



Rijksdienst voor Ondernemend  
Nederland

# Voortgangsrapportage 2024

## SFEER



*Slimme folies en circulaire ramen voor energie  
efficiënte gebouwrenovaties*

*Projectnummer: MOOI322002*

*Publicatiedatum: 28 januari 2025*

*Uitgevende partner: ClimAd Technology B.V.*

*Auteur: Stijn Kragt*

*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 2023.*

## **Uitgangspunten en doelstellingen van het project**

De bouwsector is verantwoordelijk voor ongeveer een derde van het totale energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-uitstoot in Nederland. Alleen al de Nederlandse particuliere huishoudens waren in 2020 verantwoordelijk voor ruim 17 Mton CO<sub>2</sub>-uitstoot. Voor gebouwen zijn de ramen een van de meest kwetsbare onderdelen met betrekking tot energieverlies. De huidige ramen in gevels in Nederland bestaan voornamelijk uit laagwaardige systemen welke niet meer voldoen aan de energieprestatienormen, waardoor een groot deel van het huidig geïmplementeerde glas van gebouwen aan vervanging toe is. Om het renovatieproces te versnellen en om tegelijkertijd de milieu-impact van renovatie te verminderen, moeten nieuwe circulaire raamproducten worden ontwikkeld.

Binnen het SFEER project ontwikkelen we een circulair raamrenovatieconcept. We ontwikkelen een proces om oud glas te hergebruiken in nieuwe ramen, en ontwikkelen nieuwe slimme raamproducten om ramen te renoveren en te upgraden voor optimale energie-efficiëntie en comfort. We ontwikkelen een innovatief thermochroom raam en twee typen slimme retrofit raamfolies. Deze raamproducten zijn in staat om de hoeveelheid binnenkomende zonnewarmte door ramen autonoom te reguleren afhankelijk van de zonlichtintensiteit of buitentemperatuur. Zo weren ze meer zonnewarmte in de zomer om energie te besparen op koeling, terwijl ze in de winter de welkome zonnewarmte doorlaten. Het renovatieconcept kan leiden tot een jaarlijkse energiebesparing van >30% en een besparing van CO<sub>2</sub> uitstoot van 5,8 Mton per jaar in de Nederlandse gebouwde omgeving.

Het SFEER project levert de volgende beoogde resultaten op:

- 1) Een proces om bestaande ramen op een efficiënte manier te demonteren, de-assembleren, het glasoppervlak te reinigen, te karakteriseren en te voorzien van isolatiecoatings, om hergebruik van glasplaten mogelijk te maken;
- 2) Een nieuwe thermochrome PVB-folie voor het lamineren van hergebruikt glas om veiligheidsglas te maken, inclusief circulair ontwerp voor recycling en hergebruik van het functionele materiaal;
- 3) Nieuwe fotochrome en thermochrome retrofit raamfolies, inclusief circulair ontwerp voor recycling en hergebruik van het functionele materiaal.

Alle producten die binnen SFEER worden ontwikkeld, gaan uit van gevestigde technologieën die zich ten minste op laboratoriumschaal hebben bewezen en die nu klaar zijn voor opschaling en optimalisatie. Ze zullen nu worden doorontwikkeld naar pilotschaal met demonstratietesten in een realistische omgeving.

Het project loopt van 1 april 2023 tot 31 maart 2027 en wordt uitgevoerd door ClimAd Technology, TNO, Zuyd Hogeschool, TU Eindhoven, Hemubo, GSF Glasgroep, OMT Solutions, Timmermans Hardglas, Sekisui Europe, Ecomatters, Vlakglas Recycling Nederland, en de Alliantie. De penvoerder is ClimAd Technology.

## Projectvoortgang

Om bestaande ramen op een efficiënte manier uit te renoveren gebouwen terug te winnen en geschikt te maken voor het aanbrengen van isolatiecoatings is er in dit project een kosten- en energie-efficiënt hergebruik proces ontwikkeld. De grote variëteit aan bestaand glas in huidige gebouwen maakt het essentieel om systematisch verschillende type glas van verschillende locaties te analyseren en specificaties, defecten en degradatie te documenteren. Hiermee leggen we de meest cruciale parameters die invloed hebben op degradatie en herbruikbaarheid bloot. We hebben een systematische aanpak opgesteld om bestaande ramen te analyseren, documenteren en klaar te maken voor verdere behandeling. We hebben protocollen opgesteld om gebruikt glas te categoriseren en afhankelijk van de defecten schoon te maken en voor te behandelen om hergebruik van glas te maximaliseren. We hebben deze klaargemaakte glasplaten voorzien van nieuwe isolerende coatings. De prestaties van deze low-e coatings op hergebruikt glas zijn hetzelfde als die van low-e coatings op nieuw glas. Door deze hergebruikte beglazing te integreren in een dubbele ruit samen met een hergebruikte tegenruit, moet het dus mogelijk om 100% circulair HR++ beglazing te produceren. Dergelijke circulaire ruiten gaan we in het vervolg van dit project produceren en testen op een pilotlocatie.

Naast het upgraden van gebruikte glasplaten met isolatiecoatings, ontwikkelen we ook een innovatieve thermochrome PVB-folie om te lamineren tussen hergebruikt glas. Op deze manier wordt circulair veiligheidsglas gecreëerd die ook nog eens in staat is de toetreding van zonnewarmte te reguleren op basis van de buitentemperatuur. We hebben de kwaliteit van het functionele thermochrome materiaal wat in de nanocomposiet film verwerkt zit geoptimaliseerd om de kwaliteit en functionaliteit van het slimme glas laminaat te verbeteren. Zo is de kleur van de thermochrome folie kleurneutraler gemaakt en zijn deze op 60 x 90 cm<sup>2</sup> tussen glas gelamineerd. Er wordt momenteel gewerkt aan het optimaliseren en opschalen van het productieproces van de thermochrome nanocomposiet folies welke gebruikt kunnen worden in slim circulair veiligheidsglas. Deze nieuwe slimme ramen zullen gefabriceerd worden met hergebruikt glas en getest in een pilot gebouw aan het eind van het project.

Binnen het renovatieconcept van het SFEER project is het ook mogelijk om bestaand glas te renoveren zonder het uit een gebouw te halen. Hiertoe ontwikkelen we twee type slimme retrofit folies, welke simpelweg op locatie aangebracht kunnen worden. Het gaat hierbij om een fotochrome en een thermochrome retrofit folie. De fotochrome retrofit folie reguleert de mate van daglicht- en zonnewarmtetoetreding op basis van de zonlichtintensiteit. De thermochrome folie reguleert de mate van zonnewarmtetoetreding op basis van de buitentemperatuur zonder daarbij de zichtbare tint te veranderen. Voor beide slimme retrofit folies zijn kwaliteitseisen en -testen vastgesteld waaraan de folies dienen te voldoen.

Omtrent de fotochrome folie is het tot dusver gelukt om een prototype te ontwikkelen die bij toenemende zonintensiteit de zonnewarmte wering verhoogd van 13 naar 46%, terwijl de folie verduisterd van 85 naar 36% zichtbaar licht transmissie in combinatie met enkel glas. Hiermee voldoet de folie aan de gestelde optische functionaliteitseisen. Deze folie hebben we ook middels een roll-to-roll coating proces weten te produceren wat het opschalen van deze technologie mogelijk maakt. We hebben deze folie ook getest op het schakelgedrag en de levensduur met versnelde levensduur testen, alsook wanneer deze folies worden aangebracht op bestaand glas. Daarnaast hebben we de folie geïntegreerd in de spouw van dubbel glas als

alternatieve toepassing. Voor de retrofit toepassing is er ook geëxperimenteerd met het aanbrengen van verschillende topcoatings om het materiaal te beschermen tegen weersinvloeden en krassen door bijvoorbeeld schoonmaken. In de komende periode zal het prototype verder doorontwikkeld worden om de levensduur in een buitentoepassing te verlengen en te zorgen dat deze minstens binnen enkele uren terugschakelt van de getinte naar de transparante staat, zodat deze de afnemende zonintensiteit aan het eind van een dag kan volgen. Wanneer dit lukt, zal ook dit product gevalideerd worden middels een buitentoepassing op een pilotlocatie.

In de ontwikkeling van de thermochrome folie is er een materiaal ontwikkeld dat in staat is meer zonnewarmte te reflecteren naarmate de temperatuur boven de 20 °C stijgt. De eerste versie van dit materiaal toonde echter slechts 1% verschil in zonlichttransmissie tussen de koude en warme staat. Binnen dit project is dit verhoogd naar 5% door het materiaal een breder deel van het zonnespectrum te laten reflecteren met een hogere intensiteit bij toenemende temperatuur. Om energetische impact te kunnen maken bij toepassing in de gebouwde omgeving, zullen zal dit verschil in zonnewarmtewering verder geoptimaliseerd worden.

Een belangrijke indicator van de mogelijke impact van de raamproducten binnen het circulaire renovatieconcept van het SFEER project is de totale CO<sub>2</sub>-voetafdruk. Om dit te kunnen bepalen zijn de systeemgrenzen van de producten in kaart gebracht. Dit omhelst de gehele productcyclus van grondstoffen, productie, distributie, installatie, levensduur, en de mogelijkheid tot hergebruik van de product componenten. Deze facetten zijn voor zover als mogelijk ingevuld en de eerste resultaten van deze zogenaamde LCA-studie zijn gerapporteerd. Aannames die hierin vooralsnog zijn gemaakt, zullen verder worden ingevuld. Ook zijn er al bepaald elementen naar voren gekomen die de CO<sub>2</sub>-voetafdruk van de circulaire raamrenovatie concepten van het SFEER project kunnen terugdringen, zoals de ruwe materialen die gebruikt worden en de wijze van transport daarvan. Deze facetten worden meegenomen in de verdere productontwikkeling. De techno-economische haalbaarheid van de verschillende concepten zal in het vervolg van dit project ook verder worden uitgediept.

Resultaten uit het SFEER project zijn gepresenteerd tijdens het NWO-NERA Energy Symposium 2024, alsook in een georganiseerde workshop rondom het thema 'circular energy efficient windows' tijdens het evenement Nanotechnology Crossing Borders met 150 deelnemers. Verschillende demonstraties van de circulaire raamrenovatieconcepten binnen SFEER zijn tentoongesteld tijdens GlassTec 2024. Verder is er 1 wetenschappelijke publicatie voortgekomen uit het SFEER project.

### **Openbare publicaties**

- Glas in Beeld, [SFEER ontwikkelt slimme folies en circulaire ramen](#), 15 mei 2023
- Dinç, R. U., Lub, J., Kragt, A. J. J., & Schenning, A. P. H. J. (2024). An l-isosorbide-based reactive chiral dopant with high helical twisting power for cholesteric liquid crystal polymers reflecting left-handed circularly polarized light. *Organic Chemistry Frontiers*, 11(24), 7053-7058. <https://doi.org/10.1039/d4qo01672f>

### **Contactpersoon**

Stijn Kragt

[stijnkragt@climadtechnology.com](mailto:stijnkragt@climadtechnology.com)