



Hanzehogeschool Groningen
University of Applied Sciences

Academie voor Architectuur,
Bouwkunde & Civiele Techniek

EEN BRUG NAAR DE TOEKOMST!

AFSTUDEERONDERZOEK ONDERZOEKSRAPPORT

Opleiding: HBO Civiele techniek
Collegejaar: 2017/ 2018
Status: Definitief
Versie: 1.0
Versiedatum: 29-01-2018

Studenten:	Thomas Veendrick	– 309046
	Maurits de Jong	– 309068
Eerste beoordelaar:	Michiel Parlevliet	– Lezer
Tweede beoordelaar:	Dirk Ernten	– Begeleider

Opdrachtgever:	Ohpen Ingenieurs BV	
Werkbegeleider:	Ronald Silvius	– Projectmanager
	Rene Garlich	– Bedrijfsleider



VOORWOORD

Deze scriptie presenteert het onderzoeksproject uitgevoerd ter afronding van de bachelor Civiele Techniek aan de Hanzehogeschool Groningen. Het is uitgevoerd door Maurits de Jong en Thomas Veendrick, met de medewerking van Ohpen ingenieurs. Het onderwerp van deze scriptie is het ontwerp van een loopbrug te Leeuwarden.

Tijdens de studie in Groningen zijn beide studenten met veel civiel technische onderwerpen in aanraking gekomen. Waterbouw en duurzaamheid zijn hierin vaak de leidende thema's geweest. Daarnaast zijn er in de verschillende stageperioden goede ervaringen opgedaan in de voorbereiding. Bij het ontwerpen van een brug is deze combinatie ook duidelijk aanwezig en was daarom voor ons een logisch en leuk onderzoeksonderwerp.

Onze dank gaat uit naar de volgende personen voor de steun tijdens het onderzoek:

De heren R. Garlich en R. Silvius, hoofd Ohpen ingenieurs, die ons de opdracht verschaft hebben en ons een plek hebben gegeven om te werken en altijd bereid waren om ons te begeleiden en helpen.

De heer R. Westra, Projectleider Centrum Duurzaam Friesland, die ons geholpen heeft met het verkrijgen van inzicht in de mogelijkheden voor samenwerking met studenten.

De heer D. Ernsten, afstudeerbegeleider vanuit de Hanzehogeschool, die ons proces in de gaten heeft gehouden en ons met zijn kritische blik een duw in de goede richtten heeft gegeven.

De heer M. Parlevliet, afstudeerbeoordelaar vanuit de Hanzehogeschool, die proces als objectieve lezer beoordeeld.

De heer D. van Rooijen en R. Brouwer, Associate Lector Duurzame Kunststoffen bij Stenden, die ons geadviseerd hebben over de technische uitvoerbaarheid en duurzaamheid van biocomposiet.

Veel leesplezier!

Leek, februari 2018

Thomas Veendrick & Maurits de Jong



INHOUD

Voorwoord	1
Leeswijzer	3
Samenvatting	4
Inleiding	5
1.1. Aanleiding	5
1.2. Probleemstelling	5
1.3. Doelstelling	5
1.4. Vraagstelling	5
H2 Methode	6
2.1. Deelvragen	6
2.2. Stroomschema	7
2.3. Aanpak	8
H3 Resultaten	12
3.1. Deelvraag 1	12
3.1.1. Activiteit	12
3.1.2. Resultaat	12
3.2. Deelvraag 2	14
3.2.1. Activiteit	14
3.2.2. Resultaat	14
3.3. Deelvraag 3	15
3.3.1. Activiteit	15
3.3.2. Resultaat	17
3.4. Deelvraag 4	18
3.4.1. Activiteit	18
3.4.2. Resultaat	18
3.5. Deelvraag 5	19
3.5.1. Activiteit	19
3.5.2. Resultaat	19
3.6. Deelvraag 6	21
3.6.1. Activiteit	21
3.6.2. Resultaat	21
3.7. Deelvraag 7	24
3.7.1. Activiteit	24
3.7.2. Resultaat	24
H4 Conclusie en aanbeveling	25
4.1. Conclusie	25
4.2. Aanbevelingen	27

LEESWIJZER

Op de volgende bladzijde is een beknopte samenvatting weergegeven van het proces en de resultaten. Hoofdstuk 1 is de inleiding van dit rapport waarin de aanleiding, probleemstelling, doelstelling en vraagstelling is beschreven. In hoofdstuk 2 is de methode van onderzoek uitgewerkt per deelvraag. Hoofdstuk 3 beschrijft vervolgens per deelvraag de activiteiten en resultaten. Als slot wordt bevat hoofdstuk 4 de conclusies en worden er aanbevelingen voor vervolg onderzoek gedaan.

Er wordt geadviseerd om dit rapport niet te beschouwen als een op zichzelf staand document, maar uitsluitend in combinatie met de overige documenten die verschenen zijn in deze reeks:

- Bijlage 1 – Projectplan;
- Bijlage 2 – Reflectieverslagen;
- Bijlage 3 – Materialenstudie;
- Bijlage 4 – Variantenstudie;
- Bijlage 5 – VO-Rapport
- Bijlage 6 – Studentensamenwerking
- Bijlage 7 – Tekeningen

Omdat dit rapport een samenvatting is van al deze bijlagen wordt er regelmatig naar deze stukken verwezen. De reflectieverslagen zijn hierop een uitzondering. Hierin wordt een algemene en een individuele reflectie op het proces en de leerdoelen gegeven.

SAMENVATTING

Het onderzoek is opgedeeld in 7 deelvragen om de volgende hoofdvraag te beantwoorden: “Hoe zou de brug constructief uitgevoerd moeten worden waarbij de focus ligt op het gebruik van duurzame materialen en het betrekken van de ROC-bouw studenten?” Om de geplande faciliteiten van de energiecampus te Leeuwarden te kunnen gebruiken, wil het ROC met in samenwerking met Ohpen een fysieke verbinding tussen de school en de campus waarbij er gebruikt wordt gemaakt van nieuwe duurzame materialen of constructie methoden.

Om de wensen van de opdrachtgever in kaart te brengen zou er een gesprek gepland worden met de opdrachtgever. Het resultaat is een kort en bondig overzicht van de eisen opgedeeld in verschillende thema's.

De definitie van duurzaamheid en de mogelijke meetmethodieken zijn uitgewerkt. Ook zijn de verschillende materiaalsopties onderzocht. Deze inventarisatie van duurzame materialen laat zien dat samengestelde materialen zoals beton en composieten grote biologische componenten kunnen bevatten. Het combineren van de beste eigenschappen maakt ze toepasbaar in hoogwaardige en zwaarbelaste constructies.

Met behulp van de levenscyclus methode zijn de duurzaamheidseisen vertaald naar meetbare criteria. Per materiaal is data verzameld over de emissies die vrijkomen bij de productie. De geschiktheid van de data is onderzocht door de oorsprong ervan te analyseren. Met behulp van wetenschappelijke artikelen over LCA studies is hier inzicht in verworven. De data is uiteindelijk geclusterd om te komen tot een milieukostenindicator (MKI) per kg materiaal. Aan de hand van een LCA studie over fietsbruggen zijn er inschattingen gemaakt over de hoeveelheden die per materiaal nodig zijn. Deze hoeveelheden zijn vermenigvuldigd met de MKI-scores om de voorkeursvariant te bepalen. De voorkeur is uitgegaan naar brugligger bestaande uit een composiet van vlasvezel en een biologisch harssysteem met gerecycled plastic voor de opleggingen / aanbruggen.

Voor het uitspreken van een definitieve voorkeur zijn er op basis van het programma van eisen 3 varianten opgesteld. Voor iedere variant is een kostenraming opgesteld om die te kunnen vergelijken. Vervolgens is aan de hand van het programma van eisen een multi criteria analyse opgesteld. De verschillende varianten zijn hieraan getoetst. Variant 3, een biocomposiet boogligger met gerecycled plastic voor opleggingen / aanbruggen, scoort het beste.

Alle onderdelen uit het ontwerp zijn geschematiseerd gedimensioneerd. Dit is vertaald naar ontwerptekeningen die het voorlopige ontwerp van de brug in detail weergeven.

Er is een gesprek gevoerd met een projectleider en docenten van het ROC. Hierin zijn de mogelijkheden voor verdere samenwerking besproken. De geïdentificeerde kansen zijn per bouwphase uitgewerkt.

Deze stappen hebben geleid tot een volledig onderbouwd voorlopig ontwerp van

“DE BRUG NAAR DE TOEKOMST”

INLEIDING

Sinds begin dit jaar is Koninklijke Oosterhof Holman een advies- en ingenieursbureau gestart onder de naam Ohpen Ingenieurs. Oosterhof Holman kan hiermee de klant/opdrachtgever voorzien van advies en van planontwikkeling tot oplevering van dienst zijn. Door de verschillende disciplines binnen de organisatie beschikt ze over een zee aan kennis en kan hiermee voorzien in de groeiende vraag naar slimmere en duurzame oplossingen, waarbij de vraagstukken meer integraal en complexer zijn.

1.1. Aanleiding

Een van die vraagstukken is de ontwikkeling van een duurzame brug. Ohpen is namelijk bezig met de planontwikkeling van Energycampus Leeuwarden op, en bij de voormalige stortplaats Skinkeskâns langs de Haak om Leeuwarden en het van Harinxmakanaal. Op de campus komt ruimte beschikbaar voor duurzaam gerelateerde bedrijvigheid, onderwijs- en kennisinstellingen. Het naast gelegen ROC Friese Poort ziet haar kans schoon en wil een nauwe samenwerking met de energycampus om kennisdeling te optimaliseren door middel van het doen van praktijkonderzoek. Om de geplande faciliteiten te kunnen gebruiken wil het ROC met Ohpen letterlijk en figuurlijk een brug naar de toekomst bouwen, namelijk een fysieke verbinding tussen de school en de campus waarbij er gebruikt wordt gemaakt van nieuwe duurzame materialen en/of constructie methoden. Deze nieuwe kennis willen ze overdragen aan de studenten door hen te betrekken bij de uitvoerings- beheers- en onderhoudsfasen van het project. Hiermee wil het ROC de veranderingen in de bouwwereld introduceren bij haar studenten. In bijlage 3 van het projectplan is een Leaflet opgenomen met een uitgebreide beschrijving van de locatie en doelstellingen.

1.2. Probleemstelling

Deze verbinding, in de vorm van een duurzame brug, is nog niet opgenomen in het plan en moet dus nog ontwikkeld worden. Er is al een verbinding naar de toekomstige energycampus, maar deze ligt 600 meter van de school vandaan. Het ROC wil daarom een kortere verbinding naar de campus. Wel dient er rekening te worden gehouden dat er tussen punt 'a' en punt 'b' een hoogteverschil is van 11 meter en er een kanaal met een minimale breedte van 30 meter overbrugd moet worden met een vrije overspanning. Ook mag er bovenop de bult of in het talud geen palenfundering geplaatst worden vanwege het aanwezige, ingepakte afval in de bult. Al deze factoren in combinatie met de focus op duurzaam bouwen maakt het een constructieve uitdaging.

1.3. Doelstelling

Het doel van het onderzoek is om tot een voorlopig ontwerp van de brug te komen waarbij uiteengezet is welke duurzame materialen toegepast kunnen worden in het ontwerp en hoe het ROC haar studenten kan betrekken bij de verschillende fasen van het project. De doelstellingen zijn vastgesteld op basis van de leaflet die is opgesteld voor de samenwerking tussen Ohpen en het ROC.

1.4. Vraagstelling

De probleem- en doelstelling hebben geresulteerd in de volgende hoofdvraag:

“Hoe zou de brug constructief uitgevoerd moeten worden waarbij de focus ligt op het gebruik van duurzame materialen en het betrekken van de ROC-bouw studenten?”

H2 METHODE

Om de hoofdvraag te beantwoorden zijn zeven deelvragen opgesteld. De deelvragen komen overeen met het stroomschema op de volgende pagina. Deelvraag 1 wordt beantwoord in fase 1, fase 2a beantwoord de vragen 3, 4, 6 en 7. Parallel aan deze fase loopt fase 2b die is gekoppeld aan deelvragen 2 en 5. Met behulp van literatuurstudies, casestudies en empirisch onderzoek worden de vragen beantwoord. In dit hoofdstuk volgt een toelichting per deelvraag op de onderzoeksmethode, de op te leveren producten, de bronnen en het nut van de vraag. Hieronder wordt eerst een opsomming van de deelvragen gegeven en in paragraaf 2.3 volgt de toelichting.

2.1. Deelvragen

1

Wat zijn de wensen van de opdrachtgever?

2

Welke duurzame materialen zijn geschikt om toe te passen in een loopbrug corresponderend met de eisen van de opdrachtgever?

3

Wat is volgens een multi criteria analyse op basis van het programma van eisen de voorkeursvariant voor de brug?

4

Hoe verloopt de krachtsverdeling in de gekozen vorm

5

Welke materialen worden toegepast in het ontwerp op basis van de duurzame materialen inventarisatie?

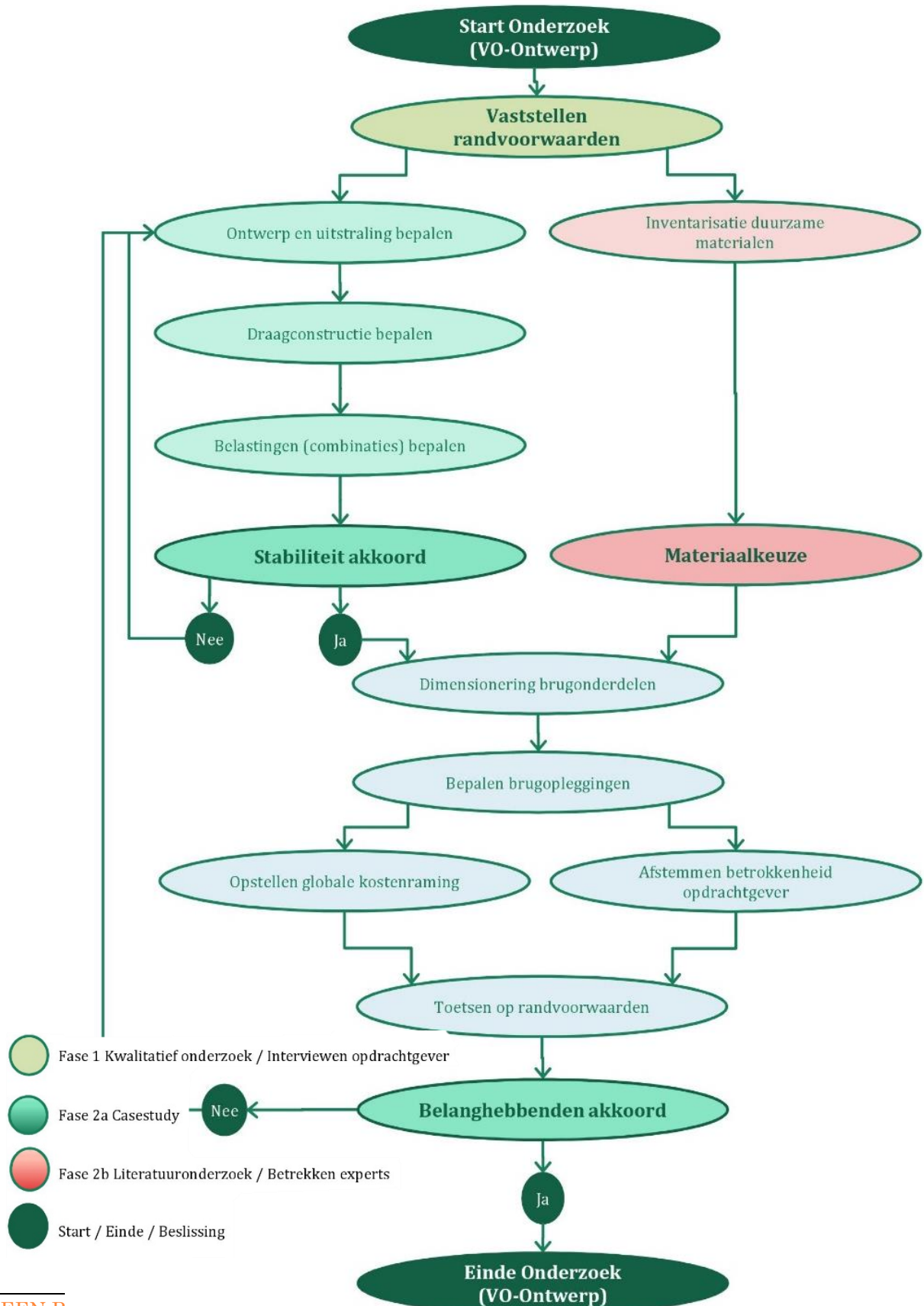
6

Hoe dient het ontwerp gedimensioneerd te worden op basis van de toe te passen materialen?

7

Hoe kan de ROC betrokken worden bij de verschillende fasen van het project zodat het bijdraagt aan het kennisgebied ‘duurzaam bouwen’ binnen haar opleidingen?

2.2. Stroomschema



2.3. Aanpak

In deze paragraaf wordt voor iedere deelvraag beschreven waarom deze vraag van belang is voor het beantwoorden van de hoofdvraag, welke bronnen gebruikt worden, welke producten het zal opleveren en de eventuele afbakeningen in het onderzoek.

2.3.1. Deelvraag 1

“Wat zijn de wensen van de opdrachtgever?”

Situatie

Wanneer een opdrachtgever een vraagstuk neerlegt bij een opdrachtnemer is het verstandig om bij de start vast te leggen wat de opdrachtgever wenst te zien in het eindresultaat. Het ontwerp in grote lijnen maar ook vooral specifieke eisen zijn van belang. Duidelijke communicatie op dit gebied voorkomt problemen in het ontwerpproces.

Taak

Om deze vraag te beantwoorden zullen de wensen in kaart gebracht moeten worden. Dit zal moeten gebeuren door in gesprek te gaan met de opdrachtgever, de ROC Friese Poort, en de werknemers van Ohpen die betrokken zijn bij het project van de energycampus. Deze mensen zijn automatisch ook gelinkt aan het project bio-based brug. Het gaat hier om de ontwerpleider, Erik Groenendal, en de projectleider, Christiaan Dirksen. Aan de hand van dit gesprek zal een programma van eisen opgesteld worden wat in het verdere proces gebruikt zal worden als basis.

2.3.2. Deelvraag 2

“Welke duurzame materialen zijn geschikt om toe te passen in een loopbrug corresponderend met de eisen van de opdrachtgever?”

Situatie

De focus op het gebruik van duurzame materialen vraagt om een verdieping in het begrip van duurzaamheid. Het beantwoorden van deze deelvraag zal moeten resulteren in een definitie van duurzaamheid en een inventarisatie van materialen die hiermee corresponderen. Daarbij is het van belang om inzichtelijk te maken hoe de materialen toegepast kunnen worden in een brug. Traditionele materialen worden ook in de beschouwing meegenomen zodat verder in het onderzoek de definitieve materiaalkeuze goed onderbouwd kan worden.

Taak

Literatuur zal geraadpleegd worden om te definiëren wat duurzaamheid is en hoe het gemeten kan worden. Openbare data, leveranciers en experts zullen geraadpleegd worden om, binnen het toepassingsgebied van bruggen, kennis te delen van de huidige ontwikkelingen in de materiaalkunde. Het proces en de vergaarde informatie zal worden vastgelegd in een rapport.

2.3.3. Deelvraag 3

“Wat is volgens een multi criteria analyse op basis van het programma van eisen de voorkeursvariant voor de brug?”

Situatie

Om tot een goed ontwerp te komen zal er een variantenstudie uitgevoerd worden. Door de situatie uit verschillende invalshoeken te belichten kan zichtbaar gemaakt worden wat de mogelijkheden zijn. Zo kan er geëxperimenteerd worden met verschillende brugtypen, materialen of ontwerpstijlen. Uit eindelijk zal er een voorkeursvariant uit naar voren moeten komen.

Taak

Om deze deelvraag te beantwoorden zullen er 3 varianten opgesteld worden die, uiteraard, elk een eigen ‘verhaal’ hebben. Tijdens het ontwerpen zal er gebruik worden gemaakt van de al opgedane kennis in de materialenstudie om zo efficiënter te kunnen ontwerpen, waardoor er ook al goed over nagedacht is hoe de brug eventueel gebouwd zou kunnen worden. Hierbij zal input uit deelvraag 1 en 2 een belangrijke rol spelen. Om te komen tot de uiteindelijke voorkeursvariant zal aan de hand van het programma van eisen enkele beoordelingscriteria opgesteld worden, waaraan de varianten getoetst worden. Deze multi criteria analyse moet laten zien welke variant het beste past bij deze situatie. De voorkeursvariant zal verder in het proces uitgewerkt worden.

2.3.4. Deelvraag 4

“Hoe verloopt de krachtsverdeling in de gekozen vorm?”

Situatie

Deze vraag is belangrijk om inzichtelijk te maken welke krachten er werken in de constructie. Dit kan vervolgens gebruikt worden bij de materiaalkeuze, omdat je hiermee globaal kan beoordelen of toe te passen materialen geschikt zijn in het ontwerp. Dit komt met name, omdat ieder materiaal zijn eigen positieve eigenschappen heeft en dus ieder op zijn eigen manier het beste toegepast kan worden. Daarnaast vormt de krachtverdeling ook de basis voor het dimensioneren van de verschillende onderdelen, omdat tijdens het schematiseren en het opstellen van de krachtsverdeling het ontwerp geoptimaliseerd kan worden met betrekking tot dimensies en verhoudingen.

Taak

Het inzichtelijk maken van de krachtswerking gebeurt door het schematiseren van de constructie en de belastingen toe te passen die op de brug werken. Hiermee kunnen de normaal-, dwars-, en momentkrachten inzichtelijk gemaakt worden. Het resultaat is de basis voor de vervolgstappen: de materiaalkeuze en de dimensionering. De eurocodes, CROW Ontwerpwijzer bruggen voor langzaam verkeer en Dictaat draagconstructies basis van de TU Delft zijn de bronnen voor het beantwoorden van deze deelvraag. Het proces wordt vastgelegd in een ontwerprapport.

2.3.5. Deelvraag 5

“Welke materialen worden toegepast in het ontwerp op basis van de duurzame materialen inventarisatie?”

Situatie

De duurzaamheid, vorm, uitstraling en afmetingen zijn allen afhankelijk van het toegepaste materiaal. Het onderbouwen van de materiaalkeuze is daarom een belangrijke stap in dit onderzoek. Alle informatie uit de voorgaande deelvragen heeft hier betrekking op. Wanneer de keuze vast staat kan het voorlopig ontwerp verder uitgewerkt worden.

Taak

De duurzaamheidseisen zullen vertaald worden naar meetbare criteria. De materialen uit deelvraag 2 zullen hieraan getoetst worden volgens een levenscyclusanalyse methodiek. Het materiaal of combinatie van materialen die het beste scoort zal de voorkeur krijgen. De vergelijking en de uitkomsten ervan zullen in hetzelfde rapport als deelvraag 2 toegelicht worden.

2.3.6. Deelvraag 6

“Hoe dient het ontwerp gedimensioneerd te worden op basis van de toe te passen materialen?”

Situatie

In dit deel van het proces zijn er voldoende onderbouwde uitgangspunten om het voorlopig ontwerp volledig uit te werken. Dit betekent dat de afmetingen van de verschillende onderdelen bepaald worden om deze vervolgens duidelijk en gedetailleerd in beeld te brengen. Informatie en gegevens uit eerdere deelvragen is hier voor namelijk van belang.

Taak

Voor de uitwerking zullen berekeningen en tekeningen gemaakt worden. Deze vormen samen met een toelichting het resultaat van dit onderzoek. Het ontwerp wordt belast in de uiterste grenstoestand (UGT) en de bruikbare grenstoestand (BGT). Het ontwerp wordt vervolgens getoetst op Sterkte (trek-, buig- en afschuifsterkte), Stabiliteit (knik) en Stijfheid (doorbuiging).

2.3.7. Deelvraag 7

“Hoe kan de ROC betrokken worden bij de verschillende fasen van het project zodat het bijdraagt aan het kennisgebied ‘duurzaam bouwen’ binnen haar opleidingen?”

Situatie

Deze vraag vormt het slotstuk van het onderzoek en wordt verwerkt in het voorlopig ontwerp. Het stellen van deze vraag is van belang om te voldoen aan alle eisen van de opdrachtgever. De opdrachtgever wil graag zien dat zij met dit project haar eigen onderwijs kan opwaarderen door de studenten bouw te laten kennismaken/werken met het kennisgebied duurzame materialen.

Taak

Dit zal in kaart worden gebracht door in gesprek te gaan met een projectleider van de ROC, hierdoor willen we aftasten wat de mogelijkheden zijn bij het ROC en welke richting zij op willen. Uit dit gesprek volgt een notulen, die geanalyseerd zal worden om daar vervolgens een conclusie uit te trekken. De notulen van het gesprek zullen worden bijgevoegd in de bijlage.

H3 RESULTATEN

3.1. Deelvraag 1

“Wat zijn de wensen van de opdrachtgever?”

3.1.1. Activiteit

Om de wensen van de opdrachtgever in kaart te brengen zou er een gesprek gepland worden met de opdrachtgever. Echter, werd al snel duidelijk dat er al aardig wat wensen/eisen bekend waren bij enkele werknemers die enigszins betrokken waren bij het project. Er is toen besloten om die informatie bij de betreffende werknemers te verkrijgen en daarop verder te bouwen. De verkregen informatie is in een overzicht verwerkt die is opgedeeld in algemene eisen, ruimtelijk eisen, functionele eisen en technische eisen.

3.1.2. Resultaat

Het resultaat is een kort en bondig overzicht van de bekende eisen over verschillende thema's. Het overzicht is op de volgende pagina in tabel 1 weergegeven. Met deze basis kan verder gewerkt worden in het proces. De belangrijkste eisen komen duidelijk naar voren op de leaflet die voor het project is opgesteld. Dit zijn namelijk ook de doelstellingen voor de samenwerking tussen Ohpen en het ROC. De leaflet is opgenomen in bijlage 3 van het projectplan. De doelstellingen zijn als volgt:

- Samenwerken
- Innoveren;
- Leren;
- Focus op duurzaamheid;
- Praktijk koppelen aan theorie;
- Aanhaken bij het onderwijsprogramma.

De eisen 3.3 en 4.4 uit tabel 1 vormen de belangrijkste koppeling met deze doelstellingen.

Tabel 1: Resultaat deelvraag 1 – Programma van Eisen

Algemene eisen		
Eis nr.	Eis	Opmerkingen
1.1	Er dient een verbinding gevormd te worden tussen ROC en de energycampus	
1.2	De brug moet minimaal 50 jaar mee gaan.	Aan te tonen middels durability tests
Ruimtelijke eisen		
2.1	De vorm en ontwerp van de brug staat vrij, echter: het moet passen in de omgeving.	
2.2	De minimale doorvaartopening betreft: BxH = 5,00 x 1,50 m	Het water Sylsterak is onderdeel van een sloepenroute en moet ook voldoen aan deze eisen
2.3	Het waterpeil blijft -0.52 m NAP.	Peilbesluit Provincie Fryslân
Functionele eisen		
3.1	De brug moet geschikt zijn voor uitsluitend voetgangers en minimaal 2 meter breed.	
3.2	De brug dient logisch aan te sluiten op de paden en gebouwen in de omgeving.	
3.3	In de uitvoering, beheer en onderhoudsfasen moeten studenten betrokken kunnen worden.	Het moet bijdragen aan het kennisgebied 'Duurzaam bouwen'.
Technische eisen		
4.1	Maximale belasting op de voormalige stortlocatie: 25 kN/m ² vanaf 6 meter uit de kruin op huidig maaiveld.	i.v.m. constructie gesloten stortlocatie
4.2	Geen voorwerpen dieper dan 60 cm in de grond	i.v.m. constructie gesloten stortlocatie
4.3	De 'kwelsloot' en het maaipad langs de voet van de bult moeten intact blijven	Deze zijn onderdeel van de constructie
4.3	Overige eisen omtrent bouwen op de bult volgens rapport 'Bouwen op de gesloten stortlocatie Skinkeskâns' d.d. 25-09-2017	
4.4	Zoveel mogelijk gebruik van duurzame materialen	Duurzaam materiaal = Goed recyclebaar, hernieuwbaar en heeft minimale broeikasgasemissies

3.2. Deelvraag 2

“Welke duurzame materialen zijn geschikt om toe te passen in een loopbrug corresponderend met de eisen van de opdrachtgever?”

3.2.1. Activiteit

Er is veel openbare data verzameld en bestudeerd zoals; websites van leveranciers en wetenschappelijke artikelen. Dit zijn de bronnen geweest voor de definitie van duurzaamheid en de mogelijke meetmethodieken. Ook heeft dit inzicht gegeven in de verschillende materiaalopties. Twee experts op het gebied van composieten zijn vervolgens bevraagd om de mogelijkheden ervan verder in beeld te brengen. KLP® en aramide leveranciers zijn benaderd om technische gegevens te kunnen vergelijken. Alle bevindingen zijn te lezen in het materialen onderzoek (bijlage 3).

3.2.2. Resultaat

De duurzaamheidprestatie van materialen wordt uitgedrukt in milieukosten. Deze kosten worden bepaald aan de hand van een levenscyclusanalyse (LCA) van verschillende milieueffecten. De effecten worden in vier categorieën ingedeeld; hernieuwbaarheid, gasemissies, terrestrisch en toxologisch. Voor elke categorie worden alle emissies en het energieverbruik, samengevoegd en uitgedrukt in een referentiestof. De Nederlandse overheid hanteert schaduw prijzen. Dit is de prijs die de staat wil betalen per kilogram emissiebestrijding. Met behulp van deze prijzen kunnen vervolgens de totale milieukosten en daarmee de duurzaamheidprestatie van een object bepaald worden.

De eisen van de opdrachtgever laten een sterke voorkeur zien voor biobased materiaal. Dit is hernieuwbaar materiaal van biologische oorsprong, exclusief materiaal uit geologische afzettingen of gefossiliseerd materiaal. Een aanvullende eis is goede recyclebaarheid. Vertaald naar de milieueffecten uit LCA data betekent dit een focus op de hernieuwbaarheid en gasemissie categorieën.

De inventarisatie van duurzame materialen laat zien dat samengestelde materialen zoals beton en composieten grote biologische componenten kunnen bevatten. Het combineren van de beste eigenschappen maakt ze toepasbaar in hoogwaardige en zwaarbelaste constructies. Dergelijke opties worden nog weinig toegepast en vaak alleen experimenteel. Dit beperkt de keuzevrijheid van de materiaalcombinaties. Hoofdstuk 2 uit bijlage 3 concludeert met de volgende materialen om te gaan vergelijken:

Tabel 2 Materialenlijst

Categorie	Materiaal	Categorie	Materiaal
Vezels	- Vlas vezel - Glasvezel - Aramide vezel	Beton	- Beton C28/35 - Bio Bound® - Cementloos
Kernmaterialen	- Kurk paneel - PLA Foam	Plastic	- PE Plastic - Bioplastic PE - Gerecycled PE
Harsen	- Petroleum epoxy - Bio epoxy (Supersap®)	Staal	- Staal (Fe 360-520) - Staal wapening
Hout	Azobé		

3.3. Deelvraag 3

“Wat is volgens een multi criteria analyse op basis van het programma van eisen de voorkeursvariant voor de brug?”

3.3.1. Activiteit

Voor het uitspreken van een voorkeur zijn er op basis van het programma van eisen 3 varianten opgesteld. Voor iedere variant is een kostenraming opgesteld om die te kunnen vergelijken. Vervolgens is aan de hand van het programma van eisen een multi criteria analyse opgesteld. De verschillende varianten zijn hieraan getoetst. Op de volgende pagina zijn in figuur 1 t/m 3 enkele impressies weergegeven. Hieronder volgt de tekstuele toelichting per variant.

Variant 1 – Boogbrug

Variant 1 is een grote stalen boogconstructie waar het brugdek deels onder hangt en deels steunt op een contraboog. Het brugdek zou uitgevoerd worden in biologisch composiet en de trek- en hangstangen in koolstof composiet. Dit laatste, omdat de biologische variant heel gevoelig is voor kruip. Het hoogte verschil van 11 meter wordt in twee delen overbrugt middels een verlopende trap, waarbij de traptreden steeds ‘dieper’ worden. Het brugdek komt aan bovenop de voormalige stortlocatie op een plaatfundering. Het enorme object is met zijn vloeiende ontwerp wel aanwezig, maar zeker niet storend in de omgeving.

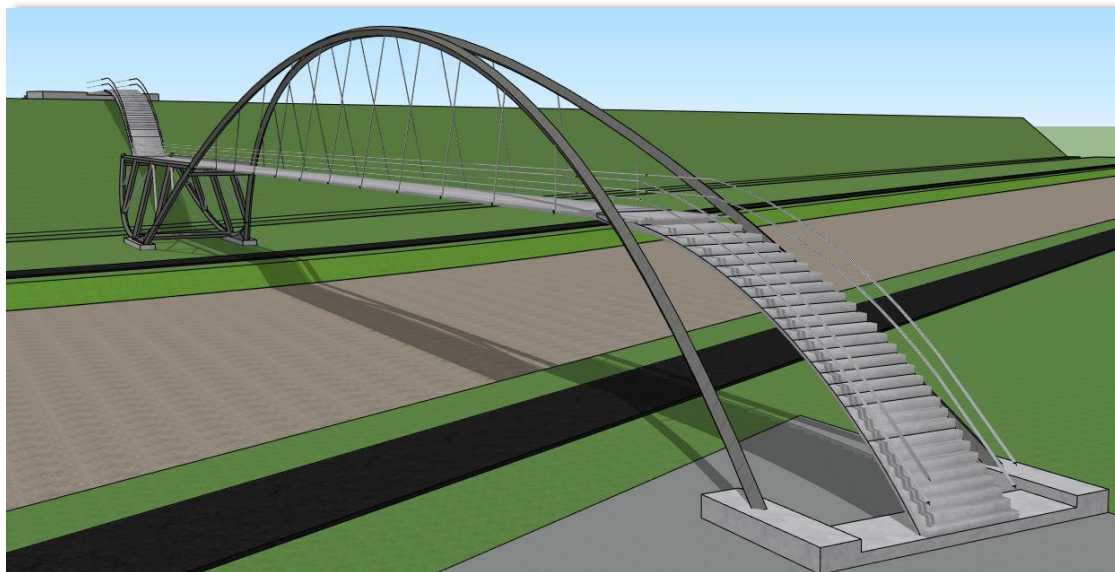
Variant 2 – Tuibrug

De tweede variant is in de basis gelijk aan de eerste variant. De draagconstructie bestaat echter uit twee stalen pylonen die het biocomposiet brugdek met koolstof composiet tuien en hangkabels op zijn plek houdt. Bij deze variant is een standaard trap toegepast waarbij een rustplateau in de trap is verwerkt om de hoogte van 6 meter te overbruggen. Het statische ontwerp is erg opvallend en daarmee een landmark voor de omgeving.

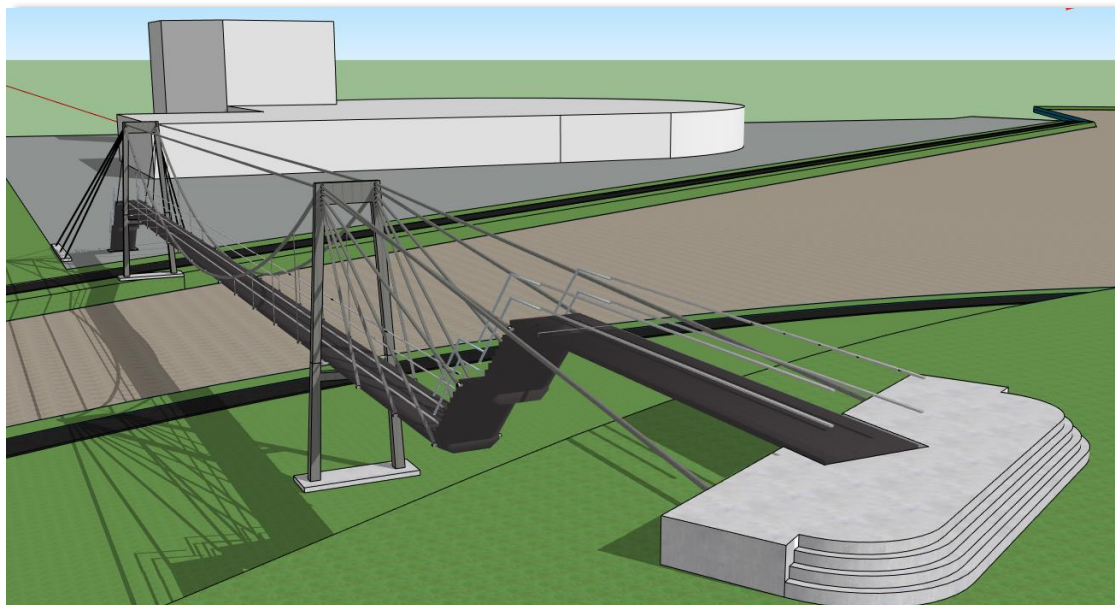
Variant 3 – Boogligger

De laatste variant is compleet anders. Bij deze variant is er voor gekozen om alleen een brug over het water te realiseren met een trap omhoog langs het talud van de voormalige stortlocatie. Dit is gedaan, omdat er dan ook een variant opgesteld kon worden waarbij het mogelijk is om hem bijna volledig uit te voeren in de duurzame materialen. De hoofdoverspanning is een biocomposieten ligger die onderspannen is met aramide composiet kabels. De overige opbouw is uitgevoerd in palen, balken en planken van gerecycled plastic in de traditionele bouwvorm van de houten voetgangersbruggen. Mede daardoor past deze variant ook perfect in de omgeving door het combineren van het traditionele ontwerp met de modernste technieken.

Figuur 1: Boogbrug met stalen draagconstructie, biocomposiet brugdek, koolstof composiet kabels



Figuur 2: Tuibrug met stalen draagconstructie, biocomposiet brugdek, koolstof composiet kabels



Figuur 3: Biocomposiet boogligger met gerecycled plastic voor opleggingen / aanbruggen



3.3.2. Resultaat

Om het proces goed te doorlopen zijn er voor de verschillende toe te passen materialen al aannames gedaan, omdat het anders onmogelijk is om een goed ontwerp op papier te krijgen. Dit was mogelijk omdat het opstellen van de varianten parallel liep aan de materialenstudie. Dit is terug te zien in de resultaten omdat de varianten een steeds hoger gehalte ‘duurzaam materiaal’ krijgen. De drie varianten zijn beoordeeld op verschillende criteria en het resultaat is in de onderstaande tabellen weergegeven. Er werd gewerkt met een schaal van 1 op 5, waarbij 1 nauwelijks past bij het criterium en 5 heel erg goed past bij het omschreven criterium. De sub beoordelingen van alle criteria zijn uitgedrukt in een getal tussen de 0.00 en 1.00. Dit is vermenigvuldigd met een weegfactor van 1 tot 3 afhankelijk van het belang van het betreffende criteria. Variant 3 blijkt de voorkeur te hebben. Het hele proces is vastgelegd in bijlage 4: Variantenstudie.

Tabel 3 Eindoordeel variant 1

Brugvariant: 1. Boogbrug Omschrijving	Beoordeling				
	1	2	3	4	5
• Relatieve kosten	☐	☒	☐	☐	☐
• Onderhoudsvriendelijk	☐	☐	☒	☐	☐
• Mate van gebruik bio-based/gerecyclede materialen	☐	☐	☒	☐	☐
• Innovatief gebruik van toe te passen materialen	☐	☐	☒	☐	☐
• Technische uitvoerbaarheid	☐	☐	☒	☐	☐
• Past in de omgeving	☐	☐	☒	☐	☐
• Gebruiksvriendelijk voor bruggebruikers	☐	☐	☐	☐	☒
• Gebruiksvriendelijk voor overige omgevingsgebruikers	☐	☐	☐	☒	☐
• Inzet van studenten bij het project	☐	☐	☒	☐	☐
• Eind oordeel	3,22 / 5				

Tabel 4 Eindoordeel variant 2

Brugvariant: 2. Tuibrug Omschrijving	Beoordeling				
	1	2	3	4	5
• Relatieve kosten	☒	☐	☐	☐	☐
• Onderhoudsvriendelijk	☐	☐	☐	☒	☐
• Mate van gebruik bio-based/gerecyclede materialen	☐	☐	☐	☒	☐
• Innovatief gebruik van toe te passen materialen	☐	☐	☒	☐	☐
• Technische uitvoerbaarheid	☐	☐	☒	☐	☐
• Past in de omgeving	☐	☒	☐	☐	☐
• Gebruiksvriendelijk voor bruggebruikers	☐	☐	☐	☐	☒
• Gebruiksvriendelijk voor overige omgevingsgebruikers	☐	☐	☐	☐	☒
• Inzet van studenten bij het project	☐	☐	☒	☐	☐
• Eind oordeel	3,33 / 5				

Tabel 5 Eindoordeel variant 3

Brugvariant: 3. Boogligger Omschrijving	Beoordeling				
	1	2	3	4	5
• Relatieve kosten	☐	☐	☒	☐	☐
• Onderhoudsvriendelijk	☐	☐	☐	☐	☒
• Mate van gebruik bio-based/gerecyclede materialen	☐	☐	☐	☐	☒
• Innovatief gebruik van toe te passen materialen	☐	☐	☐	☐	☒
• Technische uitvoerbaarheid	☐	☐	☐	☒	☐
• Past in de omgeving	☐	☐	☐	☐	☒
• Gebruiksvriendelijk voor bruggebruikers	☐	☐	☐	☒	☐
• Gebruiksvriendelijk voor overige omgevingsgebruikers	☐	☐	☐	☒	☐
• Inzet van studenten bij het project	☐	☐	☐	☐	☒
• Eind oordeel	4,44 / 5				

3.4. Deelvraag 4

“Hoe verloopt de krachtsverdeling in de gekozen vorm?”

3.4.1. Activiteit

Om deze deelvraag te kunnen beantwoorden zijn er enkele stappen doorlopen. Ten eerste is de hoofdligger geschematiseerd en zijn de knoopverbindingen vastgelegd in een scharnierende of vaste verbinding. Daarnaast is bepaald welke belastingen er op de constructie werken volgens de ontwerpwijzer van de CROW en welke belastingcombinaties er opgesteld dienen te worden volgens de ‘eurocode 0 – Grondslagen van het constructief ontwerp’.

De krachswerking is eerst eenvoudig en handmatig aan de hand van rekenregels opgesteld. Dit heeft per staaf de normaalkrachten inzichtelijk gemaakt. Vervolgens is de constructie geoptimaliseerd, zodat in iedere gelijkwaardige staaf ongeveer even grote krachten werken. Vervolgens is de constructie ingevoerd in rekensoftware die de Eindige Elementen Methode (EEM) toepast door het oplossen van differentiaal- en integraalvergelijkingen. De software die is toegepast heet SCIA Engineer versie 16.1. De eerder opgestelde belastingcombinaties van de Uiterste Grens Toestand (UGT) en de Bruikbare Grens Toestand (BGT) zijn vervolgens toegepast in de software. De resultaten van de normaal-, dwars- en momentkrachten worden gebruikt voor de dimensionering. Voor het overige deel van de constructie, waaronder de trappen en platformen, geldt hetzelfde proces. Vanwege de eenvoudigheid van deze constructies zijn ze direct ingevoerd in de EEM-Software. Deze resultaten zijn gebruikt voor de dimensionering.

Het gehele proces is vastgelegd in hoofdstuk 2 van het VO-Rapport. Het rapport is bijgevoegd in bijlage 5.

3.4.2. Resultaat

Voor de leesbaarheid van dit rapport zijn alleen de resultaten van de brugligger hier uitgewerkt. Voor de krachswerking van de simpelere constructies wordt verwezen naar bijlage 5.

De resultaten van de UGT en BGT die gebruikt zijn voor de dimensionering zijn verkregen uit de EEM-analyse. De volgende tabellen geven hiervan een overzicht:

Bovenrand constructie – Biocomposiet ligger

Tabel 6: Overzicht maximaal optredende krachten UGT

Omschrijving	Symbool	Waarde	Eenheid
Normaalkracht	N	-793,67	kN
Dwarskracht	D	197,99	kN
Moment	M	104,94	kNm

Onderrand constructie – Aramidevezel kabel

Tabel 7: Overzicht maximaal optredende krachten UGT

Omschrijving	Symbool	Waarde	Eenheid
Normaalkracht	N	789,78	kN
Dwarskracht	D	0,43	kN
Moment	M	-0,86	kNm

Verticalen constructie – Biocomposiet steunen

Tabel 8: Overzicht maximaal optredende krachten UGT

Omschrijving	Symbool	Waarde	Eenheid
Normaalkracht*	N	-30,72	kN
Dwarskracht	D	0,61	kN
Moment	M	-0,61	kNm

Tabel 9: Overzicht maximaal optredende krachten BGT

Omschrijving	Symbool	Waarde	Eenheid
Normaalkracht*	N	-21,88	kN
Dwarskracht	D	0,43	kN
Moment	M	-0,43	kNm

* In het rapport wordt een aanname gedaan dat de normaalkracht ook resulteert in een dwarskracht. Waardoor de steunen geschoord dienen te worden. De uitwerking, onderbouwing en aangepaste waarden zijn opgenomen in het VO-Rapport.

3.5. Deelvraag 5

“Welke materialen worden toegepast in het ontwerp op basis van de duurzame materialen inventarisatie?”

3.5.1. Activiteit

Met behulp van de levenscyclus methode zijn de duurzaamheidseisen vertaald naar meetbare criteria. Per materiaal is data verzameld over de emissies die vrijkomen bij de productie. Er is onderzocht welke data geschikt is door de oorsprong ervan te analyseren. Met behulp van wetenschappelijke artikelen over LCA studies is hier inzicht in verworven. De data is uiteindelijk geclusterd om te komen tot een milieukostenindicator (MKI) per kg materiaal. Aan de hand van een LCA studie over fietsbruggen zijn er inschattingen gemaakt over de hoeveelheden die per materiaal nodig zijn. Deze hoeveelheden zijn vermenigvuldigd met de MKI-score om de voorkeursvariant te bepalen. Hoofdstuk 3 uit bijlage 3 beschrijft het proces en de resultaten in detail.

3.5.2. Resultaat

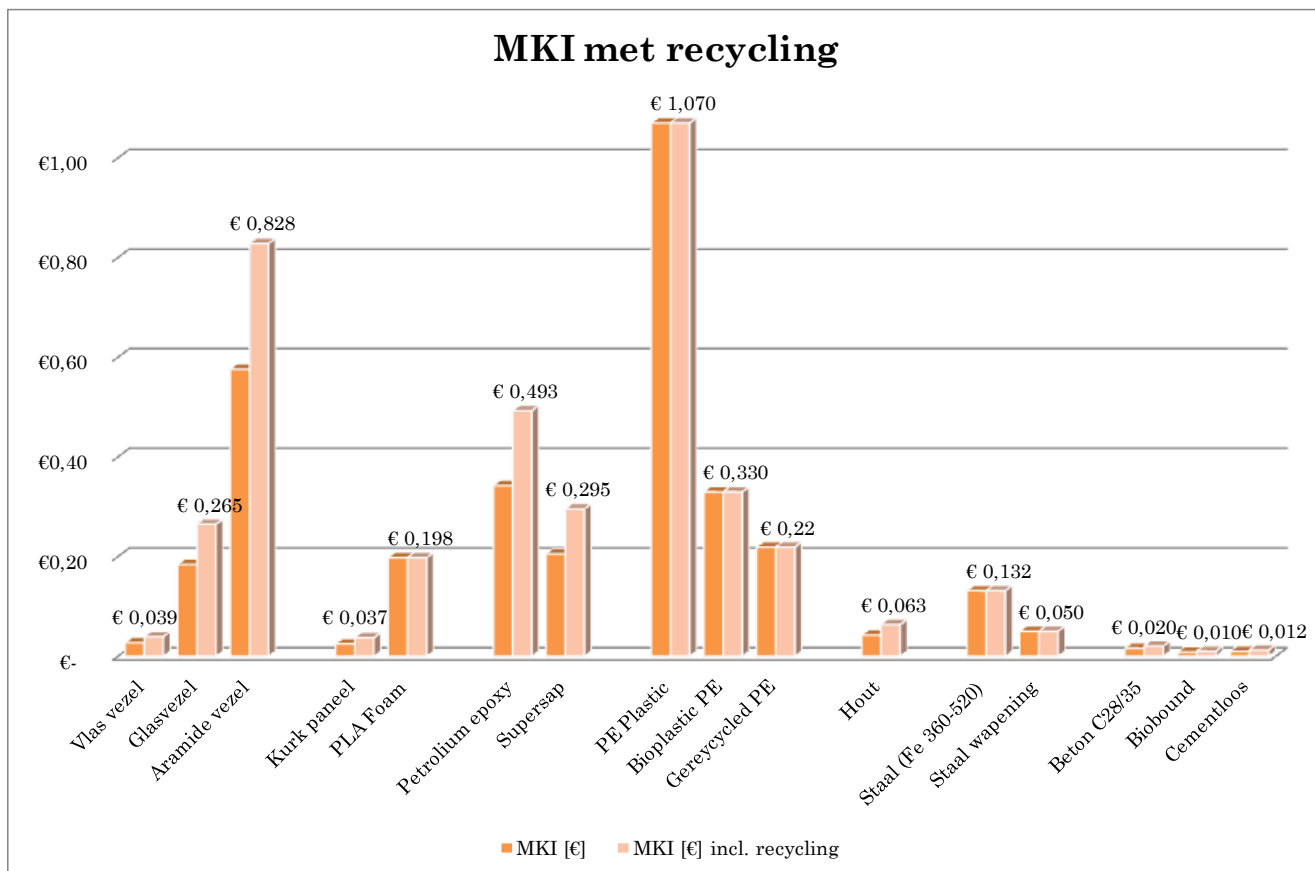
De eerste vergelijking laat grote verschillen zien tussen de MKI-scores van de materialen. Het diagram op de volgende pagina geeft dit weer.

Opmerkelijk zijn:

- lage scores van beton;
- hoge CO2 uitstoot van bio-epoxy en bioplastic;
- grote hernieuwbaarheid van de (semi-)biologische materialen;
- een gunstigere score voor gerecycled PE t.o.v. biologisch PE.

Uit deze eerste analyse is al snel te zien dat het kurkpaneel, hars op fossiele basis, aramidevezel en PE plastic op het gebied van gewicht, milieukosten en toepasbaarheid niet kunnen concurreren met de materialen uit dezelfde categorieën. In de rest van de vergelijking zijn deze materialen daarom niet meegenomen.

Figuur 4 MKI scores per materiaal



Deze MKI-scores zijn niet geschikt om een definitieve voorkeursvariant aan te wijzen. Dit is in een vervolgstap gedaan door materialen te combineren in een “standaard” brug (14m*3m). De hoeveelheden materiaal voor deze brug zijn afgeleid uit een uitgebreide LCA studie van fiets- en verkeersbruggen. Met het resultaat kunnen de opties voor funderingen en leuningen afgewogen worden.

In stap twee kunnen de verschillende ontwerpen verbeterd worden. Bijvoorbeeld door de best scorende funderingsopties toe te passen. Daarnaast wordt ook een factor voor de recyclebaarheid geïntroduceerd. Het effect van deze optimalisatie heeft geleid tot de eindscores:

Tabel 10 Totale milieukosten

Materiaal	Milieukosten Stap 1	Eindscores stap 2	Verskil stap 1 en 2
Beton	€ 2.516	€ 2.077	€ - 439
Staal	€ 4.234	€ 4.085	€ - 148
Hout	€ 763	€ 910	€ 147
Composiet 1	€ 1.398	€ 1.555	€ 157
Composiet 2	€ 1.067	€ 1.302	€ 235

De best scorende combinatie composiet 2 bestaat uit een brugdek van vlasvezels, bio epoxy en PLA schuim, en leuning van gerecycled plastic (KLP®). De fundering is opgebouwd uit houten palen en staal versterkt KLP®. Deze conclusie bepaalt de materialen die, in de rest van het ontwerpproces van dit afstudeeronderzoek, gebruikt zijn.

De resultaten uit dit onderzoek zijn indicatief. Ze zijn geen weergave van de werkelijke totale milieukosten van het gebruikte materiaal. De keuze voor een beperkt aantal milieueffecten en het opstellen van een eigen methode voor het meenemen van recycling liggen hieraan ten grondslag. Daardoor zijn deze enkel toepasbaar binnen de eisen en uitgangspunten van “de brug naar de toekomst”. De gebruikte LCA data kent ook enige beperkingen. Voor sommige materialen is er geen lokale data verkregen. Het uiteindelijk resultaat zal hier echter minimaal gevoelig voor zijn. De verschillen in milieukosten laat een grote bandbreedte voor fouten toe.

3.6. Deelvraag 6

“Hoe dient het ontwerp gedimensioneerd te worden op basis van de toe te passen materialen?”

3.6.1. Activiteit

De krachtsverdeling is de grondslag voor de dimensionering van de verschillende onderdelen van de constructies. Per onderdeel is bepaald op welke eisen en bezwijkmechanismen getoetst moet worden. Omdat het een voorlopig ontwerp betreft zijn er duidelijke grenzen gesteld. Er is getoetst op: buig- druk- of treksterkte, doorbuiging, afschuifspanning en knik. Hieruit zijn de maatgevende materiaaleigenschappen bepaald. Waar mogelijk zijn de onderdelen hierop geoptimaliseerd om net te kunnen voldoen aan de eis. Dit is een globale dimensionering dus niet op het niveau van verbindingen. De afmetingen van alle onderdelen zijn op deze wijze onderbouwd in hoofdstuk 3 t/m 6 van bijlage 5. Op basis van deze afmetingen zijn de constructies in AutoCad getekend. Alle detail- en overzichtstekeningen zijn te vinden in bijlage 7.

3.6.2. Resultaat

Hier volgt een beschrijving van het voorlopig ontwerp wat het resultaat van deze deelvraag genoemd kan worden.

Gehele verbinding

Vanaf bovenaf gezien is de gehele verbinding een rechte lijn van 2 meter breed. Er zijn drie deelverbindingen benoemd in tekening 617004-VO-1A. Nummer 1 verbindt de fietspaden aan weerszijden van het Bisschopsrak. Het begint tien meter ten noorden van de zijingang van het ROC-terrein. De tweede verbinding loopt van het fietspad tot de voet van de stortlocatie. Vanaf hier tot en met de top van de stortlocatie vormt deelverbinding 3 en eindigt tien meter uit de bocht van de stortlocatie. De verhardingen tussen de deelverbindingen en naar omliggende infrastructuur valt buiten de scope en dient nader bepaald te worden.

In het zijaanzicht loopt de verbinding niet recht en zijn er een aantal hoogte verschillen te zien. Er zal een trap van tweeënhalf meter hoog op- en afgelopen moeten worden om het Bisschopsrak over te steken. Vervolgens loopt het tracé een halve meter af richting de voet van de stortlocatie. Vanaf hier is het een klim van tien meter om boven te komen en het einde van het tracé te bereiken.

Hoofdoverspanning

De hoofdligger is een met vacuüminjectie gevormde biocomposiet brugligger. Bestaande uit Uni-Directionele vlasvezels en Greenpoxy® hars. Dit maakt dat de ligger voor 70% uit biologische materialen bestaat. De onderspanning van de constructie vraagt om een materiaal dat grote trekkrachten op kan nemen en minimaal zal oprekken. Aramidevezel kabels bezitten deze eigenschappen en zijn daarom toegepast. Het goed recyclebare KLP® wordt ook binnen de hoofdoverspanning gebruikt. Het geeft de brug een karakteristieke uitstraling en draagt bij aan de minimale onderhoudsinspanning van de constructie. Staalversterkte kespen en niet versterkte palen vormen de oplegging van de brug. De leuningën zijn met glasvezel versterkt.

De brug is geschematiseerd als combinatie van vakwerk en vierendeelligger. Het is aan één zijde scharnierend opgelegd en aan de andere zijde rollend. Steunschotten verbinden de kabels met het composiet en zijn in de bovenzijde moment vast en in de onderzijde scharnierend.

De krachtswerking is eerst eenvoudig en handmatig aan de hand van rekenregels opgesteld. Dit heeft per staaf de normaalkrachten inzichtelijk gemaakt. Vervolgens is de constructie geoptimaliseerd, zodat in iedere gelijkwaardige staaf ongeveer even grote krachten werken. Vervolgens is de constructie ingevoerd in rekensoftware die de Eindige Elementen Methode (EEM) toepast door het oplossen van differentiaal- en integraalvergelijkingen.

Uiteindelijk kan er geconcludeerd worden dat de resultaten niet helemaal gelijkwaardig zijn, en dat de resultaten uit de EEM-analyse realistischer zijn. Daarom worden de resultaten van de UGT en BGT uit deze analyse verkregen en gebruikt voor de dimensionering. In het rapport wordt een aanname gedaan dat de normaalkracht in de steunen door rotatie ook resulteert in een dwarskracht. Hierdoor zijn de steunen geschoord.

De onderdelen zijn gedimensioneerd op sterkte, stabiliteit en stijfheid. Er zijn twee tussenschotten toegepast om extra traagheidsmoment van het dwarsprofiel te genereren en om vervorming in het dwarsprofiel te voorkomen. Een kern van Biofoam® is gebruikt om de ligger met vacuüminjectie te kunnen produceren. Langs de buitenste lijven liggen hardhouten planken om stevigheid te verzorgen voor de boutverbindingen van de leuningstijlen. De hoogte en wanddiktes van het profiel zijn uiteindelijk zo gekozen dat er voldoende traagheidsmoment is om aan de maatgevende knikkracht te kunnen voldoen. De dikte van het dek is groter omdat hier 10 mm slijtlaag wordt toegepast. Aan de druk- buig- en afschuifsterkte blijkt het profiel ruim te voldoen. De knikkracht is maatgevend omdat de kabels de grote trekkrachten opnemen wat vervolgens resulteert in grote drukkrachten in de ligger.

De composiet steunschotten zijn massieve balken die aan weerszijden zijn geschoord met twee lagen composiet waartussen zich een Biofoam® kern bevindt. De balken zijn drukstaven waardoor knik wederom de maatgevende toets is. Voor de zwaarst belaste steun is ook de schoor op treksterkte getoetst en gedimensioneerd. Tekening 617004-VO-2A toont de dwarsprofielen, langsdoorsneden en opleggingen van de buigligger.

Aanbruggen

De aanbruggen zijn volledig in KLP® producten uitgevoerd. De belastingen zijn op dezelfde wijze bepaald als die van de hoofdligger. De aanbrug bevat meer onderdelen maar de schematisering is simpeler. De dekplanken steunen rollend op vier liggers en vast op één ligger. De verbindingen zijn scharnierend en geschroefd. De liggers zijn scharnierend op vier kespen opgelegd en zijn verbonden met hoeklijnen en schroeven. De leuningstijlen zijn met bouten gemonteerd op de liggers. De kesp is scharnierend op twee KLP® palen opgelegd en met twee bouten verbonden. Onder het grondwaterpeil gaat de KLP® paal over in een naaldhouten paal waarbij een RVS bus met bouten deze twee verbindt. Alle onderdelen zijn op buigsterkte, doorbuiging en afschuifspanning getoetst. Door het gebrek aan normaalkrachten kan knik niet optreden in deze constructie. De buigsterkte was in de meeste gevallen maatgevend. Tekening 617004-VO-2A toont tevens de details van de aanbruggen.

Brug kwelsloot

De opbouw, schematisering en toetsing van de brug over de kwelsloot is gelijk aan die van de aanbruggen. Het verschil in dimensionering zit in de liggers die een veel grotere overspanning overbruggen. Hier is een getogen staalversterkt profiel KLP® ligger voor gekozen om te kunnen voldoen aan de maatgevende doorbuigingseis. Tekening 617004-VO-3A toont de details van de brug.

Trap talud stortlocatie

De trap is opgebouwd uit treden van KLP®-V dekplanken die op vijf plekken worden ondersteunt. De afmetingen en belastingen zijn hierin hetzelfde genomen als voor de aanbruggen. De KLP® klossen die de planken ondersteunen zijn op betonnen stelconplaten gemonteerd met hoeklijnen en bouten. De KLP®-V leuning die gebuikt worden zijn wederom volgens de standaard van de leverancier. De stijlen worden op de klossen en betonplaten gemonteerd met bouten. De draagkracht van de grond is niet bepaald en zal in een vervolgstap van dit onderzoek gedaan moeten worden. De bovenbelasting die hiervoor gebruikt kan worden is wel berekend en is maximaal 9,4 kN/m².

Kosten

De totale project kosten van de verbinding is ongeveer € 720.000,-.
Dit is € 100.000,- lager uitgevallen dan de eerste begroting uit bijlage 4.

3.7. Deelvraag 7

“Hoe kan de ROC betrokken worden bij de verschillende fasen van het project zodat het bijdraagt aan het kennisgebied ‘duurzaam bouwen’ binnen haar opleidingen?”

3.7.1. Activiteit

Om deze vraag te beantwoorden zijn er twee subvragen opgesteld. Namelijk: hoe kun je de studenten überhaupt betrekken bij het projecten. En daarnaast: hoe kan dit dan bijdragen aan het kennisgebied ‘duurzaam bouwen’?

Over de eerste vraag is in een vroeg stadium al een eerste gedachte aan gewijd bij de variantenstudie. Dit, omdat het een harde eis is van de opdrachtgever is het goed om dit mee te nemen in de beoordeling van de varianten.

Om uiteindelijk een gefundeerd antwoord op de tweede vraag, en daarmee ook de deelvraag te krijgen is er aan het einde van het onderzoek een gesprek gepland met een projectleider van het ROC. Deze persoon heeft uiteraard meer inzicht in het omzetten van praktijkopdrachten naar onderwijs. De projectleider was zeer enthousiast over het voorstel en heeft daarnaast twee docenten bouw/infra plaats laten nemen bij het gesprek, zodat ook zij direct konden aangeven of en waar de kansen liggen.

Het gesprek is schriftelijk vastgelegd en aan de hand van de notulen is vervolgens een conclusie getrokken. Het proces is vastgelegd in een rapport en is bijgevoegd als bijlage 6 – Studentensamenwerking.

3.7.2. Resultaat

De geïdentificeerde kansen zijn per bouwphase in de volgende tabel weergegeven. In de conclusie en aanbevelingen wordt hier verder op in gegaan.

Tabel 11: Overzicht kansen voor studenten opgedeeld in fasen van het project

Fase	Kansen
• Voorbereidend	• Ruimte beschikbaar stellen voor proefopstellingen • Samenwerking zoeken met het HBO
• Realisatie	• Stages, excursies of praktijkdagen bij aannemer of producenten/leveranciers
• Beheer	• Monitoren, samenwerking zoeken met het HBO

H4 CONCLUSIE EN AANBEVELING

4.1. Conclusie

Deelvraag 1

De belangrijkste eisen komen duidelijk naar voren op de leaflet die voor het project is opgesteld. Dit zijn namelijk ook de doelstellingen voor de samenwerking tussen Ohpen en het ROC. De doelstellingen zijn: Samenwerken, Innoveren, Leren, Focus op duurzaamheid, Praktijk koppelen aan theorie, Aanhaken bij het onderwijsprogramma.

Deelvraag 2

Tijdens het zoeken naar een methode om duurzaamheid te toetsen is er een belangrijk onderzoek van BECO Consultancy geraadpleegd. Dit onderzoek bleek de basis te zijn voor een vergelijking van de materialen. In dit onderzoek zijn fietsbruggen van verschillende materialen vergeleken omdat de toepassingen van een materiaal bepalend is voor de mate van duurzaamheid. De inventarisatie uit deelvraag twee is daarom zo uitgevoerd dat de resultaten uit het onderzoek gebruikt konden worden om zelf een vergelijking te maken. Wanneer dit niet zo aangepakt was dan zou er in deze scriptie een brug ontworpen moeten worden van elk materiaal dat een duurzame potentie heeft. Dit was geen realistische optie. De vergelijking die in bijlage 3 is gemaakt kan daardoor gezien worden als aanvulling en aanpassing op de studie van BECO. En de resultaten kunnen afhankelijk van de gevoeligheid gebruikt worden voor de “brug naar de toekomst”.

Deelvraag 3

De eisen van de opdrachtgever zijn in de varianten studie op waarde gezet door er een weegfactor aan te hangen. De belangrijkste eisen met een weegfactor 3 zijn de relatieve kosten, gebruik van duurzame materialen, innovatief gebruik en de inzet van studenten. De relatieve kosten en inzet van studenten geven variant 3 het grootste voordeel ten opzichte van de andere varianten. Verder scoort deze variant ook beter op de onderhoudskosten, technische uitvoerbaarheid en inpassing in de omgeving.

Deelvraag 4

Voor de krachtsverdeling geldt dat een vergelijking tussen de handmatige- en de EEM-analyse heeft de volgende bevindingen heeft opgeleverd:

- De handmatige- en de EEM-analyse vertonen geen onverklaarbare verschillen.
- De normaalkrachten vallen lager uit dan verwacht.
- De normaalkracht in de boven- en onderrand loopt op richting de oplegging.
- De normaalkracht in de bovenrand is een fractie hoger dan in de onderrand.
- De normaalkracht in de verticalen zijn min of meer gelijk.
- De verticale oplegreacties zijn hoger dan verwacht.

De oorzaak van deze verschillen is dat de handmatige analyse geen rekening houdt met vervormingen van de constructie. Vervorming van staven en verplaatsing van knopen veranderen de uitkomsten. Dit effect is geanalyseerd en kan als volgt verklaard worden: In de EEM-analyse zakt de constructie in zijn geheel door, hierdoor wordt de pijl van de boog bovenin lager, waardoor de kracht oploopt. Onderin wordt de boog groter wat resulteert in een lagere kracht. Het verschil van beide krachten levert een resultante kracht op met als gevolg: een extra kracht in horizontale en verticale richting in de

oplegging. Omdat één oplegging rollend is geschematiseerd kan dit punt verschuiven en zorgt weer voor een lagere kracht in beide bogen, doordat de oplegging minder weerstand biedt. De extra verticale kracht zorgt uiteraard voor een hogere verticale oplegreactie. Uiteindelijk kan er geconcludeerd worden dat de resultaten niet helemaal gelijkwaardig zijn, en dat de resultaten uit de EEM-analyse realistischer zijn. Daarom worden de resultaten van de UGT en BGT uit deze analyse verkregen en gebruikt voor de dimensionering.

Deelvraag 5

De eindscores van het materialenonderzoek laten zien dat een houten brug de laagste milieukosten met zich meebrengt. Daarbij is de fundering verantwoordelijk voor de helft van deze kosten. Een composiet loopbrug gemaakt uit biologische vezels, hars en kernmateriaal scoort in deze vergelijking € 392,- hoger. Dit verschil is ten opzichte van de andere varianten relatief klein. De eindscores van de composiet bruggen liggen dicht bij elkaar. Het toepassen van vlasvezel geeft dus een milieuvoordeel ondanks dat er meer hars moet worden toegepast. Bij grotere constructies zal het milieuvoordeel dus steeds kleiner worden. Het voorlopig ontwerp van “de brug naar de toekomst” is erg efficiënt in materiaal gebruik. Een snelle vergelijking laat zien dat wanneer de overspanning met een brugligger van glasvezel wordt overbrugd, de totale milieukosten minimaal € 200,- lager uitvallen. Dit is een minimaal verschil met de uitkomsten van de “standaard brug”. Als de totale levensduur in acht wordt genomen van het composiet en KLP® dan zullen die ook beter scoren dan bij eenzelfde toepassing van hout. Of hier wel of niet rekening mee gehouden wordt is uiteindelijk niet relevant. Het gebruik van hout was al uitgesloten en dient alleen als indicatie. Uit de resultaten kan daarom geconcludeerd worden dat op basis van de milieukosten composiet 2 het voorkeursalternatief is. In de materialenstudie zijn aramide vezels niet opgenomen in de vergelijking tussen de brug varianten. Dit is uiteindelijk wel toegepast in de voorkeursvariant. De reden hiervoor is dat de “standaard brug” die ter vergelijking is gebruikt een overspanning van maar 14 meter heeft. Het onderspannen van de constructie is daarom niet nodig. Eerst werd er aangenomen dat dit voor een 30 meter variant ook mogelijk zou zijn. Naarmate het ontwerp proces vorderde bleek dit niet het geval. De oplossingen die bedacht zijn leverden erg grote biocomposiet profielen op. Die vanwege de hoge prijs van de materialen niet realistisch zouden zijn. Ook in een milieu vergelijking bleek een aramide vezel constructie voordeliger dan een groot biocomposiet profiel. Onderspanning werd daardoor de beste oplossing.

Deelvraag 6

De dimensionering laat zien dat de constructie met realistische afmetingen te maken is. De kabel steunen zijn echter hoger ontworpen dan verwacht. Deze hoogte was nodig om aan de doorbuigingseisen te kunnen voldoen. De grond rondom de bouwlocatie heeft weinig draagkracht. De palen om de brugopleggingen zijn daarom langer en breder uitgevallen dan verwacht zou kunnen worden. In de conceptfase was de kwelsloot onderschat. Het idee was om een dam met duiker toe te passen. Later in het ontwerpproces is gebleken dat dit concept vervangen moest worden door nog een brug. Door deze op gelijke wijze uit te voeren als de aanbruggen kan er gesteld worden dat het de resultaten van de variantenstudie niet zal beïnvloeden. Het verschil in kosten € 100.000,- tussen de eerste en tweede begroting is voornamelijk te verklaren door toepassing van een kleiner profiel. Het biocomposiet profiel was namelijk een halve meter breder ontworpen in de eerste begroting. Dit betekent dat er veel meer dure bio hars en vezels toegepast moesten worden, dit drijft de prijs enorm omhoog.

Deelvraag 7

Wat betreft de samenwerking was de gedachte achter de variantenstudie was dat er bij alle ontwerpen iets te halen valt in de voorbereidingsfase en de beheerfase. Het gekozen ontwerp blijkt echter ook kansen te bieden in de realisatiefase. De overige varianten bestaan voornamelijk uit specialistische of geprefabriceerde onderdelen die ter plaatse alleen gemonteerd hoeven te worden. Door het formaat van deze ontwerpen mag ook de montage specialistisch genoemd worden. Dit in tegenstelling tot het gekozen ontwerp, waarbij ook voor een gedeelte ter plekke gebouwd wordt. Er is gebleken dat dit in de vorm van opdrachten, weliswaar onder begeleiding, goed door de studenten uitgevoerd kunnen worden. Het gaat hier om het opbouwen van steunpunten, platformen en trappen. Evenals het aanleggen van verharding. Er is geconcludeerd dat het gekozen ontwerp genoeg te bieden heeft voor de studenten. De docenten en projectleiding van het ROC zijn erg enthousiast over het project en zien het zeker zitten om de studenten te betrekken bij het project. Wel moeten betrokkenen er goed op letten dat het niet te theoretisch wordt. De studenten zijn immers doeners en daarom moet de betrokkenheid praktisch ingesteld zijn. Het is om die reden belangrijk om de samenwerking te zoeken met het HBO. Zodat deze studenten het op theoretisch gebied kunnen oppakken en alle studenten in de praktijk kunnen samenwerken. Daarnaast liggen er kansen om stages, praktijkdagen of excursies bij de aannemer of producten te organiseren. Tot slot zouden er op het gebied van tekenwerk kleine opdrachten opgezet kunnen worden om de student te leren om een goed opgebouwde technische tekening te laten opstellen. Hoewel dit niet bijdraagt aan het kennisgebied duurzaam bouwen, wat bij de overige punten wel zo is.

4.2. Aanbevelingen

Materialen onderzoek

In een vervolg onderzoek kunnen nog meer milieu-impact categorieën geïntroduceerd worden om een volledige vergelijking te maken. Hierin zouden ook meer materialen voor de leuningen en opleggingen beschouwd kunnen worden. Deze was enigszins beperkt gebleven maar heeft wel een overtuigende uitkomst opgeleverd ten opzichte van hout en staal. De kostenoverweging is hierin wel belangrijk omdat leuningen al snel veel materiaal kost. Recentere en lokale data kan voor alle materialen gebruikt worden voor een nog realistischer beeld.

Het ontwerp

De eerste vervolgstap voor de dimensionering is het doen van materiaaltesten met behulp van proefstukken. Hieruit kan de laminaatopbouw bepaalt worden van het biocomposiet. Dit is nodig omdat er voor dit materiaal nog geen normen zijn. Verder zullen de verbindingen ontworpen moeten worden zoals de verankering van de kabels. Een toets op trillingen en zijdelingse stabiliteit dient ook nog uitgevoerd te worden.

Samenwerking

Voor verdere samenwerkingen in het project wordt geadviseerd om een proefplan op te stellen. Hieruit zal duidelijk moeten worden hoeveel tijd en ruimte er nodig is om proefopstellingen in het ROC te bouwen en te gebruiken. Voor het maken van deze plannen kunnen kenniscentra van HBO instellingen benaderd worden om studenten hierin te laten participeren. Stenden te Emmen NHL te Leeuwarden en de Hanzehogeschool te Groningen zijn hiervoor de logische keuzes. Waarbij Stenden al veel ervaring heeft met dergelijke projecten.