

Toepassing van organosolv lignine en cellulose voor autobanden, asfalt, brandstoffen en verpakkingen





Toepassing van organosolv lignine en cellulose voor autobanden, asfalt, brandstoffen en verpakkingen

Auteur(s)

J.W. Dijkstra (ECN)
 G.T.A. Arts (Progression Industry)
 J. Feijen (Progression Industry)
 N. Gevers (Apollo Tyres)
 R. Naus (Dura Vermeer Infrastructuur)
 A.T. Smit (ECN)
 P.J. de Wild (ECN)
 I.M. Storm (PaperFoam)

Disclaimer

ECN inclusief de bijbehorende duurzame energieactiviteiten, medewerkers, faciliteiten en contracten, is sinds 1 april 2018 onderdeel van TNO. Hoewel de informatie in dit document afkomstig is van betrouwbare bronnen en de nodige zorgvuldigheid is betracht bij de totstandkoming daarvan kan TNO geen aansprakelijkheid aanvaarden jegens de gebruiker voor fouten, onnauwkeurigheden en/of omissies, ongeacht de oorzaak daarvan, en voor schade als gevolg daarvan. Gebruik van de informatie in dit document en beslissingen van de gebruiker gebaseerd daarop zijn voor rekening en risico van de gebruiker. In geen enkel geval zijn TNO, zijn bestuurders, directeurs en/of medewerkers aansprakelijk ten aanzien van indirecte, immateriële of gevolgschade met inbegrip van gederfde winst of inkomsten en verlies van contracten of orders. Geen externe assurantie.

In samenwerking met



Progression-Industry
"GREEN" out of the box technologies

apollo



DURAVERMEER
Dura Vermeer Infrastructuur BV



Verantwoording

(Logo's op vorige pagina zijn niet zichtbaar) Dit rapport is de openbare eindrapportage van het project E3 BioFRAME, waarin het doel is het ontwikkelen van 4 toepassingen voor lignine en cellulose uit organosolv fractionering van biomassa.

Het E3-BioFRAME project wordt uitgevoerd met Topsector Energiesubsidie van het Ministerie van Economische Zaken.

Projectgegevens

Projectnummer	TEBE115002
Projecttitel	E3 BioFRAME (Energy Efficient Exploitation of Biomass for Fuels, Rubber, Asphalt, packaging Materials and Energy).
Penvoerder	ECN
Medeaanvragers	Apollo Tyres Global R&D Dura Vermeer Infrastructure Paperfoam Progression Industry
Projectperiode	1/1/2016 t/m 28/02/2018
Contactpersoon	Jan Wilco Dijkstra, jan_wilco.dijkstra@tno.nl

Nabestellen

Dit rapport is zonder kosten te downloaden van www.ecn.nl/publicaties

Papieren exemplaren kunnen tot 5 stuks zonder kosten nabesteld door het sturen van een e-mail aan Jan Wilco Dijkstra: jan_wilco.dijkstra@tno.nl.

Inhoudsopgave

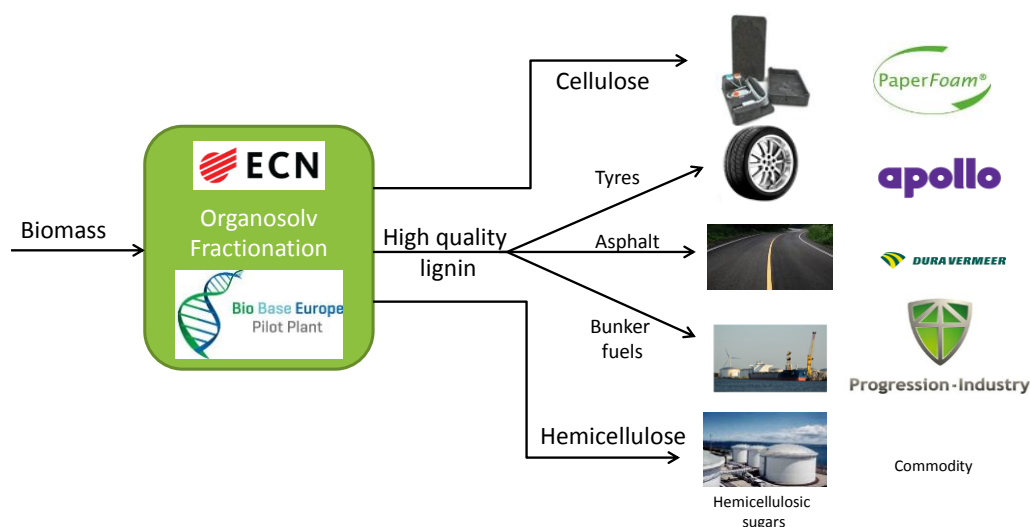
Samenvatting	5
1. Inleiding	6
2. Biomassa fractionering	7
3. Asfalttoepassingen	9
4. Autobandtoepassingen	12
5. Brandstoftoepassingen	14
6. Verpakkingstoepassingen	15
7. Exploitatie en disseminatie	17
7.1 Exploitatie	17
7.2 Bijdrage aan de duurzaamheids en kennispositie doelstellingen	17
7.3 Spin-off en vervolgonderzoek	18
7.4 Openbare publicaties	18
8. Conclusies	20

Samenvatting

In het E3 BioFRAME project wordt het gebruik van de producten van organosolv fractionering van biomassa onderzocht voor vier product toepassingen (autobanden, asfalt, brandstoffen en verpakkingen). Hiervoor zijn succesvolle bench-schaal experimenten gedaan voor de fractionering van plantgewassen tarwestro, beuk- en dennenhout. Opschaalde producties zijn gedaan bij Fraunhofer CBP in Leuna waarbij op kilogram schaal fracties van lignine en cellulose zijn geproduceerd met behulp van aceton organosolv fractionering. Resultaten voor bandentoepassingen laten zien dat lignine niet goed gedispergeerd wordt in de rubber-polymeer matrix door sterke lignine-lignine interactie en door een te grote deeltjesgrootte. Voor asfalttoepassingen werd gevonden dat het meng/smeltgedrag en de dispersie van lignine in bitumen slecht zijn. Desondanks werd gevonden dat het bijmengen van kleine hoeveelheden lignine in asfalt de sterkte van het asfalt niet significant verlaagde. Voor brandstoftoepassingen werd gevonden dat nog slechts beperkte hoeveelheden lignine in brandstoffen kunnen worden opgelost, onvoldoende om economisch haalbaar te zijn. Er is met een lignine/biobrandstof wel een succesvolle motortest uitgevoerd. Voor cellulosetoepassingen in PaperFoam verpakkingsmaterialen werd gevonden dat de verpakkingen onvoldoende sterkte hadden, en dat de diverse mechanische en chemische methoden om dit te verbeteren onvoldoende effectief of niet kosteneffectief waren. Ten slotte is het economisch perspectief voor toepassingen van lignine en cellulose geschetst. De hoogste potentiële waarde voor lignine werd gevonden in autobandentoepassing met, echter deze toepassing heeft een beperkt marktvolume. Ook voor cellulose in verpakkingsmaterialen werd een goede waarde maar een nog beperkt marktvolume gevonden.

1. Inleiding

ECN ontwikkelt het organosolv proces (Fabiola proces) voor de totale verwaarding van biomassa. Hierbij wordt de biomassa gescheiden in de drie hoofdbestanddelen: lignine, cellulose en hemicellulose suikers. Het Fabiola proces is geschikt voor het fractioneren van alle type lignocellulose biomassa: grasachtigen, loofhout en naaldhout.



Figuur 1 Overzicht van het E3 BioFRAME project

Het E3 BioFRAME project richt zich op de toepassingen van lignine voor autobanden, asfalt en brandstoftoepassingen en cellulose voor verpakkingsmaterialen (Figuur 1). De hemicellulose suikers worden in het project niet verder beschouwd, er wordt verondersteld dat deze kunnen worden afgezet als bulkproduct.

Voor een ieder van deze vier toepassingen was het doel om productformuleringen te ontwikkelen en daarnaast de kwaliteit van de bio-based producten met hierin de lignine of cellulose te karakteriseren.

Het organosolv proces dient te worden gekarakteriseerd voor de drie genoemde typen biomassa, en er wordt gekeken naar mogelijke verschillen in de producttoepassingen. Voor het leveren van de vereiste hoeveelheden biomassa is het doel een eerste set runs op pilotschaal te doen.

2. Biomassa fractionering

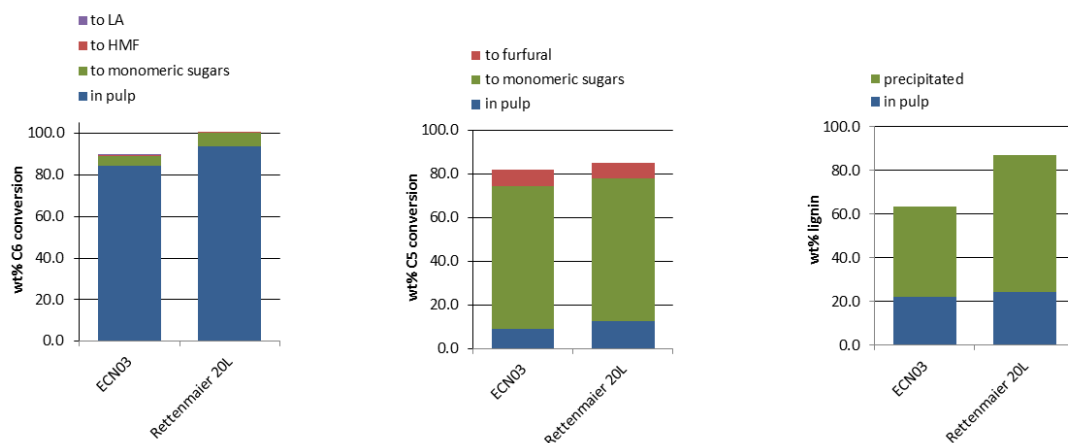
De fractionering van biomassa is bij ECN succesvol uitgevoerd op bench-schaal voor de drie typen biomassa. Voor alle typen biomassa wordt een goede fractionering verkregen met het geselecteerde oplosmiddel en bijbehorende fractioneringscondities (temperatuur, zuurgraad verblijftijd). Enkel de delignificatie van dennenhout is beduidend lager vanwege het meer recalcitrante karakter van lignine in naaldhout. (zie Tabel 1).

Voor het verdere toepassingsonderzoek is beuk geselecteerd als grondstof met aceton als fractioneringmedium. Dit is gebaseerd op de gunstiger karakteristieken van het organosolv fractioneringsproces voor beuk/aceton en op kleine verschillen in de toepassingseigenschappen op het moment van selectie.

Tabel 1 Resultaten fractionering

	Biomassa	Oplosmiddel	Pulp yield	C6 recovery	C5 hydrolyse	Delignificatie	Lignine yield
			[wt%]	[wt%]	[wt%]	[wt%]	[wt%]
Bench-schaal	Tarwestro	Aceton	47.0	94.7	95.6	78.7	88.5
	Dennenhout	Ethanol	50.2	65.2	94.0	57.8	88.7
	Beuk	Aceton	47.7	93.6	87.4	75.8	83.2

Om voldoende lignine te produceren voor de producttesten en om eerste ervaringen op te doen met schaalvergroting is de receptuur voor aceton fractionering opgeschaald van lab (20 liter) naar pilot schaal (460 liter). Twee succesvolle fractioneringsexperimenten zijn gedaan bij de bioraffinage pilot plant van het Fraunhofer Center for Chemical-Biotechnological Processes in Leuna (Duitsland) op de schaal van 460 liter. Deze testen gaven de eerste inzichten in de invloed van procescondities zoals reactietijd, aceton en zuurconcentratie op de fractionering op pilot-schaal.



Figuur 2 Vergelijking massa balans van de pilot plant en laboratoriumexperimenten

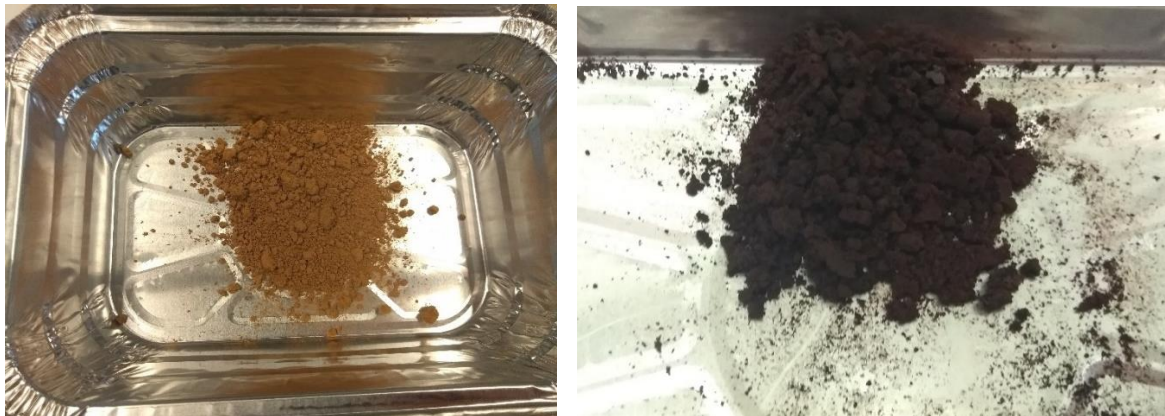
De cellulose opbrengst in de pulp, de hemicellulose (C5) suikeropbrengst en de delignificatie zijn vergelijkbaar met lab-schaal fractionering in de 20 liter autoclaaf. Lignine yield in de pilot plant is lager dan die in lab-experimenten. Dit is deels toe te schrijven aan de verschillen in schaal en systeemconfiguratie. Aanbevolen wordt de pH regeling en de instelling van de aceton concentratie verder te onderzoeken. In totaal zijn meer dan 10 kg lignine en nagenoeg 50 kg cellulose pulp geproduceerd in twee succesvolle experimenten.

3. Asfalttoepassingen

Dura Vermeer is geïnteresseerd in het onderzoeken van de toepassingsmogelijkheden van lignine in asfaltmengsels om de *carbon footprint* van asfaltproductie te verlagen, om bij te dragen aan de bio-based economy, om een alternatief te vinden voor toekomstig schaars bitumen en/of bitumen van steeds meer wisselende kwaliteit en (eventueel) om de prijs/prestatie-verhouding van asfalt te verbeteren.

Geschiktheidsonderzoek

Geen van de geteste typen lignine heeft een smeltgedrag laten zien. Alle typen lignine werden donkerder bij toenemende temperaturen en er werd klontvorming waargenomen maar er trad geen smelten op (Figuur 3). Ook loste geen enkele van de geteste typen lignines op in bitumen.



Figuur 3 Lignine voor (links) and na (rechts) verhitting (Beuk/acetone organosolv lignine uit Leuna pilot experimenten)

Bindmiddelonderzoek

Met de Dynamic Shear Rheometer zijn de volgende testen op de bindmiddelen uitgevoerd (zie Tabel 2):

- de Linear Amplitude Sweep test (LAS) om de stijfheid en weerstand tegen vermoeiing te bepalen volgens AASTHO TP 101-14 bij 20°C (twee monsters)
- de Multiple Stress Creep Recovery-test (MSCR) om de weerstand tegen permanente vervorming bij 40°C (twee monsters) te bepalen

Tabel 2 Resultaten bindmiddelonderzoek

		Stijfheid	Vermoeiing Nf ϵ_5	Vermoeiing Nf ϵ_6	Deformatie @100	Deformatie @1000
		[MPa]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	Referentie bitumen (70/100)	6.3	0.60	0.24	95	623
2	25% Leuna + 75% ref	13.8	0.66	0.25	45	299
3	50% Leuna + 50% ref	-	-	-	5	57

De stijfheid en vermoeiing van het derde mengsel kon niet worden beoordeeld vanwege vroegtijdig falen. Het is onduidelijk of dit wordt veroorzaakt door het materiaal zelf (misschien te stijf of te bros) of door minder hechting op de stalen testplaten (lignine fungeert niet als 'lijm'). De 25% Leuna-mengsels resulteren in een hogere stijfheid, de vaste deeltjes lignine maken het bindmiddel harder. Als gevolg daarvan neemt ook de weerstand tegen permanente vervorming toe. Maar ondanks een hogere stijfheid is de weerstand tegen vermoeiing van de Leuna 25% -mix vergelijkbaar met dat van het referentie bindmiddel.

Asfalt onderzoek

Een referentiemengsel met 70/100 bitumen en 60% asfaltgranulaat is geselecteerd. Dit is het meest geproduceerde asfaltmengsel. Hieraan is lignine uit de productieruns in Leuna toegevoegd in verschillende hoeveelheden. Met de dynamische testmachine zijn de volgende testen uitgevoerd op de asfaltmengsels Tabel 3:

- breuktaaiheid bij 1°C (4 exemplaren Ø100 mm en hoogte van 50 mm);
- watergevoeligheid bij 15°C (4 monsters direct en 4 monsters retained Ø100 mm en hoogte van 50 mm).

Tabel 3 Resultaten bijmengen lignine in asfalt

		ITS-1	Breuktaaiheid	ITS-15	ITS-15 retained	ITS Ratio
		[MPa]	[N·mm]	[MPa]	[MPa]	[%]
1	Reference 70/100	4.4	10.3	3.69	3.43	93
2	25% Lignine + 75% ref	4.2	10.6	3.89	3.48	89
3	50% Lignine + 50% ref	4.8	12.8	3.94	3.47	88

Er kan slechts een zeer klein effect van de Leuna-lignine op de eigenschappen van het asfalt worden waargenomen, dit is een positieve conclusie. De breuktaaiheid en indirecte treksterkte (bij 15°C) neemt een beetje toe. Dit is een positieve observatie maar er moet wel worden vermeld dat in dit mengsel met 60% asfaltgranulaat slechts een kleine hoeveelheid nieuw bitumen wordt toegevoegd. Als gevolg hiervan is de toegevoegde hoeveelheid Leuna-lignine zelfs nog kleiner. Hoewel de afname van de watergevoeligheid (93-89-88) erg klein is, zou het een negatief effect van water op de lignine kunnen laten zien. Maar toch zijn dit goede resultaten die niet werden verwacht op basis van de eerdere waarnemingen.

Geconcludeerd wordt dat geen van de geteste typen lignine een smeltgedrag heeft laten zien. Alle typen lignine werden donkerder bij toenemende temperaturen en er werd klontvorming waargenomen maar er trad geen smelten op. Ook loste geen enkele van de geteste typen lignine op in bitumen.

Ook de Leuna-lignine smelt niet bij hogere temperaturen en lost niet op in bitumen. Maar gemengd in het bindmiddel neemt de stijfheid en weerstand tegen permanente vervorming toe terwijl tegelijkertijd de weerstand tegen vermoeiing hetzelfde blijft. In het mengsel van asfaltbeton kan nauwelijks enige invloed van de Leuna-lignine worden waargenomen, wat een positieve conclusie is. Wel moet worden opgemerkt dat in dit mengsel met 60% asfaltgranulaat slechts een kleine hoeveelheid nieuw bitumen en daarmee ook kleine hoeveelheid lignine is toegevoegd. Al met al zijn dit toch uiteindelijk toch nog goede resultaten.

4. Autobandtoepassingen



Verschillende types lignines zijn geanalyseerd m.b.t. chemische/fysische eigenschappen op hun gedrag in rubbermengsels. Mengen voor verbetering van de dispersie is bestudeerd alsmede het maken van een natuurrubber-lignine master-batch.

De analyse van chemische/fysische eigenschappen laat zien dat de geëvalueerde lignines min of meer het zelfde zijn. Geen of kleine verschillen worden gezien met thermografimetrische analyse, GC-MS (gaschromatografie – massaspectroscopie), infrarood analyse. Oppervlaktemetingen laten zien dat het beschikbare oppervlak laag is in vergelijking met traditionele vulmaterialen zoals carbon black. Dit is in overeenstemming met microscopiestudies die laten zien dat deeltjesgrootte redelijk hoog is.

Mengstudies laten zien dat lignine in kleine hoeveelheden in de mengsels de eigenschappen van het mengsel beperkt verlaagt. Geen voorkeur voor een type lignine kon worden gevonden. Gebruik van hogere concentraties liet zien dat de eigenschappen verslechteren met de hoeveelheid lignine, tot beneden het acceptabele niveau. Dispersie van de lignine in de rubbermatrix is laag in vergelijking met carbon black. Dit is een van de redenen voor de slechte eigenschappen. Het gebruik van *compatibilizers* zoals silaan, een bekende component ter verbetering van dispersie en interactie met actieve groepen op het oppervlak van vulmiddelen, was niet succesvol.

Een andere potentiële toepassing van lignine is als vervanging van versterkende harsen zoals fenol formaldehyde type harsen voor mengsels waar stijfheid en hechting nodig is. Hiervoor moet de lignine reageren met een formaldehyde donor zoals HMMM (*Hexa(methoxymethyl)melamine*) of HMT (*Hexamethylene Tetramine*). Echter, gebruik van lignine als dit type component laat zien geen verhoging van de stijfheid zien. Ook hier is de dispersie onvoldoende.

Een nieuwe testmethode voor het meten van dispersie op nanoniveau is geëvalueerd. Deze testmethode bleek echter niet noodzakelijk; de dispersie was reeds onvoldoende op micronschaal. Het onvoldoende dispergeren van de lignine in de rubber matrix is een van de redenen van de verminderde prestaties van mengsels met lignine.

In mengstudies met een nieuw type high-shear mixer, een nieuwe mengtechnologie en extra mengstappen werden kleine verbeteringen van de dispersie van lignine in de mengsels gevonden, echter niet genoeg voor een voldoende prestatie.

Een test met het maken van een natuurrubber-lignine masterbatch is de meest veelbelovende route. De dispersie van de lignine is drastisch verbeterd en de mechanische sterkte is hoger. De resultaten zijn niet zo goed als het uitgangsmateriaal maar komen dichterbij hiervan.

De finale test met beuk/acetone lignine uit de pilot productieruns uit Leuna laten vergelijkbare resultaten zien die vergelijkbaar zijn met de andere geteste lignines: slechte dispersie en lage mechanische sterkte.

Geconcludeerd wordt dat voor het gebruik van lignine in rubbermengsels meer inspanningen gedaan moeten worden op het vlak van het verkleinen van de deeltjesgrootte van de lignine en vergroten en modificeren van het lignine-oppervlak, mogelijk via derivatiseren met specifieke functionele groepen.

5. Brandstoftoepassingen



Het doel van dit project is om onderzoek te doen naar zowel de technische als economische haalbaarheid van lignine/oplosmiddel brandstofsysteemen met als eindresultaat een demonstratie van verbranding hiervan in een diesel motor.

In totaal werden 5 verschillende lignines geëvalueerd, waarvan 3 organosolv lignines zoals geproduceerd door ECN, 1 organosolv lignine geproduceerd in samenwerking met Fraunhofer CPB te Leuna (D) en 1 kraft lignine ontvangen via Sigma-Aldrich. Na de eerste veelbelovende resultaten bij het oplossen van kraft lignine in Ethyleen Glycol (EG), bleek het maximaal oplosbare percentage van lignine in EG kleiner te zijn dan verwacht (maximaal 25 gew%), resulterend in een op het eerste gezicht niet economisch levensvatbaar eindproduct. Verder literatuuronderzoek naar lignine oplosmiddelen en -weekmakers bracht alternatieve lignine-oplosmiddelsystemen aan het licht welke economisch haalbaar zouden kunnen zijn en waarvan de eigenschappen in dit project zijn verkend. De drie organosolv lignine zoals geproduceerd door ECN bleken over superieure brandstofkwaliteiten te beschikken ten opzichte van de kraft lignine. De organosolv lignine zoals geproduceerd in samenwerking met Fraunhofer CPB te Leuna (D) bleek slecht te mengen. Het meest veelbelovende lignine-oplosmiddel brandstof brandstofsysteem bleek een combinatie van ECN organosolv dennenhout lignine en een ethyleen glycol. Vanwege onvoldoende hoeveelheden ECN-dennenhout lignine, werd de eerdergenoemde (dennenhout gebaseerde) kraft lignine gebruikt voor de demonstratie. Andere veelbelovende alternatieven werden gevalideerd als oplosmiddel en beoordeeld op brandstofs specificaties. Er werd aangetoond dat het aanpassen van de oplosbaarheidsparameters van de verschillende oplosmiddelen van grote invloed is op de oplosbaarheid van lignine. De verschillende lignine-oplosmiddel-brandstofsysteemen bleven gedurende lange tijd stabiel. Er werd een robuuste dieselmotor met één cilinder en aangepast brandstofsysteem geprepareerd voor het demonstratie doel. Uiteindelijk werd hierin met succes een brandstof met daarin 10 gew% gedispergeerde lignine verbrand. Afgezien van initieel hoorbaar additioneel motorgeluid, vertoonde de motor geen specifieke problemen. Vanuit zowel een technisch als een economisch perspectief is het veelbelovend om de ontwikkeling van een lignine-oplosmiddel systeem voor scheepsbrandstoftoepassingen verder na te streven.

6. Verpakkingstoepassingen

De cellulosevezels van het organosolv proces zijn geëvalueerd voor toepassing in verpakkingen zoals geproduceerd door PaperFoam. PaperFoam is een bedrijf dat bio-based, composteerbare verpakkingen ontwerpt en produceert. De PaperFoam (PF) receptuur bestaat uit voornamelijk water, zetmeel, vezels en een premix, zie Figuur 4.



Figuur 4 The PaperFoam recipe consist of starch, fibers, water and a premix

Het PF materiaal wordt het meest toegepast als verpakkingsmateriaal voor elektronica, medische apparatuur, media en voedsel. PF is thuis-composteerbaar met een relatief lage koolstof voetafdruk. Een aantrekkelijke optie voor het nog verder verlagen deze voetafdruk is het gebruik van vezels van houtverwerkingsprocessen.



Figuur 5 Verpakkingsmateriaal geproduceerd met organosolv cellulose.

De resultaten van het testen laten zien dat verpakkingen succesvol geproduceerd konden worden van alle drie houtsoorten, zie Figuur 5. Echter, de vezels van het organosolvproces blijken minder bij te dragen aan de sterkte van het verpakkingsmateriaal dan de huidige vezels. De geproduceerde verpakkingen zijn daardoor te zwak om toe te passen. Het behandelen van de vezels d.m.v. bleken en *refinen* kon de sterkte niet voldoende verbeteren. Door het toevoegen van

additieven voor het verhogen van de sterkte bleek het mogelijk voldoende sterke verpakkingen te produceren, maar deze oplossing is te kostbaar voor een praktische toepassing.

7. Exploitatie en disseminatie

7.1 Exploitatie

De resultaten van de economische evaluatie zijn weergegeven in Tabel 4. Deze zijn voor drie scenario's waarin de hoeveelheden lignine, additieven en kosten zijn gevarieerd. Uitgangspunt was dat er recepturen ontwikkeld worden voor lignine/cellulose toepassing door het gebruik van additieven waarbij de productkwaliteit gelijk is aan het conventionele producten. De evaluatie geeft de waarde van lignine in de toepassingen, welke vergelijken kan worden met de prijzen en productie gebruikelijk in de economische evaluatie van het organosolv proces.

Tabel 4 Resultaten economische evaluatie voor drie scenario's

	Waarde			Markt
	Optimistisch	Nominaal	Pessimistisch	
Tyres (lignin)	+	+	0	Beperkt
Asphalt (lignin)	0	-	-	Groot
Fuel (lignin)	+	-	-	Zeer groot
Packaging (cellulose)	+	+	+	Beperkt

Waarde: +=hoger dan organosolv referentieprij 0 = positief, maar lager dan organosolv referentieprij, - = negatieve waarde. Markt: beperkt = significant kleiner dan de productie van een industriële biorefinery. Groot/zeer groot: in de orde van/veel groter dan de productie van een industriële biorefinery.

7.2 Bijdrage aan de duurzaamheids- en kennispositiedoelstellingen

Het E3 BioFRAME heeft bijgedragen aan **de doelstellingen voor stimulering van duurzaamheid en versterking van de kennispositie**. Specifiek zijn de overeenkomsten en verschillen tussen de fractionering van verschillende typen biomassa met geselecteerde oplosmiddelen is in kaart gebracht.

Er is een succesvolle vertaling van lab-schaal receptuur naar pilot schaal receptuur gedaan voor organosolv fractionering en er zijn twee succesvolle pilot-schaal runs gedaan waarbij lignine en cellulose op kiloschaal zijn geproduceerd. Hiermee is een belangrijke stap in het TRL niveau van organosolv technologie gedaan. Verdere experimenten op pilot-schaal zijn nog nodig om het

proces volledig optimaal te kunnen bedrijven en inzicht te hebben in de relatie tussen biomassa-eigenschappen en optimale fractioneringscondities.

Voor de doelstelling van het ontwikkelen van een receptuur in autobanden zijn de kritische parameters duidelijk in kaart gebracht: deeltjesgrootte, specifieke oppervlak en oppervlakchemie. Oppervlaktemodificatie is naar verwachting nodig.

Voor de toepassing in asfalt blijkt het menggedrag onvoldoende. Desondanks is de sterkte van geteste asfalt voldoende. Geconcludeerd wordt dat toekomstige ontwikkelingen een meer fundamentele aanpak vereisen dan de gevolgde praktische benadering in dit project.

Voor de toepassing in verpakkingsmaterialen is gebleken dat de cellulose uit organosolv onvoldoende geschikt is.

Voor brandstoftoepassingen zijn belangrijke inzichten verkregen in de kansen en limiteringen van het bijmengen van lignine. Er is een succesvolle motortest gedaan waarin een mengsel van lignine en biobrandstof in een verbrandingsmotor gedemonstreerd is.

7.3 Spin-off en vervolgonderzoek

Spin-off van het project is er in de vorm van een korte test van een product uit de pyrolyse van lignine, opgevangen met een fractionerende afvangmethode. Deze blijkt goed te mengen met bitumen. Er wordt binnenkort een **vervolgproject** gestart (E4 BioFRAME, TKI-toeslagproject) waarin deze fractie en met vergelijkbare fracties uit de pyrolyse van lignine-rijke reststromen worden geëvalueerd voor de drie lignine toepassingen van E3 BioFRAME: autobanden, asfalt en brandstoffen.

Verder onderzoek naar fractionering en toepassingen van lignine zullen ook plaats vinden in **vervolgproject** UNRAVEL project (H2020).

7.4 Openbare publicaties

1. **Persbericht** E3 BioFRAME

<https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/energy-efficient-exploitation-of-biomass-for-fuels-rubber-asphalt-materials-and-energy-00024383>

Een 15-tal nieuwssites met een zeer divers karakter (duurzaamheid, innovatie, agrarisch, bandenindustrie, afval, technisch, algemeen etc.) hebben hierover geschreven (zie bijlage A).

2. **Presentatie** over E3 BioFRAME

J.W. Dijkstra, J.H.A. Kiel, E3 BioFRAME, Energy Efficient Exploitation of Biomass for Fuels, Rubber, Asphalt, packaging Materials and Energy, Gepresenteerd op het Groot TKI-overleg, 's Hertogenbosch, The Netherlands, 27 January 2016, ECN-L--16-001, <https://www.ecn.nl/publicaties/BEE/0/ECN-L--16-001>

3. **Presentatie** met slide over E3 BioFRAME toepassingen

Dijkstra, J.W.; Huijgen, W.J.J.; Straathof, A.J.J.; Collas, F.; Lopez-Contreras, A.M.; Zirkzee, H.; Wermink, W.; Ramirez-Ramirez, A.; Hal, J.W. van; Towards Biorefinery Piloting with Isobutanol as the Platform Molecule: Results of the IsoButanol Rotterdam platform project, ECN-L--16-030, mei 2016; Gepresenteerd op: EUBCE 2016 - 24th European Biomass Conference & Exhibition, Amsterdam, The Netherlands, 6 - 9 June 2016. <https://www.ecn.nl/publicaties/ECN-L--16-030>.

4. Spin-off resultaat en aankondiging spin-off project E4 Bioframe zijn aangekondigd in de **BIORIZON nieuwsbrief**, <http://www.biorizon.eu/news/new-biorizon-project-on-pyrolysis-based-application-of-lignin-rich-residues>.
5. **ECN Nieuwsbericht** naar aanleiding van verschijnen artikel over organosolv/Fabiola technologie in het gerenommeerde tijdschrift *Green Chemistry* en over de succesvolle resultaten bij de opschaling tot pilot schaal in Leuna:
<https://www.ecn.nl/nl/nieuws/item/mild-treatment-of-biomass-yields-valuable-building-blocks-for-green-fuels-and-products/>

8. Conclusies



De conclusie van het E3 BioFRAME project is dat positieve resultaten zijn behaald voor het fractioneren van biomassa op lab- en pilotschaal.

Hoewel de applicaties van lignine en cellulose enkele positieve resultaten hebben laten zien, blijkt dat de praktische screeningbenadering die voor dit project gehanteerd werd, niet tot de gewenste snelle resultaten heeft geleid. Hiervoor is een meer fundamentele benadering nodig.

Voor autobandtoepassingen blijkt de sterkte van de rubbermengsels onvoldoende. Voor asfalt toepassingen is het meng/smeltgedrag problematisch; desondanks is het gelukt om een stuk asfalt met een laag gehalte aan lignine te produceren met goede sterkte. Voor brandstoftoepassingen is de hoeveelheid lignine die gemengd kan worden met biobrandstof beperkt. Met Kraft-lignine is een succesvolle motortest uitgevoerd. Voor verpakkingstoepassingen blijkt dat de organosolv cellulosevezels minder geschikt zijn. Hoewel er met de organosolv cellulosevezels verpakkingmaterialen zijn geproduceerd, bleken deze onvoldoende sterk voor verdere commercialisering.

Vervolgonderzoek vindt plaats in het project E4 BioFRAME, waarbij gekeken zal worden naar de geschiktheid van fracties uit de pyrolyse van lignine rijke afvalstromen voor toepassing in banden, brandstoffen en asfalt. In het H2020 project UNRAVEL zal naast verdere ontwikkeling van organosolv op een meer fundamentele wijze gekeken worden naar ligninetoepassingen.

Bijlage A Overzicht nieuwssites E3 BioFRAME

Nieuwssites die het E3 BioFRAME persbericht (15-2-2016) hebben opgepikt:

<http://www.boerderij.nl/Akkerbouw/Nieuws/2016/4/ECN-kan-asfalt-en-autobanden-maken-uit-biomassa-2789567W/>;

<http://www.duurzaamgeproduceerd.nl/nieuws/20160413-asfalt-autobanden-verpakkingen-en-scheepsbrandstof-uit-biomassa>;

<https://www.agrimatch.nl/rssfeed/42550728/ecn-kan-asfalt-en-autobanden-maken-uit-biomassa>;

<http://mvonederland.nl/nieuws/asfalt-autobanden-verpakkingen-en-scheepsbrandstof-uit-biomassa>;

<http://www.agro-chemie.nl/nieuws/asfalt-autobanden-verpakkingen-en-scheepsbrandstof-uit-biomassa/>;

<http://www.duurzaambedrijfsleven.nl/recycling/14269/hoe-een-autoband-uit-biomassa-wordt-gemaakt>;

<http://www.afvalonline.nl/knipsels?marked=1017282>;

<https://www.coebbe.nl/nieuws/asfalt-autobanden-verpakkingen-en-scheepsbrandstof-uit-biomassa>;

<http://www.petrochem.nl/asfalt-autobanden-verpakkingen-en.165612.lynkx>;

<http://www.milieufocus.nl/pdf/nieuws/afval/asfalt-autobanden-verpakkingen-en-scheepsbrandstof-uit-biomassa.pdf>;

<http://www.d-tool.nl/nl-nl/nieuws/806-asfalt-autobanden-verpakkingen-en-scheepsbrandstof-uit-biomassa>;

<http://www.nvc.nl/news/item/asfalt-autobanden-en-verpakkingen-uit-biomassa/> (NL);

<http://www.en.nvc.nl/news/item/asfalt-autobanden-en-verpakkingen-uit-biomassa/> (ENG);

<http://www.bandenportaal.nl/2016/05/06/ecn-werkt-aan-eerste-autoband-uit-biomassa>;

<http://www.ecn.nl>.



Energy research Centre of the Netherlands

Postbus 1

1755 ZG PETTEN

Contact

088 515 4949

info@ecn.nl

www.ecn.nl