

KETEN VAN BIOMASSA NAAR BIOCOMPOSITET



Auteur: A.M. (Thijs) Kool
Begeleiders: Mark Nijman
Jan Peter van der Hoek
Andre Struker
Eindrapport: 24-10-2016
Onderzoeksgebied: Environmental Engineering

TU Delft
Waternet
TU Delft, Waternet
Waternet

1. VOORWOORD

Voor het Bachelor eindwerk van de TU Delft opleiding Civiele Techniek was ik opzoek naar een onderzoek over duurzaamheid. Duurzaamheid is een breed aspect waarbinnen veel onderwerpen kunnen vallen. Doordat ik veel aan het milieu denk, zo ook in het dagelijks leven. Een voorbeeld hiervan is het houten horloge wat ik recent gekocht heb. Voor elk horloge wat verkocht wordt laat dit bedrijf een nieuwe boom planten.

Via Luuk Rietveld, professor aan de TU Delft, ben ik toen bij de watercyclus van Amsterdam terecht gekomen van Waternet. Hierbinnen bleek het onderwerp biocomposiet nog beschikbaar. Na enige research over het onderwerp te hebben gedaan ben ik hiermee aan de slag gegaan. Zo bleek later met het verkeerde onderwerp, namelijk bioplastics in plaats van biocomposiet. Na een korte bespreking met mijn begeleiders ben ik toen uiteindelijk wel de goede weg ingeslagen.

Hierna heb ik nog zeven weken met plezier en enthousiasme aan het onderzoek gewerkt. Ik heb het bacheloreindwerk als zeer prettig ervaren, evenzo de samenwerking met Mark Nijman.

2. INHOUDSOPGAVE

1. Voorwoord.....	2
2. Inhoudsopgave	3
3. Samenvatting	4
4. Inleiding.....	5
4.1 Waternet en het waterschap Amstel, Gooi en Vecht	5
4.2 Biocomposiet.....	6
4.3 Probleemstelling.....	7
4.4 Doelstelling.....	7
4.5 Hoofdvraag en deelvragen.....	8
4.6 Plan van aanpak.....	8
5. Procesanalyse.....	9
5.1 Proces.....	9
5.2 Maaiproces	9
5.3 Preparatie van de vezels	10
5.4 Persen.....	11
5.5 Coating en polijsten.....	11
5.6 Kostenanalyse	12
5.7 Koolstofdioxide analyse.....	12
5.8 Keten Analyse.....	14
6. Productanalyse.....	16
6.1 Huidige producten	16
6.2 Koolstofvoetafdruk producten.....	17
6.3 Producten van biocomposiet.....	18
6.4 Productbalans.....	20
7. Conclusie	21
8. Discussie.....	22
9. Aanbeveling.....	22
10. Bibliografie.....	23

11. Figuren.....	25
12. Tabellen	25
13. Bijlagen.....	26

3. SAMENVATTING

Na een uitgebreide analyse van de keten van biomassa naar biocomposiet is de keten op economisch en ecologisch vlak geoptimaliseerd voor de verschillende typen biomassa. Hierna is voor verschillende producttypen een analyse gemaakt op weer economisch en ecologisch vlak. Hierbij is de vergelijking gemaakt tussen de huidige materialen waarvan het product gemaakt wordt en het vervangende biocomposiet.

Uit het onderzoek is gebleken dat er naar bepaalde onderdelen van de keten nog verder onderzoek gepleegd moet worden. Echter na dit onderzoek is bekend dat biocomposiet een uitstekende vervanger is ten opzichte van aluminium en glasvezelcomposieten. Om een hoogwaardige kwaliteit te garanderen moet er echter nog wel meer onderzoek worden gedaan naar verschillende aspecten van de keten en naar de materiaaleigenschappen.

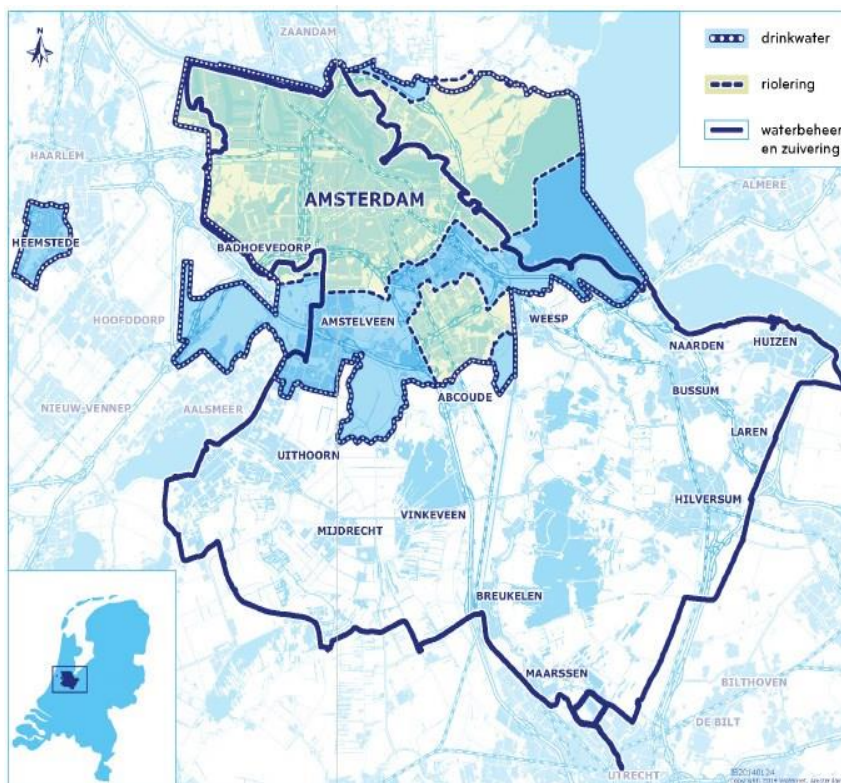
4. INLEIDING

4.1 WATERNET EN HET WATERSCHAP AMSTEL, GOOI EN VECHT

Waternet is de gemeenschappelijke organisatie van de gemeente Amsterdam en het waterschap Amstel, Gooi en Vecht. Hierdoor zijn alle watertaken samengevoegd in een organisatie en is Waternet het eerste watercyclus bedrijf van Nederland. Waternet heeft het streven om in 2020 klimaatneutraal te zijn, dit wil zeggen: geen CO₂ meer uitstoten of compenseren. De gemeente Amsterdam streeft ernaar om de CO₂-uitstoot per inwoner gelijk te houden in 2025 ten opzichte van 2013. Als organisatie streeft gemeente Amsterdam ernaar in 2025 een bedrijfsvoerende CO₂-reductie te realiseren van 45% ten opzichte van 2013. (Het waterschap van Amstel, Gooi en Vecht, 2016)

Het werkgebied van Waternet is groter dan alleen de gemeente Amsterdam, het betreft de gemeenten:

- | | | |
|------------------|-------------------|------------------|
| - Aalsmeer | - Gooise Meren | - Ouder-Amstel |
| - Amstelveen | - Haarlemmerliede | - Stichtse Vecht |
| - Amsterdam | en Spaarnwoude | - Uithoorn |
| - Blaricum | - Hilversum | - Utrecht |
| - De Bilt | - Huizen | - Weesp |
| - De Ronde Venen | - Laren | |
| - Diemen | - Nieuwkoop | |



Figuur 1: Werkgebied Waternet (Waternet)

4.2 BIOCOMPOSITIET

Om aan de ambitie om CO₂-neutraal te voldoen wil Waternet de optie om biocomposiet van restmaterialen afkomstig uit het dagelijks beheer verder onderzoeken. Op 25 mei 2016 heeft Waternet aangetoond dat het mogelijk is een straatbank en tafelblad van biocomposiet te produceren. Het biocomposiet wordt gemaakt van restmaterialen zoals riet, natuurgas, waterplanten, calcië en cellulose in combinatie met een hars. (Waternet, 2016) Waternet werkte voor de productie van deze straatbank samen met NPSP Composieten. Dit bedrijf heeft het streven om 100% duurzame oplossingen te vinden binnen de composietenwereld. Hiervoor heeft NPSP een biocomposiet ontwikkeld uit vlas, jute, kokos en hennep. (NPSP Composieten)



Figuur 2: Biobased streetbench(L) en tafel(R) (Waternet, 2016)

Biocomposiet biedt betere alternatieven voor het milieu. Er is bij deze productie geen glasvezel meer nodig. Uit eerder onderzoek binnen Waternet is gekomen dat er per ton natuurvezel 7 ton CO₂ bespaard wordt. Daarnaast kan het biocomposiet aan het einde van de levensduur omgezet worden naar groene energie bij mee-verbranding. Bij glasvezel verbranding komen schadelijke stoffen vrij en volgens de EU-regelgeving mogen dezen niet meer gestort worden. (NPSP Composieten) Een ander voordeel is dat de biomassa een restproduct is; er hoeft geen extra grond voor gereserveerd te worden.

NPSP werkt al langer met composieten en kent de markt goed. Zij zien hierdoor goed de potentie van biocomposiet en nadelen van het huidige glasvezelcomposiet als materiaal. De nadelen voor bijvoorbeeld een zeilboot van glasvezelpolyester is dat deze na de gebruiksfase geen kant meer op kan. Storten is gezien EU-regelgeving niet meer mogelijk en verbranden problematisch, omdat het glas de ovens vervuult. Daarnaast moeten composietproducten vaak aan hoge technische eisen voldoen. Deze moeten licht en sterk zijn, tegen vandalisme, chemicaliën en UV bestand zijn. In de productie streeft NPSP naar de optimale hechting tussen de componenten. Dit zorgt er ook voor dat deze aan het einde van de levensduur juist weer moeilijk te scheiden zijn. Recycling van glasvezelcomposiet is vooralsnog dan ook technisch lastig en duur.

4.3 PROBLEEMSTELLING

De probleemstelling is dat het onbekend is hoe de gehele keten geoptimaliseerd kan worden voor verschillende producttypen op ecologisch vlak, qua CO₂-emissie en of er een economisch voordeel is.

Binnen de gehele keten zijn de losse processen bekend en hoe deze eventueel aan elkaar gelinkt kunnen worden. Echter om het eindproduct aan bepaalde eisen te laten voldoen is onbekend wat hiervoor bij eerdere stappen nodig is. Waar binnen het proces moet het aan welke eisen voldoen om het geoptimaliseerde resultaat te behalen.

Om deze vraag te kunnen beantwoorden wordt eerst de losse onderdelen geanalyseerd op voor- en nadelen. Het gaat hierbij om het maaiproces en het productieproces en de verschillende stappen die hiertussen vallen. Om de eisen aan het proces te stellen moeten er eisen aan het eindproduct gesteld worden. Op basis van verschillende typen kunnen de eisen per type vastgesteld worden. Als de eisen haalbaar zijn binnen het project kan de afweging gemaakt worden om deze producten te maken. Belangrijk hierbinnen zijn de kosten en de CO₂-analyse per product.

Voor een overzicht van de hoofdvraag en deelvragen zie 4.5 hoofdvraag en deelvragen.

4.4 DOELSTELLING

Het doel van dit onderzoek is om de huidige keten van biomassa naar biocomposiet in beeld te brengen en deze aan te passen op de punten waar dit nodig is om aan de eisen voor het eindproduct te voldoen. Dit levert uiteindelijk een programma van eisen per product op met een advies welk(e) product(en) haalbaar is/zijn voor Waternet. De optimalisatie van de keten richt zich op de financiën en CO₂-emissie. De verschillende ketens en mogelijkheden worden hierbij aan elkaar gelinkt door middel van een ketenschema met bijbehorende getallen qua financiën en CO₂-emissie.

Om de haalbaarheid te toetsen zullen verschillende producttypen die zich onderscheiden op de benodigde kenmerken belicht worden. Vanuit de kennis die hiermee wordt opgedaan wordt gekeken naar wat de haalbaarheid per producttype is. Dit ten opzichte van de huidige kosten en CO₂-emissies worden vergeleken. Voor deze haalbaarheid zal terug geredeneerd worden binnen het gehele proces per stap van maaien tot aan het eindproduct wat hiervoor binnen de keten nodig is.

4.5 HOOFDVRAAG EN DEELVRAGEN

De hoofdvraag is als volgt geformuleerd aan de hand van de probleem- en doelstelling:

- Hoe kan de gehele keten geoptimaliseerd worden op ecologisch en economisch vlak voor verschillende producttypen?

De deelvragen hierbij zijn:

- Hoe ziet het maaiproces eruit? Wat zijn de voor- en nadelen van het huidige proces? Wat zijn de kosten en wat is de koolstofdioxidevoetafdruk?
- Hoe ziet het productieproces eruit? Wat zijn de voor- en nadelen van het huidige proces? Wat zijn de kosten en wat is de koolstofdioxidevoetafdruk?
- Wat zijn de verschillende typen producten? Waaraan moeten deze voldoen?
- Is het rendabel om deze producten te maken van biocomposiet in plaats van de originele producten, op economisch en ecologisch vlak?

4.6 PLAN VAN AANPAK

Het onderzoek bestaat uit vijf stappen:

- Analyse van de huidige keten en de verschillende stappen binnen de keten (H5 Procesanalyse);
- Analyse van de huidige producten (H6 Productanalyse);
- Analyse van de vernieuwde producten (H6 Productanalyse);
- Analyse van de keten voor de vernieuwde producten (H6 Productanalyse);
- Haalbaarheidsanalyse per product (H6.4 Productbalans).

Voor elke analyse is het van belang om naast de procedure die gevolgd wordt ook te analyseren wat voor kosten eraan zitten en hoeveel koolstofdioxide equivalent er hierbij vrij komt. Echter kunnen door de eisen aan de nieuwe producten stappen overgeslagen of aangepast worden, dit is een afweging die per product gemaakt wordt.

Uit de laatste stap volgt de conclusie over de haalbaarheid per product en/of dit een positieve bijdrage heeft qua CO₂-uitstoot.

5. PROCESANALYSE

5.1 PROCES

Het totale proces bestaat uit enkele losse onderdelen deze losse onderdelen zijn onderverdeeld in het Maaiproces(5.2), Preparatie van de vezels(5.3), Persen(5.4) en Coating en polijsten (5.5). Bij het maaiproces wordt gekeken naar de huidige procedure van het maaien. Wat gebeurt er waarom, en wat gebeurt er hierna? Wat zijn de voordelen en wat zijn de nadelen?

Bij de volgende paragraaf wordt beschreven waaraan de vezels moeten voldoen of kunnen voldoen om geperst te kunnen worden. Hierbij wordt gekeken naar de verschillende onderdelen van de preparatie en wat hiervoor bij het maaien of bij de preparatie nodig is. Hierna wordt het persen kort belicht en wat hierbij gebeurt en mogelijk is.

Een groot deel van de informatie binnen dit hoofdstuk volgt uit het interview met Willem Böttger van NPSP, welke is te vinden in de bijlage.

5.2 MAAIPROCES

Voor de analyse van het maaiproces is het van belang te weten welke soorten biomassa gecreëerd worden. Dit is namelijk in drie categorieën onder te verdelen: onderwaterplanten, oeverbeplanting en kruidachtige. Voorbeelden hiervan zijn respectievelijk waterpest, riet en natuurgas. (Bos, 2015) Binnen het riet zal een onderscheid gemaakt worden tussen zomerriet en winterriet op basis van hun eigenschappen, dit wordt later toegelicht.

De biomassa wordt automatisch gecreëerd bij het maaiproces, door onderhoud aan de kade en bodem van waterwegen. Het wordt momenteel gezien als een restproduct, iets waar nu niets of nauwelijks iets mee gedaan wordt. Na het maaien wordt de biomassa op de kade gelegd of centraal verzameld. Vanaf hier is het beheer voor landeigenaren, het is daardoor grotendeels onbekend wat ermee gebeurt. Als het op de kade blijft liggen kan het opgehaald en verwerkt worden door de landeigenaar. Echter de landeigenaar kan beslissen het te laten liggen hierbij zal de biomassa weggroten waarbij koolstofdioxide (CO_2), methaan (CH_4) en lachgas (N_2O) vrijkomen. Als het opgehaald wordt gaat het naar een composteerder. De kosten hiervoor bedragen €40,- per ton natte biomassa. Bij beiden processen komt door rotting van de eerder genoemde stoffen vrij met 84 kg CO_2 -equivalent, voor grasachtige is dit 104 kg CO_2 -equivalent. (Nijman, Circulaire Biocomposieten op basis van restmaterialen van Waternet, 2013) Het is onbekend of droge biomassa meer, minder of evenveel opbrengt dan natte biomassa. Hierom zal met de €40,- per ton gerekend worden. Bij rottingsproces is er een



Figuur 3: Gemaaide waterplanten Loenderveense Plas (Heerdt, Waterplanten maaien, conserveren en verwerken, 2014)

mogelijkheid dat de nutriënten uit de biomassa weer terug in het oppervlakte water komen wanneer de biomassa op de kade zal rotten. De nutriënten fungeren als voedingsstoffen voor waterplanten. Dit kan nadelig zijn als er een teveel aan nutriënten in water aanwezig is, dan geeft dit een verhoogde kans op algengroei. (Heisler, et al., 2008) Dit proces is eerder al beschreven in een rapport van Waternet over onderzoek naar waterplanten maaien, conserveren en verwerken. (Heerdt, et al., 2014)

De hoeveelheid biomassa uit waterplanten, oeverplanten en kruidachtige planten is geschat door KWR op 10.865 ton gemaaide biomassa per jaar. (Buijzer, Roest, Brand, Versteeg, & Hofman, Juni 2015) Deze hoeveelheid is geschat op puur de stedelijke omgeving van Amsterdam. Omdat het waterschap groter is dan alleen Amsterdam heeft Waternet heeft Ecofys opdracht gegeven om de biomassa stromen in kaart te brengen. Dit is gedaan met behulp van een zelf ontwikkelde rekentool van Ecofys, de berekende hoeveelheid wordt geschat op 6000 ton droge stof. Deze hoeveelheid komt uit de drinkwaterbronnen (Duinen, winkanalen en winplassen) en de primaire watergangen van het waterschap Amstel, Gooi en Vecht. (Hamelinck, 2015) (Waternet, 2016)

Het maaien moet gebeuren om de kade en vaarwegen begaanbaar te houden. De winst bij dit proces zit bij het verzamelen van de biomassa voor compost of biocomposiet. Wanneer de biomassa niet opgehaald wordt zal dit gevolgen hebben voor het milieu en de watergangen. De hoeveelheid CO₂ en eventuele nutriënten die in het water komen hebben beiden negatieve invloeden die voorkomen dienen te worden. Omdat het doel van waternet is om materialen uit eigen cycli te gebruiken voor de productie van biocomposiet wordt er met de 6000 ton die hieruit beschikbaar is gerekend.

5.3 PREPARATIE VAN DE VEZELS

Voordat de biomassa tot biocomposiet verwerkt kan worden moet het aan verschillende eisen voldoen. Deze eisen zijn door NPSP vastgesteld zodat de sterkte optimaal is of de mal tijdens het proces niet beschadigd. Hiervoor moeten verschillende handelingen uitgevoerd worden.

De biomassa moet bijvoorbeeld uit 84% droge stof bestaan voordat het verwerkt kan worden. In de huidige vorm wordt de biomassa eerst voorgedroogd tot 75% droge stof in de buitenlucht en daarna nagedroogd tot het uit de minimaal benodigde 84% droge stof bestaat. Het nadrogen is bij 100°C voor een periode van een uur. Het voordrogen kan op een grasland van een boer, wat ruimte en tijd kost. De nutriënten die anders niet benut worden komen hierbij ten goede voor het gras. Dit proces kost geen energie, nadeel is wel dat er boeren bereid gevonden moeten worden om hieraan mee te werken. Er kan ook nagedacht worden om de eerste stap



Figuur 4: Drogen in de buitenlucht na 1 dag (Heerdt, Waterplanten maaien, conserveren en verwerken, 2014)

over te slaan en het product in één keer te drogen. Er kan gekozen worden om te drogen tot een nog hoger percentage. Echter de verwachting vanuit NPSP is dat een hoger vochtpercentage bijdraagt aan een hogere stekte en zuiverdere verbranding die meer energie oplevert als het eindproduct verbrand wordt. Dit is een aanname van Willem Böttger van NPSP. Naar deze aanname moet meer onderzoek naar gedaan worden.

De biomassa moet daarnaast aan de eis voldoen dat het zandvrij is als gebruik gemaakt wordt van de mal van NPSP of de Duitse partner hiervan. Om hiervoor te zorgen kan de biomassa gezeefd worden. Dit zorgt ervoor dat er geen zand meer in de biomassa achterblijft. Hierbij kan water gebruikt worden om het proces te versnellen en andere verontreinigingen te verwijderen. Hierover is niet veel bekend en momenteel wordt vanuit Waternet hiernaar onderzoek gedaan. Een nadeel van met water zeven is dat het product hierna weer tot het minimale percentage droge stof gebracht moet worden om aan deze eis te voldoen. Een optie is om eerst te zeven en dan te drogen. Om het product te kunnen persen zal de biomassa nog vermalen worden tot er vezels over blijven met een maximale lengte van 25 mm. (Nijman, Circulaire Biocomposieten op basis van restmaterialen van Waternet, 2013) Eventueel moet dit gezeefd worden om de te grote delen nog een keer te laten vermalen. Er zijn verschillende mogelijkheden binnen de preparatie mogelijk.

5.4 PERSEN

Na de preparatie van de biomassa naar de eisen van NPSP kan de biomassa samen met een hars en cellulose geperst worden tot het eindproduct. Dit proces is exact hetzelfde als voor de productie van glasvezelcomposiet. In plaats van glasvezels wordt hierbij gebruik gemaakt van de biovezels. Voor tien kubieke meter biocomposiet is 0.7 ton biomassa nodig en 0.3 ton hars. De eindproducten moeten daarnaast aan hun eigen eisen voldoen, hiernaar wordt gekeken in het volgende hoofdstuk: Productanalyse. De maximale grootte van een object is bij NPSP 20 cm bij 50 cm. Echter in samenwerking met een Duitse composieten perser zou dit richting de 3 m² per pers gaan. De maximale dikte wordt door Willem Böttger geschat op 4 cm. Het is niet ondenkbaar dat er in de toekomst een eigen mal aangeschaft wordt. In de eigen mal zou het eventueel mogelijk zijn om biocomposiet te persen met zandresten tussen de vezels.

5.5 COATING EN POLIJSTEN

Om ervoor te zorgen dat het product van een hoogwaardige kwaliteit en gebruiksvriendelijk is wordt het product gecoat. Deze coating zorgt ervoor dat het product niet afgeeft, bestand is tegen regenwater en bijvoorbeeld chemicaliën. De coating kan voor of na bewerking van het product aangebracht worden. Hiervoor is mailcontact geweest met drie medewerkers van de RIGO Verffabriek.

De coating die momenteel getest wordt is een duurzame coating van RIGO verffabriek uit IJmuiden. Volgens Machiel van Westerhoven en Richard Vermeulen van RIGO zijn de coatings

op plantaardige olie van hun bedrijf duurzamer dan conventionele op basis van aardoliën. De CO₂-reductie wordt door Machiel van Westerhoven geschat op 30% ten opzichte van de conventionele coatings. Echter wordt hierbij door Magda Neven van RIGO aangegeven dat de coating die het product waterbestendig maakt niet goed hecht. Op termijn zou hiervoor een oplossing gevonden kunnen worden. Hierbij geeft Magda Neven ook aan dat ze niet weet of het wel nodig is om het product te coaten voor waterbestendigheid. Voor bescherming tegen andere aspecten als UV-straling, regenwater, afgeven en lichte chemicaliën is een duurzame coating beschikbaar.

De coating heeft daarnaast nog een functie: wanneer deze eventueel gepolijst wordt zouden krassen die eventueel op het materiaal aanwezig zijn niet voelbaar of zichtbaar meer zijn. Dit effect moet verder onderzocht worden qua mogelijkheden en kosten.

5.6 KOSTENANALYSE

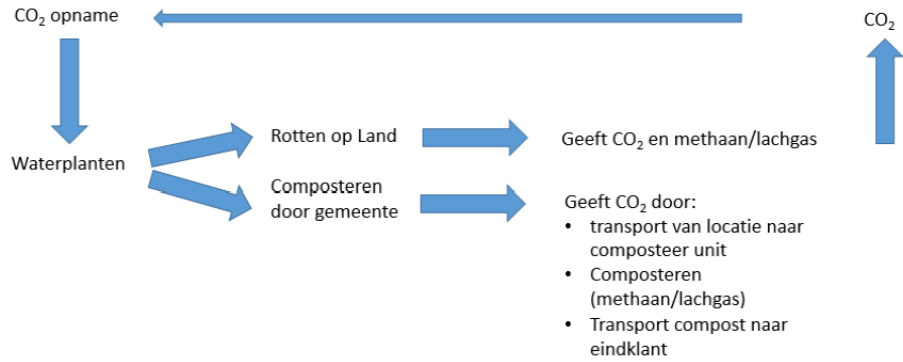
Hierbij wordt gekeken naar de huidige kosten binnen het gehele proces, exclusief het maaien en transport. Dit wordt gedaan omdat dit kosten zijn die reeds binnen het proces vallen en niet gewijzigd zullen worden. Kostenbesparingen door het niet composteren worden gezien als geld dat geïnvesteerd kan worden in het proces. Overige winst die gemaakt wordt is door het niet inkopen van andere producten. Dit wordt pas behandeld in Hoofdstuk 6.

Stap in het proces	Kosten excl. Btw. (€),	Stap in het proces	Besparing(€)
Inkoop hars	4.5/kg		
Vermalen van de vezels	1000,- per ton	Composteren (nat)	40,- per ton
Drogen van de vezels	Onbekend		
Zeven van de vezels	Onbekend		
Persen	35,- per keer		
Coating	2,-/m ²		

Tabel 1: Kosten en inkomsten van het proces (Nijman, Circulaire Biocomposieten op basis van restmaterialen van Waternet, 2013) (Nijman, Benutten van Biomassa, 2015)

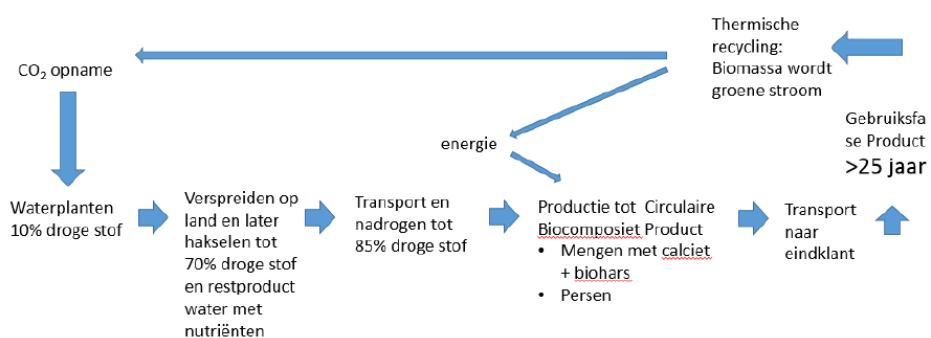
5.7 KOOLSTOFDIOXIDE ANALYSE

De koolstofdioxideketen begint bij de koolstofdioxide in de lucht welke door planten opgenomen wordt en omgezet wordt in glucose en zuurstof. Hierbij wordt de koolstofdioxide vastgelegd als bouwstof binnen de vegetatie. Zodra de planten gemaaid worden begint het rottingsproces. Bij dit proces komen de broeikasgassen in de lucht en verschillende nutriënten weer in het oppervlakte water. Voor de waarden zie hoofdstuk 5.1 Maaien. Een andere optie is composteren hierbij komt de koolstofdioxide ook vrij door het rottingsproces echter de nutriënten komen hierbij niet meer in het oppervlakte water. De compost wordt vervolgens naar de eindklant gebracht. (Nijman, Circulaire Biocomposieten op basis van restmaterialen van Waternet, 2013)



Figuur 5: Koolstofdioxideketen (Nijman, Circulaire Biocomposieten op basis van restmaterialen van Waternet, 2013)

Wanneer de biomassa opgehaald en later verwerkt wordt tot biocomposiet komen er extra schakels in de keten waardoor de koolstofuitstoot omlaag gebracht kan worden. Bij het drogen van het materiaal komt initieel geen koolstofdioxide vrij. Echter als deze voor de tweede keer gedroogd wordt van 75% tot 96% gebeurt dit op 100°C voor één uur. Dit kost per kWh 0.526 kg CO₂ (Lijst emissiefactoren, 2016). Dit kan omlaag gebracht worden door het gebruik van groene energie. Echter de winst in het proces wordt behaald bij het niet gebruiken van glasvezels, deze besparing is 7 ton CO₂ per ton natuurvezel. (Nijman, Circulaire Biocomposieten op basis van restmaterialen van Waternet, 2013) Dit is een voorbeeld voor andere materialen zal dezelfde vergelijking gemaakt worden. Hiervoor wordt als uitgangspunt genomen dat voor het transport, vermalen en maaien van de planten 1.14 MJ/kg aan energie wordt gebruikt. Deze hoeveelheid energie is om te rekenen via kWh/kg naar kg CO₂ per kg biomassa, hierbij wordt geschat dat voor het drogen en zeven 2.5 MJ/kg biomassa benodigd is. Totaal komt dit uit op 530 kg CO₂/ton biomassa om biocomposiet te maken. (Nijman, Circulaire Biocomposieten op basis van restmaterialen van Waternet, 2013)



Figuur 6: Vernieuwde koolstofdioxideketen (Nijman, Circulaire Biocomposieten op basis van restmaterialen van Waternet, 2013)

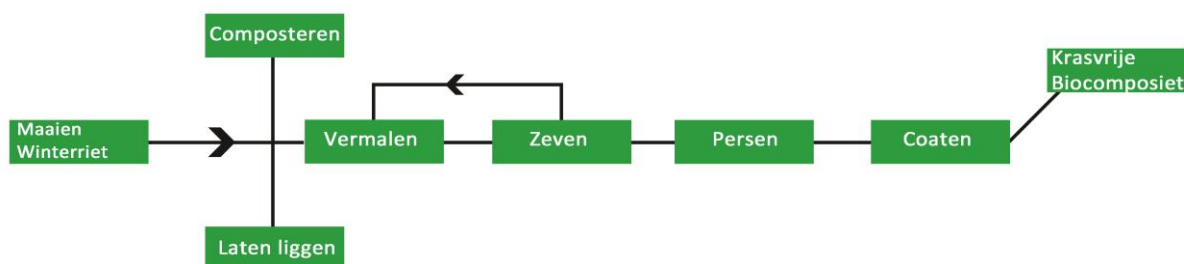
Deze keten is puur de koolstofdioxide analyse op het gebied van het huidige proces en het eventueel nieuwe proces. Hierbij is de beschouwing per product nog buitenwege gelaten. Deze volgt in Hoofdstuk 6. De eerste stap die gemaakt moet worden is laten liggen of transporteren. Transporteren kost 60 kg CO₂ per ton biomassa. Laten liggen betekent dat de stof wegtrot hierbij komt tussen de 84 kg en 104 kg CO₂ per ton. Na transport kan ervoor gekozen worden om het

product te composteren of verwerken tot biocomposiet. Bij composteren betekent het dat de CO₂ alsnog vrijkomt bij het proces tot compost, bij biocomposiet wordt de CO₂ in het product vast gelegd. Het proces kost 530 kg CO₂ per ton, totaal 590 kg CO₂ per ton. Zonder het drogen zal dit lager uitvallen, namelijk totaal 300 kg CO₂ per ton. Composteren kost inclusief transport tussen de 144 en 164 kg CO₂ per ton. Ondanks dat het laten rotten van het product het minste CO₂ per ton uitstoot is dit onwenselijk door de eerder genoemde nadelen. Composteren levert een laagwaardiger product op dan het biocomposiet alhoewel hier wel minder CO₂ mee uitgestoten wordt is dit onwenselijk. Er zit namelijk een veel grotere winst bij het niet gebruiken van materialen als glasvezel.

5.8 KETEN ANALYSE

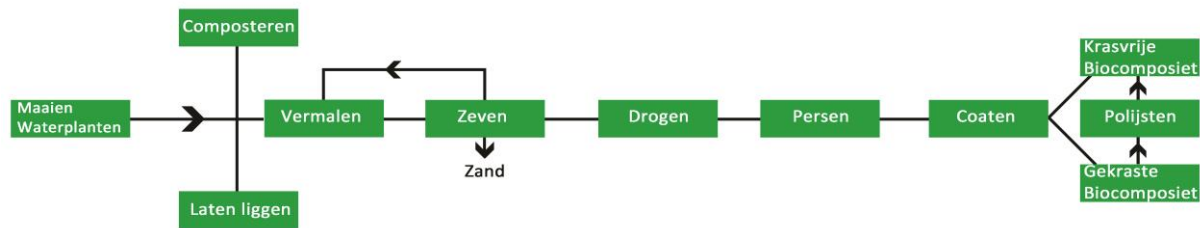
Door het verschil in eigenschappen tussen onderwaterplanten, oeverbeplanting en kruidachtige is er een verschillende keten benodigd per groep. Bij het maaien van onderwaterplanten komt mogelijk slib, dus zand, mee waardoor dit eventueel zandvrij gezeefd wordt. Echter kan er hierbij gekozen worden om een eventueel duurdere techniek te kiezen waarbij het slib niet mee komt en 0% zand te garanderen is of te coaten en polijsten waardoor de kras niet meer opvalt. Doordat dit aannames zijn wordt er nu vanuit gegaan dat hierbij zeven een vereiste is, later kan nog bepaald worden vanwege de kosten. Voor natuurgras en kruidachtige is dit nog in onderzoek, de verwachting van Mark Nijman is dat er geen zand meekomt. Bij het maaien van riet is het zeven niet nodig doordat hier geen zand bij meekomt. Voor het droogproces is duidelijk dat bij zomerriet en waterplanten dit moet gebeuren. Voor natuurgras is dit nog in onderzoek. De potentiële keten vanaf maaien tot biocomposiet ziet er dan zoals onderstaand uit.

Voor winterriet is de keten redelijk makkelijk en hierbij ontbreekt de stap om te drogen. Dit is voordelig want het kost zo minder energie dus een lagere CO₂ uitstoot. Zeven zal voornamelijk nodig zijn om de te grote vezels uit het proces te halen. Deze stap is eventueel niet benodigd als er een maalmachine wordt gekozen welke de vezels altijd kleiner dan 25 mm maakt. Doordat er geen zand aanwezig is binnen het proces zal er ongeacht of er wel of niet een coating op het materiaal wordt aangebracht een krasvrij product ontstaan. De coating kan aangebracht worden voor bescherming tegen de weersomstandigheden, UV-bescherming en dergelijke.



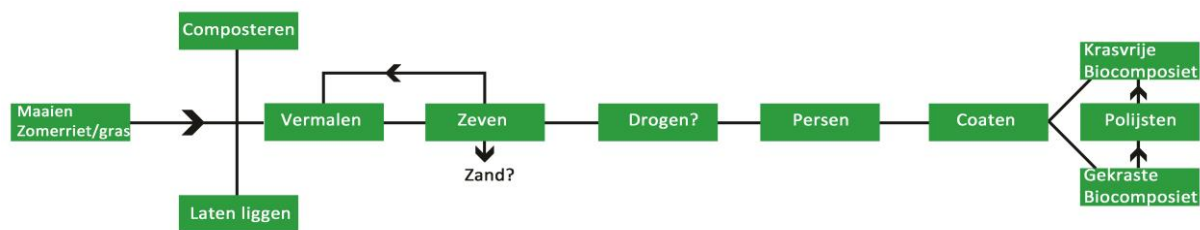
Figuur 7: Keten winterriet

Voor waterplanten is de keten hetzelfde echter hierbij is drogen essentieel, de keuze tussen zeven en coaten kan hier gemaakt worden, ook met dezelfde overweging over het vermalen. Dit is iets wat verder uitgezocht moet worden door Waternet. Als er gecoat wordt op een bekrast materiaal zou de kras eventueel gepolijst kunnen worden waardoor deze niet meer te zien is. Echter hierover is verder niets bekend.



Figuur 8: Keten waterplanten

Voor kruidachtige (natuurgras) en winterriet is nog niet veel bekend qua maaien en drogen. Hierdoor is de keten theoretisch hetzelfde echter hierbij is onbekend of drogen en zeven essentieel zijn. Voor natuurgras kan zelfs bedacht worden of het niet al klein genoeg is. De keuze tussen zeven en coaten kan ook hier weer gemaakt worden. Voor de maalmachine zal deze overweging ook gemaakt moeten worden bij Waternet.



Figuur 9: Keten zomerriet, kruidachtige en natuurgras

6. PRODUCTANALYSE

6.1 HUIDIGE PRODUCTEN

Om de haalbaarheid van producten van biocomposiet te toetsen worden verschillende producten die aan verschillende eisen voldoen geanalyseerd. Om de fysieke haalbaarheid te toetsen heeft Waternet in samenwerking met NPSP al twee producten gerealiseerd, een tafelblad en straatbank. Beiden voldoen aan hun eigen eisen, zo mogen ze beiden niet afgeven, een bepaalde sterkte en afmetingen hebben en krasvrij zijn bij oplevering. De straatbank moet daarnaast bestand zijn tegen weersomstandigheden; zon (UV), hitte, kou en regen. De tafel moet daarnaast schoon te maken zijn met diverse schoonmaakmiddelen. De kosten voor het meubilair komen intern van Barry Ziessen. Kosten en afmetingen voor de straatbank zijn gebaseerd op vergelijking van Velopa en Falco. (Falco, 2016) (VelopA, 2016) Het plaatmateriaal is gebaseerd op prijzen van de Hornbach en online-bouwmaterialen.nl. (Online-Bouwmaterialen, 2016) (Hornbach, 2016) Voor de beschoeiingsdelen is gekeken naar Gadero. (Gadero, 2016) Voor peilschalen is gekeken naar de peilschalenspecialist.nl en visserenvisser.nl (Langcat Emaille B.V., 2016) (Visser en Visser, 2016) Krasvrij is alleen verplicht als er geen sticker overheen gaat of niet onder water terecht komt, voor het oog er mooi uit met zien. Of het een product voor binnen of buiten is spreekt voor zich. Samen met het binnen/buiten aspect of dat het schoongemaakt moet worden of zelfs constant met water in aanraking komt bepaald of het licht/gemiddeld/zeer rotgevoelig is. Het is het doel om het eindproduct van biocomposiet aan diezelfde eisen te laten voldoen als het originele product. Een groot voordeel is dat de levensduur voor de huidige producten 12 jaar is, terwijl voor hetzelfde product van biocomposiet geraamd wordt op minimaal 25 jaar.

Product \ Eisen	Sterkte	Afmetingen [LxBxD, cm]	Krasvrij	Binnen /buiten	Rotgevoelig	Huidige kosten (excl. Btw)	Levensduur
Hectometer-bord	Geen	35x50x0.2 35x60x0.2	Nee	Buiten	Licht	€62,50.*	12 Jaar
Straatnaam-bord	Geen	100x20x0.2	Nee	Buiten	Licht	€60.80.*	12 Jaar
Meubilair	Dagelijks gebruik	120x80x1.2	Ja	Binnen	Licht	€182,- Los blad	15 Jaar
Straatbank (4-5 planken)	Dagelijks gebruik	Per plank Vx12x4	Ja	Buiten	Gemiddeld	€300,- totaal	10 Jaar
Plaatmateriaal Binnen	Geen	Variabel Dikte 1 á 2	Ja	Binnen	Licht	€10-25,- per m ²	10 Jaar
Plaatmateriaal Buiten	Windbelasting	Variabel Dikte 1 á 2	Ja	Buiten	Gemiddeld	€10-100,- per m ²	10 Jaar
Beschoeiing	Constante belasting	Vx15x2	Nee	Buiten	Zeet	€4,65 per m	20-25 Jaar
Peilschaal	Geen	Vx13x0.2	Nee	Buiten	Zeet	€115 á 120,- per m	10 Jaar

Tabel 2: Productkenmerken, V=Variabel * (Informatiebord.nl BV, 2016)

6.2 KOOLSTOFVOETAFDruk PRODUCTEN

Elk product heeft een eigen voetafdruk, om de vergelijking te maken met de producten van biocomposiet, is een overzicht gemaakt van de huidige producten. Hierbij is van belang van welke materialen de huidige producten gemaakt worden en wat hierbij de energie/uitstoot voor het winnen van de grondstof en de productie van het product. Als aanname voor de producten met een variabele lengte of een variabele dikte wordt gekeken naar de het volume per lengte of per dikte afhankelijk van de situatie. De CO₂-voetafdruk is bepaald door het volume, dichtheid en kg CO₂ uitstoot per kg. Hiermee is de voetafdruk in kg/m³ bepaald en vervolgens dat van één product. Bij aluminium is er vanuit gegaan dat 33% secundair/gerecycled aluminium is en 66% primair hierdoor ontstaat er bij de uitstoot 11.6 kg CO₂ per kg aluminium. Voor spaanplaat is dit - 0.076 kg CO₂ per kg spaanplaat, echter hierbij moet wel rekening gehouden worden met de uitstoot voor de productie van melanine die over het product heen gaat, echter voor het gemak van de berekening stellen we deze gelijk aan die van de coating. Voor hardhout geldt een waarde van 0.28 kg CO₂ per kg en voor glasvezel zoals al eerder berekend 8 kg CO₂ per kg.

Eigenschappen Product	Grondstof	Afmetingen	CO ₂ -voetafdruk Materiaal* [kg CO ₂ per m ³]	CO ₂ -voetafdruk Product [kg CO ₂]
Biocomposiet	Winterriet	-	300	-
	Overige biovezels		590	-
Hectometerbord	Aluminium	35x50x0.2cm	31.320	16
		35x60x0.2cm		19
Straatnaambord	Aluminium	100x20x0.2cm	31.320	18
Meubilair	Spaanplaat Melanine	120x80x1.2cm	-28,7	-0,6
Straatbank	Tropisch hardhout	Per plank 0.0048m ³ /m lengte	210	101/m
Plaatmateriaal Binnen	Tropisch Hardhout	Variabel	210	2.1/cm
	Populieren hout	0.01m ³ /cm dikte	-28,7	-0.3/cm
	Aluminium		31.320	313.2/cm
	Glasvezelcomposiet		20.000	200/cm
Plaatmateriaal Buiten	Tropisch Hardhout	Variabel	210	2.1/cm
	Populieren hout	0.01m ³ /cm dikte	-28,7	-0.3/cm
	Aluminium		31.320	313.2/cm
	Glasvezelcomposiet		20.000	200/cm
Beschoeiing	Tropisch hardhout	0.03m ³ /m lengte	210	6.3/m
Peilschaal	Aluminium i.c.m. glas	0.003m ³ /m	31.320	93,96/m
	Glasvezel	lengte	20.000	60/m

Tabel 3: CO₂-voetafdruk huidige Materialen en producten. *(Ecoinvent, 2016)

Uit tabel 3 is al de conclusie te trekken dat het niet rendabel is om tropisch hardhout en spaanplaat (melanine) te vervangen door biocomposiet op duurzaam vlak. Voor glasvezel en Aluminium is dit zeker het geval.

6.3 PRODUCTEN VAN BIOCOMPOSIT

Nu is de vraag wat al het kosten om deze producten te produceren van biocomposiet. Hierbij heeft het de eis dat als het aan een bepaalde kracht moet voldoen de dikte aangepast wordt. Dit wordt aangepast op factor verschil in treksterkte. De treksterktes zijn hieronder in verhouding tot biocomposiet gegeven:

Materiaal	Treksterkte	Dikte	Bron
Biocomposiet	12 MPa	1x	(Haarbosch & Bottger, 2014)
Glasvezel	42 MPa	4x	(Haarbosch & Bottger, 2014)
Populierenhout Spaanplaat(C22)	13 MPa	1.1x	(Centrum Hout; Koninklijke Vereniging van Nederlandse Houtondernemingen, 2014)
Aluminium	65 MPa	5.4x	(FDP Federatie Metaalplaat, 2016)
Tropisch hardhout	30 MPa	2.5x	(Centrum Hout; Koninklijke Vereniging van Nederlandse Houtondernemingen, 2014)

Als gekeken wordt naar de eigenschappen van de producten wordt snel duidelijk dat de bovenstaande gegevens belangrijk zijn voor het meubilair, straatbank en beschoeiing. Verder is belangrijk bij aluminium producten na te denken of de 2 mm een sterkte eis is of een eis om het product te bewerken. Per product word gekeken naar het maximale aantal per mal. Een mal gaat 100.000 keer mee. Een aanname is dat de mal een oppervlakte van 3m² heeft.

De hoeveelheid biomassa welke gebruikt wordt voor de productie van biocomposiet is 70% van het totaal volume voor het product van biocomposiet. De andere 30% is afkomstig van de hars.

Product	Eisen	Afmetingen [HxBxD, cm]	Hoeveelheid biomassa [m ³]	Stuks per pers	Te coaten oppervlakte per product [m ²]
Hectometerbord		35x50x0.2	0.00029	14	0.42
		35x60x0.2	0.00025	17	0.35
Straatnaambord		100x20x0.2	0.00028	15	0.40
Meubilair		120x80x1.2	0.015	3	2
Straatbank		Vx12x10 per plank	0.0084	25	0.50
Plaatmateriaal binnen		100*100*0.01	0.007	3	2.04

Product	Eisen	Afmetingen [HxBxD, cm]	Hoeveelheid biomassa [m ³]	Stuks per pers	Te coaten oppervlakte per product [m ²]
Plaatmateriaal Buiten		Variabel			
Spaanplaat		0.01m ³ /cm	0.0077	3	2.044
Hardhout		dikte	0.018	3	2.1
Aluminium			0.04	3	2.216
Glasvezel			0.028	3	2.16
Beschoeiing		Variabel	0.053		0.018
		0.01m ³ /cm			
Peilschaal		0.03m ³ /m	0.0073		0.00156
		lengte			

Tabel 4: Kenmerken producten van biocomposiet

Hieruit volgt voor de kosten voor de coating, het persen en de mal, de kosten voor het vermalen per ton gebruikte biomassa en de kosten voor de hars welke toegevoegd wordt. Uiteindelijk kan hiermee berekend worden wat de stuksprijs is per product.

	Totaal aantal stuks	Kosten coating totaal [€]	extra kosten hars [€]	Kosten mal en persen[€]	Kosten vermalen [€]	Kosten totaal [€]	Kosten per item [€]
Hectometerbord groot(Al)	1,400,000	1,186,640	793.80	3,510,000	41,160	4,738,593.80	3.38
Hectometerbord klein(Al)	1,700,000	1,201,560	803.25	3,510,000	41,650	4,754,013.25	2.80
Straatnaambord(Al)	1,500,000	1,214,400	810.0	3,510,000	42,000	4,767,210.00	3.18
Tafelblad (C22)	300,000	1,200,000	7,776.0	3,510,000	403,200	5,120,976.00	17.07
Straatbank(TH) per plank	2,500,000	2,320,000	40,500.0	3,510,000	2,100,000	7,970,500.00	3.19
Plaatmateriaal binnen	300,000	1,224,000	4,050.0	3,510,000	210,000	4,948,050.00	16.49
Plaatmateriaal (C22)	300,000	1,226,400	4,050.0	3,510,000	231,000	4,971,450.00	16.57
Plaatmateriaal(TH)	300,000	1,260,000	4,050.0	3,510,000	525,000	5,299,050.00	17.66
Plaatmateriaal(Al)	300,000	1,329,600	4,050.0	3,510,000	1,134,000	5,977,650.00	19.93
Plaatmateriaal(GV)	300,000	1,296,000	11,340.0	3,510,000	840,000	5,657,340.00	18.86
Beschoeiing(TH)	2000000	72000	14,175.0	3,510,000	1,050,000	4,646,175.00	2.32
Peilschalen Beide materialen	2300000	7176	2,260.4	3,510,000	167,440	3,686,876.44	1.60

Tabel 5: Kosten per product van biocomposiet

6.4 PRODUCTBALANS

Hierbij wordt per product de balans opgemaakt qua ecologische en economische kant. In verschillende grafieken wordt duidelijk per product wat rendabel is en wat niet. Producten van aluminium en glasvezel worden niet alleen goedkoper, maar hierbij ontstaat ook nog eens een aanzienlijke CO₂-reductie. Voor het plaatmateriaal met als doel binnenbekleding is dat ook het geval, echter niet voor de houtsoorten. Voor de houtsoorten is er wel een potentiële daling van de prijs, maar niet voor de CO₂ uitstoot.

	Hoeveelheid Biocomposiet Totaal [ton]	Kosten per item BC [€]	CO ₂ voetafdruk Biocomposiet [kg CO ₂]	Kosten origineel [€]	CO ₂ voetafdruk origineel [kg CO ₂]
Hectometerbord groot	41.65	3.38	0.0882	62,50	19
Hectometerbord klein	41.16	2.80	0.0735	62.50	16
Straatnaambord	42	3.18	0.084	60.80	18
Tafelblad	403.20	17.07	4.032	182,-	-0,6
Straatbank per plank	2,100	3.19	2.52/m	300,- totaal	101/m
Plaatmateriaal binnen(C22/TH/Al/ GV)	210	16.49/m ²	2.1/cm dikte	10,- tot 25,-/m ²	-0.3/cm dikte 2.1/cm dikte 313.2/cm dikte 200/cm dikte
Plaatmateriaal (C22)	231	16.57 /m ²	2.31/cm dikte	10,- /m ²	-0.3/cm dikte
Plaatmateriaal(TH)	525	17.66/m ²	5.25/cm dikte	10,- tot 100,- /m ²	2.1/cm dikte
Plaatmateriaal(Al)	1,134	19.93 /m ²	11.34/cm dikte	10,- tot 100,- /m ²	313.2/cm dikte
Plaatmateriaal(GV)	840	18.86/m ²	8.4/cm dikte	10,- tot 100,- /m ²	200/ cm dikte
Beschoeiing(TH)	1,050	2.32/m	1.575/m lengte	4,65/m	6.3/m lengte
Peilschalen	167,44	1.60/m	0.2184/m lengte	115,-/m (Aluminium)	93,96/m lengte
Beide materialen				120,-/m (Glasvezel)	60/m lengte

Tabel 6: Productbalans

7. CONCLUSIE

De keten is geoptimaliseerd niet alleen voor verschillende producttypen maar ook voor verschillende biomassastromen. De keten is daarnaast op ecologisch en economisch vlak geanalyseerd. De conclusie die hieruit getrokken kan worden dat biocomposiet op economisch en ecologisch vlak een goede vervanging is voor huidige producten van aluminium en glasvezel. Dit geeft zowel een prijsreductie als een CO₂-reductie. Voor houtsoorten blijkt biocomposiet geen duurzame vervanging te zijn. Biocomposiet is voor bepaalde houten producten een goedkopere optie.

Om deze conclusie te trekken is de gehele keten geanalyseerd. Het maaiproces is beschreven beginnend bij het maaien en wat de hoeveelheden en verschillende biomassastromen zijn. Het nadeel hiervan is dat het rotten schadelijk voor het milieu is, zowel luchtkwaliteit als waterkwaliteit. Het grote voordeel is dat de biomassa ontstaat als restproduct. Het is een grondstof die gewonnen wordt door onderhoud aan vaarwegen en kades. De kosten voor het maaiproces zijn buiten beschouwing gelaten, dit omdat het kosten zijn die gedaan worden voor onderhoud. Het is niet het doel om te maaien voor de productie van biocomposiet, maar voor onderhoud. Bij de productie van biocomposiet is er een uitgave die niet wordt gedaan namelijk €40,- per ton natte biomassa voor het composteren. Dit bedrag is dus voor investering in biocomposiet. Door het niet composteren of rotten ontstaat een CO₂-reductie tussen de 84 en 104 kg CO₂ per ton biomassa.

Het productieproces bestaat uit vermalen, zeven, drogen, mixen, persen en coaten en polijsten. Echter is het nog onbekend of elke stap nodig is voor elk type biovezel. De ketens zijn in beeld gebracht in Hoofdstuk 5.8 voor de verschillende type vezels. De kosten zijn weer gegeven in Hoofdstuk 5.6 en de koolstofdioxidevoetafdruk in Hoofdstuk 5.7 Het nadeel van het productie proces is dat er nog te weinig bekend is over het vermalen, zeven en drogen. Het grote voordeel is dat het qua CO₂-uitstoot een grote reductie oplevert ten opzichte van glasvezelcomposieten.

Voor de producten is gekeken naar de wensen binnen Waternet, die zich onderscheiden op hun eigen vlak; sterkte, rotgevoeligheid en kwaliteit. Om het biocomposiet even sterk te maken als de huidige producten is het product van biocomposiet vermenigvuldigt met de factor voor treksterkte ten opzichte van het huidige product. Hierbij is het onderscheid gemaakt of sterkte wel de maatgevende factor is. De eisen voor de producten zijn te vinden in Hoofdstukken 6.1 en 6.3 Tot slot is de balans per product opgemaakt qua kosten en qua CO₂-uitstoot. Hieruit is gekomen dat het rendabel is om producten van aluminium en glasvezel te produceren van biocomposiet. Dit levert een kostenverlaging en CO₂-reductie op. Voor hoogwaardige producten van hout zoals meubels is het economisch rendabel. Hier tegenover staat dat er geen sprake is van een CO₂-reductie maar juist van een verhoging.

8. DISCUSSIE

Voordat verschillende producten daadwerkelijk in productie worden genomen wordt geadviseerd om meer onderzoek te doen naar:

- De NEN Norm;
- Juiste verhoudingen hars en biovezels en het gebruik van de mal;
- Het maaïen, vermalen, drogen en zeven van de biomassa;
- Kruidachtige en zomerriet;
- Hechting van de coating en het polijsten van de coating;
- Rotgevoeligheid.

De NEN-Norm voor verkeersborden staat nu nog het gebruik van composieten niet toe. Echter door de grote CO₂-reductie is dit een aspect dat snel uitgezocht moet worden. Via Informatiebord.nl is al duidelijk geworden dat er onderzoeken lopen naar verkeersborden van composieten. Daarnaast zal de kracht van het materiaal uit uitgebreider getest moeten worden. Dit zeker om dat de meest ideale verhouding tussen hars en biovezels nog niet is gevonden. In combinatie met NPSP zal dit een essentieel vervolg onderzoek worden. Hoe sterker het product hoe minder biovezels er uiteindelijk nodig zijn.

Om een zo hoogwaardig mogelijk product te realiseren zal ook meer onderzoek moeten worden gedaan naar het gebruik van de mal, maar vooral naar wat er in de mal gaat. Het probleem dat nog open staat is de invloed van zand op de mal en het product. Voor kruidachtige en zomerriet is het essentieel om onderzoek te doen naar zand bij het maaïen en het droogproces. In het algemeen is het van belang om het zeven en vermalen verder te onderzoeken. Daarnaast is het ook van belang te onderzoeken of bij krassen ontstaan door zand coaten en polijsten werkt om dit weg te werken.

Tot slot is het van belang te onderzoeken naar de rotgevoeligheid van het materiaal en of hiervoor in samenwerking met RIGO een oplossing in de vorm van een coating te ontwikkelen is.

9. AANBEVELING

Waternet doet zich er verstandig aan om zich te richten op plaatmateriaal van verschillende maten en diktes. Dit zodat deze later op maat gemaakt kunnen worden om te gebruiken als vervanging van glasvezels en aluminium producten welke geen kracht op hoeven te nemen. Daarnaast moeten de bovenstaande aspecten bij de discussie verder onderzocht worden. Op de middellange duur kan gefocust worden op de productie van peilschalen en andere met water gerelateerde producten. Op de lange duur kan gefocust worden op hoogwaardige plaatdelen voor (straat)meubilair en/of gevelbekleding (zowel interieur als exterieur).

10. BIBLIOGRAFIE

- Ahrend. (2016, 09 27). *Ciranol*. Retrieved from Ahrend: <https://www.ahrend.com/nl/producten/materialen/Bladmaterialen/ciranol/#>
- Bos, A. v. (2015). *Inventarisatie Biomassastromen, Driewater en Watersysteem*. Ecofys.
- Buijzer, E. d., Roest, K., Brand, T. v., Versteeg, E., & Hofman, J. (Juni 2015). *Terugwinnen van energie en grondstoffen in de regio Amsterdam*. Nieuwegein: KWR Watercycle Research Institute.
- Centrum Hout; Koninklijke Vereniging van Nederlandse Houtondernemingen. (2014, 02). *Houtwijzer sterkte gegevens*. Retrieved 10 18, 2016, from Centrum hout: http://www.centrum-hout.nl/sites/default/files/u27/houtwijzer_sterktegegevens_feb2014.pdf
- Ecoinvent. (2016). Milieu-impacts.
- Falco. (2016, 10 16). *Straat- en Parkmeubilair*. Retrieved from Falco: <http://www.falco.nl/producten/straat-parkmeubilair/banken-met-rugleuning/falcopark-bank/bestel/>
- FDP Federatie Metaalplaat. (2016, 10 18). *Aluminium en aluminium legeringen*. Retrieved from De metaalgids: http://www.demetaalgids.nl/index.php?page=metalen&metaal=Aluminium+en+aluminium+legeringen&id=1&pagina=Soorten%2C+kwaliteiten%2C+eigenschappen&pagina_id=23
- Gadero. (2016, 10 16). *Beschoeiing*. Retrieved from Gadero: <https://gadero.nl/beschoeiing/>
- H2O. (2016, Juni 30). Waternet presenteert bankje van biocomposiet. *H2O- Maandblad van Koninklijk Nederlands Waternetwerk*, p. 30.
- Haarbosch, N., & Bottger, W. (2014). *Fase 0 - Haalbaarheid biocomposiet van zeefgoed en van waterplanten*. Onderzoek & Ontwikkeling. Werkendam: NPSP BV.
- Hamelinck, C. (2015). *Inventarisatie Biomassastromen Drinkwater en Watersysteem*. Ecofys. Utrecht: Ecofys Netherlands.
- Heerdt, G. t. (2014). *Waterplanten maaien, conserveren en verwerken*. Techniek, Onderzoek en Projecten, Onderzoek & Advies. Amsterdam: Waternet.
- Heerdt, G. t., Mense, J., Hartog, H. d., Nijman, M., Zandvoort, M., Duine, A., . . . Beemsterboer, P. (2014). *Waterplanten maaien, conserveren en verwerken*. Waternet, Onderzoek & Advies, Amsterdam.
- Heisler, J., Glibert, P., Burkholder, J., Anderson, D., Cochlan, W., Dennison, W., . . . Suddleson, M. (2008). Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus. *Harmful Algae*(8), 3-13.
- Het waterschap van Amstel, Gooi en Vecht. (2016). *Het waterschap en Waternet*. Retrieved September 9, 2016, from AGV: <https://www.agv.nl/over-het-waterschap/bestuur-en-organisatie/het-waterschap-en-waternet/>
- Hornbach. (2016, 10 16). *Plaatmateriaal*. Retrieved from Hornbach: <http://www.hornbach.nl/shop/Hout->

plaatmateriaal/Plaatmateriaal/S4485/artikeloverzicht.html#/eyJuljoxLCJ2aWV3IjoiZ2Fs
bGVyeSIsImxpc3RDcmI0ZXJpYSI6eyJwYWdlTnVtYmVyljoxLCJwYWdlU2I6ZSI6NzIsI
nNvcnRlcnRlcil6InNvcnRNb2RIUHJpY2VEZXNjIn0sImFjdGl2ZUZpbHRlcnMiOiI0I
m1

- Informatiebord.nl BV. (2016, 09 26). *Verkeersborden RVV*. Retrieved from Informatiebord.nl:
<https://www.informatiebord.nl/g/2/verkeersborden-rvv/>
- Langcat Emaïlle B.V. (2016, 10 16). *Moderne emaille peilschalen*. Retrieved from
peilschalenspecialist: <http://www.peilschalenspecialist.nl/emaille/wat-is-emaille>
- Lijst emissiefactoren*. (2016, Mei). Retrieved 10 18, 2016, from CO2 emissiefactoren:
<http://co2emissiefactoren.nl/wp-content/uploads/2015/01/2015-01-Elektriciteit.pdf>
- Nijman, M. (2013). *Circulaire Biocomposieten op basis van restmaterialen van Waternet*. Onderzoek
& Advies. Amsterdam: Waternet.
- Nijman, M. (2015). *Benutten van Biomassa*. Waternet, Techniek, Onderzoek en Projecten.
Amsterdam: Waternet.
- NPSP Composieten. (n.d.). *Nabasco*. Retrieved september 9, 2016, from NPSP composieten -
Duurzaam: <http://www.npsp.nl/page.asp?ID=14>
- NPSP Composieten. (n.d.). *NPSP Composieten - Visie*. Retrieved september 9, 2016, from
NPSP Composieten: <http://www.npsp.nl/textPage4.asp?ID=126>
- Online-Bouwmaterialen. (2016, 10 16). *Hout & plaatmateriaal*. Retrieved from Online-
bouwmaterialen: [https://www.online-bouwmaterialen.nl/hout-
plaatmateriaal/multiplex/populieren-80mu-gegrond-interieur.html](https://www.online-bouwmaterialen.nl/hout-plaatmateriaal/multiplex/populieren-80mu-gegrond-interieur.html)
- VelopA. (2016, 10 16). *Productoverzicht - Banken en Picknicksets*. Retrieved from VelopA:
F274EC7390C641E4B26727413C813F60
- Visser en Visser. (2016, 10 16). *Zoekterm Peilschalen*. Retrieved from Visser en Visser:
<https://www.visserenvisser.nl/catalogsearch/result/?q=peilschaal>
- Waternet. (2016, 10 20). *Producten uit Biomassa*. Retrieved from Waternet:
<http://www.innovatie.waternet.nl/project/producten-uit-biomassa/?meer=true>
- Waternet. (2016, Mei 25). *Relaxed buiten zitten op bank van afval*. Retrieved September 9, 2016,
from Waternet - Nieuws: [https://www.waternet.nl/nieuws/2016/8/relaxed-buiten-zitten-
op-bank-van-afval2/](https://www.waternet.nl/nieuws/2016/8/relaxed-buiten-zitten-op-bank-van-afval2/)
- Waternet. (n.d.). *Waternet - Werkgebied*. Retrieved September 9, 2016, from Waternet:
<https://www.waternet.nl/over-ons/werkgebied/>
- Waterschap Amstel Gooi en Vecht. (2015, Oktober 8). *AGV*. Retrieved September 9, 2016,
from [Waterbeheerplan](https://www.agv.nl/siteassets/plannen/waterbeheerplan/wat-waterbeheerplan-2016-2021-interactief.pdf) 2016-2021:
[https://www.agv.nl/siteassets/plannen/waterbeheerplan/wat-waterbeheerplan-2016-
2021-interactief.pdf](https://www.agv.nl/siteassets/plannen/waterbeheerplan/wat-waterbeheerplan-2016-2021-interactief.pdf)

11. FIGUREN

Figuur 1: Werkgebied Waternet (Waternet)	5
Figuur 2: Biobased streetbench(L) en tafel(R) (Waternet, 2016)	6
Figuur 3: Gemaaide waterplanten Loenderveense Plas (Heerdt, Waterplanten maaien, conserveren en verwerken, 2014)	9
Figuur 4: Drogen in de buitenlucht na 1 dag (Heerdt, Waterplanten maaien, conserveren en verwerken, 2014)	10
Figuur 5: Koolstofdioxideketen (Nijman, Circulaire Biocomposieten op basis van restmaterialen van Waternet, 2013)	13
Figuur 6: Vernieuwde koolstofdioxideketen (Nijman, Circulaire Biocomposieten op basis van restmaterialen van Waternet, 2013)	13
Figuur 7: Keten winterriet	14
Figuur 8: Keten waterplanten	15
Figuur 9: Keten zomerriet, kruitachtige en natuurgras	15

12. TABELLEN

Tabel 1: Kosten en inkomsten van het proces (Nijman, Circulaire Biocomposieten op basis van restmaterialen van Waternet, 2013) (Nijman, Benutten van Biomassa, 2015)	12
Tabel 2: Productkenmerken, V=Variabel * (Informatiebord.nl BV, 2016)	16
Tabel 3: CO ₂ -voetafdruk huidige Materialen en producten. *(Ecoinvent, 2016)	17
Tabel 4: Kenmerken producten van biocomposiet	19
Tabel 5: Kosten per product van biocomposiet	19
Tabel 6: Productbalans	20

13. BIJLAGEN

Interviews en mailcontacten

- 1) Machiel van Westerhoven van RIGO Verffabriek op 11 oktober 2016,
mailcontact

“Beste Thijs,

Richard is zojuist ziek naar huis gegaan, dus vandaar dat ik even kort antwoord geef op je eerdere mail van 10-10-2016.

Wat de prijs betreft kunnen we op dit moment uitgaan van een gemiddelde prijs van 30 euro per liter (ex BTW).

Bij een verbruik van 15 m² per liter, komt dit per laag neer op 2 euro per m².

Omdat het op dit moment niet helemaal duidelijk is in hoeverre de verflaag de ondergrond (het biocomposiet) moet beschermen tegen vocht of dat het met name een esthetische en UV-bescherming moet zijn, zou ik op dit moment uitgaan van een gemiddelde van 2 lagen. Wanneer het puur esthetisch is, is 1 laag voldoende voor de dekking. Wanneer er meer bescherming nodig is, zouden er 3 lagen moeten worden aangebracht.

De hoeveelheid CO₂-equivalent is ons niet bekend. Wij hanteren tamelijk eenvoudig het standpunt dat een verf gebaseerd op plantaardige olie sowieso beter is dan een verf geproduceerd met fossiele grondstoffen. Uiteraard vanwege de kort-cyclische CO₂ kringloop bij plantaardige grondstoffen, maar ook vanwege de herwinbaarheid van plantaardige olie binnen de levensduur van de verf. Dat gaat bij fossiele grondstoffen niet lukken.

Overigens is het bindmiddel aldus van plantaardige origine en de rest van de formulering (pigmenten, vulstoffen, water, etc) redelijk gelijk aan een conventionele watergedragen lak. Ook moet vermeld worden, dat het bindmiddel op basis van onze plantaardige olie ook heel eenvoudig uit de olie geproduceerd wordt door verwarming en emulgeren. Het produceren van een bindmiddel uit fossiele aardolie is een veel complexer proces met verregaande synthetisering, energieverbruik en verbruik van hulpstoffen.

Vertrouwend je hiermee een passend antwoord te hebben gegeven,
Hartelijk groetend,

Machiel van Westerhoven”

“Hai Thijs,

Wanneer we bedenken dat het aandeel bindmiddel in de formulering ongeveer 30% is en gemakshalve de rest van de formulering even theoretisch gelijk houden aan een conventionele verf, en wanneer de bijdrage aan het CO₂-eq van zowel bindmiddel als van de overige grondstoffen gelijk zou zijn, dan zou de reductie wellicht ongeveer 25% zijn. Immers, we kunnen aannemen dat het stoken van het bindmiddel nog enig CO₂-eq effect heeft. De oorsprong van de grondstoffen uit de levende natuur (kortcyclisch CO₂) niet.

Maar omdat ik verwacht dat het effect van het bindmiddel op de CO₂-eq bijdrage sterker is dan van de andere grondstoffen (krijt, pigment, water etc), zou ik die genoemde 25% wel op kunnen waarderen naar zo'n 35% - 40%.

Het is allemaal een nauwelijks onderbouwde 'guesstimate', maar het geeft in ieder geval enige richting weer.

Succes!

Groet

Machiel."

2) Magda Neven, RIGO Verffabriek, op 21 september 2016, mail contact

"Beste Thijs,

Ik heb een aantal testen gedaan met bestaande en nieuwe natuurlijke coatings naar hechting en waterbestendigheid op het bio-composiet wat Mark Nijman mij heeft gegeven.

Doel van het onderzoek was om te kijken of een natuurlijke coating gebruikt zou kunnen worden voor peilschalen, die deels onder water staan.

Conclusie van het onderzoek is kort door de bocht dat de geteste coatings niet geschikt zijn voor voortdurende waterbelasting. De geteste coatings zijn ontwikkeld voor hout voor binnen en buiten.

Ik heb geen expert op het gebied van duurzaamheid van bio-composiet of kunststoffen, dus de vraag of een coating altijd nodig is voor een dergelijke ondergrond kan ik helaas niet beantwoorden.

Er zijn in het algemeen verschillende coatings die tegen UV, water en weersomstandigheden kunnen beschermen. Een goede coating voor buitengebruik zou bestendig genoeg moeten zijn om de ondergrond zo goed mogelijk te beschermen voor een aantal jaar. De keuze van het type coating is afhankelijk van de ondergrond, het klimaat en de wensen van een klant. Heb je een specifieke vraag op dit gebied?

Kosten van een verf zijn meestal per liter. De technische info op het blik of technisch informatieblad geven het rendement weer: m²/liter.

Ik hoop dat je hier wat aan hebt ! Succes met het onderzoek.

Voor verdere vragen over coatings zou je ook contact op kunnen nemen met Richard Vermeulen, technisch adviseur schildersverven: 06-22797751.

Vriendelijke groet,

Magda”

3) Barry Ziessen, Waternet, 3 oktober 2016, mail contact

“Hoi Thijs,

De bladen zijn gemaakt van spaanplaat melamine en kosten €182 voor een blad van 120 x 80 cm. Het onderstel is dus veruit het duurere component van de tafel.

Mocht je nog verdere vragen hebben dan hoor ik dat graag.

Groet, Barry”

“Hoi Thijs,

De oudere en grote bureaus zijn inderdaad van Ahrend, de kleinere/witte/nieuwe van Gispen. Gispen is onze huidige leverancier.

Ik kan bij Gispen navragen wat de prijs van een onderstel is, als je wilt.

10 jaar is wanneer ze zijn afgeschreven, in principe kunnen ze daarna nog wel mee. Denk dat 15 jaar ook wel mogelijk is.

De oude bureaus worden doorverkocht aan een opkoper, die ze vervolgens weer inzet in Oost Europa of Afrika.

Groet, Barry”

4) Willem Böttger, NPSP Composieten, 12 oktober 2016, telefonisch interview

V: “Wat zijn de afmetingen van de mal bij jullie en het bedrijf waar het tafelblad en bankje geperst zijn?”

A: "Bij ons kan dit met een mal van maximaal 20 cm bij 50 cm in Duitsland bij onze partner tot 3m²."

V: "Tot welke dikte kan er dan geperst worden in een mal?"

A: "Dit zal zijn tot ongeveer 4 cm."

V: "En dit proces mag geen zand bevatten? Is dit puur voor de mal of wordt het eindmateriaal er zwakker van?"

A: "Het mengsel mag geen zand bevatten indien er gebruik gemaakt wordt van onze mal of die van onze Duitse partner, over krachtsverlies is niets bekend. Het eindproduct zal wel krassen bevatten."

V: "Hoe vaak gaat een mal mee? Is dit vaker voor biocomposieten en als het mengsel zand bevat?"

A: "Een mal gaat voor glasvezelcomposieten 100.000 keer mee. Voor biocomposieten zal dit hoger zijn aangezien de biovezels zachter zijn dan glasvezels. Mocht hier zand bij inzitten zou het zo maar eens kunnen zijn dat dit elkaar weer gelijk trekt, maar daar durf ik geen harde uitspraken over te doen."

V: "Heeft het percentage droge stof nog effect op het persen of is dit voor de sterkte van het product? Nu is de eis gesteld op 96%, klopt dit? Hoe werkt het drogen 100 minuten op 140 graden Celsius was mij vertelt."

A: "De eis voor de hoeveelheid droge stof ligt inmiddels al lager rond de 84%, dit wordt door ons al gezien als nat. Op het persen heeft het geen effect. Vermoedelijk hangt het vocht percentage samen met de sterkte van het composiet, echter zeker weten doen we het nog niet. Het drogen gebeurt tegenwoordig op 100 graden voor 60 minuten, dit leverde een beter resultaat op. Daarnaast levert een hoger vochtpercentage een betere verbranding op aan het einde van de levensduur, hierdoor zou het product duurzamer kunnen zijn." Ook dit weet Willem Böttger niet te bevestigen.

V: "Wat is de maximale grootte voor de vezels? Heeft dit ook nog betrekking op de kracht? En wat is de verhouding met de hars? Wat zijn de kosten voor de hars?"

A: "Voor glasvezel composiet houden we 25 mm aan, voor de biovezels verwachten we hetzelfde. Te lange vezels zijn juist nadelig voor het mixen van het persproduct waardoor het niet voldoende gemixt kan zijn, de hars zal daarbij niet goed om alle vezels vloeien. Het mengsel bestaat voor 70-80% uit vezels en 20-30 uit de hars. Er wordt nog gezocht naar de meest ideale verhoudingen echter vermoeden we dat dit 70-30 zal zijn. De hars kost €4.5 per kg."

5) Informatiebord.nl

Uit een kort telefoongesprek blijkt dat het bedrijf 90% van alle verkeersborden leveren, hiermee zijn ze hoofdleverancier van Rijkswaterstaat. Daarnaast blijkt dat er onderzoek wordt gedaan naar het maken van composieten verkeersborden echter hiervoor worden we doorverwezen naar HR Groep Rijswijk, 070 399 8511. Echter op de mails is niet gereageerd.

Verder wordt nog gemeld dat mochten er verkeersborden van composieten komen dat hiervoor de NEN-Normen op het gebied van verkeersregulering aangepast moet worden.

Biomassa	10865 ton		
Factor Massa naar composiet	10 m^3/ton		
Biocomposiet	108650 m^3	70%	

	m^3 hars/m^3		
hars	32595 biocomposiet	30%	

	Volume totaal	Volume BC [m^3]	Oppervlakte Totaal	Kosten Coating per product	aantal per mal	aantal totaal	Kosten besparing t.o.v. oude producten	Kosten coating totaal	extra kosten hars €	Extra kosten mal en persen €	Kosten vermalen	Kosten totaal	Kosten per item	Hoeveelheid BC	CO2 per product
Producten NPSP															
Hectometerbord groot(Al)	0.00042 m^3	0.000294	0.4238 m^2	0.8476	14	1,400,000	875,000	1,186,640	793.80	3,510,000	41,160	4,736,947.40	€ 3.38	41.16	0.0882
Hectometerbord klein(Al)	0.00035 m^3	0.000245	0.3534 m^2	0.7068	17	1,700,000	1,062,500	1,201,560	803.25	3,510,000	41,650	4,752,347.25	€ 2.80	41.65	0.0735
Straatnaambord(Al)	0.0004 m^3	0.00028	0.4048 m^2	0.8096	15	1,500,000	9,120,000	1,214,400	810.0	3,510,000	42,000	4,765,530.00	€ 3.18	42.00	0.084
meubel															
Tafelblad (C22)	0.0192 m^3	0.01344	2 m^2	4	3	300,000	54,600,000	1,200,000	7,776.0	3,510,000	403,200	5,104,848.00	€ 17.02	403.20	4.032
Straatbank(TH) per plank	0.012 m^3/m	0.0084	0.464 m^2/m	0.928	25	2,500,000	455,000,000	2,320,000	40,500.0	3,510,000	2,100,000	7,886,500.00	€ 3.15	2,100.00	2.52
Plaatmateriaal binnen															
Alle materialen	0.01 m^3/cm	0.007	2.04 m^2/cm	4.08	3	300,000	54,600,000	1,224,000	4,050.0	3,510,000	210,000	4,939,650.00	€ 16.47	210.00	2.1
plaat materiaal buiten															
Plaatmateriaal(C22)	0.01 m^3/cm	0.0077	2.044 m^2/cm	4.088	3	300,000		1,226,400	4,050.0	3,510,000	231,000	4,962,210.00	€ 16.54	231.00	2.31
Plaatmateriaal(TH)	0.01 m^3/cm	0.0175	2.1 m^2/cm	4.2	3	300,000		1,260,000	4,050.0	3,510,000	525,000	5,278,050.00	€ 17.59	525.00	5.25
Plaatmateriaal(Al)	0.01 m^3/cm	0.0378	2.216 m^2/cm	4.432	3	300,000		1,329,600	4,050.0	3,510,000	1,134,000	5,932,290.00	€ 19.77	1,134.00	11.34
Plaatmateriaal(GV)	0.01 m^3/cm	0.028	2.16 m^2/cm	4.32	3	300,000		1,296,000	11,340.0	3,510,000	840,000	5,623,740.00	€ 18.75	840.00	8.4
Watergevoelig															
Beschoeiing(TH)	0.0075 m^3/m	0.00525	0.018 m^2/m	0.036	20	2000000		72000	14,175.0	3,510,000	1,050,000	4,604,175.00	€ 2.30	1,050.00	1.575
Peilschalen	0.00026 m^3/m	0.000728	0.00156 m^2/m	0.00312	23	2300000		7176	2,260.4	3,510,000	167,440	3,680,178.84	€ 1.60	167.44	0.2184

	gemiddelde kosten	
Coating	2 €/m^2	
Hars	4.5 €/kg	

	treksterkte	dikte van BC	CO2 (kg CO2 eq. Per kg)	dichtheid kg/m^3	CO2 per m^3	
Biocomposiet	12 MPa	1 maal	0.239622222	100	300 tot 590	Vergelijkbaar hardhout gepakt Idemat2014 Mahogany, American plantation
Glasvezelcomposiet	42 MPa	4 maal dikker	8	2500	20000	
Populierenhout/spaanplaat (C22)	13 MPa	1.1 maal dikker	-0.07	410	-28.7 (brengt CO2 omlaag)	
Aluminium	65 MPa	5.4 maal dikker	11.6	2700	31320	
Tropisch hardhout(D50)	30 MPa	2.5 maal dikker	0.28	750	210	

Energie BC		Energie GV
1.64 MJ		54.7 MJ
0.455555556 kWh		15.1944444 kWh
0.239622222 kg CO2/kg		7.99227778 kg CO2/kg