

TNO PUBLIEK

Energy & Materials TransitionWesterduinweg 3
1755 LE Petten
Postbus 15
1755 ZG Pettenwww.tno.nl

T +31 88 866 50 65

TNO-rapport**TNO 2024 R11544 | Voortgangsrapportage jaar 3****Process efficient Solid and Liquid Dewatering
and Drying (SOLIDARITY)****Openbare voortgangsrapportage jaar 3**Datum 17 juli 2024
Auteur(s) Y.C. van DelftAantal pagina's 22
Opdrachtgever RVO
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.

© 2024 TNO



TNO PUBLIEK

Samenvatting

Introductie

Bij veel industriële processen wordt 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 sproeidrogen 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 nieuwe en innovatieve droog- en ontwateringstechnieken 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 EPCs 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)' is om de industrie te helpen om te voldoen aan de klimaatdoelstellingen, 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 emissie reductiepotentieel wordt daarmee circa 3-5 Mton CO₂ per jaar uitgaande van duurzaam (CO₂-neutraal) opgewekte elektriciteit. Eerste implementatie van de sleuteltechnologieën is voorzien in 2030.

Resultaten

De belangrijkste projectresultaten in rapportageperiode 3 zijn:

- Een roadmap op basis van de Theory of Change voor SOLIDARITY's drie droog- en ontwatertechnologieën voor spelers uit de industrie om de impact in Nederland te maximaliseren (Mijlpaal 5);
- Twee Innovatieve droog- en ontwateringstechnologieën zijn geïntegreerd in twee processen (hergebruik van pekels en papierproductie) en werken betrouwbaar (Mijlpaal 2);
- Voor het derde proces Glycolontwatering is ondanks de inspanningen van TechnipFMC nog geen gecommiteerde industriële eindgebruiker voor de vervolgveldtest gevonden (Mijlpaal 6). De belangrijkste reden hiervoor is dat de klanten met name geïnteresseerd zijn in kostenverlaging en dat de business case nog niet volledig duidelijk was;
- Een excel calculatie tool is opgesteld door Technip FMC en gevalideerd aan de hand van Pervatool simulaties en pervaporatie experimenten met

geoptimaliseerde HybSi membranen. In aanvullende testen is het effect van verontreinigingen en het debiet op de prestaties van de membranen bepaald en verwerkt in de resultaten;

- Rekening houdend met de verwijderingskosten van afvalwater, ziet de businesscase voor Carbogen AMCIS er veelbelovend uit. Echter, zonder deze kosten kan het BPED economisch niet concurreren met het huidige proces;
- Diverse ontwatering en airless drogen modellen in COMSOL (fundamenteel gedrag) en Flow sheeters (proces modellering) zijn ontwikkeld en gevalideerd door middel van laboratorium experimenten, pilot experimenten en field tests;
- Op basis van de SOLIDARITY resultaten worden er een tweetal verbeterde/nieuwe papierproductie processen verder ontwikkeld. De volgende generatie smooth molded fiber-technologie wordt ontwikkeld voor een verdubbeling van het droge stof percentage. Een concept industriële Airless droger voor rough molded fiber molded is ontworpen. Airless drogen is aannemelijk gemaakt voor vlakpapier.
- Een macro-economisch model om de impact op de Nederlandse economie van grootschalige implementatie van SOLIDARITY-technologieën zichtbaar te maken.
- Verschillende presentaties met de belangrijkste project resultaten zijn binnen het netwerk gehouden (Technologiekring Paper & Board, SKIW-symposium, MEMDES2023 en ISPT-SFC clusterdag). Twee publicaties zijn uitgebracht van de modellerings- en experimentele resultaten in Resultaat 3 (Proceedings Eurodrying2023).

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Gegevens project.....	5
2	Penvoerder en partners	6
3	Achtergrond en doelstelling van het project	7
3.1	Introductie	7
3.2	Doelstelling van het project	7
4	Werkwijze en resultaten	8
4.1	Werkwijze	8
4.2	Uitgevoerde activiteiten en behaalde resultaten in rapportage periode 2	11
5	Bijdrage aan de doelstelling van de regeling	18
6	Spin off binnen en buiten de sector	20
7	Disseminatie.....	21
8	Handtekening	22

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	EPC, 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 wordt 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 sproeidrogen 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 nieuwe en innovatieve droog- en ontwateringstechnieken 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 EPCs de onbekendheid met de technologie/het product een rol, waardoor integratie in bestaande systemen niet altijd eenvoudig is.

3.2 Doelstelling van het project

Het doel van het project 'Process efficient solid and liquid dewatering and drying (SOLIDARITY)' is om de industrie te helpen om te voldoen aan de klimaatdoelstellingen, 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 emissie reductiepotentieel wordt daarmee circa 3-5 Mton CO₂ per jaar uitgaande van duurzaam (CO₂-neutraal) opgewekte elektriciteit. Eerste implementatie van de sleuteltechnologieën is voorzien in 2030.

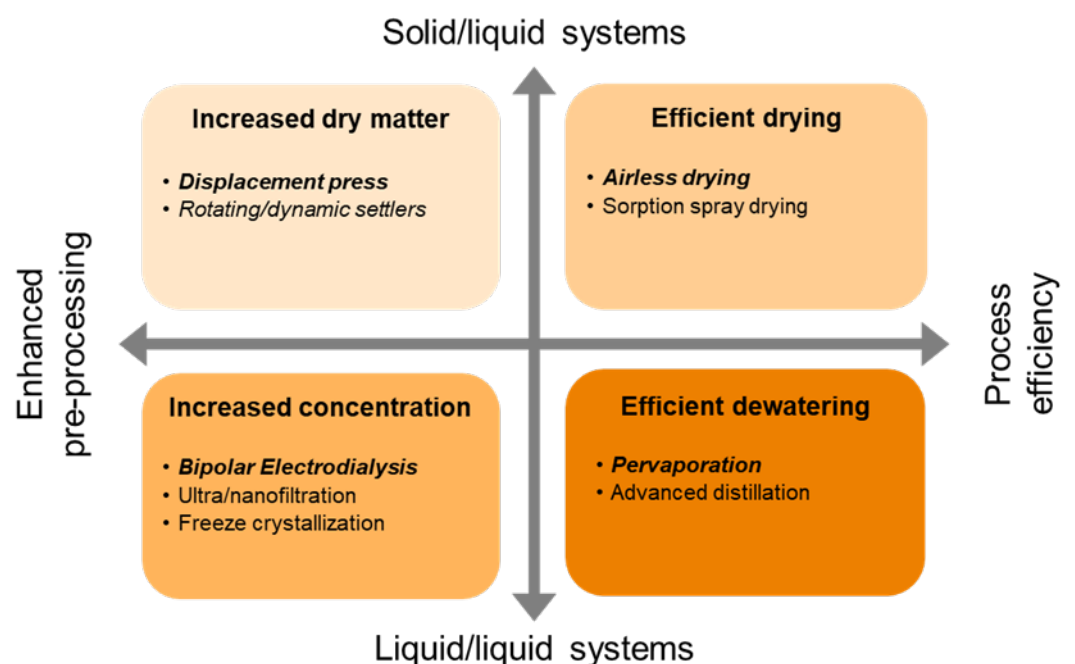
4 Werkwijze en resultaten

4.1 Werkwijze

Het project zal de volgende resultaten opleveren:

- Drie herhaalbare sleuteltechnologieën ontwikkeld voor drogen en ontwateren en verificatie van de prestaties;
- Innovatieve droog- en ontwateringstechnologieën geïntegreerd in 2 processen (hergebruik van zoutstromen en papierproductie) en betrouwbaar werkend in industriële omgeving;
- Een nieuw besluitvormingsmodel voor innovatieve droog- en ontwateringstechnologieën, inclusief economische en strategische overwegingen;
- Een roadmap voor actoren uit de industrie om de impact in Nederland te maximaliseren;
- Verspreide technische en niet-technische inzichten over het industriële netwerk.

De herhaalbare sleuteltechnologieën die moeten worden ontwikkeld voor TRL5-6 zijn vetgedrukt weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Matrix met de onderzoeksgebieden (kwadranten) en technologieën voor drogen en ontwateren van vloeistof/vloeistof- en vaste stof/vloeistof-systemen.

Het project is verdeeld in resultaten. De onderverdeling in resultaten is 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 Geselecteerde 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
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

In SOLIDARITY worden drie herhaalbaarbare sleuteltechnologieën ontwikkeld in drie specifieke toepassingen: glycol ontwatering, hergebruik van zoutstromen en papierproductie voor vier verschillende eindgebruikers (TechnipFMC, Carbogen, Eska, Huhtamaki). TNO, VNP, Pervatech en WFBR richten zich op modellering van de transportmechanismen voor water in papier, het screenen en verbeteren van membranen en het testen van de verbeterde sleuteltechnologieën (airless drying, pervaporatie en elektrodialyse) op lab/bench schaal in o.a. het TNO Mollier lab voor drogen en ontwateren. Voor de veldtesten worden bestaande machines (Huhtamaki, Eska) omgebouwd c.q. aangepast en nieuwe geïntegreerde prototypes ontworpen en gebouwd (WaterFuture, WFBR). Vervolgens worden de sleuteltechnologieën enkele maanden op locatie getest met industriële mengsels en procescondities. Samen met de eindgebruikers wordt een evaluatie gemaakt van het technisch-economische potentieel in hun processen en het herhaalpotentieel in Nederland en de EU. De resultaten zullen worden gecombineerd met het bepalen van de stappen die nodig zijn voor verdere implementatie om de impact in Nederland te maximaliseren. In deze roadmap zullen ook niet-technologische inzichten worden

meegenomen, die o.a. voortkomen uit de modellering van strategische besluitvormingsprocessen (RUG) en onzekerheid (financieel, ecologisch) in investeringsbeslissingen (TNO).

In de rapportage perioden 1, 2 en 3 zijn de onderstaande mijlpalen en go-nogo besluiten gepland.

Mijlpaal 1 (M18)
Behaalde resultaten: • Drie herhaalbaarbare sleuteltechnologieën ontwikkeld voor drogen en ontwateren en verificatie van de prestaties op lab/bench schaal. Motivatie: Op dit punt in het project hebben alle sleuteltechnologieën die in de praktijk worden getest, een experimenteel programma op laboratoriumschaal ondergaan en hebben aangetoond dat de prestaties voldoen aan de doelstellingen.
Mijlpaal 2 (M30)
Behaalde resultaten: • Innovatieve droog- en ontwateringstechnologieën geïntegreerd in 3 processen (glycolontwatering, hergebruik van pek en papierproductie) en betrouwbaar werken Motivatie: Drie belangrijke technologieën zijn getest in een industriële omgeving en hebben aangetoond dat ze betrouwbaar werken.
Mijlpaal 3 (M6)
Behaalde resultaten: • Key actoren, prestatie-indicatoren, input en output parameters voor strategische/onzekerheid/impact modellen en roadmap bepaald. Motivatie: Afstemming over key actoren, prestatie-indicatoren, input- en outputparameters voor strategische/onzekerheid/impactmodellen en roadmap is nodig voordat de modellering en roadmapping begint.
Mijlpaal 4 (M24)
Behaalde resultaten: • Nieuwe beslismodellen voor innovatieve technologieën. Motivatie: De ontwikkelde beslismodellen zijn gevalideerd en kunnen worden toegepast voor innovaties en investeringen in drogen en ontwateren.
Mijlpaal 5 (M35)
Behaalde resultaten: • Roadmap 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:

Er is locatie specifieke input nodig om een 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 in rapportage periode 3

Resultaat 1: Efficiënt ontwateren van glycol op TRL5-6

Doel

- Het doel van dit resultaat is om te onderzoeken hoe pervaporatie kan helpen bij het drogen van aardgas door triethyleen glycol (TEG). Pervaporatie kan worden ingezet om de TEG te ontwateren zodat dit kan worden hergebruikt. Voordelen van dit proces zijn mogelijke verlaging van de operationele kosten, vermindering de CO₂- en methaanuitstoot, verbetering van de waterverwijdering uit glycol nagaan hoe dit proces bijdraagt aan de CO₂-verwijdering uit aardgas. 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 triethyleenglycol (TEG) waren reeds uitgevoerd en gerapporteerd. Aanvullende tests met betrekking tot het effect van verontreinigingen en het debiet op de prestaties van de membranen zijn uitgevoerd en verwerkt in de resultaten.
- Een excel calculatie tool is opgesteld door Technip FMC en gevalideerd aan de hand van Pervatool simulaties en experimenten.
- Een nieuw innovatief membraanmodule ontwerp is ontwikkeld door Pervatech. Dit ontwerp is verwerkt in het procesontwerp en de simulaties. Op basis hiervan zal ook de business case geüpdatet worden.
- De technische roadmap is opgesteld (zie ook resultaat 4).

Resultaatbeschrijving

HybSi membranen waren in voorafgaande jaren al ontwikkeld en geoptimaliseerd voor TEG ontwatering. Afgelopen jaar zijn aanvullende experimenten gedaan waaruit bleek dat zuur en enkele andere verontreinigingen geen effect hebben op de prestatie en levensduur van de membranen. Zout daarentegen zorgt voor mindere prestatie, net zoals lage debieten door gebrek aan turbulentie en hieraan verwante concentratie polarisatie. Met de laatstgenoemde nieuwe experimentele resultaten is

het pervaporatie proces gemodelleerd door TNO en TechnipFMC. 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 wordt op basis van de nieuwste data geüpdatet. Uit de Roadmap (zie R4) kwam opnieuw naar voren dat pilot demonstratie nodig is voor het de-risken en verder brengen van de technologie. 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 nog steeds 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 nog niet volledig duidelijk was.

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 (20-30% 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 tot verhoging van de behandelingscapaciteit van TEG leiden.

Resultaat 2: Efficiënt hergebruik van zoutstromen op TRL5-6

Doel

- Vervanging warmte-intensieve processen door elektrisch aangedreven bipolaire membraan elektrodialyse (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 AMCIS er veelbelovend uit. Echter, zonder deze kosten kan het BPED economisch niet concurreren met het huidige proces.
- Ecologisch: Het ecologische potentieel na implementatie van de BPED technologie (inclusief voor- en nabehandeling) is gunstig. Redenen hiervoor zijn: geen afvoer van (afval)water en (afval)zout via het rioolstelsel naar de RWZI, geen grondwaterwinning en verminderd verbruik van loog en zwavelzuur door hergebruik van zout

Resultaatbeschrijving

De technische resultaten van de pilot test zijn beschreven in deliverable D2.4: Validated integrated prototype on location. Deze resultaten zijn gebruikt als basis

voor de Value Proposition zoals beschreven in Deliverable D2.5: Waardepropositie voor Carbogen AMCIS & BPED-technologie.

De waardepropositie toont aan dat BPED een veelbelovende technologie is met goede vooruitzichten voor de terugwinning en omzetting van zouten uit afvalwater. Rekening houdend met de afvalverwijderingskosten van afvalwater, ziet de businesscase voor Carbogen AMCIS er veelbelovend uit. Echter, zonder deze kosten kan het BPED-proces economisch niet concurreren met het huidige proces. Praktische implementatie van BPED vereist een relatief uitgebreide voorbehandeling van de afvalwaterstroom om de concentratie van organische stoffen (vetzuren) te beperken tot < 200 (mg/L) en scaling zouten (Ca/Mg) onder 1 (mg/L, ppm). Daarnaast is een nabehandeling nodig om de concentraties van het geproduceerde zuur en base te verhogen om hun hergebruik in het hoofdproces van Carbogen AMCIS te vergemakkelijken (waar momenteel 96 wt% zwavelzuur en 50 wt% natriumhydroxide worden gebruikt).

Knelpunten

Carbogen vindt de voorgestelde voorbehandeling moeilijk te implementeren in de praktijk. Ze is op zoek naar alternatieven hiervoor.

Perspectief voor toepassing

Het BPED-proces voldoet aan de verwachtingen van Carbogen. De Value Proposition ziet er goed voor de (toekomstige) situatie dat de eisen voor de afvalwaterbehandeling worden aangescherpt. De voorbehandeling verdient echter aandacht omdat deze moeilijk implementeerbaar wordt geacht.

Het perspectief voor BPED is goed omdat het een generieke technologie is die ook voor velerlei andere applicaties geschikt is waarbij (afval)zout ontstaat door het vermengen van zure en basische stromen. Naast vermindering van de lozing van zout, wordt er ook bespaard op het gebruik van zuur en base, door het creëren van een circulair 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 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 drogen: Diverse modellen in COMSOL (fundamenteel gedrag) en Flow sheeters (proces modellering) zijn ontwikkeld en gevalideerd door middel van laboratorium experimenten, pilot experimenten en field tests.
- Go 2 om experimenten uit te voeren op operationele faciliteiten voor vlakpapier in activiteit 3.3;
- Verbeterde/nieuwe processen:
 - Ontwateren: De volgende generatie smooth molded fiber-technologie wordt ontwikkeld voor een verdubbeling van het droge stof percentage.

- Drogen: Een concept Airless droger (Concept 5) voor rough molded fiber molded is ontworpen. Airless drogen is aannemelijk gemaakt voor vlakpapier

Resultaatbeschrijving

Ontwateren is in molded fiber onderdeel van continue ontwikkelingen van nieuwe machines met als verwachting dat vergelijkbare droge stof % als in de vlakpapier kunnen worden bereikt. Voor verdere verbeteringen zijn doorbraken nodig zoals ultrasoon, elektro-ontwateren, etcetera. 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 bovenomschreven dan grootschalig te investeren in opwek, opslag en distributie. Het grootste Transitie knelpunt 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 WP3 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 papier-fabrieken 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 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).

Resultaatbeschrijving

- Activiteit 1: Modeling strategic decision making
 - In jaar 2 is de post-doc die initieel het werk voor dit resultaat zou uitvoeren gestopt met de functie. In rapportage periode 3 is er een nieuwe post-doc gevonden om de werkzaamheden door te zetten. Een literatuur studie is

uitgevoerd naar decision making modellen en de eindgebruikers in het consortium zijn geïnterviewd.

- Activiteit 2: Modeling uncertainty
 - Deze activiteit is in jaar 2 al afgerond. In jaar 3 hebben er geen nieuwe werkzaamheden plaatsgevonden.
- Activiteit 3: Impact analysis
 - In jaar 2 is er een nieuwe database doorgevoerd in het model. In jaar 3 is er nog een additionele emissie database aan toegevoegd. Daarnaast is dit jaar de database ook getest op foutjes en die eruit gehaald.
 - In jaar 2 waren al de eerste kwantitatieve inputs verzameld en doorgevoerd in het model. Hier zijn we in jaar 3 mee verder gegaan. De input is getest door het model te runnen, resultaten te analyseren, foutjes eruit te halen en opnieuw te runnen.
 - 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. Dit rapport zal nog worden opgemaakt en worden gedeeld met een bredere groep stakeholders buiten het project. Ook vormt het rapport 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. Doel was om het rapport op te leveren in Februari 2024. 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, bevat model heeft alleen de olie- en gassector, waarbij energiegebruik voor de hele sector te zien is. Er moeten dus aannames gemaakt worden welk deel van deze sector het oude productieproces distillatie aangaat (dat vervangen zal worden door pervaporatie).

Perspectief voor toepassing

Het investeringsmodel ontwikkeld in activiteit 2 geeft bedrijven de mogelijkheid om onderbouwd (onzekerheid meegenomen) een investering keuze 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 kosten-efficiëntie.

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

- Twee publicaties in Proceedings Eurodrying2023;
- Presentaties bij de Technologiekring Paper & Board en SKIW-symposium;
- Poster presentatie bij een Membrane Desalination conferentie (MEMDES2023);
- Twee presentatie ISPT-SFC clusterdag (TNO & WUR).

Resultaatbeschrijving

Alle consortium partners zijn aangesloten bij een of meer relevante werkgroepen en programma's, zoals het NWGD, ISPT programma Drogen en ontwateren en NL-GUTS. Door het consortium 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.

In de rapportageperiode is de samenwerking met hogescholen versterkt middels stageplekken voor studenten. Verschillende HBO studenten hebben stage gelopen bij partners WaterFuture, Carbogen en Huhtamaki. Een overzicht van de studenten en de studentenopdrachten staat in Tabel 2.

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. De recente projectresultaten voor het airless drogen van vlakpapier in het SOLIDARITY project zijn in de laatste twee Technologiekring bijeenkomsten in november 2023 (modellering) en juni 2024 (ESKA metingen) gepresenteerd.

Disseminatie wordt beschreven in Hoofdstuk 7.

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

Knelpunten

De nieuwsbrieven (M18 & M30) zijn vertraagd. Na de F2F meeting in september wordt weer een nieuwsbrief uitgebracht. De tweede workshop (D5.2) is vanwege de verlening van het project tot 1 juli 2025 verplaatst naar jaar 4.

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 nog geen besluit genomen of we hiermee doorgaan. Aan een tweede publicatie met betrekking tot de resultaten van Resultaat 1 wordt door TNO gewerkt. De verwachting is dat deze de tweede helft van 2024 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 gassector 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 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	NL: 190 kton CO ₂ /jaar	Huidige toepassingen van (BP)ED zijn terugwinning van kostbare elektrolyten of zuren uit

Use case/ toepassing	Sleuteltechnologie	Potentiële CO ₂ emissie reductie	Herhaalbaarheid
	watersplitsing voor de omzetting van een zout in zijn overeenkomstige zuur en base.		metallurgische spoelbaden, productie van zuur en basen uit pekkel en demineralisatie van zuivelproducten.
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

Er is tijdens rapportageperiode 3 geen spin-off binnen of buiten de sector gerealiseerd.

7 Disseminatie

In rapportage periode 3 zijn op verschillende gelegenheden de verkregen resultaten en kennis gedeeld:

- 2 publicaties in Proceedings Eurodrying, Lodz, Polen, 4-7 juli 2023:
 - Modelling of the papermaking process under air-less drying conditions – W. de Vries, J. Jongerius, M. van der Pal;
 - Experimental setup for measuring drying of molded fiber under near airless conditions – M. van der Pal, S. Smeding, A. Wemmers.
- Presentatie bij SKIW-symposium te Zutphen, 1 november 2023;
- Presentatie Technologiekring Paper & Board, 22 november 2023;
- Poster: Evaluation for the sustainable recovery of Na₂SO₄ from industrial wastewater streams using electrodialysis with bipolar membranes (EDBM) , 6th International Conference on Desalination using Membrane Technology, in Sitges (Spain), 19-22 November 2023;
- Twee presentaties (TNO & WUR) SFC-cluster day: Knowledge Institute pitches, ISPT (Amersfoort), 7 maart 2024;
- Presentatie Technologiekring Paper & Board, 26 juni 2024;
- [LinkedIn](#) posts (54 followers)
- Twee abstracts voor EuroMembrane 2024, Prague (Czech Republic), september 8-12, 2024:
 - 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);
 - 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).

8 Handtekening

S. van Loo
Research Manager

Y.C. van Delft
Project manager (auteur)