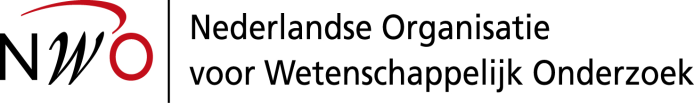
**Bijlage – Overzicht gehonoreerde onderzoeksprojecten Materials for Sustainability**

De vijf toegekende publiek-private onderzoeksprojecten zijn:

**Zonnecel in plaats van autolak**  
*Laurens Siebbeles (TUD),* *Tom Gregorkiewicz (UvA), Peter Schall (UvA)  
Partners: Technische Universiteit Delft, Toyota Motor Europe, Universiteit van Amsterdam*

Binnen dit project ontwikkelen de partners nieuwe materialen en ontwerpen voor superdunne, lichte, buigbare, en goedkoop te produceren hoogrendementzonnecellen. Deze zonnecellen zijn bedoeld voor toepassing op oppervlakken waar niet veel plaats is, die niet recht zijn, of die flexibel moeten kunnen bewegen. Denk bijvoorbeeld aan de buitenkant van een elektrische auto. De onderzoekers passen onlangs ontdekte veelbelovende materialen zodanig aan dat deze zoveel mogelijk kleuren van het zonlicht invangen en efficiënt omzetten in elektriciteit. Ze zullen laten zien hoe je van deze materialen een goed werkende, dunne, flexibele zonnecel kunt maken met een zo hoog mogelijke energieopbrengst.

**Veilige, krachtige, goedkope batterijen** *Marnix Wagemaker (TUD), Wolter Jager (TUD), Eric Kelder (TUD)  
Partners: Shell, Technische Universiteit Delft*

In huidige lithiumbatterijen wordt de elektrische stroom geleid door vloeistoffen. Deze vloeistoffen zijn giftig en ontvlambaar, wat tot veiligheidsrisico’s leidt. Door de vloeistof te vervangen door een vaste stof zijn veel problemen te voorkomen. Dit project onderzoekt nieuwe lithium-zwavelbatterijen, die volledig bestaan uit vaste stoffen. Met een combinatie van twee recent ontwikkelde technieken brengen de onderzoekers het transport van de lithiumionen in de batterij tot op atoomniveau in beeld. Hiermee ontwikkelen ze nieuwe strategieën om deze batterijen goed te laten werken. Ze richten zich op twee combinaties van materialen die veelbelovend lijken om veilige en goedkope batterijen van te maken, die grote hoeveelheden energie kunnen opslaan en lang meegaan.

**Moleculen met X-factor voor batterijen**

*Süleyman Er (DIFFER)  
Partners: DIFFER, Green Energy Storage (Italië)*

Hernieuwbare energiebronnen zoals zon en wind zorgen voor een grillig aanbod van elektriciteit. Om vraag en aanbod op elkaar af te kunnen stemmen, zijn batterijen nodig die de elektrische energie op een efficiënte manier opslaan en weer vrijlaten. Hiervoor optimaliseert dit project beschikbare, niet-giftige en in water oplosbare moleculen, die worden gebruikt in verschillende dagelijkse producten zoals voedsel en medicijnen. De onderzoekers selecteren met behulp van robuuste en snelle computationele methoden eerst uit duizenden kandidaten de meest geschikte moleculen om dit soort batterijen van te maken. Vervolgens testen ze deze in het laboratorium.

**Zout voor zomerse warmte in de winter**   
*Henk Huinink (TU/e), Olaf Adan (TU/e), David Smeulder (TU/e), Prof. dr. Elias Vlieg (RU)  
Partners: CRUX Engineering, De Beijer RTB, Radboud Universiteit Nijmegen, TNO, Technische Universiteit Eindhoven*

Bijna zeventig procent van alle in Europa geconsumeerde energie in de gebouwde omgeving wordt gebruikt voor verwarming, koeling en warm tapwater. Er valt veel te winnen als we warmteoverschotten gedurende het jaar langdurig kunnen opslaan om in tijden van schaarste te kunnen gebruiken. Dit project kijkt hiervoor naar zogeheten zouthydraten. Deze stoffen kunnen warmte opslaan door de watermoleculen die ze bevatten los te laten. Zodra de droge zouten weer in contact komen met water, komt de opgeslagen warmte vrij. De onderzoekers willen de capaciteit en stabiliteit van de zouten verbeteren. In hun project onderzoeken ze ook hoe je deze stoffen op industriële schaal kunt maken, en hoe je ze kunt toepassen in een gebouw of in de ondergrond.

**Slim waterstof samendrukken**  
*Baira Donoeva (UU), Bastian Mei (UT)  
Partners: HyET Hydrogen, Universiteit Twente, Universiteit Utrecht*

Waterstof is een gas dat efficiënt energie kan opslaan, bijvoorbeeld voor gebruik in waterstofauto’s. Waterstofgas neemt echter veel plaats in en wordt daarom onder hoge druk getankt in waterstofauto’s. Binnen dit project gaan wetenschappers een recent ontwikkelde compressiemethode verbeteren om waterstofgas samen te drukken en van onzuiverheden te ontdoen. Dit proces kan nu nog slecht omgaan met waterstofgas waar koolmonoxide in zit ­– iets wat veel voorkomt als waterstof wordt geproduceerd uit biomassa of uit ruwe aardolie. De onderzoekers kijken of ze de koolmonoxide kunnen wegvangen met slimme voorbehandelingen voordat het gas de compressor in gaat. Ook ontwikkelen ze nieuwe katalysatoren die de benodigde reacties van het waterstofgas in de compressor kunnen versnellen, zonder last te hebben van de koolmonoxide.

Tien toegekende fundamentele onderzoeksprojecten:

**Dubbele hoeveelheid stroom uit zonnecel**

*Bruno Ehrler (AMOLF), Han Zuilhof (WUR), Laurens Siebbeles (TUD)*

*Partners: Surfix, Toyota Motor Europe, ECN, Wageningen University and Research, Technische Universiteit Delft*

Een consortium van onderzoekers van het AMOLF, de Technische Universiteit Delft en Wageningen Universiteit gaat werken aan een nieuw type zonnecel, waarbij de stroomopbrengst per foton in principe verdubbeld kan worden. Het werkingsprincipe hiervan is de zogenaamde ‘singlet fission’, waarbij de energie van een energierijk molecuul verdeeld kan worden over twee moleculen. Efficiënte implementatie daarvan zal kunnen leiden tot een sterke vermindering van de kosten van zonnecellen, en daarmee tot een vergrote en versnelde invoering van duurzame energiebronnen.

**Dunne films voor slimme ramen**

*Bernard Dam (TUD), Arno Kentgens (RU)*

*Partners: Radboud Universiteit Nijmegen*

In dit project ontwikkelen de Technische Universiteit Delft en de Radboud Universiteit Nijmegen nieuwe dunne lagen, waarin waterstofionen vrij kunnen bewegen. Deze zogenaamde elektrolytlagen zijn essentieel voor de ontwikkeling van vastestofbatterijen, brandstofcellen en slimme ramen. Dit project richt zich op het onderzoeken van de nieuwe klasse der oxyhydrides. Het onderzoekt onder welke condities zuurstof en waterstof als aparte, negatief geladen ionen stabiel zijn binnen een verbinding, en hoe de mobiliteit van deze negatief geladen waterstofionen selectief bevorderd wordt.

**Recordsbrekende zonnecel door nieuwe kristalstructuur**

*Jos Haverkort (TU/e), Erik Bakkers (TU/e), Erik Garnett (AMOLF)*

*Partners: AMOLF*

Het doel van dit onderzoek is om een zonnecel te fabriceren van silicium-germanium met een nieuwe kristalstructuur. Met deze nieuwe hexagonale kristalstructuur verwachten de onderzoekers de oude efficiëntie records van bestaande siliciumzonnecellen te kunnen breken. Omdat dit materiaal een directe bandgap heeft, verwachten ze dat het zelfs mogelijk moet zijn om de Shockley Queisser limiet van 33.7 procent te gaan breken met een technologie die compatibel is met de bestaande siliciumtechnologie.

**Brandstof uit een broeikasgas**

*Jarl Ivar van der Vlugt (UvA), Joost Reek (UvA), Dennis Hetterscheid (UL), Stefiana Grecea (UvA)*

*Partners: Universiteit Leiden, ECN*

Koolstofdioxide is een ongewenst en nutteloos product in onze huidige maatschappij. De onderzoekers willen nieuwe katalytische materialen ontwikkelen die CO2 kunnen omzetten in vloeibare brandstoffen. Om deze omzetting en de benodigde materialen zo duurzaam mogelijk te maken, zal het team uit Amsterdam en Leiden goedkope metalen zoals ijzer gebruiken als katalysatoren en gebruik maken van zonlicht en elektriciteit die uit water kan worden gewonnen. Het uiteindelijke doel is een eerste prototype van een echt ‘toestel’ dat water en koolstofdioxide omzet in zuurstof en CO, een ideaal startmateriaal voor de synthese van hoogenergetische brandstoffen.

**Goedkopere en makkelijkere zonnecelmaterialen**

*Tom Savenije (TUD)*

*Partners: Solliance, EPFL zwitserland*

Metaal-halide perovskieten zijn interessante zonnecelmaterialen en kunnen op termijn traditionele siliciumzonnecellen vervangen. Voordelen zijn goedkope uitgangsmaterialen en makkelijke synthese. Om de efficiëntie te verbeteren moet meer inzicht komen in de mechanismes die leiden tot verliezen en tot degradatie door bijvoorbeeld licht of vocht. Deze verliesposten worden vaak veroorzaakt door zeer lage concentraties elektronische defecten. In dit project wordt een methode ontworpen om deze defecten zichtbaar te maken. Deze methode zal worden toegepast op perovskietlagen die gemaakt zijn door EPFL, Zwitserland en Solliance. Op deze manier kunnen de onderzoekers ophelderen welke chemische structuur en welke depositiemethode het meest geschikt is om de efficiëntie en stabiliteit te verbeteren.

**Hoger rendement met hete ladingsdragers**

*Maria Antonietta Loi (RUG)*

Ladingsdragers die in een zonnecel gegenereerd worden, verliezen een groot gedeelte van hun energie in de vorm van warmte. Dit beperkt de efficiëntie van deze cellen tot waardes lager dan 33 procent. In dit project bestuderen de onderzoekers een materiaal waarin de ladingsdragers hun energie langzaam verliezen, wat hen wellicht in staat stelt om deze hete ladingsdragers efficiënt te benutten. Het streven is het begrijpen van de herkomst van deze nuttige eigenschap en deze te gebruiken voor de optimalisatie van dunne lagen. Het uiteindelijke doel is om een zonnecel te maken die de huidige efficiëntielimiet doorbreekt door gebruik te maken van de hete ladingsdragers.

**Metazonnecellen met verbeterde functionaliteit**

*Albert Polman (AMOLF), Andrea Alù (Universiteit van Texas)*

*Partners: Universiteit van Texas, ECN (Petten), Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (Freiburg), University of New South Wales (Sydney) en California Institute of Technology (Pasadena)*

In dit project wordt een nieuwe methode ontwikkeld waarmee de absorptie en conversie van zonlicht in zonnecellen kan worden verhoogd met behulp van metagratings: oppervlakken en grensvlakken die zijn gestructureerd op de nanoschaal. De metagratings, die zijn opgebouwd uit een periodiek rooster van lichtverstrooiers met een speciaal ontworpen vorm, maken het mogelijk lichtkleuren in de zonnecel over een welbepaalde hoekverdeling te verstrooien. Door de metagratings in zonnecellen te integreren, maken de onderzoekers zonnecellen met verhoogd rendement, ultradunne flexibele zonnefolies, en gekleurde en transparante zonnepanelen voor toepassingen in de gebouwde omgeving.

**Beter begrip van grensvlakken tijdens fotoelektrochemie**

*Frieder Mugele (UT), Guido Mul (UT), Igor Siretanu (UT), Bastian Mei (UT)*

Fotoelektrochemie is een veelbelovende technologie voor het vastleggen van zonne-energie in chemische bindingen. Onderzoekers aan de Universiteit Twente gaan door middel van geavanceerde microscopische technieken het grensvlak van fotoelektrodes op atomaire schaal bestuderen, om te achterhalen wat de lading, samenstelling en structuur van de elektrode is tijdens de vorming van waterstof of zuurstof uit water. Deze kennis kan worden toegepast voor verbetering van de activiteit van fotoelektrochemische cellen.

**CO2 vangen in formaat**

*Ludo Juurlink (UL), Andrei Kirilyuk (RU), Joost Bakker (RU), Marc Koper (UL), Jörg Meyer (UL), Irene Groot (UL)*

*Partners: VSParticle BV, Radboud Universiteit Nijmegen*

Het broeikasgas CO2 kan met H2 en een koperkatalysator in de brandstof methanol worden omgezet. Helaas is zelfs van de eerste stap in deze reactie, de vorming van geadsorbeerd formaat (HCOO), nog vrijwel niets bekend. Een unieke samenwerking van theoretici en experimentatoren van de Universiteit Leiden en de Radboud Universiteit Nijmegen, bijgestaan door het Delftse bedrijf VSParticle, ontrafelt deze cruciale stap.

**Nieuwe materialen voor veilige batterijen die lang meegaan**

*Petra de Jongh (UU), Moniek Tromp (UvA), Peter Ngene (UU)*

*Partners: Universiteit van Amsterdam*

Dit project ontwikkelt nieuwe vaste stof elektroliet materialen om te komen tot een nieuwe generatie lithium-ion batterijen die niet alleen meer energie kunnen opslaan, maar ook veiliger zijn en langer meegaan.