

# Collaboration in aspHalt APplications with LIgnin in the Netherlands - eXtra Lignin (CHAPLIN XL)

## Openbaar eindrapport

Project periode: 1 januari 2020 – 31 augustus 2021

Penvoerder en projectleider: Martin Junginger<sup>1</sup> (Universiteit Utrecht)

Regeling: DEI+ - Demonstratie Energie Innovatie – Circulaire Economie

RVO referentienummer: DEI2719023

### Auteurs en medeaanvragers:

Annelie Jongerius en Ed de Jong, Avantium

Iris Vural Gürsel, Ingrid Haaksman, Ted Slaghek, Richard Gosselink, WFBR

Martijn Verschuren, H4A

Albertus Steenbergen, Roelofs

Paul Landa, Hendrik Post, AKC

Joop Groen, CBBB

Ric Hoefnagels, Christian Moretti, Marco van Veen, Blanca Corona, Martin Junginger, UU

<sup>1</sup> Contactpersoon voor meer informatie. [H.M.Junginger@uu.nl](mailto:H.M.Junginger@uu.nl)

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.



# Samenvatting

## Aanleiding

Bitumen is een belangrijk onderdeel van asfalt. Echter: de levering van bitumen (van voldoende kwaliteit) vormt in toenemende mate een probleem, de prijs van bitumen stijgt. Daarnaast wordt door gebruik van bitumen de vraag naar ruwe olie in stand gehouden, en worden er bij de productie van asfalt broeikasgassen geëmitteerd. Daarmee is het gebruik van bitumen op korte en lange termijn niet duurzaam te noemen, en is het noodzakelijk om naar duurzame alternatieven te zoeken.

## Doelstelling

Het hoofddoel van het CHAPLIN-XL project is industriële CO<sub>2</sub> reductie te bereiken door het gebruik van lignine als substituut voor bitumen in asfalt. De initieel ontwikkelde technologie wordt verder ontwikkeld tot TRL niveau 6/7. Lignine is een biopolymeer dat vrij komt bij de productie van papier, en in bioraffinaderijen bij de verwerking van hout en ander lignine-houdende biomassa. Normalter wordt lignine als afvalproduct verbrand, een laagwaardige toepassing. Door het in asfalt te verwerken, wordt de biogene koolstof ook langdurig vastgelegd, hetgeen extra klimaatvoordeel kan opleveren. Sub-doelen van CHAPLIN XL zijn onder andere:

- Produceren en testen van Avantium Dawn Technology lignine (een 2<sup>de</sup> generatie bioraffinaderij proces), en het testen van Avantium en niet gemodificeerde Kraft lignine (uit conventionele papierfabrieken) in vier proefstroken.
- Ervaring op te doen met recycled asfalt in combinatie met lignine tijdens productie en leggen van asfalt.
- Het op pilotschaal testen om bestaand asfalt met 50% lignine te recyclen en met verse lignine binder bij te mengen bij productie en leggen van asfalt.
- Het bepalen van de civieltechnische constructieve levensduur van deze asfaltmengsels en constructies m.b.v. Functionele Type Testen en VGD metingen van proefvakken.
- Het bepalen van de ARBO- en milieutechnische effecten bij de productie, verwerking en de gebruiksfase van de verschillende mengsels en constructies in de proefvakken.
- Het bepalen van de CO<sub>2</sub> reductie door het gebruik van lignine in asfalt, en een gedetailleerde evaluatie van de duurzaamheidsprestaties van bio-based en circulair asfalt ten opzichte van conventioneel asfalt over de gehele levenscyclus met behulp van LCA, techno-economische evaluatie (TEA) en life cycle costing (LCC).

## Resultaten

In het kader van het CHAPLIN XL project is er ruim één ton Avantium Dawn Technology lignine geproduceerd door de proeffabriek van Avantium in Delfzijl. Deze is vervolgens bemonsterd en geanalyseerd, om vervolgens in een proefvak in Siddeburen, Groningen te worden toegepast.

Daarnaast zijn er diverse asfaltmengsels ontwikkeld: onder andere AC Surf, Base en Bind mengsels met relatief hoge recycling gehalten en toepassing met Kraft lignine. Tevens SMA mengsels met vervanging van bitumen door Dawn lignine van Avantium en Kraft lignine van Stora Enso. Van diverse asfalt mengsels is vervolgens de civieltechnische constructieve levensduur bepaald, alsmede Functionele Type Testen en VGD metingen van Proefvakken. Uit deze eerste berekeningen volgt dat lignine houdend onderlaag asfalt minimaal gelijkwaardig is qua draagvermogen aan normaal standaard asfalt met fossiel bitumen.

Ook is er gekeken naar de ARBO- en milieutechnische effecten bij de productie, verwerking en de gebruiksfase van de verschillende mengsels en constructies in de proefvakken. In de ARBO studie voor dit project op industriële schaal zijn standaard meetprotocollen gebruikt. De metingen hebben laten zien dat onder de geadviseerde asfalttemperatuur er beperkte geurhinder was. Ook is onder alle omstandigheden de concentratie formaldehyde nooit boven de grenswaarde gekomen.

Op basis van de ontwikkelde asfaltmengsels zijn de volgende proefvakken aangebracht:

- (1) Europaweg Zuid Vlissingen van havenschap North Sea Port in november 2020. Hier is een proefvak aangebracht met AC11 surf met PR en lignine (Kraft).
- (2) De Maltaweg in Vlissingen van havenschap North Sea Port in november 2020. Op deze weg zijn er drie lignine (Kraft) houdende lagen asfalt aangebracht. De onder- en tussenlaag tevens met gerecycled asfalt (PR).
- (3) Industrierweg Yara te Sluiskil in september 2020 Hier is een sma deklaag aangebracht met lignine (Kraft).
- (4) N 987 te Siddeburen, Provincie Groningen, 2 proefvakken aangebracht:
  - 1<sup>e</sup> proefvak: AC 16 bind met lignine (Kraft) en sma deklaag lignine (Kraft).
  - 2<sup>e</sup> Proefvak: sma deklaag lignine (Avantium).
- (5) Kranssteenweg te Delfzijl Groningen Seaports, sma deklaag met lignine (Kraft).

Naast al deze proefvakken met lignine zijn er vakken aangelegd met traditioneel asfaltmengsels als referentie.

Zowel bij het mengen als ook het aanbrengen van het lignine-houdend asfalt op de weg is er veel geleerd. Als het lignine gehalte te hoog is ontstaat er steenverlies (rafeling). Bij (te) hoge temperatuur verandert de lignine >170 graden Celsius waarbij er ook een scherpe geur en rookvorming ontstaat. We hebben het proces nu goed onder controle. De toevoeging en inbrengen van lignine in de asfaltcentrale is inmiddels geautomatiseerd; enkel het doseren van de lignine gebeurt nog handmatig.

Op de weg hebben alle lignine-houdende asfaltmengsels met de traditioneel gebruikte asfaltverwerkingsmachines en walsen aan kunnen brengen. Het produceren als ook het verwerken van de lignine houdende asfaltmengsels heeft niet tot grote problemen geleid. We hebben met enkele kleine aanpassingen aan de asfaltverwerkingsmachine (lees instellingen) het lignine houdende asfalt goed kunnen verwerken alsmede aan de gewenste kwaliteitseisen voldaan. De meng- en doseer volgorde ontwikkeld in het laboratorium moet echter ook bij de industriële productie van asfalt gevolgd worden. In een enkel geval is dit onvoldoende gevolgd en ligt aan de basis van een slechte doormenging met minder samenhang van het uiteindelijke asfaltmengsel. Dit is mogelijk één van de redenen van vroegtijdig falen van een enkel proefvak. Uiteindelijk is er een veel beter begrip bij de projectpartners waar de grenzen liggen voor het bijmengen van lignine, en hoe dit ook afhankelijk is van de belasting van de weg.

Met betrekking tot de milieu- en klimaatprestaties zijn Levenscyclus-analyses (LCA)'s voor diverse soorten asfaltmengsels en toepassing in diverse lagen uitgevoerd. De inzet van lignine leidt tot een reductie in broeikasgas emissies van 35-70% voor toplagen en 25-50% voor onderlagen in vergelijking met conventioneel asfalt. Het besparingspotentieel van lignine in onderlagen is lager omdat hier een hoger percentage asfaltgranulaat toegepast wordt (gerecycled asfalt) waardoor er minder nieuwe grondstoffen zoals bitumen en lignine nodig zijn. Het verschil tussen de MKI score van conventioneel asfalt en biobased asfalt is kleiner dan de reductie in broeikasgas emissies. De MKI score is 6-24% lager ten opzichte van conventioneel asfalt. Dit komt omdat voor andere milieueffectcategorieën, waaronder de ecotoxicologische effecten (zeewater en humaan), eutrofiëring en verzuring, biobased asfalt minder goed scoort ten opzichte van conventioneel asfalt.

De resultaten van de techno-economische analyse laten zien dat lignine-gebaseerd asfalt met lignine uit Nederlandse bio-raffinaderijen momenteel iets duurder is om te produceren dan bitumen-gebaseerd asfalt. Het verschil in productiekosten tussen lignine- en bitumen-gebaseerd asfalt is het hoogst voor de bovenlaag van ZOAB. Dit komt doordat de lignine in deze laag niet bitumen substitueert maar zwakke vulstof en de kosten voor zwakke vulstof lager zijn dan voor bitumen. De schaduwkosten voor het milieu, uitgedrukt in de MKI-score, van alle boven- en onderlagen (behalve de bovenlaag van ZOAB) zijn lager voor lignine-gebaseerd asfalt dan voor bitumen-gebaseerd asfalt. Hierdoor wordt het verschil in kosten tussen lignine- en bitumen-gebaseerd asfalt kleiner.

Met betrekking tot circulariteit laten de projectresultaten zien dat de MCI score van conventioneel asfalt op dit moment 0.41-0.59, is waarbij AC het hoogste scoort door het relatief hoge percentage gerecycled asfalt in de toplaag. ZOAB heeft een lagere score door de kortere levensduur van wegen (24 jaar t.o.v.

30 jaar voor AC asfalt). Daarnaast wordt er geen gerecycled asfalt toegepast in de toplaag van ZOAB. De toepassing van lignine (BIO- scenario's) heeft maar een beperkt effect op de MCI score: ongeveer 1% hoger t.o.v. conventioneel asfalt. Dit kan worden verklaard door het relatief lage gewichtspercentage van lignine in asfalt. Lignine-gebaseerd asfalt scoort dus minimaal net zo goed of iets beter dan conventioneel asfalt op het gebied van circulariteit.

Tenslotte zijn de resultaten zowel binnen Nederland als ook mondiaal onder de aandacht gebracht in de vakpers en in wetenschappelijke tijdschriften. Zo heeft een perscampagne rondom de aanleg van het proefvak in Siddeburen tot meer dan 50 vermeldingen in diverse (inter-)nationale media geleid. De projectresultaten zijn op meerdere wetenschappelijke congressen gepresenteerd, en -last but not least - heeft het CHAPLIN consortium (o.a. op basis van de in XL behaalde resultaten) de WOW juryprijs in November 2021 gewonnen.

### **Conclusies en vervolgstappen**

Op basis van alle project-resultaten kan geconcludeerd worden dat het hoofddoel van CHAPLIN - industriële CO<sub>2</sub> reductie te bereiken door het gebruik van lignine als substituut voor bitumen in asfalt verder te ontwikkelen tot TRL niveau 6/7 - behaald is. Ook alle sub-doelen zijn gehaald - er was voldoende belangstelling van opdrachtgevers om proefvakken aan te brengen, maar door het tijdspad waarin we dit moesten realiseren was het een hele uitdaging; mede veroorzaakt door het uitbreken van Covid 19 - hiervoor was dan ook uitstel aangevraagd.

Met de kennis die we hebben opgedaan is het mogelijk gebleken om max. 50% van het bindmiddel te vervangen door lignine, en daarmee CO<sub>2</sub>-besparingen van 35-70% voor toplagen en 25-50% voor onderlagen in vergelijking met conventioneel asfalt te behalen. We kunnen concluderen dat we ligninehoudend asfalt en ook ligninehoudend pr asfalt goed in alle asfaltlagen kunnen verwerken en verdichten met de huidige asfaltverwerkingsmachines en walsen.

Er zijn echter ook nog tal van vervolgvragen en uitdagingen:

- Het uiteindelijke doel is een asfalt te ontwikkelen zonder bitumen, dat zal niet lukken met enkel lignine als alternatief bindmiddel.
- Bij de ARBO metingen was de nadruk in het CHAPLIN XL project op formaldehyde. Andere emissies zoals CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NOx en PAK zijn bij de ARBO metingen niet meegenomen. Door de actuele ontwikkeling in de industrie zou het ook wenselijk zijn om als extra stof benzeen te meten.
- Op dit moment is het nog niet economisch rendabel om op grote schaal lignine als vervanger van bitumen toe te passen. Dit kan op termijn veranderen als bitumen schaarser en duurder wordt, en/of de klimaat- en milieuvoordelen van lignine-gebaseerd asfalt zwaarder meewegen bij de opdrachtverlening.
- De huidige testen en proefvakken zijn allen gebaseerd op Nederlandse weg- en klimaatomstandigheden. Om lignine-gebaseerd asfalt ook in de rest van Europa (en daarbuiten) toe te kunnen passen, zullen ook asfaltmengsels voor bij voorbeeld Scandinavië of Zuid-Europa ontwikkeld moeten worden.

Voor deze diverse uitdagingen zal het CHAPLIN consortium de komende jaren actief pogen om het samenwerkingsverband verder te verbreden en te internationaliseren.

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b>	<b>3</b>
<b>1 Inleiding en leeswijzer</b>	<b>8</b>
1.1 Probleemstelling	8
1.2 Potentie van lignine om bitumen (deels) te vervangen	8
1.3 Doelstellingen van het CHAPLIN XL project	9
1.4 Projectaanpak en partners	10
1.5 Leeswijzer	10
<b>2 WP1 lignine productie en mobilisatie</b>	<b>11</b>
2.1 Doelstellingen & deliverables van WP 1	11
2.2 Werkwijze	11
2.3 Behaalde resultaten	11
2.3.1 Selectie en aankoop commerciële lignine	11
2.3.2 Productie Dawn Technology lignine	11
2.3.3 <i>Bemonstering en analyse van de lignine</i>	12
2.4 Discussie, conclusies en aanbevelingen	14
2.5 Referenties	14
<b>3 WPs 2, 3 &amp; 4: Asfalt productie &amp; recycling, testen op labschaal &amp; testvakken en kwaliteitsassessment</b>	<b>15</b>
3.1 Inleiding, doelstellingen & deliverables van WPs 2, 3 & 4	15
3.2 Werkwijze	16
3.2.1 Ontwikkeling van geschikte proefvakken	16
3.2.2 Ontwikkeling van nieuwe asfaltmengels	16
3.2.3 Bepalen van de Civieltechnische constructieve levensduur van asfaltmengsels en constructies m.b.v. Functionele Type Testen en VGD metingen van Proefvakken	17
3.2.4 Bepalen van de ARBO- en milieutechnische effecten bij de productie, verwerking en de gebruiksfase van de verschillende mengsels en constructies in de proefvakken	18
3.2.5 Metingen brandstofverbruik	19
3.3 Behaalde resultaten	19
3.3.1 Realisatie van proefvakken en verdere automatisering	19
3.3.2 Ontwikkeling van asfaltmengsels met vervanging van fossiel bitumen door lignine	20
3.3.3 Bepalen van de Civieltechnische constructieve levensduur van deze asfaltmengsels en constructies m.b.v. Functionele Type Testen en VGD metingen van Proefvakken	22
3.3.4 Bepalen van de ARBO- en milieutechnische effecten bij de productie, verwerking en de gebruiksfase van de verschillende mengsels en constructies in de proefvakken	24
3.4 Discussie, conclusies en aanbevelingen	26
3.4.1 Algemene conclusies en reflecties	26
3.4.2 Lessen met betrekking tot de meng- en doseervolgorde	27
3.4.3 Verder onderzoek met betrekking tot de homogeniteit en insmelting van lignine in bitumen	28
<b>4 WP 5 CO<sub>2</sub> Besparingspotentieel, duurzaamheid en circulariteit</b>	<b>29</b>
4.1 Doelstellingen & deliverables van WP 5	29
4.2 Werkwijze	29

4.2.1	WP5.1 Levenscyclus analyse (LCA)	29
4.2.2	WP5.2 Economische verkenning	30
4.2.3	WP5.3 Duurzaamheidsevaluatie, circularity assessment en strategieontwikkeling	30
4.3	Behaalde resultaten	31
4.3.1	WP5.1 Levenscyclus analyse (LCA)	31
4.3.2	WP5.2 Economische verkenning	32
4.3.3	WP 5.3 Duurzaamheidsevaluatie, circularity assessment en strategieontwikkeling	33
4.4	Discussie, conclusies en aanbevelingen	35
4.5	Referenties	36
<b>5</b>	<b>WP 6 Project management &amp; communicatie</b>	<b>38</b>
5.1	Doelstellingen & deliverables van WP 6	38
5.2	Werkwijze	38
5.3	Behaalde resultaten	39
5.4	Discussie, conclusies en aanbevelingen	40
	<b>Bijlage 1 Overzicht Persberichten</b>	<b>41</b>
	<b>Bijlage 2 Overzicht EU Normen</b>	<b>47</b>
	<b>Bijlage 3 Lijst met achterliggende verslagen</b>	<b>48</b>

# 1 Inleiding en leeswijzer

## 1.1 Probleemstelling

Bitumen is een product van een olieraffinaderij, dat overblijft na de destillatie van ruwe olie. Dit bijproduct is een complex mengsel van diverse koolwaterstoffen dat met name gebruikt wordt voor de productie van asfalt en voor dakbedekking. In asfalt speelt bitumen een belangrijke rol als bindmiddel. Gemiddeld is 5% van de massa van een asfalt mix bitumen. Bij toepassingen op daken is de bitumenfractie veel hoger, ca. 50-70%. In 2017 was de Europese bitumen consumptie voor constructie en onderhoud van wegen ongeveer 11 miljoen ton. Het gebruik van bitumen in Nederland was circa 270.000 ton voor het gebruik in wegen (EATA, 2018). In Europa (en zeker in Nederland) wordt steeds meer asfalt gerecycled – in 2017 werd in Nederland reeds 82% van de 4,5 miljoen ton asfalt gerecycled (EATA, 2018). Echter, ook voor het kunnen recyclen van asfalt is jaarlijks naar schatting ongeveer 125.000 ton verse bitumen nodig. Daarmee is “circulair asfalt” de facto nog niet 100% circulair.

Er zijn echter een aantal relevante problemen gerelateerd aan het gebruik van bitumen:

- 1 In de afgelopen jaren is de levering van bitumen (van voldoende kwaliteit) in toenemende mate een probleem. Diverse raffinaderijen in Europa zijn de afgelopen jaren gesloten, en het wordt in toenemende mate lastig om voldoende bitumen voor de Nederlandse markt in te kopen.
- 2 Olieraffinaderijen upgraden bitumen met behulp van waterstof tot hoogwaardigere producten zoals benzine en smeermiddelen. Hierdoor wordt de hoeveelheid bitumen (die van voldoende kwaliteit is voor wegenbouw) steeds schaarser, en daarmee stijgt ook de prijs van bitumen. In mei 2019 was de prijs van niet-gemodificeerde bitumen circa 400 €/ton (TDM, 2019). Prijzen van polymeer-gemodificeerde bitumen zijn nog iets hoger. Dit betekent in de praktijk dat de asfalt sector in Nederland veel moeite en geld moet investeren om bitumen van voldoende kwaliteit te kopen en/of tot de benodigde kwaliteit op te waarderen.
- 3 Door vraag naar bitumen in stand te houden en hoge prijzen voor bitumen wordt de vraag naar ruwe olie in stand gehouden, met alle directe en indirecte gevolgen van dien. Op zich stoot het directe gebruik van bitumen geen CO<sub>2</sub> uit (anders dan het gebruik van benzine en diesel); echter, het levert echter ook geen bijdrage aan het tegengaan van klimaatverandering.
- 4 Daarnaast wordt er bij de productie van asfalt wel broeikasgassen geëmitteerd. De broeikasgasemissie van de sector is 550 kton CO<sub>2</sub> eq./ year; equivalent aan 23% van de totale broeikasgasemissies van de infrastructuur sector in Nederland (de Blois et al., 2018); en gelijk aan 0,25% van de totale Nederlandse uitstoot.

De asfaltsector is daarom naast het volledig circulair maken van asfalt ook op zoek naar betaalbare, hernieuwbare alternatieven voor bitumen en opties om de broeikasgasemissies van de sector significant te verlagen. Probleemeigenaar is daarmee de asfaltsector, maar uiteindelijk ook de Nederlandse overheid (omdat deze emissies grotendeels meetellen voor de Nederlandse emissiedoelstellingen).

## 1.2 Potentie van lignine om bitumen (deels) te vervangen

Het gebruik van biomassa (en met name lignine) is een van de mogelijke oplossingen voor deze vier problemen: lignine is een van de meest-voorkomende bio-polymeren ter wereld (naast cellulose en hemi-cellulose), en bestaat uit voornamelijk aromatische componenten. In planten vervult het een aantal eigenschappen als bindmiddel, om rigiditeit en stabiliteit aan stammen, stengels etc. te geven, als bescherming tegen UV-straling en als weerstand tegen aanvallen van bacteriën. In de bio-economie wordt lignine geproduceerd als een bijproduct van pulp en papier, en (in de toekomst) als het niet-fermenteerbare bijproduct van de productie van cellulose ethanol geproduceerd uit bijvoorbeeld stro of hout. De beschikbaarheid van lignine in Europa is significant: uit Kraft pulping processen komt jaarlijks



ongeveer 55 miljoen ton lignine vrij; hiervan wordt echter maar een klein gedeelte geïsoleerd uit zwart residuloog (black liquor); de rest wordt voornamelijk gebruikt als brandstof in pulp- en papierfabrieken:

- Elk jaar worden circa 1 miljoen ton lignosulfonaten (die vrijkomen bij sulfiet pulping) op commerciële schaal verhandeld.
- Daarnaast produceren meerdere bedrijven via het Kraft proces meer dan 100,000 ton per jaar. Isolatie van Kraft lignine kan op verschillende manieren zoals bij voorbeeld met de lignoboost technologie.
- De productie van cellulose ethanol en andere chemicaliën is op dit moment op pilot- op demo-schaal gaande (zie bij voorbeeld Clariant, 2019). Avantium heeft sinds 2020 een werkende pilot in Delfzijl, waarmee op tonnen-schaal HCl lignine als bijproduct geproduceerd wordt met het Dawn proces. Een commerciële fabriek van Avantium zou naar verwachting ongeveer 50.000 ton lignine produceren per jaar.

De prijs van lignine varieert momenteel tussen 200 US\$ tot ver boven de 1000 US\$, sterk afhankelijk van het type en de kwaliteit. Daarnaast biedt het gebruik van lignine als vervanger van bitumen de kans om biogene koolstof langdurig in asfalt vast te leggen. Doordat deze koolstof eerder al door fotosynthese is vastgelegd, en anders op korte termijn weer vrij zou komen, is hier zelfs sprake van langdurige negatieve CO<sub>2</sub> emissies – met andere woorden het actief uit de lucht halen en langdurig vastleggen van CO<sub>2</sub>. Negatieve emissies worden onder andere door de IPCC (2018) als cruciaal gezien om de 1.5 graden doelstelling te kunnen halen.

Daarmee heeft lignine het potentieel om de hiervoor aangestipte problemen (mede-) op te lossen, en tegelijkertijd een extra boost te geven aan de ontwikkeling van bio-raffinaderijen door een substantiële afzetmarkt voor het bijproduct lignine te creëren.

### 1.3 Doelstellingen van het CHAPLIN XL project

Het CHAPLIN-XL project had de volgende doelen om het gebruik van (extra) lignine als substituuut voor bitumen te promoten en daarmee industriële CO<sub>2</sub> reductie te bewerkstelligen door:

- Ervaring opdoen met het automatiseren van de productie van asfalt met lignine in de asfaltcentrale.
- Het produceren en testen van Avantium HCl lignine in een toplaag en niet gemodificeerde Kraft lignine in alle lagen van asfalt.
- Op proefstroomschaal ervaring opdoen met recycling van asfalt in combinatie met lignine tijdens productie en leggen van asfalt.
- Bepalen van de civieltechnische constructieve levensduur van deze asfaltmengsels en constructies m.b.v. Functionele Type Testen en VGD metingen van proefvakken.
- Bepalen van de ARBO- en milieutechnische effecten bij de productie, verwerking en de gebruiksfase van de verschillende mengsels en constructies in de proefvakken.
- Bepalen van de te behalen negatieve CO<sub>2</sub> emissies door het gebruik van lignine in asfalt, en een gedetailleerde evaluatie van de duurzaamheidsprestaties van bio-based en circulair asfalt ten opzichte van conventioneel asfalt over de gehele levenscyclus met behulp van levenscyclus analyse (LCA), techno-economische evaluatie (TEA) en life cycle costing (LCC)

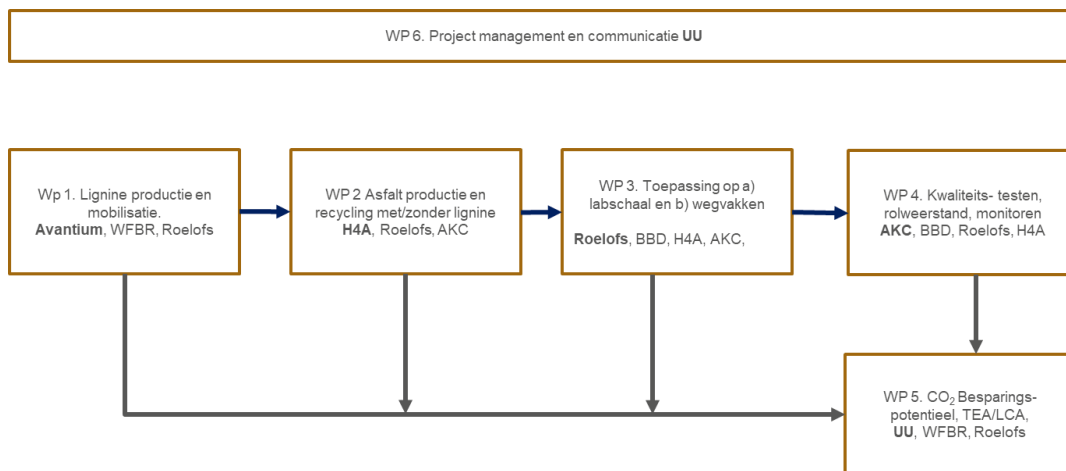
## 1.4 Projectaanpak en partners

Het CHAPLIN XL project liep van 1 januari 2020 toen met 31 augustus 2021. De project partners en hun rollen in het project zijn weergegeven in Tabel 1.

**Tabel 1** *Overzicht van projectpartners en hun rol in het project*

Universiteit Utrecht (UU)	Coördinator, Lead WP 5 & 6, Duurzaamheidsanalyse, economische analyse & marktpotentieel, project management & communicatie
Asfalt Kennis Centrum (AKC)	Trekker WP 4
Avantium Chemicals BV. (AVT)	Trekker WP 1, productie van lignine
Biobased Delta (BBD)	Coördinatie van de communicatie (WP 6), link met het overkoepelende CHAPLIN programma
H4A	Trekker WP 2, productie en monitoring van lignine-houdend asfalt
Roelofs Wegenbouw bv	Trekker WP 3 aanbrengen en verwerken van lignine asfalt incl. productie
Roelofs Advies en Ontwerp bv	Ondersteuning LCA berekeningen in WP5 en doen van kwaliteitsproeven
Wageningen Food and Biobased Research (WFBR)	Karakterisering van de lignines, gecorreleerd aan de prestatie in asfalt. Beoordeling duurzaamheid en economische prestaties.

De projectaanpak was tamelijk lineair (zie ook Figuur 1): de lignine productie en aankoop stond aan het begin (WP 1). De lignine is vervolgens in de asfalt centrales in asfalt verwerkt (WP 2) en toegepast op lab schaal en in proefvakken (WP 3). Tegelijkertijd zijn er diverse testen uitgevoerd (WP 4). Deze vier WP's leverden allen input aan WP 5 (LCA, techno-economische analyse en strategieontwikkeling). Het overkoepelende projectmanagement en communicatie was in WP 6 ondergebracht.



**Figuur 1** *Project structuur en project partners per work package*

## 1.5 Leeswijzer

De hoofdstukken van dit rapport volgen de werkpakket structuur zoals weergegeven in Figuur 1. Voor elk werk pakket zijn de (sub-)doelen en werkwijze kort samengevat. Vervolgens wordt een uitgebreide samenvatting van de behaalde resultaten gepresenteerd. Tenslotte worden conclusies getrokken, gereflecteerd op de projectresultaten en het proces, en aanbevelingen voor verder werk en onderzoek gegeven. Gezien de groot mate van overlap van werkpakketen 2, 3 en 4 zijn deze gezamenlijk in één hoofdstuk samengevat.

# 2 WP1 lignine productie en mobilisatie

## 2.1 Doelstellingen & deliverables van WP 1

Het doel van WP 1 is het verkrijgen van genoeg lignine voor het doen van de lab testen en de aanleg van de beoogde proefvlakken. Daarnaast heeft WP1 ook als doel om de beschikbare lignine te karakteriseren om de kwaliteit te waarborgen en om een toekomstige correlatie tussen de asfaltkwaliteit en lignine eigenschappen mogelijk te maken.

## 2.2 Werkwijze

Binnen WP1 zijn twee soorten lignine verkregen. Commerciële Kraft lignine van Stora Enso is aangeschaft omdat hier al ervaring mee is binnen de lignine asfalt wereld waardoor dit een goede referentie bied om te vergelijken met eerdere projecten. Dawn Technology lignine is tijdens het project geproduceerd door Avantium in de proeffabriek in Delfzijl. Na de productie worden de natte ligninesnippers gedroogd en vermalen om tot de juiste deeltjesgrootte te komen voor verwerking in een asfaltcentrale. Avantium en WFBR hebben gezamenlijk een plan opgesteld voor de bemonstering een analyse van de Dawn lignine uit de verschillende batches. De lignine analyses zijn vervolgens uitgevoerd door WFBR. De samenstelling van de technische lignines werden bepaald met standaard protocollen voor de bepaling van het lignine, koolhydraten, as en eiwit gehalte. Additioneel werd de molecuul massa verdeling bepaald met behulp van een alkalische SEC methode. Alle methoden worden beschreven door Constant et al., *New insights into the structure and composition of technical lignins: a comparative characterisation study*, *Green Chem.*, 2016;18, 2651-2665.

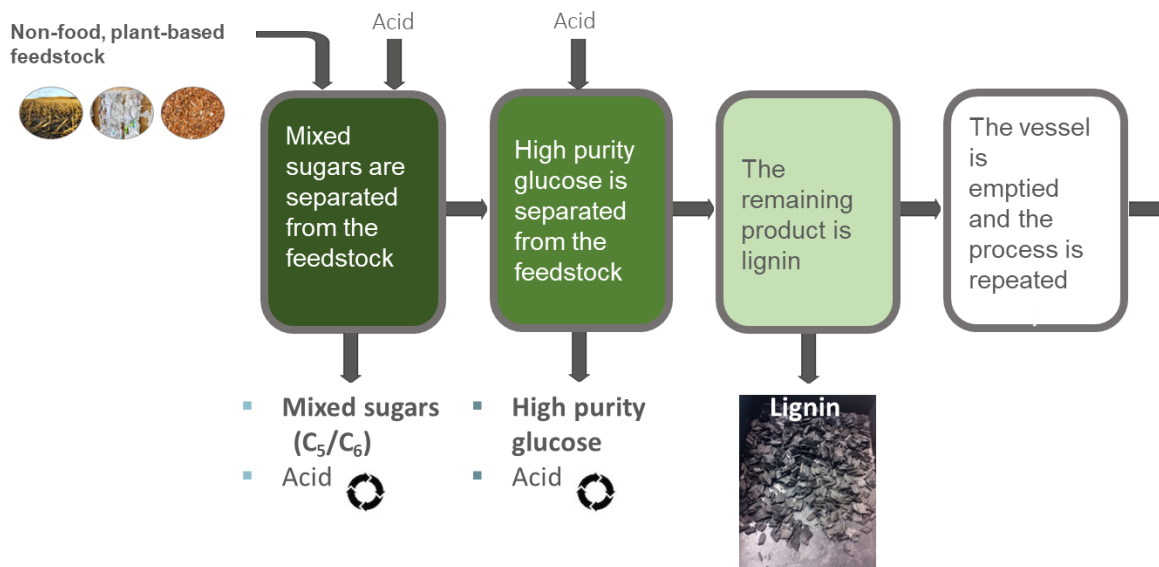
## 2.3 Behaalde resultaten

### 2.3.1 Selectie en aankoop commerciële lignine

De betrokken partners, AKC, WFBR, Roelofs en H4A hebben de commercieel verkrijgbare Kraft lignine van Stora Enso is geselecteerd voor gebruik in het Chaplin-XL project. De keuze voor Stora Enso lignine is gemaakt op basis van eerdere ervaring met deze lignine en de goede beschikbaarheid. De aankoop van de lignine die nodig was voor de aanleg van de proefstroken in Vlissingen en Groningen is gedaan door H4A.

### 2.3.2 Productie Dawn Technology lignine

De productie van HCl lignine vond plaats in de proeffabriek van Avantium in Delfzijl. Een schematisch overzicht van het Dawn Technology proces van Avantium is weergegeven in Figuur 2. De basis voor de Dawn Technology is het Bergius-Rheinou proces waarbij hydrolyse van biomassa plaatsvind met geconcentreerd zoutzuur. In de Dawn proeffabriek, vind deze hydrolyse plaats in twee stappen.



**Figuur 2 Productie van HCl lignine in het Dawn Technology proces**

De Dawn proeffabriek bestaat uit een serie reactoren die werken als een continu batch proces waarbij elke reactor geladen wordt met 30 kg houtsnippers waarvan uiteindelijk 10 kg lignine overblijft. Voor de aanleg van het proefvlak met Avantium Dawn Technology lignine in Groningen moet ongeveer 1000 kg geproduceerd worden, rekening houdend met een marge van 10% voor het gebruik van lignine voor lab schaal testen en het afwijzen van enkele reactorladingen op basis van kwaliteit is gericht op een productie van 110 reactoren. Voor de aanleg van het proefvak in dit project is alleen Dawn lignine uit dennenhout gebruikt. De productie is direct na aanvang van het project opgestart en werd afgerond in maart 2021.

Op basis van eerder projecten is bekend dat het ideale vochtgehalte van lignine voor verwerking in asfalt onder de 10% ligt en dat voor een goede mengbaarheid een zo klein mogelijke deeltjesgrootte gewenst is. Omdat drogen van deze volumes niet mogelijk is bij Avantium zijn de vaten natte lignine (Figuur 3) bij een andere partij gedroogd en vermalen. In het droogproces is het vochtgehalte van de lignine teruggebracht tot rond de 5-6% en 90% van de gedroogde lignine had een deeltjesgrootte tussen de 10 en 100  $\mu\text{m}$ . Het totale gewicht van de droge lignine die kon worden geleverd aan de asfaltcentrale is 1055 kg (Zie ook Figuur 4). Daarnaast zijn ook enkele tientallen kilo's geleverd aan AKC en WFBR voor lab schaal testen en analyses.



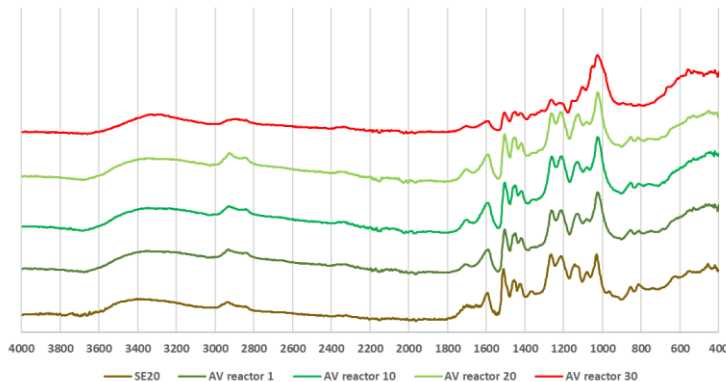
**Figuur 3 De HCl lignine voor het drogen Figuur 4 De HCl lignine na drogen**

### 2.3.3 Bemonstering en analyse van de lignine

Van de hydrolyse run 2002 uitgevoerd door Avantium in 2020 werden van verschillende reactor ladingen de samenstelling bepaald. Deze resultaten laten zien dat de kwaliteit en de zuiverheid van de lignines voldoende was en vergelijkbaar met de zuiverheid van Kraft naaldhout lignine, met uitzondering van de lignine uit reactor 30 die een heel hoog koolhydraat hoeveelheid bevat. Analyse van de pilot plant data

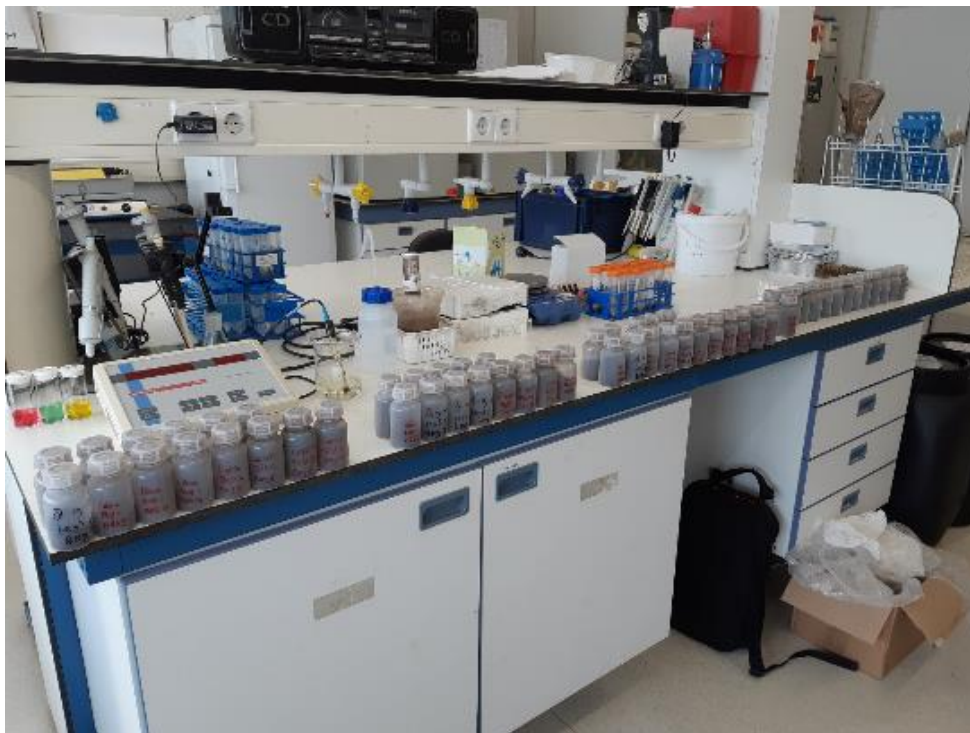
liet zien dat er een probleem was ontstaan in de niet efficiënte verwijdering van het hydrolysaat uit de reactor, waarmee een hoog suikergehalte (glucose) kan worden verklaard. Het gemengde lignine monster vanuit alle reactor ladingen laat een gemiddeld koolhydraatgehalte zien van 13%, welke gebruikt kan worden voor het testen in asfalt. Op basis van deze gecombineerde gegevens zijn in totaal 7 andere batches lignine niet meegenomen in de uiteindelijke master batch die is geleverd voor de asfaltproductie.

Verder blijkt dat de eigenschappen van de Dawn lignine sterk verschillen van de Kraft lignin, wat het beste kan worden aangetoond door de lage oplosbaarheid van Dawn lignine in een alkalische oplossing en in gebruikte NMR oplosmiddelen. De structuur van Dawn lignine is vergelijkbaar met Kraft lignine zoals bepaald met FT-IR (Figuur 5). Alle lignines werden geëxtraheerd uit naaldhout biomassa en laten herkenbare structurele signalen zien in de infra rood spectra. Vanwege de hoge concentratie koolhydraten heeft de Dawn lignine uit reactor 30 een duidelijk verschillend spectrum.



**Figuur 5 FT-IR spectra van Dawn (AV) en Kraft (SE20) naaldhout lignines**

Omdat is gebleken dat de ligninesamenstelling per reactorlading erg kan wisselen en omdat tijdens het droogproces geen goede menging van het volledige volume aan materiaal plaats vind is het moeilijk om op basis van losse metingen een gemiddelde ligninekwaliteit te bepalen. Daarom is besloten om na het drogen uit elke zak lignine een monster te verzamelen en deze monsters samen te voegen tot een mengmonster dat representatief is voor de kwaliteit van het totale volume (Figuur 6).



**Figuur 6 lignine monsters verzameld voor analyse van de lignine gebruikt in de proefstrook**

De compositie data van de master batch van HCl gehydrolyseerd dennenhout lignine laat zien dat deze lignine een hoog lignine gehalte heeft, de master batch laat een geschikte zuiverheid zien voor de toepassing als asfalt binder zoals geëvalueerd in WP2 and WP3.

## 2.4 Discussie, conclusies en aanbevelingen

De productie van de HCl hydrolyse lignine kostte veel tijd, doordat het project later begon dan in eerste instantie was gedacht kon de productie niet op tijd worden afgerond en was een verlenging van het project noodzakelijk. Dat de productiefase veel tijd kostte was niet onverwacht en heeft uiteindelijk niet veel langer geduurd dan oorspronkelijk was ingeschat. Analyse van de lignine bij WFBR heeft laten zien dat de samenstelling per reactor erg kan wisselen. Het is aannemelijk dat dit naarmate het proces verder geoptimaliseerd wordt minder zal worden. Voor toekomstige tests van lignine uit de proeffabriek zal een goede strategie voor het monitoren van de ligninekwaliteit belangrijk blijven.

## 2.5 Referenties

De data in dit rapport is gebaseerd op resultaten uit het testrapport van Jäckering Gruppe en meetdata verkregen door WFBR. De data die gegenereerd zijn binnen dit project vallen onder de afspraken die zijn vastgelegd tussen de projectpartners in de consortium agreement en overeengekomen in material transfer agreements.

# 3 WP's 2, 3 & 4: Asfalt productie & recycling, testen op lab schaal & testvakken en kwaliteitsassessment

## 3.1 Inleiding, doelstellingen & deliverables van WP's 2, 3 & 4

Deze rapportage betreft de werkzaamheden die zijn uitgevoerd in dit specifieke onderzoekstraject wat zijn voorbereiding heeft gevonden in twee voorgaande trajecten; te weten:

- de eerste ervaringen die opgedaan zijn in de praktijk in samenwerking met de WFBR (penvoerder) en H4A (uitvoerder) vanaf 2014.
- en een soortgelijk onderzoek in het kader van een TKI / BBEG subsidie traject welke in 2020 gestart is met een looptijd van twee jaar. (penvoerder WFBR)

Dit DEI+ traject met als penvoerder de Universiteit Utrecht gaat verder in de ontwikkeling met de in de twee voorgaande trajecten opgedane ervaring in asfaltdeklagen en gaat keuzes maken in op industriële schaal beschikbare lignine materialen voor toepassingen in asfaltmengsels ook voor onder- en tussenlagen. H4A was de leider van WP2 met betrekking tot asfalt productie en recycling. Roelofs was als leader van WP3 verantwoordelijk voor de coördinatie van de lab schaal asfalt testen en Realisatie Testvakken. Het Asfalt Kennis Centrum is de leader van WP 4 waarin de ontwikkeling en mengselontwerp in het laboratorium en de prestatie in de wegconstructie centraal staan alsmede de ARBO- en milieu aspecten bij de productie- en verwerking van het asfalt.

Gezien de grote mate van overlap en interactie tussen WP's 2,3 en 4 is ervoor gekozen om de doelen, werkwijze, resultaten en conclusies in één hoofdstuk samen te rapporteren.

### **De doelstellingen van WP's 2, 3 & 4 zijn:**

1. Het produceren van asfalt met lignine, in verschillende samenstellingen.
2. Ervaring opdoen met recycled asfalt i.c.m. lignine.
3. Hoe automatiseren we de productie van asfalt met lignine in de asfaltcentrale.
4. Het vinden van de juiste proefvakken op locaties van Groningen Seaports, North Sea Port en de provincies Groningen, Zuid-Holland en Noord Brabant te realiseren met de verschillende soorten asfaltmengsels welke zijn geproduceerd in WP 1 en 2. Het gaat om minimaal 4 normaal met auto/vrachtauto belaste wegvakken.
5. Het aanbrengen van proefvakken met lignine gerecycled asfalt, in verschillende samenstellingen en in alle lagen van de totale asfaltconstructie (onder-/tussen en deklaag). In alle gevallen worden tevens traditionele stroken als referentie aangelegd.
6. Ervaring opdoen met het verwerken van lignine asfalt met recycled asfalt in de onder en tussenlagen alsmede in de verschillende deklagen.
7. Ontwikkelen van AC Base en Bind mengsels met relatief hoge recycling gehaltes en vervanging van fossiel bitumen door lignine
8. Bepalen van de civieltechnische constructieve levensduur van deze asfaltmengsels en constructies m.b.v. Functionele Type Testen en VGD metingen van proefvakken.
9. Bepalen van de ARBO- en milieutechnische effecten bij de productie, verwerking en de gebruiksfase van de verschillende mengsels en constructies in de proefvakken.

### **Deliverables verbonden aan WP 2, 3 & 4:**

- Typetest(s) voor AC-mengsels.
- Productie van AC-mengsels.
- Rapport ARBO-metingen.
- Aanpassingen besturingssysteem Asfaltcentrale H4A.
- Ontwerp voor aanpassing van de Asfaltcentrale van H4A t.b.v. gebruik van lignine
- Proefvakken voor diverse metingen achteraf.

- Verwerkingsproces van lignineasfalt bij recycling van asfalt.
- Meerdere asfaltrecepten voor grovere onder- en tussenlagen en fijnere deklagen gebaseerd op AC mengsels waarvan de Functionele ontwerpparameters zijn bepaald.
- 4 constructie ontwerpen en modelberekeningen voor verschillende proefvakken op basis van volledig uit lignine asfalt opgebouwde asfaltconstructies welke vergeleken kunnen worden met standaard normaal RAW asfalt.
- Draagvermogen testen en herontwerp berekeningen van de gerealiseerde asfaltconstructies in de verschillende proefvakken.
- Rapportages inzake de ARBO- en milieu- en veiligheidseigenschappen van de verschillende mengsels en constructies.

## 3.2 Werkwijze

### 3.2.1 Ontwikkeling van geschikte proefvakken

Inzake het zoeken naar geschikte proefvakken zijn onder andere de onderstaande georganiseerde bijeenkomsten georganiseerd:

- Tijdens de expedition day op 4 maart 2020 is aan de deelnemende wegeigenaren gevraagd te zoeken naar proefvakken binnen hun areaal.
- Er is een samenwerking aangegaan met Bouwcirculair en is in november 2020 tijdens de diverse ketenbijeenkomsten (overleg van aangesloten wegeigenaren gegroepeerd per regio) een presentatie gehouden over het CHAPLIN XL programma en gevraagd een proefvak beschikbaar te stellen voor CHAPLIN XL.
- Op 1 februari 2021 was het CHAPLIN XL programma samen met RWS middels een event vertegenwoordigd tijdens de week van de circulaire economie. Ook hier zijn geïnteresseerde uitgenodigd voor het beschikbaarstelling van een proefvak.
- Op 8 april 2021 heeft CHAPLIN op de Innovatie expo gestaan en is het CHAPLIN programma toegelicht en zijn geïnteresseerd uitgenodigd voor het beschikbaarstelling van een proefvak.

Deze bijeenkomsten hebben er toe geleid dat met 11 geïnteresseerde partijen aanvullende gesprekken zijn gevoerd voor de realisatie van 1 of meerdere proefvakken. Tevens zijn bestaande opdrachtgevers van de H4A en Roelofs door de partijen benaderd en vergaande gesprekken gevoerd. Uiteindelijk heeft dit alles geresulteerd dat er bij drie verschillende wegeigenaren (opdrachtgevers) meerdere proefvakken zijn aangelegd om proefvakken aan te kunnen leggen binnen het tijdsbestek van het Chaplin XL programma, dit was mede door de pandemie die is uitgebroken een hele uitdaging maar uiteindelijk is dit door heel veel inzet toch gelukt.

### 3.2.2 Ontwikkeling van nieuwe asfaltmengsels

De ontwikkeling van nieuwe asfaltmengsels met lignine start met brainstorm- sessies. Wat hebben we al ontwikkeld? welke mengsels waren een succes, welke niet? Hierbij zit verschil in samenstelling, mengmethode en volgorde en bij welke temperaturen. We zijn met de bestaande asfaltmengsels aan de slag gegaan eerst op lab schaal zowel bij H4A als bij AKC.

Dat start met asfaltkernen (lab), vervolgens proeven gedraaid met de asfaltcentrale. De eerst mengsels hadden onvoldoende samenhang. Op 4 november zijn er wat proefvakken aangebracht op de Europaweg Zuid, zowel fietspaden en een parkeerstrook voor vrachtauto's. Daaruit bleek dat het mengsel niet tegen wringend verkeer van vrachtwagens bestand bleek.

We hebben samenstelling, mengvolgorde, mengtijd maar vooral temperatuur aangepast. Wat uiteindelijk resulteerde in een kwalitatief goed mengsel en dat vervolgens aangeboden voor de CE-typetest bij AKC, dit mengsel presteerde goed en is dus een gecertificeerd AC-mengsel.



Bij het ontwikkelen van nieuwe asfaltmengsels is vooral gefocussed op de ontwikkeling van AC Base en Bind mengsels met relatief hoge recycling gehalten en vervanging van fossiel bitumen door lignine. Dit levert een "longlist" op van mengsels die onderzocht zijn met de diverse recepten en functionele technische eigenschappen die toegepast kunnen worden in volledig uit lignine/bitumen opgebouwde asfaltconstructies.

Voor verdere aanpassing van de asfaltcentrale van H4A hebben we bij Amann offerte opgevraagd. We zijn eerst in overleg gegaan, hebben de veiligheid- en productspecificaties besproken. Vervolgens zijn ze op werkbezoek geweest om te kijken hoe het praktisch te realiseren is. Vervolgens hebben ze een constructieberekening en ontwerp en gemaakt en offerte aangeboden.

### 3.2.3 Bepalen van de Civieltechnische constructieve levensduur van asfaltmengsels en constructies m.b.v. Functionele Type Testen en VGD metingen van Proefvakken

Met de technische eigenschappen van de onderzochte lignine/asfalt mengsels zijn uit de "long list" uit de vorige sectie een aantal mengsels gekozen welke in constructies zijn doorgerekend. Dit geeft als output een constructie welke met een standaard ontwerplevensduur van 20 jaar een bijbehorende verkeersbelasting kan dragen. Deze volledig uit lignine houdend asfalt opgebouwde constructie is daadwerkelijk gerealiseerd en doorgemeten met VGD metingen. Hieruit zijn de bovengenoemde eigenschappen en gerealiseerde kwaliteit en draagvermogen in de praktijksituatie met deze gerealiseerde wegconstructie bepaald.

Opmerking: De volledig uit lignine houdend asfalt opgebouwde constructie is in Zeeland uitgevoerd op een ontsluitingsweg in het havengebied van Vlissingen (North Sea Port). De beoogde constructie in Groningen is niet volledig van de ondergrond af aan opgebouwd en betreft een onderhoudsmaatregel voor een bestaande provinciale weg (nieuwe deklaag) met een versterkingslaag (tussenlaag vervanging). Deze twee lagen zijn met lignine houdende asfaltmengsels uitgevoerd. Op zo'n onderhoudsmaatregel kan niet op soortgelijke wijze het draagvermogen van specifiek lignine houdend asfalt bepaald worden (hiervoor is ook een lignine houdende onderlaag nodig en deze zit niet in deze constructie).

In de realisatiefase van de proefvakken in WP 2 en 3 zijn door H4A en Roelofs keuzes gemaakt in overleg met hun opdrachtgevers om te komen tot mengsels en constructies. Dit betreft vooral de deklaag toepassingen van SMA en AC Surf met lignine.

Alle mogelijke asfaltproeven die normaal volgens geharmoniseerde Europese normen voor asfalt uitgevoerd (zie Bijlage 2) worden zijn ook toegepast voor lignine houdende asfaltmengsel ondanks het feit dat er eisen zijn gesteld aan de toepasbaarheid van deze asfalt en bitumennormen voor afwijkende materialen qua soort en oorsprong. Dit moet dan ook bij de interpretatie van de data altijd in het achterhoofd worden gehouden. Asfalt is gedefinieerd als een mengsel van grove en (zeer) fijne mineralen met bitumen (ook weer gedefinieerd) van (fossiele) aardolie herkomst.

Daarnaast zijn de in de Standaard RAW bepalingen 2020, Proef 62, opgenomen afwijkingen en/of aanvullingen op boven genoemde normen aangehouden. Hierbij is ook de vrijheid genomen om in het geval van lignine als vervanger voor bitumen en/of vulstof hiervan af te wijken.

In de voorgaande onderzoekstrajecten zijn vooral lab studies uitgevoerd op deklaag mengsel van SMA wat "ruimte" heeft in de receptuur om bindmiddelen uit te wisselen. In dit traject komt daar het hergebruik in onder- en tussenlagen bij (met lignine in de verschillende materiaal stromen) en de ontwikkeling van een andere standaard dichte deklaag van AC Surf met hergebruik.

Voor de geschiktheid van een nieuw type lignine begint de eerste beoordeling met de toepassing volgens een vaste receptuur in een ZOAB mengsel als "worst case" lakmoesproef. Dit is een vast onderdeel van het voorbereidende TKI/BBEG traject en levert een eerste indruk van geschiktheid.

Vervolgens wordt het lignine materiaal toegepast in een SMA of AC Surf deklaag in verschillende doseringen om zo de keus te hebben in risico niveau die mogelijk samenhangt met de aard van het proefvak en het type weg (fietspad of 100 km/uur Provinciale autoweg).

Bij de receptuur- en mix design zijn in de laboratorium studies ook al de emissies gemeten op "pilot" schaal in geometrische verhouding boven de menger, in de asfaltsilo en binnen de geluidsomkasting van een asfaltplant.

Recyclaten van standaard asfalt en/of lignine houdend oud asfalt zijn vrijgemaakt uit de weg en ingezet in de recepturen voor de Functionele Type testen die op asfaltmengsels worden uitgevoerd vooraleer ze op de weg mogen worden toegepast. Met de data uit deze testen kunnen wegconstructie ontwerpen worden gemaakt welke nodig zijn voor de aard en type wegconstructie waarvoor een proefvak beschikbaar kwam.

Deze wegconstructies zijn met de uitvoerende wegenbouwpartners in dit programma (H4A en Roelofs) en hun opdrachtgevers doorgenomen en als zodanig toegepast en begeleidt bij de uitvoering.

Voorafgaand aan de productie zijn de recepturen, gewenste temperaturen en doseertechnieken doorgesproken en afgestemd met de asfaltproducenten en vooraf zoveel mogelijk proefgedraaid om de systematiek van produceren te oefenen. Ook door Corona gerelateerde beperkingen qua reis- en verblijfmogelijkheden is dit niet altijd mogelijk geweest en is dit opgelost door telefonisch en/of digitaal overleg.

Daarbij zijn zeker nieuwe leermomenten blootgelegd en hebben geleid tot aanpassingen in de productie- en doseer technieken. Met name de sequentiële volgorde de verschillende componenten en de beperkte mogelijkheden om lignine veilig en ARBO vriendelijk in het asfaltproductie proces ingepast en gedoseerd te krijgen heeft wat faalmomenten opgeleverd. Dit blijkt cruciaal voor de kans van slagen en met name de geprofessionaliseerde doseertechniek via de Mobiele Silo van H4A geeft betrouwbare dosering op het juiste moment.

De verwerking van het asfalt is ook sterk weersafhankelijk en de dagelijkse planning laat weinig speelruimte over voor uitstel naar een beter moment. Dit geldt ook voor normaal asfalt en ook lignine houdend asfalt moet voldoende robuust zijn om hier tegen te kunnen.

Na het gereed komen van de proefvakken zijn hier zoveel mogelijk bedrijfscontroles op verricht door de laboranten van H4A en Roelofs zelf en zijn er uiteindelijk VGD metingen op een volledig uit lignine asfalt opgebouwde wegconstructie uitgevoerd.

Op de andere wegvakken met lignine SMA deklagen zijn eveneens de brandstofmetingen en textuurmetingen uitgevoerd waaruit m.b.v. correlaties uitspraken gedaan kunnen worden over stroefheid en geluid.

### 3.2.4 Bepalen van de ARBO- en milieutechnische effecten bij de productie, verwerking en de gebruiksfase van de verschillende mengsels en constructies in de proefvakken

ARBO metingen op Formaldehyde: Uit voorgaande onderzoeksprogramma's is vast gesteld dat Formaldehyde mogelijk vrij kan komen bij de toepassing van lignine in asfalt. Dit is dus de kritische parameter waarop gefocussed is bij de productie- en verwerking van asfalt. De geurproblematiek die duidelijk wordt ervaren bij het toepassen van lignine houdend asfalt is dat wat men waarneemt en hinder van ondervindt. Met een draagbare formaldehydemeter zijn de producties in het laboratorium al vooraf gesimuleerd en herhaald in de praktijk bij de grootschalige asfalt productie en de verwerking in proefvakken welke door ons zijn begeleidt en daadwerkelijk gemeten kunnen worden. Met het "managen" van de temperatuur van het asfaltmengsel en dit voldoende laag te houden (niet warmer dan strikt genomen nodig is voor de verwerking; max. 150°C) kan de geurhinder sterk beperkt worden en de formaldehyde concentratie ruim onder de grenswaarde op de werkvloer gehouden worden.

Uitbreiding naar benzeen emissies bij de Productie: De industrie in het algemeen en meer specifiek de asfalt- en bitumenindustrie is de afgelopen periode ernstig geconfronteerd geworden met overschrijdingen van de benzeen uitstoot bij de productie van asfalt. Dit is nog steeds onderwerp van (inter)nationale studie en is vooral te linken aan het recyclingproces waarbij oud vrijkomend asfaltgranulaat in zogenaamde paralleltrommels moet worden opgewarmd. De meettechniek is inmiddels bekend en voorhanden maar hiervoor zijn langdurige "Steady State" productieproces periodes nodig om dit zeer lage toegestane niveau daadwerkelijk te kunnen meten. Ligninehoudend asfalt wordt nog teveel in kleine batches geproduceerd om technisch de benzeen uitstoot te kunnen meten. Het zal dus voor de toekomst wel nodig zijn om de link (of het ontbreken daarvan) van Benzeen met lignine te kunnen duiden. Voor de overige emissie componenten zoals NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en VOC's gelden dezelfde overwegingen als voor benzeen. Ze zijn wel gemeten voor het referentie asfalt maar (nog) niet mogelijk voor kleinere producties ligninehoudend asfalt.

Veiligheid- en milieu eigenschappen van de proefvakken met lignine:

De geometrie, locatie, rijnsnelheid en andere omgevingsfactoren van de beschikbaar gekomen proefvakken hebben veelal beperkingen gegeven in het kunnen bepalen van voldoende significante data voor stroefheid en geluidemissies. Wel is via de rolweerstand / brandstofverbruik meting een relatie te leggen via de textuurmeting die bij al deze aspecten is meegenomen. Uit deze textuur meting is via een correlatie met de andere aspecten toch een ranking te maken voor de verschillende lignines in de SMA deklaag.

### 3.2.5 Metingen brandstofverbruik

Vanwege Corona gerelateerde beperkingen is het meetinstituut uit Polen niet beschikbaar geweest in de afgelopen 2 jaar. Derhalve is met een ander (Nederlands) instituut gekozen voor een door hun nieuw ontwikkelde methode om op een meer directe manier het milieuvoordeel te bepalen van de lignine deklaag. Dit gaat met metingen aan het brandstofverbruik wat anders via correlaties met de rolweerstand moet worden gelegd. Deze metingen zijn verricht kunnen worden waarbij ook voormalige rolweerstandsvakken opnieuw zijn meegenomen met de nieuwe methode om de correlatie hiermee vast te stellen.

## 3.3 Behaalde resultaten

### 3.3.1 Realisatie van proefvakken en verdere automatisering

In het kader van het CHAPLIN XL project zijn in 2020 en 2021 de volgende proefvakken aangebracht:

1. Europaweg Zuid Vlissingen van havenschap North Sea Port november 2020. Hier is een proefvak aangebracht met AC11 surf met PR en lignine (Kraft).
2. De Maltaweg in Vlissingen van havenschap North Sea Port op 25 november 2020. Op deze weg hebben zijn er drie lignine (Kraft) houdende lagen asfalt aangebracht. De onder- en tussenlaag tevens met gerecycled asfalt (PR). Er zijn 2 AC onderlagen aangebracht met PR en een deklaag van SMA. De onderlagen hebben deels gerecycled asfalt en het bitumengehalte is verlaagd, dit is gecompenseerd met lignine. Het resultaat is een kwalitatief goede weg die aan alle regulier specificaties voldoet. Voor de productie van het asfalt is de mobiele silo gebruikt waarmee we de toevoeging van de lignine prima konden doseren.
3. Industrierweg Yara te Sluiskil september 2020 Hier is een SMA deklaag aangebracht met lignine (Kraft).
4. N 987 te Siddeburen Provincie Groningen, 2 proefvakken aangebracht:
  - a. 1e proefvak: AC 16 bind met lignine (Kraft) en SMA deklaag lignine (Kraft).
  - b. 2e Proefvak: SMA deklaag lignine (Avantium).
5. Kransteenweg te Delfzijl Groningen Seaports, SMA deklaag met lignine (Kraft).

De details van de verschillende asfaltmengsel staan in sectie 3.3.2. Naast al deze proefvakken met lignine zijn er vakken aangelegd met traditioneel asfaltmengsels als referentie. We hebben alle ligninehoudende asfaltmengsels met de traditioneel gebruikte asfaltverwerkingsmachines en walsen aan kunnen brengen.

Met betrekking tot de verdere automatisering van het mengproces: de toevoeging en inbrengen van lignine in de asfaltcentrale van H4A is inmiddels geautomatiseerd; enkel het doseren van de lignine gebeurt nog handmatig. Verder zijn de aanpassingen aan de centrale zoals Amann aan H4A heeft geoffreerd, bestudeerd en ter beoordeling aangeboden aan het directieteam van H4A. Die waren van oordeel dat een investering van € 365.000,- op dit moment financieel niet mogelijk is. De oorzaak hiervan heeft niets te maken met de samenwerking. Maar zo'n investering is op dit moment niet haalbaar. De asfaltmarkt kampt met vele issues en er zullen landelijk nog een paar asfaltcentrales sluiten. Dus vanwege de onzekere markt zal H4A momenteel geen grote investering doen aan de asfaltcentrale.

### 3.3.2 Ontwikkeling van asfaltmengsels met vervanging van fossiel bitumen door lignine

Bij de ontwikkeling van asfalt mengsels is de keuze voor de lignine soorten bepaald op basis van beschikbaarheid en volume op industrieel niveau. Zo is de keuze voor de meest relevante Kraft lignine gevallen op het product van Stora Enso, geleverd via H4A. Dit product is ruim voorhanden en het experiment betrof vooral de toepassing in AC mengsel voor surf, tussen- en onderlagen in combinatie met recycling van asfalt en lignine asfalt in zogenaamde PR mengsels.

Daarnaast heeft Avantium hun lignine product uit het zogenaamde "Dawn" proces ter beschikking gesteld wat in hun pilot plant is geproduceerd gedurende de looptijd van dit traject. Dit is dus een experimenteel lignine wat op beperkte schaal verkrijgbaar kwam.

Deze mengsels zijn allen samengevat in een "long list" waarbij de uitkomsten vaak aanleiding gaven voor aanpassing van de receptuur en of vervangingsgraad van bitumen.

Deze "long list" staan in Tabel 2 en Tabel 3 opgesomd<sup>1</sup>. Van deze long list is een keuze gemaakt voor toepassing in proefvakken naar rato van toepasbaarheid voor aard en type van de wegverharding. Van deze toegepaste mengsels is het zogenaamde "verkorte verslag" opgesteld waarop de asfaltproducent normaal gesproken zijn CE markering baseert<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Voor een overzicht van alle onderliggende rapporten en verdere informatie die beschikbaar is, zie Bijlage 3 Lijst met achterliggende verslagen.

**Tabel 2 Ontwikkeling van AC Surf, Base en Bind mengsels met relatief hoge recycling gehalten en toepassing met Kraft lignine**

Nr:	Type mengsel	Welke laag	PR gehalte	% bitumen vervanging	Toegepast in proefvak:
			%	Hoog/medium/laag	Locatie omschrijving/plaats
1*	AC 11	Surf	30	Hoog	NIET toegepast in proefvak
2	AC 11	Surf	30	Medium	Uitvoeger op Europaweg Noord Zeeland
3	AC 22	Base	50	Hoog	Maltaweg Zeeland (3 laags compleet)
4	AC 16	Bind	25+25 Lign.	Hoog	Maltaweg Zeeland (3 laags compleet)
5*	AC 11	Surf	30 Lign.	Laag/Medium	NIET toegepast in proefvak
6	AC 16-22	Base-Bind	50	Hoog	Siddeburen

\*) Mengsels 1 en 5 zijn NIET toegepast in proefvakken door falende test resultaten. Mengsels zijn aangepast in receptuur met verlaging van het lignine gehalte of overdosering van bitumen.

**Tabel 3 Ontwikkeling van SMA mengsels met vervanging van bitumen door Dawn lignine van Avantium en Kraft lignine van Stora Enso**

Nr:	Type mengsel	Welke laag	lignine soort	% bitumen vervanging	Toegepast in proefvak
			Hout of Proces		
7*	SMA 11	deklaag	Aspen	Medium	NIET. Tevens is deze lignine in het kader van het CHAPLIN TKI project getest, niet CHAPLIN XL. We vermelden het hier voor de volledigheid.
8*	SMA 11	deklaag	Pine 1	Medium	Batches opgemengd in nr.10
9*	SMA 11	deklaag	Pine 2	Medium	Batches opgemengd in nr.10
10*	SMA 11	deklaag	Pine 3	Medium	Siddeburen
11	SMA 11	deklaag	Kraft	Medium	Siddeburen
12	SMA 11	deklaag	Kraft	Hoog	Groningen Seaports
13	SMA 11	deklaag	Kraft	Medium	Diverse testtrials in ZL: Frankrijkweg, Engelandweg, Yara toegangsweg, Europa weg.
14	SMA 11	deklaag	Kraft	Medium	Oostkade Sluiskil

\*) mengsels 7 t/m 10 zijn gemaakt met lignine van Avantium (Dawn proces)

Met de kennis die we in het verleden hebben opgedaan is het mogelijk gebleken om max. 50% van het bindmiddel te gaan vervangen door BioBased materiaal in de vorm van lignine. Deze ervaring is vooral opgedaan in de SMA recepturen reeks.

### 3.3.2.1 Ontwikkeling van een deklaag; AC Surf met 30% hergebruik van oud asfalt en lignine als bitumenvervanger

Er zijn drie mix design recepturen ontwikkeld en getest in een AC Surf 11 met 30% standaard hergebruik van asfalt. (Vanwege circulariteit en economie is dit DE standaard in Nederland voor AC Surf mengsels.) De grenzen van wat maximaal haalbaar is als biobased bitumenvervanging is onderzocht en uit een eerste te hoog gegrepen gehalte is mengsel 2 ontworpen en getest welke het maximaal haalbare blijkt te zijn (30% bitumenvervanging i.p.v. 50%).

Ook hergebruik van lignine houdend oud asfaltgranulaat als hergebruikmateriaal is getest (nr.5) in deze geoptimaliseerde samenstelling maar ook dat kent zijn beperkingen.

Met deze drie mengsels is dus de deliverable (AC Surf met lignine) gerealiseerd met extra output wat de uiterste grenzen zijn aan vervangingsgraad<sup>1</sup>.

### 3.3.2.2 Ontwikkeling van AC Base en Bind mengfels met relatief hoge recycling gehalten en vervanging van fofiel bitumen door lignine

Hiervoor zijn drie mengfels ontwikkeld (nr's 3, 4 en 6) welke met de kennis uit de deklaag samenstelling wel tot een hogere vervangingsgraad komen. Met de noodzakelijk hoge recyclinggehalten is er al veel oud bindmiddel aanwezig en kan het nieuw toe te voegen bindmiddel voor een groter deel uit lignine bestaan (60-70%).

Deze deliverable is dus zeker gehaald en ook in deze mengfeltypes is aangetoond dat de helft van het asfaltgranulaat ook uit lignine houdend recyclingmateriaal kan bestaan. Dit is dus extra output voor dit onderdeel van het project.

De mengfelkeuzes voor de proefvakken van H4A in Zeeland en Roelofs in Groningen zijn samen met hun gemaakt en deze wisselwerking heeft geleid tot succesvolle toepassing in hun proefvakken. Voor Roelofs is een aparte tussenlaag ontwikkeld die hierbij ook is toegepast. De extra output hierbij is vooral opgedaan bij de asfaltcentrale van Roelofs (APW in Westebroek) die nog niet eerder met lignine heeft geproduceerd. Dit wordt verder besproken bij de ARBO zaken.

### 3.3.3 Bepalen van de Civieltechnische constructieve levensduur van deze asfaltmengfels en constructies m.b.v. Functionele Type Testen en VGD metingen van Proefvakken

Met de technische ontwerpparameters welke in de data van de testresultaten van de functionele type testen gegenereerd zijn is een aantal standaard constructies doorgerekend voor het proefvak op de Malta weg van H4A. Dit proefvak betreft een drielaagse asfaltconstructie op een steenfundering welke op een ondergrond van opgespoten zand ligt. De civieltechnische draagvermogen eigenschappen van de onderbouw zijn dus bekend alleen de andere benodigde gegevens omtrent de te verwachten verkeersbelasting is nog onbekend. Het is een doodlopende weg welke een achterliggend gebied ontsluit wat in de toekomst ingericht kan worden door een op- en overslagbedrijf of een andere industriële activiteit.

Derhalve zijn er voor drie arbitrair gekozen (op onze ervaring gebaseerd voor dit soort omgevingen) verkeersbelastingen (vrachtwagen aantallen per etmaal) standaard constructies en de constructie met een onderlaag lignine houdend asfalt doorgerekend qua dikte en levensduur (tussen- en deklaag nog even standaard/normaal gehouden), zie Figuur 7.

		250 vrw/etm	350 vrw/etm	500 vrw/etm
<i>Conventioneel</i>	benodigde dikte [mm]	170	188	200
	aan te brengen dikte [mm]	170	190	200
	AC 11 surf [mm]	35	35	35
	AC 16 TL [mm]	50	50	50
	Stand CROW OL 2 [mm]	-	<b>50</b>	<b>55</b>
	Stand CROW OL 1 [mm]	<b>85</b>	<b>55</b>	<b>60</b>
		250 vrw/etm	350 vrw/etm	500 vrw/etm
<i>Lignine based</i>	benodigde dikte [mm]	169	183	192
	aan te brengen dikte [mm]	170	185	195
	AC 11 surf	35	35	35
	AC 16 TL	50	50	50
	AC 22 Lignine OL 2	-	<b>50</b>	<b>50</b>
	AC 22 Lignine OL 1	<b>85</b>	<b>50</b>	<b>60</b>
<u>Totaal benodigde asfaltconstructiedikte</u>				
		<b>250 vrw/etm</b>	<b>350 vrw/etm</b>	<b>500 vrw/etm</b>
<b>Conventioneel</b>		170 mm	188 mm	200 mm
<b>Lignine based</b>		169 mm	183 mm	192 mm

**Figuur 7 Doorrekening van standaard constructies en de constructie met een onderlaag lignine houdend asfalt**

Uit deze eerste berekeningen volgt dat lignine houdend onderlaag asfalt minimaal gelijkwaardig is qua draagvermogen aan normaal standaard asfalt met fossiel bitumen.

Met de ontworpen onder- en tussenlaag mengsels is het dus mogelijk constructieontwerpen te maken waarmee ook deze deliverable gerealiseerd is. Sterker nog met de drie variabele verkeersbelastingen is zichtbaar geworden dat voor hogere verkeersintensiteiten er wat reserve ontstaat in de constructie als men kijkt naar het werkelijk benodigde aantal mm's dikte (bij 250 stuks nog 1 mm verschil en bij 350 en 500 stuks resp. 5 en 8 mm reserve in de dikte). Dit is dus extra inzicht en output wat anders niet zichtbaar wordt.

Echter er is om andere redenen gekozen om hier toch nog van af te wijken door de onderlaag geen 85 mm of nog dikker te maken maar deze te reduceren tot 60 mm. Dit is mogelijk voort gekomen uit nieuwe input of beperkte hoogteligging van de weg t.o.v. de bebouwde omgeving. Ook de tussenlaag data met lignine zijn inmiddels bekend en hierin doorgerekend<sup>1</sup>.

Het "voorontwerp" is dus bekeken en omgebouwd naar een "definitief" ontwerp wat gebouwd kan worden binnen de gegevens kaders van hoogtes, budgetten en andere zaken. Dit is vaak de dagelijkse praktijk tussen wegbeheerders als opdrachtgever die iets gebouwd willen hebben door een aannemer als opdrachtnemer. "Als het niet kan zoals het moet dan moet het maar zoals het kan". Er zijn dus nog aanvullende constructie berekeningen nodig geweest om de "As Build" situatie te berekenen qua verkeersbelasting c.q. ontwerp levensduur<sup>1</sup>.

### 3.3.4 Bepalen van de ARBO- en milieutechnische effecten bij de productie, verwerking en de gebruiksfase van de verschillende mengsels en constructies in de proefvakken

Uit eerder ARBO onderzoek door H4A (bijlage H4A arbeidshygiënist<sup>1</sup>) is gebleken dat bij de verwerking van lignine houdend asfalt formaldehyde kan vrijkomen. Het was op dat moment onduidelijk waar dit vandaan komt en heeft toen geleid tot een uitgebreid laboratorium onderzoek waarbij diverse soorten en merken lignines zijn opgewarmd als puur product in een laboratoriumopstelling waarbij een vaste hoeveelheid in een zogenaamde Rotavapor (Ronddraaiende glazen kolf welke in een oliebad gecontroleerd in temperatuur kan worden opgevoerd). Er worden dan ook maalkogels toegevoegd om te voorkomen dat het lignine in de smeltfase gaat samenklonteren. Via de hals van de kolf kan dan een gassonde worden ingebracht die de vrijkomende damp opzuigt naar het meetapparaat.

Op die manier is vast gesteld dat er verschil zit in lignine soorten en er soms meer of minder wordt gemeten. Met name bij iets verhoogde vochtgehaltes (paar procent waarbij het ligninepoeder nog steeds droog aanvoelt) komt er meer formaldehyde vrij (bijlage lab studie emissies ARBO<sup>1</sup>).

Uit literatuuronderzoek blijkt dat formaldehyde een afbraakproduct is dat vrijkomt bij de dehydrogenering van methanol. Of er methanol in lignine producten of in fossiel bitumen zit is onbekend maar er is wel een grote vochtvorming en afscheiding waargenomen bij de productie en opslag van lignine houdend asfalt.

Uit het onderzoek is ook gebleken dat de temperatuur van lignine houdend asfalt bepalend is voor de mate van geurhinder en ook Formaldehyde vorming. Er wordt door ons een geadviseerde max. temperatuur van 150°C aangehouden. Bij 130°C is het asfalt voldoende "soepel" om goed verwerkt en verdicht te kunnen worden.

In de ARBO studie voor dit project op industriële schaal zijn dezelfde meetprotocollen gebruikt en hebben laten zien dan onder de geadviseerde asfalttemperatuur er beperkte geurhinder was. (vuistregel uit de bitumenindustrie: elke 10°C temperatuurverlaging levert een halvering van de dampemissie) Daarbij is onder alle omstandigheden de concentratie nooit boven de grenswaarde gekomen. Deze grenswaarde is door Nederland vast gesteld op max. 0,15 mg/m<sup>3</sup> voor een 8 uren gemiddelde met 0,5 mg/m<sup>3</sup> als 15 min. Piek. (T.o.v. andere Europese landen is dit extreem laag. (Fin, Zwe, Zwi: 0,37 – Nor: 0,6 en UK: 2,5 ! mg/m<sup>3</sup>),

Echter een arbeidshygiënist zal altijd de 10% waarde van de grenswaarde aanhouden als een veilige werkomgeving (zoals al eerder gezegd zijn er niet zo heel veel slechtere condities nodig om de dampconcentratie snel te doen laten stijgen.). Daarom is er een uitgebreide voorstudie verricht bij de mengselbereidingen in het laboratorium waarbij de concentratie is gemeten op verschillende locaties tijdens de proef. Met een pilot opstelling is de situatie nagebootst op verschillende andere plekken in het productie proces bij een asfaltinstallatie. De "headspace" / massa (lucht/massa) verhouding is hierbij geometrisch gevolgd. Zo zijn er metingen verricht op de volgende locaties:

- boven de menger (als afgesloten ruimte).
- in de opslag silo (met een nagenoeg geheel met asfaltmassa gevulde afgesloten ruimte).
- In de binnenruimte van de geluidsomkasting van een asfaltcentrale.
- Bij de verwerking van het asfalt met de hand in een mal van 0,5 m<sup>2</sup> en het walsen ervan.

Deze ARBO deliverable is dus in zijn geheel gehaald en heeft gezorgd voor een veilige werkomgeving en een sterk verminderde geurhinder. Als extra output kan gesteld worden dat bij de verificatie metingen aan asfalt ZONDER lignine ook met tijd en wijle dezelfde concentraties aan formaldehyde gemeten zijn. Ook fossiel bitumen is net als lignine een organische stof waarin reactieve groepen kunnen voorkomen die eerder genoemde dehydrogeneringsreacties kunnen vertonen en (form)aldehydes kunnen vormen.

De andere emissies die genoemd zijn zoals CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NOx en PAK zijn vanwege hun aard en niveau geen ARBO bepalende omstandigheden maar meer gerelateerd aan het productie proces. Zoals eerder genoemd is daar door de actuele ontwikkeling in de industrie nog als extra stof benzeen bij gekomen en ook hierop is geacteerd moeten worden. Gedurende de looptijd van dit project zijn er twee keer emissiemetingen uitgevoerd welke de noodzaak voor verdere optimalisatie van het productie proces



hebben opgeleverd. Wederom is het gelukt om met een goed temperatuurmanagement protocol voor met name het hergebruik in een paralleltrommel de uitstoot van deze stoffen te reduceren en onder de grenswaarde van zelfs de met 80% verlaagde norm voor benzeen (1 mg/ Nm<sup>3</sup> t.o.v. 5 mg/Nm<sup>3</sup> vroeger) uit te komen. De eerste meting liet 4,9 mg/m<sup>3</sup> benzeen zien (dus juist volgens de oude norm) en met het aangepaste protocol ruim onder de 1 mg/Nm<sup>3</sup>. Dit is alleen op normaal asfalt gemeten kunnen worden. Ligninehoudend asfalt is te gering van omvang qua productiehoeveelheden waardoor er geen "Steady State" situatie is te creëren waarbij er gemeten kan worden. formaldehyde is (nog) geen emissie component tot nu toe en de apparatuur waarmee emissies gemeten worden kunnen deze stof (nog) niet detecteren. Hiervoor zal een aparte "sensor" of meettechniek ontwikkeld moeten worden om continue en on line data te generen. Onze ARBO meter is een batchgewijs werkend apparaat wat niet continue data genereert en dus achteraf kan worden uitgelezen per vaste (te) korte tijdseenheid (zie bijlage rapportage SGS en EmissionCare / AKC<sup>1</sup>).

Deze deliverable is dus geheel anders ingevuld geworden qua inhoud en samenstelling en heeft aangetoond dat we een nieuwe emissie uitdaging, zoals benzeen, het hoofd hebben kunnen bieden.

De veiligheids- en milieuaspecten van de gerealiseerde proefvakken zijn van een aantal grotere proefvakken direct al dan niet indirect gemeten kunnen worden.

Voor de stroefheid van wegdekken kan verwezen worden naar metingen uit het verleden waarbij ervaring is opgedaan met de zogenaamde vroegtijdige aanvangsstroefheid die bepalend is voor het veilig openstellen van een nieuwe top laag op een asfaltweg. De wegbeheerders (met name RWS op autosnelwegen) willen geen borden meer plaatsen om zich juridisch "in te dekken" met de tekst "Nieuw wegdek: Langere remweg !" (Zie KIWA rapport Oostburg Bijlage<sup>1</sup>)

Het stroefheidsprobleem wordt veroorzaakt door het zogenaamde "Bituplaning". Hierbij smelt het bitumen (wat nog op de toppen van de steen zit) onder de wrijvingswarmte van een blokkerend remmend wiel. Dit wordt dan ook als zodanig uitgevoerd. Echter de geometrie en de lengte van de proefvakken maken dit niet mogelijk. Er moet met een hard rijdende personenauto met meetapparatuur ongehinderd hard en blokkerend geremd kunnen worden zoals bij een noodstop situatie. Het meetinstituut vereist een absolute obstakelvrij zone en een aanloopstrook van enkele honderden meters om snelheid te maken en in het wegvak mogen geen bochten, bomen, woningen of viaducten zitten. Geen van de gerealiseerde proefvakken voldoet hieraan. Derhalve is besloten de stroefheid te beoordelen op de textuur van het asfalt wat een correlatie heeft met stroefheid in het algemeen. Met extra textuur diepte is er meer water- en vuilbergend vermogen wat op plattelandswegen in Zeeland en Groningen ook een belangrijke factor is.

Dit zelfde geldt voor de geluidsaspecten. Ook hier moeten meetvoertuigen "ongestoord" qua achtergrond- en reflectie geluid kunnen doorrijden bij hogere snelheid. Ook met meetmicrofoons naast de weg kan er op deze wegvakken niet volgens de norm (ongestoord) gemeten worden. Met de textuurdiepte meting kan er wel met een correlatie met andere wegvakken een uitspraak worden gedaan over de potentie om geluid te reduceren met lignine als bindmiddel in asfaltdeklagen.

Met deze textuurdiepte meting is gebleken dat met name Stora Enso goede positieve resultaten laat zien wat correleert met eerdere stroefheids- en geluidsmetingen in het verleden opgebouwde data.

Zetten we hier Avantium lignine naast dan blijkt dat de textuur van dit asfalt eerder lager is dan gelijkwaardig aan Stora Enso en dus minder potentie heeft om "beter" te zijn dan. De eigenschappen voldoen overigens wel aan het niveau van normaal asfalt met fossiel bitumen en dit is voor algemene toepassing voldoende.

De oorzaak moet mogelijk gezocht worden in de volumetrische eigenschappen van het bindmiddel waarbij met name de dichtheid (ook na insmelting in bitumen) mogelijk anders is van niveau waardoor bij eenzelfde minerale samenstelling van het asfalt de textuur meer of minder diep is als gevolg van minder volume van het bindmiddel.

Voor wat betreft de rolweerstand is bij gebrek aan een ondersteunend meetinstituut samen gewerkt met een nieuw (inter)nationaal ontwikkeld meetsysteem om op een andere meer directere manier het brandstofverbruik van een rijdend voertuig te meten. Dit aspect is wat men uiteindelijk wil weten en de rolweerstand was daar een "natuurkundige" maat voor. Echter windsnelheid en richting t.o.v. het meetvoertuig alsmede de helling in dwars- en langsrichting worden nu veel beter en "integraal" meegenomen als randvoorwaarde voor een nauwkeurige meting.

Met deze en oudere "eigen" meetgegevens kan een goede correlatie worden opgebouwd die we samen met het Nederlandse meetinstituut zullen delen om zodoende hun kennis te integreren in onze resultaten. (Zie rapport M+P en grafiek in Bijlage<sup>1</sup>)

## 3.4 Discussie, conclusies en aanbevelingen

### 3.4.1 Algemene conclusies en reflecties

We hebben geleerd hoe we een duurzaam en kwalitatief goed asfaltmengsel kunnen maken, met de juiste samenstelling en temperaturen. De mengvolgorde in combinatie met temperatuur is cruciaal gebleken -zie sectie 3.4.2. Deze verhoudingen hebben we geoptimaliseerd zo ook het ligninegehalte.

Het produceren als ook het verwerken van de lignine houdende asfaltmengsels heeft niet tot grote problemen geleid. We hebben met enkele kleine aanpassingen aan de asfaltverwerkingsmachine (lees instellingen) het lignine houdende asfalt goed kunnen verwerken alsmede aan de gewenste kwaliteitseisen voldoen. Als het lignine gehalte te hoog is ontstaat er steenverlies (rafeling). Bij (te) hoge temperatuur verbrand de lignine 170gr+ waarbij er ook een scherpe geur en rookvorming ontstaat. We hebben het proces nu goed onder controle.

We hebben het productieproces verder geautomatiseerd - de toevoeging van lignine is geautomatiseerd in de H4A asfaltcentrale. Alleen voor het doseren is er nog een man nodig die de klep bedient. De investering om het proces volledig te automatiseren is op dit moment te hoog.

We hadden ook willen testen met nieuwe lignines is helaas niet gelukt in verband met de beperkte beschikbaarheid. Het uiteindelijke doel is een asfalt te ontwikkelen zonder bitumen, dat zal niet lukken met alleen lignine als alternatief bindmiddel.

We kunnen concluderen dat het ligninehoudend asfalt als ook ligninehoudend pr asfalt goed in alle asfaltlagen verwerken en verdichten met de huidige asfaltverwerkingsmachines en walsen. Er is voldoende belangstelling van opdrachtgevers om proefvakken aan te brengen maar door de tijdspad waarin we dit moesten realiseren was het een hele uitdaging mede oorzaak was dat het uitbreken van Covid 19 hiervoor was dan ook uitstelling aangevraagd.

Reflectie op organisatie en samenwerking: De samenwerking met zoveel deelnemende partijen van wetenschappelijk onderzoek naar toegepaste technologie en uitvoering van proefvakken vereist een goede overleg structuur om de inhoud en uitvoering van de verschillende werkpakketten goed op elkaar af te stemmen. Deze rol is door de penvoerder (en zijn collega's), met alle beperkingen door corona, goed opgepakt door de meetings digitaal te gaan doorzetten en deze zijn door alle partijen steeds goed vertegenwoordigd. Enige herhaling in de tussentijdse presentaties van de verschillende voortgangsmomenten waren dan ook wel aan de orde. (maar "Repetition is the Mother of Learning" geldt ook hier!).

Reflectie op verwachtingsmanagement en communicatie: We hebben vooral geleerd dat een goede communicatie met de promotors van de biobased technologie en stakeholders en overheden in de markt goed moet worden afgestemd met de marktpartijen die het moeten uitvoeren. Belangenafwegingen moeten steeds gemaakt worden en de verwachtingen over wat er met lignine allemaal wel of niet kan moeten waargemaakt kunnen worden. Ook binnen de uitvoerende partijen met hun asfaltinstallaties is

nog wat "zendingswerk" te doen. Zo is de vrachtauto silodoseerunit van H4A beperkt ingezet, maar is (voor diverse redenen) bij andere asfalt-producenten de ARBO onvriendelijke zakkendosering gebruikt.

### 3.4.2 Lessen met betrekking tot de meng- en doseervolgorde

De meng- en doseer volgorde die wij op het ontwikkelingslaboratorium hebben bedacht (op basis van good laboratory practice uit decennia lang asfaltonderzoek) moet ook bij de productie van asfalt gevolgd worden. In een enkel geval is dit onvoldoende gevolgd en ligt aan de basis van een slechte doormenging met minder samenhang van het uiteindelijke asfaltmengsel. Dit is mogelijk één van de redenen van vroegtijdig falen van een enkel proefvak. Dit komt er dan versnelt uit als het proefvak dan ook nog overbelast wordt. Dit betreft o.a. een vak met AC surf in het Havengebied van Zeeland. Met de kennis en ervaring opgebouwd met lignine in SMA is ook de andere te ontwikkelen deklaag AC Surf aangevlogen maar dat mengsel laat minder "ruimte" in het recept om bitumen te kunnen vervangen door lignine. Mengsel (nr 1) uit eerder genoemde tabel laat zien dat 50% vervanging dus te hoog gegrepen is. AC Surf is een "schraler" (minder vet) mengsel dan een SMA en vanuit die ervaring is het mengsel opnieuw ontworpen met een lager gehalte aan biobased vervanging. (nr: 2)

Dit mengsel voldoet wel aan de gestelde functionele eisen voor duurzame toepassing in een asfaltdeklaag. Deze is echter toegepast geworden op een uitvoeger van een zwaar belaste industrieweg wat vervolgens toch helaas leidde tot vroegtijdige schade. Dit was meer het gevolg van het feit dat een AC Surf mengsel in het algemeen NIET voor deze toepassing geëigend is en derhalve faalde. Een meer robuustere deklaag (SMA met een steenskelet) is hiervoor de juiste keuze.

Een AC Surf mengsel (met en zonder lignine) is dus een deklaag die geëigend is voor lagere orde wegen zoals fiets- en voetpaden, woonstraten, parkeerterreinen voor personenauto's en erftoegangswegen in het buitengebied mits deze niet te zwaar worden belast door landbouwverkeer.

Het is onduidelijk of dit vooraf bekend was dat deze uitvoeger (on)eigenlijk gebruikt zou worden door vrachtauto's om daar langdurig te gaan parkeren en zodoende met veel wringende stuurbewegingen containertrailers aan- en af te koppelen.

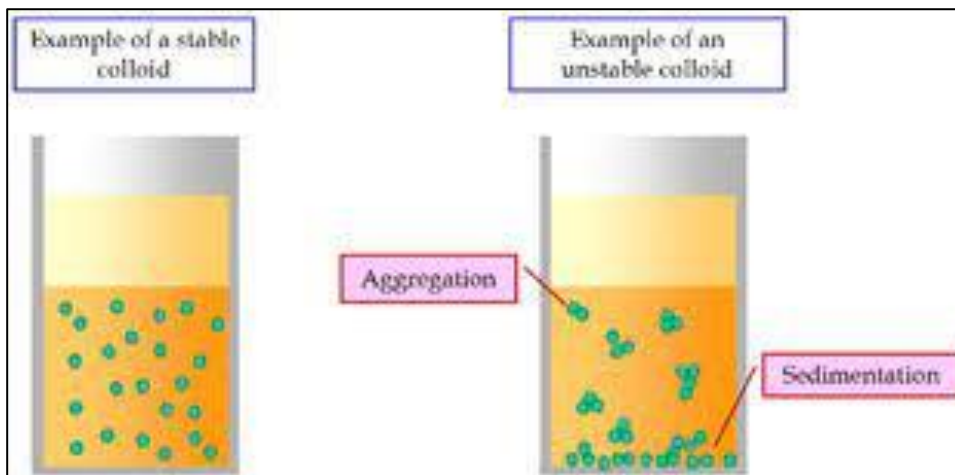
Al met al een leerzaam moment om de performance en reserves van asfaltmengsels (met en zonder lignine) te (her)ontdekken. Het is vooral een leermoment voor de uitvoerende partij geweest (H4A) om vooraf het programma van eisen goed te bestuderen en de juiste mengselkeuze te maken. Mengsel (nr 12) uit de eerder genoemde tabel (SMA 11 met een hoog vervangingsgehalte zonder overdosering van het bindmiddel) wat verwerkt is in het proefvak van Groningen Seaports is weliswaar goed gemengd en geproduceerd en vervolgens normaal verwerkt waarbij wel moet worden opgemerkt dat het bereidde materiaal meer dan normaal in de opslagsilo heeft gezeten. (> 8 uur). Dit asfalt was niet van voldoende kwaliteit, vertoonde een gevlekte textuur (zie Figuur 8) en is na een week alsnog vervangen.



**Figuur 8 Foto van het asfalt gelegd in het proefvak van Groningen Seaports met gevlekte textuur.**

### 3.4.3 Verder onderzoek met betrekking tot de homogeniteit en insmelting van lignine in bitumen

De homogene doormenging en insmelting van lignine in bitumen moet worden vastgesteld wat voor soort mengsel dat uiteindelijk in asfalt wordt. Is het een zogenaamd colloïdaal vloeistofsysteem; zoals bitumen met "vaste" asfalteneen in een vloeibare malteenfase, versus een vaste stof/vloeistof suspensie zoals bitumen/vulstof mastiek. Dit fundamentele aspect moet dan ook voor de toekomst verder onderzocht worden met een stuk fundamenteeler onderzoek (zie Figuur 9 voor het basis principe model).



**Figuur 9 Voorbeeld van een stabiel en onstabiel colloïdaal vloeistofsysteem.**

# 4 WP 5 CO<sub>2</sub> Besparingspotentieel, duurzaamheid en circulariteit

## 4.1 Doelstellingen & deliverables van WP 5

Het doel van WP5 is het bepalen van CO<sub>2</sub> reductie door het gebruik van lignine in asfalt, en een gedetailleerde evaluatie van de duurzaamheidsprestaties van biobased en circulair asfalt ten opzichte van conventioneel asfalt over de gehele levenscyclus. Hiervoor is het werk verdeelt in drie taken:

- **WP5.1 Levenscyclus analyse (LCA)** geeft inzicht in de milieuprestaties van verschillende circulair en biobased asfalt alternatieven m.b.v. een vergelijkende LCA studie. De studie bevat een gedetailleerde analyse van lignine uit bioraffinage in Nederland.
- **WP5.2 Economische verkenning** evalueert de economische prestaties en impact van circulair en biobased asfalt (kosteneffectiviteit, haalbaarheid en economische impact).
- **WP5.3 Duurzaamheidsevaluatie, circularity assessment en strategieontwikkeling.** Geeft inzicht in de circulaire prestaties biobased asfalt en aanbevelingen voor een strategisch actieplan voor de uitrol van circulair en biobased asfalt in Nederland voor het terugdringen van broeikasgassen in het kader van klimaatafspraken.

## 4.2 Werkwijze

### 4.2.1 WP5.1 Levenscyclus analyse (LCA)

#### Werkzaamheden

Voor het inzichtelijk maken van de milieuprestaties van biobased asfalt ten opzichte van conventioneel asfalt, zijn twee LCA studies uitgevoerd. LCA is de meest gebruikte methode voor het in kaart brengen van milieueffecten van producten of activiteiten over de gehele levenscyclus, van de winning van grondstoffen tot de recycling en afvalverwerking (van wieg tot graf). Voor het berekenen van de milieuprestaties is gebruik gemaakt van LCA modelleringssoftware (SimaPro).

In de eerste LCA studie worden de productieketens van lignine uit innovatieve bioraffinages in Nederland (Avantium en Vertoro) vergeleken met lignine uit de pulp- en papierindustrie (Kraft lignine). In de tweede LCA studie worden de milieuprestaties van asfalt waarin deze lignine is verwerkt in kaart gebracht en vergeleken met conventioneel asfalt. De gebruikte methode is conform de Product Category Rules (PCR) voor Bitumineuze materialen in verkeersdragers en waterwerken in Nederland (Bouwkwiteit 2019).

Op basis van de milieueffectscores uit de LCA studie, zijn de Milieu Kosten Indicator (MKI) scores berekend. Hierbij worden de milieueffect-scores omgezet in een kostenprofiel op basis van een schaduwprijsmethodiek. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een standaardlijst met preventiekosten van de van de verschillende milieueffecten. De MKI score geeft een indicatie van de vermeden milieubelasting en gerelateerde preventiekosten van biobased asfalt ten opzichte van conventioneel asfalt en andere alternatieven.

De werkzaamheden in WP5.1 zijn grotendeels conform het oorspronkelijke voorstel uitgevoerd. Omdat er uit metingen geen significant meetbaar verschil of bewijs werd gevonden in levensduur en rolweerstand, zijn deze effecten niet meegenomen in de LCA studie. Additioneel zijn berekeningen van de MKI scores berekend.

#### 4.2.2 WP5.2 Economische verkenning

Met de techno-economische analyse (TEA) zijn de kosten voor de (toekomstige) productie van lignine in Nederlandse bio-raffinaderijen Avantium (AVT) en Vertoro (VRT) berekend. Beide types lignine worden momenteel nog niet op commerciële schaal geproduceerd en dus niet verhandeld, waardoor ze nog geen marktprijs hebben. Desondanks is het van interesse of de lignine uit deze bio-raffinaderijen kan concurreren met bitumen en met lignine uit de pulp- en papierindustrie (Kraft lignine). Daarom is de verwachte lignine prijs van deze lignines berekend met als uitgangspunt dat de bio-raffinaderij van AVT of VRT een netto contante waarde (NPV in Engels) van nul behaald. Bij deze NPV wordt geen winst en geen verlies gemaakt. De berekende lignine prijs is de Minimale lignine Verkoop Prijs (MLSP in Engels) om de gehele bioraffinaderij rendabel te maken. De bandbreedte van de onzekerheid in de MSLP is berekend met een Monte Carlo analyse. De asfaltproductiekosten voor bitumen-, AVT lignine- en VRT lignine-gebaseerd asfalt zijn berekend op basis van de MLSP van lignine. Daarnaast zijn in deze berekening de productiekosten van de boven-, tussen- en onderlaag van steenmestiekasfalt (SMA), asfaltbeton (AC in Engels) en zeer open asfaltbeton (ZOAB) meegenomen.

In de LCC zijn naast de asfaltproductie kosten ook de gebruikerskosten en de kosten aan het einde van de levensduur meegenomen. De gebruikerskosten bestaan uit de onderhoudskosten voor de wegbeheerder en de brandstofkosten voor de weggebruiker. De einde levensduur kosten bestaat uit de kosten van het verwijderen van het oude asfalt voor de wegbeheerder. Het was niet mogelijk om de brandstofkosten mee te nemen in de resultaten van de LCC doordat de nauwkeurigheid van de uitgevoerde metingen niet hoog genoeg is bevonden. De relatie tussen de rolweerstand en de brandstofkosten voor de weggebruiker is wel berekend. Naast de LCC is ook een milieu LCC (ELCC in Engels) uitgevoerd. In contrast tot de LCC neemt de ELCC enkel de boven- en onderlagen asfalt mee. Deze keuze is gemaakt gezien er enkel gerecycled asfalt met lignine in de tussenlaag zit. In de ELCC worden naast de aspecten van de LCC ook de schaduwkosten van de milieu impacts, zoals berekend in de levenscyclusanalyse (LCA), meegenomen. De ELCC laat zien hoe de schaduwkosten van de milieu impacts zich verhouden tot de LCC.

#### 4.2.3 WP5.3 Duurzaamheidsevaluatie, circularity assessment en strategieontwikkeling

De gekozen methode voor het berekenen van de circulaire prestaties van biobased asfalt en conventioneel asfalt gebruik levert resultaten die complementair zijn aan de resultaten van de LCA. Er is gebruik gemaakt van een bestaande kwantitatieve rekentool voor circulariteitsprestaties van producten en materialen: de Material Circularity Index (MCI) van de Ellen MacArthur Foundation. De tool 'meet' de materiaalstromen over de levenscyclus en richt zich op de minimalisatie van lineaire stromen (bijvoorbeeld door hergebruik van asfalt in nieuwe asfaltlagen) en het behoud en herstellend vermogen van stromen (bijvoorbeeld door verlenging van de levensduur), worden gemaximaliseerd. De MCI tool geeft belangrijke inzichten voor het verduurzamen van wegverharding, maar is beperkt in het kwantificeren van circulaire prestaties biobased producten waaronder het vastleggen en de hoogwaardige recycling van biogene koolstof die is vastgelegd in producten.

Voor het kwantificeren van de circulaire prestaties van biogene koolstof, in dit geval lignine in asfalt en de recycling van lignine houdend asfalt, is daarom voor het Chaplin XL project een nieuwe set Biogenic Carbon Storage (BCS) indicatoren ontwikkeld. Dit zijn: 1) BCS over 100 jaar, 2) BCS over één enkele cyclus, en 3) Circular-BCS. Deze indicatoren geven een waarde aan het vastleggen van biogene koolstof, maar geven geen inzicht in de (vermeden) broeikasgasemissies van producten. Daarmee zijn deze indicatoren, net als de MCI, complementair aan de aan de resultaten van de LCA voor klimaatverandering.

Op basis van de inzichten uit WP5 is een afgewogen advies gegeven over het CO<sub>2</sub> besparingspotentieel, de kosteneffectiviteit en circulariteitsprestaties van biobased asfalt. De werkzaamheden in WP5.3 zijn conform het oorspronkelijke voorstel, maar er zijn een aantal additionele werkzaamheden verricht. Oorspronkelijk werd alleen de toepassing van recent ontwikkelde matrices en rekentools beoogd. De ontwikkeling van nieuwe matrices voor biogene circulaire economie strategieën zijn additioneel.

## 4.3 Behaalde resultaten

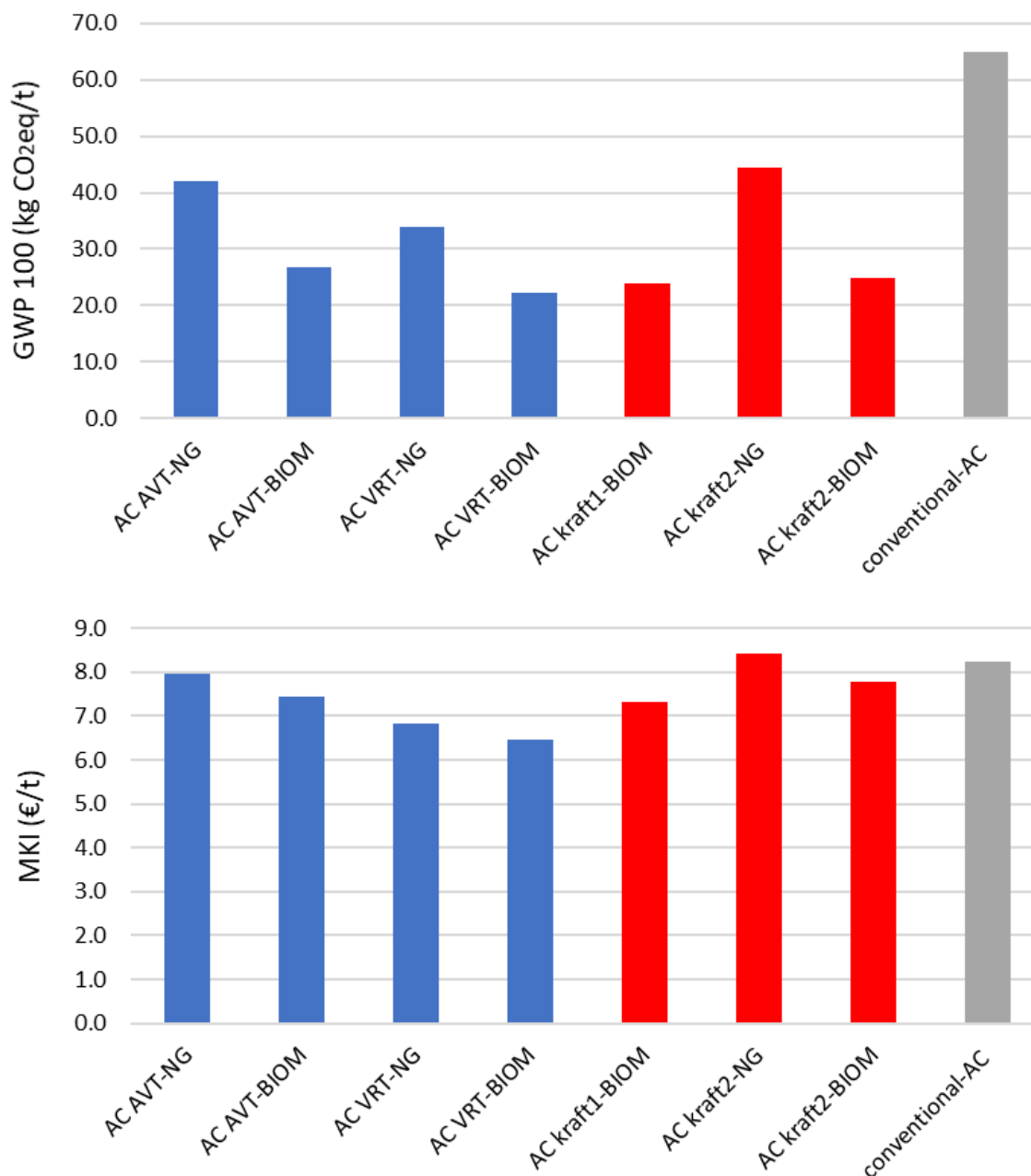
In het voorstel werd één rapport met een bijlage met de LCA en LCC resultaten begroot. Het werk in WP5 heeft geleid tot een substantieel grotere output: twee publicaties in wetenschappelijke tijdschriften, twee rapporten en twee presentaties. Een overzicht van de resultaten van WP5 wordt gegeven in Een overzicht van alle publicaties die in het kader van WP zijn geschreven staat in Tabel 6.

### **Tabel 6**

#### 4.3.1 WP5.1 Levenscyclus analyse (LCA)

In de LCA studie is de milieueffectscore voor AC asfalt toplagen en onderlagen met lignine voor 11 verschillende milieueffectcategorieën berekend. De resultaten zijn verwerkt in een gedetailleerde wetenschappelijke publicatie (D5.1). De samenvatting geeft een selectie van de resultaten voor de categorie global warming potential (GWP) en de MKI score voor toplagen, zoals weergegeven in Figuur 10. Voor de productie van lignine in de bio-raffinaderijen wordt de grootste impact veroorzaakt door stoom- en warmtevraag in de verschillende processen, het gebruik van chemicaliën (met name zoutzuur of methanol) en het gebruik van elektriciteit. Wanneer de stoom wordt opgewekt met aardgas (NG), dan resulteert dit in een significant hogere uitstoot van broeikasgasemissies dan wanneer de stoom wordt opgewekt met laagwaardige biomassa (BIOM). Het verschil tussen deze twee opties verklaard de grote bandbreedte in het laagste (NG) en hoogste (BIOM) besparingspotentieel. De inzet lignine leidt tot een reductie in klimaatverandering van 35-70% voor toplagen en 25-50% voor onderlagen in vergelijking met conventioneel asfalt. Het besparingspotentieel van lignine in onderlagen is lager omdat er een hoger percentage asfaltgranulaat verwerkt (gerecycled asfalt) waardoor er minder nieuwe grondstoffen zoals bitumen en lignine nodig zijn.

Het verschil tussen de MKI score van conventioneel asfalt en biobased asfalt is kleiner dan de reductie in klimaatverandering. De MKI score is 6-24% lager ten opzichte van conventioneel asfalt. Dit komt omdat voor andere milieueffectcategorieën, waaronder de ecotoxicologische effecten (zeewater en humaan), eutrofiëring en verzuring, biobased asfalt minder goed scoort ten opzichte van conventioneel asfalt.



**Figuur 10** Vergelijking van global warming potential (GWP) en de MKI score gedurende de levenscyclus van AC asfalt toplagen met lignine uit bioraffinage (blauw), Kraft lignine (rood) en conventioneel asfalt (grijs). AVT = Avantium, VRT = Vertoro, NG = warmte uit aardgas, BIOM = warmte uit biomassa.

#### 4.3.2 WP5.2 Economische verkenning

De gemiddelde MLSP gevonden in de Monte Carlo analyse is €1309/t voor AVT en €209/t voor VRT. Uit deze analyse is naar voren gekomen dat de MLSP binnen één standaarddeviatie tussen de €1123/t en €1495/t ligt voor AVT en tussen de €34/t en €384/t ligt voor VRT. De Monte Carlo analyse heeft enkel de onzekerheid van de input data op de MLSP gekwantificeerd. Naast de input data hebben de gekozen systeemgrenzen ook invloed op de uitkomst van de MLSP. Voor VRT zijn alle processen van de fabriek meegenomen terwijl voor AVT de processen tot de aan de productie van de hemicellulose, glucose en lignine zijn meegenomen. Hierdoor zijn de kosten en baten van het verwerken van de glucose tot producten zoals polymelkzuur (PLA) of polyethyleenfuronoaat (PEF) niet meegenomen in de systeemgrenzen van AVT. In de fermentatie routes van suikers naar PLA of PEF wordt waarschijnlijk de meeste toegevoegde waarde gecreëerd. Dit kan de MLSP van lignine van AVT omlaag brengen. Ook wordt er in deze analyse geen rekening gehouden met een hogere marktwaarde van tweede generatie



suikers (suikers uit non-food biomassa). Een hogere waarde voor deze suikers verlaagt de MLSP van lignine.

De resultaten van de TEA zijn te vinden in Tabel 4. De resultaten van lignine-gebaseerd asfalt zijn gebaseerd op de gemiddelde MLSP van AVT en VRT. De resultaten van de TEA laten zien dat lignine-gebaseerd asfalt momenteel duurder is om te produceren dan bitumen-gebaseerd asfalt. Het verschil in de asfalt productie kosten tussen AVT en VRT lignine-gebaseerd asfalt wordt veroorzaakt doordat de gemiddelde MLSP hoger is voor AVT dan voor VRT. Het verschil in productiekosten tussen lignine- en bitumen-gebaseerd asfalt is het hoogst voor de bovenlaag van ZOAB. Dit komt doordat de lignine in deze laag niet bitumen substitueert maar middelsoort vulstof en de kosten voor deze vulstof lager zijn dan voor bitumen. Er zit geen verschil tussen de kosten van de tussen laag van AVT en VRT lignine-gebaseerd asfalt. Dit komt doordat er geen nieuwe lignine wordt toegevoegd in de betreffende laag. Dezelfde tussen- en onderlagen worden gebruikt voor SMA, AC en ZOAB waardoor er geen verschil zit in de productiekosten van deze lagen.

**Tabel 4: Resultaten TEA voor de Nederlandse samenvatting**

	AVT lignine-gebaseerd asfalt (€/t)	VRT lignine-gebaseerd asfalt(€/t)	Bitumen-gebaseerd asfalt (€/t)
<b>Bovenlaag SMA</b>	€125	€80	€76
<b>Bovenlaag AC</b>	€84	€57	€51
<b>Bovenlaag ZOAB</b>	€110	€66	€59
<b>Tussenlaag</b>	€42	€42	€40
<b>Onderlaag</b>	€55	€44	€40

#### **Resultaten van de (E)LCC**

De belangrijkste resultaten van de (E)LCC kunnen worden gevonden in Tabel 5. Er zijn geen significante verschillen gevonden in de gebruikers en einde levensduur kosten tussen lignine- en bitumen-gebaseerd asfalt. Hierdoor blijft het verschil in kosten tussen lignine- en bitumen-gebaseerd asfalt bijna gelijk met de resultaten van de TEA. De schaduwkosten voor het milieu, uitgedrukt in de MKI-score, van alle boven en onderlagen zijn lager voor lignine-gebaseerd asfalt dan voor bitumen-gebaseerd asfalt, behalve de bovenlaag van ZOAB. Hierdoor wordt het verschil in kosten tussen lignine- en bitumen-gebaseerd asfalt kleiner wanneer je naar de ELCC kijkt i.p.v. de LCC. De bovenlaag van AVT lignine-gebaseerd ZOAB heeft zowel hogere kosten als een hogere milieu impact heeft dan bitumen-gebaseerd ZOAB. De milieu impact van de bovenlaag van VRT lignine-gebaseerd ZOAB is hetzelfde als van de bitumen-gebaseerde referentie laag.

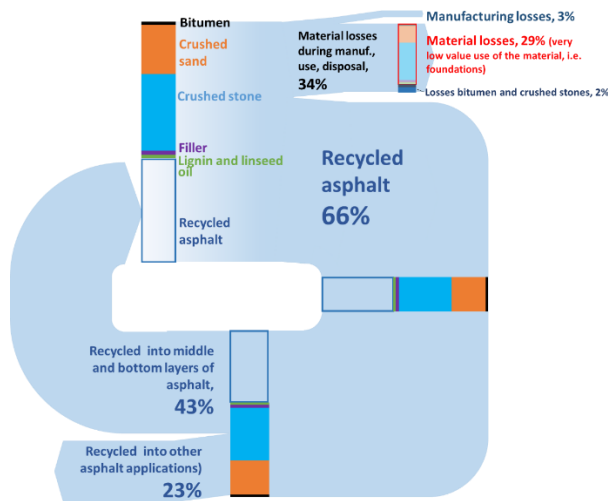
**Tabel 5: Resultaten LCC en ELCC voor de Nederlandse samenvatting**

	AVT lignine-gebaseerd asfalt (€/t)		VRT lignine-gebaseerd asfalt (€/t)		Bitumen-gebaseerd asfalt (€/t)	
	LCC	ELCC	LCC	ELCC	LCC	ELCC
<b>Bovenlaag SMA</b>	€146	€153	€101	€109	€97	€105
<b>Bovenlaag AC</b>	€104	€111	€77	€84	€71	€79
<b>Bovenlaag ZOAB</b>	€127	€137	€83	91	€76	€85
<b>Tussenlaag</b>	€53	NA	€53	NA	€51	NA
<b>Onderlaag</b>	€63	€70	€52	€58	€48	€55

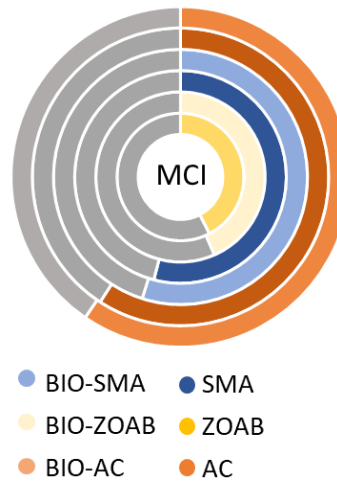
#### 4.3.3 WP 5.3 Duurzaamheidsevaluatie, circularity assessment en strategieontwikkeling

De materiaalstromen voor lignine houdend asfalt zijn voor de verschillende mengsels (SMA, ZOAB, AC) in kaart gebracht. Figuur 11 geeft een voorbeeld voor lignine houdend asfaltbeton (AC). Van dit type asfalt wordt op dit moment 66% hergebruikt in nieuwe asfaltmengsels die worden toegepast op nieuwe wegen (43%) of gebruikt in andere asfalttoepassingen. Ongeveer 29% wordt toegepast buiten de asfaltketen, bijvoorbeeld in onder-funderingen en funderingen. De toepassing als funderingsmateriaal wordt als laagwaardig gezien omdat er voor deze toepassingen niet gebruikt wordt gemaakt van de eigenschappen van het bindmiddel in asfaltgranulaat, het bindmiddel voegt niets toe in deze

toepassingen. Figuur 12 laat zien dat de MCI score van conventioneel asfalt op dit moment 0.41-0.59 is waarbij AC het hoogste scoort door het relatief hoge percentage gerecycled asfalt in de toplaag. ZOAB heeft een lagere score door de kortere levensduur van wegen (24 jaar t.o.v. 30 jaar voor AC asfalt). Daarnaast wordt er geen gerecycled asfalt toegepast in de toplaag van ZOAB. De toepassing van lignine (BIO- scenario's) heeft maar een beperkt effect op de MCI score: ongeveer 1% hoger t.o.v. conventioneel asfalt. Dit kan worden verklaard door het relatief lage gewichtspercentage van lignine in asfalt.

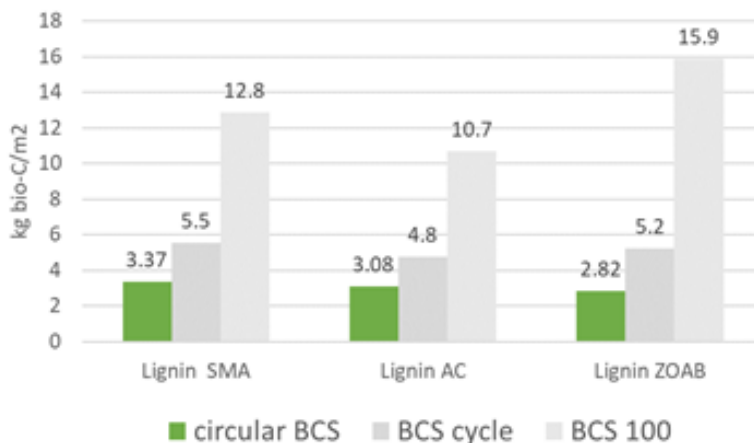


**Figuur 11** Materiaalstromen voor lignine houdend asfaltbeton (AC).



**Figuur 12** Vergelijking van de MCI score per type asfalt en scenario

De MCI geeft belangrijke inzichten voor het verhogen van de circulariteit van wegverharding, bijvoorbeeld door het verhogen van hoogwaardige recycling en het verlengen van de levensduur, maar geeft maar beperkt inzicht in de circulaire prestaties van biobased toepassingen, met name omdat stromen worden gevaloriseerd op basis van gewicht en niet op basis van intrinsieke eigenschappen. Voor het kwantificeren van de circulaire prestaties van biogene koolstof zijn de resultaten berekend met de nieuwe indicatoren BCS over 100 jaar, BCS over één enkele cyclus, en circular-BCS. Figuur 13 geeft een vergelijking van deze verschillende indicatoren. De BCS 100 score in Figuur 13 (hoogste score voor ZOAB) is tegenovergesteld aan de MCI score in Figuur 12. Dit komt omdat er een groter deel van lignine houdend ZOAB wordt toegepast buiten de asfaltketen. Er wordt als funderingsmateriaal niet gebruik gemaakt van de intrinsieke eigenschappen van het bindmiddel, maar de biogene koolstof wordt in deze toepassingen wel langdurig opgeslagen. In de circular-BCS score wordt alleen waarde toegekend wanneer lignine wordt hergebruikt. Deze score zegt niets over de (vermeden) broeikasgasemissies, maar geven, in combinatie met de LCA resultaten, belangrijke inzichten van alternatieven en strategieën naar een circulair en klimaat neutrale wegverharding



**Figuur 13** Vergelijking van circular-BCS, BCS over één enkele cyclus, en BCS over 100 jaar van lignine houdend asfaltmengels (in kg bio-C per m<sup>2</sup> wegoppervlak).

## 4.4 Discussie, conclusies en aanbevelingen

De resultaten uit WP5 geven belangrijke inzichten in de duurzaamheidsprestaties van lignine-houdend asfalt voor milieueffecten en kosten over de levenscyclus. De resultaten uit de LCA laten zien dat een hoge reductie in broeikasgasemissies kan worden bereikt wanneer bitumen worden vervangen door lignine in asfaltmengsels: van 35-70% in toplagen en 25-50% in onderlagen. Voor andere milieueffecten, zoals ecotoxiciteit, vermisting, verzuring, is het beeld minder eenduidig. Dit verklaart ook waarom het verschil in MKI score lager is dan voor broeikasgasemissies.

Uit de resultaten van de levenscyclus kostenanalyse blijkt dat de milieubaten (uitgedrukt in de MKI score) nog niet opwegen tegen de additionele kosten van lignine houdend asfalt. Het is echter belangrijk om te vermelden dat de resultaten van de MKI alleen indicatief zijn. De score wordt berekend met data uit bronnen die 10 tot 16 jaar oud zijn<sup>2</sup>. Een update van de data voor het berekenen van de schaduwkosten van milieueffecten wordt daarom aanbevolen. Ook zijn er factoren die nog onvoldoende bekend zijn, maar die toch een grote invloed hebben op de resultaten. Het wordt daarom aanbevolen om onderzoek te verrichten naar de volgende aspecten:

**Rolweerstand:** Binnen dit onderzoek zijn de eerste metingen van het brandstofverbruik op SMA wegen met AVT lignine, Stora Enso (SE) lignine, en bitumen uitgevoerd. Op basis van het brandstofverbruik kan de rolweerstand coëfficiënt van een weg berekend worden. Op basis van deze metingen is er geen significant verschil in brandstofgebruik gevonden tussen bitumen- en lignine gebaseerd SMA. Hierdoor wordt de rolweerstand momenteel niet meegenomen in de resultaten van de (E)LCC. De onzekerheid in de metingen wordt o.a. veroorzaakt doordat de proefstroken tussen de 70 en 110 meter lang zijn, terwijl een minimale meetafstand van 200 meter wordt geadviseerd. Binnen dit onderzoek is de relatie tussen de rolweerstand coëfficiënt en de brandstofkosten voor de weggebruiker berekend. Een afname van de rolweerstand coëfficiënt van 1% kan de LCC van SMA, AC en ZOAB met respectievelijk €95, €92 en €61 per ton bovenlaag doen afnemen bij een weggebruik van 10.000 motorvoertuigen (MTV) per dag. Het verschil is nog groter voor de ELCC gezien de externaliteiten van de additionele milieuwinst hier ook worden uitgedrukt in kosten. Gezien het potentiële grote verschil op de (E)LCC wordt aanbevolen om meer metingen (over een langere lengte) te doen. Het wordt geadviseerd om dan naast SMA ook de rolweerstand te meten op AC en ZOAB. Naast de praktijktests wordt het geadviseerd om in vervolgonderzoek de rolweerstand te meten in een laboratorium. Deze metingen hebben minder last van externe factoren zoals bijvoorbeeld zijwind, of een hellingshoek.

**Levensduur en chemische samenstelling:** Alle componenten in asfalt zijn onderhevig aan degradatie gedurende de levenscyclus, dat geldt ook voor bitumen en andere bindmaterialen zoals lignine. Tijdens de gebruiksfase worden bindmiddelen blootgesteld aan temperatuurschommelingen, UV en zuurstof. Tijdens productie en recycling zorgt de hogere temperatuur voor oxidatie en veranderingen in de chemische samenstelling van bindmiddelen. Zo heeft recent onderzoek aangetoond dat benzeenemissies voor een groot deel samenhangen met de temperatuur van het asfaltgranulaat en is daarmee direct gerelateerd aan asfaltrecycling. Dit komt waarschijnlijk door piektemperaturen van asfaltgranulaatdeeltjes, die met name in direct verwarmde trommels hoog kan oplopen<sup>3</sup>. Omdat lignine op lagere temperatuur kan worden verwerkt dan bitumen, zou dit mogelijk ook een positief effect kunnen hebben op de verwerking van lignine houdend asfaltgranulaat. Meer onderzoek is nodig om inzicht te krijgen in de veranderende samenstelling van lignine houdend asfalt over de levenscyclus, zowel door veroudering als tijdens productie.

**Samenstelling asfaltmengsels:** Tijdens dit onderzoek zijn er proefvakken aangelegd met SMA en AC asfalt. Tot op heden is er nog geen lignine-gebaseerde ZOAB weg aangelegd. De samenstelling van

---

<sup>2</sup> Zie Sectie 4.2, Schwarz, Anna, et al. "LCA Achtergrondrapport voor branche-representatieve Nederlandse asfaltmengsels 2020." TNO Report 10987 (2020).

<sup>3</sup> <https://www.bouwendnederland.nl/media/10749/vbw-rapportage-benzeenemissie-bij-asfaltproductie-incl-bijlagen-definitief-210630.pdf>

bitumen- en lignine-gebaseerd ZOAB, welke gebruikt wordt in deze studie, zal met de inzichten van vandaag niet in praktijk gebruikt worden. Het doel van deze mixen was enkel om het gebruik van verschillende soorten lignines in asfalt te testen. Deze mixen zijn meegenomen in deze studie om een eerste inschatting te maken van de kosten van bitumen- en lignine-gebaseerd ZOAB. De kosten van een daadwerkelijke ZOAB weg zullen hiervan licht afwijken, gezien de samenstelling van het asfalt zal veranderen. Voor vervolgonderzoek wordt geadviseerd om de ZOAB mix te verbeteren en de lignine-gebaseerde ZOAB weg in praktijk te testen.

Momenteel wordt er in lignine-gebaseerd asfalt meer binder gebruikt dan in bitumen-gebaseerd asfalt. Verder substitueert de binder in lignine gebaseerd asfalt niet alleen bitumen maar ook zand en vulstof. In de bovenlaag van lignine-gebaseerd ZOAB zit zelfs net zoveel bitumen als in de bovenlaag van het bitumen-gebaseerde ZOAB. De lignine substitueert hier enkel middelsoort vulstof. Dit is de voornaamste reden waardoor de kosten en milieu impact van de bovenlaag van lignine-gebaseerd ZOAB hoger zijn dan dat van de bovenlaag van bitumen-gebaseerd ZOAB. Gezien lignine een relatief hogere prijs en milieu impact heeft dan zand en vulstof is het advies om in vervolgonderzoek te kijken of het mogelijk is om minder of ook andere (evt. biobased) binder toe te voegen in asfalt. Verder is het advies om deze binder zo veel mogelijk bitumen te laten substitueren i.p.v. zand en vulstof. Dit zal de kosten gevonden in de TEA en (E)LCC van lignine-gebaseerd asfalt doen afnemen mits de kwaliteit en de levensduur van het asfalt gewaarborgd blijft.

## 4.5 Referenties

Een overzicht van alle publicaties die in het kader van WP zijn geschreven staat in Tabel 6.

**Tabel 6 Resultaten WP5**

Taak		Deliverable(s)
WP5.1 Levenscyclus analyse (LCA)	D5.1	Type: Journal publication (submitted) Titel: Moretti, C., Hoefnagels, R., van Veen, M., Corona, B., Obydenkova, S., Russel, S., Vural-Gürsel, I., Jongerius, A., and Junginger, M., Using lignin from local biorefineries for asphalts: LCA case study for the Netherlands. Submitted to Science of The Total Environment.
	D5.2	Type: Journal publication (published) Titel: Moretti, C., Corona, B., Hoefnagels, R., Vural-Gürsel, I., Gosselink, R. and Junginger, M., 2021. Review of life cycle assessments of lignin and derived products: Lessons learned. Science of the Total Environment, p.144656.
	D5.3	Type: Poster presentatie, EUBCE 2021 Titel: Climate change hotspots and consequences from kraft lignin valorization: a matter of methodological choices. Moretti C., Corona B., Junginger M. & Hoefnagels R. visual presentation at EUBCE 2021.
	D5.4	Type: Journal publication (published) Titel: Christian Moretti, Blanca Corona, Ric Hoefnagels, Marco van Veen, Iris Vural-Gürsel, Tobias Strating, Richard Gosselink, Martin Junginger. Kraft lignin as a bio-based ingredient for Dutch asphalts: An attributional LCA. Science of the Total Environment 806 (2022) 150316.
WP5.2 Economische verkenning	D5.5	Type: Engelstalig Rapport Titel: Comparing the production, life cycle costs and environmental life cycle costs of bitumen-based asphalt with 2 <sup>nd</sup> generation biorefinery lignin-based asphalt. van Veen, M., Moretti, C., Corona B., Hoefnagels, R., Junginger, M., Vural-Gürsel, I., Jongerius, A., Russell, S. , and Obydenkova, S.

WP5.3 Duurzaamheidsevaluatie, circularity assessment en strategieontwikkeling	D5.6	Type: Engelstalig Rapport (niet openbaar, rapport wordt verwerkt tot wetenschappelijk artikel). Titel: Circularity assessment and biogenic carbon storage of lignin-based asphalt.
	D5.7	Type: Presentatie Titel: Minimising environmental impacts while maximising resource circularity: the case of biobased asphalt. Circular@WUR Conference, 6 – 8 December 2021. Corona B, Moretti C, Hoefnagels R, van Veen M, Vural-Gürsel I, Junginger M.

# 5 WP 6 Project management & communicatie

## 5.1 Doelstellingen & deliverables van WP 6

Doelstelling(en) van WP 6 waren:

- WP 6.1. het managen van de project, onder in acht name van de korte looptijd en de daarmee gepaard gaande risico's voor diverse WP's.
- WP 6.2 het plannen, realiseren en uitvoeren van interne en externe communicatie met betrekking tot het project en de project resultaten

Geplande activiteiten en deliverables waren:

- Projectmanagement, inclusief het regelmatig organiseren van project meetings, monitoren van de project voortgang en oplevering van de deliverables. Gezien de onderlinge afhankelijkheden tussen WP's (met name WP 4 en 5) is tijdens de project meetings regelmatig getoetst worden op het project nog op schema ligt en welke aanvullende maatregelen evt. getroffen moeten worden bij (dreigende) vertraging.
- Oplevering van het eindrapport binnen 13 weken na het projecteinde.
- Organisatie van een event rondom het leggen c.q. openen van een proefstrook met lignine. Hiervoor zullen lokale bestuurders, diverse stakeholders (CHAPLIN leden en overige) en de vakpers uitgenodigd worden. Doel van dit evenement is het om informatie met betrekking tot het vervangen van bitumen met lignine te verspreiden aan externe Nederlandse partijen.
- Organisatie van een CHAPLIN workshop om de voorlopige project resultaten aan alle leden van CHAPLIN en diverse andere stakeholders te presenteren.
- Plaatsing van alle openbare schriftelijke deliverables plaatsen op de BBD website.
- Streven naar open access publicaties in Nederlandse en internationale vaktijdschriften; na de project-periode.
- Tevens zal gepoogd worden de resultaten op congressen te presenteren, zoals de jaarlijkse TKI-BBE conferentie in 2021.

## 5.2 Werkwijze

Projectmanagement: tussen maart 2020 (bij project toekenning) en oktober 2021 (bij projecteinde, na een verlenging van 8 maanden) zijn zes algemene CHAPLIN XL project meetings met alle partners gehouden. Deze project meetings duurden meestal 2,5- 3 uur. Gedurende de projectmeetings werd de voortgang in de diverse werkpakketten besproken, evenals algemeen projectmanagement. In verband met de corona pandemie waren alle project meetings online, met uitzondering van de laatste meeting, die fysiek kon plaatsvinden op de campus van de Universiteit Utrecht. Van alle vergaderingen zijn de stukken (presentaties en notulen) op een MS TEAMS site met alle projectleden gedeeld en gearchiveerd.

Daarnaast is ongeveer elke 4-6 weken een online core team meeting gehouden met alle werkpakket leiders van circa één uur. Het doel hiervan was de praktische afstemming van activiteiten tussen werkpakketten, b.v. het leveren van lignine (WP1) voor de aanleg van het proefvak in Siddeburen en het testen in het lab; of het leveren van data uit WP's 1-4 voor de LCA en TEA (WP5).

Tevens is bij deze meetings ook de communicatie strategie met alle partners afgestemd; bij voorbeeld is er rondom de start van de teststrook in Siddeburen een gecoördineerde media campagne opgezet met CBBD, Avantium, Wageningen en de UU allen actief betrokken bij het verspreiden van het persbericht en het aantrekken van lokale media op de dag zelf.

## 5.3 Behaalde resultaten

**Behaalde resultaten met betrekking tot project management:** het project management is succesvol uitgevoerd door de Universiteit Utrecht – alle project meetings zijn gehouden, en alle (tussen)-rapporten en deliverables zijn opgeleverd. Wellicht de meest belangrijke actie voor het succes van het CHAPLIN XL project was het aanvragen van een verlenging van het project tot augustus 2021 vanwege de Corona-pandemie en de daarmee gepaard gaande vertragingen van met name de aanleg van de diverse proefstroken. Dankzij de toestemming van RvO om het project te verlengen konden alle vrijwel alle geplande activiteiten uitgevoerd en deliverables opgeleverd worden.

Met betrekking tot de **behaalde resultaten ten opzichte van de kennis-disseminatie** zijn er tal van succesvolle activiteiten te vermelden:

- **Organisatie van een perscampagne rondom het leggen van het proefvak door Roelofs in Siddeburen, Groningen op 2 juni 2021.** Dit is wellicht het meest belangrijke wapenfeit rondom de disseminatie van project-resultaten. Dit was voor het eerst dat lignine geproduceerd in Nederland (door Avantium) op basis van een tweede-generatie bioraffinaderij lignine is verwerkt in een weg in Nederland. Dit evenement is vooraf door de projectleden en persvoorlichters van Avantium CBBB, WUR en UU zorgvuldig voorbereid, en heeft in de nationale en internationale pers met rond de 50 individuele publicaties op website nieuwsbrieven, vakbladen etc. veel aandacht gekregen -zie Bijlage 1. Ook op sociale media (Linkedin, twitter) is dit evenement succesvol verspreid.
- **Bijdrage aan drie CHAPLIN Expeditie-dagen.** In 2020 als in 2021 zijn in totaal vier CHAPLIN Expeditie dagen georganiseerd door Bio-Based Delta. Op alle expeditie-dagen zijn de resultaten van het CHAPLIN XL project gepresenteerd aan de deelnemers van het CHAPLIN samenwerkingsverband en overige geïnteresseerden.
- **Organisatie van een online workshop met het H2020 Rewofuel consortium.** In November 2020 is in samenwerking met Sekab en de Universiteit Linz een besloten online workshop georganiseerd met de leden van de CHAPLIN XL en REWOFUEL projecten, met name om kennis uit te wisselen op het vlak van levenscyclusanalyse.
- **Publicatie van diverse peer-reviewde papers in Engelstalige, wetenschappelijke open-access journals.** In totaal zijn er vier wetenschappelijke artikelen geschreven door leden van het consortium, allen gelinked aan WP 5 (zie Tabel 6). Twee daarvan zijn al gepubliceerd, een derde is op dit moment onder review, en een vierde zal in december 2021 gesubmit worden.
- **Presentatie van de projectresultaten op twee conferenties:** de European Biomass Conference & Exhibition (EUBCE) in mei 2021 met een presentatie door Joop Groen op de Industry day, en een poster presentatie door Christian Moretti (zie Tabel 6)), en in een mondelinge presentatie door Blanca Corona Bellostas op de Circular@WUR Conference, in het voorjaar van 2022 (vanwege Covid uitgesteld, in eerste instantie gepland voor December 2021). Ook voor de EUBCE 2022 zijn twee abstracts ingediend.
- **Diverse persberichten omtrent de realisatie van andere proefvakken.** Naast het proefvak in de Siddeburen zijn er in 2020 en 2021 nog diverse andere proefvakken gerealiseerd (zie sectie 3.3.1). Ook in dit kader zijn er persberichten uitgebracht, en heeft de regionale, nationale en internationale pers dit verder verspreid (zie Bijlage 1 Overzicht Persberichten).
- **Een item in BNR Nieuwsradio in juli 2020:** Asfalt verduurzamen met afvalstroom papier.
- **Opname van de WOW- podcast en winst van de WOW juryprijs.** Als onderdeel van het grotere CHAPLIN samenwerkingsverband zijn de resultaten van CHAPLIN XL in september 2021 aan een vakjury voorgesteld, en is er tevens een podcast opgenomen voor de WOW-dag 2021. Ook is het CHAPLIN project voorgesteld op de website van de WOW-dag. Op 5 November 2021 is op de nationale WOW-dag het CHAPLIN project gekozen als prijswinnaar door de vakjury,

hetgeen tot extra aandacht in de pers heeft geleid. De jury benadrukte doe zeer brede en succesvolle samenwerking tussen diverse partijen, de grote innovatie van biobased asfalt, de duurzaamheid van de oplossing en tevens de schaalbaarheid en het feit dat hiermee een significante bijdrage kan worden geleverd aan het tegengaan van klimaatverandering en het verduurzamen van de wegenbouw.

- Tenslotte worden **alle openbare CHAPLIN XL rapporten op de CBBB website geplaatst**.

## 5.4 Discussie, conclusies en aanbevelingen

De samenwerking binnen CHAPLIN XL en in het CHAPLIN samenwerkingsverband kan als zeer succesvol gekenmerkt worden, zoals ook de winst van de WOW-jury prijs aantoont.

Het feit dat alle stakeholders nauw hebben samengewerkt, data hebben gedeeld en alle geplande projectdoelen hebben gerealiseerd is in belangrijke mate mogelijk geweest door het vertrouwen in elkaar en de goede communicatie voor- en tijdens de projectuitvoering.

De communicatie vanuit dit project zal hopelijk de weg effenen voor verdere uitrol van biobased asfalt in Nederland, en tevens nuttig zijn voor uitbreiding van de samenwerking op Europees niveau, om zo het gebruik van biobased asfalt ook in heel Europa mogelijk te maken.



# Bijlage 1 Overzicht Persberichten

## **Persbericht kick Chaplin expedition day 5-3-2020**

<https://bioplasticsnews.com/2020/03/13/consortium-biobased-asphalt/>

<https://www.vnci.nl/nieuws/nieuwsbericht?newsitemid=4952686594> plus nieuwsbrief VNCI

<https://www.agro-chemie.nl/nieuws/chaplin-ontwikkelt-biobased-asfalt-uit-lignine/>

<https://biobaseddelta.nl/nieuws/programma-chaplin-uit-de-startblokken/>

<https://www.biobasedeconomy.nl/2020/03/09/programma-chaplin-uit-de-startblokken/>

<https://www.renewableenergymagazine.com/biomass/consortium-begins-biobased-asphalt-cooperation-program-20200318>

<https://www.regioinbedrijf.nl/nieuws/programma-chaplin-uit-de-startblokken.9037/>

<https://www.duravermeer.nl/nieuws/programma-chaplin-uit-de-startblokken>

<https://www.roelofsgroep.nl/programma-chaplin-uit-de-startblokken/>

<https://www.h4a.nl/actueel/project-chaplin-uit-de-startblokken/>

<https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/food-biobased-research/Show-fbr/Bio-asfalt-op-basis-van-lignine-krijgt-flinke-zet-in-de-rug.htm>

<https://www.duurzaambedrijfsleven.nl/industrie/33709/avantium-bio-asfalt>

<https://www.groeneruimte.nl/nieuws/artikel.html?id=222214>

## **Persbericht CHAPLIN-XL 24 april 2020**

<https://www.bndestem.nl/bergen-op-zoom/bio-asfalt-komt-eraan-en-bergen-op-zoom-trekt-de-kar~ad822bb8/>

<https://www.agro-chemie.nl/nieuws/binnenkort-start-aanleg-eerste-proefrijstroken-bio-asfalt-met-lignine/>

<https://www.agro-chemistry.com/news/half-a-million-euros-for-lignin-production-for-biobased-asphalt/>

<https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/collaboration-in-asphalt-applications-with-lignin-in-the-netherlands-extra-lignin-chaplin-xl-00034504>

<https://www.uu.nl/nieuws/grote-stap-voorwaarts-voor-opschaling-bio-asfalt-aanleg-van-proefrijstroken-met-lignine>

<https://bioenergyinternational.com/biochemicals-materials/avantium-awarded-funding-to-produce-lignin-for-the-development-of-bio-based-asphalt>

<https://www.bioplasticsmagazine.com/en/news/meldungen/20200424Avantium-awarded-funding-to-produce-lignin-for-the-development-of-bio-based-asphalt.php>

<https://www.indianchemicalnews.com/chemical/avantium-awarded-funding-to-produce-lignin-for-the-development-of-bio-based-asphalt-4901>

<https://www.telegraaf.nl/financieel/1420781271/avantium-krijgt-financiering-voor-ontwikkeling-van-nieuwe-asfalt>

<https://www.duurzaambedrijfsleven.nl/industrie/33709/avantium-bio-asfalt>

<https://www.h4a.nl>

<https://www.sb-eemsdelta.nl/dawn-drive/>

<https://www.chemieparkdelfzijl.nl/actueel/2020/04/867051-avantium-ontvangt-financiering-voor-ontwikkeling-van-bio-based-asfalt>

<https://www.beurs.nl/Aandeel-Koers/600324580/Avantium/nieuws/>

<https://biomarketinsights.com/avantium-awarded-0-5m-to-produce-lignin-for-the-development-of-bio-based-asphalt/>

<https://www.beursgorilla.nl/beursnieuws/541827/Avantium-ontvangt-financiering-voor-productie-lignine-voor-groot-testproject.aspx>

<https://www.beursduivel.be/Aandeel-Koers/600324580/Avantium/nieuws.aspx>

<https://drimble.nl/economie/67893293/avantium-ontvangt-financiering-voor-productie-lignine-voor-groot-testproject.html>

<https://kimyahaberleri.com/haber/chaplin-xl/>

<https://slimbeleggen.com/aex-opent-vermoedelijk-licht-hoger-4/192594/>

<http://www.indianchemicalnews.com/chemical/avantium-awarded-funding-to-produce-lignin-for-the-development-of-bio-based-asphalt-4901>

<https://internationalsugarjournal.com/avantium-funded-e0-5-million-to-produce-lignin-for-use-in-asphalt-production/>

<https://www.linkmagazine.nl/tag/chaplin-xl/>

<https://www.linkmagazine.nl/avantium-ontvangt-financiering-voor-de-productie-van-lignine-voor-de-ontwikkeling-van-bio-based-asfalt/>

<https://www.avantium.com/news/avantium-awarded-funding-to-produce-lignin-for-the-development-of-bio-based-asphalt/>

<https://www.eppm.com/topics/chaplin-xl-project/>

<https://www.eurobench.com/Beursnieuws/ANP-230420-076/Avantium-krijgt-financiering-voor-ontwikkeling-van-nieuwe-asfalt.aspx>

<https://www.beleggen.nl/Aandeel-Koers/600324580/Avantium/nieuws.aspx>

**BNR nieuwsradio 29-7-2020:**

<https://www.bnr.nl/podcast/wetenschap-vandaag/10416958/slim-materiaal-asfalt-verduurzamen-met-afvalstroom-papier>

## **Persbericht North Sea Ports/H4A september 2020:**

<https://mailchi.mp/f8cd5591a0b9/november-3307374?e=110f6bdadb>

[https://bouwuitvoering.nl/weg\\_en\\_waterbouw/chaplin-wegenbouw-vergroenen-met-ligninehoudend-asfalt/](https://bouwuitvoering.nl/weg_en_waterbouw/chaplin-wegenbouw-vergroenen-met-ligninehoudend-asfalt/)

<https://innovationorigins.com/dutch-zeeland-premieres-with-first-stretch-of-road-paved-with-bio-asphalt/>

<https://innovationorigins.com/nl/zeeland-krijgt-primeur-met-eerste-stuk-weg-met-bio-asfalt/>

<https://www.rvo.nl/actueel/praktijkverhalen/asfalt-kan-duurzamer-met-biomassa>

<https://www.h4a.nl/projecten/asfaltcentrale/wereldprimeur-h4a-met-aanleg-eerste-proefvakken-bio-asfalt-/>

<https://www.mestverwaarding.nl/kenniscentrum/1434/eerste-wegdek-voor-alledaags-gebruik-met-bio-asfalt-in-nederland>

<https://investinzeeland.com/nl/nieuws/eerste-proefstrook-bio-asfalt-aangelegd-zeeland>

<https://www.pzc.nl/walcheren/dubbele-pech-voor-bio-asfalteerders-in-vlissingen-coronamaatregelen-regen~afbd090e/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>

<https://www.pzc.nl/algemeen/havenbedrijf-laait-bioasfalt-leggen-in-vlissingen~a895c2be/>

<https://www.duurzaambedrijfsleven.nl/infra/34767/asfalt-bio>

<https://ms-my.facebook.com/DuurzaamBV/posts/primeur-in-zeeland-voor-het-eerst-bioasfalt-gemaakt-van-papierafval-op-een-openb/3382728588510675/>

<https://www.transport-online.nl/site/107043/north-sea-port-zet-in-op-duurzamer-asfalt/>

<https://www.uu.nl/nieuws/eerste-wegdek-voor-alledaags-gebruik-met-bio-asfalt-in-nederland>

## **Zonder aanleiding van persbericht:**

<https://www.brabant.nl/subsites/brabantdoetwat/projecten/vervoer/chaplin>

<https://www.yourbioway.com>

<https://www.innovatie-estafette.nl/onderwerpen/bio-asfalt>

<https://www.ad.nl/gouda/primeur-voor-zuid-holland-fietspaden-van-bio-asfalt~af1c4666/>

<https://www.groenkennisnet.nl/nl/groenkennisnet/show/lignine-uit-hout-bouwstof-voor-asfalt.htm>

[https://engineeringnet.be/belgie/detail\\_belgie.asp?Id=23093](https://engineeringnet.be/belgie/detail_belgie.asp?Id=23093)

<https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/collaboration-in-asphalt-applications-with-lignin-in-the-netherlands-extra-lignin-chaplin-xl-00034504>

<http://biomassmagazine.com/articles/17025/avantium-to-produce-lignin-for-development-of-biobased-asphalt>

[https://bouwuitvoering.nl/weg\\_en\\_waterbouw/chaplin-wegenbouw-vergroenen-met-ligninehoudend-asfalt/](https://bouwuitvoering.nl/weg_en_waterbouw/chaplin-wegenbouw-vergroenen-met-ligninehoudend-asfalt/)

### **N.a.v. provinciale wegaanleg Overijssel door TWW**

<https://www.tww.nl/nieuws/proefvak-lignine-asfalt-en-samenwerking-chaplin/>

### **N.a.v. volledige wegconstructie North Sea Port (8-12-2020)**

<https://www.agro-chemie.nl/nieuws/bio-asfaltweg-in-vlissingen-in-gebruik-genomen/>

<https://www.h4a.nl/projecten/asfaltcentrale/wereldprimeur-h4a-met-aanleg-eerste-proefvakken-bio-asfalt-/>

<https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6745363996313956354>

<https://issuu.com/innovatievematerialen/docs/im20211nl?fr=sNmNmMDExNTczNQ>

<https://www.linkmagazine.nl/avantium-ontvangt-financiering-voor-de-productie-van-lignine-voor-de-ontwikkeling-van-bio-based-asfalt/>

### **N.a.v. persbericht Roelofs-Avantium 's Werelds eerste weg met NL lignine 2 juni 2021**

#### ***Regionaal***

<https://www.dvhn.nl/economie/Wereldprimeur-in-Siddeburen-Eerste-weg-van-biologisch-asfalt-26858105.html>

<https://www.rtvnoord.nl/nieuws/823451/Uniek-tussen-Siddeburen-en-Wagenborgen-rij-je-over-duurzaam-bio-asfalt>

<https://klazienaveen.nu/avantium-kondigt-s-werelds-eerste-wegtest-aan-met-op-lignine-gebaseerd-asfalt-chemical-engineering/>

<https://economie.groningen.nl/nieuws/een-wereldprimeur-in-groningen-s-werelds-eerste-weg-van-biologisch-asfalt>

<https://www.provinciegroningen.nl/actueel/nieuws/nieuwsartikel/testweg-met-bioasfalt-aangelegd-tussen-siddeburen-en-wagenborgen/>

<https://www.chemieparkdelfzijl.nl/actueel/2020/04/867051-avantium-ontvangt-financiering-voor-ontwikkeling-van-bio-based-asfalt>

<https://www.groningen-seaports.com/nieuws/avantium-en-roelofs-leggen-s-werelds-eerste-testweg-aan-met-in-nederland-geproduceerde-lignine/e24xzswxeayzehm/>

<https://www.chemport.eu/news/article/dutch-plant-based-lignin-is-replacing-bithumen-in-test-road-by-roelofs-and-avantium-co2-reduction-of-road-construction/>

*Westerwolde Actueel, Testweg met bioasfalt aangelegd tussen Siddeburen en Wagenborgen  
Groninger Internet Courant, Een wereldprimeur in Groningen: 's werelds eerste weg van biologisch asfalt  
Groninger Courant, Testweg met bioasfalt aangelegd tussen Siddeburen en Wagenborgen*

## **Internationaal**

Test road with Dutch bio-asphalt seems to withstand the first 6 months successfully - Innovation Origins.  
<https://innovationorigins.com/en/test-road-with-dutch-bio-asphalt-seems-to-withstand-the-first-6-months-successfully/>

<https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2021/06/06/lignin-leads-the-way-worlds-first-lignin-bio-asphalt-road-lignins-array-of-applications-and-more/>

<https://www.construction-europe.com/news/roelofs-starts-on-worlds-first-bioasphalt-road/8012726.article>

<https://industry-update.com/avantium-announces-worlds-first-road-test-using-lignin-based-asphalt-chemical-engineering/32920/>

<https://www.dailyadvent.com/news/e31888463ded30dd009be94982db51f6-Avantium-announces-worlds-first-road-test-using-ligninbased-asphalt>

<https://www.plantmachineryvehicles.com/80633-test-road-under-construction-in-the-netherlands-will-determine-if-plant-based-lignin-could-be-used-as-a-substitute-for>

<https://www.newsbreak.com/news/2268768065724/avantium-n-and-roelofs-construct-the-world-s-first-test-road-with-lignin-produced-in-the-netherlands>

<https://indiaeducationdiary.in/utrecht-university-the-worlds-first-test-road-with-lignin-produced-in-the-netherlands/>

<https://www.international-construction.com/video/beijing-2008-olympics-2/1037833.article>

<https://www.bioeconomia.info/2021/06/09/comenzo-en-holanda-la-construccion-de-la-primera-carretera-pavimentada-con-bioasfalto/>

<https://vfb.be/artikel/avantium-en-roelofs-leggen-s-werelds-eerste-testweg-aan-met-in-nederland-geproduceerde-lignine-03-06-2021>

<https://www.ipsnews.be/artikel/nederland-test-snelweg-van-plantaardig-materiaal>

- **Construction Europe**, Roelofs starts on 'world's first' bio-asphalt road
  - **International Construction**, Roelofs starts on 'world's first' bio-asphalt road
  - **Construction Technology**, Roelofs starts on 'world's first' bio-asphalt road
  - **KHL**, Roelofs starts on 'world's first' bio-asphalt road
- **BioFuels Digest**, Lignin leads the way – World's first lignin bio-asphalt road, lignin's array of applications and more
- **Industry Europe**, Avantium & Roelofs construct first test road with Dutch lignin
- **Chemical Engineering**, Avantium announces world's first road test using lignin-based asphalt
- **Bioplastics News**, Avantium builds bio asphalt test road
- **Advanced Biofuels USA, Lignin Leads the Way – World's First Lignin Bio-Asphalt Road, Lignin's Array of Applications and More**
- **Polymerist, Rust Belt Riders Are Building Their Green Future One Bucket At A Time**

## **Vakbladen/-sites**

[https://www.agrolink.com.br/noticias/holanda-inicia-primeira-estrada-com-bioasfalto\\_451367.html](https://www.agrolink.com.br/noticias/holanda-inicia-primeira-estrada-com-bioasfalto_451367.html)

[https://www.agro-chemie.nl/nieuws/s-werelds-eerste-testweg-van-bio-asfalt-met-lignine/#:~:text=Infrabedrijf%20Roelofs%20start%20vandaag%20\(2,wordt%20gewonnen%20uit%20Oruwe%20olie.](https://www.agro-chemie.nl/nieuws/s-werelds-eerste-testweg-van-bio-asfalt-met-lignine/#:~:text=Infrabedrijf%20Roelofs%20start%20vandaag%20(2,wordt%20gewonnen%20uit%20Oruwe%20olie.)

<https://www.biojournaal.nl/article/9326683/eerste-weg-van-bio-asfalt-in-de-maak/>

<https://www.agriholland.nl/nieuws/bericht.php?id=231764>

<https://www.groeneruimte.nl/nieuws/bericht.php?id=231764>

<https://afvalonline.nl/bericht?id=33889>

<https://multifunctionelelandbouw.net/content/eerste-weg-van-bio-asfalt-de-maak>

### ***Beleggingssites***

<https://www.trendsmap.com/twitter/tweet/1400419756855943168>

<https://www.marketscreener.com/quote/stock/AVANTIUM-N-V-34281612/news/Avantium-N-nbsp-and-Roelofs-construct-the-world-s-first-test-road-with-lignin-produced-in-the-Neth-35494617/>

[https://www.belegger.nl/Forum/Topic/1378061/Avantium\\_Avantium-2021.aspx?page=Last#LastPost](https://www.belegger.nl/Forum/Topic/1378061/Avantium_Avantium-2021.aspx?page=Last#LastPost)

<https://craft.co/avantium-technologies>

<https://www.businessradar.com/en/company/b80a5-nl-roelofs-wegenbouw-bv/>

<https://www.debeurs.nl/Leden/1500326/maliqun61.aspx>

### ***Sites partners***

<https://www.uu.nl/nieuws/s-werelds-eerste-testweg-met-in-nl-geproduceerde-lignine>

<https://www.roelofsgroep.nl/avantium-en-roelofs-leggen-s-werelds-eerste-testweg-aan-met-in-nederland-geproduceerde-lignine/>

<https://www.avantium.com/press-releases/avantium-and-roelofs-construct-the-worlds-first-test-road-with-lignin-produced-in-the-netherlands/>

### **September 2021: publicatie OTAR**

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.otar.nl%2Fwp-content%2Fuploa

### **Oktober 2021: publicaties GWW en Bouw Circulair**

# Bijlage 2 Overzicht EU Normen

De volgende Europese Normen zijn van toepassing op de lab studies in het CHAPLIN XL project:

## AC surf/Bin/Base:

NEN-EN 13108-1;	Materiaalspecificaties - Deel 1: asfaltbeton
NEN-EN 13108-20;	Materiaalspecificaties - Deel 20: Typeonderzoek
NEN-EN 12697-8;	Bepaling van het gehalte aan poriën in bitumineuze materialen
NEN-EN 12697-12;	Bepaling van de watergevoeligheid
NEN-EN 12697-23;	Bepaling van de slijttreksterkte van bitumineuze proefstukken
NEN-EN 12697-24;	Weerstand tegen vermoeiing
NEN-EN 12697-25;	Cyclische drukproef, weerstand tegen permanente vervorming
NEN-EN 12697-26;	Stugheid
NEN-EN 12697-31;	Proefstukken verdicht met een gyratorverdichter
NEN-EN 12697-33;	Proefplaat verdichting
NEN-EN 12697-35;	Mengen in het laboratorium

## SMA en ZOAB:

NEN-EN 13108-5;	Materiaalspecificaties - Deel 5: Steenmastiekasfalt
NEN-EN 13108-7;	Materiaalspecificaties - ZOAB
NEN-EN 13108-20;	Materiaalspecificaties - Deel 20: Typeonderzoek
NEN-EN 12697-8;	Bepaling van het gehalte aan poriën in bitumineuze materialen
NEN-EN 12697-12;	Bepaling van de watergevoeligheid
NEN-EN 12697-23;	Bepaling van de slijttreksterkte van bitumineuze proefstukken
NEN-EN 12697-31;	Proefstukken verdicht met een gyratorverdichter
NEN-EN 12697-35;	Mengen in het laboratorium

# Bijlage 3 Lijst met achterliggende verslagen

De volgende lijst van (deels vertrouwelijke) verslagen en metingen waarop dit rapport (deels) gebaseerd is zijn in bezit van AKC, H4A en/of Roelofs:

- Verkorte verslagen functionele proeven
- ARBO metingen formaldehyde door H4A/Arbeidshygiënist (VERTROUWELIJK/INTERN)
- ARBO metingen formaldehyde in Laboratorium opstelling
- ARBO metingen formaldehyde in Pilot opstelling
- ARBO metingen formaldehyde bij de productie van asfalt
- Emissie metingen SGS en EmissionCare / AKC (VERTROUWELIJK/INTERN)
- ARBO metingen Formaldehyde bij de verwerking van asfalt
- Constructieberekeningen met OIA software
- VGD metingen Q Road en herberekening restlevensduur.
- Stroefheid KIWA rapport Oostburg (H4A)
- Correlatie geluid, stroefheid en rolweerstand in tabel en grafiek
- Correlatie rolweerstand en brandstofmeting rapport M+P