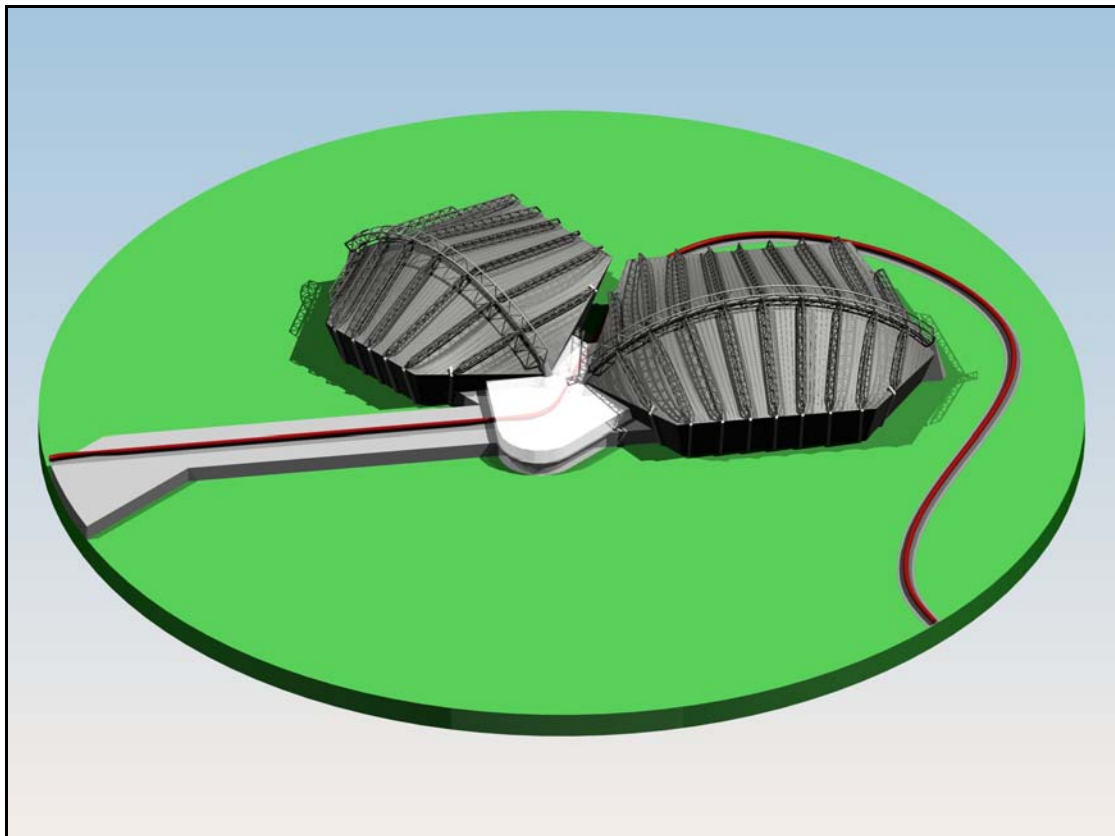


STRUCTURAL DESIGN

MASTERPROJECT: GROTE OVERSPANNINGEN (7PS25)

Begeleider: dr. ir. A.J.M. Leijten



Rob Daniëls
0538392

Inhoudsopgave

1. Inleiding	2
2. Analyse	3
3. Ontwerp	5
3.1. Drie concepten	6
3.2. Voorlopig ontwerp	8
3.3. Definitief ontwerp	10
4. Belastingen	17
4.1. Permanente belastingen	17
4.2. Veranderlijke belasting	18
5. Constructieve uitwerking	20
5.1. Steeldeck onderdakplaten	20
5.2. Tertiaire HEA-liggers	21
5.3. Secundaire vakwerkliggers	21
5.4. Primaire vakwerkdrukboog	22
5.5. Grenskrachten verbinding tribuneschijf met ligger	23
5.5. Krachtswerking in dwarsrichting	24
5.7. Matrix berekeningen	24
6. Detaillering	25
6.1. Afoergoten	25
Literatuurlijst	28
Bijlage A: Visualisaties zwemstadion	29
Bijlage B: Matrixberekeningen	32
Bijlage C: Technische tekeningen	37

1. Inleiding

In het kader van de mastertrack 'Structural Design' van de opleiding 'Architecture, Building & Planning' is dit project gemaakt. Het is een ontwerpproject waarbij alles draait om grote overspanningen. In een semester wordt een gebouw ontworpen en verder uitgewerkt. Hierbij komen verschillende aspecten van het ontwerpproces naar voren. De voortgang van het project wordt tijdens de verschillende bijeenkomsten gepresenteerd en besproken.

Dit verslag is samen met het materiaal op de bijgevoegde cd-rom het eindresultaat van het project. Hierin is globaal het ontwerptraject te zien. Ook zijn een aantal onderdelen verder uitgewerkt en wordt een onderbouwing van verschillende aspecten gegeven.

2. Analyse

Programma van eisen

De opdracht is het ontwerpen van een zwembad met een A-status. Om hieraan te voldoen zijn door het NOC/NSF richtlijnen opgesteld. Het stadion zal dus aan deze richtlijnen moeten voldoen. Het stadion moet minimaal twee baden bevatten (50 meter wedstrijdbad en 33 meter duikbad). Ook zal er voor voldoende omkleedruimte gezorgd moeten worden. Verder wordt een belangrijk gedeelte van het programma van eisen bepaald door de toeschouwers van de wedstrijden. Hiervoor zullen voorzieningen als tribunes, toiletten en horeca getroffen moeten worden. Het personeel zal ook een aantal specifieke ruimten toebedeeld krijgen.

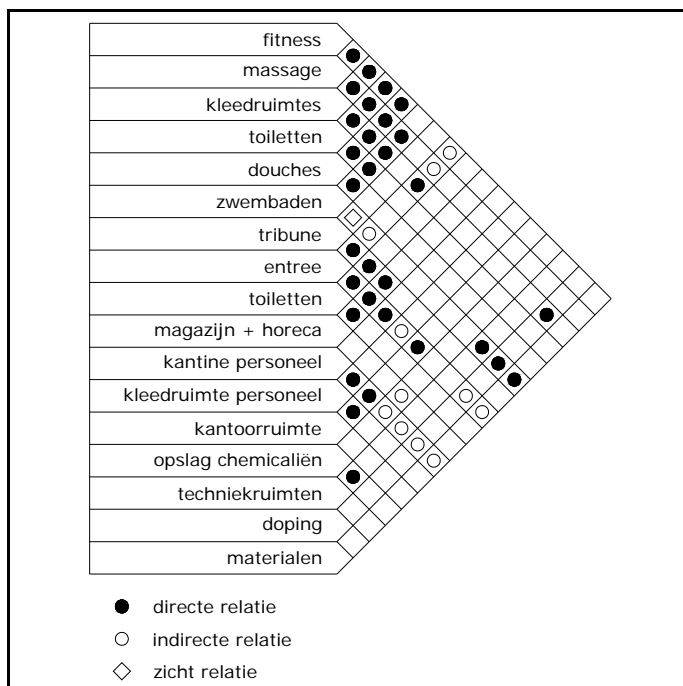
Verder heb ik contact opgenomen met het zwembad om wat meer opheldering te krijgen over de verschillende richtlijnen en hoe hier op dit moment mee om wordt gegaan. Zo is er een beter beeld gevormd van het aantal bezoekers en de hierbij behorende bezoekersstromen. Hieronder staan enkele belangrijke punten uit dit gesprek genoemd:

- Ongeveer drie keer per jaar zullen alle zitplaatsen van het stadion volledig bezet zijn tijdens grote wedstrijden.
- De hele dag door kunnen mensen vrij zwemmen, het bad dat op dat moment wordt gebruikt verschilt per tijdstip.
- Bij het vrij baantjes zwemmen zijn er ongeveer 35 personen tegelijkertijd aan het zwemmen.
- Per jaar trekt het totale zwembad ongeveer 710.000 bezoekers, hiervan komen 190.000 bezoekers zwemmen vanuit een vereniging, de overige 520.000 bezoekers zijn recreanten.

Verder worden de baden voor verschillende doeleinden gebruikt. Doordat alle baden met elkaar in verbinding staan wordt extra flexibiliteit gecreëerd. Ook heb ik een 50 meter trainingsbaan in mijn programma van eisen opgenomen. Verder is ervoor gekozen om de horeca wat verder uit te breiden, zodat deze ook buiten de zwembad wedstrijden beter gebruikt kan worden.

Relatieschema

Met behulp van een relatieschema is gekeken naar de onderlinge relaties tussen de verschillende ruimtes en de daarbij behorende functies. Deze zijn zo gegroepeerd dat de functies met een sterke relatie dicht bij elkaar liggen.



Afbeelding 2.1: Relatieschema

Uit het relatieschema is naar voren gekomen dat er drie belangrijke groepen zijn, namelijk: zwemmers, toeschouwers en het personeel. De zwemmers en de toeschouwers worden duidelijk van elkaar gescheiden en hebben alleen een zichtrelatie. Het personeel zit verweven over het hele complex. Deze scheiding tussen zwemmers en toeschouwers wil ik in het ontwerp duidelijk terug laten komen.

Omgeving

Zwemcentrum de Tongelreep is gelegen in groengebied de Genneper Parken. In dit deel van Eindhoven zijn veel functies op het vlak van sport, recreatie en educatie verder doorontwikkeld. De Genneper Parken maakt deel uit van de Groene Hoofdstructuur, hierdoor is een zorgvuldige ontwikkeling vereist. Een goede samenwerking tussen nieuwe uitbreidingen en de natuur staat voorop. Er wordt gekeken naar een goede landschappelijke inpassing en er wordt zonodig compensatie geboden voor het verliezen van natuur. De Genneper Parken is een landschappelijk stadspark waarin ontwikkeling en behoud van natuur en landschap voorop staat, dit omdat natuur en landschap de beeld- en kwaliteitsdragers zijn van het park. Hoe het uiteindelijk ontwerp is ingepast in de omgeving is terug te vinden in bijlage C.



Afbeelding 2.2: Ligging nieuw zwemstadion en uitbreiding natuur en ligweide

3. Ontwerp

Voordat met het ontwerp is begonnen heeft er een bezoek aan de locatie plaatsgevonden. Doordat de opdracht uit 2002 stamt, is er inmiddels al een nieuw zwembad gebouwd. Dit stadion voldoet aan alle eisen en werkt voor de gebruikers erg prettig.

Met de informatie uit het vooronderzoek en de bezichtiging van het huidige zwembad is begonnen met het maken van diverse schetsen. In eerste instantie werd steeds uitgegaan van het in één lijn plaatsen van de twee baden. Doordat er gestelde eisen zijn voor de tribunes werd in dat geval de ontwerpvrijheid behoorlijk ingeperkt. Ook is zo de eis ten aanzien van de fysieke scheiding lastiger te realiseren.

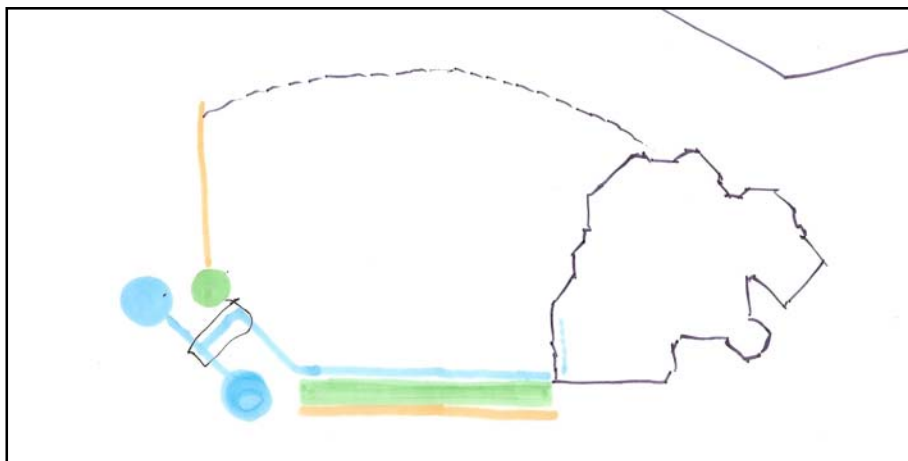
Uitgangspunten ontwerp

Voordat verder is gegaan met het ontwikkelen van de drie verschillende concepten is eerst verder gekeken naar de plattegrond. Door het loskoppelen van de twee baden wordt de ontwerpvrijheid vergroot. Ook de flexibiliteit van het hele zwembad wordt zo vergroot. De fysieke scheiding is eenvoudiger te maken en de toeschouwers kunnen vanuit het midden worden ontsloten, waardoor deze geen hinder van elkaar hebben en de twee baden los van elkaar kunnen functioneren.

Vanuit deze gedachten is een simpele plattegrond ontworpen welke goed aansluit op de omgeving en het terrein. Er is voor gekozen om het zwembad in het zuidoosten van het terrein te positioneren. Zo kan het natuurgebied aan de westzijde zich verder ontwikkelen en overgaan in de ligweide. Het nieuw te bouwen stadion geeft een gebaar aan deze ruimte en zorgt voor een buffer tussen de Willem Elschotlaan en het natuurlijke gebied. Door het weghalen van de tennisbanen wordt de natuur gecompenseerd en wordt ervoor gezorgd dat het geheel instemt met de structuurvisie van de Gennep Parken.

Vanuit deze standpunten zijn drie concepten bedacht met een niet al te grote verschillen. Het is niet zo dat er niet naar andere concepten en principes is gekeken. Alleen om duidelijk de voor- en nadelen van bepaalde veranderingen te kunnen zien is ervoor gekozen om een bepaald gebied af te bakenen.

Al in een vroeg stadium ben ik gaan kijken naar de afmetingen welke de verschillende onderdelen nodig hebben. Zo is de tribune verder uitgetekend met kijklijnen en zijn er afmetingen gegeven aan de overige ruimten. Hierbij zijn meer vaste plaatsen gecreëerd dan het programma van eisen als minimum aanhoudt. Deze keuze is gemaakt door het huidige aantal zitplaatsen dat het zwembad biedt, dit aantal is het dubbele van het minimum aantal plaatsen. Verder heeft dit als voordeel dat het aantal flexibele plaatsen eenvoudiger te realiseren is. Hieruit bleek al snel dat de afmetingen in breedterichting van het 50 meter wedstrijdbad ongeveer net zo groot zijn als de in de lengterichting. Hierdoor ontstaat een ongeveer vierkante plattegrond. Bij het 33 meter springbad is het zelfs zo dat de lengterichting korter is dan breedterichting.



Afbeelding 3.1: Scheiding 'natte' en 'droge' zone

Het 50 meter trainingsbad heb ik geplaatst aan de verbindingroute tussen het subtropisch zwemparadijs en het nieuw te bouwen zwemstadion. Door deze plaatsing wordt de flexibiliteit van het gehele complex vergroot en ontstaat er een interessante route. Door het maken van een verbindingroute krijg je een duidelijke scheiding tussen 'nat' en 'droog'. Deze scheiding levert soms verschillende problemen op.

Door het loskoppelen van de twee baden wordt het mogelijk om hiertussen een bezoekerscentrum te creëren. Alle toeschouwers zullen zich op de eerste verdieping bevinden. Van hieruit kunnen de tribunes worden bereikt en is er een duidelijke scheiding tussen de zwemmers en de toeschouwers. Ook de horeca zal zich op de eerste verdieping bevinden. Door deze publieke route een doorgaande route wordt van de ingang, via het zwemstadion naar de grote parkeerplaats wordt de bezoekersstroom geleidelijk omhoog geleid.

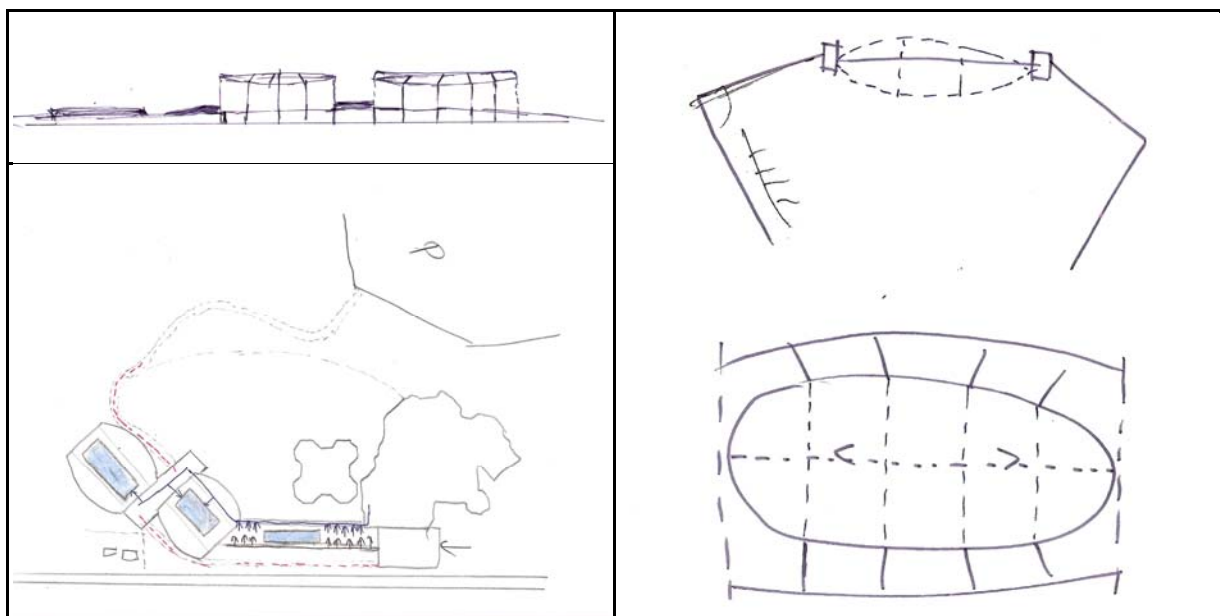
3.1. Drie concepten

Na het verder uitzoeken van enkele zaken wordt het nu mogelijk om drie verschillende concepten uit te gaan werken. Hierbij is gekeken naar de plattegrond en de daarbij passende constructie. Verder is gekeken naar de specifieke voor- en nadelen. Zoals eerder vermeldt zijn de concepten op een aantal punten hetzelfde om deze zo goed te kunnen vergelijken. Er is ook gekeken naar andere concepten, zoals het toepassen van een koepel. De constructievorm gaf naar mijn idee te veel loze ruimtes onder de tribunes. Voornamelijk door het vergroten van de tribunecapaciteit gaf dit niet de meest economische oplossing.

Overkapping vanuit de tribuneschijven

Bij dit concept wordt de overspanning verzorgd door een systeem dat wordt bevestigd aan de tribuneschijven. Vanuit de tribuneschijven wordt een gedeelte van de tribune overkapt. Het middelste gedeelte hangt dan als lichte draagconstructie tussen deze twee delen in.

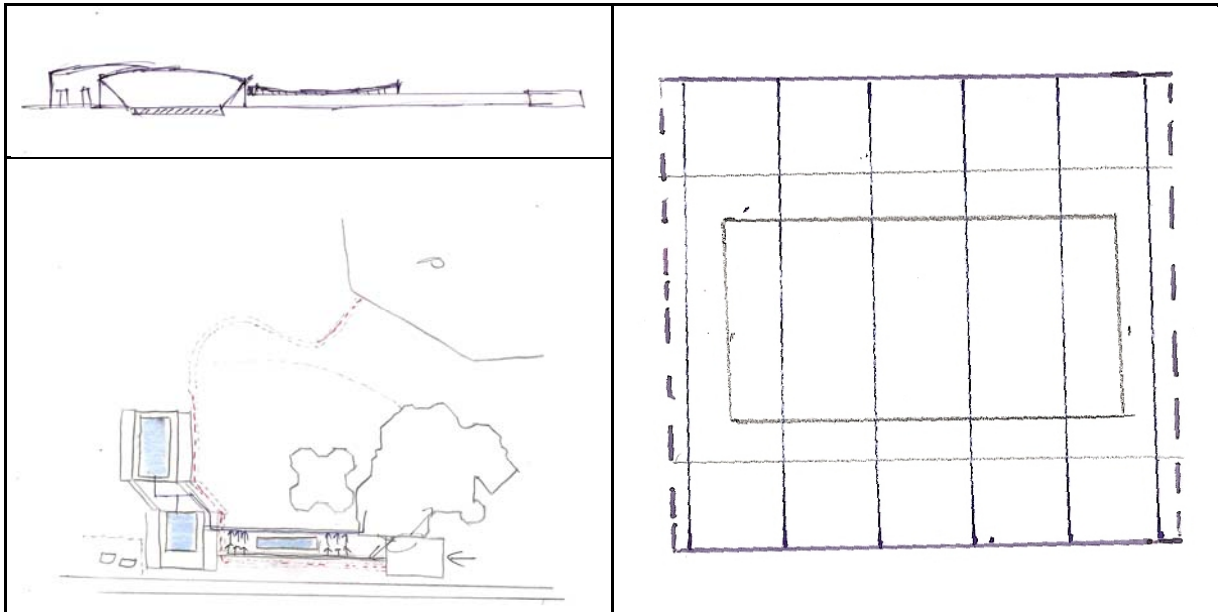
Om dit principe op een gunstige manier te laten werken dient in het midden een drukring te worden toegepast. In het geval van een zwemstadion is dit echter moeilijk te realiseren doordat de tribunes alleen aan de lange kanten van het zwembad zijn gelegen. Tribunes op de korte zijde van een wedstrijdswembad worden niet toegepast, omdat de wedstrijd vanuit deze positie niet goed te volgen is. Doordat de drukring hierdoor niet goed kan worden toegepast vervallen de voordelen van dit principe.



Afbeelding 3.2 t/m 3.4: Concept 1: overkapping vanuit de tribuneschijven

Vakwerken in één richting

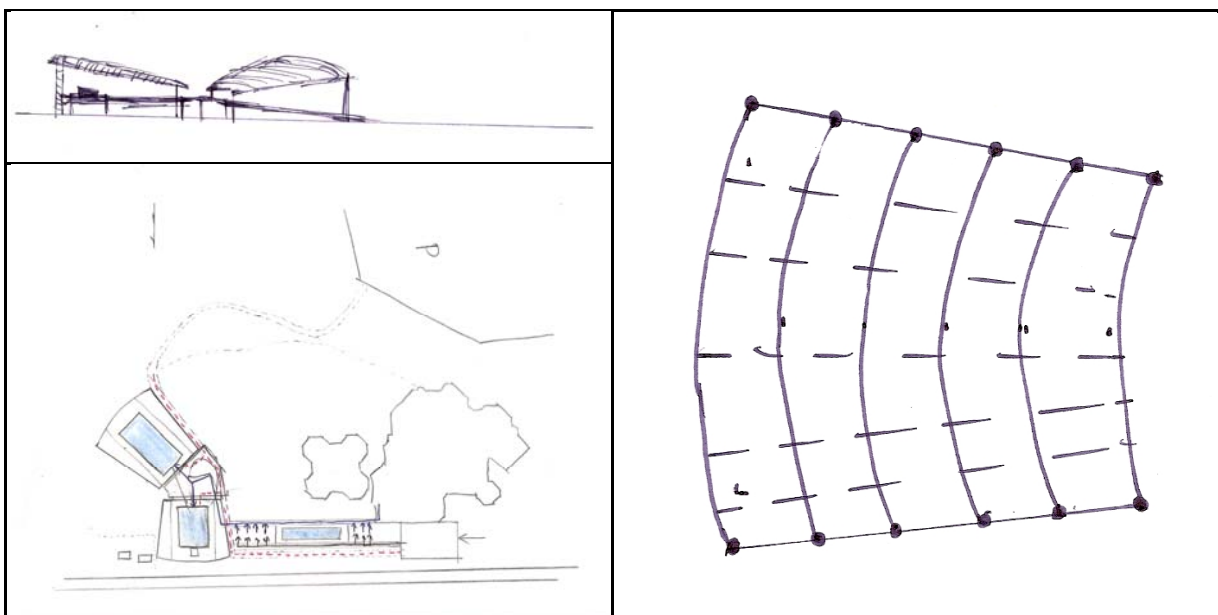
Bij dit constructieprincipe wordt gebruik gemaakt van het lineaire karakter van de zwembaden. De overspanning vindt plaats in de breedterichting van de baden. De ondersteuning van de vakwerken worden verzorgd door de tribuneschijven. Het overspannen in de lengterichting van de baden geeft problemen doordat het moeilijker wordt om hier ondersteuning toe te voegen. Door het toepassen van dit concept wordt goed gebruik gemaakt van de ruimte. Er kan een economische constructie worden ontworpen zonder extra minder bruikbare ruimtes te creëren.



Afbeelding 3.5 t/m 3.7: Concept 2: Vakwerken in één richting

Vakwerken in twee richtingen

Zoals al eerder opgemerkt is de plattegrond van de baden ongeveer vierkant, hierdoor kan het interessant zijn om in twee richtingen een ruimtevakwerk toe te passen. Deze worden normaal gesproken op de hoekpunten ondersteund. Door de grote overspanningen wordt de zakking in het midden erg groot. Dit constructieprincipe zal niet economisch toegepast kunnen worden.

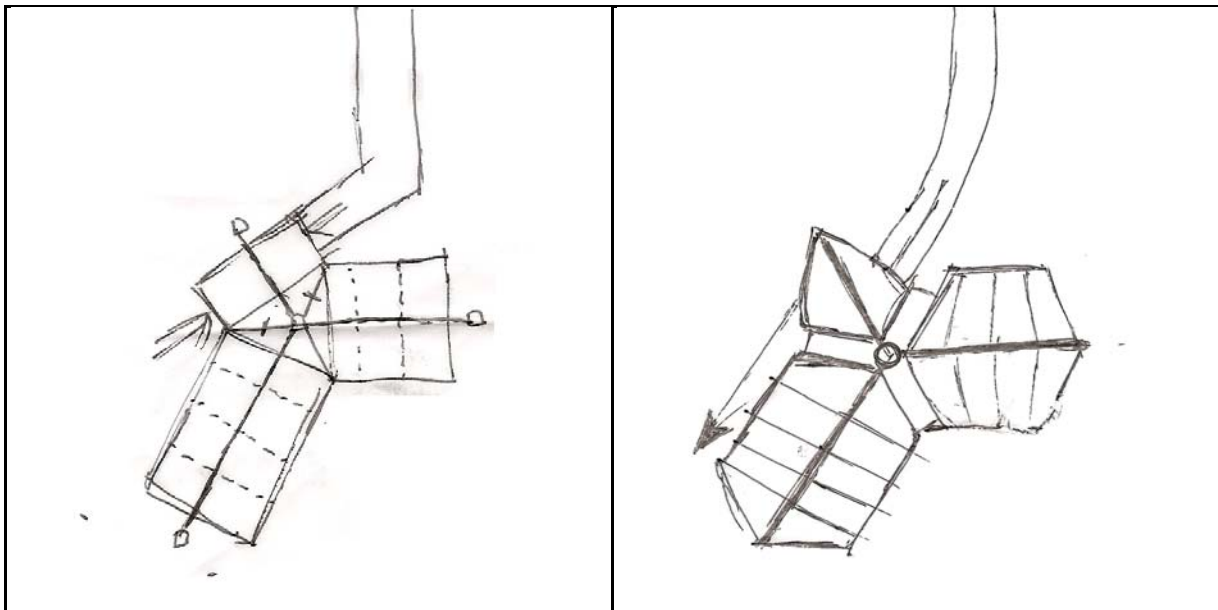


Afbeelding 3.8 t/m 3.10: Concept 3: Vakwerken in twee richtingen

3.2. Voorlopig ontwerp

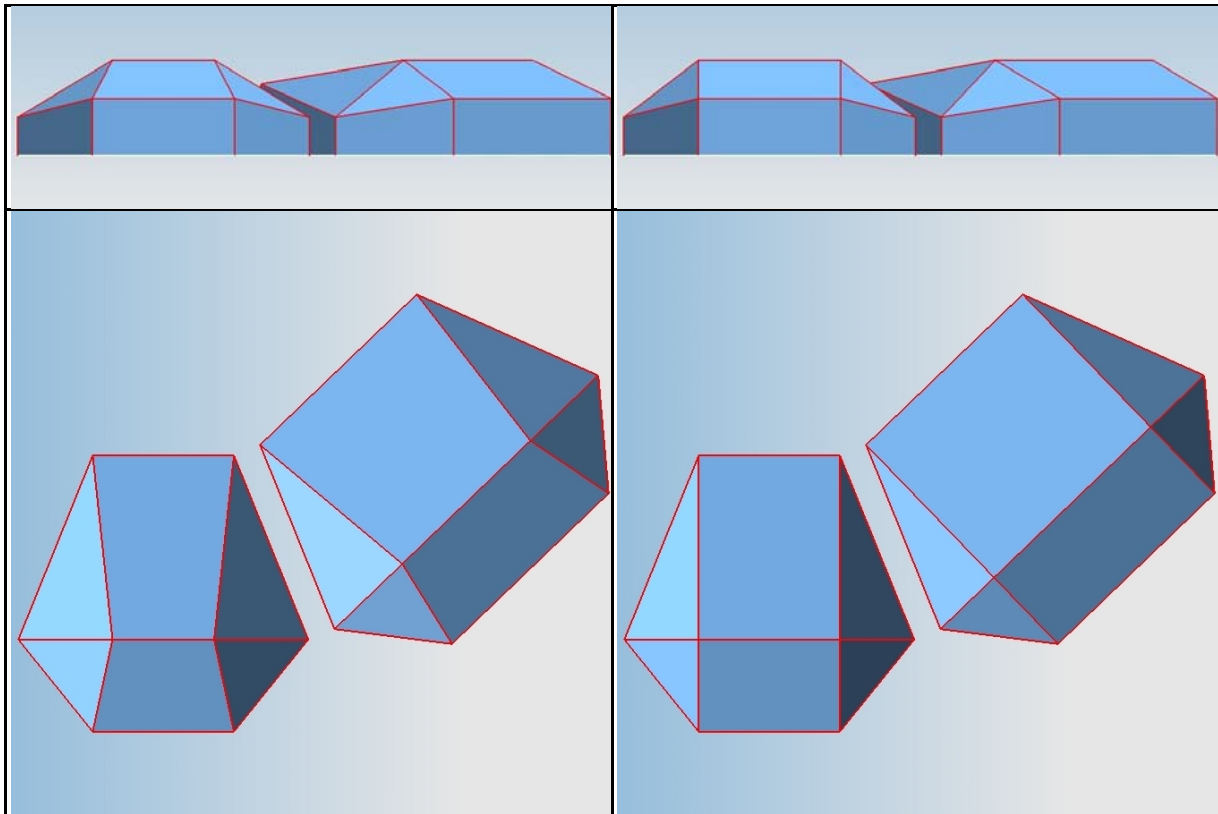
Aan de hand van de uitkomsten van het verder onderzoeken van de drie concepten en de begeleidingen is verder gegaan met het verfijnen van het ontwerp. Zoals hierboven bij de concepten ook te zien is zijn er verschillende plattegronden gegenereerd. Deze plattegronden lijken veel op elkaar, maar laten toch de verschillende mogelijkheden goed zien. Uiteindelijk is een plattegrond gekozen waarbij de verschillende onderdelen van het gebouw rond een spil vrij kunnen draaien. Op deze manier is een duidelijke driedeling te maken: het wedstrijdbad, het springbad en het algemene gedeelte met kleedruimtes en het bezoekerscentrum. Deze spil, welke het centrale punt symboliseert werd ook gebruikt voor het afdragen van krachten. De hoofdliggers, welke in de lengterichting van de baden, voor de overspanning zorgen, steunen af op deze centrale kolom en op een kolom buiten het gebouw. Vanuit de hoofdligger gaan er kleinere liggers naar de tribuneschijven. Om de ruimte zo ideaal mogelijk te benutten zijn er geen overbodige ruimtes gecreëerd. Hierdoor werd het gebouw aan de uiteinden recht afgekapt, dit zorgde voor minder spanning in het gebouw. De liggers werden in dit stadium van het ontwerp allemaal recht uitgevoerd.

Om het ontwerp spannender te maken is er naar verschillende aspecten van het gebouw gekeken. Zo is er naar de beëindiging van het gebouw gekeken, door het veranderen van de vorm werd er extra ruimte gecreëerd. Deze ruimte is nu op een zinvolle manier ingevuld. Door het veranderen van de vorm is ervoor gekozen dat de toeschouwers bij het wedstrijdbad helemaal rond kunnen lopen. De ruimte voor de opslag van materialen bevindt zich nu naast het bad.



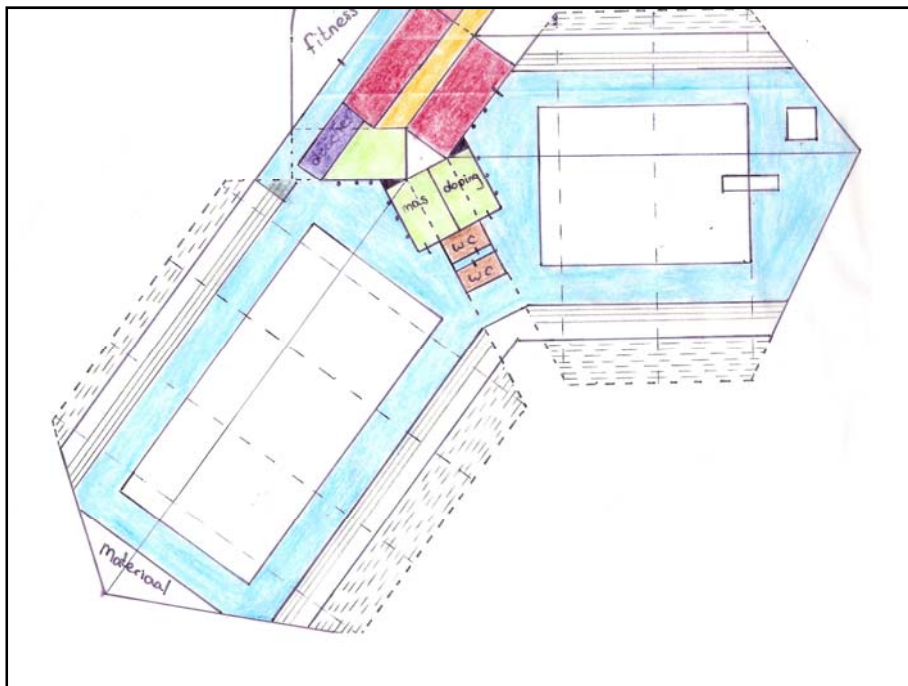
Afbeelding 3.11 en 3.12: Schetsontwerpen, ontwikkeling ontwerp

De hoofdligger lag op dit moment in het midden van het bad en de bouwdelen maakten een hoek van 120° met elkaar. Hierdoor werd het gedeelte voor het bezoekerscentrum erg groot. Om het gebouw extra spanning te geven en de ruimtes beter te benutten is er geëxperimenteerd met de ligging van de hoofdligger en de hoeken tussen de gebouwdelen. Uiteindelijk is ervoor gekozen om de ligger niet in het midden te leggen en ook beide tribunes niet even hoog te maken. Door deze verandering wordt de vorm van het gebouw versterkt. Ook is er gekeken naar de vorm in drie dimensies, hierbij is gekeken naar het verschil tussen het al dan niet recht leggen van de secundaire liggers. Omdat het in dit stadium van het ontwerp rechte liggers betrof werden alle secundaire liggers loodrecht aangesloten.



Afbeelding 3.13 t/m 3.16: 3D model vormstudie

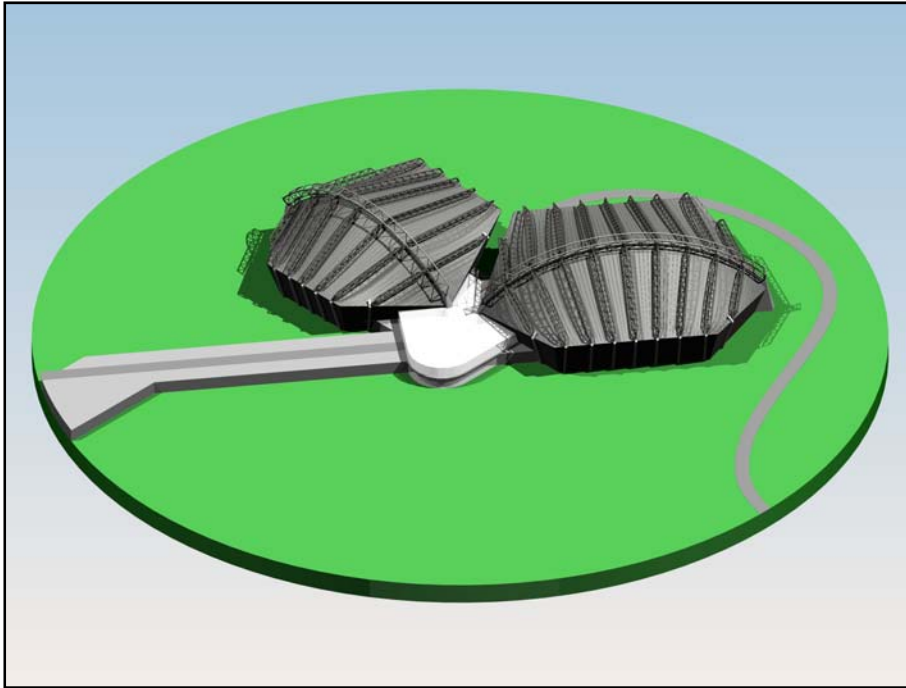
Zoals in de gemaakte massaobjecten te zien is heeft het niet haaks leggen van de secundaire liggers weinig effect op de vormgeving. Het niet haaks leggen levert wel vele andere problemen op, de secundaire liggers worden in dat geval niet meer allemaal even lang, ook wordt elke aansluiting anders. Op basis van deze en andere nadelen is besloten om voor de tweede variant te kiezen. Deze variant is verder op detailniveau uitgewerkt en gepresenteerd tijdens de tussenpresentatie. Binnen de gemaakte plattegrond kunnen alle functies van het programma van eisen worden geplaatst.



Afbeelding 3.17: Plattegrond tussenontwerp

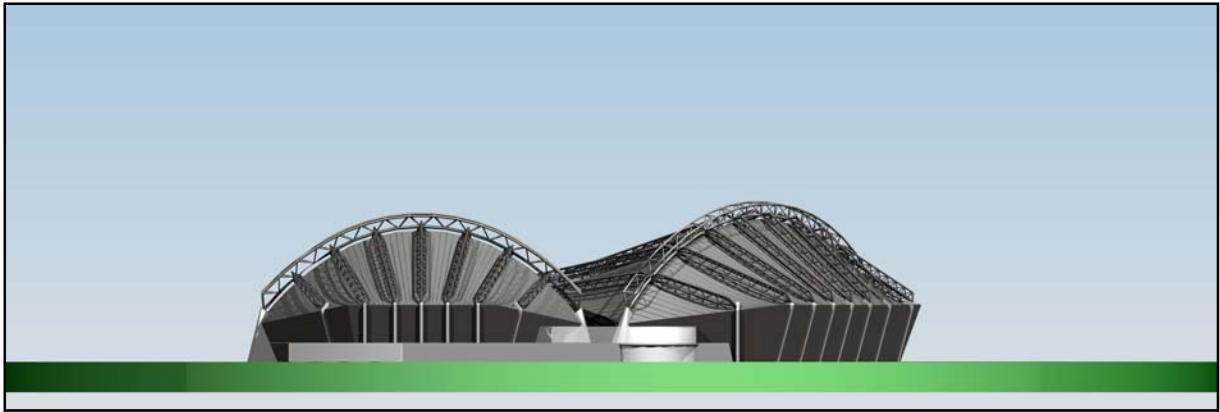
3.3. Definitief ontwerp

Aan de hand van het gemaakte ontwerp werd het mogelijk om de verschillende dimensies met meer nauwkeurigheid vast te leggen. Ook werd het mogelijk om verder in te gaan op de krachtswerking van het gebouw. De belangrijkste constructieve onderdelen van het gebouw bestaan uit vakwerken. Hiervoor is met behulp van Excel een programma gemaakt dat de onderdelen van de vakwerken dimensioneert. Er zijn veel verschillende variabelen toegevoegd. De staven worden getoetst op druk, trek en knik. De belasting wordt omgezet in normaalkrachten. Het programma is ook terug te vinden op de bijgevoegde cd-rom. Verderop wordt het programma nog verder besproken.

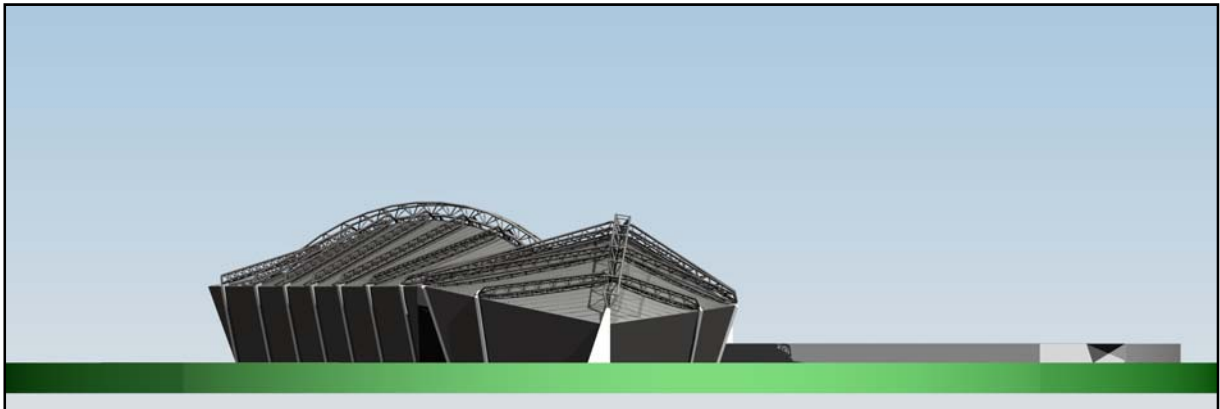


Afbeelding 3.18: Overzicht van het uiteindelijke ontwerp

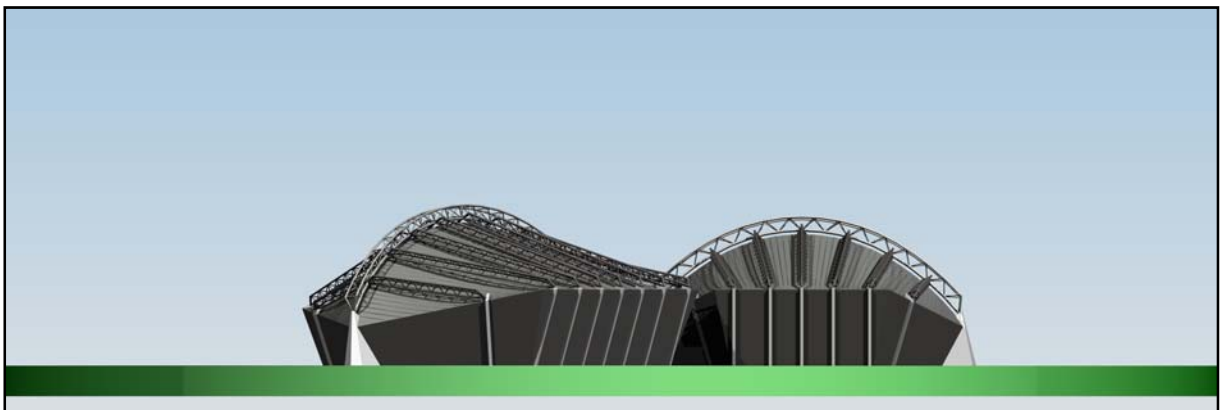
Al snel bleek dat de krachten in de staven erg groot werden. Hierdoor moest de hoogte van het vakwerk flink worden verhoogd en ook de diameter van de verschillende staven werd fors groter dan in eerste instantie gedacht. Door te spelen met de verschillende variabelen kunnen de effecten die dit teweegbrengt duidelijk worden gezien. Uiteindelijk is besloten dat de gekregen afmetingen niet goed passen binnen het ontwerp. Ook het economische aspect met betrekking tot het materiaalgebruik kon flink worden verbeterd. De vorm van de plattegrond was ondertussen al aangepast zoals hierboven te zien is, hierdoor werd het nu mogelijk om een drukboog in het ontwerp toe te passen zonder in de knoei te komen met het programma van eisen. Deze drukboog levert horizontale krachten op bij de opleggingen, dit in tegenstelling tot de eerder ontworpen vakwerkligger. De werking van de drukboog is sterk afhankelijk van de vorm en de mate van benadering van de kettinglijn. Met behulp van een eenvoudige matrixberekening is nagegaan dat de krachten in een vakwerkdrukboog ongeveer 3 tot 8 keer zo klein zijn als in een vakwerkligger. Hierdoor kan de constructie veel economischer worden ontworpen. Wel heeft dit gevolgen voor het ontwerp, zowel voor de binnen- als de buitenzijde. Er is nog een keer van voor af aan naar het ontwerp gekeken en hier en daar bijgesteld. De centrale kolom is verdwenen, hiervoor zijn nu bokken in de plaats gekomen die de horizontale krachten van de drukboog op kunnen vangen. Door het vervangen van de rechte vorm van het dak door een ronde vorm, is het ontwerp spannender geworden. Ook wordt het nu interessant om de secundaire liggers haaks op de boogvorm aan te laten sluiten, hierdoor lopen deze in de plattegrond niet meer parallel aan elkaar. Dit heeft gevolgen voor de afstanden tussen de tribuneschijven. Deze afstanden variëren dus overal. Ook de hoogte van de tribune is verder aangepast, hierover later meer.



Afbeelding 3.19: aanzicht vanuit noorden



Afbeelding 3.20: aanzicht vanuit oosten



Afbeelding 3.21: aanzicht vanuit zuiden



Afbeelding 3.22: aanzicht vanuit westen

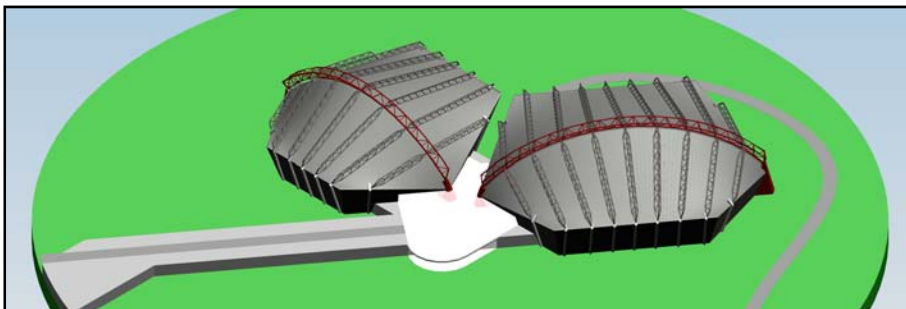
Primaire vakwerkdrukboog

De primaire vakwerkdrukboog overspant in de lengterichting van de baden. Deze drukboog is uitgevoerd als Nabla-boog, aan de bovenzijde bevinden zich twee buizen en aan de onderzijde bevindt zich één buis. Er is voor deze vorm gekozen omdat zo de aansluiting met de secundaire vakwerkliggers eenvoudiger uit te voeren is. Ook wordt de naad tussen de twee dakvlakken benadrukt en versterkt.

In eerste instantie stond de boog rechtop, later in het ontwerpproces is deze gekanteld. Hiervoor zijn verschillende redenen aan te dragen. Bij het schuin plaatsen van de boog kan er worden gespeeld met de krachtafdracht in de tribuneschijven, dit wordt verder in het verslag nader toegelicht. Ook is het op deze manier mogelijk om de secundaire liggers op dezelfde afstand boven het dak te plaatsen.

Omdat het hier een drukboog betreft zullen de krachten voor het overgrote deel via drukkrachten in de staven naar de vaste grond worden gebracht. Omdat de boog niet helemaal de kettinglijn volgt zullen er ook kleine momenten optreden, deze momenten zullen in de bovenstaven voor drukkrachten en in de onderstaaf voor trekkrachten zorgen. Doordat de momenten maar erg klein zijn kunnen alle staven met eenzelfde diameter uit worden gevoerd. Omdat er aan de bovenzijde twee staven zitten kan de extra drukkracht door het moment over deze staven worden verdeeld.

De hoogte van het vakwerk bedraagt 2400 mm. Deze maat is gekozen voor het krijgen van een mooie verhouding. De hoogte van een drukboog is door de kleine momenten minder van invloed dan in het geval van een vakwerkligger. De precieze dimensionering van de primaire vakwerkdrukboog is verderop terug te vinden.



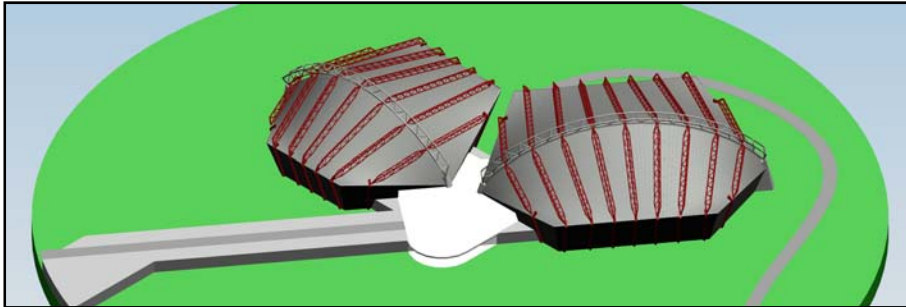
Afbeelding 3.23: primaire vakwerkdrukboog met ondersteuning (in rood aangegeven)

Secundaire vakwerkliggers

De secundaire vakwerkliggers overspannen van de primaire vakwerkdrukboog naar de tribuneschijven. Aan één zijde zijn deze scharnierend opgelegd, aan de andere zijde is een schuifverbinding gemaakt. Hierdoor worden deze liggers belast door een moment dat voortkomt uit de aangrijpende puntlasten van de dakconstructie. Deze vakwerkligger is uitgevoerd als Delta-ligger, aan de bovenzijde bevindt zich één buis en aan de onderzijde bevinden zich twee buizen. Met behulp van het eerder gemaakte Excel programma wordt het mogelijk om de secundaire vakwerkliggers uit te rekenen. De precieze werking van het programma wordt verderop bij de berekening van de liggers toegelicht. De hoogte van de boog kan worden gevarieerd. Wanneer de hoogte wordt verkleind worden de krachten in de staven groter doordat de momentenarm kleiner wordt. Ook moet verder worden gekeken naar de er onder gelegen constructie. De maximale overspanning van de staalplaten geeft een beperking aan de vakwerkliggers. Door het zoeken van een goede middenweg is ervoor gekozen om de vakwerkliggers een hoogte van 1500 mm te geven. Hierdoor sluit het geheel goed aan op de onderliggende constructie en kunnen de krachten in het vakwerk goed worden opgenomen. De hoek tussen de onderstaaf en de diagonalen is in het vlak 45° . Door deze hoek te kiezen worden de krachten in het vakwerk goed verdeeld.

Bij de berekening is uitgegaan van de ligger met de grootste overspanning. Bij de hieruit voortkomende krachten is een rond buisprofiel gekozen met een grote wanddikte. Doordat de primaire ligger niet in het midden van het gebouw ligt zijn de tegenoverliggende vakwerkliggers een

stuk korter. Om de liggers toch hetzelfde uiterlijk te geven en ook aan het economische aspect te denken, kunnen hiervoor buisprofielen met dezelfde diameter maar een geringere wanddikte gekozen worden. Doordat de liggers verlopen afhankelijk van de plaatsing aan boog, verschillen deze ook in lengte. De liggers zullen dus afzonderlijk gemaakt moeten worden.



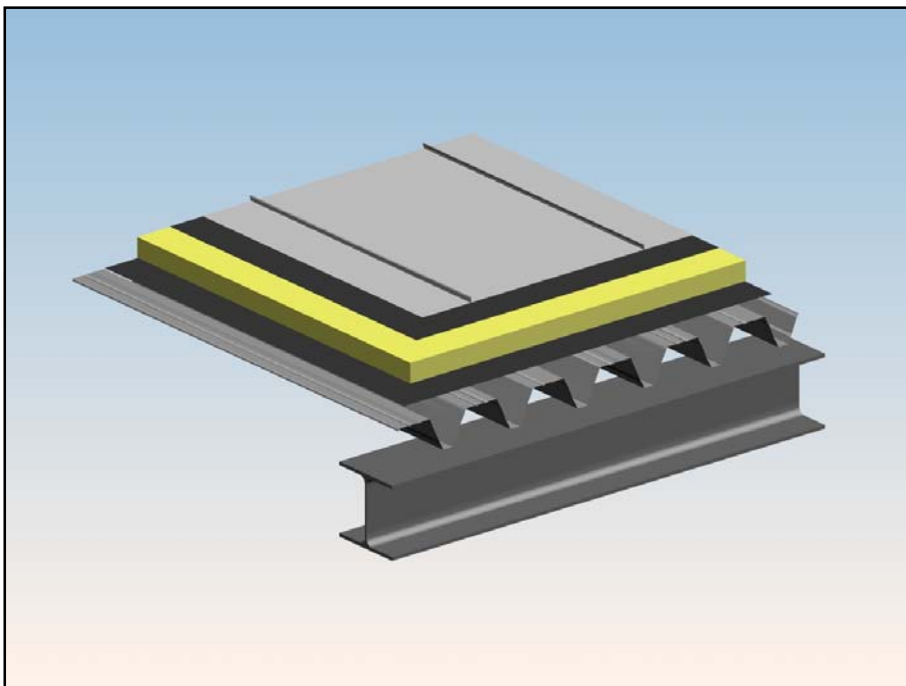
Afbeelding 3.24: secundaire vakwerkliggers met ondersteuning (in rood aangegeven)

Tertiaire liggers

De tertiaire liggers bevinden zich aan de binnenzijde van het gebouw, dit in tegenstelling tot de primaire vakwerkdrukboog en de secundaire vakwerkliggers. De liggers bestaan uit HEA-profielen, welke met behulp van stalen platen aan de secundaire liggers zijn bevestigd. De hart-op-hart afstand van deze liggers is bepaald door de maximale overspanning van de hierop liggende Steeldeck onderplaten. Voor de maximale overspanning is 6 m aangenomen, deze waarde bevindt zich onder de grens die de fabrikant opgeeft. Het kiezen van deze afstand is gepaard gegaan met het ontwerpen van de secundaire vakwerkligger. De aansluitingen van de tertiaire liggers komen uit op de knooppunten van de vakwerken. Op de berekening van deze liggers zal verderop worden ingegaan.

Opbouw dakpakket

De diverse onderdelen van het dakpakket zijn in de afbeelding te zien. De precieze opbouw hiervan wordt verderop bij het bepalen van de belasting besproken. Ook in de details is de opbouw duidelijk te zien.



Afbeelding 3.25: Opbouw dakpakket

Stabiliteit

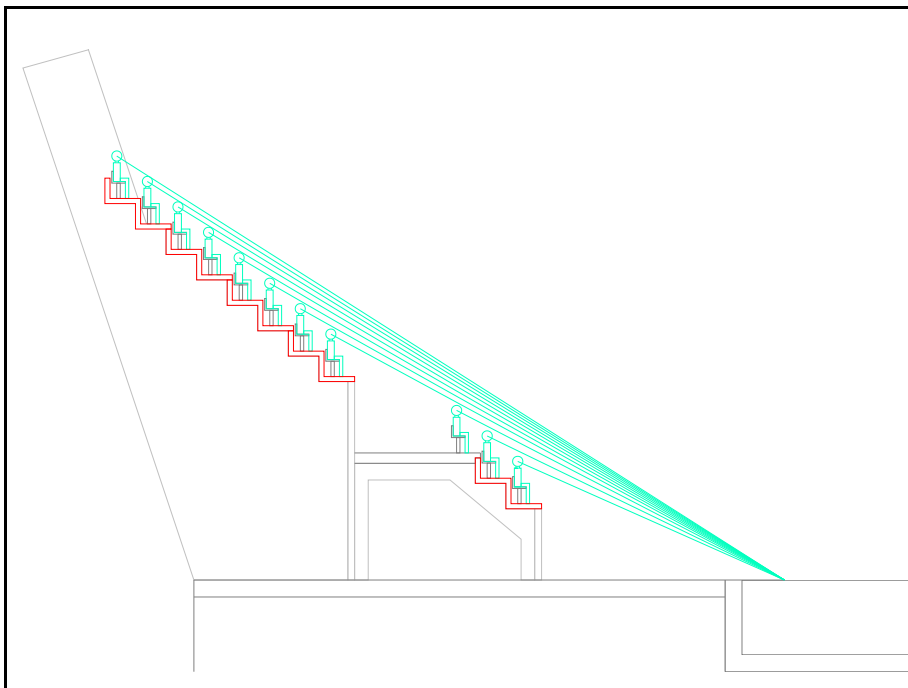
De twee baden zijn op zichzelf staande elementen, ze zorgen ook beide zelf voor de stabiliteit.

De stabiliteit in de lengterichting wordt verzorgd door de vakwerkdrukboog. Ook de tribune-elementen, welke tussen de tribuneschijven lopen, werken als een schijf voor de stabiliteit in de lengterichtingen de baden.

In de breedterichting van de baden wordt de stabiliteit verzorgd door de tribuneschijven. De tribuneschijf aan de hoge zijde zorgt ook voor de stabiliteit van het dakvlak, hiermee is de secundaire ligger namelijk scharnierend verbonden.

Tribune

De tribune is opgebouwd uit diverse tribune-elementen, deze overspannen van tribuneschijf naar tribuneschijf. Met behulp van kijklijnen zijn de afmetingen van deze elementen bepaald. In principe wordt de helling kleiner wanneer de elementen zich lager in de tribune bevinden. In eerste instantie is dit ook in het ontwerp toegepast. Het is dan echter noodzakelijk om twee verschillende mallen te gebruiken. Omdat het hier maar om een klein aantal rijen gaat is dit ook eenvoudig op te lossen door overal dezelfde elementen toe te passen. Ook dit model is ontworpen door gebruik te maken van kijklijnen. Doordat de secundaire liggers niet evenwijdig aan elkaar lopen en de richting hiervan afhankelijk is van de hoogte van de boog staan de verschillende tribuneschijven op verschillende afstanden. Hierdoor moeten de tribune-elementen verschillende lengtes hebben. Dit is echter geen probleem wanneer van een mal gebruik waarin een schot op de juiste positie geplaatst kan worden. De verticale delen van de tribune-elementen zijn 750 mm hoog, hierdoor werken deze als een balk en is het geen probleem om de overspanning tussen de tribuneschijven te maken. In bijlage C is een grotere variant van het tribune ontwerp met zichtlijnen te vinden.



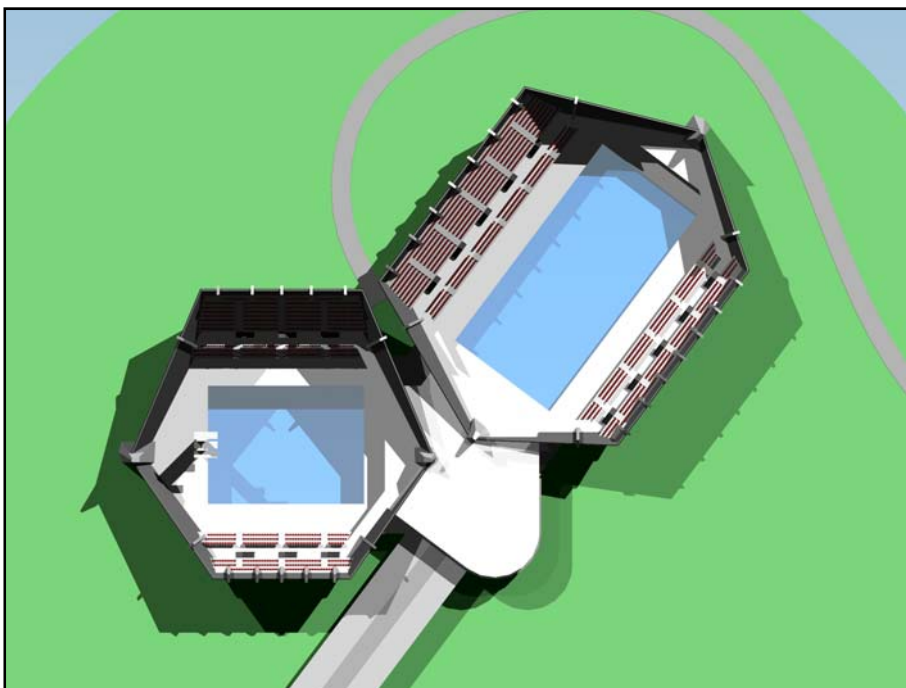
Afbeelding 3.26: zichtlijnen tribune

Route

De route voor het 'natte' en 'droge' verkeer is in het uiteindelijke ontwerp omgekeerd. Zo zijn de verschillende ruimten beter te ontsluiten. Ook het fitness gedeelte is nu praktischer te bereiken voor niet zwemmers. Ter hoogte van de verbinding met het subtropisch bad kruisen de stromingen elkaar.



Afbeelding 3.27: Overzicht tribunes lange zijde



Afbeelding 3.28: Bovenaanzicht tribunes

De totale capaciteit van het zwembad is nu 2300 zitplaatsen. Dit is verdeeld in 1380 zitplaatsen bij het 50 meter bad en 920 zitplaatsen bij het springbad. Door de brede looppaden langs de baden is het mogelijk om hier extra zitplaatsen te creëren zodat de capaciteit tijdelijk vergroot kan worden. Ook de grote inloopplateaus voor de tribunes kunnen plaats bieden voor extra plaatsen.

Materialen

Veel materialen zijn al eerder besproken. Hieronder worden kort de overige materialen aangegeven.

Hoofddraagconstructie

De hoofddraagconstructie bestaat voor het overgrote deel uit staal. Dit staal is verwerkt in de verschillende vakwerken, de tertiaire liggers en de Steeldeck vloeren. De krachten worden via betonnen elementen naar de fundering afgeleid. Voor de drukboog zijn aparte elementen ontworpen, de krachten uit de vakwerkliggers worden via de schuin lopende tribuneschijven naar de fundering gebracht.

Tribunes

De tribunes bestaan uit betonnen elementen. Deze elementen worden geprefabriceerd op de juiste lengte. Door de aanpassing in het ontwerp kunnen nu alle elementen met maar één mal worden gemaakt.

Gevels

De isolatie wordt bevestigd tegen de onderkant van de tribune-elementen, hierdoor krijg je een losse scheidende en een losse visuele schil. De visuele schil bestaat uit stalen persroosters, dit is verder uitgewerkt in de details.



Afbeelding 3.29: Bovenaanzicht uiteindelijk ontwerp

4. Belastingen

Voordat met de berekeningen begonnen kan worden is met een aantal versimpelde berekeningen globaal de krachten en de momenten bepaald. Aan de hand hiervan zijn de hoogte van de primaire vakwerkdrukboog en de secundaire vakwerkligger bepaald. De totale kracht die deze elementen op moeten kunnen nemen wordt nu verder bepaald. Op de versimpelde berekeningen wordt verder niet meer ingegaan. Deze maten zijn wel nodig voor het bepalen van de hart op hart afstanden van de onderliggende onderdelen. Bij de vakwerken staan alle diagonalen onder een hoek van 45° met de onderregel. Hierdoor wordt de afstand, van de knooppunten waar zonder buiging krachten overgebracht kunnen worden, twee maal

de hoogte van het vakwerk. Bij de primaire vakwerkdrukboog is voor een hoogte van 2400 mm gekozen, bij de secundaire vakwerkligger is dit 1500 mm. Verder is bij alle berekeningen een extra veiligheid ingebouwd door een 'unity check' te doen met een controlewaarde kleiner dan 1,0. De hiervoor gekozen waarde is afhankelijk van de te verwachten onnauwkeurigheid en bijkomende effecten die bij de versimpelde berekeningen niet zijn meegenomen.

4.1. Permanente belastingen

Dakopbouw

Voor de bescherming tegen de elementen wordt gebruikt gemaakt van een zinken felsdak. Deze afwerking wordt geplaatst op een dampopen waterdichte folie. Hieronder wordt de isolatie geplaatst welke aan de onderkant wordt voorzien van een dampscherm. De belasting wordt via Steeldeck onderdakplaten afgedragen naar HEA-liggers. Deze liggers dragen de belasting vervolgens af naar de secundaire vakwerkliggers. De vakwerkliggers zijn recht en verdelen de krachten over de vakwerkboog in het midden en de betonnen tribuneschijven aan de zijanten. Zowel de primaire als de secundaire liggers zijn aan de buitenkant van de schil geplaatst. Zie ook afbeelding 3.25.

Zinken felsdak

De dakbedekking bestaat uit een zinklaag met staande naden. Er wordt gebruik gemaakt van een product met een speciale onderlaag, zodat het niet nodig is om het zink te ventileren. Hierdoor wordt veel werk uitgespaard. De zinklaag wordt op een dampscherm geplaatst.

Soortelijk gewicht	7200 kg/m ³
Dikte	0,7 mm
Gewicht	5,1 kg/m ²

Tabel 4.1: Overzicht eigenschappen zinken felsdak

Isolatielaag

De isolatielaag bestaat uit polyisocyanuraatschuim, ook wel PIR genoemd. Voor dit materiaal is gekozen vanwege het lage eigen gewicht en het goed isolerende vermogen. Ook is de verwerking van dit materiaal goed te combineren met de ondergrond en de bovenliggende zinklaag. Aan de hand van de warmteweerstand is de dikte van de isolatielaag bepaald, hierbij is uitgegaan van een minimale warmteweerstand van 3,0 m²K/W. De isolatielaag wordt geplaatst op een dampopen waterdichte folie.

Soortelijk gewicht	30 kg/m ³
Dikte	80 mm
Gewicht	2,4 kg/m ²
Warmtegeleidingscoëfficiënt	0,24 W/mK
Warmteweerstand	3,3 m ² K/W

Tabel 4.2: Overzicht eigenschappen isolatielaag

Steeldeck onderdakplaat

Er is voor deze platen gekozen omdat deze in verzinkte vorm weinig problemen geven met de hoge luchtvochtigheid in het zwembad. Ook andere platen zijn nader bekeken. Deze platen maken het mogelijk om de het dakvlak in één richting te krommen, dit is belangrijk voor het totale ontwerp. De hoogte van de platen is gekozen aan de hand van ontwerptabellen welke door de fabrikant worden gegeven. Deze steeldeck onderdakplaten dragen de dakbelasting af naar HEA-liggers.

Hoogte	135 mm
Dikte	1,25 mm
Breedte	930 mm
Gewicht	15,8 kg/m ²
Maximaal veldmoment	11,65 kNm

Tabel 4.3: Overzicht eigenschappen Steeldeck onderdakplaat

Eigen gewicht dakpakket

De gewichten van de verschillende onderdelen van het dakpakket zijn nu bekend. Ook is er belasting in rekening gebracht voor het aanbrengen van interieuronderdelen, zoals akoestische panelen, verlichting en klimaatsystemen. Hiervoor is 50 kg/m² aangehouden. Hieruit volgt voor het totale dakpakket: $P_{rep} = 0,73$ kN/m².

4.2. Veranderlijke belasting

Het gaat hier om een dakbelasting, er wordt dus gekeken naar wind en sneeuw. Voor de momentaanfactor bij deze belastingen geldt: $\Psi = 0$.

Windbelasting

De windbelasting bestaat uit winddruk en windzuiging. Windzuiging is tegengesteld aan de belasting ten gevolge van het eigen gewicht van het dak. Voor de windbelasting geldt:

$$P_{rep} = C_{dim} \cdot C_{index} \cdot P_w \quad (4.1)$$

waarin:

- P_{rep} : windbelasting, in kN/m²
- C_{dim} : factor voor afmetingen van het gebouw
- C_{index} : windvormfactor
- P_w : extreme stuwdruk afhankelijk van locatie en hoogte

De factor welke de afmetingen van het gebouw in rekening brengt kan uit een tabel af worden gelezen: $C_{dim} = 0,89$.

De maximale helling van het dak is 33°, nu kunnen de maximale waarden voor de windvormfactoren afgelezen worden. Voor windzuiging geldt: $C_{index} = -0,7$. Voor winddruk geldt: $C_{index} = 0,5$.

Het gaat hier om een gebouw in windgebied III waarbij er zich in de omgeving weinig bebouwing bevindt. Het gebouw heeft een maximale hoogte van ongeveer 30 m, hierdoor geldt: $P_w = 1,06$.

Nu is het mogelijk om de windbelasting te bepalen. Voor windzuiging geldt:

$$P_{rep} = 0,89 \cdot -0,7 \cdot 1,06 = -0,67 \text{ kN/m}^2$$

Voor winddruk geldt:

$$P_{rep} = 0,89 \cdot 0,5 \cdot 1,06 = 0,48 \text{ kN/m}^2$$

Sneeuwbelasting

Voor de sneeuwbelasting geldt:

$$P_{rep} = c_i \cdot P_{sn;rep} \quad (4.2)$$

waarin:

P_{rep} : sneeuwbelasting, in kN/m²

c_i : sneeuwvormfactor

$P_{sn;rep}$: gewicht laag van 350 mm sneeuw : $P_{sn;rep} = 0,7 \text{ kN/m}^2$

De sneeuwvormfactor is afhankelijk van de helling van het dak. Omdat het dak veel verschillende hellingen heeft wordt hier de maximale waarde voor de sneeuwvormfactor aangehouden, hierdoor geldt: $C_i = 1,2$.

Nu is het mogelijk om de sneeuwbelasting te bepalen, hieruit volgt:

$$P_{rep} = 1,2 \cdot 0,7 = 0,84 \text{ kN/m}^2$$

Conclusie

Wanneer naar de belastingen wordt gekeken blijkt dat de sneeuwbelasting maatgevend is. De belastingen ten gevolge van windzuiging wordt voor een deel gecompenseerd door het eigen gewicht van de constructie. Alle onderdelen die deze belastinggevalen op moeten nemen zullen zowel in de positieve als de negatieve richting ongeveer dezelfde krachten op kunnen nemen. Daarom zal verderop alleen naar de positieve belastingen worden gekeken.

Verder geeft de norm dat er bij daken waarvan de helling kleiner dan 15° is, gerekend moet worden met de mogelijkheid van wateraccumulatie. Hiervoor wordt een oppervlakte van 10 m² belast door een gelijkmatig verdeelde belasting van 1,0 kN/m². Deze belasting wordt als maatgevend aangehouden voor de verdere berekening, hierdoor geldt voor de veranderlijke belasting: $P_{rep} = 1,0 \text{ kN/m}^2$. Door deze aanname wordt de belasting naar de veilige kant afgerond.

5. Constructieve uitwerking

Nu de belastingen bekend zijn wordt het mogelijk om alle constructieve onderdelen verder uit te rekenen en te toetsen volgens de bijbehorende toetsingsregels. Het hele proces is samengevoegd in een Excel-sheet dat op bijgevoegde cd-rom te vinden is. Alle onderdelen hebben in de Excel-sheet een apart tabblad gekregen. Er wordt van onderuit begonnen met rekenen. Zo is het mogelijk om alle belastingen op de juiste manier in rekening te brengen. In onderstaande beschrijving zijn de berekenen verkort uitgeschreven.

Er is gebruik gemaakt van data zoals deze door diverse leveranciers wordt aangeleverd. Verder zijn ook twee bibliotheken (één voor de tertiaire HEA profielen en één voor de buisprofielen waarvan de vakwerken worden gemaakt) met staalprofielen gegenereerd om zo de juiste eigenschappen met elkaar te koppelen. Door de verschillende constructie principes van de constructiedelen hebben er vier typen berekeningen plaatsgevonden voor de hoofdconstructie, namelijk: een vloer, een ligger, een vakwerkligger en een vakwerkdrukboog.

5.1. Steeldeck onderdakplaten

De dakplaten worden getoetst op het maximale moment dat door de fabrikant opgegeven wordt. Deze toetsing kan eenvoudig uit worden gevoerd. De hart op hart afstand van de HEA-liggers waarop de onderdakplaten gelegd worden is 6,0 m, dit volgt uit de geometrie van de secundaire vakwerkliggers. Er is voor een zo groot mogelijke overspanning gekozen om zo het aantal doorbrekingen van het dak zo klein mogelijk te houden.

Tijdens de uitvoering wordt er van uitgegaan dat de belasting ongeveer overeenkomt met de latere veranderlijke belasting. Wanneer de berekening voldoet voor de eindtoestand zullen de dakplaten dus ook in de uitvoeringsfase voldoen. De berekening wordt uitgevoerd voor een plaat met een breedte van 1,0 m. Hierdoor kan de belasting gemakkelijk om worden gezet in een lijnlast.

Belasting

$$q_d = \gamma_g \cdot q_g + \gamma_q \cdot q_q \quad (5.1)$$

waarin:

- q_d : rekenbelasting, in kN/m²
- γ_g : belastingfactor permanente belasting : = 1,2
- q_g : gelijkmatig verdeelde permanente belasting, in kN/m²
- γ_q : belastingfactor veranderlijke belasting : = 1,5
- q_q : gelijkmatig verdeelde veranderlijke belasting, in kN/m²

Hieruit volgt:

$$q_d = 1,2 \cdot 0,73 + 1,5 \cdot 1,0 = 2,38 \text{ kN/m}$$

Nu kan het moment in een plaat worden bepaald:

$$M_{midden} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot \ell^2 \Rightarrow M_{midden} = \frac{1}{8} \cdot 2,38 \cdot 6,0^2 = 10,71 \text{ kNm}$$

Deze waarde is lager dan het maximale moment van 11,65 kNm dat de fabrikant opgeeft. Uit de tabellen van de fabrikant is ook de doorbuiging te bepalen, ook deze valt binnen de gestelde grenzen.

5.2. Tertiaire HEA-liggers

De HEA-liggers hebben een hart op hart afstand van 6,0 m. De overspanning van deze liggers is afhankelijk van de positie in het dak. Voor het bepalen van de dimensies en de toetsing van de liggers wordt de maximale overspanning aangehouden, deze maximale overspanning is 9,1 m. Er zal getoetst worden op sterkte en op doorbuiging. De berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van een Excel-sheet. Voor het eigen gewicht van de balk wordt de hoogte in eerste instantie geschat met behulp van een vuistregel. Het blijkt dat de doorbuiging maatgevend is.

Verder is er gekozen voor een standaard staalkwaliteit S235 en wordt bij de 'unity check' uitgegaan van een waarde kleiner dan 0,8. Hierdoor wordt extra veiligheid in de constructie gebracht zodat er nog voldoende capaciteit over blijft voor effecten die niet in deze berekeningen mee zijn genomen. Bij deze berekeningen komt naar voren dat een HE 300 A voldoet. Deze afmeting is kleiner dan de geschatte afmeting, het aangenomen eigen gewicht is hoger en hierdoor aan de veilige kant. De belasting ten gevolge van het eigen gewicht wordt verder in de berekeningen meegenomen als een gelijkmatig verdeelde belasting. Hierdoor komt de permanente belasting voor de secundaire vakwerkliggers op 0,88 kN/m². Deze belasting is nog zonder het eigen gewicht van de vakwerkligger.

5.3. Secundaire vakwerkliggers

De berekening van de secundaire vakwerkliggers is wat ingewikkelder, het eigen gewicht van de staven is hierbij van groot belang. Deze berekening is dan ook uitgevoerd met behulp van de eerder gemaakte Excel-sheet. Deze sheet is verder uitgebreid om zo de berekening nauwkeuriger te maken. Allereerst wordt het eigen gewicht bepaald van de vakwerkligger. Ook de lengte van de diagonalen wordt hierin meegenomen. Door het kiezen van ontwerpafmetingen voor de staven kan de ontwerpbelasting worden bepaald. Wanneer de totale belasting bekend is kan hieruit de normaalkracht en de boven- en onderstaaf worden bepaald. De staven worden vervolgens op deze normaalkracht getoetst. Allereerst vindt er een toets plaats voor de sterkte van de ligger op trek of op druk. Daarna wordt een toets uitgevoerd voor knik van de afzonderlijke staven. Alleen de bovenstaaf wordt belast door drukkrachten, alleen hier hoeft dus te worden getoetst op knik. Het blijkt dat in dit geval dat de maximale normaalkrachten en de maximale knikkrachten per staaf erg dicht bij elkaar liggen. Hierdoor is dus niet een bepaald onderdeel overgedimensioneerd en wordt een economische constructie bereikt. Bij de vakwerkliggers wordt de 'unity check' uitgevoerd met een controlewaarde van 0,7. Hiermee worden onder andere effecten die niet mee zijn genomen in de berekening verrekend. Dit is allemaal duidelijk terug te vinden in de rekensheet op de bijgevoede cd-rom.

De Excel-sheet geeft een lijst met de 20 meest economische doorsneden die aan de hierboven aangegeven voorwaarden voldoen. Uit deze mogelijkheden worden de staven gekozen, hierbij wordt een buis gekozen met een grote wanddikte. Zo is het mogelijk om bij kleinere overspanningen, door het kiezen van een buis met dezelfde diameter en een kleinere wanddikte, hetzelfde uiterlijk te krijgen en toch economisch bezig te zijn. De gekozen buizen die horen bij de maximale overspanning zijn hieronder aangegeven:

Bovenstaven	CFCHS 4570 x 160
Onderstaven	CFCHS 3556 x 100
Tussenstaven	CFCHS 1937 x 100

Tabel 5.1: Overzicht buizen voor maximale overspanning van secundaire vakwerkligger

Hierdoor komt de permanente belasting voor de primaire vakwerkboog op 1,41 kN/m². Deze belasting is nog zonder het eigen gewicht van de vakwerkboog.

5.4. Primaire vakwerkdrukboog

Met behulp van de hierboven gevonden belasting is het mogelijk om de geometrie van de dwarsdoorsnede in Matrix te zetten. Omdat de vakwerkboog schuin staat wordt de belasting niet helemaal gelijk verdeeld. Met Matrix is bepaald dat de boog 53,8% van de verticale belasting naar zich toetrekt. Met deze waarde wordt het nu mogelijk om de puntlasten die aangrijpen op de boog te bepalen. Deze puntlasten komen voort uit het aangrijpen van de secundaire vakwerkliggers. Verder is in een eerdere simpele berekening ongeveer de afmetingen van de buizen bepaald. Hierdoor wordt het ook mogelijk om het eigen gewicht van de totale boog te bepalen en deze als lijnlast op de constructie te zetten. Doordat de belasting vooral door drukkrachten wordt opgenomen is er voor gekozen om de 3 buizen, in Nabla-vorm, gelijk te houden qua afmetingen. De boog is in Matrix gesimuleerd met een lijn. Doordat de boog niet volledig de kettinglijn volgt ontstaan er kleine momenten, deze momenten worden omgezet in normaalkrachten in de boven- en onderregel. Het eigen gewicht zorgt in de afzonderlijke staafdelen voor een klein buigend moment. Met behulp van Matrix zijn de krachten bepaald, aan de hand van deze krachten zijn de definitieve buisafmetingen bepaald. De normaalkracht in de boog bedraagt 7698 kN, het moment bedraagt 2817 kNm. Nu is het mogelijk om de resulterende normaalkracht:

$$N = 7698 + \frac{2817}{2,4} = 8872 \text{ kN}$$

Per buis geldt:

$$N_{\text{buis}} = \frac{1}{3} \cdot 8872 = 2957 \text{ kN}$$

Nu deze kracht bekend is kan de minimale oppervlakte van de buis eenvoudig worden bepaald:

$$A_{\text{min}} = \frac{2957 \cdot 10^3}{355} = 8331 \text{ mm}^2$$

De extra normaalkrachten die ontstaan ten gevolge van het moment in de geschematiseerde lijn worden als drukkrachten opgenomen in de bovenste twee staven. De trekkracht die ontstaat in de onderste staaf werkt gunstig omdat deze is tegengesteld aan de drukkrachten ten gevolge van de belasting op de boog. Bij de berekeningen is er vanuit gegaan dat elke buis evenveel kracht opneemt, hierdoor is aangenomen dat de onderbuis een groter gedeelte van de normaalkracht ten gevolge van de boogwerking voor zijn rekening neemt. Er is voor een grote extra veiligheid gekozen omdat deze effecten zijn benaderd. Dit komt ook door de aannamen en versimpelingen die zijn gedaan. Zo is de boog geschematiseerd tot een lijn en is er niet gekeken voor knik van de gehele boog. Deze aspecten gaan te ver om in dit ontwerpproject verder uit te werken. Door het kiezen van een extra grote veiligheid kan de constructie toch goed ontworpen worden. De uiteindelijke 'unity check' heeft een waarde van 0,38. De gekozen buizen hebben een oppervlakte van 22167 mm² en zijn hieronder aangegeven:

Boven- en onderstaven	CFCHS 4570 x 160
Tussenstaven	CFCHS 2445 x 120

Tabel 5.2: Overzicht buizen van primaire vakwerkdrukboog

5.5. Grenskrachten verbinding tribuneschijf met ligger

Ook de verbinding van de vakwerkligger met de tribuneschijf is getest. De krachten die op deze verbinding werken zijn bepaald met behulp van Matrix. Deze waarde geldt voor de afschuiving per schijf. Het programma geeft een horizontale en een verticale component, deze zijn samengesteld:

$$F_{v;s;d} = \sqrt{228^2 + 529^2} = 576 \text{ kN}$$

Er wordt een stalen pen met een diameter van 70 mm gekozen voor het maken van de verbinding. Deze pen wordt getoetst op afschuiving.

Afschuiving van de stalen pen

Het afschuifvlak gaat door de schacht, hierdoor geldt onderstaande formule:

$$F_{v;u;d} = \frac{0,6 \cdot f_{t;b;d} \cdot A_b}{\gamma_M} \quad (5.2)$$

waarin:

- $F_{v;u;d}$: rekenwaarde schuifkracht
- $f_{t;b;d}$: rekenwaarde treksterkte boutmateriaal : $f_{t;b;d} = 800 \text{ N/mm}^2$
- A_b : oppervlakte schacht
- γ_M : modelfactor : $\gamma_M = 1,25$

Bepalen oppervlakte schacht (A_b)

Hiervoor wordt de oppervlakte van de pen bepaald:

$$A_b = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \Rightarrow A_b = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 70^2 = 3848 \text{ mm}^2$$

Bepalen rekenwaarde schuifkracht ($F_{v;u;d}$)

Met formule (5.2) is het nu mogelijk om de rekenwaarde van de schuifkracht te berekenen:

$$F_{v;u;d} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 3848}{1,25} = 1478 \cdot 10^3 \text{ N} = 1478 \text{ kN}$$

Deze waarde geldt per schuifvlak. Omdat er twee schuifvlakken per verbinding zijn geldt voor de totale schuifkracht:

$$F_{v;u;d} = 2 \cdot 1478 = 2956 \text{ kN}$$

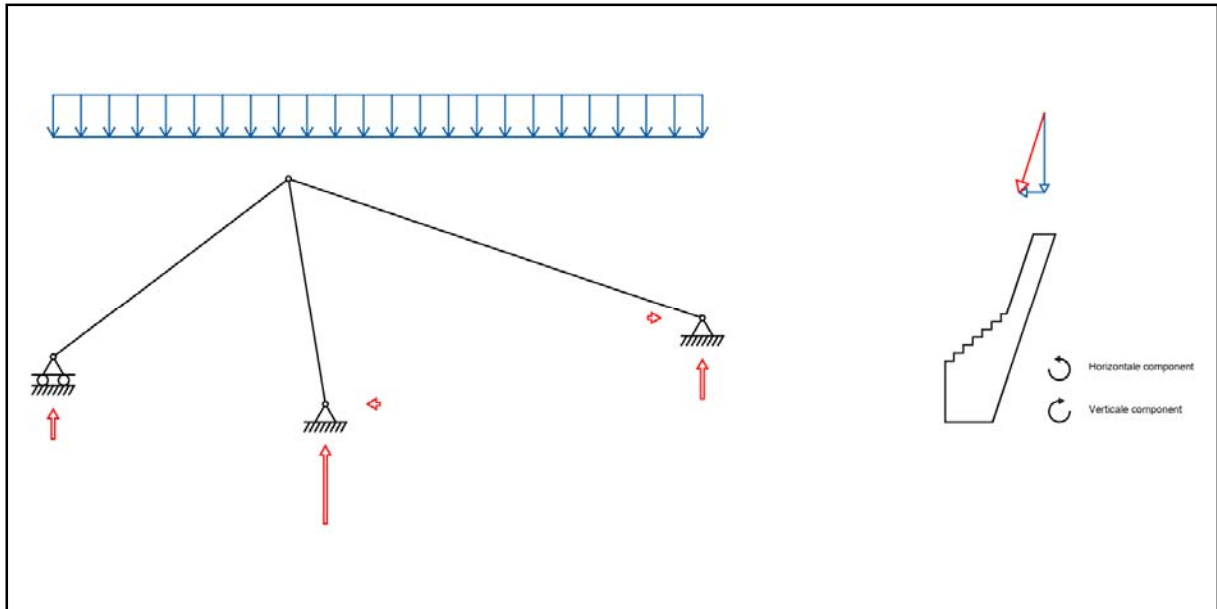
Toetsing

$$\frac{F_{v;s;d}}{F_{v;u;d}} \leq 1 \Rightarrow \frac{576}{2956} = 0,19 \leq 1$$

De verbinding voldoet op afschuiving

5.5. Krachtwerking in dwarsrichting

In de dwarsrichting is ervoor gekozen om de secundaire vakwerkliggers aan één schijf scharnierend vast te maken en aan de andere schijf wordt een schuifverbinding gerealiseerd. Op deze manier kan de constructie vrij bewegen. In onderstaand mechanicaschema is het principe duidelijk te zien.



Afbeelding 5.1: Mechanicaschema in dwarsrichting

De scharnierde verbinding is aan de hoogste tribuneschijf vastgemaakt. Doordat de boog in de andere richting helt, komt er ten gevolge van de verticale belasting een trekkracht in de secundaire ligger. Deze trekkracht zorgt voor een moment in de tribuneschijf, maar dit moment is tegengesteld aan het moment ten gevolge van de verticale reactiekracht die de ligger levert. Wanneer de krachten samen worden gesteld is duidelijk te zien dat de kracht de dezelfde richting heeft als de schuine van de tribuneschijf. Hierdoor ontstaat er onder aan de voet van de schijf maar een heel klein moment. Dit wordt vanzelfsprekend ook teruggevonden wanneer de momenten worden bepaald. Deze momenten zijn ongeveer gelijk aan elkaar. De verticale kracht is groter maar een kleinere arm dan de horizontale kracht. Doordat de extra kracht in de secundaire ligger een trekkracht is werkt deze kracht ook gunstig voor de knikstabiliteit.

5.7. Matrix berekeningen

Het programma Matrix is diverse malen gebruikt tijdens dit project, zowel in de ontwerpfase als bij het berekenen van de constructie. De in- en uitvoer hiervan is terug te vinden in bijlage B.

6. Detaillering

De details zijn te vinden in de bijlage C. Het bepalen van de afmetingen voor de constructieve elementen is in voorgaande hoofdstukken besproken. Verder is er ook aandacht geschonken aan het dimensioneren van de regenwaterafvoer.

6.1. Afvoergoten

Omdat het ontwerp een grote overspanning heeft, hoort hier ook een groot dakvlak bij. Om ervoor te zorgen dat al het regenwater goed afgevoerd kan worden is er een aparte berekening gemaakt voor de dakgoot, deze is hieronder te vinden.

Bepalen van de afvoerbelasting

Voor de bepaling van de afvoergoten is gebruik gemaakt van NEN 3215 'Binnenriolering'.

Wanneer theoretisch naar de maximale regenintensiteit wordt gekeken kom je in Nederland uit op 540 tot 600 l/(s·ha). Het is niet helemaal realistisch om op deze waarde te gaan dimensioneren. Deze regenval komt namelijk maar zelden voor en in die gevallen is niet de regenafvoer van het gebouw, maar de riolering zelf maatgevend. Men zal moeten accepteren dat het HWA-systeem eens in de 5 jaar over zou kunnen lopen. Bij deze kans kan de waarde worden gehalveerd, dit is ook wat in de norm gebeurt. Hierdoor geldt voor de regenintensiteit: $i = 0,03 \text{ l/(s·m}^2\text{)}$. Met behulp van formule (6.1) kan nu de hemelwaterbelasting worden berekend. Deze hemelwaterbelasting zal per segment worden berekend, een segment zal de breedte tussen twee tribuneschijven hebben.

$$Q_h = \alpha \cdot i \cdot \beta \cdot F \quad (6.1)$$

waarin:

- Q_h : hemelwaterbelasting, in l/s
- α : reductiefactor voor de regenintensiteit
- i : regenintensiteit, in l/(s·m²) : $i = 0,03 \text{ l/(s·m}^2\text{)}$
- β : reductiefactor voor alleen de dakbreedte
- F : oppervlakte, in m²

Bepalen reductiefactor voor de regenintensiteit (α)

Met behulp van tabel 10 uit eerdergenoemde norm kan de reductiefactoren worden bepaald. Deze is afhankelijk van de helling van het dak en het al dan niet voorzien zijn van een aardlaag of een ballastlaag van grind. Het ontwerp heeft overal een helling, hierdoor volgt uit de tabel: $\alpha = 1,0$.

Bepalen reductiefactor voor de dakbreedte (β)

Deze reductiefactor is afhankelijk van de hoek (ϵ) die het dak maakt. In tabel 11 uit de norm valt nu de reductiefactor af te lezen. In het ontwerp geldt voor elke dakhelling: $\epsilon \leq 45^\circ$, hieruit volgt: $\beta = 1,0$.

Bepalen oppervlakte dakvlak (F)

Voor het berekenen van de dakgoot is er van uitgegaan dat de goot gesegmenteerd wordt aangelegd tussen de tribuneschijven. De breedte van het daksegment verloopt over de hoogte, ter hoogte van de goot is de dakbreedte het kleinst. Om het totale dakoppervlak per gootdeel te kunnen bepalen wordt dus uitgegaan van de grootste gemiddelde segmentbreedte, hiervoor geldt:

$$l = \frac{1}{2} \cdot (9,1 + 7,5) = 8,3 \text{ m}$$

Er wordt bij deze berekening in de andere richting gekeken. De lengtemaat correspondeert met de gootlengte. Hierdoor wordt de lengte van het dak en de secundaire ligger vertaald in een breedte. De maximale overspanning bedraagt in dat vlak 41,7 meter, hierdoor geldt: $b = 41,7 \text{ m}$. Hieruit volgt:

$$F = l \cdot b \Rightarrow F = 8,3 \cdot 41,7 = 346,1 \text{ m}^2$$

Bepalen hemelwaterbelasting (Q_h)

Nu alle gegevens bekend zijn is het mogelijk om de hemelwaterbelasting per segment te berekenen.

$$Q_h = 1,0 \cdot 0,03 \cdot 1,0 \cdot 346,1 = 10,38 \text{ l/s}$$

Bepalen van de afvoercapaciteit

Voordat aan de berekening van de capaciteit wordt begonnen wordt eerst gekeken naar de voorwaarden waaraan de afvoer moet voldoen. Deze voorwaarden zijn terug te vinden in hoofdstuk 4 van de norm. Omdat het dakvlak groter is dan 100 m^2 moet moeten er minimaal twee standleidingen worden gebruikt. Ook is de maximale lengte van de goot afhankelijk van de ontwerp-middellijn van de afvoer. Omdat de goot een lengte heeft van 7,5 meter valt deze lengte ruim binnen de gestelde normen en hoeven er dus geen extra afvoerpunten gemaakt te worden. Verder moet de goot aan onderstaande voorwaarden voldoen:

$$h \geq 0,65 \cdot d$$

$$A \geq 1,3 \cdot d^2$$

$$b \geq 2 \cdot d$$

waarin:

h : hoogte van de dakgoot, in mm

d : ontwerp-middellijn van de hemelwaterstandleiding, in mm

b : breedte van de dakgoot, in mm

A : oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de dakgoot, in mm^2

De norm geeft dus aan dat er minimaal twee standleidingen per goot gebruikt moeten worden. Met onstaande formule is het mogelijk om de afvoercapaciteit te bepalen:

$$Q_a = \mu \cdot r \cdot g \cdot d^{2,5} \tag{6.2}$$

waarin:

Q_a : afvoercapaciteit, in l/s

μ : constante : $\mu = 4100$

r : factor voor de instroming

g : factor voor de afvoer

d : ontwerp-middellijn van de hemelwaterstandleiding, in m

Bepalen factor voor de instroming (r)

Deze waarde is afhankelijk van al dan niet aanwezig zijn van een conische inloop. Ook de afstand als de opstaande randen ver verwijderd zijn van de afvoer mag hier een grotere waarde worden kozen. In het ontwerp wordt hier geen gebruik van gemaakt, hieruit volgt: $r = 1,0$.

Bepalen factor voor de afvoer (g)

Deze waarde is in het geval van een goot met afvoer afhankelijk van de verhouding tussen de hoogte van de dakgoot en de ontwerpmiddellijn van de hemelwaterstandleiding. Hiervoor geldt:

$$\begin{aligned} h \geq d & : g = 0,6 \\ 0,65 \cdot d \leq h < d & : g = 0,3 \end{aligned}$$

Er wordt gebruik gemaakt van een op maat gemaakte goot. Hierbij wordt de hoogte van de goot groter gehouden dan de ontwerpmiddellijn van de hemelwaterstandleiding, hierdoor geldt: $g = 0,6$.

Bepalen ontwerpmiddellijn van de hemelwaterstandleiding

Omdat de benodigde afvoercapaciteit bekend is kan de formule om worden geschreven zodat de ontwerpmiddellijn van de hemelwaterstandleiding bepaald kan worden. De formule komt er dan als volgt uit te zien:

$$d = 2,5 \sqrt{\frac{Q_a}{\mu \cdot r \cdot g}} \quad (6.3)$$

Omdat er gebruik wordt gemaakt van twee afvoeren per segment kan de capaciteit door twee gedeeld worden, hierdoor geldt:

$$Q_a = \frac{Q_h}{2} \Rightarrow Q_a = \frac{10,38}{2} = 5,19 \text{ l/s}$$

Hieruit volgt:

$$d = 2,5 \sqrt{\frac{5,19}{4100 \cdot 1,0 \cdot 0,6}} = 0,085 \text{ m} = 85 \text{ mm}$$

Dit is de minimale afmeting van de afvoerbuis. Deze zou verkleind kunnen worden door de invoer conisch te maken, maar dit is vrij arbeidsintensief en niet nodig. Er wordt gekozen voor een standaardafvoer van 100 mm. Met de voorwaarden welke genoemd zijn in de norm is het nu mogelijk om de overige afmetingen van de goot te bepalen. Voor de goot wordt een hoogte van 140 mm aangehouden, hierdoor geldt: $h = 140 \text{ mm}$. De gemiddelde breedte van de goot wordt 225 mm, hierdoor geldt: $b = 225 \text{ mm}$. Nu de afmetingen bekend zijn worden de voorwaarden gecontroleerd:

$$\begin{aligned} h \geq 0,65 \cdot d & : 140 \geq 0,65 \cdot 85 \Rightarrow 140 \geq 55 \\ A \geq 1,3 \cdot d^2 & : 140 \cdot 225 \geq 1,3 \cdot 100^2 \Rightarrow 31500 \geq 9407 \\ b \geq 2 \cdot d & : 225 \geq 2 \cdot 100 \Rightarrow 225 \geq 170 \end{aligned}$$

Aan alle voorwaarden wordt ruim voldaan. Om de factor voor de afvoer niet te hoeven verlagen moet de hoogte van de goot groter zijn dan de ontwerpmiddellijn van de hemelwaterstandleiding, hieraan wordt ook voldaan.

Literatuurlijst

Boeken

- Verburg, W.H. (2004). *Basisboek ((Over) spannend staal. Deel 1)*. Rotterdam: Stichting Kennisoverdracht.
- Man, G. de (2001). *Construeren A ((Over) spannend staal. Deel 2)*. Rotterdam: Stichting Kennisoverdracht.
- Rolloos, A. & Spil, B.C.A. (1996). *Construeren B ((Over) spannend staal. Deel 3)*. Rotterdam: Stichting Kennisoverdracht.
- Polonyi, S. (2003). *Architektur und Tragwerk*. Berlin: Ernst & Sohn.
- Fairweather, V. (2004). *Expressing structure: the technology of large-scale buildings*. Bsel: Birkhaeuser.
- Vis, W.C. & Sagel, R. (2001). *Constructief ontwerpen in beton*. 's-Hertogenbosch: Stichting ENCI Media.

Internetsites

- www.constructalia.com
- www.bouwenmetstaal.nl

Vakbladen

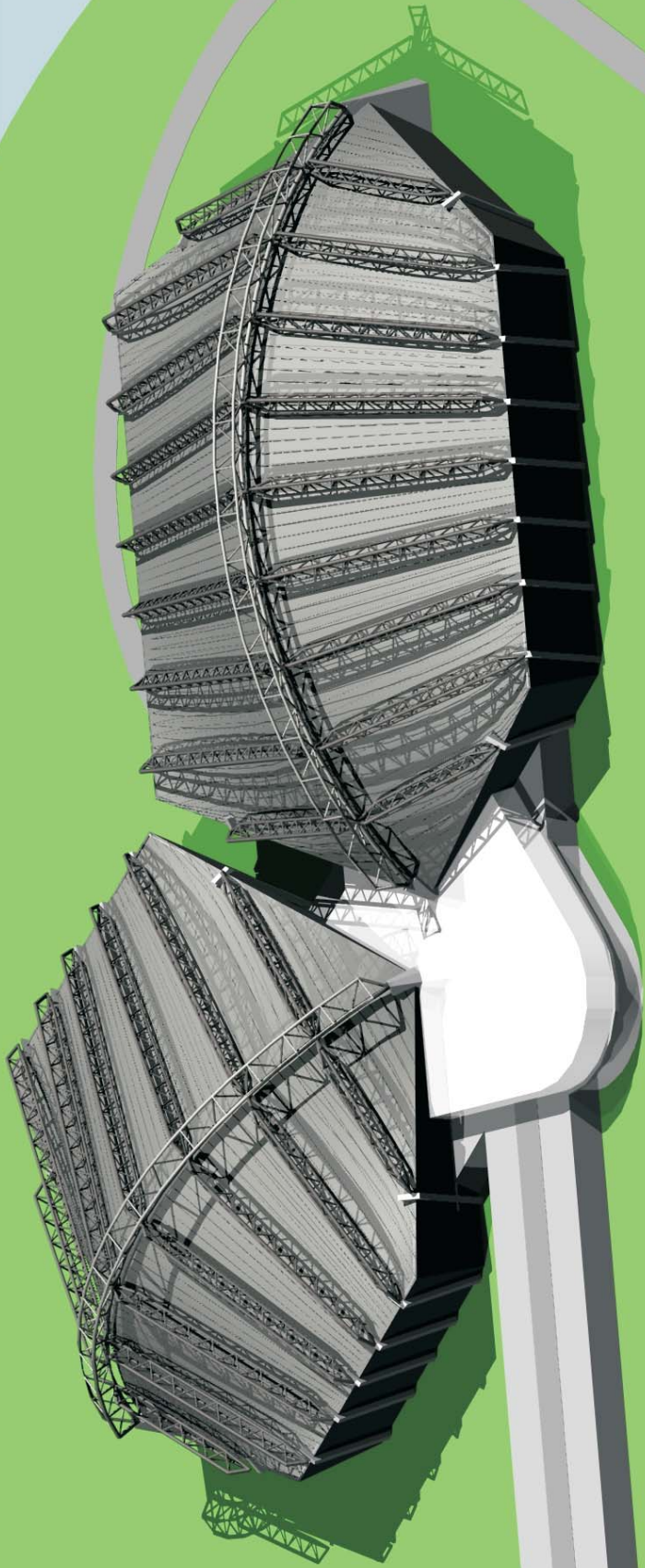
- Diverse uitgaven Bouwen met Staal
- Diverse uitgaven Cement
- Diverse uitgaven Bouwwereld

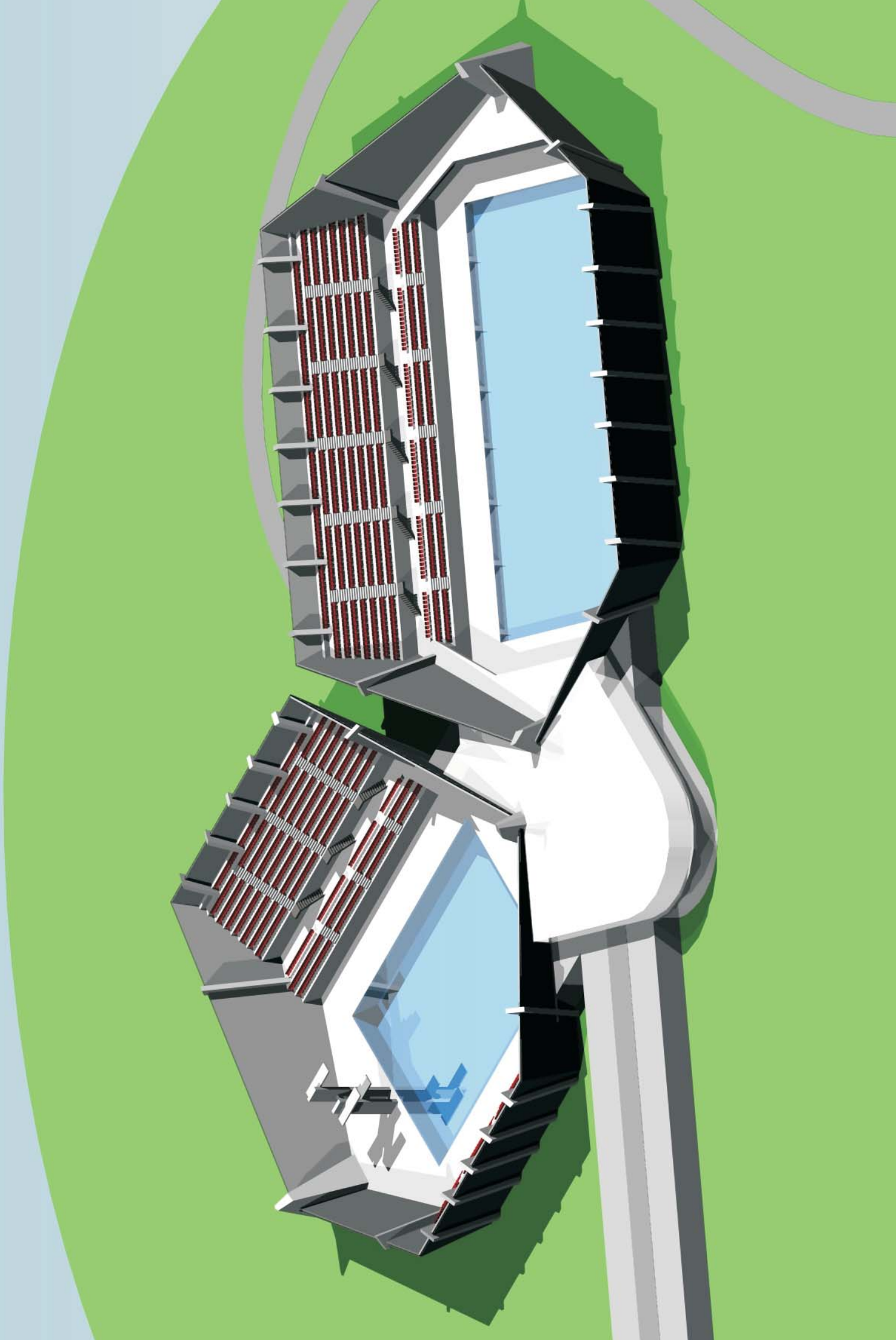
Dictaten

- Diverse dictaten Bouwkunde

Bijlage A: Visualisaties zwemstadion

- Totaal overzicht
- Binnenkant zwemstadion



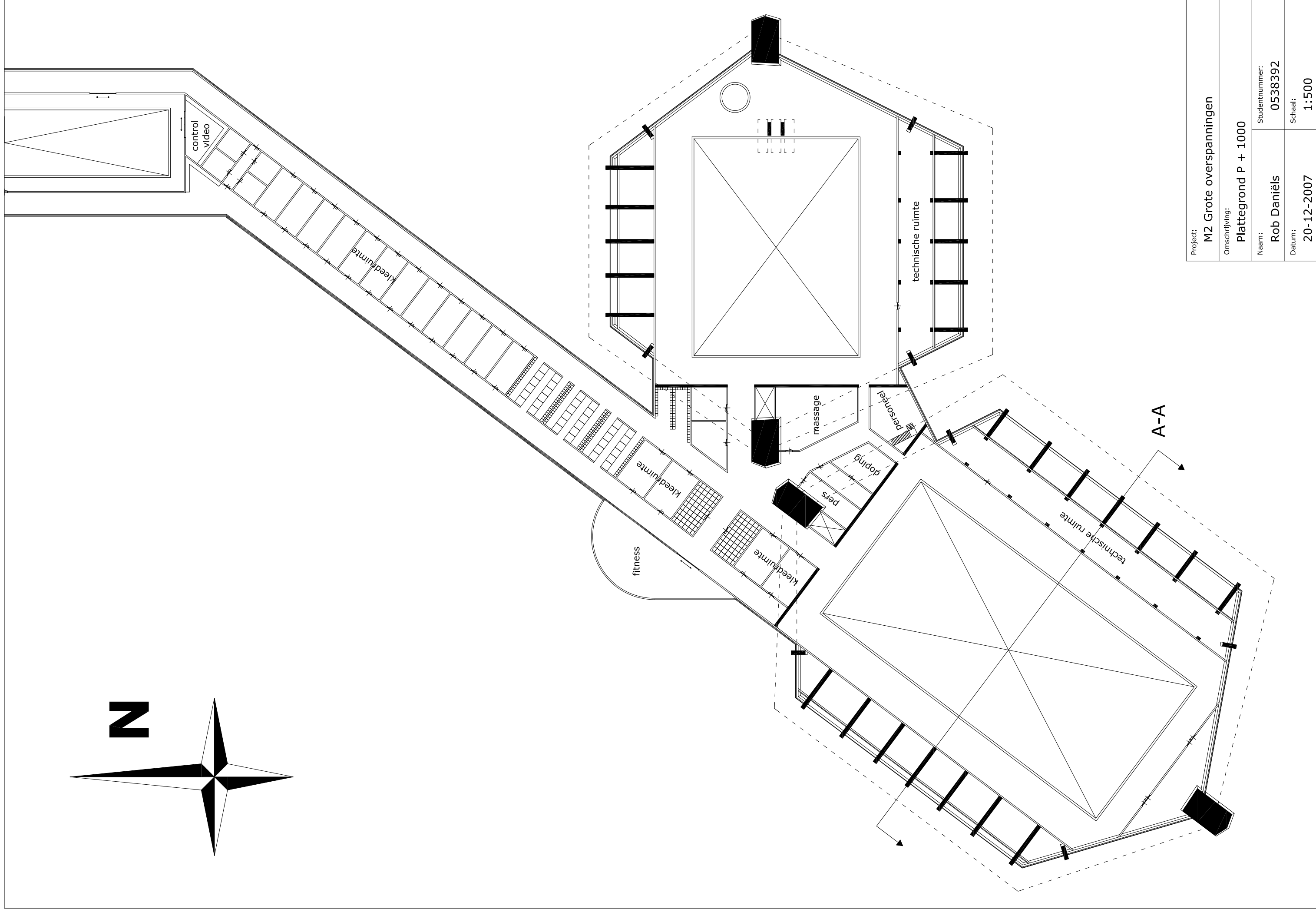
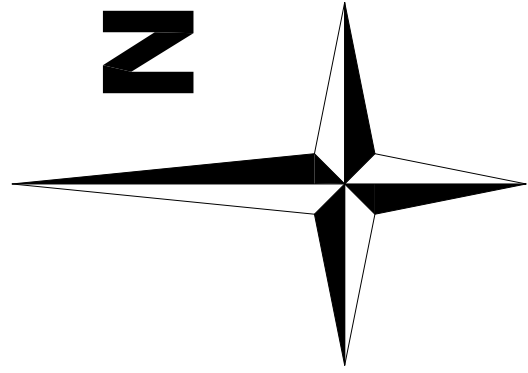


Bijlage B: Matrixberekeningen

- Matrixberekeningen dwarsrichting
- Matrixberekeningen vakwerkdrukboog

Bijlage C: Technische tekeningen

- Plattegrond P + 1000
- Plattegrond P + 4750
- Doorsnede A-A
- Detail 1: Verbinding ligger aan schijf
- Detail 2: Verbinding ligger aan boog
- Detail 3: Aansluiting drukboog
- Detail 4: Dakgoot
- Detail 5: Doorsnede dakpakket
- Detail 6: Ophanging dak aan secundaire liggers
- Detail 7 en 8: Aansluiting roosters gevel
- Kijklijnen tribune



Project:

M2 Grote overspanningen

Omschrijving:

Plattegrond P + 1000

Naam:

Rob Daniëls

Studentnummer:

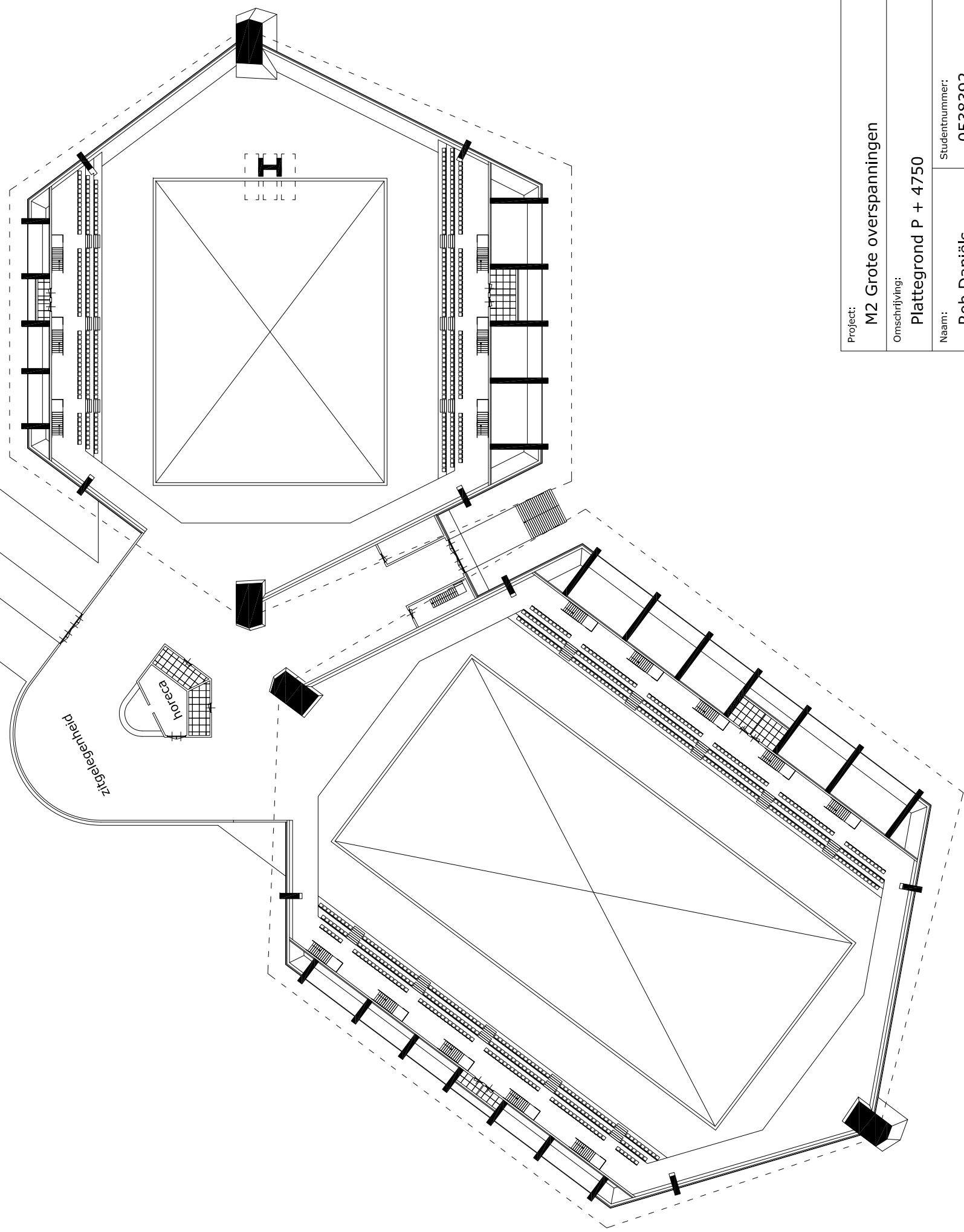
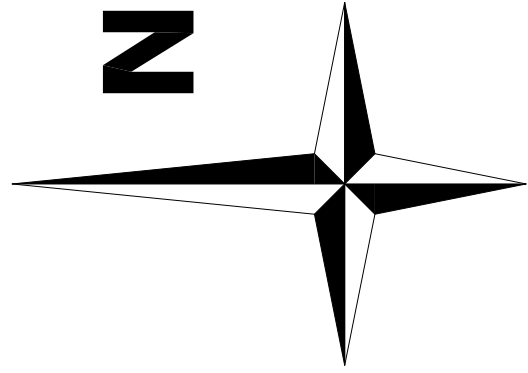
0538392

Datum:

20-12-2007

Schaal:

1:500



Project:

M2 Grote overspanningen

Omschrijving:

Plattegrond P + 4750

Naam:

Rob Daniëls

Studentnummer:

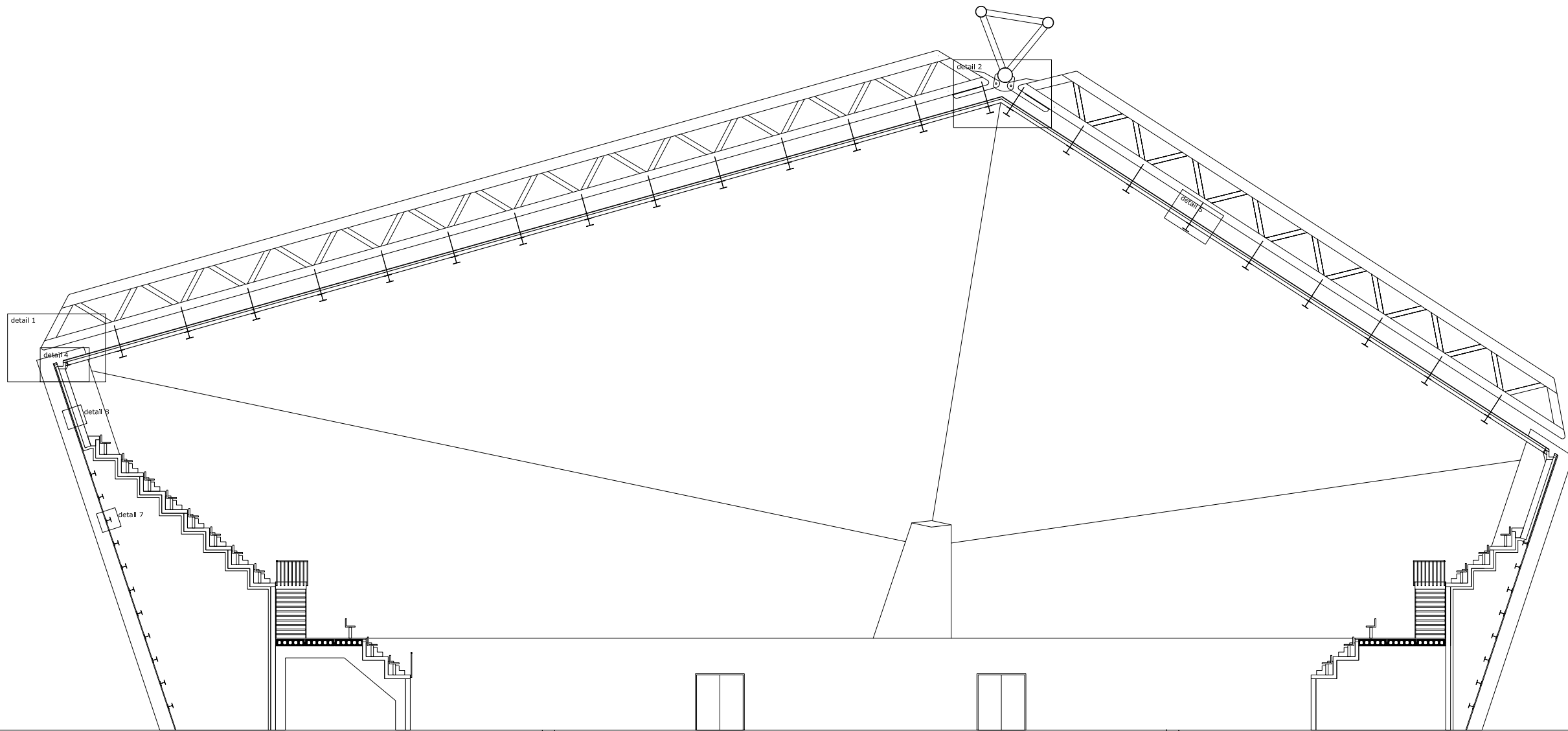
0538392

Datum:

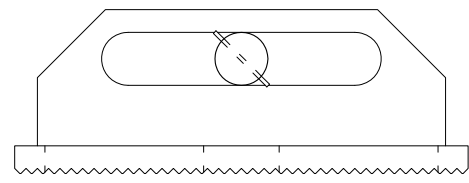
20-12-2007

Schaal:

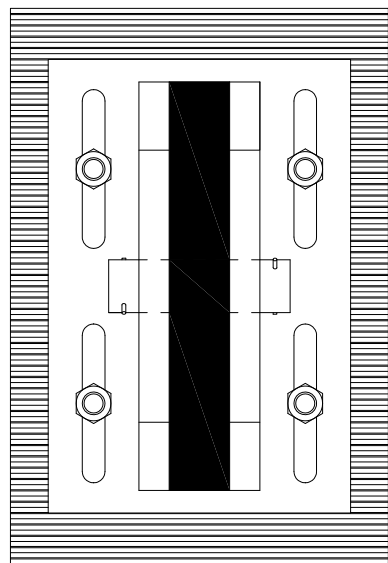
1:500



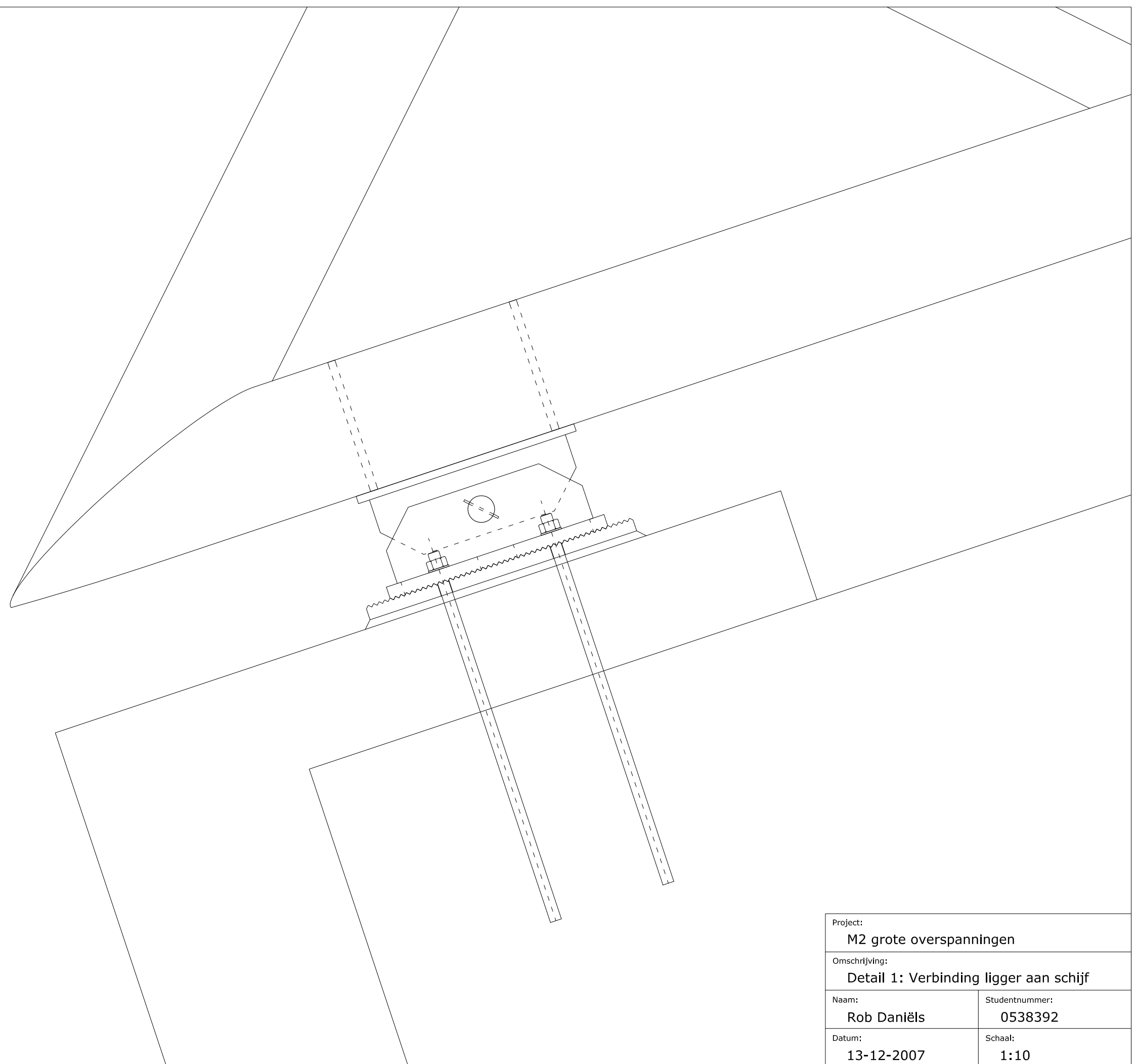
Project:	
M2 Grote overspanningen	
Omschrijving:	
Doorsnede A-A	
Naam:	Studentnummer:
Rob Daniëls	0538392
Datum:	Schaal:
20-12-2007	1:200



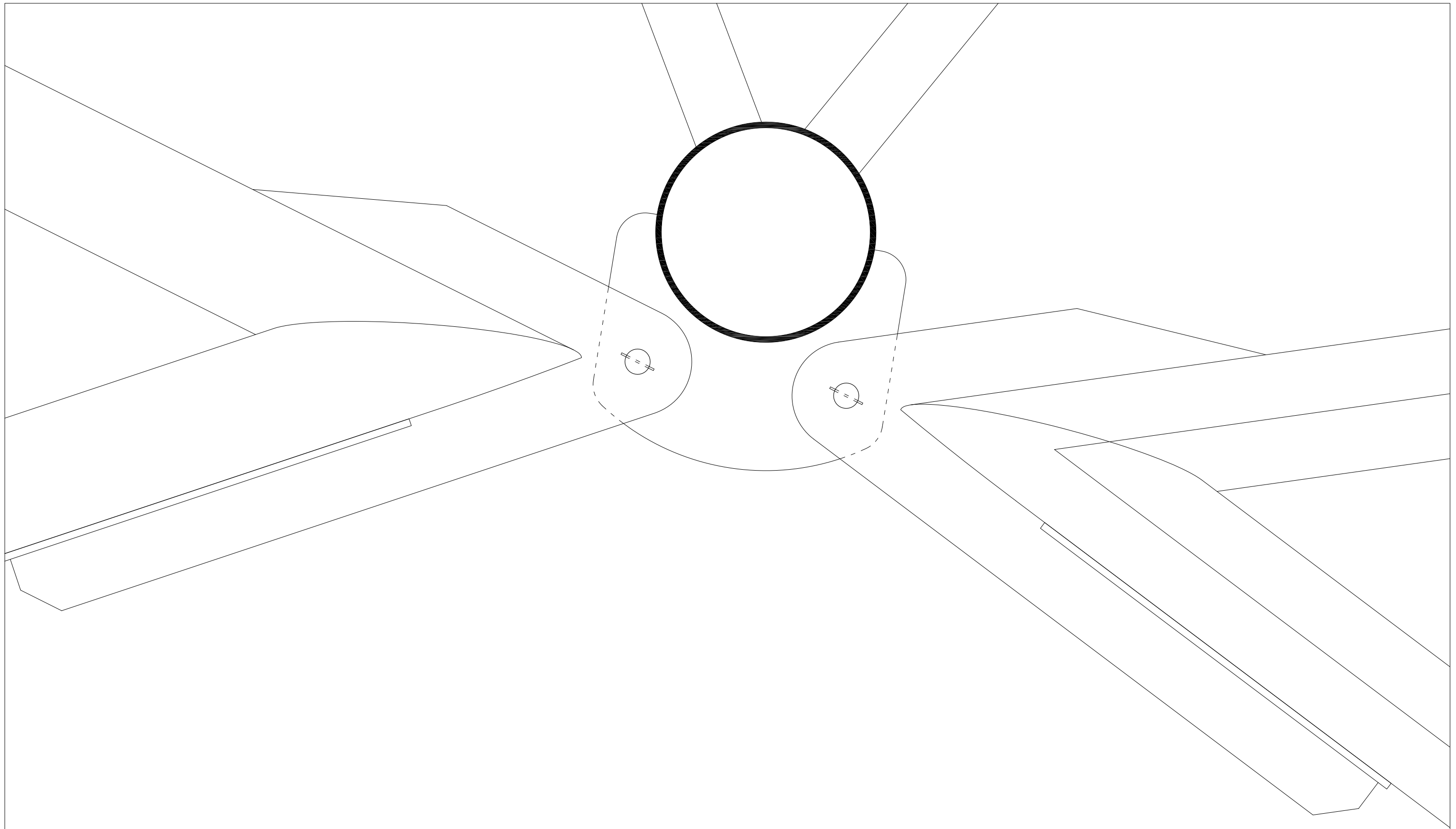
schuifverbinding aan andere zijde



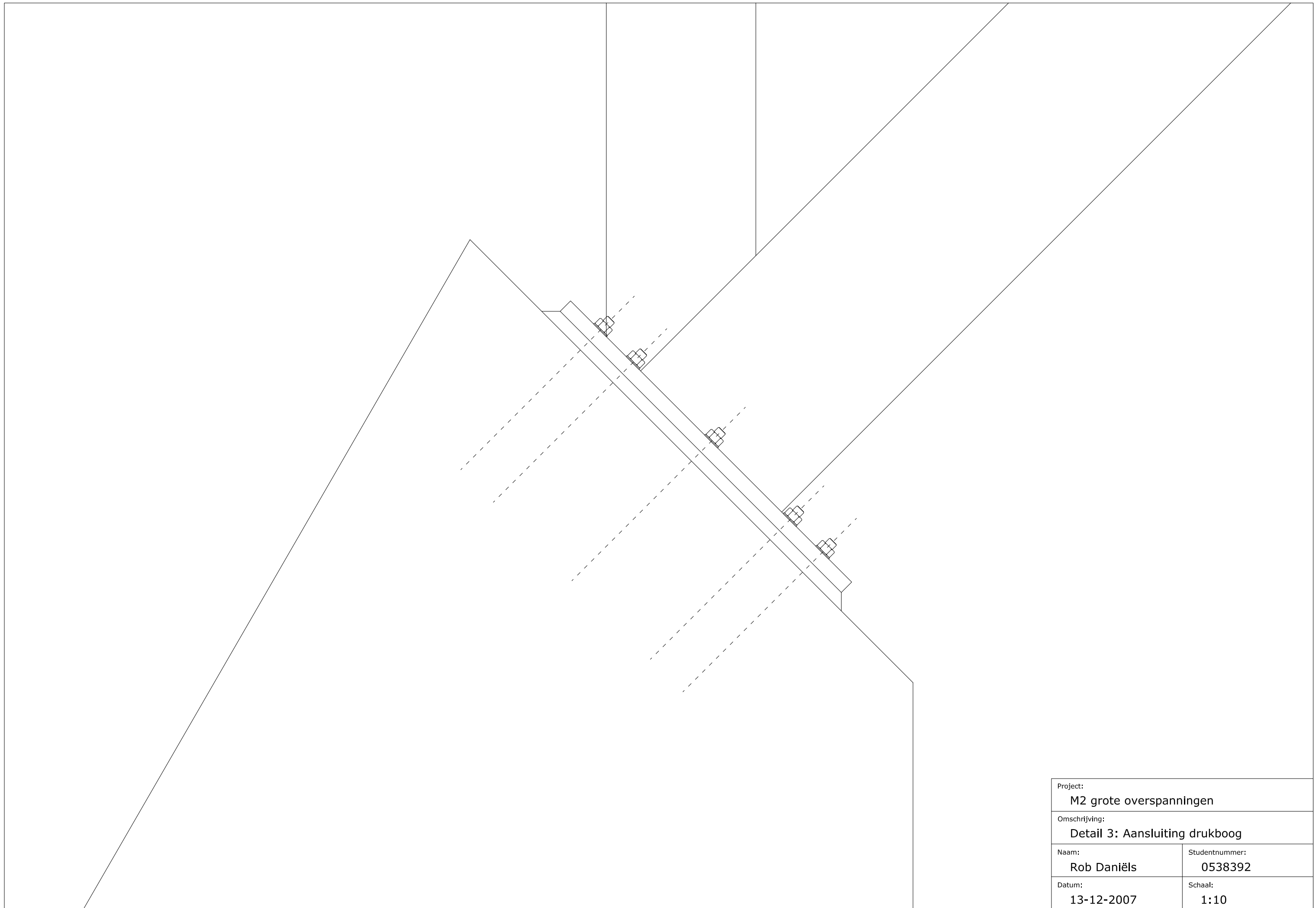
bovenaanzicht



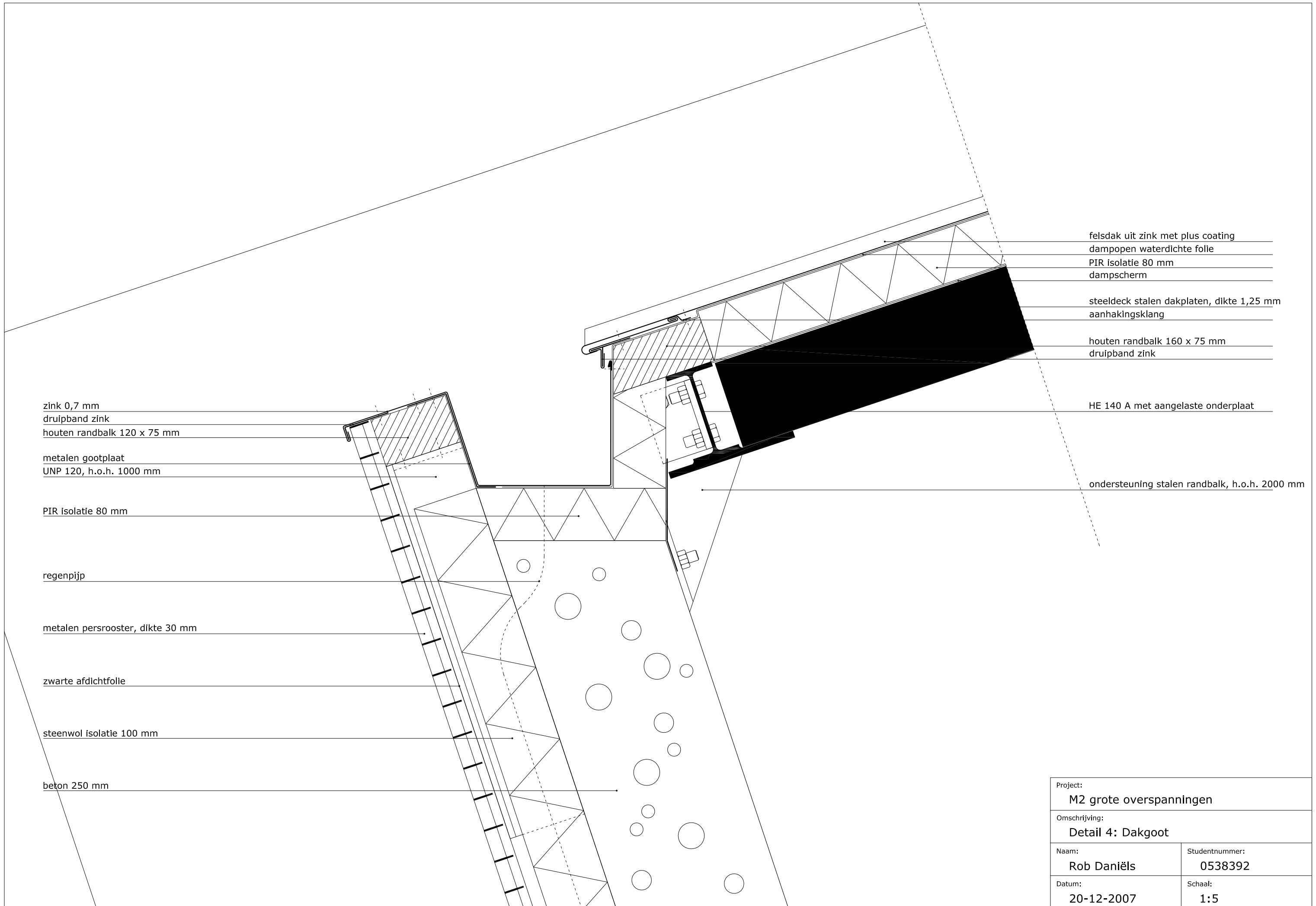
Project:	
M2 grote overspanningen	
Omschrijving:	
Detail 1: Verbinding ligger aan schijf	
Naam:	Studentnummer:
Rob Daniëls	0538392
Datum:	Schaal:
13-12-2007	1:10



Project: M2 grote overspanningen	
Omschrijving: Detail 2: Verbinding ligger aan boog	
Naam: Rob Daniëls	Studentnummer: 0538392
Datum: 13-12-2007	Schaal: 1:10



Project: M2 grote overspanningen	
Omschrijving: Detail 3: Aansluiting drukboog	
Naam: Rob Daniëls	Studentnummer: 0538392
Datum: 13-12-2007	Schaal: 1:10



opbouw dakpakket:

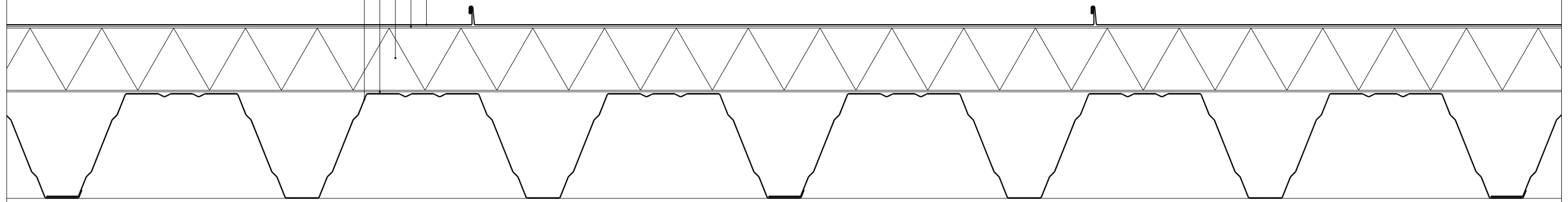
felsdak uit zink met plus coating

dampopen waterdichte folie

PIR isolatie 80 mm

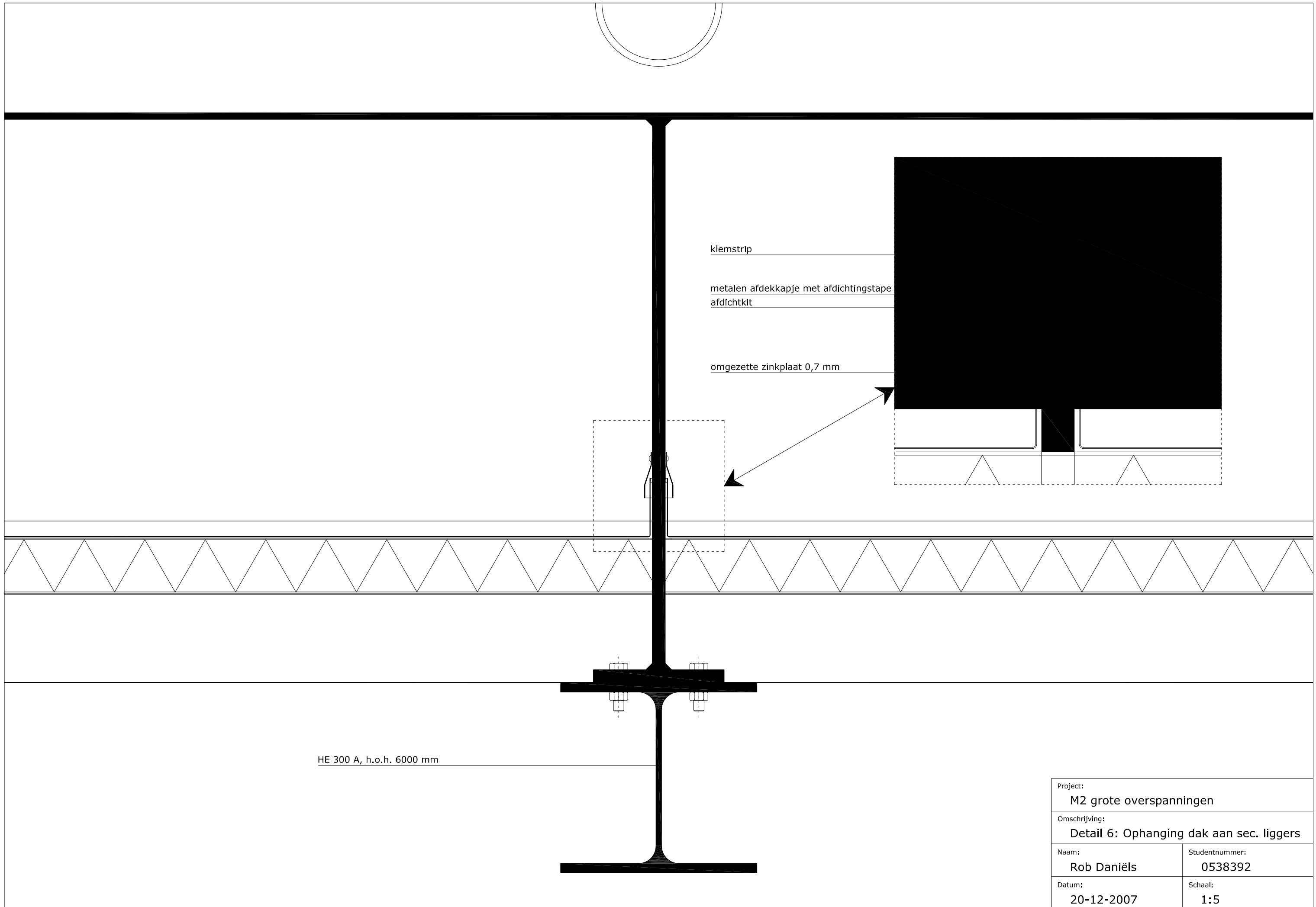
dampscherm

steeldeck stalen dakplaten, dikte 1,25 mm



HE 300 A, h.o.h. 6000 mm

Project: M2 grote overspanningen	
Omschrijving: Detail 5: Doorsnede dakpakket	
Naam: Rob Daniëls	Studentnummer: 0538392
Datum: 20-12-2007	Schaal: 1:5



klemstrip

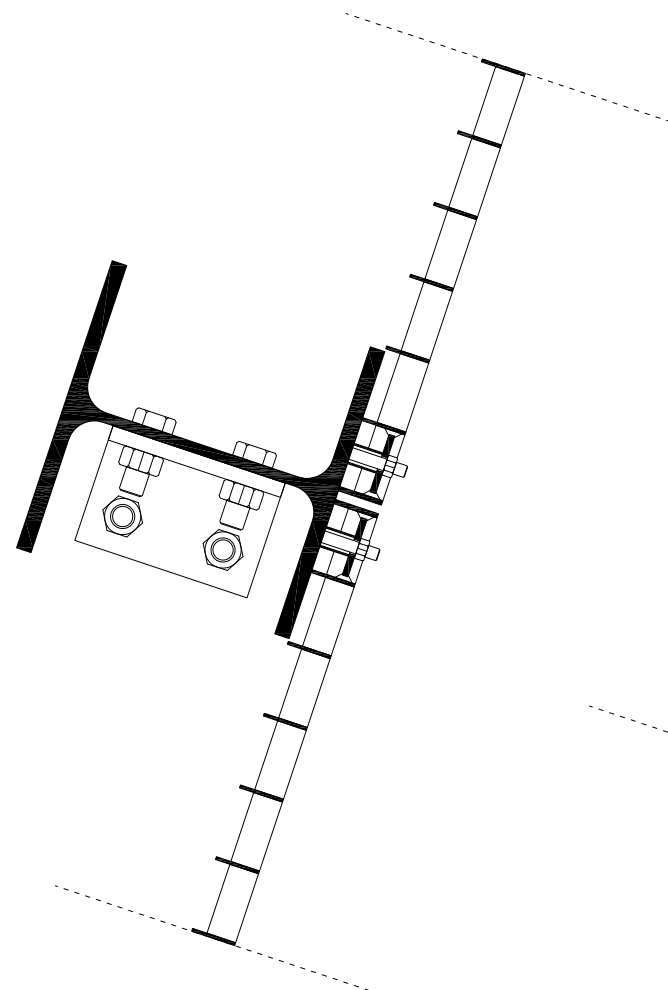
metalen afdekkapje met afdichtingstape
afdichtkit

omgezette zinkplaat 0,7 mm

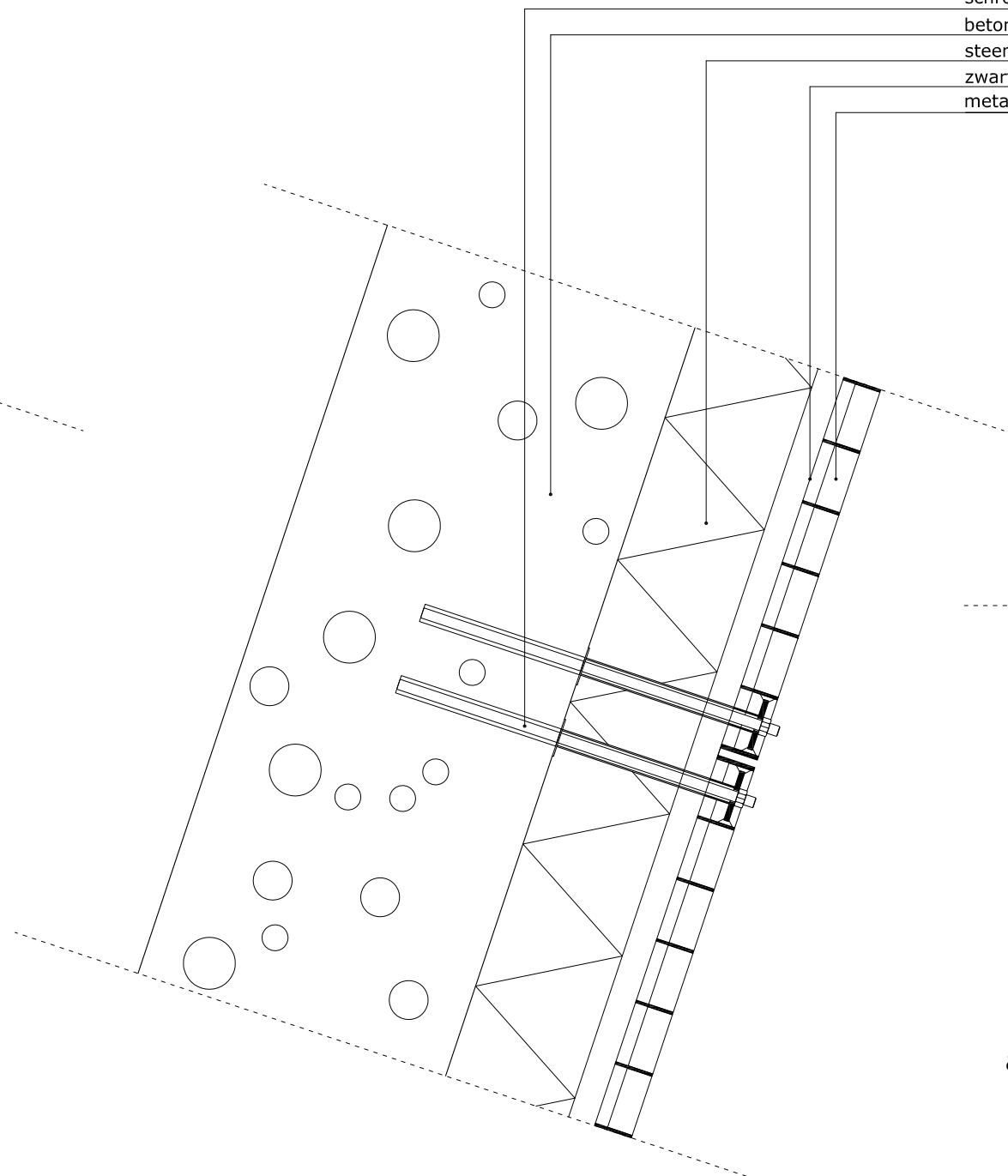
HE 300 A, h.o.h. 6000 mm

Project: M2 grote overspanningen	
Omschrijving: Detail 6: Ophanging dak aan sec. liggers	
Naam: Rob Daniëls	Studentnummer: 0538392
Datum: 20-12-2007	Schaal: 1:5

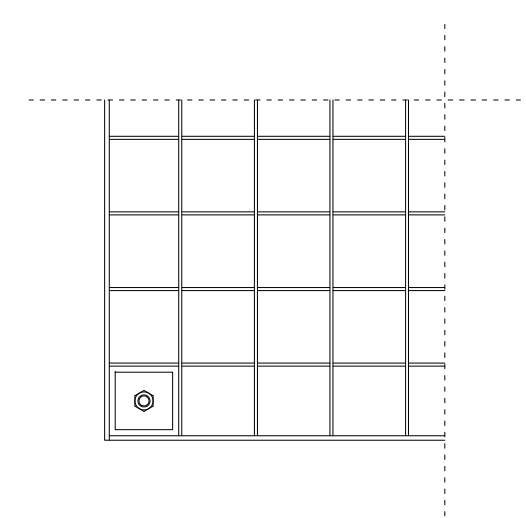
schroefhuls ingestort in beton
 beton 250 mm
 steenwol isolatie 100 mm
 zwarte afdichtfolie
 metalen persrooster, dikte 30 mm



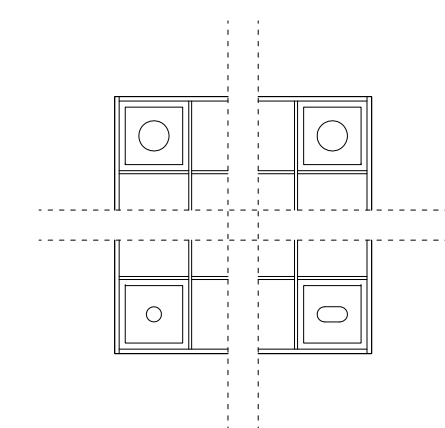
verbinding met profiel tussen betonschijven



verbinding bij betonnen wand

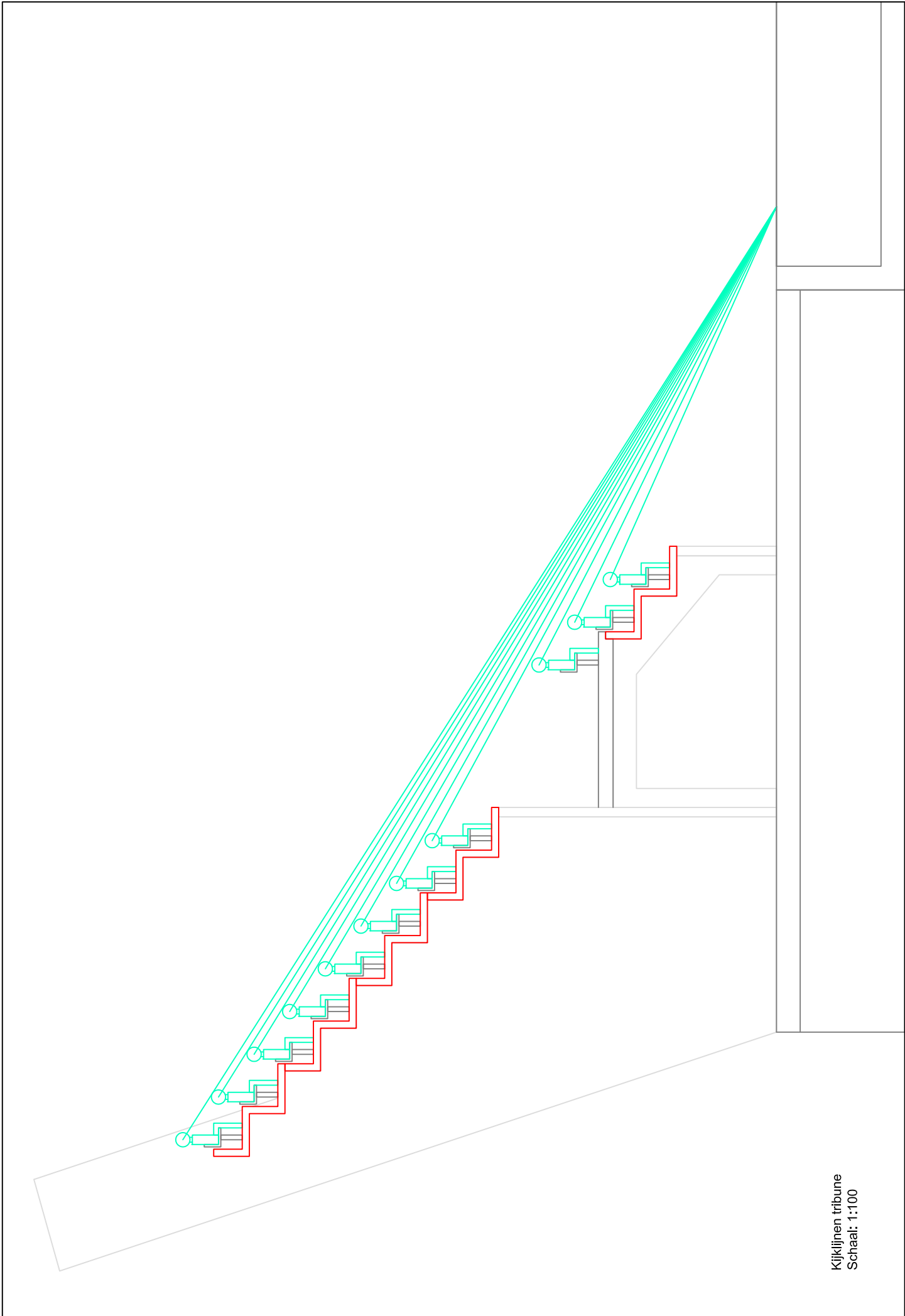


aanzicht ingelaste plaat



boutgaten hoeken paneel

Project: M2 grote overspanningen	
Omschrijving: Detail 7 en 8: Aansluiting roosters gevel	
Naam: Rob Daniëls	Studentnummer: 0538392
Datum: 13-12-2007	Schaal: 1:5



Kijklinen tribune
Schaal: 1:100