

A large, glowing lightbulb is the central focus of the image. Inside the bulb, a miniature landscape is visible, featuring several white wind turbines with red-tipped blades and an industrial facility with various structures and pipes. The landscape is set on a green grassy hill overlooking a body of water. The lightbulb's base is a standard screw-in base with a metallic finish.

# POREUS CARBON BLACK

## Public report

Project number: TESN120026

Version: 3.0

Status: Final

Date: 2022.01.25

## Content

1.	Inleiding	2
a.	Introductie	2
b.	Doelstelling	3
2.	Resultaten/inhoudelijk	4
a.	Resultaten	4
b.	Opschaling en vervolgstappen	5
c.	CO <sub>2</sub> besparing	6
d.	Financiële of economische kansen	7
e.	Niet-technologische factoren	8
f.	De inbedding van de technologie in de energiewaardeketen	9
g.	Kostenschatting	9
3.	Conclusie	10
a.	Project nr. 1	10
i.	Doelstellingen	10
ii.	Projectaanpak en methodologie	10
iii.	Deliverable	10
b.	Project nr. 2	11
i.	Doelstellingen	11
ii.	Projectaanpak en methodologie	11
iii.	Deliverable	11
4.	Problemen die zich tijdens het project hebben voorgedaan	12
5.	Toelichting op wijzigingen ten opzichte van het projectplan	13
6.	Toelichting wijze van kennisverspreiding, PR project en verdere PR-mogelijkheden	15
7.	Bibliografie	16

# 1. Inleiding

## a. Introductie

Op Europees niveau bedraagt de afvalstroom van autobanden jaarlijks meer dan een miljoen ton. Onvoldoende recyclingcapaciteit in Frankrijk en het VK veroorzaakt de export van grote hoeveelheden (meer dan 50%) afgedankte autobanden en dus ongewenste transporten en emissies. De grote uitdaging die in dit project wordt aangegaan betreft het vinden van een goede, hoogwaardige recyclingtechnologie voor autobanden aan het einde van hun levensduur, en meer in het bijzonder het materiaalonderdeel styreen butadien rubber (SBR). Gemiddeld bevat een autoband 30% metaal en 70% SBR. De EU heeft in haar richtlijn hernieuwbare energie de wens uitgesproken om deze afvalstroom te recyclen tot waardevolle nieuwe grondstoffen.

Momenteel zijn er onvoldoende recyclingtoepassingen voor SBR-afval. Slechts 3% van dit afval kan direct worden hergebruikt in nieuwe autobanden. Zo'n 55-60% wordt verbrand voor energierugwinning, zoals bij industriële verwarmingsprocessen (cementindustrie, energieopwekking, etc.). Verbranding leidt echter tot CO<sub>2</sub>-productie (> 3 kg CO<sub>2</sub> / kg SBR) en schadelijke gasemissies vanwege het zwavel in de SBR. De overige 40% wordt omgezet in rubbergranulaat en hergebruikt voor isolatiematerialen, rubbertegels, kunstgras, maneges etc. Deze toepassingen hebben een beperkte levensduur en er zijn verdenkingen van negatieve gezondheidseffecten; daardoor staan ze onder toenemende publieke druk. Elke recyclingstap heeft momenteel de neiging om de rubberkwaliteit te verminderen (downgraden). Deze aanpak leidt tot een ophoping van SBR-granulaat wat uiteindelijk alsnog verbrand moet worden. Het 'downgraden' van SBR is zowel niet circulair als ook niet lucratief. De kosten om SBR-granulaat geschikt te maken voor (laagwaardig) hergebruik zijn al relatief hoog. Er is een nieuwe, integrale, innovatieve technologie nodig om afvalbandrubber om te zetten en te upgraden naar waardevolle, breed toepasbare grondstoffen die economisch levensvatbaar zijn en hoogwaardig hergebruikt kunnen worden. Het innovatieve proces dat wordt beoogd is zichtbaar in Tabel 1.

**TABEL 1. INNOVATIE PROCES OM HET SBR IN AUTOBANDEN TE GEBRUIKEN IN HOOGWAARDIGE PRODUCTEN. DE STUDIE RICHT ZICH OP STAP 3 (DIKGEDRUKT).**

Omschrijving	Vorbereiding	(Gewenste) Resultaat
1 Pyrolyseren van SBR	Autobanden verzamelen en versnipperen	Carbon char, gas en olie
2 Filteren en zuiveren carbon char	Stap 1	Gezuiverde elektrodes bestaande uit carbon black
<b>3 Opwaarderen carbon black</b>	<b>Stap 2</b>	<b>Poreus carbon black</b>
4 Opwaarderen overig materiaal	Stap 1	Bruikbaar gas en olie

POR heeft in samenwerking met andere partijen de ontwikkeling van het innovatieve recycling proces reeds in gang gezet. Het pyrolyseren van SBR (stap 1, Tabel 1) is al uitgebreid getest en daarmee in vergevorderde fase. Gebleken is dat carbon char door middel van pyrolyse goed en efficiënt uit SBR gescheiden kan worden. Ook de tweede stap in het proces waarbij carbon char wordt verwerkt tot gezuiverd carbon black is reeds mogelijk. Het project richt zich dan ook op de derde stap, waarbij een nieuwe technologie nodig is om gezuiverd carbon black op te werken naar poreus carbon black.

Specifiek wordt hiervoor een conversietechnologie op haalbaarheid onderzocht die het gezuiverde carbon black (verkoold rubber) uit het pyrolyseproces opwaardeert naar een hoogwaardig

koolstofmateriaal (poreus carbon black) voor gebruik in high-end markten zoals energieopslag, waterzuivering en ontzilting. De beoogde conversietechnologie maakt gebruik van gesmolten kaliumzout dat wordt toegevoegd aan gezuiverd carbon black. Dit in combinatie met elektrificatie moet ervoor zorgen dat gezuiverd carbon black uiteenvalt waardoor het oppervlak vergroot wordt. Het gevormde poreuze carbon black heeft idealiter een zeer hoog intern oppervlak zodat het geschikt is voor verwerking in hoogwaardige producten. De BU heeft op laboratoriumschaal eerste tests uitgevoerd om te achterhalen of gezuiverd carbon black omgezet kan worden naar poreus carbon black. Hieruit bleek dat dit bij kleine hoeveelheden mogelijk is (TRL 3) maar dat de efficiëntie van de innovatieve technologie nog beperkt is.

De beoogde technologie zal de opwaardering van rubber band afval winstgevender en dus aantrekkelijker maken. De interesse voor poreuze carbon black toepassingen is naar verwachting groot, gezien de toenemende problemen met waterschaarste en de behoefte aan energieopslag (batterijen).

POR wil in samenwerking met de BU onderzoeken of het mogelijk is de innovatieve technologie ook op industrieel niveau efficiënt en winstgevend in te zetten. Bij de opschaling van laboratorium naar industrieel niveau komen tal van onzekerheden (efficiëntie, veiligheid, kosten, e.d.) kijken waardoor een haalbaarheidsonderzoek noodzakelijk is.

## b. Doelstelling

Het doel van de haalbaarheidsstudie is om te achterhalen of de innovatieve conversietechnologie voor gezuiverd carbon black uiteindelijk op industriële schaal ingezet kan worden en of dit technisch en economisch haalbaar is. Als dit mogelijk is kan hoogwaardig poreus carbon black verkregen worden. Dit kan ingezet worden bij de energieopslag voor batterijen, waterzuivering en ontzilting. Het project dient om het potentieel van een vervolg pilot in kaart te brengen. Om vanaf de huidige staat van ontwikkeling tot een pilot onder reële omstandigheden te komen zullen eerst enkele haalbaarheids vragen beantwoord moeten worden.

## 2. Resultaten/inhoudelijk

### a. Resultaten

Om de testen te kunnen doen, zijn er elektrodes gemaakt van de “carbon black”. Hiermee zijn verschillende testen mee gedaan, om de beste compositie van de elektrodes te bepalen. Daarnaast is er ook gekeken naar twee manieren om de elektrodes te maken. De eerste manier is het direct gieten op koperfolie en de tweede manier is de poeder (“carbon black”) in staven persen. De tweede manier is de beste gebleken, hieruit is gebleken dat deze manier ervoor zorgde dat de elektrode minder vervuild is met koper en ook beter opschaalbaar is. Verder is er gekeken naar het inwickelen van de elektrodes met een membraan om zo te voorkomen dat er poeder in de elektrolyt komt. Het gebruik van het membraan was succesvol om de integriteit van de elektrode te behouden.

Een eerste set aan testen zijn gedaan om de performance van de elektrochemisch behandelde materialen te evalueren in de opslag van energie. Uit de tests is gebleken de specifieke capaciteit vergelijkbaar is met de bekendste soorten koolstof nanomaterialen zoals grafiet en koolstof nanotubes. Daarnaast nam de werking van de elektrode ook minimaal af, wat suggereert dat de elektrode een hoge porositeit en geleidbaarheid heeft.

Verder is er gekeken naar het opschalen van het proces. Hier zijn een aantal procesverbeteringen in doorgevoerd, betreffende het ontwerp van de reactor, Hier is rekening gehouden met het gebruik van grotere hoeveelheden koolstof dat gebruikt zal gaan worden.

Tot slot zijn er testen gedaan met de koolstof als anode for lithium-ion batterijen.

## b. Opschaling en vervolgstappen

Middels de haalbaarheidsstudie wil POR samen met de BU onderzoeken of het mogelijk en rendabel is de technologie tot op industriële schaal verder te ontwikkelen (fase 1, Tabel 5). Als dit haalbaar blijkt te zijn, dan wil POR door een onderzoeks- en ontwikkelingsproject de technologie opschalen en marktrijp maken.

In een eerste vervolgstap zal de reeds ontworpen reactor (WP 2b) gebouwd en getest worden die 200 kg gezuiverd carbon black in een dag kan verwerken (fase 2, Tabel 5). Tijdens de tests wordt gefocust op de efficiëntie van de omzetting naar poreus carbon black, de vorming en verwerking van restproducten, optimalisatie van operatie modus, veiligheidszaken en het vaststellen van een procedure. Op basis hiervan kan een reactor ontwikkeld worden die op industrieel niveau opereert. Uiteindelijk is het doel dat om en nabij de 10.000 kg gezuiverd carbon black per dag verwerkt kan gaan worden. Zodoende kan de volledige output (aan carbon char) van de pyrolyse reactor worden verwerkt. POR verwacht binnen 4 jaar na afronding van de haalbaarheidsstudie de technologie op de markt te brengen. Zodra de industriële reactor is ontwikkeld, wil POR deze ook op andere plaatsen in Europa bouwen (fase 4, Tabel 5).

**TABEL 2. PLANNING, OVERZICHT EN DOELEN ONTWIKKELINGSTRAJECT.**

Fase	Tijd	Onderzoek	Traject	Capaciteit	TRL
1	Mei 2020 - April 2021	Haalbaarheidsvragen beantwoorden, ontwerpen sub-industriële reactor	TSE Haalbaarheid	10 kg/dag	TRL 4
2	Mei 2021 - Dec 2022	Bouwen sub-industriële reactor, uitgebreid testen van technologie	O&O	200 kg/dag	TRL 7
3	Jan 2023 - Dec 2024	Ontwikkelen van grote reactor (voor operatie op industriële schaal)	O&O	5.000 - 10.000 kg/dag	TRL 9
4	Jan 2025	Uitbreiding technologie naar Europees niveau (bouwen plants)	Exploitatie	5.000 - 10.000 kg/plant/dag	TRL 9

### c. CO<sub>2</sub> besparing

Het voorgenomen project draagt potentieel bij aan duurzame ontwikkeling door de afvalstroom van autobanden op te waarderen tot winstgevende en verkoopbare producten die geschikt zijn voor een breder gebruik dan het uitgangsmateriaal, terwijl de CO<sub>2</sub>-uitstoot van SBR-verwerking aan het einde van de levensduur aanzienlijk wordt verminderd. Binnen het haalbaarheidsproject wordt weinig tot geen CO<sub>2</sub> bespaard, aangezien verreweg de meeste activiteiten gericht zijn op deskresearch.

Zoals gezegd is bij verbranding de uitstoot meer dan 3 ton CO<sub>2</sub> per ton verbrand SBR. Grofweg 60% van het SBR wordt in de huidige situatie verbrand, waardoor er 1,26 ton CO<sub>2</sub> per ton autobanden wordt uitgestoten. Voor iedere ton autobanden (70% SBR) die hoogwaardig kan worden gerecycled (en niet hoeft te worden verbrand) wordt er dus 1,26 ton aan CO<sub>2</sub> bespaard. Op basis van een eerste schatting denkt POR op termijn op jaarbasis gemiddeld 7500 ton autobanden te kunnen pyrolyseren (~22 ton per dag) en het gezuiverde carbon black (~45% = 10 ton per dag) vervolgens (indien haalbaar) op te werken tot poreus carbon black. Op jaarbasis levert dit een CO<sub>2</sub> besparing van grofweg 9450 ton CO<sub>2</sub>.



## d. Financiële of economische kansen

Plant One Rotterdam (POR) wil met de voorgestelde innovatie een markt introduceren voor gerecycled hoogwaardig black carbon. Poreus black carbon is in potentie geschikt voor gebruik in batterijen en waterzuiverings- en ontziltingsinstallaties. Uit een eerste onderzoek bleek dat poreus carbon black op grote schaal kan worden verkocht aan partijen die zich bezighouden met de zojuist genoemde toepassingen. De limitatie zal dus gelegen zijn in de hoeveelheid poreus carbon black die POR zou kunnen produceren. Bij marktintroductie kan POR gebruik maken van een groot netwerk aan industriële partners die zij de afgelopen jaren heeft verworven. De strategie bij markttoetreding is dat POR eerst een installatie op het eigen terrein ontwikkelt en daarna installaties gaat bouwen op terreinen van en in samenwerking met (internationale) partners. POR wil echter ook in dit project onderzoeken of het verstrekken van licenties een alternatieve mogelijkheid is die rendabel kan zijn.

De waarde van gerecycled poreus carbon black is sterk afhankelijk van de mate van porositeit. In het algemeen geldt dat hoe hoger de porositeit is, hoe waardevoller het carbon black zal zijn. Een tamelijk poreus eindproduct kan gebruikt worden voor grove zuivering van industriële stromen. Een sterk poreus eindproduct is veel waardevoller (33x meer waard) aangezien het gebruikt kan worden voor energieopslag in o.a. batterijen. Het is vooralsnog lastig in te schatten hoe de winstverwachting voor POR er uit gaat zien. Deze is namelijk sterk afhankelijk van de behaalde porositeit en de schaal waarop de technologie uiteindelijk toegepast zou kunnen worden. Daarnaast is het een belangrijk onderdeel van het haalbaarheidsonderzoek. Om toch een eerste inschatting te geven spreken we over een base case en een best case.

POR verwacht uiteindelijk een reactor te ontwikkelen die op industriële schaal minimaal 5 ton (base case) gezuiverd carbon black per dag kan verwerken tot 2,5 ton poreus carbon black. In het beste geval kunnen ze zelfs 10 ton (best case) verwerken. Wanneer men uitgaat van een downtime van 10%, betekent dit dat op jaarbasis gemiddeld 800 ton (base case) of 1600 ton (best case) poreus carbon black per installatie kan worden geproduceerd.

Voor zover bekend is er momenteel geen concurrent bezig met het opwerken van gepyrolyseerd carbon char uit autobanden tot poreus carbon black. Wel zijn diverse concurrenten bezig met het ontwikkelen van een pyrolyse proces voor o.a. SBR.



## e. Niet-technologische factoren

Niet-technische factoren zoals acceptatie, de relatieve voordelen ten opzichte van andere mogelijke opties voor het oplossen van een probleem en gebruikerswensen. Enkele niet-technische factoren waar tegenaan gelopen kan worden zijn, dat de energieopslag van een batterij niet meer kan concurreren met de kosten voor brandstoffen of een andere producent. Als een nieuwe effectievere manier wordt gevonden om batterijen te produceren. De investeerders wegvallen door omstandigheden.

Het project is zo opgesteld dat het inspeelt op de sociaaleconomische behoeftes van investeerders en de markt. Op de markt wordt ingespeeld doordat er rekening wordt gehouden met 3 punten; 1: Inspelen op een korter toekomstperspectief van kopers, 2: Het gebrek zien aan handelingsmogelijkheden, 3: Waarde toevoegen bij de klant [1].

Het speelt in op de markt doordat de productie uit fossiele brandstoffen langzamerhand wegvalt door schaarste en auto's op waterstofgas nog niet reëel zijn. Dit komt doordat de productie van groene waterstof nog niet gerealiseerd kan worden voor een goede marktprijs. Een positieve kant van de productie van poreus carbon black wat later wordt gebruikt in batterij is dat batterijen het keurmerk duurzaamheid kunnen hanteren. Het productieproces van deze batterijen zorgt namelijk voor een reductie van CO<sub>2</sub> uitstoot ten opzichte van de productie van huidige batterijen. Door zo'n keurmerk te plaatsen op het product kan je de attentie van de koper lokken, uit onderzoek is namelijk gebleken dat het plaatsen van een duurzaamheidskeurmerk op voedsel stijgt in de verkoop [2]. De kans dat dit ook zal gebeuren met andere producten is aanzienlijk groot. Met de eindelijke uitkomst van dit onderzoek kan dus op alle 3 eerder benoemde sociaaleconomische behoeftes worden ingespeeld. Dit geeft een beeld wat er wordt gedaan met niet-technologische factoren.

## f. De inbedding van de technologie in de energiewaardeketen

Op dit moment worden er vooral lithium batterijen gebruikt. Deze batterijen zijn echter niet geschikt voor gebruik bij hoge stroom. Dit komt doordat er bij deze hoge stroom polarisatie optreedt bij het opladen/ontladen van de batterij. Dit zorgt ervoor dat de batterij in werking zal afnemen. Bij elektrische of hybride voertuigen dient er een batterij gebruikt te worden die hoge spanning kan leveren, deze opereren onder hoge stroom condities. Hierdoor is het van belang om batterijen te ontwikkelen die gebruikt kunnen worden voor deze omstandigheden [3].

Het poreuze koolstof kan gebruikt worden in combinatie met andere actieve materialen( zoals transitie metalen, oxides, tin/tin oxide, silicium etc.) als anodes voor de lithium batterij. De theoretische specifieke capaciteit van enkel koolstof is lager, 372 mAh/g, ten opzichte van de actieve materialen. Maar wanneer deze gecombineerd worden, zijn er ook voordelen; doordat er gebruik wordt gemaakt van poreuze koolstof kunnen de elektronen zich makkelijk transporteren, dit heeft als gevolg dat er hoge elektrische geleidbaarheid behaald kan worden. Dit heeft als gevolg dat de batterij geschikt is voor het gebruik bij applicaties waar hoge stroom benodigd is [3].

Een van de batterijen die op dit moment al veel gebruikt wordt is de lithium-zwavel batterij, met poreuze koolstof. Het gebruik van poreuze koolstof zorgt er hier voornamelijk voor, met dank aan de structuur, dat er een zeer groot oppervlak is om de elektrochemische reacties plaats te laten vinden. De zogenaamde mesoporiën, faciliteren de diffusie van elektrolyt en het transport van de lithium ( $\text{Li}^+$ ) ionen. Tijdens het gebruik van de batterij wordt er lithium polysulfide ( $\text{Li}_2\text{S}_x$ ) gevormd, dit zorgt ervoor dat de batterij langzaam “leegloopt” en na verloop van tijd een mindere werking heeft. De poriën van het poreuze koolstof zorgen ervoor dat de gevormde lithium polysulfide ( $\text{Li}_2\text{S}_x$ ) geabsorbeerd wordt, hierdoor zal de batterij een langere levensduur hebben en optimaal gebruikt kunnen worden [4].

## g. Kostenschatting

Voor de vervolgstap, het realiseren van een reactor waar poreuze koolstof mee gemaakt kan worden, is er een kostenoverzicht gemaakt. Totale kostenoverzicht bevat Main Equipment, Plot, Utility, Utility Connections en Engineering. Uit een kostenoverzicht is er een schatting van €1,5-2 miljoen bepaald voor de realisatie van een reactor voor het produceren van poreuze koolstof.

## 3. Conclusie

Het uitgevoerde desk studie heeft geleid tot het definiëren van 2 vervolg projecten:

### a. Project nr. 1

**Ontwerp, bouw en exploitatie van een full-scale gesmolten zout reactor voor de omzetting van banden recycling afval om nanoporeuze koolstof voor supercondensatoren te produceren.**

#### i. Doelstellingen

Een reactor ontwerpen die voldoet aan de eisen om bandenafval op middelgrote en grote schaal om te zetten in nanoporeuze koolstof met behulp van het carbonisatie proces van gesmolten zouten.

Het definiëren van de parameters en factoren die van invloed zijn op het conversieproces om een reactor te bouwen die de opschaling kan zijn die de efficiëntie van het conversieproces op laboratoriumschaal behoudt.

#### ii. Projectaanpak en methodologie

Een van de grootste uitdagingen bij het ontwikkelen van nieuwe technologieën is het creëren van methodologieën en procedures waarmee processen kunnen worden geschaald vanuit onderzoeks- en ontwikkelingslaboratoria. Het activeringsproces van gesmolten zouten carbonisatie vereist de overweging van de belangrijkste factoren en de evaluatie van de oorzaken die in-situ poriën creatie genereren en parameters die de morfologie en grootte van het poreuze op koolstof gebaseerde materiaal regelen. Opschaling van nanoporeuze materialen omvat verschillende ontwerpmethoden waarmee een klein laboratoriumproces wordt uitgebreid tot een grootschalig proces. Het ontwerpen van een proefplan dat de zwarte koolstof kan omzetten in een op maat gemaakt materiaal in het laboratorium vereist dat dit proces vergelijkbare fysische en chemische eigenschappen behoudt van het materiaal dat op laboratoriumschaal is gemaakt, de reden waarom het opmerkelijk is om technische parameters in te stellen die het mogelijk maken om het volledige proces te repliceren, tijd te besparen en duurzaam en kosteneffectief dat kan worden toegepast als een productieklaar proces.

De huidige voorgestelde projectmethodologie is om de conversie reacties op te schalen rekening houdend met de variaties in reactiesnelheden van de bedrijfsschaal, deze variaties kunnen worden veroorzaakt door warmteoverdracht beperkingen, beperkingen voor massaoverdracht en retentietijd van toevoeging van een reactant en/of verwijdering van een product in een batch/semi-batchproces. Voor dit doel is het gebruik van modellerings- en computationele hulpmiddelen voor het ontwerpen van experimenten (DOE) en procesoptimalisatie nodig om semi-empirische modellen voor opschaling te bouwen. De bovengenoemde tools zijn ook geschikt voor het verzamelen en manipuleren van gegevens als gevolg van de operationele fase voor verdere optimalisatie van het proces naar complexere conversieprocessen.

#### iii. Deliverable

Een pilot full-scale gesmolten zout reactor ontwerp dat kan worden gebouwd onder het voorgestelde ontwerp dat kan voldoen aan de duurzaamheid en efficiëntie eisen.

## b. Project nr. 2

**Procesmodellering en levenscyclusanalyse van een full-scale gesmolten zout reactor voor de omzetting van banden recycling afval om nanoporeuze koolstof voor supercondensatoren te produceren.**

### i. Doelstellingen

Het ontwikkelen van een levenscyclusanalyse (LCA) om duurzame procesoptimalisaties te implementeren voor de productie van nanoporeuze koolstof uit banden recycling afval

Het analyseren en berekenen van de koolstofvoetafdruk van het ontwikkelde materiaal met behulp van het gesmolten zout reactie proces en het vergelijken met het nanoporeuze koolstofhoudende materiaal dat wordt geproduceerd via het pyrolyse proces

### ii. Projectaanpak en methodologie

De overgang naar een duurzamere materialen ontwikkelingsindustrie vereist dat de doelstellingen inzake koolstofneutraliteit en duurzame ontwikkeling worden afgestemd op de onderzoeksmethoden en methodologieën voor groenere technologieën uit de laboratoriumfase als hoeksteen om een haalbaar kosteneffectief en ecologisch duurzaam productieproces te bereiken.

Dit project omvat het gebruik van de beschikbare hulpmiddelen om de volledige levenscyclus van nanoporeus koolstof uit bandenafval te evalueren met behulp van gesmolten zout reacties en het analyseren van de impact ervan op het milieu.

Aan de andere kant, gezien het feit dat het VK en Europa zich inzetten voor de doelstellingen van klimaatverandering om tegen 2050 koolstofneutraal te worden, is het opmerkelijk om de effecten van de ontwikkeling van nieuwe technologieën in vergelijking met de conventionele technologieën voor het recyclen van afval verwerking van banden als pyrolyse te beschouwen. Via dit project vereist de gegevensverzameling, analyse en visualisatie computationele hulpmiddelen (bijv. Phyton) waarmee consistente gegevens kunnen worden verkregen om de impact van de koolstofemissies te definiëren die worden geproduceerd tijdens de omzetting van zwarte koolstof door pyrolyse versus het carbonisatie proces van gesmolten zouten.

### iii. Deliverable

Levenscyclusanalyse (LCA) en analyse van de koolstofvoetafdruk van de omzetting van bandenrecyclingafval in nanoporeuze koolstofmaterialen met behulp van een volledige gesmolten zoutreactor.

## 4. Problemen die zich tijdens het project hebben voorgedaan

Ondanks de beperkingen in verband met COVID-19 en de meerdere lockdowns in het VK en Nederland, konden we doorgaan met de eerste fase van het project. We hadden de eerste karakterisering van het roet (CB) in ons laboratorium uitgevoerd. Zowel spectroscopische als chemische analyse heeft de zuiverheid en de amorfe aard van de uitgangsmaterialen bevestigd. Het project maakt gebruik van een technologie die is gebaseerd op de elektrochemische activering van de koolstof, en daarom was het produceren van elektroden van de CB noodzakelijk. We hebben verschillende experimenten en simulaties onderzoek uitgevoerd om de beste samenstelling van de elektroden te bepalen. We hebben ook de fabricagemethode met twee elektroden vergeleken; direct gieten op Cu-folie en het poeder in staafjes persen. Onze resultaten lieten enkele voordelen zien van het gebruik van de tweede methode (de staaf fabricagemethode), omdat deze minder verontreinigd is met Cu en beter geschikt is voor opschaling. We hebben ook getest om de elektrode met membranen te wikkelen om te voorkomen dat een deel van het poeder in de elektrolyt verloren gaat. Hoewel het gebruik van het membraan succesvol is gebleken bij het behouden van de integriteit van de elektrode, wordt er nog steeds gewerkt aan het bepalen van de kwaliteit van de geproduceerde koolstof nanomaterialen.

## 5. Toelichting op wijzigingen ten opzichte van het projectplan

WP en korte beschrijving	Uitvoerders	Methode	Resultaat	Uitvoering
1. Technologie op laboratorium schaal				
1a. Technische haalbaarheid	BU, POR	Deskresearch	Inzicht in technische haalbaarheid beoogde technologie	Uitgevoerd
1b. Ontwikkelen kleine reactor	BU, POR	Experimentele ontwikkeling	Een kleine reactor die operationeel kan functioneren	uitgevoerd
1c. Testen met reactor	BU	Testen m.b.t. haalbaarheid	Inzicht in het functioneren van de technologie	uitgevoerd
2. Opschaling naar industrieel niveau				
2a. Technische haalbaarheid	POR, BU	Deskresearch	Inzicht in technische haalbaarheid beoogde technologie op industrieel niveau	uitgevoerd
2b. Ontwerpen van grote reactor	POR, BU	Deskresearch	Inzicht in de mogelijkheid tot opschaling	verder onderzoek benodigd
3. Hoogwaardige toepassing poreus carbon black				

3a. Kwaliteitseisen	POR, BU	Deskresearch	Inzicht in de kwaliteitseisen die nodig zijn voor hoogwaardige toepassing	verder onderzoek benodigd
3b. Testen met teruggewonnen poreus carbon black	BU	Labonderzoek	Inzicht in de mate waarin het gewonnen poreuze carbon black hieraan voldoet	nog uit te voeren
4. Economische haalbaarheid				
4a. Productiekosten	POR	Deskresearch	Inzicht in de verwachte productiekosten	uitgevoerd
4b. Marktonderzoek	POR	Deskresearch	Inzicht in de waarde van en de marktvraag naar poreus carbon black	uitgevoerd
5. Rapportage en afronding				
5a. Vaststellen vervolgtraject	POR	Deskresearch	Een go / no go beslissing voor een onderzoek & ontwikkelingstraject	uitgevoerd
5b. Publicatie resultaten	BU	Deskresearch	Inzicht in de mogelijkheden m.b.t. publicatie	nog uit te voeren



## 6. Toelichting wijze van kennisverspreiding, PR project en verdere PR-mogelijkheden

Bournemouth university is nog steeds van plan om delen van het onderzoek te publiceren. Door vertragingen in het project en Corona maatregel zowel in Nederland als in Groot Brittannië heeft dit nog geen plaats nemen.

Dit project is uitgevoerd met Topsector Energiesubsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

## 7. Bibliografie

- [1] S. Hoogkamer, „Hoe in te spelen op veranderende marktbehoefte,” MarketingTribune, 9 juli 2020. [Online]. Available: <https://www.marketingtribune.nl/b2b/nieuws/2020/07/drie-tips-hoe-in-te-spielen-op-veranderende-marktbehoefte/index.xml>. [Geopend 25 januari 2022].
- [2] Redactie Groen Kennisnet, „Stijgin in verkoop van voedsel met een duurzaamheidskeurmerk,” Groen kennisnet, 20 november 2019. [Online]. Available: <https://www.groenkennisnet.nl/nieuwsitem/Stijging-in-verkoop-van-voedsel-met-een-duurzaamheidskeurmerk-1>. [Geopend 25 januari 2022].
- [3] H. Liu, X. Liu, W. Li, X. Guo, Y. Wang, G. Wang en D. Zhao, „Porous Carbon Composites for Next Generation Rechargeable Lithium Batteries,” WILEY-VCH, Shanghai, 2017.
- [4] Q. Li, Y. Liu, Y. Wang, Y. Chen, X. Guo, Z. Wu en B. Zhong, „Review of the application of biomass-derived porous carbon in lithium-sulfur batteries,” Ionics, vol. 26, pp. 4765-4781, 2020.
- [5] Charitidis, C. A., Georgiou, P., Koklioti, M. A., Trompeta, A. F., & Markakis, V. (2014). Productie van nanomaterialen: van onderzoek tot industrie. Productie Review, 1,11.
- [6] Ioannou, I., D'Angelo, S.C., Galán-Martín, Á., Pozo, C., Pérez-Ramírez, J., & Guillén-Gosálbez, G. (2021). Procesmodellering en levenscyclusanalyse in combinatie met experimenteel werk om de toekomstige duurzame productie van chemicaliën en brandstoffen vorm te geven. Reactie Chemie & Techniek.
- [7] Pang, Z., Li, G., Xiong, X., Ji, L., Xu, Q., Zou, X., & Lu, X. (2021). Gesmolten zoutsynthese van poreuze koolstof en de toepassing ervan in supercondensatoren: een overzicht. Journal of Energy Chemistry, 61,622-640.
- [8] Paul, E. L. (1988, januari). Ontwerp van reactiesystemen voor speciale organische chemicaliën. In Tenth International Symposium on Chemical Reaction Engineering (pp. 1773-1782). Pergamon.