Hierbij gaat het met name om materialen voor elektrolyzers (alkaline, PEM, SOE) en batterijcellen. En de integratie van deze apparatuur in de processen en energie systemen.
- AI & Data** (inclusief digital twinning & immersive technologieën)
 Ontwikkelingen op dit gebied zijn met name een vliegwiel voor de realisatie van de Actieagenda Procestechnologie. Zie hoofdstuk 6 (*Technologische verdieping in procestechnologie*).
- Overige chemische, engineering en fabricage-technologieën**
 Het betreft hier ondersteunende technologieën als sensors en actuators, imaging, mechatronics en optomechatronics, robotics, digital manufacturing en systems engineering.



Het is daarnaast belangrijk dat er voldoende afstemming plaatsvindt tussen het industriebeleid en het innovatiebeleid, waarbij we verbinding zoeken met de KIA CE en de KIA Circulaire Chemie en Materialen.

5.1.6. Financiële breakdown

De totale omvang van de programmakosten bedraagt 2 miljard euro.

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (€ mln)	Publiek (€ mln)	Privaat (€ mln)
1. Systeemintegratie + coördinatie	200	100	100
2. Grondstofvoorbewerking	300	150	150
3. Conversie	600	300	300
4. Nabehandeling	450	225	225
5. Waterzuivering en - behandeling	450	225	225
Programma Totaal	2 miljard	1 miljard	1 miljard

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd (welke type activiteiten/ middelen worden wanneer ingezet)

Type	Beoogde financiering (€ mln)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen	41,25	41,25	41,25	41,25	41,25	41,25					247,5
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	21,25	21,25	21,25	21,25	21,25	21,25					127,5
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen ³	137,5	137,5	137,5	137,5	137,5	137,5	200	200	200	200	1.625
Totaal	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2.000

- 3 Met nieuwe middelen kan een groot deel van de bestaande activiteiten worden versneld en kunnen bestaande technologieën voor andere toepassingen worden doorontwikkeld.

5.2. Kritieke Grondstoffen

Het programma ontwikkelt en verbetert procestechnologieën om Nederlandse en Europese waardeketens voor kritieke grondstoffen of alternatieven hiervoor te versterken. Focus ligt op het organiseren van de volledige value cycle (winning, verwerking, recycling en toepassing), opschaling van procestechnologieën van pilot naar demonstratie en vervolgens naar commerciële toepassing binnen 10 jaar en benodigde coördinatie.

We starten met kritieke grondstoffen waarvoor:

- reeds competenties en capaciteit aanwezig zijn binnen het Nederlandse procestechnologie-innovatielandschap (onder andere technische universiteiten, bedrijfsleven, innovatieve startups);
- het bedrijfsleven bereid en in staat is om deze innovaties toe te passen.

Dit betreft projecten die zijn overgenomen uit de investeringsagenda CCRM van november 2024, omdat zij zowel binnen de NTS Actieagenda Procestechnologie als in combinatie met het Wennink-rapport relevant zijn ten behoeve van toekomstig verdienvermogen. De bijbehorende projectactiviteiten zijn gericht op de waardeketens van lithium, neodymium en dysprosium, germanium, vanadium en mangaan, en platinagroep metalen of alternatieven hiervoor. In de eerste fase van het innovatieprogramma zullen bovendien de relevante value cycles, kritieke grondstoffen en mogelijke alternatieve materialen van de overige NTS-en in beeld worden gebracht. Dit geldt ook voor kritieke mineralenketens, zoals die van fosfor.

5.2.1. Drivers

De politieke en maatschappelijke spanningen in de wereld zetten de economie, de nationale veiligheid en internationale orde onder druk. Dit werkt door in de beschikbaarheid van grondstoffen voor de Nederlandse industrie. Ook zijn de negatieve effecten van mijnbouw van primaire kritieke grondstoffen in derde landen groot. Voor veel grondstoffen die nodig zijn voor het maken van hightech-apparatuur (zoals gallium en koper voor halfgeleiders), voor groene energievoorziening (zoals lithium en kobalt voor energieopslag in batterijen en neodymium en dysprosium voor permanente magneten in generatoren van windturbines) en voor defensie- uitrusting (zoals germanium voor infraroodkijkers), heeft een kleine groep landen een monopolie. Nederland is voor veel kritieke en strategische grondstoffen afhankelijk van buitenlandse mogendheden, die dit met enige regelmaat als geopolitiek drukmiddel gebruiken. Binnen dit NTS Procestechnologie Innovatieprogramma Kritieke Grondstoffen ligt de focus op procestechnologische ontwikkeldoelen rondom *purification, liquid-liquid extraction absorption, ion exchange, refining, leaching, crystallisation, smelting, synthesis*, en *hydrometallurgic chemistry*. Daarnaast is het belangrijk om de value cycle te organiseren, waarbij nagedacht wordt over design for circularity en efficiënte inzameling, sortering en scheiding.

5.2.2. Te adresseren kennisvragen

- *Extractie en procesoptimalisatie*
 - Welke verw erkings- en extractietechnologieën zijn het meest efficiënt voor selectieve extractie van kritieke grondstoffen uit laagwaardig afval en restfracties uit proceswater?

- Hoe kunnen extractieprocessen uit natuurlijke bronnen en afval worden geoptimaliseerd om milieueffecten te minimaliseren (bijv. reagentia, energieverbruik, emissies)?
- Hoe kunnen sensor- en procesbesturing worden geïntegreerd om schaalbare, geautomatiseerde extractiesystemen mogelijk te maken?
- *Recycling en materiaalperformance*
 - Wat zijn de benodigde specificaties van teruggewonnen/ontwikkelde grondstoffen en welke zuiveringsstappen zijn nodig?
 - Welke effecten hebben geloogde grondstoffen op elektrochemische eigenschappen?
 - Welke vervolgtoeepassingen zijn er voor de herwonnen materialen (wellicht anders dan in de primaire toepassing)?
 - Hoe kunnen we zorgen voor efficiënte inzameling (closed loops), sortering en scheiding?
- *Technologie en optimalisatie*
 - Welke ontwikkeling van procesmodellen voor optimale integratie en operatie van geïntegreerde technologieën is nodig?
 - Hoe worden (modulaire) reactoren ontworpen op basis van (een combinatie van) nieuwe grondstoffen voor maximale conversie en energie-efficiëntie?
- *Sensoren en detectie*
 - Hoe beïnvloeden materiaalheterogeniteit en verontreiniging het sensor-, extractie- en terugwinningsrendement?
 - Welke geavanceerde sensortechnologieën kunnen worden ontwikkeld om kritieke grondstoffen nauwkeurig te detecteren en kwantificeren in complexe afvalstromen en om realtime waterkwaliteit en metaalconcentraties te meten?
 - Hoe kunnen sensoren, digital twins, classificatie en geautomatiseerde sortering worden geïntegreerd in realtime industriële processen, waaronder het optimaliseren van waterstromen?
- *Waterzuivering en behandeling*
 - Hoe kan waterverbruik in hydrometallurgische en pyrometallurgie processen worden geminimaliseerd en benodigde technologie worden geïntegreerd met bestaande procestechnologieën?
 - Welke innovatieve technologieën zijn nodig voor de ontwikkeling van gesloten watercircuits (zero-liquid discharge) en of integratie van waterrecycling in bestaande raffinage- en recyclinginstallaties?

5.2.3. De impact van kritieke grondstoffen

Weerbaarheid vergroten

Nederland moet alert zijn en adequate voorbereidingen treffen om de weerbaarheid van de economie en samenleving te vergroten²⁸. Voor grondstoffen is het verstandig om ons in te spannen om minder afhankelijk te worden van import uit landen waarmee geopolitieke spanningen bestaan. Het ontwikkelen van nieuwe toevoerketens die niet gedomineerd worden door landen als China, is cruciaal voor het lange-termijn vitaal blijven van onze hoogwaardige (chemische) industrie.

²⁸ Nederland is vier plaatsen gedaald op de *IMD World Competitiveness Ranking 2024*. Vorig jaar stonden we nog op plaats 5 en nu op plaats 9. De laagste plaats voor Nederland sinds 2016

Innoveren en investeren voor kritieke grondstoffen

Een van de meest voordehand liggende manieren om de weerbaarheid van onze economie te vergroten is het investeren in eigen productie- en verwerkingscapaciteit en innovatie om kritieke materialen op nieuwe manieren te hergebruiken, te delven, terug te winnen uit gerecyclede materiaalstromen, of deze te vervangen door minder schaarse materialen (substitutie). Deze noodzaak werd ook vastgesteld in de kamerbrief Grondstoffenvoorzieningszekerheid:

Dirk Stefan Beljaarts: “Terwijl innovaties voor de terugwinning van kritieke grondstoffen veelbelovend zijn, moeten er meer demonstratieprojecten uitgevoerd worden in een industriële omgeving. Terugwinningstechnologieën zijn vaak nog niet voldoende operationeel en schaalbaar, waardoor de business case nog niet altijd rendabel is. Het onderzoek geeft daarbij aan dat om deze technologieën verder te brengen kapitaalinvesteringen nodig zijn, naast het versterken van de (inter)nationale afzetmarkt voor secundaire kritieke grondstoffen²⁹.”

Dit biedt niet alleen kansen om de industrie en economie minder afhankelijk te maken van kritieke materialen, maar ook om meer en nieuwe bedrijvigheid te ontwikkelen, die bijdraagt aan economische groei en werkgelegenheid. Nederland kan hier zijn kennis, kunde en infrastructuur voor chemische processen, hightech-producten, handel en logistiek voor benutten. Ook bestaande technieken voor het behoud van kritieke materialen uit recycling kunnen verder geoptimaliseerd en gestimuleerd worden voor gebruik in de Nederlandse en Europese economie. De Europese commissie heeft duidelijke doelstellingen gesteld op het gebied van kritische materialenⁱⁱⁱ:

- Minimaal 10% van het jaarlijkse verbruik moet uit EU-mijnbouw komen;
- Verwerking: minimaal 40% van het jaarlijkse verbruik moet binnen de EU worden verwerkt;
- Recycling: minimaal 25% van het jaarlijkse verbruik moet afkomstig zijn uit gerecyclede materialen.

Belangrijk aandachtspunt is dat bijna alle projecten (veel) energie zullen vragen en de benodigde industriële activiteiten impact zullen hebben op de omgeving. Ook het zuiveren van (schadelijke) reststromen en waterafval is prioriteit.

5.2.4. Aanpak

Het NTS Procestechnologie Innovatieprogramma Kritieke Grondstoffen start met een systematische value cycle analyse voor een beperkt aantal aan de vijf kritieke grondstoffen (lithium, neodymium en dysprosium, germanium, vanadium en mangaan, en platinagroep metalen) gerelateerde value cycles van productgroepen, waar Nederland een betekenisvolle rol kan spelen gebaseerd op reeds aanwezige of in opbouw zijnde procestechnologische expertise. Ook zal worden onderzocht welke (delen van de) value cycles in de bredere Europese context uitgevoerd kunnen worden.

29 Kamerbrief 32852, *Grondstoffenvoorzieningszekerheid*, van de Minister van Economische Zaken, 9 september 2024



De genoemde kritieke grondstoffen vormen de basis van de werkpakketten bij de start van dit innovatieprogramma. Afhankelijk van de afstemming met de overige NTS-en, bijbehorende innovatieprogramma's en de bredere analyse kunnen werkpakketten worden uitgebreid of toegevoegd. De bredere analyse betreft ook het in kaart brengen van kritieke mineralenketens en procestechnologische ontwikkeldoelen en kennisvragen.

Het programma richt zich primair op relatief hoge TRL-niveaus, waarbij via bijvoorbeeld NWO waar nodig aanvullend fundamenteel onderzoek zal worden ingezet om specifieke knelpunten te adresseren. Investerings primair in circulaire economie vinden mogelijk aansluiting bij de Actieagenda Circulariteit die momenteel door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat wordt ontwikkeld.

Het programma heeft een sterke internationale dimensie en draagt zo bij aan Europese onafhankelijkheid. Via het ARRRA-cluster wordt samengewerkt aan Europese value cycles, terwijl de betrokkenheid bij onder andere de European Federation of Chemical Engineers en het UN International Resource Panel zorgt voor internationale verankering. Dit voorkomt dat Nederlandse procestechnologische innovaties geïsoleerd blijven en maximaliseert de kans op succesvolle implementatie op Europese schaal. Het programma kijkt daarom ook naar Europese financieringsmechanismen ten behoeve van investeringen in educatie & training, R&D funding en investeringen in SME's en startups en probeert aan te sluiten bij ondersteunende regelgeving zoals de Uitgebreide Producentenverantwoordelijkheid. Het goed in kaart brengen van de Nederlandse competenties en ambities geeft richting aan wat we in Nederland moeten ontwikkelen, en wat er op Europees niveau met Nederlandse en Europese partners moet worden opgezet.

5.2.5. Werkpakketstructuur

Het programma wordt ingedeeld in zes (6) werkpakketten:

Werkpakket 1: analyse en coördinatie

In dit werkpakket wordt de programmastrategie structureel geëvalueerd en waar nodig aangepast, de coördinatie van zowel het programma als de werkpakketten en de werkpakketten onderling gedaan, en kennisdeling en communicatie georganiseerd. Daarnaast zal geanalyseerd worden welke essentiële procestechnologische uitdagingen moeten worden opgelost en of hiervoor een investering nodig is in benodigde competenties en/of capaciteit. In de eerste fase van het programma zullen ook de relevante value cycles, kritieke grondstoffen en mogelijke alternatieve materialen van de overige NTS-en alsook kritieke mineralenketens in beeld worden gebracht.

Betrokken partijen: bedrijfsleven, Center for Materials & Resilience, De Speciaal Vertegenwoordiger Grondstoffenstrategie, ISPT, M2i, Missieteam Industrie en TNO.



Werkpakket 2: lithium

Doel

Opbouwen van een geïntegreerde keten voor lithiumraffinage, batterijproductie en recycling in Europa, met focus op Nederland als spil voor raffinage en recycling.

Bijdrage aan strategische relevantie:

- vraag van batterijketens wordt regionaal bediend en strategische afhankelijkheden verminderen.
- bijdrage aan EU CRM-act doelen lithium 2030 (10% van de jaarlijkse EU-behoefte uit binnenlandse winning, 40% van de jaarlijkse behoefte via verwerking binnen de EU, 25% van de jaarlijkse behoefte via recycling).
- batterijproducenten EU zijn verplicht een percentage gerecycled materiaal te gebruiken vanaf 2031 volgens de EU Battery Regulation. Op dit moment ontbreekt de capaciteit voor raffinage van black mass tot battery grade.

Bijdrage aan verdienvermogen:

- honderden miljoenen CAPEX- investeringen en honderden nieuwe banen.

Lithiumraffinage

WMC Liminal Lithium beoogt in Rotterdam een lithiumraffinaderij te realiseren voor de opwerking van lithiumsulfaat (onder andere uit Zimbabwe en secundaire/recycle-bronnen) tot battery grade lithiumcarbonaat voor kathode- en celproductie en hoogwaardige meststof/fertilizer.

Technologieontwikkeling is nodig op het gebied van recycling (blackmass verwerking), metaalextractie, mechanische voorbehandeling, hydrometallurgisch terugwinnen van lithium, grafiet en gemengde metalen, geavanceerde scheiding en kristallisatie.

Betrokken partijen: InvestNL, InnovationQuarter, Port of Rotterdam, TNO, TU Delft en WMC Liminal Lithium.

Nobian werkt aan een raffinageproces waarbij gezuiverde lithiumchloride wordt omgezet naar lithiumhydroxide door een chemische reactie met natronloog (en eventueel vervolgens naar lithiumcarbonaat). In de ontwikkeling van de hele keten worden verschillende bronnen van lithiumchloride bekeken, waaronder geothermische bronnen, aquifers, olie- en gaswaters en uiteindelijk gerecycled materiaal. Ontwikkeling van het proces, alsmede de kennis over de invloed van verontreinigingen (verschillend per bron) is noodzakelijk.

Initiële pilottesten met een zuiver lithiumchloride oplossing zijn inmiddels met succes afgerond bij Veolia in de USA en akkoord is bereikt over gezamenlijke opschaling. Momenteel wordt een engineering studie gedaan om een continue pilot unit voor het Nobian proces te bouwen met als doel die eind 2026 operationeel te hebben.

Betrokken partijen: Nobian.



Lithiumrecycling

Back to Battery ontwikkelt een proces om kritieke grondstoffen terug te winnen uit de black mass van geshredderde lithium ion batterijen. Het bedrijf opereert momenteel een pilot in Delft met als doel om zekerheid te bieden voor verdere opschaling. Het proces heeft een gesloten kringloop van reagentia zonder afval, met een minimum verbruik aan chemicaliën en energie. In het proces wordt gebruik gemaakt van waterige chloride oplossingen en natronloog om te neutraliseren, waardoor het goed past in de chloorclusters van Nobian. Dit proces kan lithiumchloride als product produceren, of anderszinds natriumchloride, de grondstof van Nobian voor hun chloorproductie.

Procestechnologische uitdagingen zijn het energie-efficiënt selectief kunnen scheiden van lithium, pH en temperatuurgevoeligheid en de opschaling. Daarnaast wordt er technologie ontwikkeld om kobalt, nikkel en mangaan te scheiden. Deze grondstoffen worden net als lithium zonder verlies van functionaliteit weer in nieuwe lithium-ion-batterijen toegepast.

Betrokken partijen: A&M, Back to Battery, Center for Materials & Resilience, InnovationQuarter en Nobian.

Alternatieve materialen

Een alternatief voor lithium dat momenteel onderzocht wordt, is natrium. Voorbeelden zijn natrium ion batterijen en batterijen met natrium-tetrachloroaluminaat als elektrolyt. Nobian heeft een nieuw proces ontwikkeld en gepatenteerd voor de synthese van natrium-tetrachloroaluminaat, gebruik makend van de in Nederland aanwezige grondstoffen keukenzout en chloor. Voor dit proces wordt momenteel een pilot gebouwd door Nobian en de verdere ontwikkeling is onderdeel van het Nationaal Groeifonds-project SLB-Batt, waar Exergy Storage een batterij ontwikkelt op basis van natrium-tetrachloroaluminaat. Voor natrium-tetrachloroaluminaat is er daardoor een mogelijkheid een volledig Nederlandse keten op te zetten: van grondstofwinning tot batterij.

Betrokken partijen: Demcon Suster, Exergy Storage, ISPT, Nobian en Universiteit Twente.

Werkpakket 3: germanium

Doel

De ambitie is om binnen 5 tot 7 jaar de vereiste 40% verwerkingscapaciteit (in lijn met de doelstellingen van de Europese CRM-act) van germanium lokaal binnen Europa te leveren en bij te dragen aan de 25%-recyclingdoelstellingen als onderdeel van de CRMA-act.

Bijdrage aan strategische relevantie: de initiële bronnen van germanium, waaruit uiteindelijk germanium metaal geproduceerd kan worden, zijn zinkertsen en elektronisch afval. Andere bronnen zijn er niet of nauwelijks. Echter, germanium is een onmisbaar element in groene technologie, hightech-applicaties en nationale/regionale veiligheid, met inbegrip van (maar niet beperkt tot) halfgeleiders, infraroodtoepassingen (nachtkijkers) en fotonische cellen. Deze technologieën vormen de ruggengraat van talrijke industrieën, waaronder defensietoepassingen, telecommunicatie, consumentenelektronica en hernieuwbare energie.



Dit werkpakket beoogt een uitbreiding van het huidige zinkverwerkingsschema van Nyrstar in Budel om de kritieke grondstof germanium terug te winnen en op te waarderen tot een tussenproduct voor verdere verwerking naar metaal door derden binnen de EU. De nieuwe installatie (die aan de bestaande zinkproductie in Budel toegevoegd zal worden) zal zo worden ontworpen dat ze, indien beschikbaar, ook andere primaire of secundaire germaniumbronnen (bijvoorbeeld uit urban mining door derden) kan verwerken. Ook kan de installatie bijdragen aan het verwaarden van andere kritieke en strategische mineralen en metalen, waaronder indium, bismut en antimoon, verderop in de EU-waardeketen.

Germanium is aanwezig in zeer lage concentraties in het huidige zinkverwerkingsproces. Om deze op te waarderen tot een hoogwaardig tussenproduct, is een combinatie van de ontwikkeling van geavanceerde leaching, selectieve adsorptie/ionenuitwisseling en duurzame solventextractie nodig. De processtappen worden verder uitgewerkt om uiteindelijk te komen tot een demonstratiefaciliteit.

Betrokken partijen: Nyrstar, TU Delft, Universiteit Leiden.

Werkpakket 4: neodymium en dysprosium

Doel

Bijdrage aan strategische relevantie: productie van 40% van de Nederlandse vraag naar Neodymium-ijzer-boronmagneten (in lijn met de doelstellingen van de Europese CRM-act).

Dit werkpakket onderzoekt de haalbaarheid van het opzetten van een Nederlandse toeleveringsketen voor neodymiummagneten, met als middelpunt een recycling-/productiefaciliteit in de haven van Rotterdam. Port of Rotterdam ontwikkelt een terminal voor opslag, overslag, installatie en assemblage van windturbines. De terminal wordt geschikt gemaakt voor ontmanteling van windparken op zee. Implicaties van het opzetten van een permanente magneetrecyclingfaciliteit in de Haven van Rotterdam dienen te worden onderzocht en strategieën voor de ontwikkeling van toeleveringsketens voor permanente magneten te worden ontwikkeld. Er wordt gewerkt aan technologieontwikkeling op het gebied van geavanceerde scheidingstechnieken waaronder hydrometallurgie (chemische processen om zeldzame neodymium en dysprosium uit magneten terug te winnen), pyrometallurgie (thermische processen voor smelten en raffinage) en mechanische scheiding (breken, malen en sorteren van magneten uit afvalstromen). Sensor- en AI-technologie zal worden ingezet om magnetische materialen efficiënt te detecteren en automatisering en robotica voor het demonteren van complexe producten waarin magneten verwerkt zijn. Procesontwerp wordt ingezet om energieverbruik te beperken en afvalwater en emissies te minimaliseren.

Betrokken partijen: ASML, Center for materials & Resilience, InnovationQuarter, Invest-NL en Port of Rotterdam.

Werkpakket 5: vanadium en mangaan

Doel

Bijdrage aan strategische relevantie: productie van +/- 40% van de Europese vraag naar



vanadiumpentoxide en +/- 5% van de Europese vraag naar mangaansulfaat (in lijn met de doelstellingen van de Europese CRM-act).

Bijdrage aan verdienvermogen: 70% van vanadium komt uit staalslakken. In Nederland worden grote hoeveelheden staalslakken geproduceerd en het beheren van dit afval zal zeer kostbaar worden. Verwacht wordt dat de stortkosten in de komende jaren met een factor 5 zullen stijgen. Terugwinning en hergebruik leidt tot toegevoegde waarde en nieuwe bedrijvigheid.

Dit werkpakket onderzoekt de technische en economische haalbaarheid van het opzetten van een Nederlandse toeleveringsketen van vanadium en mangaan aan de Europese staal- en batterijketen.

Phoenix Metals ontwikkelt een technologie voor selectieve hydrometallurgische extractie die vanadium gaat terugwinnen uit Nederlandse staalslakken. In deze ontwikkeling dienen uitdagingen op het gebied van processtabiliteit, scheidingsefficiëntie en zuiverheidseisen te worden geadresseerd.

Bij vanadium wordt gekeken naar de Nederlandse vraag naar vanadiumelektrolyt voor toepassing in de vanadiumbatterij. Bestaande Europese vanadiumbatterijproducenten kunnen elektrolyt inkopen bij Europese producenten (UK en Duitsland), maar zijn voor de import van vanadiumpentoxide afhankelijk van met name uit China, Zuid-Afrika en de Verenigde Staten. Phoenix Metals gaat vanadium terugwinnen uit Nederlandse staalslakken. Secundaire toepassingen van het teruggewonnen vanadium zullen worden onderzocht met ketenpartners zoals ButterBridge voor het maken van FerroVanadium. Dit is een essentiële toepassing van vanadiumpentoxide voor het maken van staallegeringen.

Ook wordt onderzocht hoe het teruggewonnen mangaan uit staalslakken kan worden omgezet in een mangaansulfaat als grondstof voor het maken van Lithium-NMC batterijen ter bevordering van Europese productie en recyclage. Technologieontwikkeling is nodig vanwege zuiverheidseisen, procesoptimalisatie en afvalbeheer.

Daarnaast worden toepassingsmogelijkheden onderzocht voor de overige teruggewonnen grondstoffen uit staalslakken, zoals magnesium, ijzer en calcium voor hergebruik in de staalproductie van Tata Steel Netherlands of de cementketen.

Betrokken partijen: Butterbridge, Center for Materials & Resilience, DOPS, Phoenix Metals, ROM's, Tata Steel Netherlands en TNO.

Werkpakket 6: platinagroep metalen

Doel

Bijdrage aan strategische relevantie: grootverbruikers in de procestechnologie en chemie adapteren het gebruik van nieuwe technologieën, die katalysatoren van niet-platinagroep metalen stabiel maken, hiervoor geschikte reactoren en duurzaam inputmateriaal.

Bijdrage aan nieuwe banen: kleine bedrijven (met tientallen werknemers) in de maakindustrie

kunnen doorgroeien naar honderden werknemers per bedrijf. De verwachting is dat meer dan duizend nieuwe banen gecreëerd worden.

Meer dan 90% van alle chemische processen in de industrie maakt gebruik van katalysatoren. Zonder katalysatoren zouden veel reacties te langzaam, te duur of energetisch ongunstig zijn. Veel katalysatoren zijn echter gebaseerd op kritieke platinagroep metalen. Alternatieven zijn beschikbaar, maar hebben niet dezelfde performance. Met name stabiliteit is een uitdaging voor op niet-platinagroep metalen-gebaseerde katalysatoren. Dit werkpakket werkt aan oplossingen voor deze uitdaging door:

- het ontwikkelen van nieuwe technologieën, mede op basis van nanostructurering, om katalysatoren van niet-platinagroep metalen stabiel te maken;
- het reactorontwerp hierop aan te passen en te accepteren dat de katalysator niet stabiel is, maar het proces zo inrichten dat er frequente regeneratie wordt toegepast;
- te anticiperen op de overgang naar niet fossiele feedstock als inputmateriaal welke gekenmerkt wordt door grote variaties en diverse verontreinigingen (focus op basischemicaliën syngas, methanol, ethyleen).

Betrokken partijen: Center for Materials & Resilience, Demcon Suster, InCatT, Ketjen, LyondellBasell, Powall, ROM's, Sabic en Shell.

Gantt chart

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. Coördinatie & value chain analyses	10										
2. Cluster 1	69										
3. Cluster 2	73										
4. Cluster 3	59										
5. Cluster 4	8										

Verbinding met andere actieagenda's

Binnen dit NTS Procestechnologie Innovatieprogramma Kritieke Grondstoffen is gekozen voor een focus op enkele specifieke materialen en direct te verbinden value cycle. Bijvoorbeeld een lithiumstroom vanuit het remanufacturing proces van batterijen uit elektrische voertuigen. Naast de lithiumstroom dient hier ook de 'bijvangst' te worden beschouwd van kobalt, nikkel, grafiet en neodymium vanuit magneten.

De volgende NTS-en vermelden supply chain issues of beschikbaarheid van kritieke materialen als een bedreiging:

- AI en data sciences

- Optical systems and integrated photonics
- Energy materials

De overige NTS-en en hun innovatieprogramma's zullen ook moeten anticiperen op de (soms in eigen SWOT-analyse aangegeven) afhankelijkheid van kritieke materialen. Een inventarisatie van benodigde kritieke materialen, en de potentiële bronnen waaruit deze materialen kunnen worden gewonnen binnen een Europese value-cycle met Nederlandse kennis, technologie of industrie zal in de eerste fase van het innovatieprogramma worden gemaakt.

5.2.6. Financiële breakdown

De totale omvang van de programmakosten bedraagt 220 MEUR.

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
1. Coördinatie & value chain analyses	10	5	5
2. Lithium	42	21	21
3. Germanium	42	21	21
4. Neodmium en dysprosium	42	21	21
5. Vanadium en mangaan	42	21	21
6. Platinagroep metalen	42	21	21
Programma Totaal	220	110	110

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd (welke type activiteiten/ middelen worden wanneer ingezet)

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	220
Totaal											

6. Technologische verdieping in procestechnologie

De komende tien jaar vraagt de transitie naar een duurzame, concurrerende en weerbare industrie om een technologische versnelling in de Nederlandse procestechnologie. Dit ambitieuze technologische verdiepingsprogramma *Smart Process Acceleration* richt zich op drie centrale thema's: (1) ontwerpprincipes voor kostenefficiëntie, schaalbaarheid en circulariteit, (2) digitalisering en AI als versneller en ontwerpmotor, en (3) opschaling en systeemintegratie.

6.1. Ontwerp voor kostenefficiëntie, schaalbaarheid en circulariteit

Geïntegreerde methoden die ontwerp en productie vroeg verbinden, voorkomen in de opschalingsfase onnodige kosten, herontwerprondes en vertragingen. Nieuwe procestechnologieën dienen vanaf de ontwerpfase gericht zijn op:

- Kostenefficiëntie: door toepassing van modulaire, gestandaardiseerde fabrieksconcepten ('containerfabrieken', plug-and-play modules) kunnen investerings- en operationele kosten omlaag en wordt snelle opschaling mogelijk.
- Thermodynamische efficiëntie: door het minimaliseren van exergieverlies (verlies van nuttige energie die kan worden omgezet in arbeid) en het optimaal benutten van energie, koolstof en massa in elke processtap.
- Schaalbaarheid: ontwikkeling van technologieën die zowel op kleine (decentrale) als grote schaal toepasbaar zijn, vergroot de flexibiliteit en exportpotentie van Nederlandse oplossingen.
- Circulariteit: ontwerpbeslissingen moeten gericht zijn op het sluiten van kringlopen (koolstof, water, stoom, kritieke materialen), met recycleerbaarheid, hergebruik en minimalisering van afvalstromen als uitgangspunt (design for circularity).

6.1.1. Activiteiten

In de eerste fase dienen generatieve AI-modellen ontwikkeld te worden, die complete procesontwerpen optimaliseren op kosten, energie-efficiëntie, grondstoffenefficiëntie en circulariteit (AI-gedreven ontwerptools). Ook worden Digital twins van waardeketens ontwikkeld en gekoppeld aan real-time marktdata en forecasts om investeringsbeslissingen dynamisch te simuleren. In de fase hierna dient een platform voor digitale specificaties van feedstocks en procesmodules te worden ontwikkeld, zodat ontwerpregels met de betrokken partijen gedeeld kunnen worden (virtuele standaardisatie). Ook dienen AI-modellen die voorspellen hoe ontwerpkeuzes impact hebben op recycling en hergebruik over de hele levenscyclus te worden ontwikkeld (predictive circularity).

6.2. Digitalisering, AI en datascience als versneller en ontwerpmotor

Digitalisering en kunstmatige intelligentie zijn onmisbaar voor de versnelling van innovatie en implementatie in de procestechnologie. De volgende toepassingen zijn essentieel:

- Versnellen van opschaling: machine learning ondersteunt het sneller vertalen van labresultaten naar pilot/demo/FOAK-schaal, door simulatie en data-analyse.
- Procesoptimalisatie: AI-gedreven procescontrole, voorspellend onderhoud en real-time kwaliteitsmonitoring verhogen de efficiëntie en verlagen faalkosten.

- Ketenintegratie: door digitalisering van de hele waardeketen (van grondstof tot eindproduct) ontstaat transparantie in materiaalstromen, CO₂-footprint, milieu impact en circulariteit.
- Veiligheid en weerbaarheid: cybersecurity en digitale weerbaarheid worden integraal onderdeel van het ontwerp van nieuwe fabrieken en processen.

6.2.1. Activiteiten

In de eerste fase zijn data-acquisitie en sensorintegratie belangrijke activiteiten om vervolgens AI-modellen te voeden. AI wordt aansluitend daarna gebruikt om labdata om te zetten in schaalbare procesmodellen. Realtime kwaliteitsmonitoring (combineren data uit verschillende sensoren + AI) is nodig voor detectie van verontreinigingen en afwijkingen in complexe stromen. Zodra er voldoende data is en simulaties zijn gedaan, kunnen autonome fabriekscontrollers ontwikkeld worden die via reinforcement learning continu optimaliseren op rendement en emissies (zelflerende procesbesturing). Ook kunnen systemen worden ontworpen die niet alleen voorspellen, maar ook direct ingrijpen in procesparameters om afwijkingen te corrigeren (Closed-loop AI). Het ontwikkelen van een digitale, virtuele representatie van een fabriek, waarin mensen en slimme systemen samenwerken op basis van realtime data, dient mee te groeien met de fase van opschaling.

6.3. Systeemintegratie en opschaling

De grootste technologische doorbraken worden verwacht op het snijvlak van verschillende disciplines en waardeketens:

- Systeemintegratie: het slim combineren van energie-, grondstoffen-, water- en datastromen binnen en tussen industrieclusters levert synergievoordelen op en maakt nieuwe circulaire ketens mogelijk.
- Opschaling & demonstratie: Nederland moet investeren in fieldlabs, testfaciliteiten en demonstratieprojecten waar nieuwe technologieën op relevante schaal kunnen worden getest en gevalideerd.
- Flexibiliteit: nieuwe processen moeten flexibel kunnen inspelen op variaties in grondstofaanvoer, energieprijzen en marktvraag. Dit vraagt om modulaire, snel aanpasbare installaties en een sterke koppeling met digitalisering.

6.3.1. Activiteiten

Zodra er data uit pilots is, kan AI-gestuurde clusteroptimalisatie starten. Bijvoorbeeld door het ontwikkelen van algoritmen die energie-, water- en materiaalstromen tussen fabrieken dynamisch balanceren op basis van vraag en aanbod. Het ontwikkelen van een digitale infrastructuur voor waardeketens (blockchain + AI) ten behoeve van de traceerbaarheid van circulaire grondstoffen en CO₂-footprint is een belangrijke volgende stap. Vervolgens wordt gedacht aan virtuele demonstratiefabrieken, waarin immersive technologie (Virtual Reality/Artificial Reality) wordt gebruikt om FOAK-faciliteiten eerst volledig digitaal te testen. Ook het ontwerpen van digitale configuratoren waarmee fabrieken in korte tijd virtueel herontworpen kunnen worden voor nieuwe feedstocks hoort bij de activiteiten binnen dit verdiepingsthema (flexibele modulaire fabrieken). In een nog latere fase, wanneer er meerdere fabrieken draaien en data delen wordt



predictive maintenance op ecosysteemniveau mogelijk. AI monitort dan niet alleen individuele installaties, maar voorspelt storingen en bottlenecks in clusters.

Fasering

- 2026-2028: fundamentele AI-modellen, digital twins, sensortechnologie.
- 2028-2031: opschaling via simulatie, autonome procesbesturing, virtuele fabrieken.
- 2031-2035: clusteroptimalisatie, ecosystem-level AI, industriële, functionele digitale omgeving.

7. Ecosysteemactiviteiten

Binnen deze actieagenda ligt de focus op het versnellen van de uitrol van duurzame procestechnologie door kennisontwikkeling consequent te verbinden met toepassing, marktcreatie en ondernemerschap. Door langdurige samenwerking tussen kennisinstellingen, bedrijven en overheid ontstaat een samenhangend en succesvol innovatiepad van lab, pilot, demo, tot en met opschaling en implementatie in de markt. Alleen via een sterk ecosysteem, waarin technologie, kennis, kapitaal en talent samenkomen, kan Nederland zijn ambities waarmaken. Om dit te realiseren zijn de volgende ecosysteemactiviteiten benoemd:

- **Kennisontwikkeling en -toepassing**

De focus ligt op kennisontwikkeling gericht op toepassing met een economische en maatschappelijk doel. Dit vraagt om intensievere samenwerking tussen de kennisinfrastructuur, het MKB (inclusief start- en scale-ups) en grotere bedrijven. Het liefst via langjarige programma's van tien jaar of langer. Er zijn coherente programma's nodig die aansluiten bij deze NTS Actieagenda, waarbij meerdere partijen met universiteiten en kennisinstellingen samenwerken en verschillende TRL-niveaus worden gecombineerd. Dit alles onder centrale regie en met een koppeling naar de Kennis- en Innovatieagenda's. Essentieel is het borgen van de combinatie van diepgaande wetenschap en pragmatische engineering, onder meer via gezamenlijke fieldlabs, pilotfaciliteiten en een ecosysteem waarin universiteiten, onderzoeksinstituten, het MKB en grote bedrijven samenwerken. Tot slot vragen het behoud en de opbouw van kennis bij bedrijven expliciete aandacht, evenals innovatie in de beroepspraktijk via bijvoorbeeld Professors of Practice en Professional Doctorates. Voor de overheid is het belangrijk om kennis te ontwikkelen over de rol die regelgeving heeft (inclusief vergunningen), positief of negatief, op het versnellen, vertragen of zelfs onmogelijk maken van de implementatie van een nieuw product of waardeketen.

- **Marktontwikkeling**

Vraagcreatie van duurzame en circulaire producten moet op EU-niveau worden georganiseerd, inclusief een duidelijke Made in Europe-benadering, zodat er een afzetmarkt ontstaat voor deze producten. Instrumenten zoals garanties, (conditionele) offtake-afspraken, CfD's en mandaten zijn nodig om onrendabele toppen te overbruggen en financiering (banken, investeringsfondsen, bedrijven, etc.) mogelijk te maken. Daarnaast is het belangrijk om te experimenteren met innovatieprojecten waarin consortia in de waardeketen, inclusief eindgebruikers, gezamenlijk de meerkosten van duurzame grondstoffen dragen. Deze meerkosten blijven beperkt tot ongeveer 1 à 2% van de prijs van het eindproduct.

- **Ontwikkeling ondernemerschap, vaardigheden en nieuw talent**

Er is behoefte aan nationale pilot- en demonstratiecampussen waarin universiteiten, kennisinstellingen, het MKB en grotere bedrijven samenwerken. Op deze campus komen laag-TRL onderzoek en hoog-TRL toepassingen samen in een learning hub, die zowel

wetenschappelijke diepgang als praktische snelheid biedt en zo de leercurve versnelt. Het ecosysteem dient modulair en flexibel te zijn, zodat nieuwe technologieën snel kunnen worden getest, opgeschaald en uitgerold. Hiervoor wordt met name gebruik gemaakt van box refining (compacte, gestandaardiseerde en schaalbare fabrieksconcepten). Regionale ecosystemen worden versterkt door de ROM's via onder meer themagerichte fieldlabs en opschalingsfaciliteiten. Daarnaast zijn specifieke opschalingsfaciliteiten en gerichte ondersteuning van ondernemers nodig, omdat oprichters vaak technologisch gedreven zijn en nog weinig ervaring hebben met marktvalidatie of omdat de waardeketen nieuw is. Daarnaast zijn veel initiatieven op het gebied van duurzame en circulaire producten kapitaalintensief.

- **Versterking investeringsklimaat en institutionele setting**

InvestNL en de ROM's ondersteunen ondernemers bij het beter financieerbaar maken van hun proposities via venture development, waarbij het opzetten van een duidelijke ontwikkel- en financieringslijn essentieel is. Bij kennisontwikkeling moet vanaf het begin aandacht zijn voor valorisatie in de waardeketen, met oog voor de (huidige) lange opschalingsduur van nieuwe procestechnologieën van 10 tot 20 jaar. Succes vraagt om één duidelijke route van lab naar pilot en demo, gekoppeld aan open testfaciliteiten en financiering van ketenbrede proof-of-concepts met eindgebruikers. Het is belangrijk om aan het begin van een project een eerste beeld te hebben van het benodigde tijdspad en financiën voor de implementatie (vergunningen, investeringsbehoefte, eisen/kansen certificering). Het Transition Finance Network adviseert, in een recent rapport in opdracht van Groene Chemie, Nieuwe Economie, om in een toekomstig investeringsfonds specifiek gelabelde publieke middelen te reserveren voor procestechnologie en chemie in de demo- en FOAK-fase. Dit gezien de hoge kapitaalintensiteit en risico's voor start- en scale-ups. Daarnaast is onafhankelijke technologische 'due diligence' in een vroege fase belangrijk, onder meer op basis van thermodynamische principes. Tot slot kan meer structurele samenwerking en synergie tussen bestaande organisaties, zoals topsectoren, NGF-programma's, relevante ministeries, branche- en clusterorganisaties, Groene Chemie Nieuwe Economie/ROM's, ISPT, RVO, InvestNL en overige financiers, de pragmatische uitvoering en opschaling aanzienlijk versnellen.

8. Organisatie

Henry Ford: "If you always do what you've always done, you'll always get what you've always gotten."

De NTS Actieagenda Procestechnologie is dienend aan de strategische richting en de daarbij behorende prioriteiten die Nederland heeft. De NTS Procestechnologie richt zich dus op de ontwikkeling, opschaling en implementatie van technologische oplossingen en opties voor de doelstellingen die Nederland zich stelt. Daarnaast bieden de innovatieve technologische ontwikkelingen ook nieuwe economische en maatschappelijke kansen, die de strategische richting en prioriteiten van Nederland positief kunnen beïnvloeden. In die zin is het vergelijkbaar met de rol van de technologische functie bij een bedrijf.

Doordat deze innovatieprogramma's zich richten op de ontwikkeling van complexe circulaire en duurzame waardeketens, vraagt de governance een nieuwe en sterk coördinerende aanpak. Bij de ontwikkeling van deze (gedeeltelijke) nieuwe waardeketens zijn naast de diverse bedrijven (groot, klein, nieuw en bestaand), de betrokkenheid van meerdere ministeries, clusters, provincies, financiers en andere stakeholders essentieel. Door te sturen op het (verwachte) *verdienvermogen van de waardeketens/producten, de time to market, de strategische relevantie én de klimaat en milieu-impact die de ontwikkeling in procestechnologie nodig hebben*, ontstaat een model waarbij (soms tegenstrijdige) belangen in balans moeten worden gebracht. Dit vraagt om een onafhankelijk regisseur die private en publieke verbanden samen kan brengen en zich tussen de verschillende ministeries, lokale overheden, kennisinstellingen en de bestaande innovatieprogramma's, Missieteams en KIA's kan bewegen. Belangrijke taken binnen deze rol zijn ook het creëren van commitment in de private en financiële sector en het bijeenbrengen en versterken van het ecosysteem. Specifieke aandacht is nodig voor support aan start- en scale ups in samenwerking met de ROM's en incubatorprogramma's. Daarnaast is het essentieel om te kunnen innoveren met het verdelen van middelen, bijvoorbeeld door het stimuleren van experimentele ruimte in clusters en het toekennen van kennisvouchers aan pilot- en demoprojecten. Door dit laatste kunnen uitdagingen en kennisvragen, die zich tijdens de opstart en operatie voordoen, direct worden aangepakt. Ook de communicatie en disseminatie van de resultaten en het voeren en voeden van het publieke debat/dialog is een belangrijke taak.

De beoogde governance structuur voor de NTS Actieagenda's is beschreven in het overkoepelende document. De specifieke invulling van de governance structuur, inclusief personele invulling, wordt in 2026 afgerond, in nauwe samenwerking met de KIA ST en in samenhang met de ontwikkeling van de sectortafel en het sectorbestuur Chemie en Materialen.



8.1. Financiering

Samenvatting van de financieringsbehoefte (€ mln)

Activiteit	Privaat	Publiek, bestaand	Publiek, nieuw	Totaal
Duurzame Koolstofhub	1.000	187,5	812,5	2.000
Kritieke Grondstoffen	110	0	110	220
Verdieping Smart Process Accelerator	111		111	222
Totaal	1.221	187,5	1.033,5	2.442

9. Vervolg programma ontwikkeling

Om de actieagenda en bijbehorende innovatieprogramma's verder te ontwikkelen zijn de volgende stappen noodzakelijk:

- Het selecteren van specifieke waardeketens waarop gefocust zal worden binnen het innovatieprogramma Duurzame Koolstofhub Noordwest-Europa aan de hand van het met relevante stakeholders uit te werken besliskader. Zie hoofdstuk 5.1.4 (*Aanpak*).
- Het prioriteren en concretiseren van activiteiten binnen het innovatieprogramma Duurzame Koolstofhub Noordwest-Europa mede ten behoeve van het succesvol maken van de hieraan gerelateerde pilot-, demo- en opschalingsprojecten die zijn opgenomen in de Investeringsagenda Innovatieve Chemie;
- Het prioriteren en concretiseren van activiteiten binnen het innovatieprogramma kritieke grondstoffen ten behoeve van het succesvol maken van de beschreven pilot-, demo- en opschalingsprojecten binnen de vijf waardeketens;
- Het prioriteren en concretiseren van activiteiten binnen het technologische verdiepingsprogramma Smart Process Acceleration;
- Opzetten en versterken structurele samenwerking met InvestNL, ROM's, Groene Chemie, Nieuwe Economie, Techleap en de Nationale Academie voor Engineers (NAE);
- Het voorbereiden van structureel contact tussen de Nederlandse maakindustrie en procesindustrie;
- Met input van bovenstaand starten met het doorontwikkelen van het ecosysteem:
 - Bijeenhalen van de belangrijkste actoren;
 - Verder analyseren van benodigde competenties en capaciteiten (mensen en infrastructuur), het vaststellen van eventuele gaten en het adresseren hiervan.
- Het communiceren en zoeken van dialoog met maatschappelijke organisaties;
- Het starten van de eerste projecten.

Totdat de nieuwe governance operationeel is, zullen de partijen die de actieagenda hebben opgesteld het gecommitteerde ecosysteem zo nauw mogelijk betrokken houden bij de ontwikkelingen rondom de actieagenda en specifiek de bovengenoemde stappen.

Gezien de urgentie van de actieagenda en om gebruik te kunnen maken van het momentum van het 'traject Wennink', het benoemen van de groeisectoren en de lancering van de NTS Actieagenda's, en om dit alles om te kunnen zetten in een vliegende start, is in 2026 een budget nodig van circa €4 miljoen.



Colofon

Auteurs:

Marco Waas (Nobian), Irene ten Dam (ISPT), Lisanne Blom (VNCI)

Medeauteurs:

Geoffrey Schouten (ISPT), Ronald Korstanje (ISPT), Mark Intven (VNCI)

Bij de totstandkoming van dit stuk is gebruik gemaakt van kunstmatige intelligentie voor redactionele doeleinden.
De eindredactie is op verantwoordelijkheid van de genoemde auteurs.

Verkenningsgroep:

Peter Berben (ChemistryNL), Marcel Wubolts (Vivici), Kees Biesheuvel (ISPT Brains),
Hessel Jongebreur (ZEF BV), Sascha Kersten (Universiteit Twente/Demcon Suster), Christian Poelma (TU Delft), Carlien
Verberne (HAN/HBO-vertegenwoordiging), Richard Braal (TNO), Tjeerd Jongsma (ISPT/Fascinating) en Xandra Weinbeck
(Invest-NL)

Vertegenwoordiging uit het Ministerie van Economische Zaken en het Ministerie van Klimaat en Groene Groei:
Danique Koehoorn en Mark Schmets

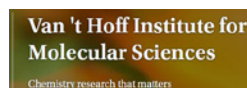
Met dank aan:

Vincent Van Doninck en Theresa Wallner (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat)



ASML





Knowledge grows

