

INNOVATIEF ONTWERPEN

AFSTUDEERVERSLAG

Versie 2.0

ROZEMARIJN VEENSTRA 315391

HIDDE VAN WEZEL 320787

AFSTUDEERGROEP 16

IN OPDRACHT VAN

abtWassenaar

Jaap Schaveling
Rick Bruins

Senior Constructeur
Constructeur

ONDER BEGELEIDING VAN



Jelle Pama
Dirk Ersten

Afstudeerbegeleider
Afstudeerlezer

HANZEHOGESCHOOL GRONINGEN
14 JUNI 2017

Colofon

In opdracht van:

AbtWassenaar te Haren

Hanzehogeschool te Groningen; Academie voor Architectuur, Bouwkunde en Civiele techniek

Gegevens studenten:

Naam:	Hidde Cornelis van Wezel	Celina Rozemarijn Anna
Studentnummer:	320787	Veenstra 315391
Mail:	h.c.van.wezel@st.hanze.nl	c.r.a.veenstra@st.hanze.nl
Opleiding:	Civiele Techniek, constructief ontwerpen	Bouwkunde, constructief ontwerpen

Gegevens bedrijfsbegeleiding:

Bedrijf: AbtWassenaar
Adres: Rummerinkhof 6
Postcode: 9751 SL Haren
Telefoon: 050 534 7345
Mail: info@abtwassenaar.nl

Naam:	ir. Jaap Schaveling	ir. Rick Bruins
Functie:	senior constructeur	constructeur
Betrokkenheid:	afstudeerbegeleider	afstudeerbegeleider
Mail:	j.schaveling@abtwassenaar.nl	r.bruins@abtwassenaar.nl

Gegevens afstudeerbegeleiding:

Naam: Hanzehogeschool Groningen
Faculteit: Academie voor Architectuur, Bouwkunde en Civiele Techniek
Adres: Zernikeplein 11, Van Doorenveste
Plaats: 9747 AS Groningen
Studiejaar: 2016-2017

Naam:	ir. J. R. Pama	ir. D. Ernten
Betrokkenheid:	Afstudeerbegeleider	Afstudeerlezer
Mail:	j.r.pama@pl.hanze.nl	d.ermsten@pl.hanze.nl

1 Voorwoord

Voor u ligt de scriptie 'Innovatief ontwerpen'. Een onderzoek naar vernieuwende materialen, constructieve ontwerpwijzen en het ontwerpen van een alternatieve constructie. Het onderzoek is uitgevoerd door Hidde van Wezel (22 jaar) en Rozemarijn Veenstra (20 jaar). Beiden studierend aan de Hanzehogeschool Groningen. Deze scriptie is geschreven voor het afstuderen aan de opleidingen Civiele Techniek en Bouwkunde. Deze opleidingen vallen beiden onder het instituut SABC (School voor Architectuur, Bouwkunde en Civiele techniek). Voor het afstuderen is een periode ingepland vanaf 1 februari 2017 tot en met 15 juni 2017. Hierin zijn wij bezig geweest met het onderzoeken, het ontwerpen, het berekenen en het schrijven van dit afstudeerverslag. Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van abtWassenaar te Haren.

Wij willen bij deze de bedrijfsbegeleiders ir. Jaap Schaveling en ir. Rick Bruins van abtWassenaar en docentbegeleider ir. Jelle Pama van de Hanzehogeschool Groningen bedanken voor hun tijd, ondersteuning en feedback tijdens het afstuderen. Daarnaast bedanken we graag alle geïnterviewden voor hun tijd en enthousiasme. Ook willen wij alle medewerkers van abtDelft, met name ir. Joris Moen, abtVelp en abtWassenaar bedanken voor ondersteuning, tijd en prettige samenwerking.

Wij hebben dit afstudeeronderzoek als heel interessant en vernieuwend ervaren en hopen dat op u over te brengen.

Wij wensen u veel leesplezier toe.

Hidde van Wezel



Rozemarijn Veenstra



Haren, 9 mei 2017

2 Inhoud

Colofon	
1 Voorwoord	
2 Inhoud	
3 Samenvatting	5
4 Inleiding	6
5 Methode van onderzoek	7
5.1 Type onderzoek	7
5.2 Methode	7
5.3 Deelvragen	7
5.4 Afbakening	7
6 Plan van Eisen	9
6.1 Aanpak en methode	9
6.2 Conclusie	9
7 Vooronderzoek belastingen	10
7.1 Aanpak en methode	10
7.2 Resultaten	10
8 Vooronderzoek ontwerpprincipes	11
8.1 Aanpak en methode	11
8.2 Conclusie	11
9 Vooronderzoek materialen (materialenanalyse)	13
9.1 Aanpak en methode	13
9.2 Conclusie	13
10 Alternatieve ontwerpen VO (MCA)	17
10.1 Aanpak en methode	17
10.2 Resultaten	17
10.3 Conclusie MCA en VO-berekeningen	21
11 Ontwerpproces	22
11.1 Aanpak en methode	22
11.2 Constructie	22
11.2.1 Kabelnet	22
11.2.2 Stalen ring	26
11.2.3 Kolommen	27
11.2.4 Fundering	28
11.3 Stabiliteit	29
11.4 Grasshopper Rhino	30
11.5 Sofistik	31
11.6 Berekeningen	32

11.6.1	Kabels	33
11.6.2	Stalen ring	33
11.6.3	Kolommen	34
12	Ontwerpnota.....	35
13	Uitvoeringsplan.....	36
13.1	Aanpak en methode	36
14	Discussie.....	37
15	Conclusie	38
16	Aanbevelingen	39
18	Bijlagen.....	40
Bijlage I	Schetsen	I
Bijlage II	Grafiek met percentage materiaal per ontwerp	V

3 Samenvatting

Het afstudeeronderzoek gaat over innoverende constructiematerialen, innovatieve constructieprincipes en de toepassingen van de methode Form Finding. Het doel was om een lichte en duurzame constructie te ontwerpen voor een gebouw met een overspanning van meer dan 100 meter. Het doel was onder andere het vinden van een oplossing, die ook toe te passen valt voor andere soortgelijke gebouwen met een grote vrije overspanning. De case die gekoppeld is aan dit afstudeeronderzoek, is het ontwerpen van het alternatieve ontwerp voor de tropische kas Jungola, uit het dieren beleefpark Wildlands Emmen. Bij dit afstudeeronderzoek was de hoofdvraag: 'wat is een lichte of duurzame oplossing om een overspanning van meer dan 100 meter te ontwerpen, zonder gebruik van tussenkolommen?' Het antwoord op de hoofdvraag, is de vorm van een Hyperbolische Paraboloïde (HP).

Voor het maken van het ontwerp, zijn eerst vooronderzoeken gedaan naar: eisen omtrent ontwerpproces huidige constructie, mogelijke belastingen, constructiematerialen en ontwerpprincipes voor grote overspanningen. Vervolgens zijn zeven varianten geschetst op basis van de opgedane ideeën uit de vooronderzoeken. Met behulp van een Multi-Criteria Analyse (MCA), werden uit die zeven schetsen, drie ontwerpen gekozen. Dit was gedaan op basis van ontwerpregels. Van deze drie overgebleven ontwerpen, zijn Voor Ontwerp (VO) -berekeningen gemaakt. Het best scorende VO-ontwerp is in 'Grasshopper Rhino (GR)' verwerkt om de juiste afmetingen te vinden voor de benodigde oppervlakte, via de methode, genaamd Form Finding. Daarna werd dit model in 'Sofistik' ingevoerd. Dit is ook een wijze van Form Finding. Hierin kregen de kabels die in het dak verwerkt zitten, een voorspanning en kon ontdekt worden hoe het model op deze krachten zou reageren. Als laatste zijn van dit model Definitieve Ontwerp (DO) -berekeningen gemaakt. Dit is gedaan voor het bepalen van de profielafmetingen en voor het waarborgen van de stabiliteit en de sterkte. Ook zijn in AutoCad DO-tekeningen gemaakt.

In de gemaakte VO-berekeningen, kwam de HP als meest duurzame en lichte constructie naar voren. De HP heeft ten opzichte van de andere twee overgebleven ontwerpen het laagste eigen gewicht. Dit komt door het veel toepassen van composiet en het weinig toepassen van staal. In tegenstelling tot de andere twee ontwerpen, waar vooral staal gebruikt wordt in de hoofdconstructie. Doordat in de HP composiet wordt toegepast, is dit een lichte oplossing. De HP is de meest interessante optie om te onderzoeken. De HP is in deze schaal, 236 bij 152 meter, nog nooit gebouwd. Dit maakt de HP een innovatieve oplossing, waarbij direct de vraag ontstaat: Is deze constructie dan ook een realistische met de genoemde afmetingen? Hiervoor zijn DO-berekeningen uitgevoerd, die aantonen dat deze constructie, constructief mogelijk is.

De berekeningen wezen echter wel uit dat de constructie zwaarder uitgevoerd moet worden, dan van tevoren werd aangenomen. Hierdoor is niet met zekerheid te zeggen of deze constructie de meest lichte of duurzame oplossing is. Aangezien de andere ontwerpen niet verder uitgewerkt zijn aan de hand van DO-berekeningen, is er geen vergelijkingsmateriaal. Desondanks is het een innovatief ontwerp, met innoverende materialen die meer dan 100 meter kolomvrij kan overspannen.

4 Inleiding

De bouwwereld verandert. Door de economische crisis en de verandering van het klimaat, is er een grote vraag naar nieuwe ideeën en inzichten. Het standaard bouwen met staal en beton voldoet niet meer. Daarom wordt steeds meer gekeken naar andere materialen en manieren om mee te ontwerpen. Ook het stellen van vragen, nadat een ontwerp reeds gebouwd is, hoort hierbij. Is het gebouw duurzaam en ecologisch verantwoord? Stel dat deze twee onderwerpen, duurzaam en ecologisch, lijdend zouden zijn bij het ontwerpen van de tropische kas Jungola in Emmen, tot wat voor ontwerp zou dat dan resulteren? In dit afstudeeronderzoek wordt hiernaar gekeken.

AbtWassenaar heeft als constructief adviserende partij bijgedragen in het ontwerpen van de Jungola in Wildlands Emmen. Dit is een tropische kas met een overspanning van 110 meter. In het midden van de overspanning is een kolommenrij geplaatst. Deze kolommen dienen als steunpunt voor het dak. AbtWassenaar heeft toentertijd niet de mogelijkheid gehad onderzoek te doen naar de mogelijkheden voor andere bouwwijzen en/ of het gebruik van innoverende materialen. Tevens waren er veel ontwerpeisen waar abtWassenaar zich aan diende te houden, hierdoor waren de mogelijkheden beperkt. De kolommenrij in het midden van de hal wordt als storend ervaren. De kolommenrij neemt ruimte in beslag en is in het zicht van de bezoekende mensen. Wildlands is een belevingspark. De opdrachtgevers van Jungola wilden dan ook zo min mogelijk constructie in het zicht hebben. In het eerste Plan van Eisen (PvE) had de opdrachtgever gevraagd om een ontwerp zonder kolommenrij. Dit was niet mogelijk binnen het gestelde budget en de ontwerpeisen, waardoor toentertijd gekozen is voor een hal met een overspanning op drie steunpunten.

Het doel van het onderzoek is om een alternatieve constructie te ontwerpen voor het bestaande gebouw 'Jungola'. Het alternatief heeft als grootste verschil dat de kolommenrij, in het midden van de hal, wordt weg gelaten. Voor het maken van het alternatieve ontwerp wordt onderzoek gedaan naar verschillende mogelijkheden, zoals: het toepassen van andere vernieuwende materialen en/ of constructieve ontwerp wijzen. Zo wil het team een vernieuwende manier vinden voor het bouwen van 'Jungola' en in de toekomst ook voor andere vergelijkbare constructies.

De uiteindelijk gehoopte uitkomst is: het vinden van een lichte en duurzame oplossing, die mogelijk toegepast kan worden bij het ontwerpen van dakconstructies met grote overspanningen van minimaal 110 meter. De hoofdvraag luidt dan ook: Wat is een lichte of duurzame oplossing om een overspanning van minimaal 110 meter te ontwerpen, zonder gebruik van tussenkolommen?

Leeswijzer

Het verslag bevat 18 hoofdstukken. In de inleiding worden de aanleiding, probleemstelling, doelstelling en hoofdvraag benoemd. In de overige hoofdstukken, worden onder andere de methode van het onderzoek, deelvragen, discussie, conclusie en de aanbevelingen beschreven.

5 Methode van onderzoek

5.1 Type onderzoek

Innovatief ontwerpen is een praktijkgericht onderzoek, dat onderbouwd wordt met onder andere de toepassing van: literatuuronderzoek, deskresearch, het raadplegen van experts en het bestuderen van casestudies.

5.2 Methode

Het team begint met vooronderzoeken doen naar: eisen omtrent ontwerpproces huidige constructie, mogelijke belastingen, constructiematerialen en ontwerpprincipes voor grote overspanningen. Hiervoor worden de volgende methodes uitgevoerd:

- Literatuuronderzoek: materialenonderzoek, toepasbaarheid Form Finding.
- Deskresearch: materialenonderzoek, Form Finding, Vector Foiltec; alle toegepaste mogelijkheden van combinaties van de kussen en de constructiematerialen.
- Casestudies: variantenstudies voor ontwerpprincipes voor grote overspanningen en toegepaste materialen.
- Raadplegen van experts: constructeurs 'Jungola'; abtWassenaar, architect 'Jungola', Vector Foiltec en Bouwbeurs Utrecht.

Vervolgens gaat het team verder met het uitwerken van een ontwerp. Hiermee worden de gewonnen theorieën toegepast bij het maken van het alternatieve ontwerp. Dit wordt gedaan op de volgende manieren:

- Schetsen van ontwerpvarianten
- Maken van Multi-Criteria Analyse (MCA)
- Toepassen van Form Finding
- Uitwerken van DO-berekeningen
- Maken ontwerpnota
- Maken uitvoeringsplan

5.3 Deelvragen

Enkele deelvragen/-stappen zijn vastgesteld om tot een alternatief DO-ontwerp te komen voor Jungola. Deze deelvragen zijn uitgewerkt gedurende de afstudeerperiode. In het hoofdstuk 'resultaten' zijn de conclusies meegenomen en in de bijlagen zijn de gedetailleerde (voor)onderzoeken toegevoegd.

- Deelvraag 1: Het opstellen van een Plan van Eisen bij de case Emmen Jungola.
- Deelvraag 2: Onderzoek naar eventuele voorkomende belastingen.
- Deelvraag 3: Onderzoek naar constructieve mogelijkheden (overspanningsprincipes) en ontwerp alternatieven opstellen.
- Deelvraag 4: Materiaalanalyse met als doel ideale materialen voor deze overspanning vaststellen.
- Deelvraag 5: Multi-criteria analyse opstellen voor de variantenstudie.
- Deelvraag 6: Toepassen van 'Form Finding' om de optimale dakvorm te ontwerpen rekening houdend met alle belastingen (als wind- en sneeuwbelasting).
- Deelvraag 7: DO-uitwerking (DO-berekeningen en -tekeningen).
- Deelvraag 8: Hoe wordt de constructie uitgevoerd en hoe wordt hier rekening mee gehouden? (Uitvoeringsplan)?

5.4 Afbakening

Het onderzoeksteam bestaat uit twee studenten, Hidde van Wezel (Civiele Techniek) en Rozemarijn Veenstra (Bouwkunde). Beide studenten hebben in het derde leerjaar de specialisatie constructief ontwerpen gevolgd. Aangezien zowel Hidde als Rozemarijn hier interesse in hebben, wordt het afstudeeronderzoek op de constructieve aspecten gericht. Andere disciplines worden daardoor grotendeels buiten beschouwing gelaten, waaronder: architectuur, bouwfysica, bouwmanagement,

begrotingen, ect. Vandaar dat het team geen bouwtechnische details aandraagt. Wel wordt er in ruwe lijnen rekening gehouden met werkzaamheden of aspecten die in de ontwerpfase/ ontwerpnota al naar voren komen. Dit zijn onder andere de uitvoeringsaspecten. In de ontwerpfase moet namelijk wel rekening gehouden worden met of de uitvoering mogelijk en haalbaar is.

Producten die worden overgenomen van het huidige project:

- Bestaand funderingsadvies
- Bestaande oppervlakte
- Dakkussens van Vector Foiltec system Texlon ETFE

Onderdelen die buiten beschouwing gelaten worden:

- Aardbevingseffecten op de constructie, aangezien dit niet van toepassing is in Emmen waar de dierentuin zich bevindt.
- Aan de huidige kas zijn veel kleiner gebouwen vast gemaakt. Bijvoorbeeld een verblijfruimte en een restaurant. Dit zal niet mee ontworpen worden in het alternatieve ontwerp. Het team neemt dus alleen de oppervlakte over van de kas zelf, zonder de bijgebouwen.

Enkele onderdelen die wel uitgevoerd zullen worden door het team:

- PvE
- Ontwerpnota
- DO-berekeningen als; sterkte en stabiliteitstoetsing
- Form Finding (van computersoftware 'GR' en 'Sofistik')
- DO-tekeningen

6 Plan van Eisen

Bij het ontwerpen van een constructie zijn meerdere partijen betrokken. Om duidelijk te hebben wat de verschillende partijen van de constructie verwachten, wordt een PvE opgesteld. Hierin geeft de opdrachtgevende partij zijn voorkeuren aan.

6.1 Aanpak en methode

Voor het opstellen van het PvE zijn verschillende partijen benaderd, die meegewerkt hebben aan het huidige project van Jungola. Op deze manier heeft het team ondervonden waar de partijen tegenaan gelopen zijn, hoe het ontwerpproces verlopen is en waar het team rekening mee dient te houden voor het alternatieve ontwerp. Met de gewonnen informatie is het PvE opgesteld.

De stappen die hiervoor ondernomen zijn, waren:

- Interview met architect Ronald Koekoek van Uni Architecten in Groningen
- Bezoek aan het huidige Jungola, gezamenlijk met de installateur Bas Vonk van Homij Technische Installaties in Groningen
- Bestemmingsplan van de dierentuin Wildlands Adventure Zoo bestudeert
- PvE bestuderen dat is opgesteld door Wildlands voor Jungola
- Interview met brandspecialist Frank Jacobs van DGMR



Afbeelding 1 Binnen in het huidige Jungola, in het dak zijn de kussen van Vector Foiltec zichtbaar.

De eisen hebben betrekking op de volgende aspecten:

- Constructieve eisen (afmetingen/ vrije overspanning)
- Eisen omtrent dieren in de kas (dieren scheiden van de kas)
- Eisen omtrent brandveiligheid
- Eisen omtrent dakbedekking (UV-straling doorlatend en isolerend voor behoud van warmte, afbeelding 1)

Belangrijk om te benoemen is dat bij een regulier PvE ook eisen worden gesteld aan het budget. Deze zijn voor het ontwerpen van de alternatieve Jungola niet meegenomen. Budgeteisen gaan niet goed samen met innovatie op het gebied van duurzaamheid en zou daardoor het onderzoek kunnen belemmeren.

6.2 Conclusie

In hoofdstuk 3 van het PvE, worden alle eisen beschreven waar tijdens de ontwerp- en de uitvoeringsfase rekening mee gehouden dient te worden. De eisen zijn specifiek beschreven voor de case Jungola. De genoemde eisen, in het PvE, geven het team voldoende ruimte om een goed overwogen ontwerp te maken dat in aanzien, uitvoering en constructieve aanpak sterk kan verschillen van het huidige ontwerp. Het PvE geeft daarnaast ook voldoende ruimte aan het team met het oog op innovatie en duurzaamheid. In het PvE is geen voorkeur gegeven voor materiaalgebruik of constructieve ontwerpen. Daarbij wordt genoeg ruimte gelaten om de aspecten innovatie, 'open-minded denken' en duurzaamheid toe te kunnen passen.¹

¹ Het gedetailleerde PvE is opgenomen in bijlage II-I, in het aanvullend rapport.

7 Vooronderzoek belastingen

Voor het maken van berekeningen en het creëren van een constructieve visie, omtrent het te ontwerpen gebouw, heeft het team onderzoek gedaan naar de belastingen die van toepassing kunnen zijn op het alternatieve ontwerp. Hiervoor heeft het team de NEN-normen onderzocht.

7.1 Aanpak en methode

Bij het constructief ontwerpen van een gebouw, moet rekening gehouden worden met de belastingen die op de constructie zullen werken. Deze belastingen zijn in Europa verwerkt in de NEN-normen. Aangezien de normen veel informatie bevatten, die niet van toepassing zijn op de case, is het nuttig de toepasbare informatie te filteren. In het vooronderzoek is onderscheid gemaakt per norm. Deze zijn in aparte alinea's benoemd en beschreven. De belangrijkste bevindingen uit het rapport zijn hieronder beschreven.

7.2 Resultaten

Hieronder staan de belastingen benoemd waar rekening mee dient gehouden te worden. Deze punten staan voornamelijk in de Eurocodes 0 en 1 beschreven. Er wordt geen rekening gehouden met aardbevingen, aangezien dit niet van toepassing is in Emmen.

Enkele uitgangspunten die vastgesteld zijn voor Jungola uit NEN-EN 1990 en 1991:

- Categorie C, bijeenkomstruimte
- Ontwerplevensduurklasse 4, levensduur 50 jaar
- Gevolgklasse CC2
- Gebruiksklasse C3
- Bezijken van een onbekende oorzaak: gevolgklasse 3.

Belastingen op Jungola uit NEN-EN 1991:

- Blijvende belastingen
 - Eigen gewicht
- Opgelegde belastingen
 - Sneeuwbelasting
 - Belasting door regenwater
 - Windbelasting
 - Belastingen tijdens de uitvoering
 - Krachten op de constructie doordat de dakkussens van ETFE Texlon, die tussen de dakliggers vastgeklemd worden, continue onder druk staan doordat ze opgepompt worden
- Buitengewone belastingen
 - Brand
 - Lek raken van kussens in het dak, wat een extra horizontale kracht oplevert.
 - Bezijken van de constructie door een onbekende oorzaak (tweede draagweg)
- Thermische belastingen
 - Belastingen door seizoensgebonden temperatuurverschillen. ²

² Voor het gedetailleerde vooronderzoek belastingen zie bijlage II-II, in het aanvullend rapport.

8 Vooronderzoek ontwerpprincipes

Het team heeft studie gedaan naar verschillende constructieve ontwerpprincipes, die toepasbaar zijn bij gebouwen met grote overspanningen. Hiermee wordt een duidelijk beeld geschept van alle constructieve mogelijkheden. Door veel verschillende principes mee te nemen, wordt de kans groter dat de ontwerpwijze, die het meest geschikt is bij de case Jungola, gevonden wordt.

8.1 Aanpak en methode

Het team doet onderzoek naar constructieve mogelijkheden waarmee, grote overspanningen bereikt kunnen worden. Hiervoor wordt een literatuuronderzoek en een casestudie toegepast. Belangrijke bevindingen worden vanuit een constructief oogpunt beschreven. Het verloop van de krachten door de constructie spelen hierbij een belangrijke rol.

8.2 Conclusie

Voor grote overspanningen zijn, ondanks de complicaties die hierbij komen, veel constructieve ontwerpen mogelijk. De verschillende constructieve mogelijkheden kunnen opgedeeld worden in groepen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de verwerking van druk, trek en buiging.

Uit het onderzoek blijken de volgende constructieve ontwerpprincipes vooral op trek belast te worden:

- Tuikabel (afbeelding 3)
- Hangkabel
- Trekring

De volgende constructieve ontwerpprincipes worden vooral op druk belast:

- Drukkring (afbeelding 2,5)
- Bolconstructie
- Boogconstructie (afbeelding 4)
- Pylonen in een kabel constructie



Afbeelding 2 De Kuip, Rotterdam, het dak is opgebouwd uit drie drukringen

Het volgende constructieve ontwerpprincipe wordt zowel op druk als trek belast:

- Vakwerk

De volgende constructieve ontwerpprincipes worden vooral op buiging belast:

- Ligger
- CIG
- GLP ligger
- Raatligger

De genoemde constructieve ontwerpprincipes kunnen ook gecombineerd worden, zodat deze samen een ideale constructie vormen die zowel op druk, als trek belast kunnen worden. De gewonnen constructieve kennis wordt toegepast bij het maken van de ontwerpschetsen.³



Afbeelding 3 Tropische kas Burgers Bush in Arnhem, tuikabels belast op trek houden het dak op zijn plaats



Afbeelding 4 Wembley stadium in Londen, met behulp van een grote drukboog wordt het dak van bovenaf ondersteund



Afbeelding 5 Graft in Wolfsburg Duitsland, een drukring met hieraan een kabelnet bevestigd zorgt voor een vrije overspanning

³ Het gedetailleerde vooronderzoek ontwerpprincipes voor grote overspanningen is opgenomen in bijlage II-III, in het aanvullend rapport.

9 Vooronderzoek materialen (materialenanalyse)

Hoofdstuk 9 bevat een studie naar materialen en in het bijzonder innoverende materialen. Het is van belang om te weten welke eigenschappen de materialen bezitten, om de geschikte toepassing te kunnen bepalen. Bij bekende materialen, als hout en beton, is gekeken naar innovatief gebruik hiervan.

9.1 Aanpak en methode

Het team doet onderzoek naar de eigenschappen van innoverende, constructieve materialen, die toepasbaar zijn voor het alternatieve ontwerp voor Jungola. Hiervoor wordt een literatuuronderzoek en een casestudie toegepast. Bovendien zijn interviews uitgevoerd over (bio-)composiet en hout. Daarnaast is gebruik gemaakt van het informatiepakket CES Edupack. CES EduPack heeft een uitgebreide databank over materiaal- en procesinformatie. Dit computerprogramma blijft actueel, omdat het telkens aangevuld wordt door professoren en onderzoekers van universiteiten over de hele wereld. Met behulp van dit programma heeft het team tabellen gemaakt, om de verschillende materialen naast elkaar te kunnen vergelijken.

9.2 Conclusie

Voor het materiaalonderzoek zijn de volgende materialen bestudeerd:

- Staal
- (Bio-)composieten
- Bamboe
- Hout
- Beton
- Glas
- Aluminium

Op het gebied van de bovenstaande materialen, worden veel innovaties gedaan. Bijvoorbeeld, (bio-)composieten, beton, bamboe en glas. Wat betreft staal, aluminium en hout zijn er minder innovaties geweest.

Voor de productie van staal, is veel energie nodig, dat is niet milieuvriendelijk. Toch is staal sterk, relatief goedkoop. Om deze reden wordt het vaak toegepast. Staal kan door zijn goede eigenschappen grote overspanningen creëren en kan zowel op druk, als op trek belast worden. De ontwikkelingen in het kader van staal, zijn voornamelijk gebaseerd op het energiezuiniger maken van de productie.

Composiet kan net zo sterk als staal zijn. Van belang is dan wel dat de juiste verhouding tussen vezels en hars is toegepast. Hoe meer vezels, hoe sterker de composiet is. Een nadeel van composiet is de prijs. De materiaalkosten van composiet zijn dan ook aanzienlijk hoger dan van staal. Met de juiste combinatie van hars en vezels kan composiet ook erg onopvallend en transparant gemaakt worden, net als glas. De composieten zijn niet recyclebaar, aangezien gebruik wordt gemaakt van thermoharders als hars. Thermoharders blijven een permanente vorm aanhouden na de eerste verhittingsbewerking. Daarna smelten ze niet meer, maar verbranden als reactie op de verhitting. Composieten worden onder andere ook gemaakt van sterke vezels, zoals glas, carbon en aramide. Aangezien dit sterke materialen zijn, is er veel energie nodig deze verbindingen te verbreken. Bij bio-composieten zijn de harsen gemaakt van thermoplasten, die wel gerecycled kunnen worden. Ook worden dan natuurvezels toegepast, zoals hennep, jute of vlas (afbeelding 8). Een nadeel van bio-composieten is dat ze, doordat ze te vervormen zijn, minder sterk zijn dan composieten.

De tijdens het onderzoek gevonden bamboestructies, worden voornamelijk aan de binnenzijde van constructies gevestigd en werken samen met andere materialen aan de buienkant van de constructie. Dit komt omdat bamboe snel gaat schimmelen als het in contact komt met een vochtige omgeving. Om bamboe te verduurzamen moet coating worden aangebracht. Deze heeft een hoog gifgehalte, waarmee recycling niet meer gewenst is. Het verwerken van deze giftige stoffen, bij het recyclen, kost veel energie. Bovendien wordt bamboe zeer schaars toegepast op constructies met grote overspanningen. Bamboe komt niet voor in één afmeting omdat het een natuurlijk product is. Hierdoor is het een lastig materiaal

om verbindingen mee te realiseren, ook zijn er geen standaard verbindingen voor bamboe. Vandaar dat dit niet een geschikt materiaal is voor Jungola.

Een betere optie zou hout zijn. Bij hout zijn wel milieuvriendelijke verduurzamingen, een goed voorbeeld hiervan is *grenenhout geïmpregneerd met Accoya (azijnzuuranhydride)*. Dit hout soort is gebruikt bij de houten bruggen in Sneek (afbeelding 6).



Afbeelding 6 Houten brug Sneek

Hout kan toegepast worden bij verschillende constructieprincipes met grote overspanningen. Denk hierbij aan de Indoor sporthal in Eindhoven (afbeelding 7). Hier is een bijzondere constructie gemaakt van geodetische koepels en boogspanten. Hout kan beter druk opnemen dan trek (zie tabel 1 en 2 hieronder) en kan bijdragen aan een natuurlijke uitstraling. Hout is daarnaast ook nog relatief licht en goedkoop. Tevens is hout niet erg brandgevoelig. Als eerst verbrand de buitenste laag van hout, deze verkoold. Deze verkooling werkt brandvertragend en daardoor duurt het langer voordat het hout bezwijkt. Daarnaast kunnen, net als bij staal, de onderdelen gecoat en over gedimensioneerd worden.



Afbeelding 7 Sporthal Eindhoven

Beton is een sterk materiaal, waar steeds slankere elementen van gemaakt kunnen worden, door de ontwikkelingen van vernieuwde betonsoorten, als Ultra-hogesterktebeton en Vezelversterkt ultrahogesterktebeton. Deze soorten beton zijn nog wel duur. Beton heeft voornamelijk een hoge druksterkte. Met de toepassing van vezels, wordt de treksterkte groter en is er minder scheurvorming aanwezig. Bovendien krijgt het beton hierdoor een verhoogde taaiheid en E-modules.

Glas is een sterk en transparant materiaal, maar is erg zwaar. Grote overspanningen zijn daarom tot nu toe nog niet mogelijk. Bij grote overspanningen is eigen gewicht een maatgevende belasting, omdat dit grote gevolgen heeft tot opzichte van het buigend moment. Aangezien glas zwaar is, geeft dit een groot eigen gewicht, waardoor grote overspanningen minder goed mogelijk zijn. Momenteel wordt er ook nog veel onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van glas als toepassing voor constructieve doeleinden.

Aluminium is licht van gewicht, maar heeft geen grote stijfheid. Hierdoor zijn grote overspanningen minder goed mogelijk. Dit betekent ook dat aluminium (net als bamboe en glas) geen relevante oplossing is voor de hoofdconstructie van Jungola.

In oplopende volgorde zijn de bovengenoemde punten nog even in een overzicht samengevat in tabel 1:

Tabel 1 Korte samenvatting van de materialen en hun eigenschappen

Hoge treksterkte	Hoge druksterkte	Hoge E-modules	Hoge materiaalkosten
(Bio-)composiet (Dit ligt aan de verhouding hars met vezels. Hoe meer vezels, des te hoger de treksterkte.)	Staal	Staal	(Bio-)composiet
Staal	Beton (voornamelijk de vezelversterkte betonsoorten)	(Bio-)composiet	UHSb en vvUHSB (beton)
Aluminium	(Bio-)composiet (Dit ligt aan de verhouding hars met vezels. Hoe meer vezels, des te hoger de treksterkte.)	Glas	Bamboe
Bamboe	Glas	Beton	
	Aluminium	Bamboe	
	Bamboe/ Hout		
Laag gewicht	Duurzame materialen	Recyclebare materialen	Ontvlambare materialen
(Bio-)composiet	Bio-composiet	Aluminium	Hout
Hout/ Bamboe		Beton	(Bio-)composieten
Aluminium		Staal	
		Glas	
		Bio-composieten	

Hieronder zijn in tabel 2 de gemiddelde waarden van materiaaleigenschappen weergegeven. Dit is gedaan om toch de composieten te kunnen vergelijken met staal, aangezien de sterkte afhankelijk is van het aantal vezels en dit kan verschillen. Zoals hierboven aangegeven is, zijn aluminium, glas en bamboe niet geschikt voor grote overspanning en niet van toepassing voor Jungola.

Tabel 2 Gemiddelde waarden van eigenschappen van verschillende materialen

	Gewicht (Kg/m ³)	Thermische uitzettingscoëfficiënt (°C)	E (*10 ³) (N/mm ²)	Druk (N/mm ²)	Trek (N/mm ²)
Bio-composiet	1200	10	40	45	240
Composiet	1600	10	150	60	750
Staal	7800	12	210	325	470
Beton	2500	12	30	24	1
vvUHSB/ UHSB	2800	12	60	120	5
Hout	700	20	14	35	30

Toch zijn hier ook weer mogelijkheden voor, waardoor het minder ontvlambaar wordt. Denk hierbij aan een coating, inpakken met isolatiemateriaal en overdimensioneren van het element.

De genoemde materialen kunnen ook gecombineerd worden. Dit kan interessant zijn, zodat de benodigde materiaaleigenschappen met elkaar samengebracht kunnen worden. ⁴



Afbeelding 8 Vezels van hennep, jutte, vlas, sisal in de vorm van weefsels en NCF

⁴ Voor het gedetailleerde vooronderzoek materialen (materiaalanalyse) zie bijlage II-IV, in het aanvullend rapport.

10 Alternatieve ontwerpen VO (MCA)

Met de opgedane kennis zijn zeven ontwerpschetsen gemaakt. Voor het beoordelen van de ontwerpen zijn eisen opgesteld, die in de vorm van een MCA aan een score gekoppeld worden. Het MCA zal uitwijzen welk ontwerp de hoogste score krijgt en daarmee het best bij de doelstelling past.

10.1 Aanpak en methode

Van de opgezochte constructieve ontwerpprincipes, in hoofdstuk acht, heeft het team schetsen gemaakt. Deze schetsen worden beargumenteerd of ze wel of niet voldoen aan de eisen van Jungola en worden gekoppeld aan materialen. Dit wordt getoetst op aspecten als: een grote overspanning, licht van gewicht en duurzaamheid. Deze eisen zijn samengesteld in het projectplan en het PvE. De argumenten zijn gebaseerd op gegevens (waardes van materiaaleigenschappen) en op uitkomsten van de ontwerpberekeningen. Het team begint hierbij met het uitwerken van zeven schetsen die meegenomen worden in de MCA. De drie ontwerpen die de hoogste scores hebben, zullen verder uitgewerkt worden aan de hand van VO-berekeningen. Zo blijft er één VO-ontwerp over.

Hierbij zijn de volgende stappen opgesteld:

- Aan welke eisen moeten de ontwerpen en de materialen voldoen?
- Omschrijving ontwerpen en materialen.
- Uitvoering MCA
- Uitvoering VO-berekeningen

10.2 Resultaten

De MCA is gebaseerd op twee onderdelen. Het eerste onderdeel is een toets voor de constructie. Het tweede onderdeel is een toets voor de materialen. Voor beide onderdelen zijn eisen opgesteld waar scores aan verbonden worden. Elke eis wordt een aantal keer meegenomen in de score van de MCA. Dit is afhankelijk van het belang van de eis, om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden. In hoofdstuk vier van het MCA-rapport, worden de eisen omschreven en de weging van de eisen verder beargumenteerd.

De eisen opgesteld voor de constructie zijn:

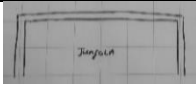
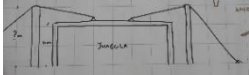
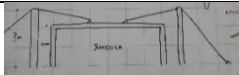
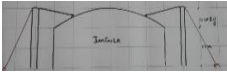
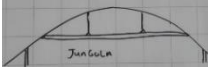
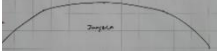
- Grote overspanning
- Hoogte kasconstructie (1x)
- Hoogste punt constructie (2x)
- Extra lengte naast de 110x170 m² (2x)
- Massa percentage boven 11 m kas (2x)
- Slankheid profielen (2x)

De eisen opgesteld voor de materialen zijn:

- Thermische uitzettingscoëfficiënt (1x)
- Stijfheid (2x)
- Druksterkte (2x)
- Treksterkte (2x)
- Transparantie (1x)
- Brandveiligheid (1x)
- Duurzaamheid
 - Milieuvriendelijk (3x)
 - Lengte van levensduur (3x)

In de MCA worden zeven ontwerpen getoetst:

Tabel 3 Ontwerpen met schets

Ontwerpen	Schets
Ligger (schets 1)	
Ligger met tui (schets 2a, recht pyloon)	
Ligger met tui (schets 2a, schuin pyloon)	
Boog met tui (schets 2b, recht pyloon)	
Trekking met boog (schets 3a)	
Druk-/trekking met boog (schets 3b)	
Kruisboog (schets 4)	
Hyperbolische paraboloïde (schets 5a, kabels in dak)	
Hyperbolische paraboloïde (schets 5b, bogen in dak)	
Hangconstructie met tui (schets 6) 5 pylonen aan elke langszijde	
Boogconstructie (schets 7)	

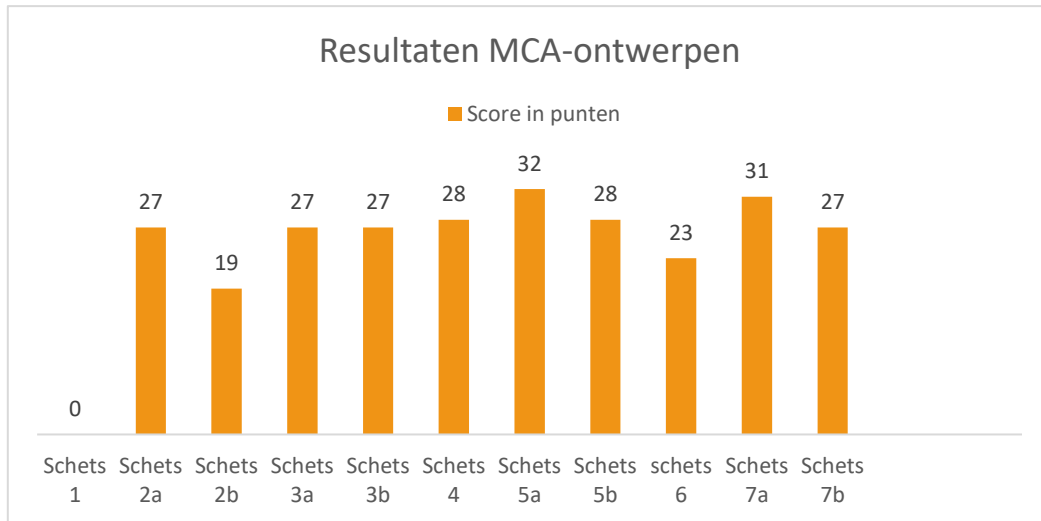
Ook worden er zes materialen getoetst:

- Bio-composiet
- Composiet
- Staal
- Beton
- vvUHSB/UHSB
- Hout

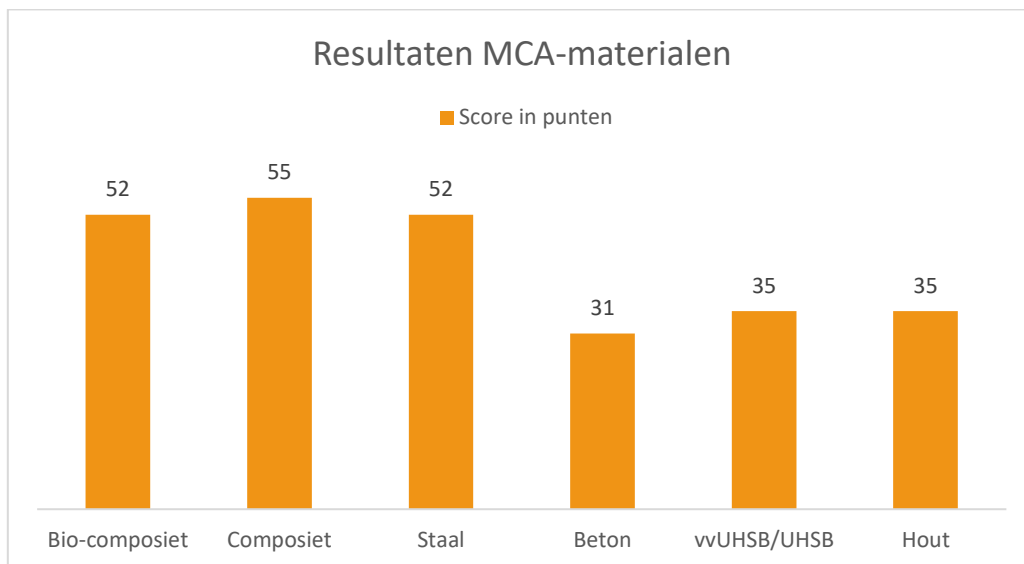
In het MCA-rapport, staan de ontwerpen beschreven en in bijlage I, zijn de schetsen van de ontwerpen bijgevoegd.

Het MCA lijdt tot de volgende resultaten:

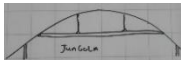
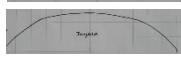
Grafiek 1 Resultaten MCA-ontwerpen



Grafiek 2 Resultaten MCA-materialen



Uit de zeven schetsen, gaat het team verder met drie schetsen:

- Schets 4: kruisboogconstructie 
- Schets 5: HP 
- Schets 7: boogconstructie 

Deze drie ontwerpen scoren het beste in de MCA. Bij de kruisboog- en boogconstructie worden de bogen op druk belast. Het materiaal welke het beste uit de MCA-score komt en die het eigenschap beheerst om op druk belast te worden, is staal. Bij alle drie de constructies zijn kabels van toepassing. Deze kabels worden belast op trek. Het materiaal welke het beste uit de MCA-score komt en die op trek belast kan worden, is composiet. De kolommen in de gevels worden ook in staal uitgevoerd (druk en trek), aangezien composiet minder goed druk kan opnemen.

Van de drie ontwerpen die het meest positief uit de MCA komen, dient één gekozen te worden om verder uit te werken. Deze drie ontwerpen worden met behulp van VO-berekeningen verder berekend, aan de hand van de resultaten van deze berekeningen, wordt een keuze gemaakt voor één ontwerp.

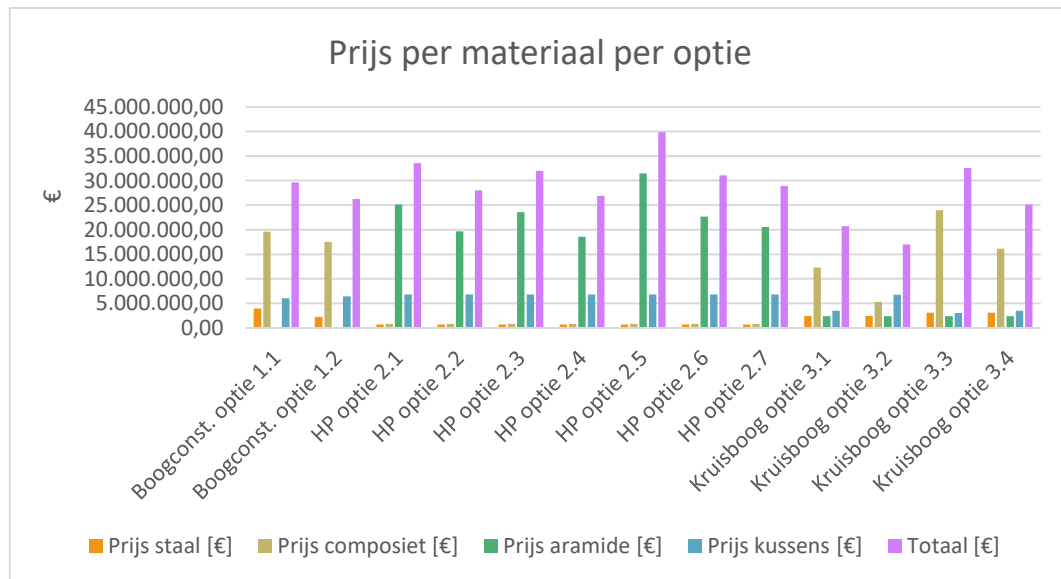
Voor de uitvoering van de VO-berekeningen, heeft het team de volgende berekeningen gemaakt:

- Gewichtsberekening
- Windberekening
- Sneeuwberekening

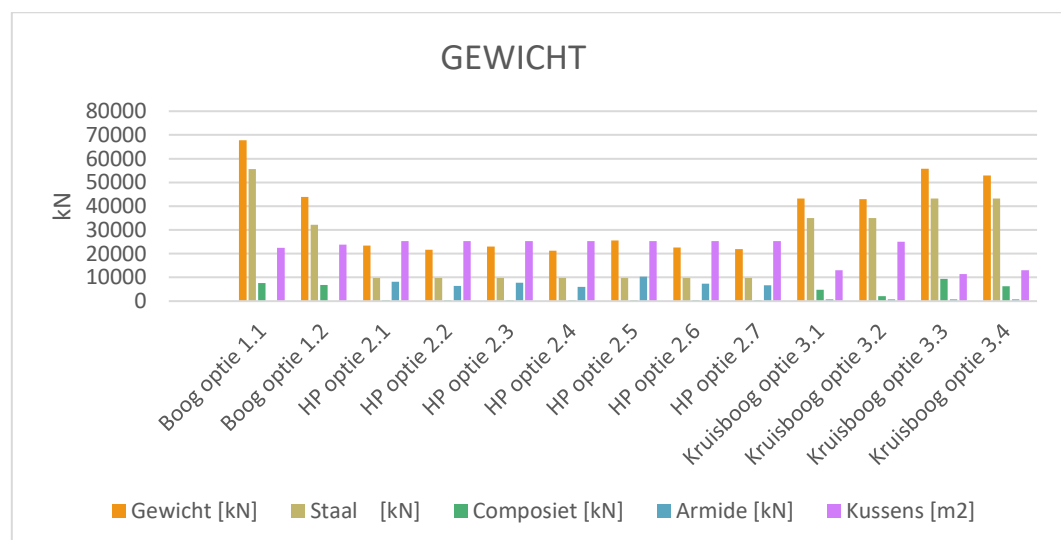
De berekeningen zijn bijgevoegd in de bijlage van het MCA-rapport.

De resultaten hiervan zijn uitgewerkt in de volgende grafieken:

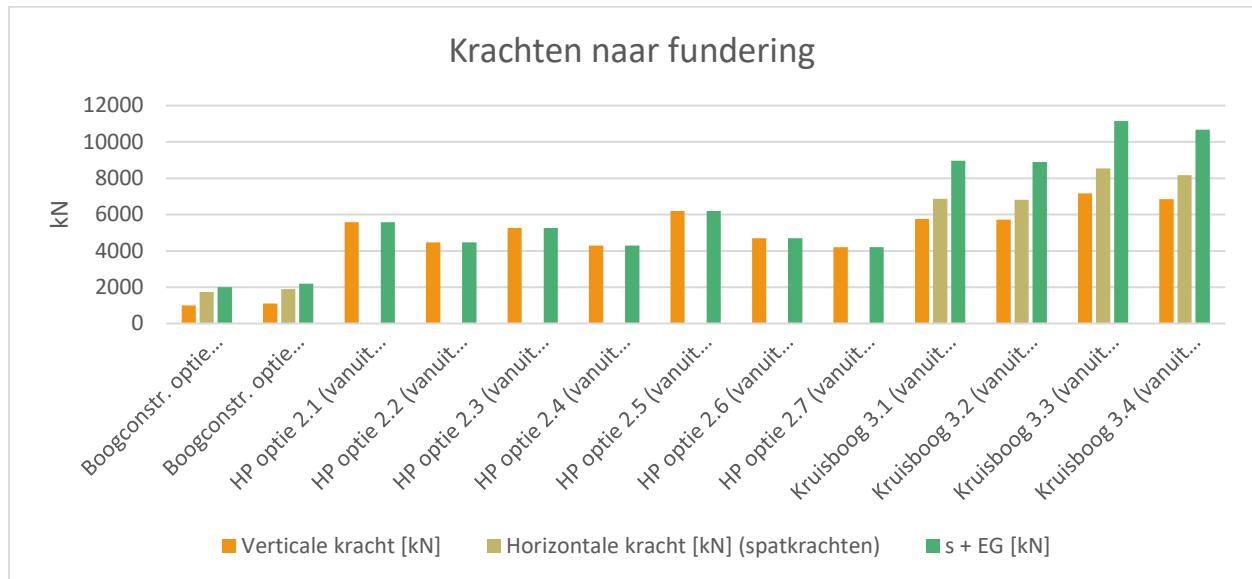
Grafiek 3 Prijs van verschillende materialen, toe te passen per optie



Grafiek 4 Gewicht van verschillende materialen, toe te passen per optie



Grafiek 5 De krachten naar de fundering uit de constructie



10.3 Conclusie MCA en VO-berekeningen

In de resultaten, beschreven in hoofdstuk 10, is te zien dat er veel verschil zit tussen de drie ontwerpen. De drie ontwerpen zijn getoetst op de volgende punten:

- Laag eigen gewicht (projectplan)
- Minimale krachten in ondersteunende elementen, als kolommen en fundering. (projectplan)
- Innovatief ontwerp krijgt de voorkeur (projectplan). Dit kan zijn een innovatieve constructie en/of vernieuwende materialen.
- Milieuvriendelijk ontwerp (projectplan).
- De constructie heeft een laag horizonvervuilingsgehalte (PvE).
- De materiaal-/ prijsverhouding.

Uit deze punten komt de hyperbolische paraboloïde als beste keus naar voren.

De constructie heeft ten opzichte van de andere twee opties het laagste eigen gewicht. Dit komt door het veel toepassen van composiet en het weinig toepassen van staal. Dit in tegenstelling tot de andere twee ontwerpen waar vooral staal gebruikt wordt in de hoofdconstructie. Doordat in de HP vooral composiet wordt toegepast is dit ook een meer duurzame oplossing. Zoals eerder benoemd kan voor composiet ook bio-composiet gebruikt worden. De HP heeft van de drie ontwerpen het laagste hoogste punt, ondanks dat heeft het wel de meeste massa boven de elf meter. De is HP de meest dure oplossing van de drie is, maar is het wel de meest interessante optie. De HP is in deze schaal, 236 bij 152 meter, nog niet gebouwd. Daarom is het een innovatieve oplossing die het onderzoek een grote relevante waarde geeft.⁵

⁵ Voor het gedetailleerde MCA rapport zie bijlage II-V, in het aanvullend rapport.

11 Ontwerpproces

Bij het ontwerpen van een constructie komt deskundig proces te pas. Hier dienen afgewogen keuzes gemaakt te worden die met argumenten onderbouwd zijn. Het proces voor de HP wordt hieronder omschreven en in het rapport constructieve visie uitgebreid behandeld.

11.1 Aanpak en methode

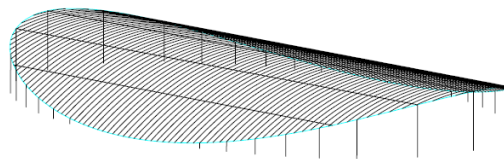
Voor het ontwerpproces wordt de constructie omschreven en alle onderdelen benoemd, die van constructief belang zijn. De constructieve werking, van zowel het geheel als de onderdelen, wordt beschreven. De constructieve werking van de genoemde onderdelen is bepaald aan de hand van opgestelde modellen en analyses. De programmatuur waarin deze analyses gedaan zijn en ook de analyse zelf worden beschreven. Voor het maken van deze analyses zijn drie softwarepakketten gebruikt: 'Grasshopper Rhinoceros', 'Sofistik' en 'Technosoft ligger/raamwerken' (TS). In de bijlage is het berekeningsrapport toegevoegd. Hierin zijn de gemaakte keuzes onderbouwd.

11.2 Constructie

De constructie (afbeelding 9) bestaat uit vier primaire onderdelen die elk afzonderlijk geanalyseerd kunnen worden, maar in het eindgeheel samen de constructie werkend maken.

De vier hoofdelementen waaruit de constructie bestaat zijn:

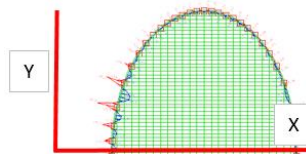
- Kabelnet
- Stalen ring (omtrek van de HP-vorm)
- Kolommen
- Fundering



Afbeelding 9 Constructie

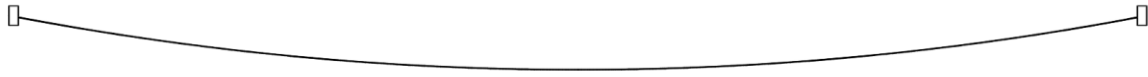
11.2.1 Kabelnet

Als dak van de tropische omgeving, die zich onder de constructie bevindt, zal een kabelnet worden toegepast. Het kabelnet zal bestaan uit kabels die gespannen worden over de lange en de korte zijde van de constructie. Naar deze kabels zal verwezen worden als de kabels in de x- en de y-richting (afbeelding 10), waarbij de x-richting de kabels op de korte zijde zijn en de y-richting de kabels op de lange zijde zijn.



Afbeelding 10 Richting x- en y-as

De kabels die over de y-as worden gehangen, zijn de kabels die het gewicht van de kussens opnemen. Ook nemen deze de krachten van sneeuw, regen en wind in neerwaartse richting op. De kabels worden aan twee punten opgehangen, waardoor een neerwaartse boog ontstaat (afbeelding 11).



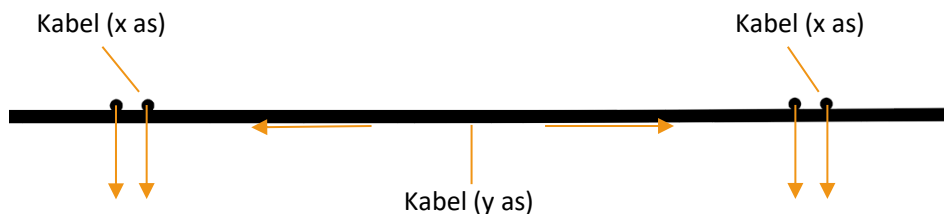
Afbeelding 11 Neerwaartse boog

De kabels die gespannen worden over de x-as, worden over de kabels op de y-as gespannen. Deze kabels nemen hierdoor de vorm aan van een boog in opwaartse richting (afbeelding 12).



Afbeelding 12 Opwaartse kabels

Doordat deze kabels worden voorgespannen, willen zij in neerwaartse richting vervormen. Hierdoor komt een extra spanning in de kabels op de y-as (afbeelding 13)



Afbeelding 13 Samenwerking kabels

Mocht een opwaartse windkracht optreden dan zorgen deze spanningen dat het dak op zijn plaats blijft. De kabels in de x-as voorkomen dus de opwaartse beweging van de dakconstructie.

Het kabelnet dient de lasten van het dak naar de stalen ring te brengen. De kabels worden aan de zijkant van het ringprofiel bevestigd. Deze bevestiging brengt de krachten uit de kabel over naar de ring (afbeelding 14)



Afbeelding 14 Werking krachten uit kabels op de ring

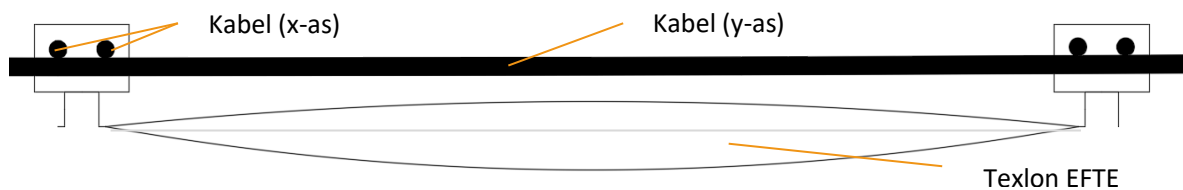
In afbeelding 14 is de werking van de krachten uit de kabels op de ring verduidelijkt. In de kabel zit een kracht (oranje), die in de richting van de kabel werkt. Deze kan ontbonden worden in een horizontale (blauw) en een verticale (groen) kracht. Dit effect treedt op door de neerwaartse boogvorm van de kabel.

Omdat de kabel over de x-as een opwaartse vorm heeft, treedt het effect hier in een andere richting op (afbeelding 15).



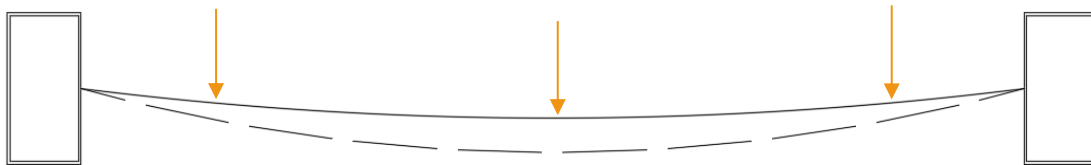
Afbeelding 15 Werking krachten op de ring

De kracht (oranje) in de kabel loopt nu mee met de opwaartse boogvorm. De horizontale kracht (blauw) blijft hetzelfde, maar de verticale kracht (groen) werkt nu in opwaartse richting. De kabels worden in paren van twee naast elkaar opgehangen. Dit zorgt voor stabiliteit in de constructie, waaraan het Texlon EFTE systeem bevestigd wordt (afbeelding 16).



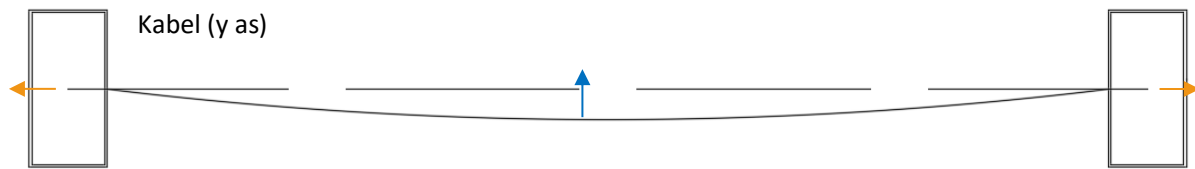
Afbeelding 16 Stabiliteit bevestiging Texlon EFTE systeem

Alle kabels worden voorgespannen. Met het voorgespannen van de kabels, wordt de verlenging uit de kabel verminderd. Doordat de rek in dit stadium er grotendeels uitgehaald wordt. Als de kabels niet voorgespannen worden, zal deze verlenging ervoor zorgen dat de kabel nog verder gaat doorhangen (afbeelding 17).

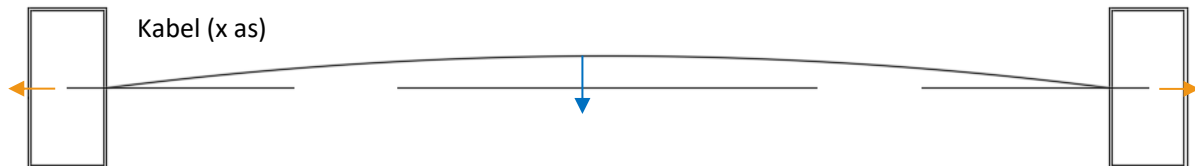


Afbeelding 17 Optredend effect bij verlenging van de kabel

Het voorgespannen van de kabel zorgt voor het tegenovergestelde effect van wat afbeelding 17 laat zien. Door het voorgespannen wil de kabel recht trekken. Echter wordt dat voorkomen door de kabels uit de x-richting. Deze worden ook voorgespannen en willen daardoor ook recht trekken, in de andere richting (afbeelding 18).



Afbeelding 18 Voorspanning neerwaartse kabel



Afbeelding 19 Voorspanning opwaartse kabel

De benodigde voorspanning in de kabels is afhankelijk van een aantal factoren:

- Lengte kabel
- Diameter van de kabel
- Materiaal van de kabel
- Lasten op de kabel

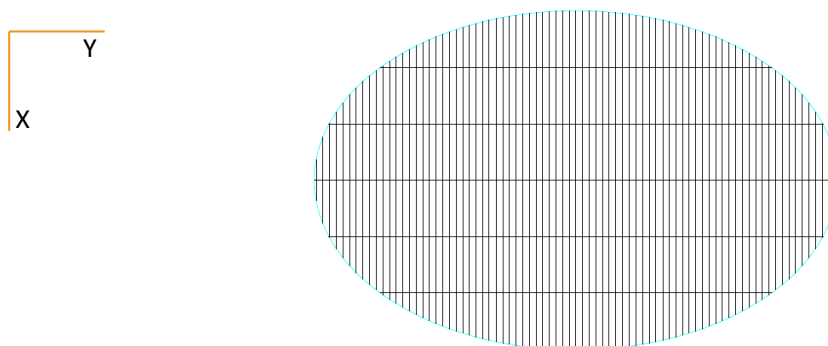
Het voorspannen van een kabel is simpel gezegd niks anders dan aan beiden uiteinden van de kabel te trekken. In afbeelding 16 is de oranje pijl de voorspankracht. Wanneer een kabel een grotere lengte heeft wordt de totale massa van de kabel groter. Hierdoor is een grotere voorspankracht benodigd om het zelfde resultaat te behalen, als bij een kortere kabel.

Voor de diameter geldt dat wanneer deze groter wordt, de weerstand in de kabel ook groter wordt. Deze weerstand helpt tegen het breken van de kabel. Door een grotere diameter te kiezen, neemt de sterkte dus toe, maar ook de massa van de kabel. Hierdoor is een grotere voorspankracht nodig om de verlenging uit de kabel te halen.

Elk materiaal heeft zijn eigenschappen. Een materiaal kan sterk zijn, maar tegelijkertijd ook erg gevoelig voor verlenging, wanneer een trekkracht optreedt in de kabel.

Door de kracht op de kabel, ontstaat een trekkracht in de kabel. Deze trekkracht veroorzaakt verlenging in de kabel. Dit is onwenselijk, door voor te spannen kan dit voorkomen worden, omdat dan de rek al uit de kabel is.

Het kabelnet ziet er van boven als een raster uit (afbeelding 20).



Afbeelding 20 Kabelnet van boven

In afbeelding 20 is te zien dat over de y-as vijf kabels zijn toegepast. In het eerste model was dit nog niet het geval. Het besluit om van vakken van drie bij zes meter naar vakken van drie bij 25 meter te gaan,

kwam na het gesprek met de leverancier van het Texlon EFTE systeem. De leverancier gaf aan dat het creëren van meer kussenoppervlak positief werkt. Hierdoor wordt het totaalgewicht van het dak verlaagd. Dit komt doordat de kussens bestaan uit het lichtste materiaal, meer kussenoppervlak kussens betekend automatisch minder oppervlak dat bestaat uit kabel en aluminium.

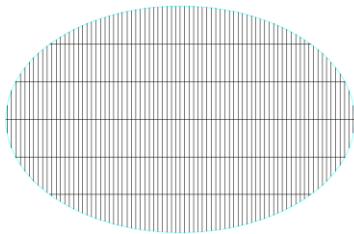
Het besluit om vijf kabels over de y-as toe te passen heeft invloed op de kabeldiameter. Deze dienen namelijk forser uitgevoerd te worden omdat deze nu meer oppervlak dragen.

11.2.2 Stalen ring

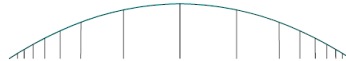
De ring waaraan de kabels bevestigd worden, zal in staal uitgevoerd worden. De ring heeft, van bovenaf gezien, de vorm van een ellips. Vanaf het vooraanzicht gezien, is het een opwaartse boog. En van het zijaanzicht, gezien is het een neerwaartse boog (afbeeldingen 21-23).

De belangrijkste afmetingen van de ring zijn:

- Lengte: 236 meter
- Breedte: 152 meter
- Hoogte: 26 meter



Afbeelding 21 Boveenaanzicht



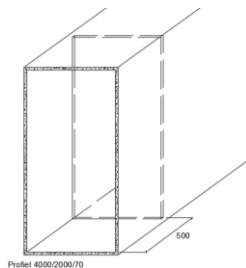
Afbeelding 22 Vooraanzicht



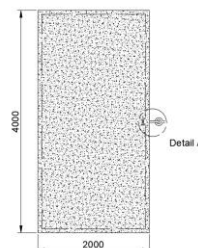
Afbeelding 23 Zijaanzicht

Het ontworpen profiel is een koker (afbeelding 24 en 25):

Hoog: 4000 mm
Breed: 2000 mm
Wandikte: 70 mm



Afbeelding 24 Kokerprofiel driedimensionaal aanzicht

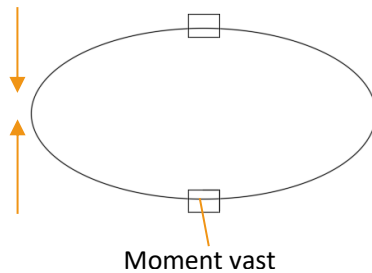


Afbeelding 25 Dwarsdoorsnede kokerprofiel

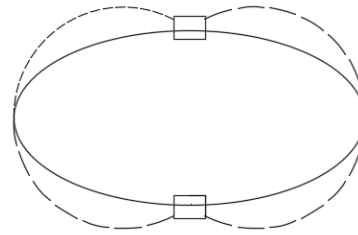
In het profiel worden ijzeren platen van 70 mm dik geplaatst. Deze worden bevestigd op een hart-op-hartafstand (h.o.h.) van 500 mm. Deze zorgen voor extra stijfheid in het profiel. Dit is nodig, omdat de kabels aan het midden van het profiel worden opgehangen. Dit kan interne instabiliteit veroorzaken. Met deze oplossing wordt dit voorkomen.

Omdat het hier een ring betreft van 626 meter, ondervindt deze een grote thermische belasting. De thermische belasting werkt voor de ring in twee richtingen. Uitzetting bij warm weer en inkrimping bij koud weer. Als neutrale temperatuur wordt hiervoor 12 graden Celsius aangenomen. Dit betekent dat er een uitzetting zal optreden bij temperaturen boven de 12 graden Celsius en een inkrimping onder de 12 graden Celsius.

Voor het bepalen van de uitzetting van de ring is deze door vieren gedeeld. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de ring als vier aparte delen gezien kan worden. Dit komt omdat de ring in het midden op de oplegpunten ingeklemd zit. Hier is geen thermische uitzetting mogelijk. Ook loopt de ring in het uiteinde tegen elkaar aan, waardoor de ring in beide richtingen zal willen uitzetten wat een evenwicht op levert (afbeelding 26,27).



Afbeelding 26 Verwerking thermische lasten in de ring



Afbeelding 27 Vervorming door Thermische lasten

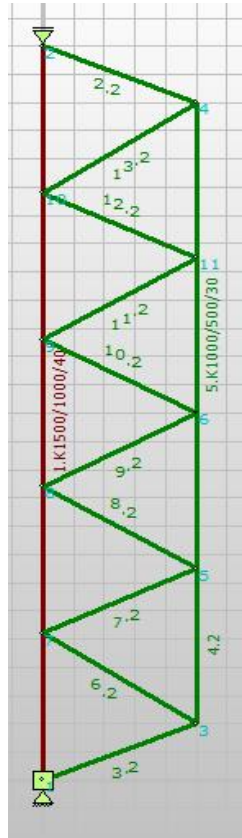
De verwachte maximale uitzetting zit in het vlak tussen het middelpunt en de uiteinden, zoals rechts is afgebeeld.

11.2.3 Kolommen

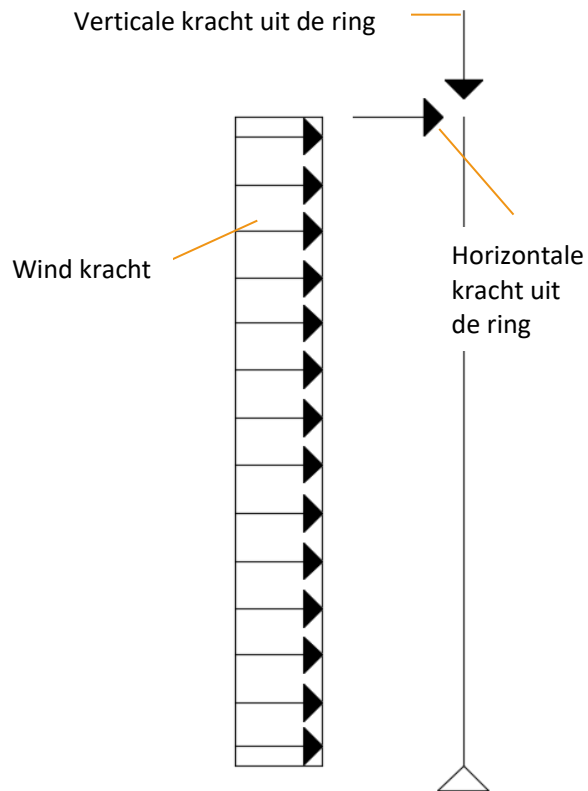
Onder de ring worden kolommen geplaatst. Deze kolommen dienen de verticale neerwaartse kracht op te nemen. In de kolommen geldt dit als drukkracht. Naast de drukkracht ondervinden de kolommen ook een horizontale kracht in de top. Deze is afkomstig uit de ring. Ook zijn er horizontale krachten tegen de kolommen aan. Deze zijn afkomstig van de wind die tegen de gevel aan drukt.

Door de drukkracht (de normaalkracht) in de kolom wil deze gaan knikken. Door de windbelasting wil de kolom gaan buigen en de horizontale kracht veroorzaakt ook een buigend moment in de kolom (deze horizontale kracht is afkomstig uit het moment uit de ring). Zowel de horizontale kracht als het buigend moment gelden in dezelfde richting. Het buigend moment, die veroorzaakt wordt door deze twee krachten, is voor een kokerprofiel te groot om op te nemen. Daarom wordt voor de kolom een rechtopstaand vakwerk toegepast. In afbeelding 29 zijn de krachten in de kolom afgebeeld.

Het vakwerk voorkomt doorbuiging in de kolom en verplaatsing van de kolom (op afbeelding 28 is de gedimensioneerde kolom te zien.)



Afbeelding 28 Kolom vakwerk profiel



Afbeelding 29 Krachten in de kolom

Naast de bovengenoemde krachten, ondervinden de kolommen ook twee soorten thermische belasting. De eerste is afkomstig uit de stalen ring. Deze zet uit of krimpt in door de temperatuurverschillen. De kolom zit aan de bovenkant bevestigd aan de ring en zou mee moeten kunnen bewegen om te voorkomen dat deze bevestiging stuk gaat. De tweede thermische belasting zit in de kolom. De kolom is zelf ook van staal en zal daarom zelf ook gaan uitzetten en inkrimpen bij temperatuurverschillen. De oplossing voor dit probleem is het toepassen van een veerverbinding aan de top van de kolom die mee zal geven wanneer deze wil uitzetten of inkrimpen. Aan de onderkant zitten de kolommen scharnierend verbonden aan de fundering.

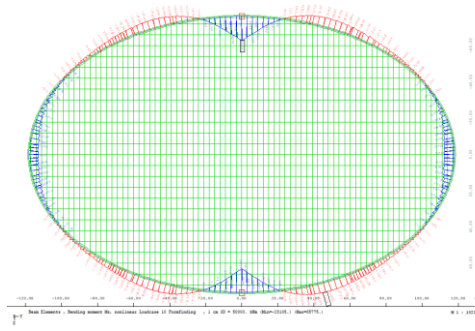
11.2.4 Fundering

De fundering onder de constructie zal in beton uitgevoerd worden. De bovengrondse constructie zal aan de fundering gekoppeld worden ter plaatse van de kolommen en het middelste momentvaste steunpunt. De fundering zal bestaan uit de volgende onderdelen:

- Betonnen funderingsbalk
- Drukpalen

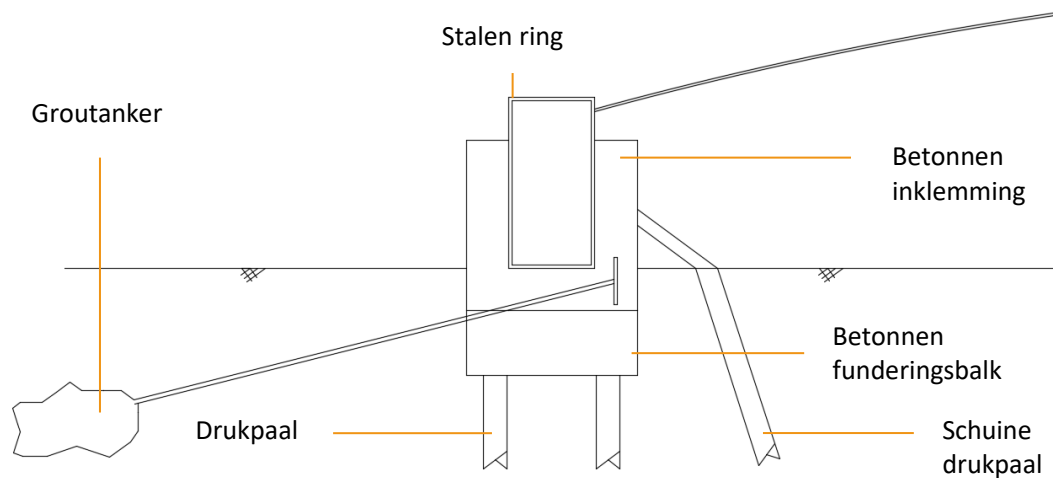
Het middelste steunpunt zal momentvast verbonden worden aan de betonnen funderingsbalk. De balk zal ondersteund worden door drukpalen. De kolommen zullen hier aan vastgemaakt worden met een scharnier, zodat zij mee kunnen bewegen met de verplaatsing uit de ring.

Het momentvaste punt in het midden van de constructie zal volledig in beton uitgevoerd worden en dient de horizontale krachten uit de ring op te kunnen vangen. Door de kabels in de ring, ontstaat een moment dat naar binnen wijst. Zie afbeelding 30.



Afbeelding 30 Momenten in de ring

Voor het opvangen van de horizontale krachten in het middelpunt, worden groutankers toegepast. Deze worden aan de buitenkant van de constructie geplaatst (afbeelding 31). Ook worden aan de binnenkant van de constructie drukpalen toegepast.



Afbeelding 31 Fundering betonnen inklemming

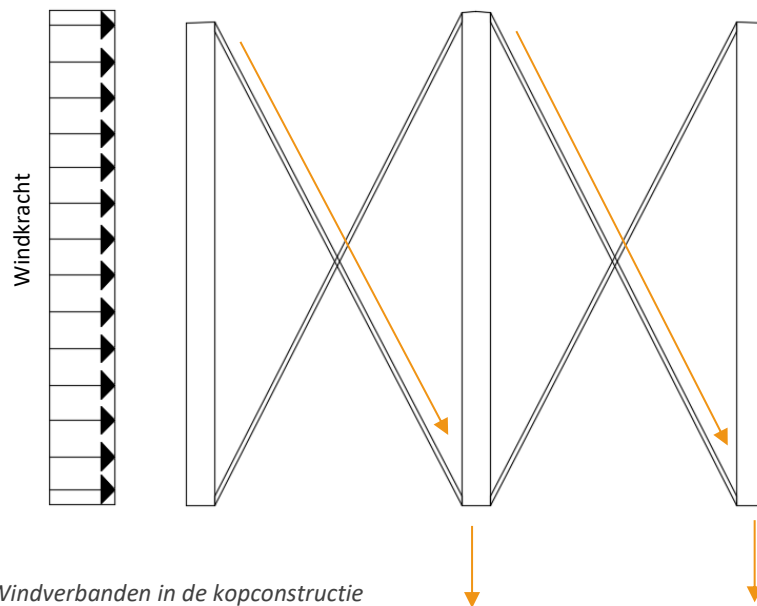
11.3 Stabiliteit

Tegen het gebouw aan zal een windkracht drukken. Door de grote omvang van het gebouw, dienen deze in de constructie opgevangen te worden. Dit wordt op vier plaatsen gedaan:

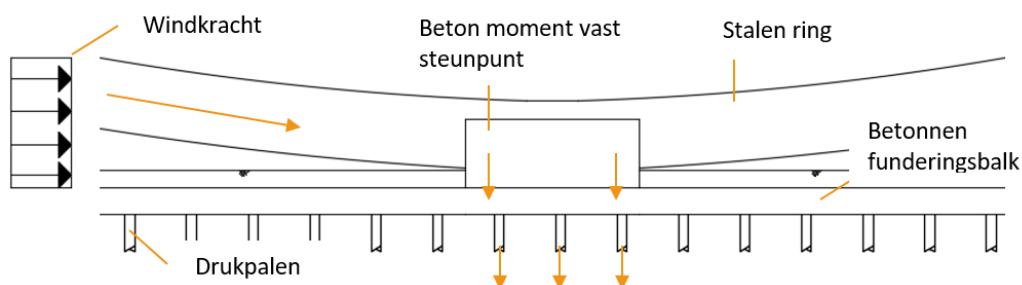
- De uiteinden (2x)
- De momentvaste middelpunten (2x)

In de uiteinde van de ring is de constructie het hoogst, namelijk 29 meter. De constructie wordt hier ondersteund door de kolommen in de gevel. In deze gevel worden windverbanden geplaatst. Deze vangen de krachten op die veroorzaakt zijn door wind tegen de lange zijde van de constructie (afbeelding 32).

De wind tegen de korte zijde van de constructie, wordt opgevangen in de momentvaste steunpunten, in het midden van de ring. Deze betonnen punten brengen de kracht naar de fundering, waar deze vervolgens de grond in geleid zullen worden (afbeelding 33).



Afbeelding 32 Windverbanden in de kopconstructie



Afbeelding 33 Verwerking windkracht in moment vast punt

11.4 Grasshopper Rhino

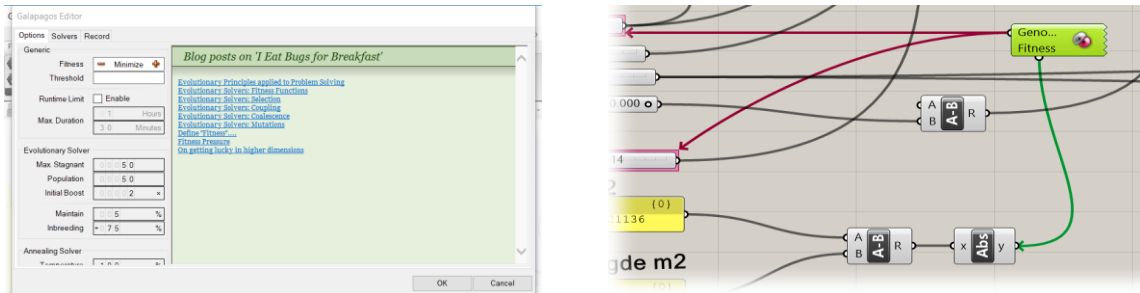
Het doel voor het toepassen van Grasshopper was het ontwerpen van het ideale ontwerp aan de hand van de gestelde eisen. Deze eisen zijn gericht op: de vorm, de hoogte, de breedte en het oppervlak van de constructie.

De gestelde eisen zijn:

- Oppervlak: de constructie dient onder het dak minimaal een oppervlak van 18.700 m² te hebben.
- Vorm: de constructie dient in de vorm van een hyperbolische paraboloid te worden ontworpen.
- Hoogte: het gestelde oppervlakte van 18.700 m² dient boven een constructiehoogte van 11 meter boven maaiveld (0-punt) behaald te worden en het hoogste punt van de constructie ligt 12 meter boven het middelpunt van de constructie.
- Breedte: de breedte van de constructie staat in verhouding tot de lengte en dient zo klein mogelijk gehouden te worden. De breedte wordt berekend door de lengte maal de factor 0,67 te doen (deze factor is de verhouding tussen de lengte en de breedte van de huidige Jungola).
- Lengte: dient zo klein mogelijk te zijn, maar dient wel aan de hierboven genoemde eisen te voldoen.

Aan de hand van deze eisen kunnen de afmetingen van de vorm bepaald worden. Dit bevat een itererend proces (afbeelding 34), waaraan de lengte van de constructie en de hoogte van het middelpunt gekoppeld zijn. Voor het uitvoeren van dit proces, dient een streefgetal gegeven te worden. Dit getal is nul en wordt gevormd uit het bewerkstelligde oppervlak minus het benodigde oppervlak. Het uiteindelijke resultaat mag niet negatief zijn en dient zo dicht mogelijk bij het streefgetal nul te komen. Zo worden er dus eisen gesteld, aan de hand van wiskundige vergelijkingen en formules, om zo op een optie te komen die het best aan de eisen voldoet. De lengte van de constructie en de hoogte van het middelpunt dienen als

variabelen. De getallen mogen geen decimalen achter de nul behouden, om zo nog een preciezere optie uit de berekening te laten komen.

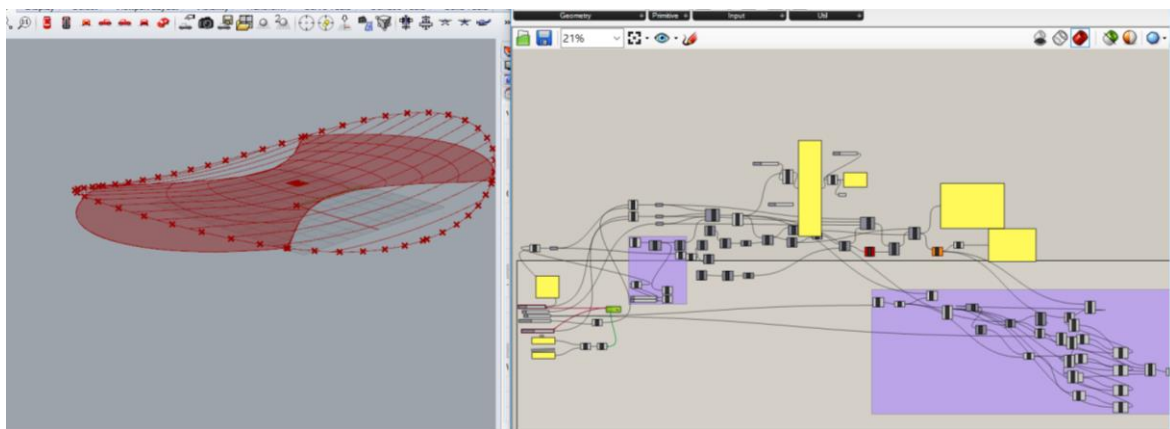


Afbeelding 34 Blok waarmee iteratie wordt uitgevoerd

De itererende berekening leverde de volgende resultaten op:

- Het oppervlak van de constructie boven de 11 meter is 18.867,62 m²
- De lengte van de constructie is 236 meter.
- De breedte van de constructie is 152 meter.
- Het hoogste punt van de constructie is 26 meter boven maaiveld.
- De hoogte van het middelpunt ligt 14 meter boven maaiveld.
- Het totale oppervalk van de constructie is 112.695,21 m²
- De lengte van de ring is 626,7 meter
- De lengte van de langste kabel 237,51 meter.

Bij het berekenen van deze optie, is uitgegaan van een verhoogd maaiveld onder de twee oplegpunten van de constructie. Het maaiveld is hier plaatselijk verhoogd met twee meter (afbeelding 35).



Afbeelding 35 Eindresultaat Grasshopper Rhino HP

11.5 Sofistik

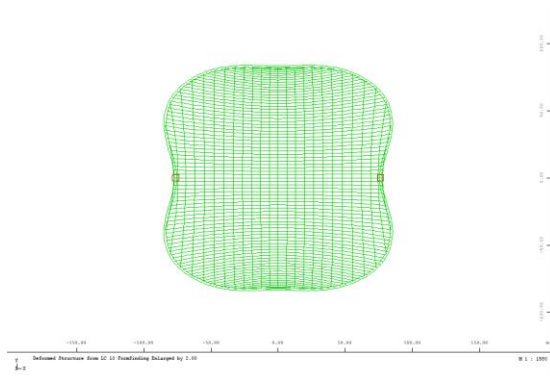
Het berekenen van de ring gaat gecombineerd met het berekenen van de voorspanning in de kabels. Deze wordt met een 'trail-and-error-proces' bepaalt. Voor het berekenen van de ring zijn een aantal opties mogelijk. In deze opties verschillen de posities van de kabels.

- Kabelraster
- Resulterende kabelkracht
- Fietswiel

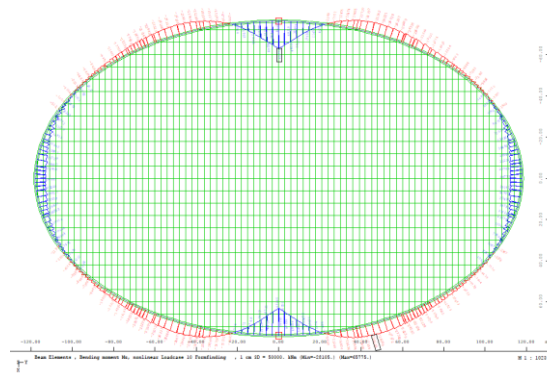
De drie gegeven opties zijn geanalyseerd in Sofistik. Het doel was de constructie in evenwicht te krijgen. Dit houdt in dat, in de ideale situatie, de ring alleen een drukkracht hoeft op te nemen en geen momenten.

Uit de in 5.2 geanalyseerde situaties komen de volgende resultaten:

- De ring werkt (mede doordat hij een ellipsvorm heeft) niet volledig als drukring. Hierdoor wil de ellips vervormen naar de vorm van een cirkel (afbeelding 36). Dit houdt in dat, naast de gewenste drukkrachten, ook ongewenste momenten in horizontale richting voorkomen in de ring (afbeelding 37).

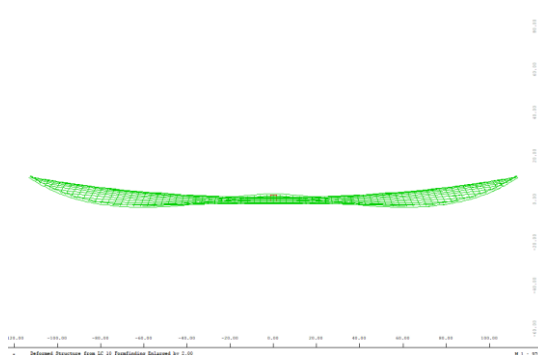


Afbeelding 36 Vervorming constructie in horizontale richting

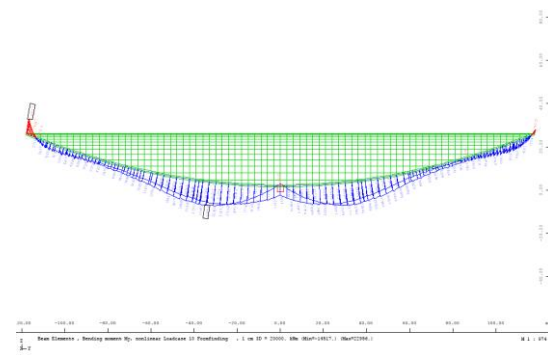


Afbeelding 37 Momenten in constructie in horizontale richting

- Evenwicht bepalen is niet mogelijk binnen de gestelde tijd, met de gegeven programmatuur. De bovengenoemde momenten zijn ongewenst. Vandaar dat het zaak is, deze te voorkomen. Het idee van de constructie is dat dit bewerkstelligd wordt door de kabels uit het kabelnet voor te spannen. Door de kabels in de x-richting sterker voor te spannen zou het moment in de y-richting af moeten nemen. Na de stappen te zijn doorgelopen, is vastgesteld dat het evenwicht bepalen een gecompliceerd proces is, waarbij elke kabel apart berekend moet worden.
- Bij het ontwerpen van de constructie zijn onder de ring de kolommen geplaatst. Deze zouden een passieve rol spelen in de constructie en alleen als bevestigingsmogelijkheid voor de gevelbekleding dienen. Tijdens de stappen, is ondervonden dat de ring in neerwaartse richting een moment ondervindt (afbeelding 38 en 39). Dit moment is het resultaat van het eigen gewicht van de ring en het gewicht van de onderdelen die aan de ring bevestigd zijn. Om te voorkomen dat de ring instort, dienden de kolommen alsnog een actieve rol te spelen in de vorm van drukkolommen.



Afbeelding 38 Vervorming in verticale richting



Afbeelding 39 Momenten in de ring in verticale richting

- Doordat er toch momenten ontstaan (zie punt één), dienen de kolommen in de gevel naast een drukkracht ook een moment in de top van de kolom op te nemen.

11.6 Berekeningen

Als vervolg op de analyse, gemaakt met behulp van Sofistik, worden de constructieve elementen apart berekend. Dit wordt gedaan met behulp van Technosoft en handberekeningen. De berekeningen staan in

dit hoofdstuk per element omschreven. De daadwerkelijke berekeningen zijn gemaakt in Excel en Technosoft. Dit berekeningsrapport is bijgevoegd in de bijlage in het rapport van het Ontwerprapport (Ontwerprapport in bijlage III-VI en berekeningsrapport daarin in bijlage I).

11.6.1 Kabels

Het kabelnet is berekend met de 'kettingformule'. Deze kan worden toegepast op kabels, waarvan bekend is hoeveel deze zullen doorhangen. Met deze formule kan de horizontale en de trekkracht in de kabel bepaald worden. Deze krachten komen voort uit de volgende krachten die op de kabel spelen:

- Eigen gewicht kabel
- Windlast
- Kussens
- Sneeuwlast op het dak

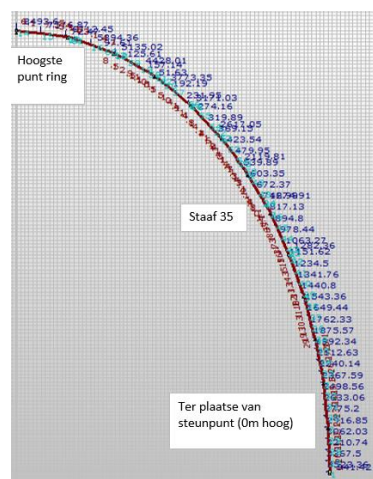
De horizontaalkracht wordt meegenomen in het berekenen van de stalen ring. De trekkracht in de kabel (de resulterende kracht), is ook de minimaal benodigde sterkte voor het bepalen van de kabeldiameter. Hierbij is in eerste instantie uitgegaan van een staalkabel. Aangezien maar weinig informatie beschikbaar is over glasvezelkabels, kon hier geen goede berekening mee gemaakt worden. Wanneer de staalkabel gedimensioneerd is, zal deze in verhouding gesteld worden tot de treksterkte van glasvezel. Hiermee kan toch een indicatie gegeven worden van de diameter van de glasvezelkabel.

11.6.2 Stalen ring

De ring bestaat uit een stalen profiel. Dit profiel is in de ontwerpfasen aangenomen als een kokerprofiel van 2000 mm bij 2000 mm met een wanddikte van 20 mm. Dit profiel is getest in Technosoft, maar omdat Technosoft een 2D-programma is en het hier om een 3D-constructie betreft, kan dit niet in één keer berekend worden. Daarom is dit op de twee volgende manieren bekeken:

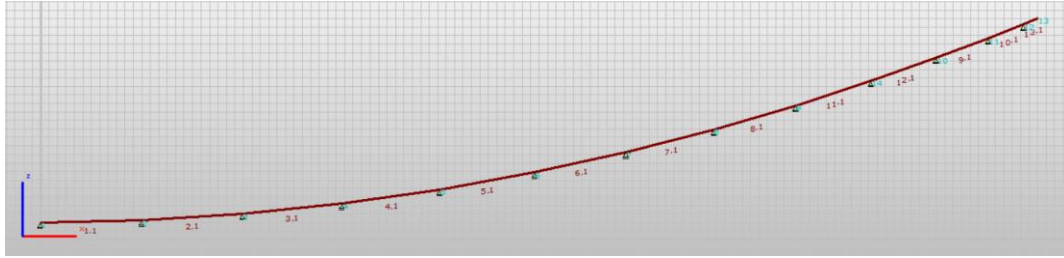
- Vanuit het bovenaf
- Vanuit het zijaanzicht

De constructie ondervindt veel krachten in horizontale richting, zoals wind en de voorspanning in de kabels. De voorspanning van de kabels is gebaseerd op het eigen gewicht en op sneeuwlast. Deze kunnen alleen ingevoerd worden in een 2D-vlak, dat van bovenaf aanschouwen wordt (afbeelding 40).



Afbeelding 40 Ring van bovenaf geschematiseerd in Technosoft

In de verticale richting, ondervindt de constructie krachten, zoals: winddruk, eigengewicht en sneeuwlast. Deze worden ingevoerd in een zijaanzicht van de constructie (afbeelding 41).



Afbeelding 41 Ring van zijkant af geschematiseerd in Technosoft

Uit de bovengenoemde berekeningsmanieren, ontstaan in het mechanisch model in TS, de waarden van de volgende krachten:

- De momenten
- De reactiekrachten
- De normaalkrachten

Het maximale moment wordt gebruikt om de verplaatsing te berekenen en de doorbuiging in het profiel. De reactiekrachten worden verwerkt in de kolomberekening en de normaalkrachten worden gebruikt om een kniktoets uit te voeren. Ook wordt hier de benodigde staalkwaliteit uitgerekend, om de afmetingen van het ringprofiel te bepalen.

Bij de eerste test in TS, bleek het aangenomen profiel van twee bij twee meter niet te voldoen. Vandaar dat er gekozen is voor een samengesteld profiel, die met de hand berekend moest worden, om de toetsingen te kunnen doen voor de bovengenoemde aspecten. De berekening van dit profiel zit bijgevoegd in bijlage I.

11.6.3 Kolommen

De kolommen ondersteunen de ring in verticale richting en deels in horizontale richting. De kolom is in twee fases berekend:

- Een enkele koker
- Een 2D-vakwerk

De kolom is berekend in TS en vervolgens getest op knik, doorbuiging en verplaatsing. De krachten die op of tegen de kolom aan zitten zijn:

- Verticale drukkracht afkomstig uit de ring
- Horizontale windkracht
- Horizontale kracht afkomstig uit de ring

Het enkele kokerprofiel voor de kolom voldeed niet aan de boven gestelde toetsen, aangezien de kolom doorbuigt en in de top een te grote verplaatsing optreedt. Met een 2D-vakwerk is het wel mogelijk de kolommen werkend te krijgen. Het vakwerk voorkomt de doorbuiging, beter dan een enkel kokerprofiel. Ook voorkomt het vakwerk een te grote verplaatsing.

Het uiteindelijke gekozen vakwerk bestaat uit kokers met de volgende afmetingen in millimeters.

Hoofdregel: 1500/1000/40

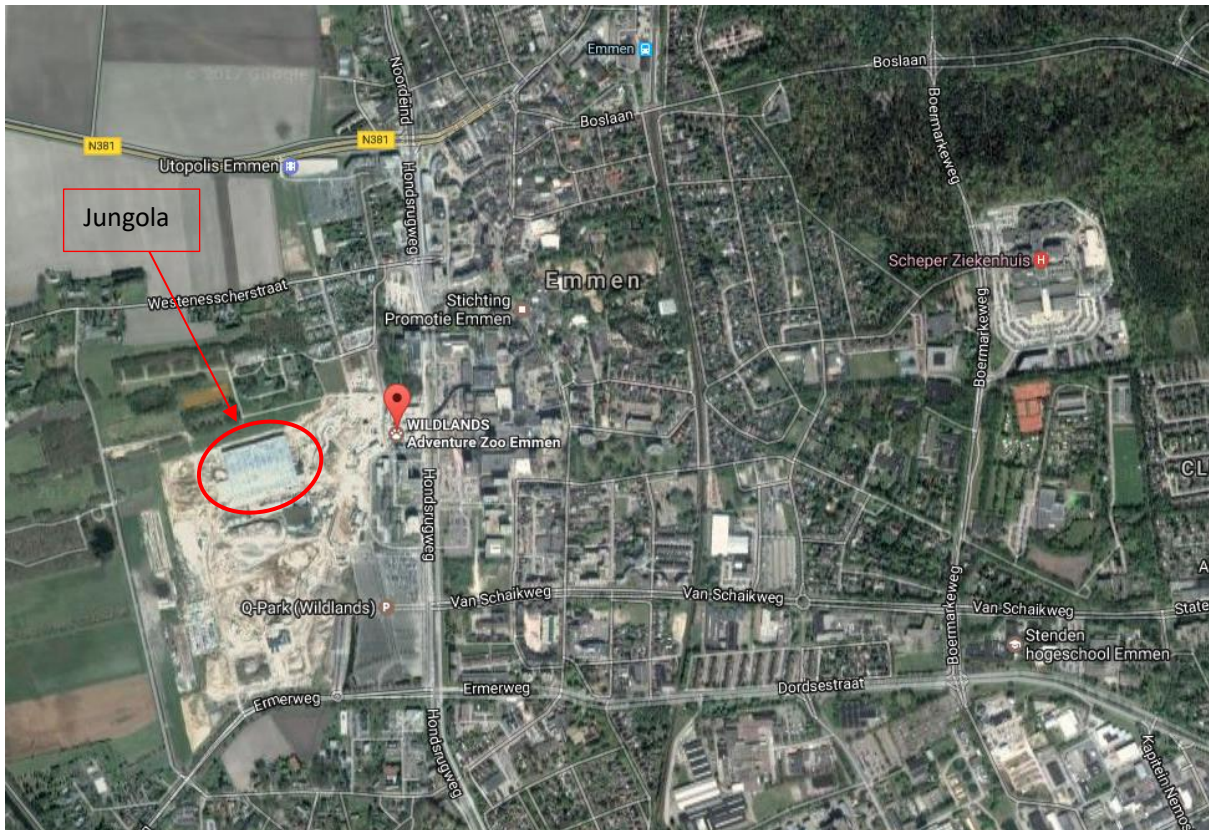
Tussenregels: 1000/500/30⁶

⁶ Voor het gedetailleerde ontwerpproces zie bijlage II-VI, in het aanvullend rapport.

12 Ontwerpnota

De ontwerpnota is geschreven om de eisen uit het PvE, te kunnen verwoorden in een constructief uitgangsrapport. De aspecten die beschreven worden in de ontwerpnota zijn: de hoofdopzet van de constructie, de onderbouwingen van constructieve keuzes, de uitgangspunten omtrent de belastingen en de materialen die toegepast worden.

Dit rapport is het vervolgrapport op het vooronderzoek belastingen en de beschreven punten zijn de uitgangspunten voor het berekeningsrapport. De constructieve hoofdopzet wordt door middel van DO-tekeningen vastgelegd. De tekeningen vormen samen met de ontwerpnota het constructieve deel van het DO. Dit document wordt gedurende het gehele ontwerpproces meegenomen en aangepast op bevindingen die in de DO-uitwerking gedaan worden.⁷



Afbeelding 42 Situatie Wildlands Emmen

In bovenstaand figuur is de situatie weergegeven Jungola, gelegen in de dierentuin in Emmen.

⁷ Het gedetailleerde ontwerpnota is opgenomen in bijlage II-VII, in het aanvullend rapport.

13 Uitvoeringsplan

Bij het ontwerpen van een constructie dient de ontwerper rekening te houden met de uitvoeringsfase. Het kan niet zo zijn dat in de ontwerpfase iets wordt ontworpen, wat op de werkplaats niet te bouwen is. Een voorbeeld hiervan is een voorgespannen balk die te lang is voor de fabriek waarin hij voorgespannen moet worden, of een ligger die te lang ontworpen is waardoor transport niet mogelijk is. De ontwerper heeft dan een balk ontworpen die in theorie gebruikt kan worden voor een brug, maar niet gemaakt of getransporteerd kan worden in de realiteit. In dit onderzoek wordt dit bestempeld met de term “haalbaarheid”.

Met betrekking tot de haalbaarheid, dient bij het ontwerpen van een constructie ook rekening gehouden te worden met de uitvoering. In dit verslag wordt globaal de uitvoering van Jungola beschreven in zes verschillende aspecten:

- Uitvoering
- Verbindingen
- Transport
- Installaties
- Onderhoud
- Brand

Deze aspecten zijn tijdens de ontwerp- en de bouwphase van belang, maar ook daarna in de gebruiksfase. Als de gebruiksfase begint, dient het gebouw onder andere onderhoudsvriendelijk en brandveilig te zijn. Met dit uitvoeringsplan wordt voorkomen dat onderdelen, die bedacht zijn in de ontwerpfase, uiteindelijk niet uitvoerbaar blijken of niet te onderhouden zijn in de gebruiksfase.

13.1 Aanpak en methode

Deze bovengenoemde aspecten werden behandeld aan de hand van de volgende vragen:

- Hoe zal het project Jungola uitgevoerd worden?
- Welke verbindingen worden toegepast?
- Zijn de constructie-elementen te transporteren?
- Wat zijn de mogelijkheden voor het toepassen van installaties?
- Hoe is er met het alternatief van Jungola rekening gehouden met onderhoud?
- Wat is de visie wat betreft de constructie 60 minuten brandwerend houden, voordat het bezwijkt? ⁸

⁸ Het gedetailleerde uitvoeringsplan is opgenomen in bijlage II-VIII, in het aanvullend rapport.

14 Discussie

In de discussie worden de belangrijkste ondervindingen behandeld die van invloed zijn op de conclusie.

Bij het uitvoeren van een studie en het maken van een ontwerp, worden veel keuzes gemaakt. Deze worden gemaakt aan de hand van argumenten. Echter verschilt per onderzoeker tot welke argumenten hij komt en welke conclusies hij hieraan hangt. Dit maakt het maken van een ontwerp een erg persoonlijk proces. Het is dan ook niet gezegd dat andere onderzoekers tot dezelfde resultaten zullen komen. Om het persoonlijke aspect zo veel mogelijk te vermijden is voornamelijk met feiten gewerkt.

Het beoordelen van de verschillende ontwerpen in het MCA, is gedaan aan de hand van ontwerpberekeningen. Ontwerpberekeningen zijn gebaseerd op aannames. Deze aannames zijn gemaakt op basis van de afmetingen van het huidige Jungola (110 bij 170 meter) en op basis van ervaringen met bestaande constructies. Aangezien de HP een niet bekende vorm is, wijken de aannames meer af dan van tevoren verwacht werd. Hierdoor werd tijdens het proces van Form Finding en in de DO-berekeningen duidelijk dat de constructie forser moet worden uitgevoerd dan van tevoren verwacht had kunnen worden. Naast het feit dat de constructie HP forser uitvalt dan verwacht, zijn de andere ontwerpen niet uitgewerkt tot DO-niveau. Hierdoor is het niet mogelijk de constructies te vergelijken en dus niet met zekerheid te zeggen dat deze oplossing voldoet aan de aspecten lichte constructie en duurzaamheid uit de hoofdvraag.

De constructie is berekend op DO-niveau. Hierdoor is een goed beeld geschept van de mogelijkheden en de afmetingen van deze constructie. Op deze manier is de hoofdvraag te beantwoorden. Echter zijn deze berekeningen nog niet afdoende om deze constructie uit te voeren. In het ontwerpproces is uit gegaan van de meest ongunstige factoren, uit de NEN, omdat de HP een ongebruikelijke vorm betreft. Hiermee wordt een zekerheid gecreëerd om aan te tonen dat het hier een realistische oplossing betreft. Dit betekent echter wel dat er nog een extra optimalisatie slag te behalen valt.

Het ontwerpen van de constructie is gedaan met een kabelnet die een standaard vorm heeft. Dit is een raster met vakken van drie bij zes meter. Echter na het gesprek met de specialist van Vector Foiltec is besloten de vakken te vergroten naar drie bij 25 meter. Dit valt gunstiger uit omdat het kabelnet hierdoor lichter van gewicht wordt. Dit komt doordat minder kabels en ook minder verbindingselementen met de kussens nodig zijn.

De krachten opgewekt door het Texlon EFTE systeem zijn nog niet meegenomen in de berekeningen. Hoewel wel een visie is gegeven omtrent deze krachten, is het werkelijke effect niet meegenomen in de DO-berekeningen.

15 Conclusie

Het onderzoek is opgebouwd uit twee delen, het onderzoekende deel en het uitvoerende deel. Het onderzoekende deel bevat geen conclusies maar biedt de benodigde informatie om tot een oplossing te kunnen komen die de hoofdvraag beantwoord (hoofdstuk 6,7,8 en 9). Het uitvoerende deel bevat echter wel een conclusie (hoofdstuk 10 en 11). Hoofdstuk 12 en 13 zijn ondersteunend aan hoofdstuk 10 en 11.

Wat is een lichte of duurzame oplossing om een overspanning van meer dan 100 meter te ontwerpen, zonder gebruik van tussenkolommen? Dit is de hoofdvraag die met behulp van de deelvragen beantwoord is. Het onderzoek heeft geleid naar de HP. Deze constructie had samen met twee andere ontwerpen, de hoogste score in het MCA. In de vervolgens gemaakte VO-berekeningen, kwam de HP als meest duurzame en lichte constructie naar voren. De HP heeft ten opzichte van de andere twee overgebleven ontwerpen het laagste eigen gewicht. Dit komt door het veel toepassen van composiet en het weinig toepassen van staal. In tegenstelling tot de andere twee ontwerpen, waar vooral staal gebruikt wordt in de hoofdconstructie. Doordat in de HP composiet wordt toegepast, is dit een lichte oplossing. De HP is de meest interessante optie om te onderzoeken. De HP is in deze schaal, 236 bij 152 meter, nog nooit gebouwd. Dit maakt de HP een innovatieve oplossing, waarbij direct de vraag ontstaat: Is deze constructie dan ook een realistische met de genoemde afmetingen? Hiervoor zijn DO-berekeningen uitgevoerd, die aantonen dat deze constructie, constructief mogelijk is.

De berekeningen wezen echter wel uit dat de constructie zwaarder uitgevoerd moet worden, zoals in de discussie beschreven is, dan van tevoren werd aangenomen in hoofdstuk 10. Hierdoor is niet met zekerheid te zeggen of deze constructie de meest lichte of duurzame oplossing is. Aangezien de andere ontwerpen niet verder uitgewerkt zijn aan de hand van DO-berekeningen, is er geen vergelijkingsmateriaal. Desondanks is het een innovatief ontwerp, met innoverende materialen die meer dan 100 meter kolomvrij kan overspannen.

16 Aanbevelingen

Zoals de constructie nu berekend is kan hij nog niet uitgevoerd worden. Daarom dient de constructie verder berekend te worden naar een uitvoerende fase. Het advies hierbij is dit te doen in een driedimensionale rekenomgeving als Robot. Hiermee valt nog een extra optimalisatie slag te behalen.

Deze extra optimalisatie valt te behalen op de volgend punten:

- Door de constructie in Robot te plaatsen kan de samenwerking tussen de ring en het kabelnet verbeterd worden. Het effect hiervan is dat de horizontale momenten in de ring verkleind worden en de normaal krachten vergroot. Hierdoor kan de ring slanker uitgevoerd worden. Ook zullen de kabels efficiënter werken waardoor deze ook slanker uitgevoerd kunnen worden.
- De horizontale kracht in de top van de kolommen zal kleiner worden doordat de momenten in de ring kleiner zijn. Hierdoor kunnen de kolommen slanker uitgevoerd worden.
- Doordat de momenten in de ring kleiner worden kan het moment vaste steunpunt in het midden van de constructie slanker uitgevoerd worden.
- De werkelijke windlasten op de constructie (gebruik windtunnel).

Voor de volgende punten is een visie geschreven en deze dienen nog berekend te worden:

- Fundering.
- Thermische uitzetting.
- Verbindingen.
- Brandbestendigheid.
- Bezwijken onbekende oorzaak.
- Effecten van de krachten uit de kussen van het Texlon EFTE systeem.

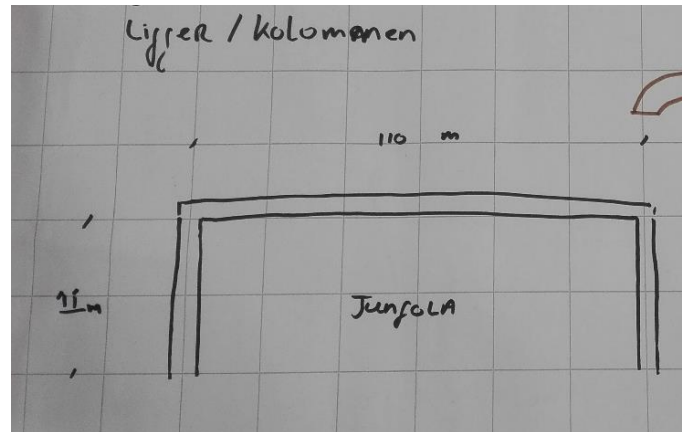
Het kabelnet is uitgevoerd in glasvezel. Een verduurzamingsslag zou zijn, om de kabels uit te voeren in bio-composiet.

18 Bijlagen

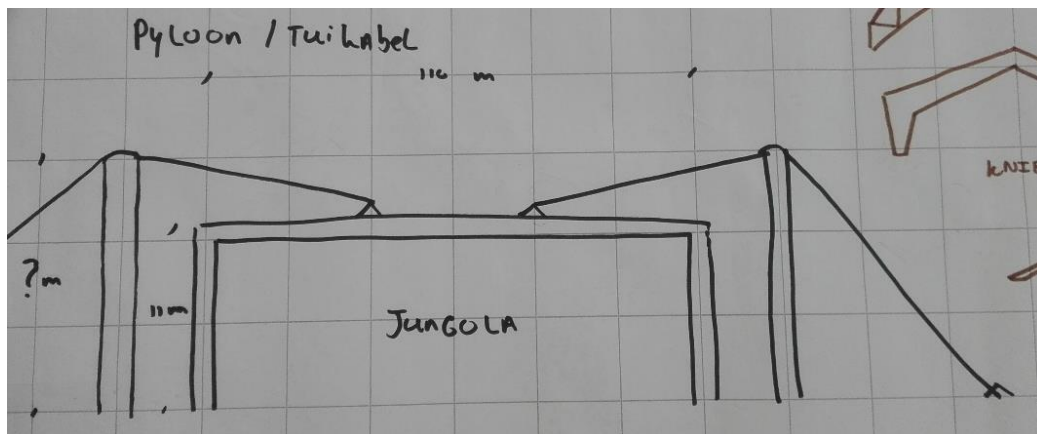
Bijlage I	Schetsen
Bijlage II	Grafieken percentage materiaal per ontwerp
Bijlage III	Toegevoegd in bijlage rapport, bijlage III bevat: ○ Bijlage III-I Plan van Eisen (PvE) ○ Bijlage III-II Vooronderzoek belastingen ○ Bijlage III-III Vooronderzoek ontwerpprincipes ○ Bijlage III-IV Vooronderzoek materialen (materialenanalyse) ○ Bijlage III-V Alternatieve ontwerpen VO (MCA) ○ Bijlage III-VI Ontwerprapport met berekeningsrapport ○ Bijlage III-VII Ontwerpnota ○ Bijlage III-VIII Uitvoeringsplan ○ Bijlage III-IX Notulen
Bijlage IV	Toegevoegd in bijlage rapport, bijlage IV bevat: ○ Bijlage IV-I Projectplan ○ Bijlage IV-II Taakverdeling ○ Bijlage IV-III Reflectie Hidde ○ Bijlage IV-IV Reflectie Rozemarijn ○ Bijlage IV-V Logboek Hidde ○ Bijlage IV-VI Logboek Rozemarijn ○ Bijlage IV-VII OnStage formulieren Hidde ○ Bijlage IV-VIII OnStage formulieren Rozemarijn

Bijlage I Schetsen

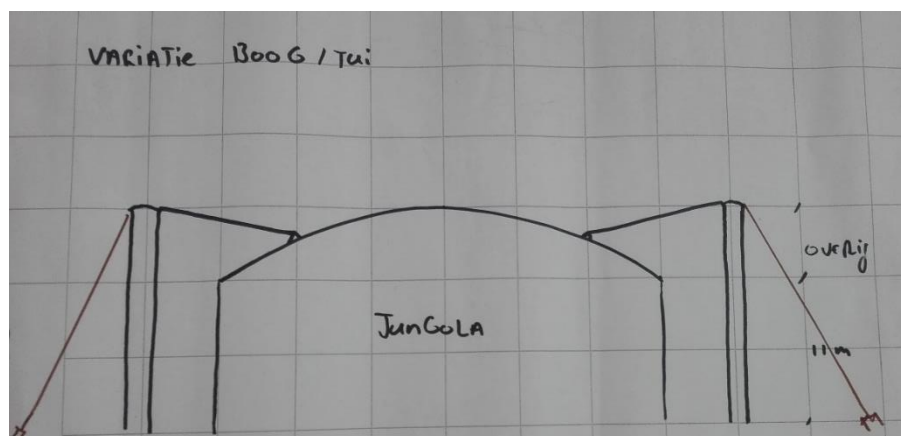
Hieronder staan de zeven schetsen vermeld (voor een gedetailleerde beschrijving, wordt verwezen naar het bijlagerapport in het aanvullende rapport).



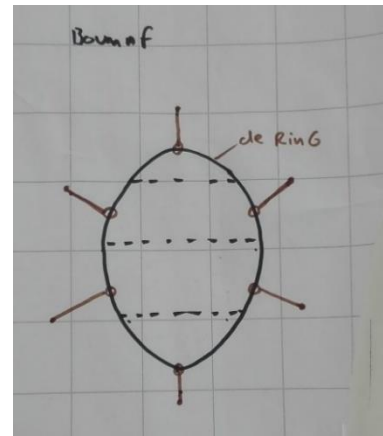
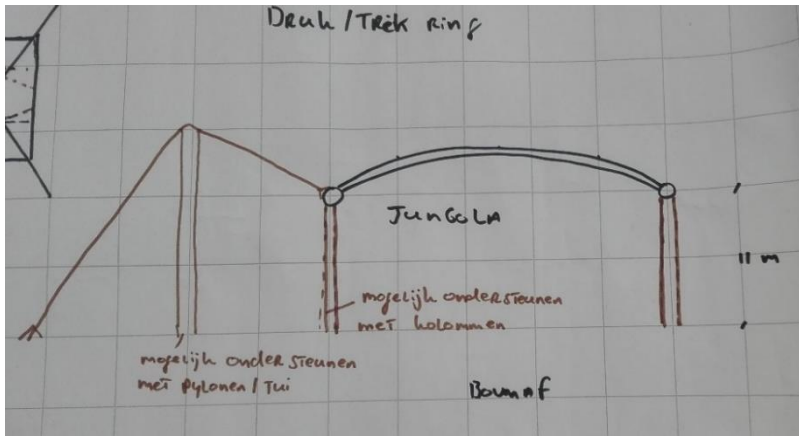
Figuur 1 Schets 1: liggerkolom constructie



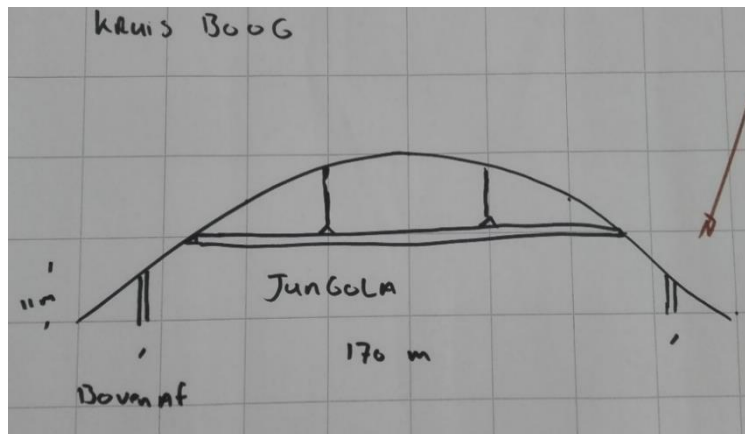
Figuur 2 Schets 2a: pyloon en tuiconstructie met plat dak



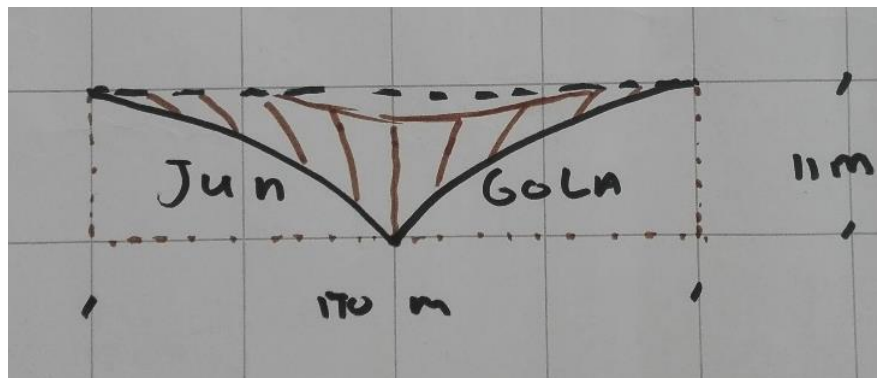
Figuur 3 Schets 2b: pylonen en tuiconstructie met boogdak



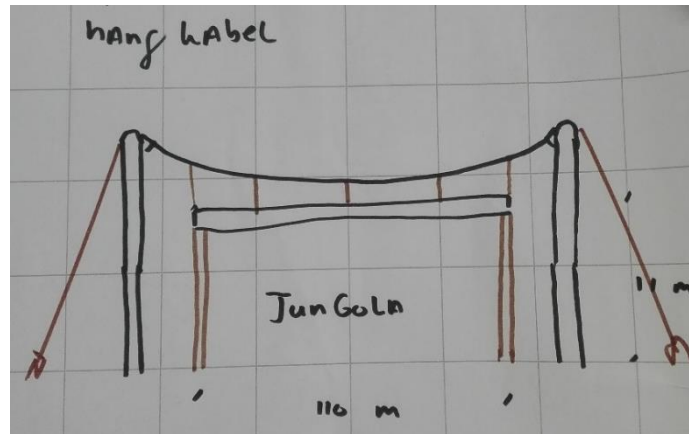
Figuur 4 Schets 3: druk-/trekring met boogdak



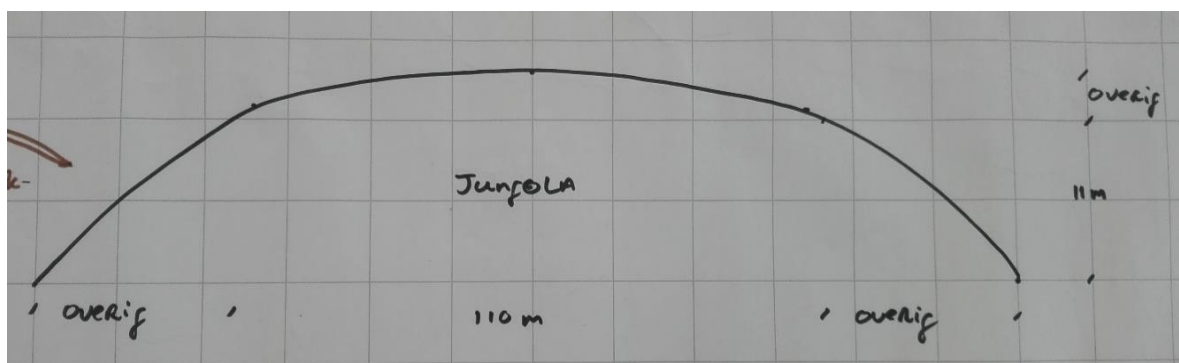
Figuur 5 Schets 4: kruisbogen met tuiconstructie



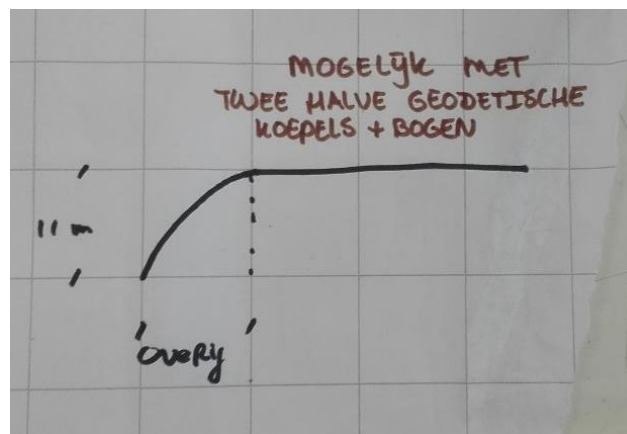
Figuur 6 Schets 5: HP (hyperbolische paraboloid)



Figuur 7 Schets pylonen en hangkabels



Figuur 8 Schets 7a: boogconstructie

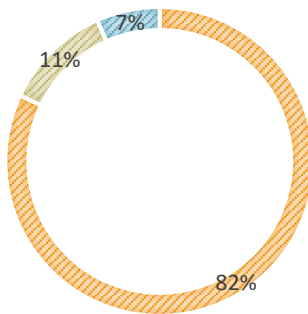


Figuur 9 Schets 7b: Geodetische boogconstructies

Bijlage II Grafiek met percentage materiaal per ontwerp

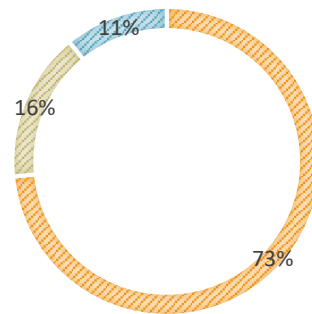
BOOG OPTIE 1.1

■ Staal [kN] ■ Composiet [kN]
■ Armide [kN] ■ Kussens [kN]



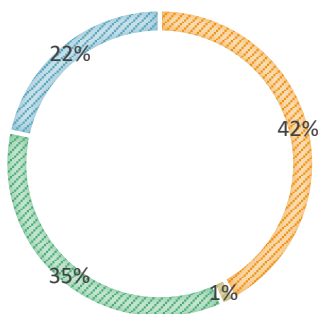
BOOG OPTIE 1.2

■ Staal [kN] ■ Composiet [kN]
■ Armide [kN] ■ Kussens [kN]



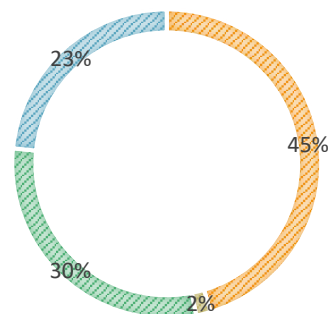
HP OPTIE 2.1

■ Staal [kN] ■ Composiet [kN]
■ Armide [kN] ■ Kussens [kN]



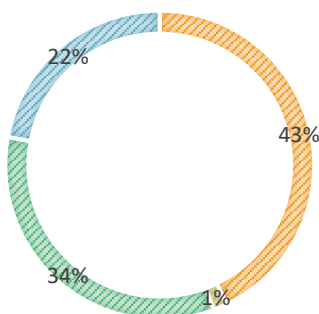
HP OPTIE 2.2

■ Staal [kN] ■ Composiet [kN]
■ Armide [kN] ■ Kussens [kN]



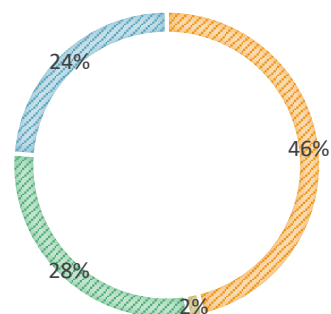
HP OPTIE 2.3

■ Staal [kN] ■ Composiet [kN]
■ Armide [kN] ■ Kussens [kN]



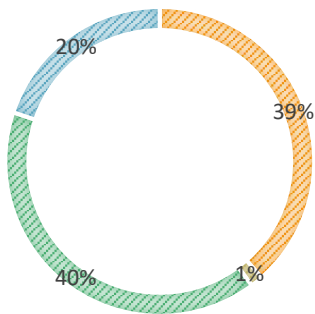
HPOPTIE 2.4

■ Staal [kN] ■ Composiet [kN]
■ Armide [kN] ■ Kussens [kN]



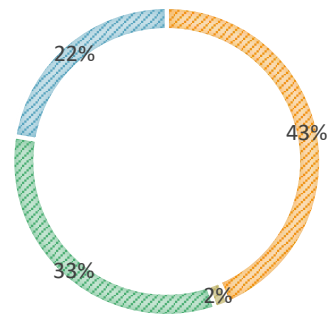
HP OPTIE 2.5

■ Staal [kN] ■ Composiet [kN]
■ Armide [kN] ■ Kussens [kN]



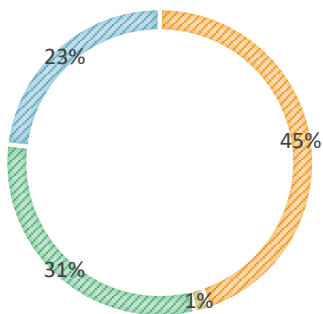
HP OPTIE 2.6

■ Staal [kN] ■ Composiet [kN]
■ Armide [kN] ■ Kussens [kN]



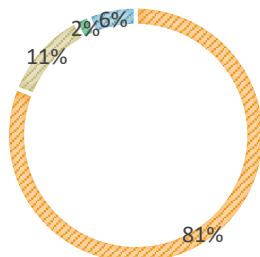
HP OPTIE 2.7

■ Staal [kN] ■ Composiet [kN]
■ Armide [kN] ■ Kussens [kN]



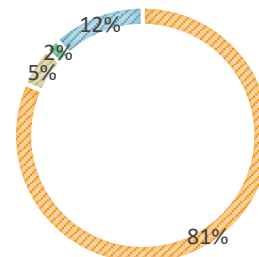
KRUISBOOG OPTIE 3.1

■ Staal [kN] ■ Composiet [kN]
■ Armide [kN] ■ Kussens [kN]



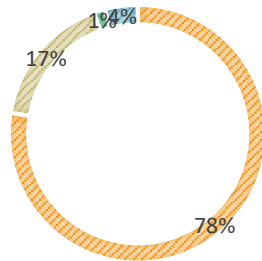
KRUISBOOG OPTIE 3.2

■ Staal [kN] ■ Composiet [kN]
■ Armide [kN] ■ Kussens [kN]



KRUISBOOG OPTIE 3.3

■ Staal [kN] ■ Composiet [kN]
■ Armide [kN] ■ Kussens [kN]



KRUISBOOG OPTIE 3.4

■ Staal [kN] ■ Composiet [kN]
■ Armide [kN] ■ Kussens [kN]

