

PFAS alternatieven

Marktkansen in Nederland

TNO-2026-16645 – 8 juni 2026

PFAS alternatieven

Marktkansen in Nederland

Auteurs	R. Oren J. van Aart J. Trimboli R. Vermoolen H. Braakhuis
Rubricering rapport	TNO Public
Titel	TNO Public PFAS alternatieven
Rapporttekst	TNO Public
Aantal pagina's	21 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	0

Alle rechten voorbehouden

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

© 2026 TNO

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1 Inleiding.....	6
1.1 Aanleiding.....	6
2 Halfgeleiderindustrie	7
2.1 Marktkansen en Nederlandse spelers	7
2.2 Tijdslijnen	8
2.3 Innovaties en technologische stand van zaken.....	8
3 Elektrolyzers	11
3.1 Marktkansen en Nederlandse spelers	11
3.2 Tijdslijnen	12
3.3 Innovaties en technologische stand van zaken.....	12
4 Brandblusschuimen	14
4.1 Marktkansen en Nederlandse spelers	14
4.2 Tijdslijnen	15
4.3 Innovaties en technologische stand van zaken.....	15
5 Conclusies en kansen voor Nederland	19
Ondertekening.....	22

Samenvatting

Dit rapport analyseert de rol van PFAS in twee belangrijke Nederlandse sectoren en in één productgroep (halfgeleiders, elektrolyzers en brandblusschuimen) en verkent kansrijke alternatieven in het licht van strengere regelgeving. Het biedt inzicht in toepassingen, beschikbare alternatieven, transitiepaden en investeringskansen om zowel de PFAS-transitie als de concurrentiekracht van Nederland te versterken.

Halfgeleider industrie

De halfgeleiderindustrie is het meest afhankelijk van PFAS en kent de grootste technische vervangingsopgave. Nederland heeft een sterke positie binnen de halfgeleiderindustrie door ASML en omliggend ecosysteem. PFAS worden o.a. gebruikt in afdichtingen en coatings om deze bestand te maken tegen agressieve chemicaliën en extreme condities. Er wordt in de sector gewerkt aan PFAS-vrije alternatieven voor toepassingen zoals O-ringen en afdichtingen, smeermiddelen, coatings, folies en ultrapure vloeistofsystemen. Deze innovaties worden op laboratorium- en pilotschaal getest (tussen TRL 3-7). Gedeelde testplatformen kunnen helpen om de transitie naar PFAS-alternatieven te versnellen. Daarnaast is er langdurige financiering nodig voor meerjarige R&D programma's voor PFAS-vrije materialen en processen.

Electrolyzers

De electrolyser industrie is een groeimarkt waarbinnen verschillende Nederlandse bedrijven zich ontwikkelen. Deze bedrijven zijn o.a. actief in katalysatoren, membranen, coatings en stackcomponenten. In combinatie met expertise in machinebouw en automatisering, een sterke kennisbasis en een nationale afzetbasis geeft dit Nederland een sterke positie in de sector. De ontwikkelingen van PFAS-vrije alternatieven richt zich op proton exchange membranes (PEM) en anion exchange membranes (AEM) technologieën waar PFAS op dit moment essentieel is voor levensduur en betrouwbaarheid. De maturiteit van deze innovaties varieert tussen TRL 4 en TRL 9. Daarnaast biedt PFAS uitfasering de mogelijkheid om recycling van electrolyzers te versnellen, en daarmee de afhankelijkheid van kritieke materialen te verminderen. Er is duidelijkheid nodig over de uitfasering van PFAS voor ionomeren. Daarnaast kunnen investeringen in demonstratieprojecten in industriële omgevingen en kritische component ontwikkeling de toepassing van PFAS-vrije alternatieven in electrolyzers versnellen.

Brandblusmiddelen

De markt voor brandblusschuimen bevindt zich in een transitie als gevolg van de PFAS restricties. Fluorine-free firefighting foams (F3) zijn commercieel beschikbaar. F3-brandblusschuimen worden veelal door internationale producenten geproduceerd en door een enkele Nederlandse producent, Saval. Nederlandse bedrijven zijn vooral actief in het aanpassen van brandblusinstallaties en bijbehorende infrastructuur aan F3. Er liggen kansen in validatie en systeemintegratie van blussystemen en de daarmee samenhangende technologieën om PFAS resten te verwijderen. Investeringsprogramma's om F3 formuleringen verder te verfijnen voor specifieke toepassingen, blusinstallaties aan te

passen, PFAS te verwijderen uit water en afvalstromen kunnen emissie aan PFAS verminderen en de uitfasering van PFAS versnellen.

Financiering

Door samenwerking tussen original equipment manufacturer (OEM's), materiaalproducenten, machinebouwers, testlaboratoria en kennisinstellingen (zoals via publiek private samenwerking) kan Nederland uitgroeien tot een Europese PFAS-transitiehubs. Gedeelde testmethodes, kwalificatiedata en roadmaps verkorten doorlooptijden en versterken de leveringszekerheid in Europa.

Een gelaagde structuur wordt voorgesteld voor PFAS-transitieactiviteiten op landelijk niveau, in de Nederlandse sectoren en productgroepen. Orkestratie (gefinancierd door de overheid) van landelijke aanpak en beleid alsmede ontwikkeling van methodologie en tools voor PFAS-transitie wordt voorzien voor partijen zoals RIVM, VNCI, TNO die dit jaar gezamenlijk het nieuwe Nederlandse SSbD expertisecentrum vormgeven met PFAS als een speerpunt.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

PFAS (per- en polyfluoralkylstoffen) worden breed toegepast in industriële sectoren vanwege hun unieke eigenschappen, waaronder chemische inertie, thermische stabiliteit en oppervlakte-specifieke functionaliteit. Deze eigenschappen maken PFAS moeilijk vervangbaar in kritische toepassingen zoals halfgeleiderproductie, elektrolysetechnologie en brandblus schuimen. Tegelijkertijd leiden de persistentie, mobiliteit en potentiële risico's voor mens en milieu tot toenemende maatschappelijke en wettelijke druk om het gebruik van PFAS te beperken en uiteindelijk uit te faseren. Binnen Europa vormt het lopende REACH-restrictietraject een belangrijke drijvende kracht achter deze transitie.

De voorgestelde brede restrictie op PFAS creëert een urgente behoefte aan alternatieven, maar ook aanzienlijke onzekerheid voor industrieën waarin PFAS momenteel functioneel en essentieel zijn. Sectoren verschillen sterk in hun afhankelijkheid van PFAS, de beschikbaarheid van alternatieven en de snelheid waarmee deze kunnen worden geïmplementeerd. Dit leidt tot uiteenlopende transitiepaden, met variërende tijdslijnen, kosten en technologische risico's.

Tegelijkertijd ontstaan er nieuwe economische kansen. De ontwikkeling, validatie en implementatie van PFAS-vrije of PFAS-arme oplossingen opent markten voor nieuwe materialen, productietechnologieën, testmethoden en systeemoplossingen.

Dit rapport geeft een eerste selectie van kansrijke innovaties voor PFAS-alternatieven die ook een bijdrage leveren aan het verdienvermogen van de Nederlandse industrie, voor twee strategische sectoren en één strategische productgroep in Nederland: halfgeleiders, elektrolyzers en brandblusschuimen. Deze sectoren en productgroep zijn geselecteerd vanwege hun hoge maatschappelijke en economische relevantie, hun sterke afhankelijkheid van PFAS en hun verschillende posities in de innovatie- en transitiecyclus. Het rapport brengt per sector en productgroep de huidige toepassingen van PFAS, de stand van alternatieve technologieën, verwachte tijdslijnen en de rol van Nederlandse spelers in kaart. Daarmee biedt het inzicht in waar Nederland kan investeren om een leidende rol te nemen in de PFAS-transitie en tegelijkertijd industriële concurrentiekracht te versterken.

2 Halfgeleiderindustrie

2.1 Marktkansen en Nederlandse spelers

De halfgeleiderindustrie is een strategische pijler van de Nederlandse en Europese hightechsector met een marktwaaarde van €30 miljard, marktaandeel van 9% en een beoogde groei van dit marktaandeel van 8,6% over de komende 5 jaar^{1,2}. PFAS zijn daarin essentieel door hun chemische en thermische stabiliteit, lage wrijving en hoge zuiverheid, onder meer in lithografie, etsen, coatings, smeermiddelen, afdichtingen en ultrapure vloeistofsystemen³. Tegelijk dwingen maatschappelijke en wettelijke druk de sector richting alternatieven^{3,4}.

Tabel 1 Overzicht PFAS productgroepen met fluoropolymeren

Productgroep met PFAS	Geschatte Nederlandse Markt	Belangrijkste NL speler of gebruiker	Opmerkingen
O-ringen, seals, pakkingen	~€40–90 miljoen/jaar	ASML, ASM, VDL-ETG, ERIKS	Hoge waarde door F(F)KM seals in EUV- en vacuümsystemen
PFAS-smeermiddelen en coatings	~€15–40 miljoen/jaar	ASML, Aalberts, Interflon	Kritisch voor motion stages, vacuüm en cleanroomtribologie
Ultrapure fluid handling systemen	~€120–300 miljoen/jaar	ASML supply chain	Grootste PFAS-segment door chemische distributie en UPW
Fluoropolymeer componenten totaal	~€200–450 miljoen/jaar	Semiconductor equipment ecosysteem Brainport	Inclusief PTFE/PFA tubing, kleppen, filters en liners

Nederland heeft een sterke positie door ASML en het omliggende ecosysteem van toeleveranciers en kennisinstellingen. In ASML-systemen worden PFAS-houdende materialen nog veel toegepast, PFAS in polymeervorm wordt bijvoorbeeld gebruikt in afdichtingen, coatings en procesonderdelen die bestand moeten zijn tegen agressieve chemicaliën en extreme condities⁵. ASML en haar leveranciers zetten zich actief in voor het terugdringen van PFAS-gebruik en werken aan PFAS-vrije alternatieven, met het oog op realisatie hiervan rond 2027⁶. Ook Nederlandse gebruikers van halfgeleiderapparatuur (chipproductie, advanced packaging en micro-elektronica) krijgen direct te maken met toekomstige PFAS-restricties. Daardoor groeit de vraag naar PFAS-vrije of PFAS-arme oplossingen die dezelfde eisen aan functionaliteit, levensduur en betrouwbaarheid halen.

¹ PWC Report. Semicon in NL. 2024

² <https://www.welcome-to-nl.nl/semiconductor-industry-netherlands>

³ Medeiros, D.; Watkins, E.; Dory, T. et al. Background on Semiconductor Manufacturing and PFAS Semiconductor PFAS Consortium. Semicond. Ind. Assoc. 2023, 1–60

⁴ Semiconductor PFAS Consortium Plasma Etch and Deposition Working Group. PFAS-Containing Fluorochemicals Used in Semiconductor Manufacturing Plasma-Enabled Etch and Deposition. 2023, 1–36.

⁵ 10 Angstrom CMOS exploration <https://cordis.europa.eu/project/id/101139972>

⁶ <https://eriks.nl/nl/industrieen/semicon/>

De Nederlandse maakindustrie profiteert mee. VDL ETG levert modules en precisiecomponenten voor halfgeleiderapparatuur, naast diverse Europese leveranciers van vacuümcomponenten, pompen, coatings en meetapparatuur. Voor hen ligt een kans in PFAS-vrije subsystemen die geschikt zijn voor semiconductor-grade omgevingen.

Er ontstaat ook een markt voor alternatieve polymeren, elastomeren en afdichtingsmaterialen. Partijen zoals ERIKS onderzoeken vervangers voor PFAS-houdende O-ringen en pakkingen, maar succes hangt vooral af van een complete semicon-grade keten: compounceren en moulding, reiniging en afwerking, plus schone verpakking en kwalificatie⁷.

Naast materiaalontwikkeling groeit de behoefte aan testen, monitoring en validatie. De sector zoekt betrouwbare detectiesystemen en gestandaardiseerde analysemethoden om PFAS in processen en afvalwater te meten, bij voorkeur inline om emissies te beheersen en compliance te onderbouwen⁸.

Door samenwerking tussen original equipment manufacturer (OEM's), materiaalproducenten, machinebouwers, testlaboratoria en kennisinstellingen kan Nederland uitgroeien tot een Europese PFAS-transitiehubs. Gedeelde testmethodes, kwalificatiedata en roadmaps verkorten doorlooptijden en versterken de leveringszekerheid in Europa.

2.2 Tijdslijnen

De PFAS-transitie in semiconductors wordt gestuurd door het ECHA/REACH-traject en door de lange kwalificatiecycli in de industrie. Door de enorme breedte van het dossier en de strategische relevantie van semicon voor Europa worden momenteel sectorspecifieke uitzonderingen, overgangperiodes en gecontroleerde toepassingen onderzocht. In het laatste rapport wordt na een overgangstijd van 18 maanden een 12 jaar durende derogatieperiode genoemd voor semiconductor manufacturing, photonics, printed circuit boards en antennes, coatings en films van elektronische componenten, isolatiematerialen, kabels en draden en heat transfer fluids voor 2 phase immersion cooling.

Hoewel de definitieve implementatie datum vanuit de EU nog onzeker is, zijn veel OEM's al gestart met het benaderen van hun leveranciers voor zowel alternatieven voor PFAS houdende producten als onderbouwing van de PFAS risico's. Er zijn ook geluiden dat de voorgestelde derogatieperiode niet voldoende zal zijn om voor alle PFAS houdende producten alternatieven te vinden, en dat dit voor zeer specifieke toepassingen zelfs onmogelijk gaat zijn⁹.

2.3 Innovaties en technologische stand van zaken

Als gevolg van de PFAS restrictie versnelt de ontwikkeling van PFAS-vrije alternatieven, mede door druk van grote semiconductor-OEM's en internationale klanten. De focus ligt op alternatieven voor toepassingen als O-ringen en seals, smeermiddelen, coatings, folies en ultrapure vloeistofsystemen waar fluoropolymeren zoals FFKM, FKM, PTFE, PVDF, Nafion, PFA en ETFE, het meest voorkomend zijn. Alternatieven moeten niet alleen presteren, maar ook passen binnen extreem schone productieomgevingen.

Bij PFAS-vrije elastomeren en soft goods worden nieuwe platformmaterialen ontwikkeld die chemisch en thermisch robuust zijn én lage deeltjesvorming behouden. Deze oplossingen

⁷ Verbod op PFAS: wat zijn de effecten en alternatieven. <https://eriks.nl/nl/know-how-hub/blogs/verbod-pfas-faq>

⁸ Semiconductor PFAS Consortium Plasma Etch and Deposition Working Group. PFAS-Containing Fluorochemicals Used in Semiconductor Manufacturing Plasma-Enabled Etch and Deposition. 2023, 1–36

⁹ <https://www.semiconductors.org/global-semiconductor-industry-announces-phaseout-of-intentional-uses-of-pfoa/>

bevinden zich doorgaans op TRL 4-6 met materiaalformuleringen en eerste component validatie vaak al uitgevoerd, maar grootschalige kwalificatie in semiconductor producten is nog beperkt.

In coatings en tribologie verschuift de aanpak van PFAS-gebaseerde smering naar low-friction-by-design, met slimme oppervlaktelagen, texturen en aangepaste lager concepten. Voor verschillende coatings en alternatieve smeerstrategieën ligt de TRL rond 3–5, met veelbelovende laboratoriumtesten. Langdurige betrouwbaarheid onder semicon-omstandigheden dient nog bewezen te worden.

Voor ultrapure vloeistofhandeling ontstaan oplossingen zoals modulaire cartridges, beschermende liners en hybride coatings, zodat alternatieve materialen toch inzetbaar zijn bij hoge chemische belasting. Deze technologieën bevinden zich meestal op TRL 5-7, omdat verschillende concepten al in pilotopstellingen of nichetoepassingen getest worden, maar nog niet breed geïntegreerd zijn in semiconductor processen.

Voor al deze productgroepen is de zuiverheid van het eindproduct van cruciaal belang. PFAS-houdende polymeermaterialen worden doorgaans geproduceerd uit zeer zuivere of reeds gezuiverde grondstoffen, met als doel een extreem hoge eindproductzuiverheid te bereiken en zo problemen zoals uitdamping en deeltjesvorming tijdens gebruik te minimaliseren. Veel beschikbare alternatieven zijn echter minder schoon, onder andere door verontreinigingen in de grondstoffen of beperkingen in het productieproces. Door parallel aan materiaalontwikkeling ook in te zetten op het opzetten van schone grondstofketens en productieomgevingen, kan de stap van lab-ontwikkeling naar industriële toepassing aanzienlijk worden verkleind en versneld.

Ook detectie en traceerbaarheid krijgen prioriteit: robuuste, gevalideerde analysemethoden en vooral inline meetsystemen voor realtime monitoring moeten PFAS kunnen detecteren. Klassieke laboratoriumanalyses bevinden zich al rond TRL 7–9, terwijl nieuwe in-line en realtime detectietechnieken eerder op TRL 3–6 zitten door uitdagingen rond gevoeligheid, standaardisatie en integratie in productieomgevingen.

Snelle kwalificatie blijft een knelpunt. Daarom groeit de interesse in gedeelde testplatformen, data-uitwisseling en gestandaardiseerde protocollen, zodat leveranciers niet allemaal afzonderlijk volledige validatietrajecten hoeven te doorlopen en introducties sneller gaan. Hier zou gedacht kunnen worden aan het opzetten van een expertisecentrum waar OEM's en leveranciers vervangende materialen kunnen laten testen op de specifieke testcondities die nodig zijn voor hun specialistische apparatuur als aanvulling op de SEMI standaarden die door de leveranciers vaak gebruikt worden als richtlijnen. Daarnaast kan het recent gestarte SSbD expertisecentrum advies geven aan de leveranciers hoe hun alternatief voor PFAS te verbeteren.

Tabel 2 Overzicht TRL en spelers polymeren PFAS vervangers

PFAS Toepassing	Alternatief / Technologie	TRL	Bedrijven actief in en buiten Nederland
O-ringen, seals	PFAS-vrije elastomeren en soft goods	4-7 (materiaalformuleringen en eerste componentvalidaties, beperkte grootschalige kwalificatie)	ERIKS (NL), Freudenberg Sealing technologies (DE), Trelleborg sealing solution (SE), Parker Hanefin (US)
Smeermiddelen, coatings, lagerconcepten	Alternatieve smeermiddelen, coatings en tribologie	3-5 (laboratoriumtesten, langdurige betrouwbaarheid nog te bewijzen)	Aalberts Surface Technologies (NL), Interflon Holland BV (NL), Saint-Gobain (FR)
Ultrapure vloeistofsystemen	Modulaire cartridges, beschermende liners, hybride coatings	5-7 (in pilotopstellingen/niche-toepassingen getest, nog niet breed geïntegreerd)	Saint-Gobain Life sciences (US/FR) Sekisui Chemical (JP)

Hoewel bij het ontwikkelen van alternatieven voor PFAS veelal de nadruk ligt op polymeren en specifieke componenten, is het essentieel te erkennen dat het gebruik van PFAS binnen de semiconductor industrie een aanzienlijk breder bereik heeft. PFAS is niet uitsluitend aanwezig in materialen, maar wordt ook gebruikt in proceschemie, apparatuur, infrastructuur en verpakkingen. Daardoor bestaan er per fabriek honderden unieke en uiteenlopende toepassingen van PFAS, en zijn de uitdagingen rond vervanging veel groter dan enkele materiaalcategorieën. Het succesvol vervangen van PFAS vereist dan ook een systematische benadering waarbij alle relevante use-cases betrokken worden.

3 Elektrolyzers

3.1 Marktkansen en Nederlandse spelers

De International Energy Agency (IEA) verwacht een groei naar low-carbon waterstof van 1 megaton in 2025 tot circa 37 megaton in 2030.¹⁰ Dit drijft een groei van wereldwijde markt voor groene waterstof groei van €15 miljard (\$17Bn) naar ongeveer €200 miljard (\$231Bn) in 2035.¹¹ Om deze vraag te bedienen is een significante groei van de geïnstalleerde electrolyser capaciteit nodig: per megaton waterstof is een capaciteit van ~10 GW nodig.¹²

Binnen deze context positioneert Europa zich vooral als een groeimarkt met beleidsmatige ondersteuning, onder meer via instrumenten zoals IPCEI-programma's¹³ en de Net Zero Industry Act.¹⁴ Europa zal naar verwachting circa 25–30% van de wereldwijde elektrolyser productiecapaciteit vertegenwoordigen rond 2030, terwijl Azië een leidende positie behoudt.¹⁵ Deze dynamiek creëert kansen voor Europese spelers om zich te positioneren in de waardeketen van componenten, materialen en productietechnologie.¹⁶

Het Nederlandse ecosysteem voor elektrolyzers is breed maar nog in ontwikkeling.¹⁷ OEMs zoals Battolyser, Circonica, HyEt, VDL en Zero Emission Fuels zijn relatief vroeg in ontwikkeling vergeleken met Europese spelers zoals Nel en Thyssenkrupp Nucera.¹⁸ Een belangrijk kenmerk van het Nederlandse speelveld is de aanwezigheid van een **sterke toeleverings- en hightech industrie**, met bedrijven zoals Teijin, Bosal, Borit, SALD, SparkNano, Hauzer, Ionbond, MXPolymer en Magneto. Deze bedrijven zijn actief in sleutelcomponenten zoals katalysatoren, membranen, coatings en stackcomponenten. In combinatie met expertise in machinebouw en automatisering (bijv. VDL, Bosch) en een sterke kennisbasis bij instellingen zoals TNO en technische universiteiten, ontstaat een profiel dat aansluit bij de Europese vraag naar hoogwaardige componenten en productieapparatuur.

Daarnaast speelt de Nederlandse industriële structuur een rol in de marktkansen. De aanwezigheid van grote industriële clusters (zoals Rotterdam, Chemelot en Brainport Eindhoven) en bestaande vraag naar waterstof in de chemische industrie creëert een **nationale afzetbasis** en experimenteerruimte voor nieuwe technologie. De haven van Rotterdam versterkt bovendien de strategische positie van Nederland als logistieke hub voor import, export en distributie van waterstof binnen Europa.

¹⁰ [Global Hydrogen Review 2025 – Analysis - IEA](#)

¹¹ [Green Hydrogen Market Size to Hit USD 231.32 Billion by 2035](#)

¹² [Actieagenda Energy Materials - KIA Sleuteltechnologieën](#)

¹³ European Commission, IPCEI Hydrogen Projects, 2022–2024.

¹⁴ European Commission, Net Zero Industry Act, 2023

¹⁵ IEA; IRENA, Green Hydrogen Cost Reduction.

¹⁶ IEA, Electrolyzers Tracking Report, 2023.

¹⁷ [Actieagenda Energy Materials - KIA Sleuteltechnologieën](#)

¹⁸ IEA; Hydrogen Council, Hydrogen Insights 2023

3.2 Tijdslijnen

In de meest recente versie van het uitfaseringsvoorstel wordt een derogatie van **12 jaar** (na de standaard transitieperiode van 18 maanden) voorgesteld voor gebruik van PFAS in elektrolyzers. ECHA's Committee for Risk Assessment (RAC) ondersteunt deze derogatie niet vanwege additionele PFAS-emissies tijdens derogatie (vergeleken met alleen een transitieperiode).¹⁹ De Committee for Socio-economic Analysis (SEAC) concludeert (in hun concept opinie) dat kosten van uitfasering verlaagd worden van *very high* (18 maanden transitie) tot *moderate* (12 jaar derogatie).^{20,21} SEAC's opinie is consistent met de conclusie van "Kansen en bedreiging van PFAS-restrictie voor de waterstof sector in Nederland"²² dat een derogatie van **10 jaar** nodig (en voldoende) is om alternatieven voor PFAS te ontwikkelen en een ordelijke transitie te ondersteunen.

3.3 Innovaties en technologische stand van zaken

PFAS gebruikt in elektrolyzers zijn voornamelijk neutraal polytetrafluoroethyleen (PTFE) en ionomeren: PTFE met ionische zijgroepen (bijv. sulfonzuur), vaak bekend onder merknamen in plaats van chemische naamgeving. Deze fluoropolymeren hebben een laag weglek- en bioaccumulatie-risico in gebruik²³ (hoewel productie en vernietiging hogere risico's tonen).

De ontwikkeling van PFAS-vrije elektrolyzers richt zich primair op het vervangen van kritische materialen in met name PEM- en AEM-technologieën,²⁴ waar PFAS momenteel essentieel zijn voor protongeleiding, chemische stabiliteit en mechanische robuustheid onder operationele omstandigheden. Zonder materialen met vergelijkbare eigenschappen wordt een duidelijke achteruitgang in prestaties waargenomen, in het bijzonder in levensduur en betrouwbaarheid, die voor industriële toepassingen als randvoorwaardelijk worden beschouwd.

Innovatie-inspanningen concentreren zich in de eerste plaats op de ontwikkeling van **PFAS-vrije membranen** en ionomeren. Commerciële alternatieven zoals Pemion zijn beschikbaar,²⁵ terwijl andere oplossingen, zoals Nexar-gebaseerde membranen, zich nog in een eerdere ontwikkelingsfase bevinden.²⁶ Deze materialen tonen functionele prestaties, maar blijven achter op stabiliteit onder realistische bedrijfscondities. Dit verhoogt de operationele kosten voor gebruikers, doordat onderhoudsfrequentie oploopt. De ontwikkeling van PFAS-vrije oplossingen voor het membraan is onvoldoende zolang andere onderdelen, zoals de binding van katalysatoren in catalyst-coated membranes (CCM) of electrodes (CCE), nog afhankelijk zijn van PFAS-houdende ionomeren. De bottleneck voor ontwikkeling is niet technologisch maar commercieel: er is geen business case voor het ontwikkelen van **PFAS-vrije ionomeren** zonder duidelijkheid over PFAS-uitfasering.

¹⁹ Committee for Risk Assessment (RAC) Evaluation of sector-/use-specific aspects of the opinion on an Annex XV dossier proposing restrictions on Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS), Energy

²⁰ Committee for Socio-economic Analysis (SEAC) [Draft] Evaluation of sector-/use-specific aspects of the opinion on an Annex XV dossier proposing restrictions on Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) Energy

²¹ Het is hier belangrijk om te herkennen dat RAC en SEAC expliciet andere effecten onderzoeken: RAC beschouwt het risico voor mens en milieu; SEAC beschouwt het effect op de economie en werkgelegenheid.

²² <https://open.overheid.nl/documenten/59201c82-b5d7-443d-ad38-8b1162243326/file>

²³ Committee for Risk Assessment (RAC) Opinion on an Annex XV dossier proposing restrictions on Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS), ECHA/RAC/RES-O-0000007619-62-01/F

²⁴ PEM = proton exchange membranes; AEM = anion exchange membranes. Beide technologieën gebruiken polymeren als scheiding tussen het geproduceerde waterstof en zuurstof.

²⁵ <https://ionomr.com/solutions/pemion/>

²⁶ <https://frontis-energy.com/tag/nexar/>, M. Hwang et al., Journal of Membrane Science, 2021

Naast materiaalinnovatie wordt gewerkt aan **alternatieve celconfiguraties**. Een voorbeeld is het verplaatsen van de katalysatorbinding naar de microporous layer, waarmee de afhankelijkheid van PFAS mogelijk wordt verminderd. Deze configuratie bevindt zich echter nog in een vroeg ontwikkelstadium en is minder ver doorontwikkeld dan bestaande architecturen.

Parallel hieraan worden **procesinnovaties** onderzocht, met name gericht op het beperken van PFAS-gebruik via gesloten materiaalkringlopen en recycling. De chemische stabiliteit van PFAS maakt hoge terugwinningspercentages technisch mogelijk. Daarentegen is er (nog) geen recycling industrie opgezet, vanwege de kleine aantallen electrolyzers die het eind van hun design-life hebben bereikt.²⁷ Er zijn geen specifieke business cases beschikbaar die aangeven bij welk volume van electrolyzers recycling rendabel wordt; maar de literatuur convergeert er wel op dat een significante end-of-life stroom pas in 2040 op gang komt.^{28,29}

De PFAS-uitfasering verandert de investeringslogica in recycling van een economische business case naar *compliance* met regelgeving. Hierdoor biedt de PFAS-uitfasering een mogelijkheid om **recycling van electrolyzers te versnellen**; en daarmee de afhankelijkheid van (buitenlandse) kritieke materialen te verminderen.

Toepassingen van PFAS	Alternatief / technologie	TRL	Bedrijven / organisaties actief
Ion geleidend membraan	PFAS-vrije membranen, bijv. Pemion, NEXAR	TRL4/5 tot TRL9	Ionomr (CA), Kraton Polymers (VS), TNO (NL), DIFFER (NL), VSParticle (NL), DLR (DE)
Binder van katalysator aan membraan of electrodes	PFAS-vrije ionomeren	TRL4/5	Ionomr (CA), Versogen (VS), VSParticle (NL), TUDelft (NL)
Afdichting (O-ringen, kit, pakking)	Zie halfgeleiderindustrie		

²⁷ L. Matz *et al.*, "Resource-Efficient Gigawatt Water Electrolysis in Germany—A Circular Economy Potential Analysis", *Circ. Econ. Sustain.*, **2024** (4):1153

²⁸ T. Uekert *et al.*, "Electrolyzer and Fuel Cell Recycling for a Circular Hydrogen Economy", *Adv. Sustainable Syst.*, **2024**, 8, 2300449

²⁹ R. Suurs *et al.*, "Op weg naar circulaire elektrolyzers: verkenning van scenario's en strategieën.", **2024**, [TNO-2024-R10600.pdf](#)

4 Brandblusschuimen

4.1 Marktkansen en Nederlandse spelers

De markt voor brandblusschuimen bevindt zich in een transitie als gevolg van Europese PFAS-regelgeving en toenemende milieudruk. PFAS-houdende brandblusschuimen (AFFF, *Aqueous Film Forming Foams*) worden toegepast in sectoren met verhoogd brandrisico, waaronder chemische en petrochemische industrie, scheepvaart, offshore, luchthavens, defensie en brandweerorganisaties. Binnen de Europese Unie wordt jaarlijks naar schatting 14.000–20.000 ton PFAS-houdend brandblusschuim op de markt gebracht.³⁰

PFAS worden toegepast vanwege hun oppervlakte-actieve eigenschappen die zorgen voor snelle spreiding en effectieve brandonderdrukking.³¹ Historisch betrof dit vooral PFOS en PFOA, terwijl huidige systemen voornamelijk fluorotelomeer-gebaseerde stoffen bevatten, zoals 6:2 fluorotelomeer surfactants.³¹ Deze kunnen in het milieu worden omgezet in persistente per- en polyfluoralkylzuren (PFAAs).³²

De productie van brandblusschuimen is geconcentreerd bij een beperkt aantal internationale producenten, waaronder Solberg, Dr. Sthamer, Tyco Fire Protection Products, 3M en een enkele Nederlandse producent; Saval. Deze partijen ontwikkelen zowel AFFF-schuimen als fluorvrije alternatieven (Fluorine-Free Firefighting foam (F3)), waarbij Saval gebruik maakt van een door TNO ontwikkelde F3 formulering.

De overgang naar F3 is in Europa reeds zichtbaar in luchthavens, industrie en defensie. Tegelijkertijd blijft grote variatie in prestatie bestaan door verschillen in formulering,³³ toepassing en systeemontwerp, waardoor validatie en systeemintegratie bepalend zijn voor brede toepassing.

In Nederland bevindt de economische en technologische activiteit zich met name in de toepassing en transitie van bestaande blusinstallaties en bijbehorende infrastructuur. Dit betreft activiteiten rond retrofit van installaties (zoals opslagtanks, doseer- en mengsystemen en sproeiconfiguraties), test- en certificeringsprocessen en activiteiten gericht op reiniging, monitoring en verwerking van PFAS-restverontreiniging in blusinstallaties en afvalstromen. Deze activiteiten hangen samen met de aanwezigheid van grootschalige industriële clusters in het Rotterdamse havengebied, de luchtvaart en de offshore sector.

Daarnaast vindt in Nederland ook ontwikkeling van nieuwe PFAS-vrije blusschuimformuleringen op labschaal plaats, onder meer in opdracht van defensie, gericht op het verbeteren van prestaties onder complexe brandscenario's en het versnellen van veilige implementatie van fluorvrije alternatieven.

³⁰ Global PFAS landscape. Roadmap for transforming regulatory challenges into innovation and market leadership. <https://www.marketresearch.com/CAS-v4366/Global-Pfas-Landscape-Roadmap-Transforming-44444029/>

³¹ The use of PFAS and Fluorine-free alternatives in fire-fighting foams; 2020. https://substitution-perfluores.ineris.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/the_use_of_pfas_and_fluorine-free_alternatives_in_fire_fighting_foam_2020.pdf.

³² Emission scenario document on the use of aqueous film-forming foams in firefighting; 2021. https://www.oecd.org/en/publications/use-of-aqueous-film-forming-foams-in-firefighting_7a84d2b6-en.html.

³³ Fluorine-free firefighting foams (3F) viable alternatives to fluorinated aqueous film-forming foams (AFFF); Rome, 2018. https://ipen.org/sites/default/files/documents/IPEN_F3_Position_Paper_POPRC-14_12September2018d.pdf.

In Nederland zijn verschillende partijen actief op het gebied van de transitie naar F3 blusinstallaties en PFAS-beheer. Haskoning en TNO ondersteunen organisaties bij de overgang naar fluorvrije blusschuimen en aanpassing van bestaande infrastructuur. Bedrijven zoals, VDL, Borit, Hauzer Techno Coating en Ionbond zijn actief op het gebied van industriële engineering en mogelijk relevante materialen en coating technologieën. Daarnaast ontwikkelen bedrijven zoals Paques en NX Filtration technologieën voor waterzuivering en PFAS-behandeling. Kennisontwikkeling en validatie vinden onder meer plaats bij TNO en Nederlandse universiteiten.

4.2 Tijdslijnen

De transitie naar PFAS-vrije brandblusschuimen wordt gestuurd door Europese REACH-restricties. Binnen de EU geldt een verbod op het op de markt brengen van PFAS-houdende blusschuimen vanaf 2026, met overgangstermijnen tot circa 2029–2030 voor specifieke toepassingen en een volledig verbod op gebruik en bezit vanaf 2031.³⁴

Op korte termijn (0–5 jaar) ligt de nadruk naar verwachting op toepassing van F3 in nieuwe brandblusinstallaties en eerste vervangingen van bestaande brandblussystemen, met focus op validatie en certificering onder praktijkcondities.

Op middellange termijn wordt in veel sectoren een geleidelijke verschuiving voorzien naar retrofit van bestaande AFFF-systemen, afhankelijk van technische haalbaarheid, beschikbaarheid van alternatieven en sectorspecifieke eisen (o.a. industrie, offshore en luchtvaart).

Op langere termijn (>10 jaar) verschuift de aandacht waarschijnlijk naar het beheer en de sanering van resterende PFAS-verontreiniging in installaties en afvalstromen, waarbij de ontwikkeling van geschikte behandeltechnieken een belangrijke rol blijft spelen.

4.3 Innovaties en technologische stand van zaken

F3-brandblusschuimen (o.a. Re-healing foam, Syndura, JetFoam, Bluefoam, Unipol, Ecoguard, Freedol-SF, Silvara) zijn commercieel beschikbaar en worden in meerdere sectoren toegepast, maar prestaties zijn sterk afhankelijk van toepassing en systeemconfiguratie. De technische uitdagingen liggen daardoor niet alleen in verdere optimalisatie van schuimformuleringen, maar vooral in compatibiliteit met bestaande doseer-, meng- en sproeisystemen, grootschalige prestatievalidatie, compatibiliteit met de mengvloeistof (zout vs. zoet water) en de reiniging en behandeling van PFAS-houdende blusinstallaties en reststromen.

Gespecialiseerde formuleringen

De ontwikkeling van F3-formuleringen is gericht op verbetering van schuimstabiliteit, waterretentie en weerstand tegen herontsteking (burnback), met name voor grootschalige vloeistofbranden en toepassingen in luchtvaart, offshore en petrochemie. F3-schuimen bestaan doorgaans uit mengsels van oppervlakte-actieve stoffen op basis van koolwaterstofsurfactants, fluorvrije polymeren en stabiliserende additieven zoals oplosmiddelen, zouten en verdikkers.³¹ Anders dan bij AFFF ontbreekt filmvorming op het

³⁴ European Commission: Directorate-General for Environment, WSP, Ricardo and Trinomics, *The cost of PFAS pollution for our society – Final report*, Publications Office of the European Union, 2026, <https://data.europa.eu/doi/10.2779/9590509>

brandoppervlak, waardoor prestaties sterker afhankelijk zijn van schuimstructuur, brandstoftype, brandtemperatuur, brandgrootte en omgevingscondities zoals wind.

Validatie en systeemintegratie

De overgang naar F3 is in de praktijk vooral een systeemvraagstuk. Bestaande AFFF-installaties zijn ontworpen op specifieke mengverhoudingen, viscositeit en sproeikarakteristieken. Vervanging vereist vaak herkalibratie van proportioneringssystemen en validatie van hydraulisch gedrag en schuimverdeling binnen bestaande infrastructuur. Prestaties worden daarmee mede bepaald door installatietechniek.

De validatie van F3-systemen verschuift van kleinschalige laboratoriumtesten naar scenario-gebaseerde grootschalige brandtesten, zoals tank- en spill fire-scenario's. Deze verschuiving is noodzakelijk omdat kleine schaaltesten onvoldoende representatief zijn voor de complexe interacties die optreden onder realistische omstandigheden en zorgt voor duidelijkere klassering en vergelijking van de verschillende formuleringen.

PFAS beheer en waterbehandeling

PFAS-beheer ontwikkelt zich tot een belangrijk technisch domein binnen de transitie. Na uitfasering van AFFF is reiniging van leidingen, tanks en doseersystemen noodzakelijk om restcontaminatie te reduceren. Validatie hiervan vindt plaats via ultra-trace analyse (LC-MS/MS), waarmee zeer lage concentraties PFAS in spoel- en reststromen kunnen worden vastgesteld.

Voor het verwijderen van PFAS uit blusstromen worden verschillende technologieën toegepast.

PFAS wordt eerst uit de waterfase verwijderd en geconcentreerd met technieken zoals adsorptie of membraanfiltratie, waarna de geconcentreerde reststromen apart worden behandeld met technologieën om PFAS af te breken.

Veelgebruikte technieken zijn adsorptieprocessen, waaronder actief kool (GAC/PAC) en ionenwisselaars, die PFAS uit waterfase concentreren. Daarnaast wordt membraanfiltratie, zoals nanofiltratie en omgekeerde osmose, toegepast om PFAS efficiënt te scheiden, waarbij echter een geconcentreerde brijnstroom (zeer hoge concentratie zout in water) overblijft die verdere behandeling vereist.³⁵³⁶ Voor daadwerkelijke afbraak van PFAS worden destructieve technologieën ingezet, zoals thermische behandeling (bijv. verbranding of pyrolyse van concentraten), elektrochemische oxidatie, plasma-gebaseerde processen en in sommige gevallen geavanceerde oxidatieprocessen of superkritische wateroxidatie.³⁵³⁶

Voor alle technieken geldt dat de effectiviteit sterk verschilt per PFAS-type, waarbij met name korte-keten PFAS moeilijker te verwijderen zijn en vaak een hogere doorbraak of lagere retentie vertonen.³⁵ Dit wordt onder meer onderzocht binnen het Nederlandse PFAS-OUT-project (2025–2028), waarin universiteiten, technologieontwikkelaars, industrie en overheden samenwerken aan de integratie en optimalisatie van gecombineerde PFAS-behandelingsroutes voor waterstromen.

³⁵ Liu, Y., Li, T., Bao, J., Hu, X., Zhao, X., Shao, L., ... & Lu, M. (2022). A review of treatment techniques for short-chain perfluoroalkyl substances. *Applied Sciences*, 12(4), 1941.

³⁶ Tshangana, C. S., Nhlengethwa, S. T., Glass, S., Denison, S., Kuvarega, A. T., Nkambule, T. T. I., ... & Muleja, A. A. (2025). Technology status to treat PFAS-contaminated water and limiting factors for their effective full-scale application. *npj Clean Water*, 8(1), 41.

In de rapportage opgesteld door Haskoning staat een uitgebreide analyse van de waterzuivering sector en innovaties om PFAS uit water te verwijderen.

Conclusie

Voor Nederland liggen de belangrijkste kansen in de transitie naar PFAS-vrije brandblusschuimen, met name in validatie en systeemintegratie van blussystemen en de daarmee samenhangende PFAS-beheer- en waterbehandelingstechnologieën. De economische relevantie van deze activiteiten neemt toe, omdat de transitie naar PFAS-vrije blusschuimen niet alleen een technologische verschuiving betreft, maar ook milieu- en economische voordelen genereert.³⁷

F3-systemen dragen bij aan een sterk verlaagde milieupersistentie, doordat geen fluorhoudende eindproducten ontstaan en eventuele residuen doorgaans kortcyclisch en beperkt persistent zijn.³⁷ Daarnaast kunnen maatschappelijke en economische kosten voor sanering substantieel afnemen ten opzichte van de langdurige en kosten-intensieve PFAS-contaminatie die met AFFF samenhangt.³⁷ Dit vertaalt zich ook in een lagere potentiële juridische en financiële aansprakelijkheid voor gebruikers en beheerders van blussystemen. Ten slotte draagt de overstap bij aan bescherming van drinkwaterbronnen en bredere ecosysteemdiensten, waardoor de maatschappelijke baten van implementatie verder reiken dan uitsluitend brandveiligheidsdoelstellingen.³⁷

Tabel 4. Enkele technologieën voor PFAS-behandeling in bluswaterstromen: overzicht van processtappen, TRL en betrokken partijen. Zie rapportage van Haskoning voor een uitgebreider overzicht.

Processtap	Alternatief / technologie	TRL	Bedrijven / organisaties actief (NL en relevant EU/globaal)
Detectie en monitoring van PFAS in schuim en waterstromen	Targeted en non-targeted analyse (LC-MS/MS, high-resolution MS), sum parameters	7–9 (volwassen analytische methoden, breed toegepast)	Wetsus (NL), Eurofins (FR), SGS (CH), WUR (NL), TNO (NL)
Verwijdering uit waterfase (adsorptie)	Actief kool (GAC/PAC), ionenwisselaars	7–9 (volwassen technologie, breed toegepast)	Cabot Corporation (US), Veolia (FR), Evides Industriewater (NL), Waternet (NL)
Scheiding en concentratie	Nanofiltratie, omgekeerde osmose, membraanfiltratie	7–9 (volwassen, industrieel toegepast)	NX Filtration (NL), DuPont (US), Toray Industries (JP), Veolia (FR)
Destructie (elektrochemisch / plasma / AOP)	Elektrochemische oxidatie, plasma, UV-AOP	3–6 (pilot tot vroege opschaling)	EVOQUA Water Technologies (US), Aqua-Aerobic Systems (US), Plasma Chemistry (DE), WUR (NL), TU Delft (NL), TNO (NL)
Integrale PFAS-behandeling	Gecombineerde ketens (adsorptie + membraan + destructie)	5–7 (pilot tot demonstratie)	PFAS-OUT consortium (NL), Royal HaskoningDHV (NL), Arcadis (NL)

³⁷ Fluorine-free firefighting foams (3F) viable alternatives to fluorinated aqueous film-forming foams (AFFF); Rome, 2018. https://ipen.org/sites/default/files/documents/IPEN_F3_Position_Paper_POPRC-14_12September2018d.pdf.

5 Conclusies en kansen voor Nederland

De analyse van de halfgeleiderindustrie, elektrolysersector en brandblusschuimen laat zien dat de transitie naar PFAS-vrije alternatieven zowel technologische uitdagingen als strategische kansen vormt voor Nederland. In beide sectoren en productgroep zijn PFAS momenteel functioneel belangrijk, maar verschilt de mate waarin alternatieven beschikbaar zijn en de snelheid waarmee implementatie van deze alternatieven realistisch is.

De PFAS-transitie vraagt om een gerichte en samenhangende investeringsstrategie waarbij functionaliteit van materialen, risico's voor gezondheid voor mens en milieu én maatschappelijke opgaven integraal en systemisch worden bekeken, om zo een effectieve aanpak op te kunnen stellen waar handelingsperspectief en innovatie centraal staan. Dit moet en kan vanwege de grote urgentie parallel aan een gerichte aanpak van reeds geïdentificeerde focusgebieden.

Hierbij kan onderscheid worden gemaakt op investeringen op verschillende termijnen:

- Implementatie van alternatieven en sanering van PFAS waar dat mogelijk is (investering nodig komende 5 jaar);
- Opschaling van alternatieve technologieën richting markttoepassing (investering nodig komende 10 jaar);

PFAS-vrije innovatie voor sectoren waar vervanging van PFAS nog complex is (langdurige investering nodig >10 jaar).

Investering komende 5 jaar: implementatie en sanering – blusschuimen

Voor brandblusschuimen zijn PFAS-vrije alternatieven (F3) reeds beschikbaar en worden deze steeds vaker toegepast. De belangrijkste uitdaging ligt in de praktische implementatie in bestaande systemen en het opruimen van PFAS-restverontreiniging.

Gerichte overheidsinvesteringen kunnen hier leiden tot directe impact door:

- Financiering van retrofit-programma's voor bestaande blusinstallaties;
- Gerichte ondersteuning van ontwikkeling en verfijning van F3 formuleringen via het SSbD expertisecentrum;
- Het opzetten van test- en validatiefaciliteiten voor grootschalige praktijkproeven;
- Het ontwikkelen en opschalen van technologieën voor PFAS-verwijdering uit water en afvalstromen;
- Ondersteuning van saneringsprogramma's voor bestaande installaties en infrastructuur.

Deze inzet draagt direct bij aan het verminderen van emissies en versnelt de uitfasering van PFAS-houdende toepassingen.

Investering komende 5–10 jaar: opschaling en marktvalidatie – elektrolyzers

In de elektrolyser-sector zijn PFAS functioneel belangrijk, met name in membranen en ionomeren. Alternatieven zijn in ontwikkeling, maar voldoen nog niet volledig aan de eisen voor stabiliteit en levensduur onder industriële omstandigheden. De belangrijkste uitdaging ligt daarom in opschaling en validatie van bestaande innovaties.

Overheidsinvesteringen kunnen dit versnellen door:

- Het financieren van demonstratieprojecten in industriële omgevingen;
- Gerichte ondersteuning van kritische componentontwikkeling (membranen en ionomeren) via het SSbD expertisecentrum;
- Het bieden van regelgevende duidelijkheid om investeringsrisico's te verlagen.

Hiermee kan de toepassing van PFAS-arme of PFAS-vrije elektrolysetechnologieën worden versneld in een snelgroeende waterstofmarkt.

Langdurige investering (komende 10+ jaar): strategische innovatie – halfgeleiders

De halfgeleiderindustrie is het meest afhankelijk van PFAS en kent de grootste technische vervangingsopgave. PFAS zijn diep geïntegreerd in kritische processen en materialen, en alternatieven bevinden zich grotendeels nog in een ontwikkelfase met beperkte industriële toepassing. De transitie vereist hier langdurige overheidsinvesteringen in fundamentele innovatie en ketenontwikkeling.

De overheid kan dit faciliteren door:

- Het opzetten van een nationaal test- en kwalificatieplatform voor semicon-toepassingen;
- Het financieren van meerjarige R&D-programma's voor PFAS-vrije materialen en processen in samenwerking met het SSbD expertisecentrum en de in Nederland gevestigde producenten;
- Het stimuleren van ketensamenwerking tussen materiaalproducenten, toeleveranciers en OEM's;
- Investeren in monitoring en analysetechnologie voor PFAS-detectie en -controle.

Daarnaast is het essentieel om te investeren in schone productieprocessen voor de alternatieven voor PFAS. Hierbij ligt de focus op het beperken van uitdamping, contaminatie en de vorming van deeltjes tijdens gebruik in semicon-omgevingen door het productieproces en de grondstoffen te zuiveren. Dit zodat nieuwe materialen niet alleen duurzamer zijn, maar ook voldoen aan de extreem hoge eisen rondom betrouwbaarheid, zuiverheid en procesveiligheid binnen de halfgeleiderindustrie.

Deze inzet is essentieel om de internationale concurrentiepositie van Nederland in de halfgeleiderindustrie te behouden en te versterken.

Bovenstaande aanpak sluit aan bij de beleidsrichting om PFAS te vermijden, vervangen en verwijderen, en maakt het mogelijk om zowel milieuwinst als economisch verdienvermogen te realiseren. Handelingsperspectief en haalbaarheid van opname door Nederlands bedrijfsleven kan worden vergroot waarbij:

- Een product gedreven risico-inventarisatie wordt gemaakt van PFAS emissies per product over de levenscyclus en de impact die daaruit voorkomt op milieu en gezondheid;
- Een doorvertaling daarvan naar bijbehorende markten en PFAS-vrije alternatieven die de innovatiekansen van het Nederlandse bedrijfsleven vergroten;
- GenAI tools worden ontwikkeld en ingezet om de complexiteit in de innovatie van PFAS-vrije moleculen en polymeren te kunnen koppelen aan de grote diversiteit van producten en markten.

Naast de sectoren en productgroepen beschreven in dit rapport door TNO (halfgeleiders, elektrolyzers en brandblusschuimen) en in een parallel rapport door Haskoning (batterijen, textiel en waterzuivering) geeft een systemische aanpak (met behulp van genAI tools) een

breder inzicht in sectoren waarin PFAS alternatieven nodig zijn. Enkele voorbeelden van sectoren die dit op zou kunnen leveren zijn:

- Afvalverbranding en andere thermochemische én recycling processen waar PFAS in het materiaal zit. Bij dit soort processen is er een duidelijke kans op de emissie van aanwezige PFAS én/of de vorming van (onbekende) PFAS-reactieproducten, die in het milieu of in producten terecht kunnen komen.
- In de verf en coatings sector wordt ook PFAS toegepast als functionele toevoeging. Ook als dit om kleine hoeveelheden gaat, kan het zorgen voor een wijde verspreiding van PFAS.
- In de productie van plastics en andere materialen wordt regelmatig PFAS gebruikt in kleine hoeveelheden. Door de wijde verspreiding van de producten en recycling daarvan is dit ook een potentieel grote (en diffuse) bron.

Ondertekening

TNO) Health & Work) Utrecht, 8 juni 2026

C. de Jong-Rubingh
Research Manager

H. Braakhuis
Wetenschappelijke leider

Health & Work

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
www.tno.nl