

Process efficient Solid and Liquid Dewatering and Drying (SOLIDARITY)

Publiek eindrapport

TNO 2025 R11523 – 3 maart 2026

Process efficient Solid and Liquid Dewatering and Drying (SOLIDARITY)

Publiek eindrapport

Auteurs	Y.C. van Delft
Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Rapporttekst	TNO Publiek
Aantal pagina's	25 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	0
Projectnaam	SOLIDARITY
Projectnummer	060.44280

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 Gegevens project.....	7
2 Penvoerder en partners	8
3 Achtergrond en doelstelling van het project	9
3.1 Introductie.....	9
3.2 Doelstelling van het project.....	9
4 Uitvoering van het project.....	10
4.1 Projectstructuur, mijlpalen & go/nogo's.....	10
4.2 Uitgevoerde activiteiten en behaalde resultaten	12
5 Bijdrage aan de doelstelling van de regeling.....	20
6 Spin off binnen en buiten de sector	22
7 Disseminatie	23
Ondertekening.....	25

Samenvatting

Introductie

Bij veel industriële processen worden technologieën voor ontwateren, drogen en selectief verwijderen van opgeloste stoffen gebruikt voor het concentreren en isoleren van producten, het scheiden van vloeistofmengsels en het ontwateren van vaste stoffen. Vaak worden hiervoor energie-intensieve verdampingsprocessen zoals meertrapsverdamping, destillatie en sproei-drogen gebruikt. Om de energietransitie, inclusief een aanzienlijk verminderde CO₂-footprint, te realiseren, is een combinatie van elektrificatie en verbeterde energie-efficiëntie van thermische processen nodig voor het drogen en ontwateren van industriële stromen.

Door de papier- en procesindustrie wordt gevraagd om innovatieve droog- en ontwaterings-technieken die breed inzetbaar zijn. In de afgelopen jaren zijn diverse van deze nieuwe technologieën, zoals airless drying, elektrodialyse en pervaporatie, ontwikkeld tot TRL 4-5. Er zijn echter twee belangrijke barrières die de verdere ontwikkeling van deze technologieën tot TRL 5-6 en marktintroductie belemmeren. Ten eerste zijn voor eindgebruikers de technologieën onvoldoende bewezen en is de business case onvoldoende duidelijk voor een investeringsbesluit. Ten tweede speelt voor systeemintegratoren en Engineering & Constructie bedrijven de onbekendheid met de technologie/het product een rol, waardoor integratie in bestaande systemen niet altijd eenvoudig is.

Doelstelling van het project

Het doel van het project 'Process efficient solid and liquid dewatering and drying (SOLIDARITY)' was om de industrie te helpen bij het behalen van de klimaat-doelstellingen, door de efficiency van hun industriële processen te verbeteren middels het demonstreren van kosteneffectief drogen en ontwateren door technologieontwikkeling en innovaties in vloeistof-vaste stof- en vloeistof-vloeistofscheidingen te combineren.

Het einddoel van de ontwikkeling, waar het SOLIDARITY project een belangrijke stap in moet maken, is om op termijn de warmtevraag in de industriële processen met 30-40% te verlagen en meer duurzame elektriciteit te gebruiken. Het Nederlandse emissie reductiepotentieel wordt geschat op 3-5 Mton CO₂ per jaar uitgaande van duurzaam (CO₂-neutraal) opgewekte elektriciteit. De eerste implementatie van de in SOLIDARITY onderzochte sleuteltechnologieën is voorzien in 2030.

Resultaten

De belangrijkste projectresultaten zijn:

- › Drie herhaalbare sleuteltechnologieën voor drogen en ontwateren (bipolaire membraan elektrodialyse (BPED), pervaporatie en airless drying) zijn ontwikkeld en op lab/bench-schaal succesvol gedemonstreerd (Mijlpaal 1);
- › Twee innovatieve droog- en ontwateringstechnologieën zijn geïntegreerd in twee processen (hergebruik van pek en papierproductie) en werken betrouwbaar (Mijlpaal 2);
- › Voor het derde proces glycolontwatering is ondanks de inspanningen van Technip FMC nog geen gecommiteerde industriële eindgebruiker voor een vervolg veldtest gevonden (Mijlpaal 6). Dit kwam doordat klanten vooral focusten op kostenreductie en de business case pas aan het eind van het project volledig duidelijk werd, waardoor onvoldoende tijd

resteerde om deze met potentiële eindgebruikers te bespreken. De partners in dit resultaat hebben zich gecommitteerd om na afloop van SOLIDARITY verder te zoeken naar een geschikte eindgebruiker en testlocatie;

- › De sleutelactoren, prestatie-indicatoren, input en output parameters voor strategische onzekerheids- en impactmodellen en een roadmap zijn bepaald (Mijlpaal 3). Deze gegevens zijn o.a. gebruikt in het investeringsmodel met onzekerheidsanalyse en een artikel over strategische besluitvorming;
- › Een macro-economisch model dat de impact van grootschalige implementatie van SOLIDARITY-technologieën op de Nederlandse economie zichtbaar maakt (Mijlpaal 4);
- › Voor de drie droog- en ontwateringstechnologieën van SOLIDARITY is een impact roadmap opgesteld op basis van de Theory of Change (Mijlpaal 5);
- › De belangrijkste projectresultaten zijn breed gepresenteerd binnen wetenschappelijke en industriële netwerken (o.a. TechnoLogiekring Paper & Board, NWGD, NL-GUTS, ISPT) en via drie georganiseerde workshops. Ook zijn inzichten verspreid via de SOLIDARITY LinkedIn-pagina (57 volgers), nieuwsbrieven, een interview en een publiek roadmap-rapport. In november 2022 bekroonde de jury van de TechnoLogiekring Paper & Board het ontwikkelingswerk op het gebied van airless drying, onderdeel van Resultaat 3 in het SOLIDARITY project.

Conclusies & aanbevelingen

De belangrijkste conclusies en aanbevelingen zijn:

- › Vervanging van het conventionele TEG zuiveringsproces met twee destillatiekolommen door een isotherm pervaporatiesysteem resulteert in een maximale verlaging van de operationele kosten door een aanzienlijke reductie van de bedrijfstemperatuur. Hiermee wordt ook het risico van TEG-decompositie verminderd. Pilot demonstratie is nodig voor de-risking en verder brengen van de technologie;
- › Het BPED-systeem voldoet aan de verwachtingen van Carbogen. De waardepropositie ziet er goed uit voor de (toekomstige) situatie dat de eisen voor de afvalwaterbehandeling worden aangescherpt. De voorbehandeling verdient echter aandacht omdat deze moeilijk implementeerbaar wordt geacht;
- › Op basis van de SOLIDARITY resultaten worden bij Huhtamaki twee verbeterde/nieuwe papierproductieprocessen verder ontwikkeld: ontwatering van smooth molded fiber en het drogen van rough molded fiber. Naar verwachting is een volledig geïntegreerde drooglijn (airless drying met warmtepomp) voor rough molded fiber operationeel in 2030. Bij ESKA is aangetoond dat airless drying van vlak papier mogelijk is, maar aanvullende experimenten zijn nodig om het TNO-model robuust te valideren;
- › De resultaten van het macro-economisch model laten zien dat toepassing van de droog- en ontwateringstechnologieën in drie sectoren leidt tot een emissiereductie van 0,65 Mton CO₂ per jaar in Nederland. Naast dit directe effect is er echter ook een indirect effect zichtbaar (groei van het Nederlandse marktaandeel en dus extra emissies), terwijl implementatie op de lange termijn de ETS-prijs met 16 cent verlaagt. Verdere verfijning van de analyse vereist sectorspecifieke details en uitbreiding naar alle EU-landen om verschillen per land zichtbaar te maken.
- › Het SOLIDARITY-project bevestigt het aanzienlijke potentieel van drie innovatieve droog- en ontwateringstechnologieën om de industriële warmtebehoefte te verminderen middels de transitie van warmte naar elektriciteit benadrukt. Het heeft echter ook verschillende uitdagingen geïdentificeerd, waaronder het verbeteren van de kosteneffectiviteit, het stimuleren van eindgebruikers om in deze technologieën te investeren en het opschalen van hun toepassing naar andere industriedomeinen. Om deze uitdagingen aan te pakken, zijn in de impactroutekaart vijf cruciale volgende stappen geïdentificeerd:
 - Nieuwe financieringsbronnen identificeren en veiligstellen;

- Instrumenten voor impactbewaking en evaluatie ontwikkelen;
- Betrokkenheid en samenwerking met belanghebbenden versterken;
- Verdere toepassing van de technologieën stimuleren;
- Meer aandacht geven aan sociaaleconomische factoren.

Door deze actieagenda te volgen, zijn de SOLIDARITY partners beter toegerust zijn om de beschreven activiteiten die in de impactroutekaart zijn beschreven effectief uit te voeren. Dit zal de succesvolle ontwikkeling, implementatie en brede adoptie van innovatieve droog- en ontwateringstechnologieën mogelijk maken richting 2030, en bijdragen aan zowel milieu- als economische doelen richting 2050.

1 Gegevens project

Projectnummer	MOOI42003
Projecttitel	Process efficient Solid and Liquid Dewatering and Drying (SOLIDARITY)
Projectleider	TNO
Projectpartners	Wageningen Food & Biobased Research (WFBR), CARBOGEN AMCIS BV, ESKA BV, Technip FMC, Pervatech, Waterfuture, Huhtamaki, VNP, RUG.
Projectduur	01.07.2021 – 30.06.2025

Het project is uitgevoerd met Topsector Energie subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. De specifieke subsidie voor dit project betreft MOOI-subsidie ronde 2020.

Contactpersonen

TNO	Yvonne van Delft yvonne.vandelft@tno.nl
WFBR	Norbert Kuipers norbert.kuipers@wur.nl
Huhtamaki	Anton Wemmers anton.wemmers@huhtamaki.com

2 Penvoerder en partners

Naam	Type	Rol in project
TNO	Kennisinstelling (niet-economische activiteiten)	Penvoerder, technologie ontwikkeling, TEE
Wageningen Food & Biobased Research (WFBR)	Kennisinstelling (niet-economische activiteiten)	Technologie ontwikkeling
CARBOGEN AMCIS BV	Grote onderneming	Eindgebruiker, business case, locatie veldtest
ESKA BV	Grote onderneming	Eindgebruiker, business case, integratie in bestaande proces
Technip FMC	Grote onderneming	Engineering & Constructie bedrijf, business case, integratie in bestaande proces, technologie ontwikkeling en veldtesten
Pervatech	MKB	Membraantesten, levering membranen en modules, input business case
Waterfuture	MKB	Leverancier van apparatuur en systemen, levering labschaal unit en BPED pilot installatie
Huhtamaki	Grote onderneming	Eindgebruiker, business case, integratie in bestaand proces
VNP	MKB	Distributie van resultaten, betrekken van stakeholders van de Nederlandse papierindustrie
RUG	Kennisinstelling (niet-economische activiteiten)	Kennis o.g.v. gezamenlijke innovaties en energie economie, modelering strategische besluitvorming

3 Achtergrond en doelstelling van het project

3.1 Introductie

Bij veel industriële processen worden technologieën voor ontwateren, drogen en selectief verwijderen van opgeloste stoffen toegepast voor het concentreren en isoleren van producten, het scheiden van vloeistofmengsels en het ontwateren van vaste stoffen. Vaak worden hiervoor energie-intensieve verdampingsprocessen gebruikt zoals meertrapsverdamping, destillatie en sproeidrogen. Om de energietransitie, inclusief een aanzienlijk verminderde CO₂-footprint, te realiseren, is een combinatie van elektrificatie en verbeterde energie-efficiëntie in thermische processen nodig voor het drogen en ontwateren van industriële stromen.

Door de papier- en procesindustrie vragen daarom om nieuwe en breed inzetbare droog- en ontwateringstechnieken die breed inzetbaar zijn. In de afgelopen jaren zijn diverse van deze innovatieve technologieën, zoals airless drying, elektrodialyse en pervaporatie, ontwikkeld tot TRL 4-5. Er zijn echter twee belangrijke barrières die de verdere ontwikkeling van deze technologieën tot TRL 5-6 en marktintroductie belemmeren. Ten eerste zijn voor eindgebruikers de technologieën nog onvoldoende bewezen en is de business case onvoldoende duidelijk voor een investeringsbeslissingen. Ten tweede speelt voor systeemintegratoren en Engineering & Constructie bedrijven de onbekendheid met de technologie/het product een rol, waardoor integratie in bestaande systemen uitdagend blijft.

3.2 Doelstelling van het project

Het doel van het project 'Process efficient solid and liquid dewatering and drying (SOLIDARITY)' was om de industrie te helpen bij het behalen van de klimaat-doelstellingen, door de efficiency van hun industriële processen te verbeteren middels het demonstreren van kosteneffectief drogen en ontwateren door technologie ontwikkeling en innovaties in vloeistof-vaste stof en vloeistof-vloeistof-scheidingen te combineren.

Het einddoel van de ontwikkeling, waar het SOLIDARITY project een belangrijke stap in moet maken, is om op termijn de warmtevraag in de industriële processen met 30-40% te verlagen en meer duurzame elektriciteit te gebruiken. Het Nederlandse emissie reductiepotentieel wordt daarmee circa 3-5 Mton CO₂ per jaar uitgaande van duurzaam (CO₂-neutraal) opgewekte elektriciteit. Eerste implementatie van de sleuteltechnologieën wordt verwacht rond 2030.

4 Uitvoering van het project

4.1 Projectstructuur, mijlpalen & go/nogo's

Binnen SOLIDARITY zijn drie herhaalbare sleuteltechnologieën ontwikkeld en getest in drie concrete toepassingen: glycolontwatering, hergebruik van zoutstromen en papierproductie. Deze zijn uitgevoerd samen met vier eindgebruikers (TechnipFMC, Carbogen, Eska en Huhtamaki).

TNO, VNP, Pervatech en WFBR hebben zich gericht op het modelleren van transport-mechanismen voor water in papier, het screenen en verbeteren van membranen en het testen van sleuteltechnologieën (airless drying, pervaporatie en elektrolyse) op lab- en benchschaal, onder andere in het TNO Mollier-lab. Voor de veldtesten werden bestaande machines (Huhtamaki, ESKA) aangepast en nieuwe geïntegreerde prototypes ontworpen en gebouwd (WaterFuture, WFBR). De sleuteltechnologieën zijn vervolgens gedurende meerdere maanden op locatie getest met industriële mengsels en procescondities.

Samen met de eindgebruikers zijn de technisch-economische potentie en het herhaalpotentieel in Nederland en de EU geëvalueerd. Deze inzichten zijn gecombineerd in een roadmap met de benodigde vervolgstappen voor verdere implementatie. Naast technologische inzichten zijn hierbij ook niet-technologische aspecten meegenomen, waaronder strategische besluitvorming (RUG) en de rol van onzekerheden (financieel, ecologisch) in investeringsbeslissingen (TNO).

Het project was georganiseerd rond vijf resultaatgebieden, weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Overzicht van de resultaten en activiteiten

Resultaat	Korte beschrijving	Partners	Activiteiten
1	Efficiënt ontwateren van glycol op TRL5-6	Technip FMC, Pervatech, TNO	1.1 Business case 1.2 Lab/bench schaaltesten 1.3 Voorbereiding veldtesten 1.4 Roadmap
2	Efficiënt hergebruik van zoutstromen op TRL5-6	Carbogen, WFBR, Water Future	2.1 Programma van Eisen voor (BPED) prototype 2.2 Selectie van commerciële membranen en voorbehandeling 2.3 Ontwerp, constructie en testen met geïntegreerde prototype 2.4 Gevalideerde geïntegreerde prototype op locatie 2.5 Waarde propositie CARBOGEN en BPED technologie 2.6 Roadmap

Resultaat	Korte beschrijving	Partners	Activiteiten
3	Efficiënte papierproductie met verbeterde ontwatering en drogen op TRL5-6	ESKA Huhtamaki VNP TNO	3.1 Evaluatie ontwateren & drogen 3.2 Ontwateringstechnologieën 3.3 Droogtechnologieën 3.4 Herontworpen processen inclusief integratie 3.5 Roadmaps voor verdere ontwikkeling
4	Impact in Nederland	RUG, TNO, alle partners	4.1 Modelering strategische besluitvorming 4.2 Modelering onzekerheid in investeringsbesluiten 4.3 Impact analyse 4.4 Roadmap drogen en ontwateren
5	Learning community, publicaties en disseminatie	VNP, WFBR, TNO	5.1 Coördinatie van learning communities 5.2 Publicatie & Disseminatie

Binnen het project waren de onderstaande mijlpalen en go/no-go besluiten gepland.

Mijlpaal 1 (M18) Behaalde resultaten: › Drie herhaalbare sleuteltechnologieën ontwikkeld voor drogen en ontwateren en prestaties zijn op lab/bench schaal geverifieerd. Motivatie: Alle sleuteltechnologieën die in de praktijk worden getest, hebben een experimenteel programma op laboratoriumschaal doorlopen en de prestaties voldoen aan de doelstellingen.
Mijlpaal 2 (M30) Behaalde resultaten: › Innovatieve droog- en ontwateringstechnologieën geïntegreerd in drie processen (glycolontwatering, hergebruik van pekel en papierproductie) en betrouwbaar werken. Motivatie: De drie sleuteltechnologieën zijn getest in een industriële omgeving en hebben hun betrouwbaarheid aangetoond.
Mijlpaal 3 (M6) Behaalde resultaten: › Sleutelactoren, prestatie-indicatoren, input en output parameters voor strategische/onzekerheid/impact modellen en roadmap zijn bepaald. Motivatie: Afstemming over sleutelactoren, prestatie-indicatoren, input- en outputparameters is noodzakelijk voordat de onzekerheids- & impactmodellering en roadmapping kunnen starten.
Mijlpaal 4 (M24) Behaalde resultaten: › Nieuwe beslismodellen voor innovatieve technologieën ontwikkeld en gevalideerd. Motivatie: De ontwikkelde beslismodellen zijn gevalideerd en kunnen worden toegepast voor innovaties en investeringen in drogen en ontwateren.

Mijlpaal 5 (M35) Behaalde resultaten: › Roadmap opgesteld voor spelers uit de industrie om de impact in Nederland te maximaliseren. Motivatie: De algemene roadmap kan worden gepresenteerd aan het industriële netwerk en de belanghebbenden. De uiteindelijke inbreng van belanghebbenden zal worden verwerkt.
Mijlpaal 6 (M24) Behaalde resultaten: › Industriële eindgebruiker betrokken bij glycoldehydratie en veldtestvoorbereiding. Motivatie: Locatie-specifieke input is nodig om de vervolgveldtest verder voor te bereiden.
Go/no-go 1 (M18) Op basis van de resultaten van activiteiten 2.2 en 2.3 wordt een Go/NoGo-beslissing genomen of de prestaties van de prototype BPED-installatie voldoen aan de doelstellingen en kunnen veldtesten bij Carbogen starten (activiteit 2.4).
Go/no-go 2 (M12) Op basis van de testresultaten op laboratoriumschaal, modellering en een evaluatie van een testprogramma zal een Go/NoGo-beslissing worden genomen om experimenten uit te voeren op operationele of experimentele faciliteiten in activiteit 3.2 en 3.3.

4.2 Uitgevoerde activiteiten en behaalde resultaten

Resultaat 1: Efficiënt ontwateren van glycol op TRL5-6

Doel

- › Het doel van dit resultaat was om te onderzoeken hoe pervaporatie kan helpen bij het drogen van aardgas met tri-ethyleenglycol (TEG). Pervaporatie kan worden ingezet om de TEG te ontwateren zodat dit kan worden hergebruikt. Voordelen van dit proces zijn een mogelijke verlaging van de operationele kosten, vermindering van de CO₂- en methaanuitstoot, en een verbeterde waterverwijdering uit glycol. Daarnaast is onderzocht hoe dit proces kan bijdragen aan de reductie van CO₂-uitstoot in aardgasproductie. Dit onderzoek moet uitwijzen of pervaporatie een haalbare en efficiënte oplossing is voor deze toepassing en in hoeverre het bijdraagt aan CO₂ uitstootvermindering in dit proces.

Behaalde resultaten

- › Labschaal pervaporatietesten voor ontwatering van tri-ethyleenglycol (TEG) zijn uitgevoerd en gerapporteerd. Aanvullende tests naar het effect van verontreinigingen en het debiet op de membraanprestaties zijn eveneens uitgevoerd en verwerkt in de resultaten;
- › Een Excel-calculatietool is opgesteld door Technip FMC en gevalideerd met Pervatool simulaties en experimenten;
- › Een nieuw innovatief membraanmodule ontwerp is ontwikkeld door Pervatech. Dit ontwerp is geïntegreerd in het procesontwerp en de simulaties en de businesscase;
- › De technische roadmap is opgesteld (zie ook resultaat 4).

Resultaatbeschrijving

HybSi membranen zijn ontwikkeld en geoptimaliseerd voor TEG ontwatering. Uit aanvullende experimenten blijkt dat zuur en enkele andere verontreinigingen geen effect hebben op de prestatie en levensduur van de membranen. Zout daarentegen vermindert de prestatie, evenals lage debieten door gebrek aan turbulentie en daarmee samenhangende concentratiepolarisatie. Met de laatstgenoemde nieuwe experimentele resultaten is het pervaporatie proces gemodelleerd door TNO en Technip FMC. Om temperatuurdaling te voorkomen heeft Pervatech een nieuw module ontwerp gemaakt. Ook deze nieuwe module is in de modellen verwerkt en dit heeft geleid tot een geoptimaliseerde proces configuratie. De business case is op basis van de nieuwste data geüpdatet. Uit de Roadmap (zie resultaat 4) kwam opnieuw naar voren dat een pilot demonstratie nodig is om de risico's te verkleinen en de technologie verder te brengen. Helaas is het nog niet gelukt om een locatie vast te leggen voor deze testen.

Knelpunten

Mijlpaal 6: 'Industriële eindgebruiker betrokken bij glycoldehydratie en veldtestvoorbereiding' is niet behaald. TechnipFMC heeft verschillende potentiële klanten benaderd en de technologie gepresenteerd op relevante bijeenkomsten. Dit heeft echter nog niet geleid tot een gecommitteerde industriële eindgebruiker voor de vervolg veldtest. De belangrijkste reden hiervoor is dat de klanten met name geïnteresseerd zijn in kostenverlaging en dat de business case pas aan het eind van het project volledig duidelijk was, waardoor er niet genoeg tijd overbleef om deze nog met potentiële eindgebruikers te bespreken. De partners in dit resultaat hebben zich gecommitteerd om na afloop van het SOLIDARITY project de zoektocht naar een geschikte eindgebruiker en testlocatie voor de demonstratie voort te zetten.

Perspectief voor toepassing

TEG-ontwatering is de leidende technologie voor aardgasontwatering (70% van de markt in 2018). Tussen 55-60% van de geproduceerde TEG wordt voor deze toepassing gebruikt. Er zijn wereldwijd 180.000-190.000 aardgasontwateringsunits (40.000 in de VS). Pervaporatie kan het proces van TEG-regeneratie verbeteren door kosten te verlagen (maximaal 15% lagere CAPEX en 20-50% lagere OPEX) en door energieverbruik en broeikasgasemissies (methaan en CO₂) te verminderen. Mogelijk kan het ook een verkleining van de footprint van de installatie geven en de behandelingscapaciteit van TEG verhogen.

Resultaat 2: Efficiënt hergebruik van zoutstromen op TRL5-6

Doel

- › Vervanging van warmte-intensieve processen door elektrisch aangedreven bipolaire membraan elektrolyse (BPED), waardoor een aanzienlijke reductie wordt bereikt in afvalwaterlozing (circulair, watervoetafdruk), evenals in de inkoop van zwavelzuur en NaOH (circulair, materiaalhergebruik) en de warmteverbruik (duurzaam, verminderde CO₂-footprint).

›

Behaalde resultaten

- › Technisch: de goede werking van de BPED is op pilotschaal aangetoond bij een test op locatie van Carbogen in Veenendaal;
- › Economisch: rekening houdend met de verwijderingskosten van afvalwater, ziet de businesscase voor Carbogen er veelbelovend uit. Echter, zonder deze kosten kan het BPED economisch niet concurreren met het huidige proces;
- › Ecologisch: BPED biedt duidelijke milieuvoordelen. Er vindt geen afvoer plaats van (afval)water en (afval)zouten naar het riool en RWZI, er is geen extra grondwaterwinning nodig, en het gebruik van zwavelzuur en loog neemt af door hergebruik.

Resultaatbeschrijving

De waardepropositie laat zien dat BPED een veelbelovende technologie is voor de terugwinning en omzetting van zouten uit afvalwater. De businesscase voor Carbogen is positief zodra afvalwaterverwijderingskosten worden meegerekend, maar zonder deze kosten is economische haalbaarheid nog beperkt. Voor een succesvolle implementatie is een relatief uitgebreide voorbehandeling van de afvalwaterstroom noodzakelijk om het gehalte aan organische stoffen (vetzuren) terug te brengen tot < 200 mg/L en scalingvormende zouten (Ca/Mg) tot < 1 mg/L (ppm). Daarnaast is nabehandeling vereist om de concentraties van het geproduceerde zuur en base te verhogen, zodat ze geschikt zijn voor hergebruik in het hoofdproces van Carbogen (waar momenteel 96wt% zwavelzuur en 50wt% natriumhydroxide worden toegepast).

Knelpunten

De voorgestelde voorbehandeling wordt door Carbogen als moeilijk implementeerbaar gezien. Er is behoefte aan alternatieve oplossingen om de praktische toepasbaarheid te vergroten.

Perspectief voor toepassing

Het BPED-proces voldoet aan de verwachtingen van Carbogen en biedt vooral voordelen in een mogelijk toekomstige situatie waarin de eisen voor afvalwaterbehandeling verder worden aangescherpt. Hoewel de voorbehandeling nog een uitdaging vormt, is het bredere perspectief gunstig: BPED is een generieke technologie die toepasbaar is in uiteenlopende processen waar (afval)zouten ontstaan door het mengen van zure en basische stromen. Daarmee kan niet alleen zoutlozing worden verminderd, maar ook de inzet van zuur en base aanzienlijk worden teruggebracht, wat bijdraagt aan een circulair en duurzaam proces.

Resultaat 3: Efficiënte papierproductie met verbeterde ontwatering en drogen op TRL5-6

Doel

- › Verhoging van de hoeveelheid water die mechanisch uit het papier wordt verwijderd;
- › Verbetering van de energie-efficiëntie van drogen en verhoging van de temperatuur voor warmteterugwinning (Airless drying);
- › Nieuwe of verbeterde processen die gebruik maken van de onderzochte technologieën;
- › Inzicht in de ontwikkelingsinspanningen en -risico's van nu tot implementatie.

Behaalde resultaten

- › Ontwateren en Airless drying: Diverse modellen in COMSOL (fundamenteel gedrag) en flow sheets (proces modellering) zijn ontwikkeld en gevalideerd door middel van laboratorium experimenten, pilot experimenten en field testen bij Huhtamaki en ESKA;
- › Verbeterde/nieuwe processen:
 - Ontwateren: De volgende generatie smooth molded fiber-technologie wordt ontwikkeld voor een verdubbeling van het drogestofpercentage.
 - Drogen: Een concept Airless dryer (Concept 5) voor rough molded fiber is ontworpen. Airless drying is aannemelijk gemaakt voor vlakpapier.

Resultaatbeschrijving

Ontwateren is in molded fiber onderdeel van continue ontwikkelingen van nieuwe machines met als verwachting dat vergelijkbare drogestofpercentages als in de vlakpapierproductie kunnen worden bereikt. Voor verdere verbeteringen zijn doorbraken nodig zoals ultrasoon, elektro-ontwateren, et cetera. Drogen is in smooth molded fiber onderdeel van continue ontwikkelingen van nieuwe machines. In rough molded fiber verloopt de doorontwikkeling naar TRL9 van concept 5 via drie stappen: airlock validatie (2026), warmtepomp integratie (2028) en NextGen in 2030. In vlakpapier is de volgende stap validatie in pilot machine naar concept en uitontwikkeling.

Knelpunten

Het belangrijkste knelpunt is economisch. Smooth molded fiber dient als vervanger voor plastic verpakkingen waar nog geen technologie voor beschikbaar is. De combinatie van nieuw product en technologisch green field geeft (vooralsnog) de economische ruimte voor ontwikkeling. Vlakpapier en rough molded fiber zitten vast in volwassen markten en een installed base die niet voor energie efficiency is ontworpen. Vlak en rough hebben daardoor (te) weinig economische ruimte om de transitie te doorlopen. Tegelijkertijd is het op maatschappelijk niveau vele malen kosteneffectiever om de transitie te realiseren met behulp van technologieën zoals hierboven beschreven dan grootschalig te investeren in opwek, opslag en distributie. Het grootste transitieknelpunt voor de papierindustrie zit in het overbruggen van de tegenstelling tussen maatschappelijke baten en de hoge private kosten.

Perspectief voor toepassing

De papierindustrie staat op de vierde plaats in het wereldwijde industriële energieverbruik. Alle methoden en technieken die in resultaat 3 zijn ontwikkeld, zullen de energiebehoefte van de papierproductie verminderen. Bovendien moeten alternatieven met de inkomende richtlijn voor eenmalig gebruik van plastic duurzaam en energiezuinig zijn. De toepasbaarheid van dit onderzoek betreft alle papierfabrieken en papierverwerkers.

Resultaat 4: Impact in Nederland

Doel

- › Inzicht in de strategische impact van de SOLIDARITY-technologieën;
- › Afstemming van commerciële en duurzaamheidsdoelstellingen.

Behaalde resultaten:

- › Een investeringsmodel dat rekening houdt met onzekerheid;
- › Een macro-economisch model om de impact op de Nederlandse economie van grootschalige implementatie van SOLIDARITY-technologieën zichtbaar te maken;
- › Een impact roadmap op basis van de Theory of Change voor SOLIDARITY's drie droog en ontwatertechnologieën (Mijlpaal 5);
- › Een artikel over strategisch e besluitvorming.

Resultaatbeschrijving

- › Activiteit 1: Modeling strategic decision making
 - Een literatuurstudie is uitgevoerd naar besluitvormingsmodellen en de eindgebruikers in het consortium zijn geïnterviewd. Een wetenschappelijk artikel voor het strategisch management en het ondernemerschap veld is ingediend en in juli 2025 gepresenteerd op de EGOS conferentie. Dit artikel biedt een raamwerk om onzekerheid te begrijpen, hoe ondernemers onzekerheid waarnemen en hoe ondernemers belanghebbenden kunnen overtuigen om een technologie na te streven, gegeven de inherente onzekerheid.
- › Activiteit 2: Modeling uncertainty

- Een investeringsmodel dat rekening houdt met onzekerheid is ontwikkeld in nauwe samenwerking met stakeholder WaterFuture. Via interviews is de bruikbaarheid van het model getest bij de andere stakeholders.
- › Activiteit 3: Impact analysis
 - De milieueffecten en macro-economische impact van de volledige toepassing van drie ontwaterings- en dehydratie-technologieën in Nederland zijn geanalyseerd. Voor deze studie is het algemene evenwichtsmodel EXIOMOD gebruikt. Via interviews met de partners uit het consortium zijn gegevens over de technologieën verzameld. Voorbeelden van kwantitatieve gegevens die nodig zijn als input voor het model zijn: kosten voor investering, type sector die vraag zal hebben naar deze technologie, energievraag vóór de implementatie van de technologie, verwachte energieafname na implementatie van de technologie en verwachte afname in CO₂-emissies. Alle resultaten en motivatie voor de kwantitatieve input zijn beschreven in een rapport D4.3.
- › Activiteit 4: Defining a roadmap
 - In 2024 is door middel van interviews en workshops met de project partners een impact roadmap gemaakt op basis van de Theory of Change voor SOLIDARITY's drie droog en ontwatertechnologieën. Op basis hiervan is een agenda voor actie met vijf punten voor de toekomst opgesteld. De resultaten van deze roadmap zijn verwerkt in Deliverable 4.4 en in een rapport, beiden opgeleverd in juni 2024. Het rapport vormt de basis voor een artikel op de website van TNO Vector om de resultaten van de impact roadmap verder te verspreiden onder stakeholders.

Knelpunten

- › Activiteit 1: Modeling strategic decision making

Door het stoppen van de eerste RUG Postdoc eind jaar 2 heeft deze activiteit een vertraging van twee jaar opgelopen. Mijlpaal 4 (M24) en Deliverable D4.1 (M24) zijn daarom verschoven naar M48.
- › Activiteit 3: Impact analysis
 - Rapport D4.3 is later opgeleverd vanwege drukte in andere projecten. Het rapport is uiteindelijk eind Juni 2024 afgerond.
 - Het macro-economisch model was waarschijnlijk wat te grofmazig voor de SOLIDARITY analyses (de sector-structuur is relatief grof). Dit zorgde ervoor dat er aannames gemaakt moesten worden om verwachte impact van ontwateringstechnologieën door te voeren. Als voorbeeld, pervaporatie wordt o.a. gebruikt om waterrijk glycol te ontwateren. Deze technologie kan worden ingezet in de aardgasindustrie en kan de energie-intensieve distillatie technologie vervangen. Echter, het model bevat alleen de olie- en gassector, waarbij energiegebruik voor de hele sector te zien is. Er moeten dus aannames gemaakt worden over welk deel van deze sector distillatie gebruikt (dat vervangen zal worden door pervaporatie).

Perspectief voor toepassing

Het investeringsmodel ontwikkeld in activiteit 2 geeft bedrijven de mogelijkheid om onderbouwd (onzekerheid meegenomen) een investeringskeuze te maken. Het investeringsmodel ontwikkeld in activiteit 2 is specifiek ontwikkeld voor investeerders in onzekere technologieën. Het model moet nog getest worden op bruikbaarheid en praktisch toepasbaarheid door andere partners in het consortium. Daarna is het een praktische tool die de simpele 'net present value' methode, waar normaal gesproken investeringsbeslissingen op gebaseerd worden, kan vervangen.

Via een macro-economische impact analyse wordt zichtbaar gemaakt wat de impact op de Nederlandse economie is wanneer SOLIDARITY-technologieën grootschalig doorgevoerd worden. Het geeft inzicht in competitie-voordelen die sectoren ondervinden wanneer de technologie leidt tot kostenefficiëntie.

Resultaat 5: Learning community, publicaties en disseminatie

Doel

Het doel van de learning community is kennis vergaren, uitwisselen en experimenteren om de transitie naar efficiënt drogen en ontwateren te versnellen.

Behaalde resultaten

- › 14 presentaties en 4 posters op 16 conferenties, symposia en events met o.a. bijdragen bij vijf TechnoLogiekring Paper & Board events, een NL-GUTS event en twee ISPT events;
- › Nieuwsbrief M6 en bijdrage aan VNP Innovatie nieuwsbrief;
- › SOLIDARITY LinkedIn pagina met posts (57 followers);
- › Mini-workshop Valorisatie van Innovatieve technologieën georganiseerd tijdens de tweede F2F consortium meeting (M9);
- › Zeven HBO stages en twee studentprojecten met de Hogeschool Utrecht afgerond;
- › Drie workshops georganiseerd met Human Factory (M4), MOOI project The Heat is On & ISPT Warmte Integratie platform (M20) en NWGD (M45);
- › Interview en publiek rapport 'Navigating Impact : A Roadmap for Sustainable Drying and Dewatering Technologies'.

Resultaatbeschrijving

Alle consortium partners zijn aangesloten bij een of meer relevante werkgroepen en programma's, zoals het NWGD, ISPT programma Separations for Circularity & ISPT Warmte Integratie platform, en NL-GUTS. Tijdens het project is besloten om samenwerking aan te gaan met deze initiatieven via nuttige sessies en op die manier aan te sluiten bij de huidige learning communities. Op 13 april 2023 is een gezamenlijke workshop met het MOOI project THIO tijdens de ISPT Warmte integratie platform meeting gehouden, waar de drie SOLIDARITY use cases zijn gepresenteerd door Pervatech, WaterFuture en Huhtamaki. Op 25 maart zijn tijdens de workshop met NWGD de eindresultaten van het SOLIDARITY project door TNO, WFBR en Huhtamaki gepresenteerd.

Gedurende het project is de samenwerking met hogescholen versterkt middels stageplekken voor studenten en student projecten. Verschillende HBO studenten hebben stage gelopen bij partners WaterFuture, Carbogen en Huhtamaki. Er zijn twee projecten voor SOLIDARITY uitgevoerd door twee studententeams van de Hogeschool Utrecht op het gebied van biogasdrogen (begeleid door TNO) en recycling van afvalwater (begeleid door Carbogen). Een overzicht van de studenten en de studentenopdrachten staat in Tabel 2. Tijdens de F2F consortium meeting op 30 maart 2023 heeft Michiel van de Stelt (Hogeschool Utrecht) de strategische kennisagenda van het ILC gepresenteerd en verdere samenwerking in de vorm van een learning community besproken met de SOLIDARITY partners. Daarnaast is er door Yvonne van Delft les gegeven op de Hogeschool Utrecht bij de opleiding Chemische technologie.

Tabel 2: Overzicht studentenopdrachten binnen SOLIDARITY

Organisatie	Type	Opdracht	Hogeschool/ Universiteit	Periode
WaterFuture	Stage	Weifang BPM Performance	Avans University of Applied Sciences	sept 2021- maart 2022
Carbogen	Stage	Pretreatment of wastewater	Hogeschool Van Hall Larenstein	juni 2022 - nov 2022
Huhtamaki	Stage	Modelling the air permeability of smooth molded fiber sheets	HAN University of Applied Science	sept 2022 - dec 2022
Carbogen	Stage	Pretreatment of wastewater	Avans University of Applied Sciences	sep 2022 - feb 2023
WaterFuture	Stage	Current efficiency ED-BPM 3 cell compartment	Avans University of Applied Sciences	feb 2023 - juli 2023
WaterFuture	Stage	ED-BPM 2 cell , new industrial applications	Avans University of Applied Sciences	feb 2023 - juli 2023
Carbogen	Stage	BPED unit optimization	Hogeschool Utrecht	feb 2023 - juli 2023
Carbogen	Studenten team	Process optimization and design	Hogeschool Utrecht	feb 2023 - juni 2023
TNO	Studenten team	Dewatering of glycol used for biogas dehydration	Hogeschool Utrecht	feb 2023- juni 2023
Rijksuniversiteit Groningen	Postdoc	Modeling strategic decision making	Rijksuniversiteit Groningen	mei 2022 – april 2023
Rijksuniversiteit Groningen	Postdoc	Modeling strategic decision making	Rijksuniversiteit Groningen	sept 2023 – juni 2025

De Koninklijke VNP (Nederlandse Vereniging van Papier en Karton) en Millvision organiseren twee keer per jaar Technologiekring-bijeenkomsten waaraan senior technologen uit de hele papierindustrie deelnemen om de nieuwste ontwikkelingen te presenteren en te bespreken. In november 2022 bekroonde de jury het ontwikkelingswerk op het gebied van airless drying, onderdeel van Resultaat 3 in het SOLIDARITY project. Anton Wemmers van Huhtamaki nam namens het consortium de award in ontvangst (zie Figuur 1). Gedurende het project zijn de projectresultaten van Resultaat 3 in de vijf Technologiekring-bijeenkomsten gepresenteerd.



Figuur 1: Uitreiking Technologie Kring Award in november 2022 [bron: technologiekring.nl]

Disseminatie wordt verder beschreven in hoofdstuk 7.

Knelpunten

De nieuwsbrieven (M18 & M30) zijn niet uitgebracht, vanwege gebrek aan content.

We zijn uitgenodigd om de papers van EuroDrying2023 te publiceren in een speciale uitgave van Drying Technology. Besloten is om alleen de modellering publicatie (TNO) in te dienen, maar helaas bleek uit de peer review dat er nog veel gedaan moet worden om het stuk goedgekeurd te krijgen voor publicatie in Drying Technology. Er is daarom besloten om de paper niet in te dienen. Aan een tweede publicatie met betrekking tot de resultaten van Resultaat 1 wordt door TNO gewerkt. De verwachting is dat deze in de tweede helft van 2025 wordt ingediend bij een peer-reviewed wetenschappelijk tijdschrift.

5 Bijdrage aan de doelstelling van de regeling

Het innovatiethema, dat valt binnen de scope van het SOLIDARITY-project, is Maximaliseren van procesefficiëntie bij drogen en ontwateren. De algemene doelstelling van de ontwikkeling binnen dit thema, waarin het SOLIDARITY-project een belangrijke stap maakt, is gericht op de ontwikkeling van kosteneffectieve membranen en drukgedreven componenten en de ontwikkeling van nieuwe energie- en kosteneffectieve technologieën en systemen.

Het SOLIDARITY project levert een concrete bijdrage geleverd aan de hierboven beschreven doelstelling. Er wordt veel kennis en kunde ontwikkeld betreffende droog- en ontwateringsprocessen in de farmaceutische industrie, olie- en gasector en de papierindustrie. Hiermee wordt de kennispositie voor Nederland op dit gebied sterk uitgebreid, hetgeen een goed uitgangspunt biedt om de toeleveringsketen voor eindgebruikers en technologieleveranciers nog beter vorm te geven in de nabije toekomst.

Het einddoel van de ontwikkeling, waar het SOLIDARITY project een belangrijke stap in moet maken, is om op termijn de warmtevraag in de industriële processen met 30-40% te verlagen en meer duurzame elektriciteit te gebruiken. Het Nederlands emissie reductiepotentieel wordt daarmee circa 3-5 Mton CO₂ per jaar uitgaande van duurzaam (CO₂ neutraal) opgewekte elektriciteit. Eerste implementatie van de sleutel technologieën is voorzien in 2030.

Een overzicht van de SOLIDARITY toepassingen/use cases, potentiële CO₂-emissiereductie en de herhaalbaarheid van de sleuteltechnologieën wordt gegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Overzicht toepassingen/use cases, potentiële CO₂-emissiereductie en de herhaalbaarheid

Use case/ toepassing	Sleuteltechnologie	Potentiële CO ₂ emissie reductie	Herhaalbaarheid
Glycol ontwatering	Pervaporatie is een membraanproces voor het scheiden van vloeistofmengsels van door gedeeltelijke verdamping door een niet-poreus of poreus membraan.	NL: glycol 32,5, totaal 400 kton CO ₂ /jaar EU, WW: 3,6, 18,6 Mton CO ₂ /jaar	Huidige toepassingen van pervaporatie zijn ontwatering van oplosmiddelen, waterzuivering en scheiding van organische mengsels. De totale markt zal naar verwachting toenemen tot US \$ 1,71 miljard in 2020.
Hergebruik van zoutstromen	Bipolaire membraan elektrolyse is een combinatie van elektrolyse voor zoutscheiding met watersplitsing voor de omzetting van een zout in zijn overeenkomstige zuur en base.	NL: 190 kton CO ₂ /jaar	Huidige toepassingen van (BP)ED zijn terugwinning van kostbare elektrolyten of zuren uit metallurgische spoelbaden, productie van zuur en basen uit pekkel en demineralisatie van zuivelproducten.

Use case/ toepassing	Sleuteltechnologie	Potentiële CO ₂ emissie reductie	Herhaalbaarheid
Papier productie	Verdringingspersen is een papier ontwateringsproces waarbij lucht door een vel papier wordt geblazen terwijl het wordt geperst. Airless en elektrische droogconcepten verhogen de temperatuur van de warmteterugwinning.	NL: 400 kton CO ₂ /jaar	Huidige toepassingen van airless en elektrische stralingsdrogers zijn in de voedingssector om grondstoffen te drogen.

6 Spin off binnen en buiten de sector

Het SOLIDARITY project heeft voor Waterfuture veel spin-off's gebracht, namelijk contractonderzoeken voor kleine en grote bedrijven zoals Friesland Campina, SHELL, Rousselot, Darling, BOSAQ en COVAL. De EDBPM technologie biedt veel perspectief voor de industrie om hun lineaire zuur en base verbruik circulair te maken. Ook blijkt uit de technische en economische haalbaarheid dat het een realistisch perspectief biedt om hun afvalzouten te hergebruiken als zuur en base.

WFBR heeft de toepassing van Bipolaire Elektrodialyse (BPED) verder ontwikkeld binnen het MAD-proces (Magnetic Adsorption-Desorption), gericht op fosfaatverwijdering en -terugwinning uit afvalwaterstromen. De opgedane kennis en resultaten uit SOLIDARITY sluiten aan bij dit vervolgonderzoek, waarin BPED een belangrijke rol speelt bij het on-site produceren van zuren en basen, waardoor pH-afhankelijke processen effectief kunnen worden gecontroleerd. Deze lijn wordt voortgezet in het nieuwe TKI-project REVIVAL, dat zich richt op de terugwinning en elektrochemische valorisatie van ammoniak uit effluentstromen. Binnen dit project wordt BPED ingezet als kerntechnologie voor duurzame stikstofkringloopsluiting en energiebesparing.

Carbogen heeft geen actieve plannen voor vervolgonderzoek. Men is op zoek naar een oplossing, waarbij deze processtroom niet wordt geproduceerd.

De plannen van Huhtamaki voor airless drying in rough molded fiber zijn doorontwikkeling naar TRL9 van Carbon free LeoTech dryers via drie stappen: airlock validatie (2026), warmtepomp integratie (2028) en NextGen in 2030.

Een deel van deze ontwikkeling is opgenomen in het Groeifondsvoorstel Heatflex. De missie van Heatflex is om de procesindustrie te transformeren door innovatieve warmteproductie en productie van producten en deze innovaties effectief te gebruiken om financiële waarde te creëren voor een winstgevende markt. Een van de pilots binnen Heatflex is de warmtepomp geïntegreerde droger, een samenwerking tussen Huhtamaki, Aeronamic en de papierindustrie. Deze pilot heeft als doel te bewijzen dat het verminderen van exergieverliezen in droogprocessen in combinatie met warmtepomptechnologie, een elektrisch aangedreven droogtechnologie zal bieden, die de huidige stand van zaken op de markt overtreft onder normale marktomstandigheden. De industriële warmtepomp, die lage temperatuur warmte kan opwaarderen naar nuttige warmte, is in ontwikkeling. Het bereikt zijn volwassenheid en zou een economisch haalbare toepassing kunnen zijn. Desondanks is voor een levensvatbare oplossing een integratie van de warmtepomptechnologie nodig in het papierdroogproces. Deze pilot zal dit aantonen: een bewezen warmtepomp-geïntegreerd airless drying proces dat rough molded fiber verpakkingen droogt.

De uitgevoerde testen binnen het SOLIDARITY project heeft een innovatieve module naar voren gebracht voor Pervatech. Dit ontwerp zal verder gebruikt worden voor de toepassing van pervaporatie voor de ontwatering van andere oplosmiddelen. Dit ontwerp zal ook de basis zijn voor het ontwerp van grotere industriële modules. Daarnaast staat Pervatech er ook voor open om dit project verder op te pakken met het uitvoeren van een pilot demonstratie wanneer er een industriële eindgebruiker gevonden is.

7 Disseminatie

Gedurende het project zijn op verschillende gelegenheden de verkregen resultaten en kennis gedeeld. Een overzicht in chronologische volgorde staat in Tabel 4.

Tabel 4 Overzicht disseminatie

Naam	Type	Datum
Pitch presentatie Projecten op het podium Utrecht	Presentatie	12 oktober 2021
Bezoek Human Factory bij TNO	Workshop	29 oktober 2021
SOLIDARITY project pagina TNO website ¹	Project pagina	
Presentatie NWGD symposium	Presentatie	30 november 2021
VNP Innovatie nieuwsbrief	Publicatie	
Teaser Technologiekkring Paper & Board	Teaser	15 juni 2022
SOLIDARITY LinkedIn pagina ² (57 followers, 16072025)	Posts	Lancering april 2022
Experimental setup for measuring drying of molded fiber under near air-less conditions, Michel van der Pal (TNO), Simon Smeding (TNO), Anton Wemmers (Huhtamaki), NWGD symposium	Poster	22 september 2022
Presentatie Technologiekkring Paper & Board	Presentatie	23/24 november 2022
Workshop met de ISPT Warmte Integratie platform	Workshop	13 april 2023
Presentatie Technologiekkring Paper & Board	Presentatie	28/29 juni 2023
Modelling of the papermaking process under air-less drying conditions - Wouter de Vries, Jochem Jongerius, Michel van der Pal	Presentatie 8th European Drying Conference	4-7 juli 2023
Experimental setup for measuring drying of molded fiber under near airless conditions - Michel van der Pal, Simon Smeding, Anton Wemmers	Presentatie 8th European Drying Conference	4-7 juli 2023
Presentatie bij SKIW-symposium te Zutphen	Presentatie	1 november 2023
Presentatie Technologiekkring Paper & Board	Presentatie	22 november 2023
Evaluation for the sustainable recovery of Na ₂ SO ₄ from industrial wastewater streams using electrodialysis with bipolar membranes (EDBM), 6th International Conference on Desalination using Membrane Technology, Sitges (Spain)	Poster	19-22 november 2023
Twee presentaties (TNO & WUR) SFC-cluster day: Knowledge Institute pitches, ISPT (Amersfoort)	Presentatie	7 maart 2024
Presentatie Technologiekkring Paper & Board	Presentatie	26 juni 2024

¹ <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/energietransitie/roadmaps/co2-neutrale-industrie/co2-reductie-vraagt-om-verbetering-van-industriële-processen/>

² <https://lnkd.in/dc4YhdcZ>

Naam	Type	Datum
Electromembrane processes in the food industry: Two case studies on generation of green oxidants and salt recovery, Tania Mubita, Jolanda van Medevoort, Norbert Kuipers	Presentatie EuroMembrane 2024, Prague	8-12 september 2024
Regeneration of TEG in Natural Gas Dehydration using Pervaporation, I. Lammerink, R. de Lange, M. Nikbakht, I. Tyraskis, S. Sluijter, O. Salazar, A. Ismail	Poster NMG posterdag	11 november 2024
Circular use of acid, base, and water in Food and Beverage industry by new electrical driven membrane separation technologies, Waterfuture, European Water Tchonology congress, Leeuwarden.	Presentatie	25 september 2024
Navigating Impact : A Roadmap for Sustainable Drying and Dewatering Technologies, Oukes, T., Delft, Y. van, Kuipers, N., Sanders, H., Sluijter, S., Wemmers, A.	Rapport	7 augustus 2024
Drie doorbraaktechnologieën helpen industrie verder te verduurzamen ³	Interview	11 oktober 2024
Presentatie Airless drying, Jochem Jongerius, NL-GUTS Event Thermal Separation	Presentatie	3 maart 2025
Drie Solidarity presentaties + rondleiding TNO, 27 deelnemers met NWGD ⁴	Workshop	25 maart 2025
Presentatie ISPT Warmte Integratie platform	Presentatie	1 april 2025
Energy efficient drying of paper: pathways for the future, Wouter de Vries, Technologiekering Paper & Board	Presentatie	25 juni 2025
Pragmatic Entrepreneurial Action: Engaging stakeholders under uncertainty, Beyers Louw, 41st EGOS Colloquium, Athens	Paper & presentation	3-5 juli 2025
Multicylinder paper drying model development and validation using measurement data from sheet paper machine under relevant conditions, Eurodrying 2025 Michel van der Pal	Poster	6-9 juli 2025

³ https://www.tno.nl/nl/newsroom/insights/2024/10/technologieen-industrie-verduurzamen/?utm_source=linkedin&utm_medium=social&utm_content=EMT&utm_term=TNO+duurzaam

⁴ <https://nwgd.nl/2025/03/excursion-tno-general-assembly-nwgd/>

Ondertekening

TNO › Energy & Materials Transition › Petten, 3 maart 2026

R.A. Almeida
Deputy Research Manager

Y.C. van Delft
Auteur

Energy & Materials Transition

Westerduinweg 3
1755 LE Petten
www.tno.nl