

Perronoverkappingen zijn voedsel

Een onderzoek naar het uitvoeren van perronoverkappingen binnen de kaders van Cradle to Cradle



Auteur:
Wesley Kok

In opdracht van:
Movares Nederland
Hogeschool Utrecht

Plaats en datum
Utrecht, 8 januari 2013

© 2013, Movares Nederland B.V.

Uitgegeven in eigen beheer

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Perronoverkappingen zijn voedsel

Een onderzoek naar het uitvoeren van perronoverkappingen binnen de kaders van Cradle to Cradle

Auteur

Naam Wesley Kok
Student nr. 1580127
Opleiding Bouwkunde
Afstudeerrichting Bouwconstructies
Adres
Postcode
Telefoonnr.
E-mail adres



Gegevens Afstudeerbedrijf

Naam Movares Nederland B.V.
Afstudeerbegeleider Jan van Wolfswinkel
Functie Adviseur
Adres
Postcode
Telefoonnr.
E-mail adres



Eerste begeleider Hogeschool Utrecht

Naam Henk Burggraaff
Telefoonnr.
E-mail adres

Tweede begeleider Hogeschool Utrecht

Naam Liza Looijen
Telefoonnr.
E-mail adres

TBWK-AFB8-03

Utrecht, 8 januari 2013

Voorwoord

Deze scriptie is geschreven ter afronding van mijn driejarige HBO studie bouwkunde aan de Hogeschool Utrecht. In september 2012 ben ik bij Movares Nederland B.V. gestart met mijn afstudeeronderzoek naar de mogelijkheden van het Cradle to Cradle uitvoeren van perronoverkappingen.

Het rapport is opgedeeld in drie verschillende delen. Een literatuurstudie naar Cradle to Cradle, het Cradle to Cradle gehalte van de toegepaste materialen in de perronoverkappingen en het creëren van een variantoplossing. Voorafgaand hieraan wordt het rapport ingeleid en is de achtergrond van het onderzoek nader toegelicht. De afsluiting vindt plaats door middel van een conclusie en aanbeveling, gevolgd door de bijlagen die het verslag ondersteunen.

Het resultaat van dit onderzoek is tot stand gekomen door een aantal personen. Om te beginnen wil ik Movares Nederland B.V. bedanken dat zij mij de mogelijkheid hebben geboden om mijn afstudeeronderzoek binnen het bedrijf te kunnen uitvoeren. In het bijzonder wil ik mijn bedrijfsbegeleider J.C. van Wolfswinkel bedanken voor zijn opbouwende feedback, tijd en hulp die hij aan mij heeft besteed. En natuurlijk wil ik alle collega's van de afdeling constructies bedanken voor alle informatie die zij mij hebben geboden en vooral de gezellige werksfeer. Tot slot wil ik mijn docentbegeleiders Henk Burggraaff en Lisa Looijen-Bader vanuit de hogeschool Utrecht bedanken voor de steun, feedback en vertrouwen die zij mij hebben gegeven.

Met het afronden van deze scriptie kijk ik terug op een gezellige en vruchtbare afstudeerperiode. Daarnaast kijk ik ook terug op drie vruchtbare jaren op de Hogeschool Utrecht. De drie jaren zijn echt voorbij gevlogen.

Wesley Kok

Utrecht, 8 januari 2013

Samenvatting

Dit onderzoek is tot stand gekomen met de bedoeling om te onderzoeken of perronoverkappingen in de toekomst in Cradle to Cradle uitgevoerd kunnen worden. Hiervoor zijn de materialen van vier bestaande perronkappen geïnventariseerd en getoetst aan de Cradle to Cradle principes. Waar mogelijk zijn de materialen verbeterd en/of vervangen. Dit moet leiden tot een bijdrage aan de duurzaamheid in de bouwsector.

Cradle to Cradle is een duurzaamheidsconcept dat in 2002 is geïntroduceerd door Michael Braungart en William McDonough door middel van het boek *Remaking The Way We Make Things*. De schrijvers zetten zich in het boek sterk af tegen de insteek die is gemaakt tijdens de industriële revolutie (Cradle to the Grave). Zo stellen Braungart en McDonough dat kostbare materialen worden verwerkt in producten maar dat deze na het gebruik op de afvalberg terecht komen. Daarnaast is de huidige manier van duurzaam bouwen gebaseerd op beperking, hergebruik en downcycling.

In de Cradle to Cradle principes wordt gesteld dat elk product na gebruik gerecycled moet kunnen worden zonder dat de oorspronkelijke grondstoffen verloren gaan. Volgens Braungart en McDonough is de wereld in twee kringlopen onder te verdelen; de biologische en technische kringloop. Elk materiaal moet individueel in één van deze kringlopen kunnen terugkeren zonder dat de kwaliteit van het materiaal terugloopt. Daarnaast wordt gesteld dat een bouwwerk in zijn eigen energiebehoefte moeten kunnen voorzien, er geen chemische middelen mogen worden gebruikt die slecht zijn voor mens, dier en milieu en dat het bouwwerk indien mogelijk voorzien moet zijn van lokaal of regionaal verkrijgbare producten/materialen. Het doel van Cradle to Cradle is een veilige en gezonde wereld te creëren waarin gebruik wordt gemaakt van schone lucht, water, grond en energie die op ecologische, economische en rechtvaardige manieren worden gebruikt.

Door middel van een analyse van vier verschillende stations in Nederland, is geconstateerd dat de stations veel overeenkomsten vertonen op materiaalverbruik. Na een analyse van bovengenoemde principes blijkt dat bijvoorbeeld het Freeformglass, ontwikkeld door Movares, erg goed binnen de Cradle to Cradle principes past. Dit komt doordat het glas volwaardig kan worden gerecycled en niet schadelijk voor mens, dier en milieu is. Daarnaast is het glas ook te voorzien van zonnecellen. Daardoor kan het station in zijn eigen energie behoefte worden voorzien.

Materialen die moeten worden geweerd in de nieuwe ontwerpen zijn de kunststof materialen zoals EPDM dakbedekking en PE en PVC standleidingen. Kunststof materialen stoten namelijk tijdens de productie, gebruik en verbranding schadelijke stoffen uit en kunnen tevens niet worden teruggebracht in één van de twee kringlopen.

Uit het onderzoek blijkt dat stalen standleidingen, voorzien van een milieuvriendelijke coating, de beste vervanging is voor kunststofleidingen. Daarnaast is vanuit het oog op verantwoord waterbeheer geadviseerd om de hemelwaterafvoer aan te sluiten op een grijswatersysteem. Met dit gerecyclede water kan de stationshal worden gereinigd en de toiletten worden doorgespoeld.

De grootste overeenkomst is dat elk station is voorzien van een warmgewalste stalen draagstructuur die is omhuld met aluminium beplating. Schoon staal is een perfect product binnen de Cradle to Cradle principes. Het is namelijk terug te brengen in de technische kringloop, is niet schadelijk voor mens, dier en milieu en is op regionaal niveau te verkrijgen.

Echter wordt het Cradle to Cradle gehalte van staal nadelig beïnvloed door de aangebrachte coatings. De coatings op de aluminiumbeplating zijn namelijk nodig om het staal in de spooromgeving te beschermen tegen koperslijpsel. De coatings op de staalconstructie zijn door ProRail (eigenaar stations) vastgesteld. De verven die zijn aangebracht op het staal dienen op basis te zijn van Epoxy, polyurethaan en PVDF. Deze coatings zijn voorzien van agressieve verharders en verdunners die schade aanbrengen tijdens de verwerking. Daarnaast dient na gebruik de verf te worden afgebrand van de constructie en zijn de verven niet biologisch afbreekbaar.

Uit de analyse is gebleken dat de aluminium beplating en stalen liggers vervangen kunnen worden door hout. Hierdoor worden de schadelijke coatings namelijk voorkomen. Hout is het meest ideale product binnen de Cradle to Cradle principes. Het is lokaal verkrijgbaar, biologisch afbreekbaar, vernieuwbaar en 'schoon' te verduurzamen.

De kolommen moet echter wel in staal worden uitgevoerd. ProRail stelt naast de coatings dat de kolommen hufterproof uitgevoerd dienen te worden. Dit betekent dat de kolommen bestand moeten zijn uv-straling, schoonmaakmiddelen en graffiti, daarnaast dienen ze ook kras- en slijtvast. Dit zijn eisen waar hout niet aan kan voldoen.

Het laatste onderdeel is de fundering. De funderingen van de kappen zijn opgebouwd met behulp van in het werk gestort beton. Beton kan niet worden gerecycled naar dezelfde kwaliteit en past daardoor niet individueel in de biologische of technische kringloop. Voor beton zijn dus primaire altijd stoffen nodig.

Beton kan niet worden vervangen door een alternatief materialen. Dit komt doordat hout gaat rotten ter plaatsen van de grondwaterstand, onbehandeld staal uitlooft in water en teven afneemt in sterkte en kunststof te veel schadelijke stoffen bevat. Uit het onderzoek blijkt dat beton op een aantal punten te verbeteren is. Beton moet dan worden voorzien van 100% betongranulaat (Beton vermaalt tot grintniveau), gerecyclede wapening en worden uitgevoerd als prefab element.

Uit de studie blijkt dat het momenteel nog niet mogelijk is om een perronkap 100% Cradle to Cradle te bouwen. Een klein percentage van de toegepaste materialen voldoet wel binnen de gestelde kaders maar het grootste percentage niet. Door te kiezen voor alternatieve materialen in de kapconstructie is echter dit percentage wel te verhogen

Voorop staat dat de opdrachtgever wel moeten willen investeren in de Cradle to Cradle principes. Momenteel zijn er namelijk nog te weinig materialen die compleet binnen de Cradle to Cradle principes vallen. Daarnaast dient een gebouw met de weinige Cradle to Cradle materialen demontabel te worden ontwerpen zodat deze kan terugkeren in kringlopen. In de bouw blijft het echter lastig om materialen te selecteren die helemaal Cradle to Cradle zijn. Dit komt doordat onderdelen vastgeplakt, gelijmd of gecoat dienen te worden. Deze criteria zorgen ervoor dat het ontwerpproces meer tijd met zich mee brengt dan gebruikelijk. De kosten nemen hierdoor dermate toe. Daarnaast is het de vraag of ProRail bereid is om te investeren in dure installaties zoals zonnecellen en een grijswatersysteem.

De coatings die op de staalconstructie zijn toegepast zijn het grootste probleem. Er moeten coatings worden ontwikkeld die kunnen terugkeren in de biologische of technische kringloop die over dezelfde eigenschappen beschikt als verven op basis van Epoxy, Polyurethaan, PVDF, etc. Echter zou ProRail ook kunnen overwegen om de stenge eisen omtrent de coatings te laten vervallen.

Inhoudsopgave

Voorwoord	5
Samenvatting.....	7
Afkortingen en begrippen	11
Afkortingen.....	11
Begrippen	11
Inleiding.....	13
1. Achtergrond onderzoek	15
1.1 Probleemstelling.....	15
1.2 Doelstelling.....	15
1.3 Onderzoeksvraag.....	16
1.4 Afbakening.....	16
2. Cradle to Cradle.....	17
2.1 Visie	17
2.1.1 Achtergrond (Cradle to the Grave).....	17
2.1.2 Braungart en McDonough	18
2.2 Het concept	19
2.2.1 Afval is voedsel	19
2.2.2 Biologische kringloop	20
2.2.3 Technische kringloop.....	20
2.2.4 Biologische en technische kringloop	21
2.2.5 Duurzame energie	21
2.2.6 Respect voor diversiteit.....	22
2.2.7 Triple E.....	22
2.3 Ontwerpprincipes.....	23
2.3.1 Uitgangspunten	23
2.3.2 Stappenplan.....	23
2.4 Kritiek	27
2.5 Cradle to Cradle principes voor Perronoverkappingen	29
2.6 Deelconclusie.....	31
3. Analyse bestaande perronkappen.....	33
3.1 Stations.....	33
3.1.1 Amsterdam Rai	33
3.1.2 Arnhem Centraal	35
3.1.3 Europapark	37
3.1.4 Utrecht Centraal.....	39
3.2 Overeenkomsten	41
3.3 Cradle to Cradle gehalte.....	43
3.3.1 Fundering.....	44
3.3.2 Hoofddraagconstructie.....	45
3.3.3 Verbindingen	45
3.3.4 Conservering.....	46

3.3.5	Dakbedekking	47
3.3.6	Beplating.....	47
3.3.7	Glas	48
3.3.8	Hemelwaterafvoer.....	49
3.3.9	Zonnecellen	50
3.4	Deelconclusie.....	51
4.	Variantoplossing perronkap	53
4.1	Eisen ProRail	53
4.1.1	Perronlengte.....	53
4.1.2	Perronhoogte	54
4.1.3	Perronbreedte	54
4.1.4	Perronoverkapping.....	55
4.1.5	Bouwsnelheid	56
4.1.6	Coatings.....	56
4.2	Materiaal verantwoording	57
4.2.1	Fundering.....	57
4.2.2	Hoofddraagconstructie, verbinden en coatings.....	58
4.2.3	Dakbedekking en beplating	59
4.2.4	Glas en zonnecellen.....	60
4.2.5	Hemelwaterafvoer.....	60
4.2.6	Materiaallijst.....	61
4.3	Deelconclusie.....	63
5.	Conclusie en aanbeveling	65
5.1	Conclusie	65
5.2	Aanbeveling.....	67
6.	Literatuurlijst	69
6.1.	Boeken / Documenten	69
6.2	Websites	70
6.3	Documentaire.....	70
6.4	Presentatie	70
6.5	Afbeeldingenlijst.....	71
6.6	Tabellenlijst	72
7.	Bijlagen	73
Bijlage 1	correspondentie	73
Bijlage 2	Bepaling Bron to Bron factor.....	75
Bijlage 3	Omsmeltingsproces van schroot tot staal.....	77
Bijlage 4	Omsmeltingsproces van aluminium beplating.....	79
Bijlage 5	Breedte overzicht zones perronopbouw.....	79
Bijlage 6	Ontwerpverantwoording.....	81

Afkortingen en begrippen

Afkortingen

h.o.h.	-	Hart op hart
HWA	-	Hemelwaterafvoer
PBL	-	Planbureau voor de Leefomgeving

Begrippen

Cradle to Cradle (C2C)	-	Ontwerpprincipe waarbij het sluiten van kringlopen centraal staat waardoor afval wordt omgezet in voedsel, energie duurzaam wordt opgewekt en er respect is voor diversiteit.
Eco-effectiviteit	-	synoniem voor Cradle to Cradle.
Eco-efficiency	-	Het duurzame bouwen zoals vandaag de dag wordt uitgevoerd met kernpunten als beperking, hergebruik en recycling.
Triple E	-	Samenhang tussen Economy, Ecology en Equity (economie, ecologie en rechtvaardigheid).
Afval is voedsel	-	Speerpunt uit het C2C principe dat uitgaat van het sluiten van kringlopen waardoor er een oneindige cyclus ontstaat met het gevolg dat afval wordt voorkomen.
Duurzame energie	-	Speerpunt uit het C2C principe waarbij energie wordt gewonnen door middel van zonne-energie, windenergie en waterkracht.
Respect voor diversiteit	-	Speerpunt uit het C2C principe waarbij wordt uitgegaan van producten, gebruiken en gewoonte die lokaal te vinden zijn.
Downcyclen	-	Hergebruiken van producten en/of onderdelen waarbij de waarde of kwaliteit wordt verminderd.
Recyclen	-	Hergebruiken van producten en/of onderdelen waarbij de waarde of kwaliteit gelijk blijft.
Upcyclen	-	Hergebruiken van producten en/of onderdelen waarbij de waarde of kwaliteit wordt verbeterd.
Bron to Bron (B2B)	-	De mate waarin een product of materiaal voldoet aan de Cradle to Cradle criteria, uitgedrukt in een percentage.
Nibe	-	Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie

EVERYTHING IS A NUTRIENT FOR SOMETHING ELSE

Michael Braungart & William McDonough

BEING LESS BAD IS NOT BEING GOOD

Michael Braungart & William McDonough

Inleiding

Duurzaam bouwen staat de laatste jaren steeds meer in de aandacht. Hierbij wordt voornamelijk geconcentreerd op allerlei vormen van energiebesparing. Maar aspecten zoals uitputting van de eindigende hulpbronnen, het toenemende afval en de vervuiling van flora en fauna worden daarbij vaak vergeten.

De oorsprong hiervan is te vinden tijdens de industriële revolutie. Tijdens deze periode was de essentie om producten in zo kort mogelijk tijd te produceren tegen lage kosten en inspanningen. Men dacht destijds dat de aanvoer van grondstoffen oneindig was.

In de tweede helft van de 20^e eeuw groeide de bewustwording over het milieu en de problemen die daarbij optreden. De term *Eco-efficiency* wordt geïntroduceerd. De kernpunten gaan voornamelijk om het beperken, hergebruik en recyclen van producten, materialen en energie.

De laatste jaren wordt echter steeds duidelijker dat reductie van producten, materialen en energie slechts leidt tot vertraging van uitputting, toenemende afval en milieuschade. Daarnaast heeft het recyclen van producten niet het gewenste effect zoals in de vorige eeuw werd verwacht. Producten die worden gerecycled worden namelijk vaak omgezet in producten met een mindere kwaliteit en belanden aan het einde van de cyclus alsnog bij het afval.

Een nieuwe stroming binnen de Nederlandse bouwwereld, met betrekking tot duurzaam bouwen is het concept *Cradle to Cradle*. De ontwerpvisie van Cradle to Cradle gaat over het sluiten van kringlopen waardoor problemen omtrent de stijgende hoeveelheid afval, energie en milieu op een verantwoordelijke manier kunnen worden opgelost en waarin schadelijke stoffen voor mens en milieu worden geweerd. Echter is er nog veel onduidelijkheid over het toepassen van de Cradle to Cradle principes. Dit komt door het ontbreken van kennis over de geschikte materialisering, de te nemen maatregelen, de beschikbare tijd en de benodigde kosten.

Het doel van het onderzoek is om te achterhalen op welke wijze advies- en ingenieursbureau Movares Nederland B.V. nieuwe perronoverkappingen kan uitvoeren volgens de denkwijze van de Cradle to Cradle principes.

Het rapport bestaat uit vier onderdelen. Allereerst beschrijft het hoofdstuk “achtergrond onderzoek” de probleem- en doelstellingen die behaald worden tijdens het onderzoek. In het tweede gedeelte wordt nader ingegaan op de aspecten die van toepassing zijn omtrent de ontwerpvisie van Cradle to Cradle. Het hoofdstuk Cradle to Cradle wordt door middel van een literatuurstudie gezamenlijk gevormd door de visie, het concept, ontwerp principes, kritiek en de C2C principes voor perronoverkappingen. Hierna volgt een deelconclusie

In het derde hoofdstuk zijn vier verschillende perronoverkappingen met elkaar vergeleken waarna er een concept model is ontstaan. De materialen en onderdelen die zijn toegepast zijn vervolgens getoetst, vergeleken en beoordeeld aan de hand van de C2C ontwerpprincipes. De uitkomsten hiervan laten een duidelijk beeld zien in hoeverre de toegepast materialen voldoen binnen de kaders van Cradle to Cradle, hierna volgt een deelconclusie. Eventuele onderdelen en materialen die niet voldoen binnen de criteria, zijn in het hoofdstuk ‘variant oplossing’ aangepast en/of verbeterd. Van de wijzigingen zijn tekeningen en berekeningen gemaakt. Het rapport wordt vervolgens afgesloten met een conclusie en een aanbeveling, gevolgd door een literatuurlijst en benodigde bijlagen.

1. Achtergrond onderzoek

Dit onderzoek is uitgevoerd bij advies- en ingenieursbureau Movares Nederland B.V (hierna Movares genoemd). Het bedrijf telt ruim 1100 werknemers verspreid over drie landen, namelijk Nederland, Polen en Duitsland. Movares is voornamelijk actief op het gebied van infrastructuur, openbaar vervoer, mobiliteit, energie en water. Het motto: 'wij verbinden' speelt daarbij een grote rol. Hierbij worden voornamelijk contacten gelegd tussen relaties van zowel binnen als buiten het bedrijf. Tijdens de contacten worden adviezen en producten gegenereerd die meerwaarde hebben op kernwaarden als betrokkenheid, duurzaamheid en vernieuwing.

Movares is het grootste spoorwegbouwkundig ingenieursbureau van Nederland en is nauw betrokken bij facetten op en rondom het spoor. Tot hun specialiteit behoort onder andere het maken van gedetailleerde ontwerpen voor drukke stations. Duurzaamheid en innovatie staan daarbij hoog in het vaandel. Door mee te gaan met de veranderingen in het bedrijfsleven en het aandrazen van nieuwe ideeën blijft Movares een toonaangevend bedrijf.

Movares wilt blijven innoveren en is benieuwd in de mate waarin zij de Cradle to Cradle principes kunnen toepassen in hun (toekomstige) perronoverkappingen.

1.1 Probleemstelling

In de Nederlandse bouwwereld bestaat er veel onduidelijkheid over het toepassen van de Cradle to Cradle principes. Dit komt voornamelijk door het ontbreken van kennis over de geschikte materialisering, de te nemen maatregelen, de beschikbare tijd en benodigde kosten. Hierdoor zijn er nog weinig mogelijkheden om de Cradle to Cradle principes daadwerkelijk in de praktijk uit te voeren.

De perronoverkappingen die momenteel worden uitgevoerd door Movares zijn vermoedelijk niet conform de eisen die worden gesteld aan de Cradle to Cradle principes. Om deze stelling te bevestigen worden er vier perronkappen geanalyseerd waarna er een variant oplossing wordt aangedragen.

1.2 Doelstelling

De literatuurstudie moet uitwijzen welke materialen, methode(s) en technieken het beste toepasbaar zijn voor nieuwe perronoverkappingen volgens de Cradle to Cradle principes. De opgedane kennis wordt vervolgens toegepast om een conceptperronkap te analyseren. De conceptperronkap(objectenboom) wordt opgesteld door middel van de overeenkomsten tussen de stations Arnhem centraal, Utrecht Centraal, Amsterdam Rai en Europapark. De kap wordt vervolgens onderverdeeld in verschillende materialen en onderdelen die getoetst worden aan de criteria die tijdens de literatuurstudie naar voren zijn gekomen. Alle materialen en onderdelen die niet voldoen aan de Cradle to Cradle principes, worden veranderd en/of verbeterd. De aanpassingen resulteren in nieuwe tekeningen. Tevens wordt het herontwerp getoetst op aspecten als sterkte, stijfheid en stabiliteit.

1.3 Onderzoeksvraag

Om het onderzoek richting te geven is de volgende hoofdvraag opgesteld.

“In welke mate passen de bestaande perronoverkappingen binnen de gestelde kaders van de Cradle to Cradle principes en hoe kunnen de perronoverkappingen worden verbeterd?”

1.4 Afbakening

Om het onderzoek in goede banen te leiden en concrete houvast te geven zijn de volgende uitgangspunten opgesteld.

De opdracht heeft slechts betrekking op een conceptperronkap, waarvan een gedeelte technisch wordt geanalyseerd en uitgewerkt. Het stationsgebouw, evenals het perron en de inrichting daarvan wordt buiten beschouwing gelaten.

Binnen Movares is er geen concept beschikbaar die alle stationskappen vertegenwoordigd. Echter zijn er wel veel overeenkomsten tussen de verschillende kappen. Vier perronkappen worden daarom met elkaar vergeleken. De materialen die niet voldoen aan de Cradle to Cradle principes worden verbeterd of vervangen.

De constructie moet voldoen aan alle technische eisen die vanuit de overheid zijn opgesteld en betrekking hebben op perronkappen. Daarnaast stelt ProRail in het OVS (ontwerpvoorschriften spoor) eisen aan perrons en perronkappen waaraan voldaan moet worden. Hierbij valt te denken aan eisen rondom verlichting, regenwater, zonlicht en minimale hoogte maten.

Onderdelen van installaties waaronder bijvoorbeeld HWA voor grijswatervoorzieningen en energiegebruik worden in de kap opgenomen. Voor het traject dat door de installatie wordt afgelegd nadat deze de kap heeft verlaten wordt alleen een advies uitgebracht.

In de scriptie wordt tijdens het herontwerp uitgegaan van de minimale breedte en lengte maten die zijn opgesteld voor basisstations. In Nederland heeft de NS 381 stations in beheer. De stations zijn te onderverdelen in drie categorieën; sleutel-, gemiddeld, en een basisstations. Het overgrote deel van de stations zijn klein en vallen daardoor onder het principe ‘basisstation’. Deze basisstations zijn weer te onderscheiden in zij- en eilandperrons. In de scriptie wordt uitgegaan van een perronoverkapping op een eilandperron.

De gehele scriptie beperkt zich tot de aspecten die te maken hebben met Cradle to Cradle

2. Cradle to Cradle

Natuurlijke grondstoffen zijn schaars en zijn over een aantal jaar compleet op. Daardoor is het momenteel niet meer mogelijk om onbeperkt grondstoffen uit de grond te halen. Daarnaast is er een toenemende hoeveelheid afval, energieverbruik en milieuschade in de wereld, dat jaarlijks blijft stijgen. Het probleem van deze toename is te vinden in het lineaire systeem van de manier waarop producten worden geproduceerd. Om dit systeem te doorbreken moet er naar een alternatief worden gezocht. Grondstoffen moeten namelijk opnieuw worden gebruikt, waardoor er geen nieuwe grondstoffen nodig zijn en toekomstig afval wordt voorkomen. Er hoeft dan niet meer te worden gehamerd op termen als *minder, zuiniger en besparing*.¹¹

Het concept *Cradle to Cradle* is de uitkomst voor het probleem. Cradle to Cradle richt zich namelijk niet op het verminderen van schadelijke gevolgen die ontstaan door de productie, maar op het verbeteren van de productiemethode zelf. Gedurende het ontwerpproces wordt nagedacht over het terugbrengen van alle te gebruiken materialen in kringlopen waardoor materialen opnieuw gebruikt kunnen worden. Dit concept gaat uit van de gedachte “afval is voedsel”.¹¹

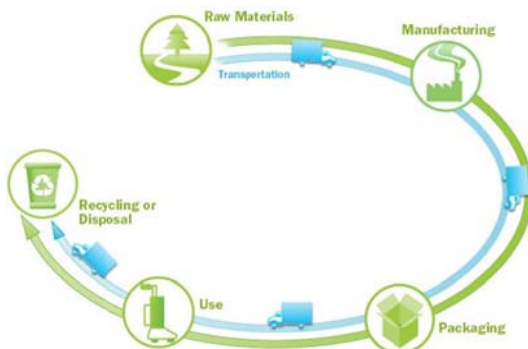
2.1 Visie

2.1.1 Achtergrond (Cradle to the Grave)

De Club van Rome publiceerde in 1972 een boek waarin zij waarschuwde dat natuurlijke hulpbronnen uitgeput raken. De oorzaak zou liggen in de toenemende bevolking en industrieën. Indien de bevolking blijft groeien en de natuurlijke hulpbronnen niet worden aangepakt leidt de planeet over 100 jaar onder een afname van de wereldbevolking en is de planeet niet meer bewoonbaar.²¹

Circa 20 jaar later, in 1992, publiceert de Club van Rome een nieuw boek waarin zij maatregelen voorschrijven om het gebruik van hulpbronnen te minimaliseren en efficiënter te gebruiken. Vervolgens worden er meer producten gerecycled, zodat ze opnieuw gebruikt kunnen worden. De term hiervoor is *Eco-efficiency* en wordt gezien als het middel om de problemen omtrent het milieu, afval, energie en de eindigende hulpbronnen op te lossen.²²

Echter zet het boek in 2002 ‘Remaking The Way We Make Things’ van William McDonough en Michael Braungart, zich sterk af tegen het Eco-efficiency. Zij stellen dat het systeem is gebaseerd op



reductie van producten, materialen en energie en dat de problemen omtrent milieu, afval en energie niet worden opgelost maar juist worden uitgesteld.

De productiemethode is namelijk gebaseerd op een Lineaire systeem (figuur 1). Om producten te kunnen produceren worden er grondstoffen gewonnen uit de eindigende hulpbronnen. Vervolgens worden er chemicaliën toegevoegd om het product te voorzien van een langere levensduur. Gedurende het gebruik blijft het product deze giftige chemicaliën uitstoten, die schade aanbrengt aan de mens, dier en milieu.¹¹

McDonough en Braungart stellen in datzelfde boek dat na het gebruik van producten de meeste bij het afval terecht komen. Slechts een klein gedeelte hiervan wordt gerecycled. Producten die worden gerecycled worden veelal omgezet in producten van een mindere kwaliteit, het zogeheten *downcyclen*. Daarnaast worden door de waardevermindering de materiaaleigenschappen aangetast. Om het product dan alsnog de gewenste kwaliteit te geven worden er juist meer chemische middelen toegevoegd.¹¹

Een voorbeeld van downcycling zijn de plastics uit hoogwaardige producten. Deze plastics worden gedowncycled tot bloempotten of hectometerpaaltjes. De buigkracht en kleur gaan hierdoor echter verloren. Om de gewenste kwaliteit alsnog te bereiken worden er extra chemicaliën toegevoegd.¹¹

Op een gegeven moment is de kwaliteit van het materiaal zo slecht dat deze niet meer valt te recyclen en alsnog bij het afval terecht komt. Het vernietigen van afval gebeurt door middel van verbrandingsovens. In deze ovens worden de kostbare grondstoffen in het materiaal vernietigd en worden de vele chemicaliën in de lucht verspreid. Deze Chemicaliën zijn vervolgens weer schadelijk voor het milieu. Daarom noemen Braungart en McDonough Eco-efficiency ook wel “Cradle to the Grave” (van de wieg naar het graf).¹¹

2.1.2 Braungart en McDonough



am

In 1991 ontmoetten de Amerikaanse architect William McDonough en de Duitse chemicus Michael Braungart (figuur 2) elkaar op een daktuin in New York. Ze raken in gesprek over het ontwerpen van producten en de giftigheid van afvalstoffen die daarmee gepaard gaan. Drie jaar later richten zij gezamenlijk een bedrijf op dat van start gaat onder de naam McDonough Braungart Design Chemistry (MBDC). Een bedrijf dat zich inzet voor het ontwikkelen van producten en gebouwen die niet schadelijk zijn voor mens, dier en milieu.¹¹

In de periode voor de samenwerking met McDonough studeerde Braungart Proces Engineering, waarna hij werkzaam werd bij het scheikundige Departement te Konstanz. Tegelijkertijd was hij ook een actief milieuactivist bij Greenpeace. In 1985 promoveert Braungart aan de universiteit van Hannover en werd hij hoofd van de Greenpeace Chemistry afdeling.⁵⁷

Daarentegen stond McDonough al vroeg aan de basis van de beweging voor duurzame ontwikkeling. Tijdens zijn studie aan de Yale University in 1977 ontwikkelde hij het eerste huis op zonne-energie. Tevens ontwierp hij het eerste ‘groene’ kantoor in de Verenigde Staten.⁵⁷

In 2002 publiceerden William McDonough en Michael Braungart het boek: *Cradle to Cradle: Remaking The Way We Make Things*. Een concept dat uitgaat van de gedachte dat afval weer als voedsel kan dienen. De heren erkenden dat er een wereldwijd probleem in opkomst is. Namelijk het probleem dat grondstoffen niet oneindig gewonnen kunnen worden en de stijgende hoeveelheid afval, energieverbruik en milieuschade in de wereld blijft toenemen. Deze stelling is gebaseerd op een onderzoek van het Environmental Protection Encouragement Agency (EPEA). Door afval als voedsel te beschouwen kunnen grondstoffen worden hergebruikt waardoor nieuwe grondstoffen niet nodig zijn.¹¹

2.2 Het concept

2.2.1 Afval is voedsel

William McDonough en Michael Braungart namen een geheel andere houding aan dan gebruikelijk was in de jaren 90. Dit komt doordat zij zich bewust waren van het toenemende hoeveelheid afval, energieverbruik en milieuschade. Zij concluderen dat “minder slecht, niet goed is”. Door het reduceren zoals gebeurt bij Eco-efficiency worden problemen uitgesteld en niet opgelost. Braungart en McDonough stellen daarom een overgang voor naar *eco-effectiviteit*. Het eco-effectiviteit is gebaseerd op het (her)ontwerpen van systemen, materialen en producten waarbij afval als voedsel kan dienen.¹¹

Het concept “waste equals food” (afval is voedsel) is afkomstig uit de natuur. Braungart en McDonough stellen namelijk dat de natuur geen afval kent. Elk blad dat van de boom op de grond valt lijkt nutteloos, maar vormt uiteindelijk voedsel voor (micro-)organismen. De belangrijkste voedingsstoffen voor de aarde wordt ontleend uit eigen afval.

De kersenboom wordt in het boek *Remaking The Way We Make Things* vaak als metafoor gebruikt om het principe afval is voedsel toe te lichten. Het metafoor komt op het volgende neer: Elk jaar produceert de kersenboom talloze bloesem en kersen. De overdadige productie wordt echter door niemand als verspilling gezien. De bloesem die uit de boom valt verteert, en wordt vervolgens afgebroken tot voedingsstoffen. De verbruikte mineralen worden hergebruikt door zowel de boom als door insecten, planten, dieren en de aarde. De kersen worden geconsumeerd door zowel mensen als dieren. De pitten die op de grond terecht komen zorgen weer voor nieuw leven. De kersenboom produceert dus geen afval, maar verreekt juist de omgeving door middel van biologisch afbreekbare materialen.^{11, 15}

McDonough stelt dat gebouwen, net als bomen, in staat moeten zijn om geen afval meer te produceren, maar juist om afvalwater te destilleren, koolstofdioxide op te nemen, lucht te zuiveren en zuurstof af te geven aan de omgeving. Fabrieken, huishoudens en andere openbare gelegenheden zijn dan in staat om bijvoorbeeld afvalwater te lozen in drinkwaterkwaliteit. Producten en materialen kunnen na gebruik in staat zijn om te composteren als voedsel voor mensen, planten en dieren. Producten en materialen kunnen eventueel ook in staat zijn om te worden gerecycled naar hoogwaardige producten. Deze gedachte komt voort vanuit de gedachte “Build a house like a Tree”.¹¹

De wereld is volgens Braungart en McDonough onder te verdelen in zelfsluitende kringlopen. Door het creëren van kringlopen kan de natuur worden nagebootst en wordt afval werkelijk voedsel. Het Cradle to Cradle principe gaat uit van twee materiaalstromen zonder kwaliteitsverlies. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de biologische en technische kringloop. Producten dienen zo te worden ontwerpen dat de onderdelen individueel binnen één cyclus valt. Dit vraag echter wel om een hoge mate van demontabelheid van de materialen en/of producten. Het is hierbij van groot belang dat de stoffen niet dusdanig met elkaar verbonden zijn waardoor scheiden of hergebruiken van materialen onmogelijk wordt gemaakt.¹¹

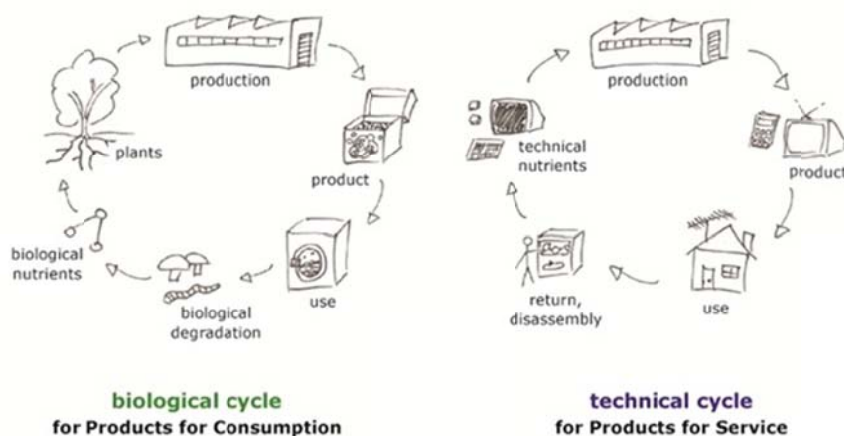


ling van de
kringlopen.

2.2.2 Biologische kringloop

Een biologische voedingsstof is een materiaal of product dat bewust kan terugkeren naar de biologische kringloop zonder een schadelijk effect achter te laten. Het zijn grondstoffen die letterlijk kunnen worden geconsumeerd door micro-organismen en andere dieren. De biosfeer gaat namelijk geheel uit van de werking in de natuur.¹¹

De materialen worden geproduceerd en na het consumeren kan het product worden weggegooid en veilig worden afgebroken door de natuur. Eventuele stoffen die worden toegevoegd aan het product moeten daarom ook 100% biologisch afbreekbaar zijn. Schadelijke kleurstoffen, chemicaliën en metalen dienen in de biologische kringloop te worden geweigerd. Gedurende het ontwerp moet er goed worden nagedacht over de samenstelling van het product en de materialen. Men dient bij elk samenstelling zichzelf af te vragen of het product, met de toegevoegde mineralen, nog veilig kan worden geconsumeerd door micro-organen.¹¹



nks de
he weergave
: kringloop.

ischematische
: technische

2.2.3 Technische kringloop

Een technische voedingsstof is een materiaal of product dat ontworpen is om weer in de technische kringloop te worden opgenomen. Door technische voedingsstoffen te scheiden van de biologische, kunnen ze worden *geüpccycled* in plaats van gerecycled of gedowncycled. Door het upcyclen wordt de kwaliteit van het product vele malen verbeterd. Het is zelfs mogelijk om bijvoorbeeld constructiestaal met een klasse te verhogen. Daardoor is het essentieel om de technische voedingsstoffen zorgvuldig te definiëren. Schadelijke chemicaliën moeten echter wel worden geweerd anders wordt de kans op downcycling vergroot.^{1, 11}

Braungart en McDonough stellen dat de consumenten diensten in plaats van producten moeten kopen. Door dit systeem blijft het product van de fabrikant en blijft hij tevens verantwoordelijk voor de onderdelen die in het product zijn verwerkt. Als men is uitgekeken op het product, of het product is defect, dan neemt de fabrikant het terug. De onderdelen uit het oude product kan de fabrikant dan vervolgens verwerken als voeding voor nieuwe producten. Producten ontwerpen als diensten, betekent dat de producten compleet demontabel moet zijn. De onderdelen kunnen daardoor individueel in de kringloop worden opgenomen.¹¹

2.2.4 Biologische en technische kringloop

De biologische en technische kringloop dienen van elkaar gescheiden te blijven. Indien beide kringlopen samenvallen, zijn de mineralen minder waardevol voor een volgend 'leven'. Duidelijk is dat het twee individuele gesloten kringlopen moeten zijn.¹¹

Mineralen die onderdeel uit maken van de biologische kringloop mogen geen chemische stoffen bevatten. Zijn de mineralen wel voorzien van chemicaliën dan is de kans op schadelijke stoffen in de natuur aanzienlijk groot waardoor de kans op milieuschade aanzienlijk wordt vergroot.¹¹

Schadelijke stoffen kunnen echter wel in de technische kringloop worden verwerkt. Hierbij is het dan van belang dat er geen biologische voedingsstoffen in de technische kringloop terecht komen, anders gaan deze verloren en wordt de technische voedingsstof gedowncycled.¹¹

Het is in de technische kringloop mogelijk om materialen te combineren, zolang de mogelijkheid maar blijft bestaan dat de materialen na gebruik weer gescheiden teruggewonnen kunnen worden en zolang alle materialen 100% binnen de technische kringloop vallen.¹¹

Niet alle materialen zijn onder te verdelen in twee gescheiden kringlopen. In dat geval vallen de materialen niet binnen de Cradle to Cradle principe. Veelal zijn die stoffen in de materialen schadelijk voor mens, dier en milieu. Een voorbeeld hiervan is kernafval.¹¹

2.2.5 Duurzame energie

Naast het basisprincipe van afval is voedsel, dient men ook aandacht te besteden aan het principe energieverbruik. Volgens het Cradle to Cradle principe hoeft er geen energie bespaard te worden, zolang de energie maar duurzaam is opgewekt. Hierbij kan gedacht worden aan zonne-energie, windenergie en waterkracht.¹¹

Braungart en McDonough gaan uit van het principe "Sun is our income" (zon is ons inkomen). De zon staat voor alle energie. Windenergie en waterkrachtenergie zijn een afgeleide van zonne-energie. 'De zon is ons inkomen' duidt op het profijt dat te halen is uit deze hernieuwbare en onuitputtelijke energiebron. Dit staat tegenover het gebruik van eindige bronnen zoals fossiele brandstoffen (olie, gas en kolen). Door schaarste van deze eindige bronnen stijgt de prijs. Door nu te investeren in duurzame energie, zoals zonnepanelen of windmolens, wordt in de nabije toekomst geld bespaard.² De stelling wordt onderbouwd met het argument dat zonne-energie ruim voorradig is. De zon geeft de aarde ieder dag genoeg energie voor een jaar energieverbruik voor de wereldbevolking. Het standpunt is dat duurzame energiebronnen uiteindelijk voldoende energie moeten leveren om in de totale behoefte te voorzien.^{2, 11, 23}

Het sec inkopen van groene energie valt niet binnen het Cradle to Cradle principe. Duurzame energie dient zelfstandig te worden opgewerkt om in eigen behoefte te kunnen voorzien. Tevens is de groene stroom die in Nederland te koop is niet Cradle to Cradle verantwoord omdat energie uit huisvuilverbranding en het bijstoken van afvalhout ook tot groene energie worden gerekend. Het proces hiervan is namelijk gebaseerd op downcycling van materiaal.¹¹

² Agentschap NL en gemeente Venlo. (2010). *Handreiking voor het bouwen met Cradle to Cradle*. Delft: BuildDesk Benelux.

2.2.6 Respect voor diversiteit

Het laatste item is respect voor diversiteit. Hieronder worden voornamelijk de aspecten verstaan die lokaal of regionaal te vinden en/of te verkrijgen zijn. Hierbij denkende aan diversiteit aan culturen, behoefte en locaties. Respect voor diversiteit is het verbonden voelen met de omgeving. Dit houdt in dat er zoveel mogelijk gebruik gemaakt dient te worden van lokale materialen, grondstoffen, energie en gebruiken.¹¹

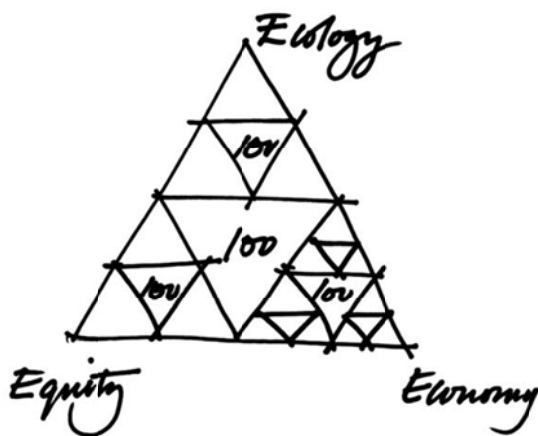
In de Cradle to Cradle principes staat omschreven dat materialen die lokaal worden gebruikt binnen een straal van 50 km van de bouwplaats te verkrijgen moet zijn. Indien de benodigde materialen niet binnen de straal te verkrijgen zijn, kan de straal worden uitgebreid naar 250 km er wordt er gekeken op regionaal niveau.¹¹

Door gebruik te maken van lokale materialen en lokale eigenschappen wordt het gebouw opgenomen door de omgeving en de plaatselijke bevolking. Lokale beplanting kan hierbij dienen als een voorbeeld. Een andere belangrijk aspect is het inkrimpen van de transportafstand. Transport over lange afstanden gaat gepaard met uitstoot van veel schadelijke stoffen, uitputten van hulpbronnen en hoge kosten.¹¹

Een gebouw moet ontworpen worden aan de hand van de behoefte en wensen van de gebruiker. Daarom moet vooraf duidelijk zijn welke doelgroep gebruik moet gaan maken van het gebouw en op welke manier dit gebeurt. Dit is een belangrijk gegeven voor stationsgebouwen. Het station wordt dagelijks gebruikt door een grote stroom aan verschillende typen mensen. Iedereen dient daardoor gebruik te kunnen maken van alle faciliteiten op en rondom het station. Zo dient een gehele stationsgebouw onder andere toegankelijk te zijn voor minder validen.²³

2.2.7 Triple E

Om het concept te kunnen realiseren moeten bedrijven anders gaan denken. Braungart en McDonough gaan er vanuit dat de argumenten om de huidige problematiek aan te pakken niet voortkomen uit milieuoverwegingen, maar dat deze zijn gebaseerd op economische voordelen. Bedrijven laten namelijk de economische aspecten vaak vele malen zwaarder wegen dan de maatschappelijke of ecologische aspecten.¹¹



Cradle to Cradle gaat uit van een samenhang tussen economie, ecologie en rechtvaardigheid. Dit wordt in het boek ook wel de 'Triple E' (Ecology, Economy en Equity) genoemd. Tijdens het ontwerpproces is het essentieel dat de drie E's compleet in balans zijn, dan komt het Cradle to Cradle principe het beste tot zijn recht.¹¹

ity

2.3 Ontwerpprincipes

2.3.1 Uitgangspunten

Het Cradle to Cradle principe is gebaseerd op een achttal uitgangspunten. Indien aan alle uitgangspunten wordt voldaan kan er compleet Cradle to Cradle worden gebouwd, stellen Braungart en McDonough. Vanzelfsprekend dienen alle materialen na gebruik terug te keren in de biologische of technologische kringloop waarbij upcyclen mogelijk is.

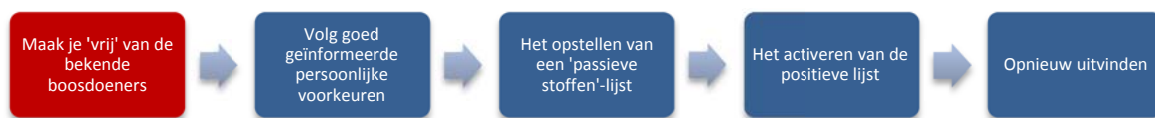
1. Ontwerp alle producten zodanig dat na gebruik alle materialen hoogwaardig hergebruikt kunnen worden in de biologische of technologische kringloop. Voorkom daarbij hybride materiaalstromen die zeer moeilijk te scheiden zijn. Ga daarbij uit van herontwerpen in plaats van verbeteren en neem de natuur daarbij als voorbeeld.
2. Zorg ervoor dat tijdens het productieproces en het gebruik van de producten geen schadelijke (kleur)stoffen, chemicaliën en metalen voor mens en milieu vrijkomen.
3. Zorg ervoor dat het productieproces en/of het gebruik van de producten een toegevoegde meerwaarde creëert voor de omgeving (schoner milieu, gezonder voor mensen etc.) Ontwerp hierbij vanuit de triple E (Ecology, Economy en Equity) gedachte.
4. Maak gebruik van duurzame energie zoals zonne-energie, windenergie en waterkracht.
5. Respecteer diversiteit van plaats, cultuur, behoefte en wensen.
6. Houd binnen het productieproces rekening met het beschermen en behouden van de levering en de kwaliteit van watervoorraden.
7. Laat het productieproces plaatsvinden op een sociaal verantwoorde wijze. Dit wil zeggen geen kinderarbeid, geen gedwongen arbeid, geen ongezonde werkplekken, geen discriminatie, vrijheid van vereniging, etc.
8. Ga binnen het productieproces uit van een lokale insteek qua inzet van grondstoffen, energie, etc.⁴⁴

2.3.2 Stappenplan

In theorie zijn de zojuist genoemde stappen haalbaar, maar in de praktijk is dat niet altijd haalbaar voor bedrijven en organisaties. Deze punten vormen namelijk een radicale omslag waardoor de manier van werken, het ontwerpen en besluitvormen compleet wordt veranderd. Daarentegen biedt het bedrijven en organisaties kansen voor nieuwe ambities en uitdagingen.

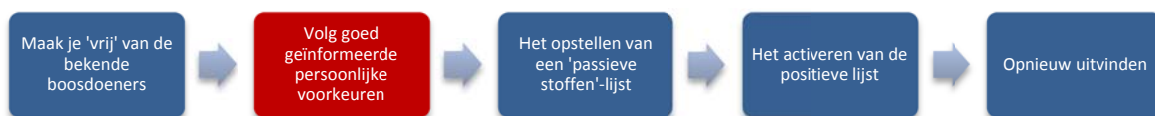
Om de uitgangspunten te kunnen behalen hebben Braungart en McDonough een stappenplan ontwikkeld van totaal vijf stappen;





Fabrikanten en industrieën willen worden bestempeld als zijnde een duurzaam bedrijf. Om producten te produceren die milieubewuster zijn, beginnen zij vaak met het uitbannen van de bekende schadelijke stoffen. Op de verpakking kan dan worden vermeld dat de producten bijvoorbeeld 'fosfaatvrij', 'loodvrij' of 'geurvrij' zijn. De producten zijn dus minder slecht voor het milieu.¹¹

Het weren van schadelijke stoffen in producten is volgens Braungart en McDonough niet per definitie beter voor het milieu maar is wel de eerste stap in het proces. De uitgebannen stoffen worden veelal vervangen door andere middelen die wellicht even schadelijk of zelfs schadelijker voor het milieu zijn. Om een product compleet binnen de kaders van Cradle to Cradle te laten vallen is het noodzakelijk om alle grondstoffen in het materiaal te definiëren en niet enkel de weggelaten stof.¹¹



Gedurende het ontwerpproces is het cruciaal dat fabrikanten te kennen geven uit welke grondstoffen een product is opgebouwd. Momenteel wordt hier geen openheid over gegeven. Fabrikanten geven enkel te kennen dat het product voldoet aan de 'verplichte eisen' die zijn opgesteld door de overheid. De consumenten weten echter niet wat deze verplichte eisen precies inhouden omdat deze verschillen per fabrikant. Producenten doen dit om het eigendomsrecht te beschermen.¹¹

De keuze voor een bepaald product hangt eveneens af van persoonlijke voorkeuren. Braungart en McDonough gebruiken als voorbeeld een vegetariër die biologische spinazie verkiest boven conventioneel geteelde spinazie. Echter heeft de vegetariër geen informatie over de verpakings- en transportmethoden. Er is dan relatief een grotere kans dat de verpakings- en transport methoden vele male giftiger zijn voor het milieu dan wanneer er wordt gekozen voor conventioneel geteelde spinazie.¹¹



le keurmerk

Om Cradle to Cradle te bouwen moeten de verplichte eisen worden toegelicht en openheid worden gegeven over de producten die worden geleverd. Bij gebrekkige medewerking, omtrent het verschaffen van informatie over de productie en/of het product, moet men volgens Braungart en McDonough overstappen naar een leverancier die milieuvriendelijker en meewerkend is.

Een mogelijke optie is om gebruik te maken van producten die voorzien zijn van het Cradle to Cradle keurmerk (figuur 6). Het Cradle to Cradle keurmerk wordt uitgegeven door het bedrijf McDonough Braungart Design Chemistry (MBDC) dat Braungart en McDonough gezamenlijk in 1994 hebben opgericht. Echter zijn er nog maar weinig bouwmaterialen onderzocht op de Cradle to Cradle principes.¹¹



Nadat alle beschikbare informatie over de producten en het bijhorend productieproces verzameld en verwerkt is, kan er echt een start worden gemaakt met het ontwerpen van Eco-efficiency naar eco-effectief stellen Braungart en McDonough. De producten en grondstoffen dienen te worden gerangschikt in drie verschillende lijsten, namelijk:

1. De groene lijst

Op de groene lijst zijn uitsluitend grondstoffen te vinden die niet schadelijk voor het milieu zijn. Dit zijn dus afbreekbare stoffen of stoffen die compleet kunnen worden teruggebracht in de technische kringloop. Daarnaast mogen de stoffen op de groene lijst geen schadelijke effecten teweeg brengen. Een stof mag bijvoorbeeld niet kankerverwekkend zijn, de ozonlaag aantasten of het water verontreinigen.¹¹

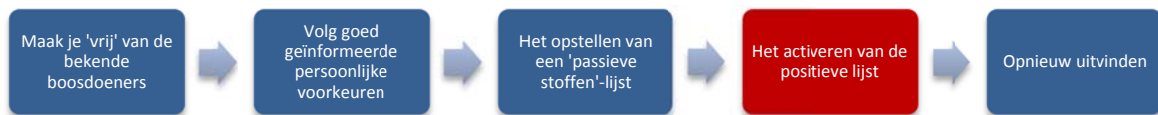
2. De zwarte lijst

De zwarte lijst wordt voorzien van materialen die schadelijk zijn voor mens, dier en milieu. Dit zijn materialen zoals PVC, lood en kwik. Naast de materialen is het ook van belang om de schadelijke effecten te noteren. Deze materialen moet in het nieuwe ontwerp van de productie worden geweerd.¹¹

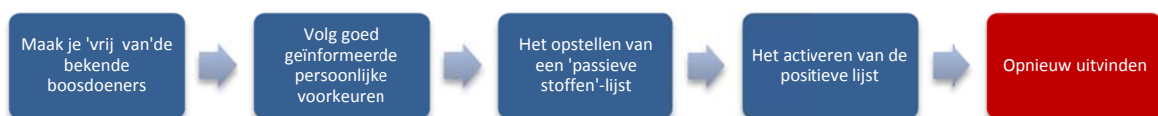
Cradle to Cradle gaat uit van het herontwerpen van een productiemethode zonder de eigenschappen, de kwaliteiten en het uiterlijk van het product te veranderen. De giftige stoffen en materialen op de zwarte lijst kunnen daardoor eventueel vervangen worden door stoffen uit de groene lijst. Het product is dan nog steeds van dezelfde kwaliteit, maar voorzien van milieubewuste stoffen. Het product kan daardoor alsnog worden gewaardeerd als zijnde positief en op de groene lijst worden genoteerd.¹¹

3. De grijze lijst

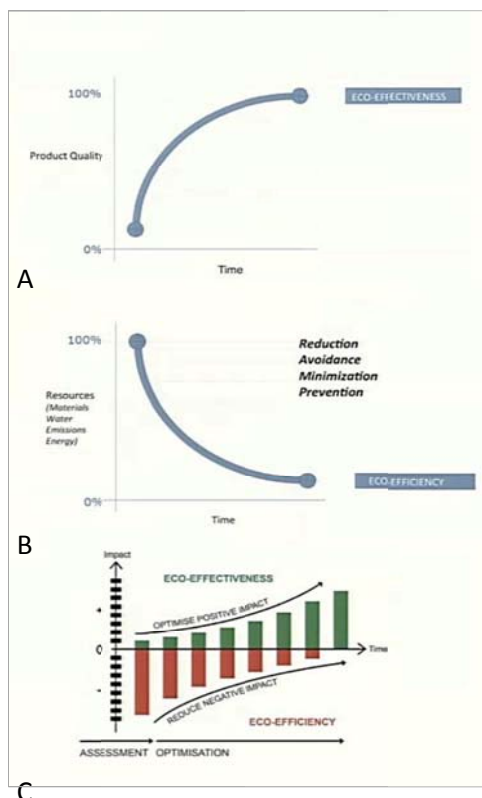
Op de grijze lijst worden producten genoteerd die een schadelijk effect teweeg kunnen brengen op het milieu, maar waarvoor momenteel nog vervangbare oplossing voor is. Dit kan een product zijn waarin één schadelijk stof aanwezig is die niet urgent verwijderd hoeft te worden. Een andere reden kan zijn dat het product juist een duurzame werking heeft en van essentieel belang is binnen de Cradle to Cradle principes. Braungart en McDonough nemen, in het boek, de stof cadmium als voorbeeld. Cadmium is een zeer giftige stof die wordt gebruikt in zonnecollectoren. Zonnecollectoren leveren groene stroom en vallen daarmee onder duurzame energie. Cadmium is dus wel een schadelijke stof maar het product levert een positieve bijdrage aan het milieu. Indien de stof cadmium kan worden vervangen door een stof vanuit de groene lijst, kunnen zonnecollectoren in de toekomst alsnog als positief worden beoordeeld.¹¹



Nadat de zwarte lijst uitvoerig is geanalyseerd en er eventueel stoffen zijn vervangen, begint het herontwerpen van de productie echt. Braungart en McDonough willen niet meer 'minder slecht' zijn. In deze fase wordt er alleen nog maar gefocust op de groene lijst. Het doel is om een product niet opnieuw te bedenken maar om het gehele productieproces te vernieuwen. Materialen die worden gecreëerd met behulp van stoffen uit de groene lijst, moeten volledig in de biologische of technologische kringloop passen en waar mogelijk geüpccycled worden.¹¹



De stap "opnieuw uitvinden" is het uitvoeren van de gedachte spinsels die in de voorgaande stappen zijn gecreëerd. Het gehele productieproces van een bedrijf en/of product wordt met het Cradle to Cradle principe compleet veranderd. Producten worden in deze situatie niet meer verbeterd maar juist anders ontwikkeld. Braungart en McDonough zijn van mening dat als de vijf stappen (zie pagina 23 t/m 26) zijn doorlopen de gehele productie van producten geheel Cradle to Cradle kan. Door middel van deze stappen wordt er tevens voldaan aan de achtal uitgangspunten die vooraf zijn opgesteld. De lijsten bij stap drie zijn de belangrijkste elementen en vormen de basis van een ontwerp.¹¹



Inplaats van in te zetten op reductie waardoor minder slecht nooit goed wordt, wordt het gehele productie proces omgedraaid. Producten worden opgetild naar een schoon productie proces waarbij geen afval meer ontstaat. De overgang is een complete omslag voor bedrijven waardoor Eco-Efficiency wordt omgezet naar Eco-effectiviteit (tabel 1).¹¹

-effectiviteit.

tieproces
:t 100%
itslaat er
ier.

oals
:t
oon worden
itgesteld.
'ectiviteit

2.4 Kritiek

Vanuit verschillende kanten zijn wisselende geluiden te horen met betrekking tot de Cradle to Cradle principes. Experts op het gebied van duurzaamheid zijn hier voornamelijk erg kritisch over. Zij vrezen dat Cradle to Cradle slechts een zijspoor is voor de problemen die eerder zijn beschreven.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is van mening dat de vele problemen die momenteel spelen en de auteurs beschrijven reëel zijn. Het PBL erkent dat het correct is dat op veel plaatsen vruchtbare grond verloren gaat, doordat er bijvoorbeeld voedingsstoffen aan de bodem worden onttrokken, erosie plaatsvindt, steeds meer grond voor bebouwing wordt gebruikt, enzovoort. Ook stellen zij dat het klopt dat bij recycling in de praktijk kwaliteitsverlies van materialen optreedt.¹ Echter heeft het Planbureau voor de Leefomgeving een tweetal kritieke punten. Zo stellen zij dat Braungart en McDonough onvoldoende stil staan bij het feit dat de ruimte op de aarde beperkt is. Onbesproken blijft namelijk hoeveel ruimte er gereserveerd dient te worden voor composteren en verteren van verpakkingsmaterialen en textiel binnen de biosfeer. Indien de gehele wereldbevolking het Cradle to Cradle concept in praktijk gaat gebruiken, ontstaat er grote schaarste aan ruimte.²⁷

Daarnaast stelt het PBL dat het correct is dat het produceren van producten energie kost, maar dat het inzamelen en ontmantelen van producten voor upcycling ook veel energieverbruik met zich meebrengt. Daar komt bij dat het ruimte- en energieprobleem de komende decennia alleen nog maar groter wordt. De wereldbevolking groeit de eerstvolgende decennia fors en alle wereldburgers gaan beduidend meer produceren en consumeren.²⁷ Zonne-energie en afgeleide daarvan hebben momenteel nog niet voldoende rendement om dit probleem op te lossen.

Peter van Vliet, voorzitter van iNsnet, een stichting die duurzame ontwikkeling promoot, beaamt de stelling van het PBL. Hij vindt het namelijk kwalijk dat de hoeveel extra ruimte en energie- en transportkosten niet zijn doorgerekend in het boek *Remaking The Way We Make Things*.²⁷

Friso de Zeeuw, directeur Nieuwe Markten Rabo Bouwfonds en praktijkhoogleraar gebiedsontwikkeling TU Delft, is van mening dat Cradle to Cradle een dwaalspoor is. Zo stelt hij dat het denken van “wie tot wie” geen enkel probleem is, maar dat afval momenteel geen duurzaamheidsvraagstuk is. De Zeeuw neemt als voorbeeld de nieuwe generatie afvalverbrandingsinstallaties. Hij stelt dat de uitstoot van die afvalverbrandingsinstallaties is veelal schoner en gezonder dan het binnenklimaat van een woning met slecht werkende balansventilatie. Net als De Zeeuw plaatst ook Fred Schoorl, directeur NIROV, kanttekeningen bij de Cradle to Cradle principes. Hij vindt dat het Cradle to Cradle te weinig aanknopingspunten biedt voor de ruimtelijke inrichting. “Cradle to Cradle is enkel een hype die momenteel over Nederland raast”.⁷

Ondanks de vele tegenstanders, begint Cradle to Cradle in Nederland echter steeds meer voet aan de grond te krijgen. Ondertussen liggen er al een aantal concepten om Cradle to Cradle in de praktijk uit te voeren. Zo wilt Almere in 2030 een nieuw woongebied realiseren met maar liefst 60.000 woningen in C2C. Venlo omarmde eveneens het C2C principe, waar de floriade het meest opvallende project van 2012 was, dat compleet was uitgevoerd volgens de Cradle to Cradle principes. Dit gebeurde onder leiding van Braungart en McDonough.²

²⁷ Planbureau voor de Leefomgeving *Cradle-to-Cradle in de context van het..* (2008). *En quick scan van het concept* Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving.

2.5 Cradle to Cradle principes voor Perronoverkappingen

Movares streeft ernaar om ecologische, sociale en economische meerwaarde te creëren voor de huidige en toekomstige gebruikers van het spoor en de stations. Zij hebben in het boek *Cradle to Cradle Stations* een vijftal Cradle to Cradle kernwaarde opgesteld waaraan een station zou kunnen voldoen indien deze in Cradle to Cradle worden uitgevoerd.²³

1. Afval is voedsel.
2. Respecteer en creëer diversiteit in natuur, cultuur en toepassingen.
3. Zon is inkomen: ontwerp met natuurlijke energie.
4. Ontwerp met oog op het welzijn van volgende generaties.
5. Realiseer positief rendement.²³

Het eerste principe *afval is voedsel* gaat uit van het ontwerpen en produceren van producten in kringlopen. Elk onderdeel dient hierbij afzonderlijk te kunnen worden opgenomen in de bio- of technosfeer. Bij het ontwerp van een perronkap / station dient tevens rekening te worden gehouden met de diversiteit. Het is namelijk van belang dat een gebouw en haar omgeving een lokale identiteit hebben, waardoor de gebruikskwaliteit zo hoog mogelijk wordt ervaren. Dit resulteert namelijk in een positieve bijdrage aan de beleving van de reizigers. Een ‘thuisgevoel’ zorgt er namelijk voor dat men wil bijdrage aan het verbeteren van het gedag en de leefomgeving. In het gebouw kunnen bijvoorbeeld culturele elementen vanuit de regio worden opgenomen, zoals bouwproducten, kunst of bepaalde culturen. Er kan informatie worden aangeboden aan de reizigers over bijvoorbeeld het verkeer/vervoer, culturele evenementen of bezienswaardigheden in de regio.²³

Het is wel de bedoeling dat de volgende generaties veilig en gezond kunnen genieten van deze stations. Daarom geeft Movares het advies om zoveel mogelijk hernieuwbare natuurlijke grondstoffen te gebruiken, bijvoorbeeld hout, katoen, wol en steen. Daarbij mogen de materialen niet worden voorzien van schadelijke stoffen en mogen zij de omgeving niet verstoren. Om dit te voorkomen moeten de mogelijke effecten vooraf worden vastgesteld door middel van de punten *people, planet en prosperity*.²³

De productie moet eveneens op een verantwoorde manier verlopen. De schadelijke stoffen in de materialen en het zware werk mogen geen schade op mensen hebben. Belangrijk is hierbij om zorg te dragen voor passende werktijden en genoeg arbeidsrust.²³

Het laatste principe gaat uit van een positief rendement gecreëerd door de zon. Zoals eerder beschreven gaat Cradle to Cradle niet uit van het verminderen van het energieverbruik, maar van het opwekken van duurzame energie. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van energie uit wind, zon en eventueel waterkracht. Een gemiddeld station gebruikt per jaar 125.000 kWh stroom. Dit is evenveel als 50 huishoudens samen.²³

2.6 Deelconclusie

Cradle to Cradle is een geheel nieuwe denkwijze die Braungart en McDonough hebben gebaseerd op een onderzoek van de Environmental Protection Encouragement Agency. Cradle to Cradle gaat verder dan alleen een filosofie, maar biedt ook oplossingen. De nadruk ligt met name op het verbeteren van complete productieprocessen en niet op het 'minder slecht' zijn.

Het is duidelijk dat investeren in de Cradle to Cradle principes gepaard gaat met veel tijd, geld, technieken en nieuwe ontwikkelingen. Indien organisaties bereid zijn om hierin te investeren, creëert dit nieuwe mogelijkheden en ambities. Echter zijn er ook duidelijke punten van kritiek in mijn scriptie te lezen.

Er is naar voren gekomen dat er een aantal zaken onvoldoende worden belicht. De grote vraag is of er voldoende ruimte beschikbaar is om materialen vanuit de biologische kringloop te laten composteren. Daarnaast is het niet inzichtelijk of er wel vraag is naar deze vorm van compost. Wereldwijd staat de biodiversiteit al onder druk waardoor Cradle to Cradle dit vergroot. Er moeten dus duidelijk grenzen gesteld worden om de Cradle to Cradle principes in goede banen te leiden. Als derde valt op te merken dat materialen die zowel een lange regeneratietijd hebben en waar tevens grote vraag naar is uitgeput kunnen raken. Hiervoor is echter geen oplossing aangedragen door Braungart en McDonough. Samengevat is er veel kennis nodig om tot concrete oplossingen te komen om productieprocessen te vernieuwen. Door de beperkte informatie van fabrikanten, de beschikbare tijd en de benodigde kosten is deze kennis op dit moment beperkt.

Braungart en McDonough uiten daarentegen ook kritiek op de huidige manier van duurzaam bouwen. Braungart en McDonough beschrijven dat het motto van het huidige eco-efficiency is gebaseerd op beperken, hergebruik en recylen

Ik vind het echter lastig om concrete verschillen tussen de beide principes aan te wijzen. Ik ben van mening dat het verschil voornamelijk zit in de manier van denken. Cradle to Cradle is voornamelijk een filosofie waarbij momenteel nog te weinig wordt gefocust op de ruimtelijke inrichting.

Wat mij aan de Cradle to Cradle principes opvalt, is de ambitie die het uitstraalt. Dat daagt uit tot anders denken en anders handelen. Het doel is om producten zo te ontwerpen dat ze enerzijds biologisch afbreekbaar zijn, waardoor afval voedsel wordt (biologische kringloop). En anderzijds de producten zo te ontwerpen zodat de onderdelen uit elkaar te halen zijn waardoor ze vervolgens weer toegepast kunnen worden door middel van upcycling in nieuwe producten (technologische kringloop). Daarnaast is volgens Cradle to Cradle de zon de belangrijkste bron van energie, die voldoende energie moet leveren om volledig in de energiebehoefte te kunnen voorzien.

Producten die schadelijk zijn dienen dus compleet anders te worden ontworpen, want de hoeveelheid tonnage die per jaar wordt gebruikt voor materialen als pvc, cadmium, lood en kwik wordt geschat op 4,3 ton per jaar. Om dit in perspectief te zien, er is slechts één gram van deze materialen nodig om alle vissen in een meer van acht hectare groot te vernietigen.

3. Analyse bestaande perronkappen

Momenteel bouwt ProRail meerdere stations door heel Nederland. Een gedeelte van deze stations zijn al bijna klaar, terwijl andere nog in de startblokken staan. Hoewel de stations door vele verschillende architecten zijn ontworpen, zijn er toch duidelijke overeenkomsten te constateren in de ontwerpen en het materiaal gebruik daarvan. Maar passen deze materialen wel binnen de visie van Michael Braungart en William McDonough zoals omschreven in de Cradle to Cradle Principes?

3.1 Stations

3.1.1 Amsterdam Rai



Amsterdam Rai.

Station Amsterdam Rai functioneert voornamelijk als evenementenstation. Dit komt door het nabijgelegen Rai Complex. Station Rai is tevens een schakel tussen de historische binnenstad van Amsterdam en de groene zone van het Amstelpark, Zorgvliet en de Europaboulevard langs de A10.³⁶

Het station wordt momenteel uitgebreid met een verdubbeling van het aantal sporen en een tweede perron met perronoverkapping. De nieuwe overkapping speelt visueel geen grote rol in het totale ensemble. Het beeld wordt voornamelijk gedomineerd

door de bestaande perronkap, waardoor de nieuwe perronkap minimalistische is vormgegeven om het bestaande beeld te respecteren (figuur 8).³⁶

De eenvoudige perronkap wordt gekenmerkt door een grote lichtstraat in het midden van de kap, voorzien van koudgebogen glas. In het perron zijn namelijk meerdere vides gecreëerd waardoor direct licht in de onderliggende stationshal mogelijk is. De afgeschuinde zijanten, die worden voorzien van beplating, versterken het beeld van een extreem dunne schijf waardoor de kap nauwelijks in het beeld opvalt.³⁶

De hoofdconstructie van de platte kap wordt gevormd door twee IPE liggers gepositioneerd in de langsrichting. Deze liggers lopen evenwijdig aan elkaar met een hart op hart afstand van 4,7 meter (figuur 10). Ter plaatse van de uiterste stijpunten krijgen de liggers een overstek van 6 meter om het gevolg van gladde trappen en vloeren te voorkomen. Aan de buitenzijde van de liggers wordt een goot toegepast waarin het water vanaf de lichtstraat kan afwateren. De HWA leidingen worden om de twee stramien in de kolommen afgevoerd naar de hoofdriolering. Overige installaties zoals luidsprekers (h.o.h. 16 meter), doorlopende lichtlijnen (armaturen) en kabels worden in de vleugels geïntegreerd.^{8,36}



reid met
perronkap.

De krachten die optreden in de kap worden afgevoerd door middel van kolommen. De kolommen zijn uitgevoerd in kokerprofielen van 250x150x12,5mm met een h.o.h. afstand van 5,21 meter. De gehele staalconstructie inclusief de kolommen worden verzinkt en geschilderd (duplex-systeem).²³

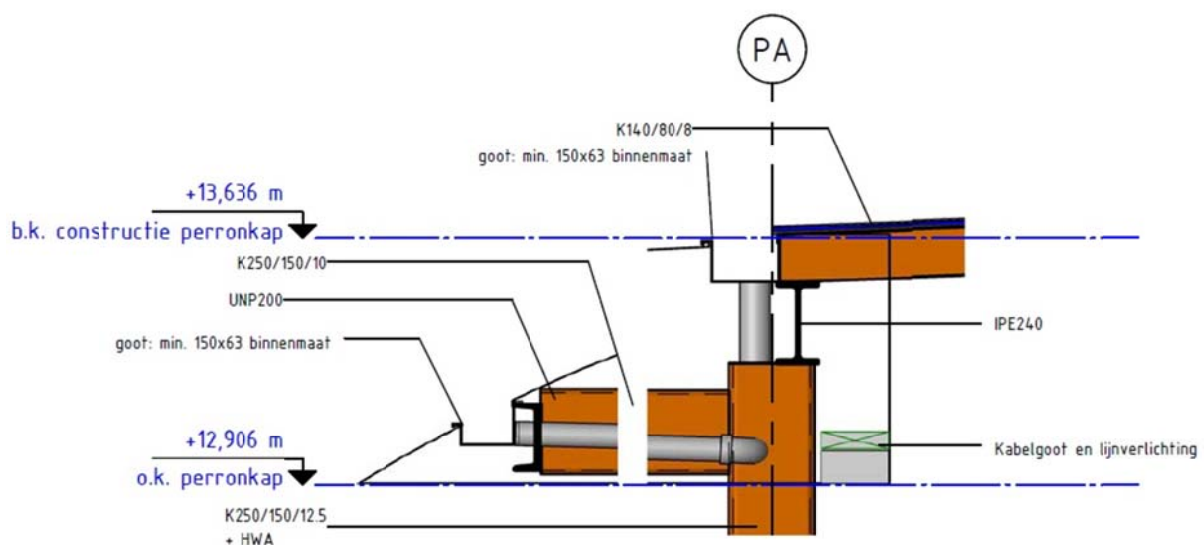
Tussen de twee IPE liggers wordt een lichtstraat opgebouwd. De lichtstraat wordt beloopbaar uitgevoerd in koudgebogen glas en wordt ondersteund door middel van samengestelde gelaagde K140x80x8 glazen liggers. Waardoor er een optimale lichtinval wordt gecreëerd.²³



Figuur 9: 3D impressie van de nieuwe perronkap op station Amsterdam Rai, waarbij de vleugels doorzichtig zijn om de onderliggende constructie inzichtelijker te maken.

De rand van de overkapping wordt voorzien van een gecoate composiet aluminium plafond die ook doorgezet wordt aan de bovenzijde van de kap. Om de 1000mm worden de platen aan scheggen bevestigd, die zijn opgehangen aan de onderliggende constructie. De beplating omkleedt de vleugel geheel.^{8,36}

De vleugels worden ter plaatsen van de kolommen ondersteund door middel van kokerprofielen. Tussen de kolommen worden er IPE 240 liggers aan de langsligger bevestigd om ook daar de vleugels te kunnen ondersteunen. Het uiteinde van de vleugels worden voorzien van een randbalk, die wordt uitgevoerd in een UNP200.^{8,36}



3.1.2 Arnhem Centraal



e
aal.

De gemeente Arnhem voert momenteel twee grote projecten uit. Allereerst de ontwikkeling van een nieuwe OV terminal en daarnaast de vernieuwing van het spoor met daarbij een nieuw vierde perron.³⁸

Het gebied rondom Arnhem Centraal kenmerkt zich voornamelijk door een groot aantal verschillende hoge bouwwerken. De perrons zijn daardoor ingebed tussen de gebouwen waardoor het overgrote deel van de bevolking zicht heeft van bovenaf. Daarom is er extra ingezet op de esthetische afwerking van de perronkappen.³⁸

Het ontwerp is tot stand gekomen door middel van een vlechtconstructie. Het dak wordt in het midden voorzien van grote daklichten met daaromheen aluminium beplating. Hierdoor ontstaat er veel licht op de perrons waardoor het gevoel voor ruimte wordt vergroot.³⁸

De perronkappen zijn opgebouwd uit gestandaardiseerde elementen. Deze elementen hebben een afmeting van 25,6 meter en een hoogte van 5 meter. De grote overspanning is gecreëerd met het oog op de sociale veiligheid. Door zo min mogelijk obstakels op het perron te plaatsen wordt het overzicht over de perrons aanzienlijk vergroot. Ter plaatse van de overgang worden de elementen gedilateerd om het materiaal vrij te laten vervormen onder invloed van temperatuurswisselingen. Het uiteinde van de elementen worden gedragen door stalen gevorkte kolommen. De kolommen zijn aan de buitenzijde voorzien van antigrffiti coating en lopen door in een funderingsvoet, welke ook als zitelementen gebruikt kan worden. De funderingsvoet is aan de onderzijde ondersteund door middel van een fundering op staal, waarvan de verbinding momentvast is uitgevoerd. De kolommen zijn samengesteld uit kokerprofielen van K500x300x12mm. De zijkant hiervan is voorzien van een demontabele plaat waarachter de kabelgoot en HWA leidingen weggewerkt zijn.^{25,26,38}

In de langsrichting, ondersteunt en momentvast verbonden met de kolommen, lopen twee torsiestijve HE450B hoofdliggers met een h.o.h. afstand van 5,6 meter. Tussen de hoofdliggers zijn zogeheten koppelkokers toegepast. Bij het dichte dakvlak zijn deze kokers opgebouwd uit IPE180 liggers en bij de transparante delen zijn er kokers van 180x80x8mm toegepast.^{25,26,38}

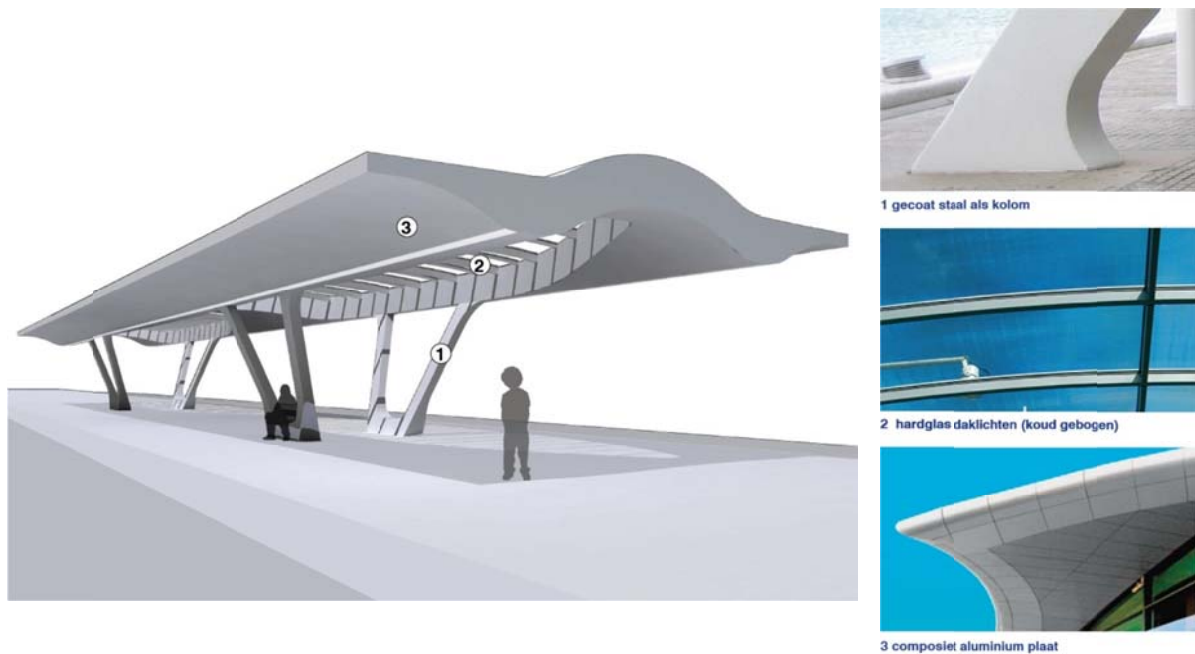
Aan de andere zijde van de hoofdligger worden om de 1000mm opengewerkte IPE 180 ribben bevestigd. Deze ribben dragen de prefab vleugels die aan de buitenzijde is voorzien van een goot. De goot heeft naast het afvoeren van water nog een constructieve functie, namelijk het onderling verbinden van de ribben. Tussen de ribben zijn windverbanden aangebracht uit hoekstaal 50x50x5. De randen van het ontwerp zijn tevens variabel in breedte. Hierdoor is de mogelijkheid ontstaan om de afstand tussen de perronkap en de trein zo klein mogelijk te houden, wat het comfort van de reizigers, bij neerslag, ten goede komt.^{25,26}



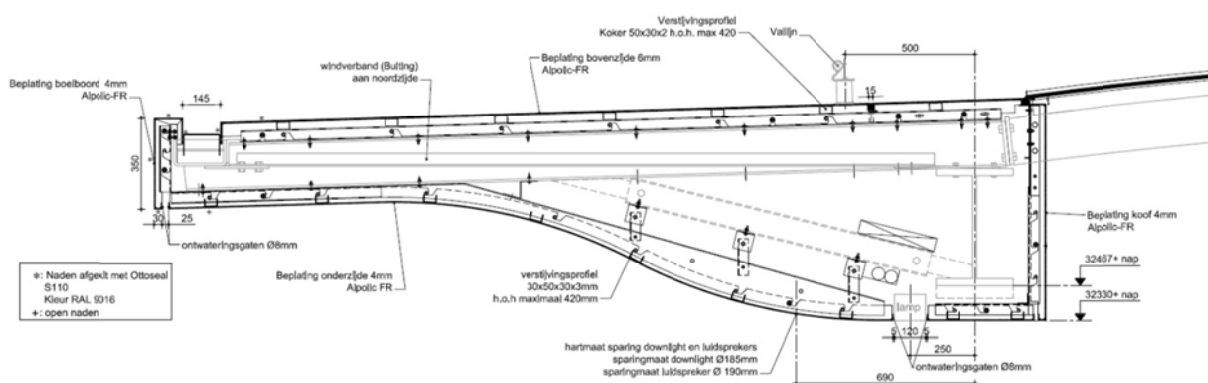
ie in de

Voor de materialisatie van de perronkappen is gekozen voor relatief eenvoudige materialen. Het gesloten gedeelte van het dak is uitgevoerd in gecoate composiet aluminium platen. Het transparante gedeelte is voorzien van beloopbaar koudgebogen glas. Het glas is tweezijdig ingeklemd en door middel van kitvoegen aan de aluminium beplating verbonden, waardoor er een waterdichte afdichting wordt gerealiseerd.^{25,26}

De installatietechnische voorzieningen zijn in de kap volledig weg gewerkt. Zodoende zijn er twee lichtlijnen over de gehele lengte van de kap toegepast met daarboven een kabelgoot. Hetzelfde geldt voor de luidsprekers en andere technische voorzieningen.^{25,26}



In het ontwerp zijn de bovenleidingsportalen geïntegreerd. Hiermee zijn eventuele ingewikkelde sparingen in het dak voorkomen. De portalen zijn op een vaste maat bevestigd waardoor er een rustig beeld op de perrons ontstaat met een minimaal aantal constructieve ingrepen. De gehele constructie is geconserveerd met een drie laag verfysteem.^{25,26}



Figuur 14: Gedetailleerde opbouw van de kapconstructie op station Arnhem Centraal.

3.1.3 Europapark

Het nieuwe station Groningen Europapark is gelegen in de as van de Boumaboulevard te Groningen en krijgt de functie om te fungeren als OV knooppunt voor de inwoners van de wijken Helperzoom en Euroborg. Hierbij wordt rekening gehouden met een capaciteit van circa 6000 reizigers per dag.²⁴

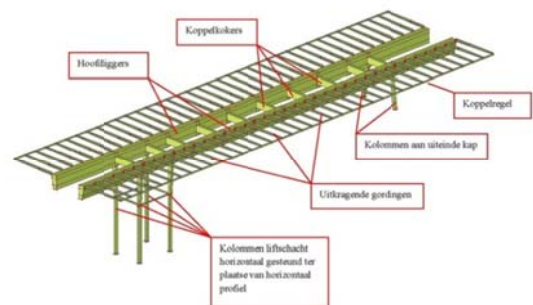


ing

Het station kenmerkt zich sterk door het beeldmerk van de perronkappen. Europapark beschikt namelijk over een zij- en middenperron die beide zijn voorzien van kappen in de vorm van titanium vleugels, die ondersteunt worden door middel van stalen balken. Tussen de vleugels is een lichtstraat gecreëerd die wordt gevormd door middel van koud gebogen glas. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid om een lichte en comfortabele wachtruimte onder de kap te situeren. Het gehele station is zo transparant mogelijk ontworpen met het oog op sociale veiligheid. Vanuit het station is er zicht op de

fiets/loop tunnel en vice versa: zien en gezien worden zorgt bij Europapark voor een gevoel van veiligheid.²⁴

De overkappingen bestaan uit een viertal hoofdonderdelen zoals weergegeven in figuur 16. De hoofdconstructie wordt gevormd door middel van twee naast elkaar gepositioneerde samengestelde stalen kokerprofielen met een h.o.h. afstand van 3,1 meter. Deze kokerprofielen zijn van aanzienlijke afmetingen waardoor meerdere technieken en onderdelen hierin geïntegreerd zijn. Aan de bovenzijde van het kokerprofiel is aan de binnenzijde een goot aangebracht. Daarnaast zijn er speciale sparingen gemaakt voor het bevestigen van armaturen en roosters aan de onderzijde.²⁴



constructie in

De kokerprofielen worden ondersteund door middel van zes kolommen die aan het uiteinde van de kapconstructie zijn geplaatst, waarna de dakconstructie nog circa 7,2 (zijperron) of 10,8 (middenperron) meter uitkraagt. De kolommen zijn eveneens samengesteld uit kokerprofielen die een verlopende doorsnede hebben over de gehele hoogte.²⁴

Vier van de zes kolommen leveren tevens een bijdrage aan de liftschacht en worden daarom tot 5,3 meter doorgezet tot onder het perron. De twee overige kolommen worden aan het uiteinde van de kap onder een schuinstand op het perron geplaatst.²⁴



In de buitenste vier kolommen zijn HWA leidingen geïntegreerd. Zodoende kan het water vanuit de goot op meerdere plaatsen worden afgevoerd. De twee overige kolommen zijn voorzien van een kabelgoot. Op deze wijze is het mogelijk om kabels verticaal te transporteren naar de kap waarna de kabels kunnen dienen voor de armaturen, luidsprekers, bebording, etc. Elektra en de hemelwaterafvoer worden dus niet door eenzelfde portaalvoet aan- of afgevoerd. De leidingzone wordt afgedekt door middel van afneembare kappen die met een bouwverbinding is vastgemaakt.²⁴

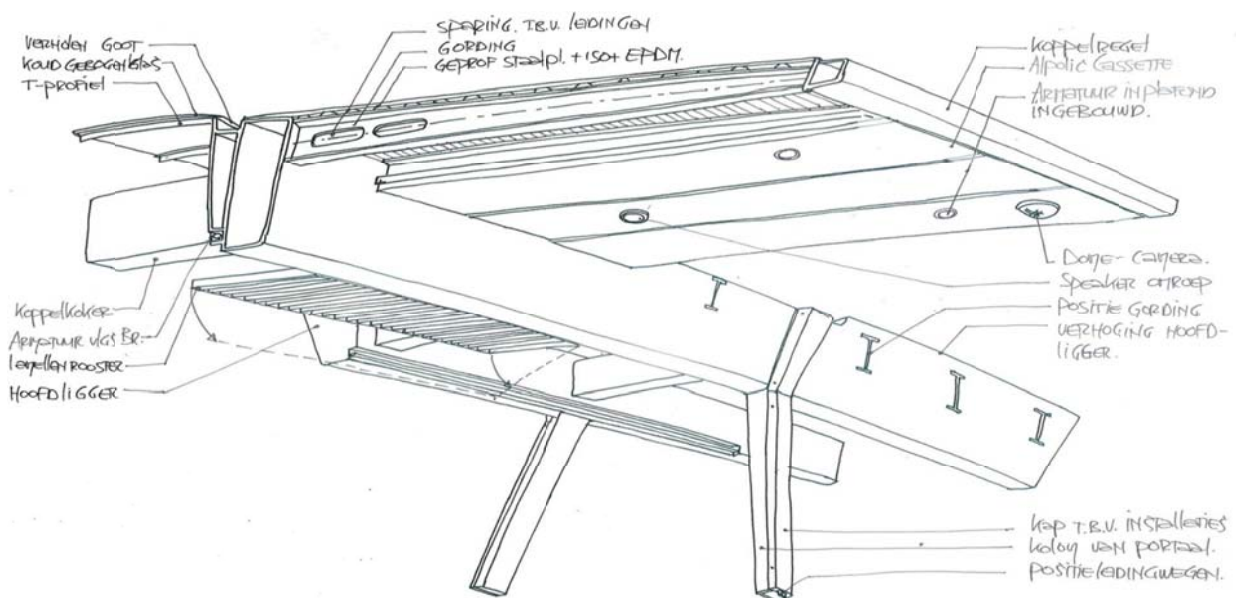
De ruimte tussen de kokerprofielen van 3,1 meter wordt gebruikt als lichtstraat. Hierin zijn om de 3,6 meter koppelkokers aangebracht om de gevolgen van torsie in de gehele kap te beperken. De koperkokers dienen tevens voor de oplegging van het koudgebogen glas waardoor de kap waterdicht wordt afgesloten.²⁴

De onderzijde van de lichtstraat is voorzien van roosters die zijn opgebouwd uit staal- of aluminium strips. Ten behoeve van onderhoud en het vervangen van de bovenliggende armaturen worden de roosters opgedeeld in twee kleppen, waardoor het 'plafond' tweezijdig geopend kan worden.²⁴

Naar het uiteinde van de kap toe verlaagt de glazen midden zone. Het plafond van de laatste 3,6 meter bestaat uit een gecoate composiet aluminium beplating. In het vooraanzicht wordt dan de illusie gewekt dat er twee grote vleugels gecreëerd zijn.²⁴

Om beide perrons over de gehele breedte te overkappen zijn aan weerszijde kanten van de kokerprofielen uitkragende gordingen toegepast. Op een h.o.h. afstand van 1,2 meter zijn deze I-vormige gordingen momentvast verbonden met de hoofdligger. De overspanning varieert van 3,1 meter (midden perron) tot 4,4 meter (zijperron). De I-profielen verjongen naar het uiteinde toe en zijn voorzien van sparingen ten behoeve van een kabelgoot.²⁴

Op de gordingen is een geprofileerde staalplaat gemonteerd met daarop een dunne isolatielaag van 30mm waarnaar EPDM dakbedekking is toegepast. De onderzijde van de vleugel wordt ingevuld met Alpolic cassettes (een kunsthars volkeren plaat met een metalen toplaag van 0.4mm) die worden gemonteerd middels een blinde bevestiging.²⁴



3.1.4 Utrecht Centraal

Utrecht centraal is al jaren te klein voor het aantal reizigers dat jaarlijks gebruikmaakt van het station. Het station is ooit gebouwd voor circa 35 miljoen reizigers per jaar, momenteel zijn dit echter 88 miljoen reizigers per jaar. Daarom bouwt Utrecht in samenwerking met ProRail een nieuw stationsgebied tussen het Jaarbeurs plein en Hoog Catharijne.¹⁸



komstige
al.

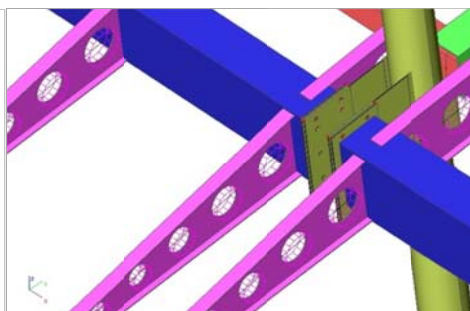
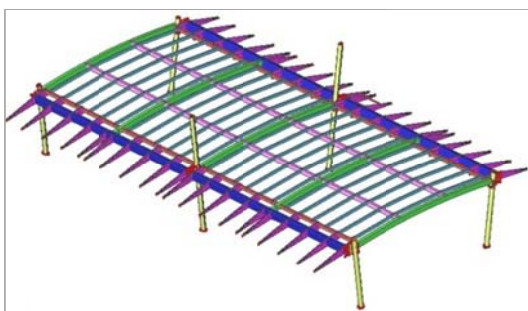
Er is gestreefd om het station een eigen identiteit te geven. De opbouw van de perronkappen is daarom in grote lijnen hetzelfde gehouden. De kappen bestaan uit circa 13 dezelfde elementen, met een totale lengte van 12 meter per element. Het element is voorzien van een afgerond uiteinde waardoor deze verschilt ten opzichte van de andere elementen. De lengte en opbouw van de kappen is nagenoeg hetzelfde, de breedte varieert echter per perron, per element. De reden hiervoor is dat de perronkappen de perronranden op een afstand van 0,30m volgen om optimale beschutting voor

de reiziger te creëren. Eveneens de voorgaande perronkappen is ook hier in het midden van de kap een lichtstraat toegepast van koudgebogen glas. De vleugels hebben een vaste maat waardoor de variabele breedte in het glas is verwerkt.¹⁸

De elementen worden ondersteund door middel van π -vormige spanten, waarvan de kolommen onder een hoek van zeven graden zijn geplaatst. Het aantal π -spanten dat het dak draagt is zo beperkt mogelijk gehouden om zo min mogelijk overlast voor de loopstromen te creëren en de relatief hoge kosten van de spanten zo laag mogelijk te houden.^{5,12,18}

De kolommen zijn opgebouwd uit buisprofielen variërend van 244x20mm tot 244x16mm. Om de 24 of 36 meter worden namelijk de kolommen verlengd om de bovenleidingsbalk op te kunnen vangen. In figuur 20 is dat het geval bij het middelste portaal. Bij de portaalkolommen is uitgegaan van ronde buis 244x20 daar waar de kolommen verlengd worden tot aan het bovenleidingsportaal. Voor de andere kolommen is uitgegaan van een ronde buis van 244x16mm. De kolommen zijn verend verbonden aan de fundering door middel van opgestorte poeren, ondersteund door stalenbuispalen.^{5,12,18}

Tussen de spanten zijn twee buig- en torsiestijve kokerprofiel K450x250x16 van 12 meter in de langsrichting toegepast. De twee langsliggers werken tevens als goot. Er is gekozen om de kap bij elke kolom te dilateren. Deze keuze komt voort vanuit de grote lengte van minimaal 150 meter die de kap moet afleggen (zie figuur 22).^{5,12}



20: 3D
sue van de
onstruatie in
onkap van
Utrecht CS.

Om de kap stabiel te houden en invloeden van wind tegen te gaan, zijn er zogehete dwarsliggers toegepast. Deze liggers zijn tussen de kolommen gesitueerd en momentvast verbonden. Halverwege de overspanning (op een afstand van 6 meter) is er een extra dwarsdrager toegepast ten behoeve van het glas. De liggers zijn tevens licht gebogen om het bovenliggende glas te voorzien van afschot. Aan de buitenzijde van de langsliggers zijn uitkragende gordingen geplaatst die tapsgewijs aflopen. Ook deze gordingen worden momentvast verbonden en dienen voor de bekleding van de vleugels.^{5,12}

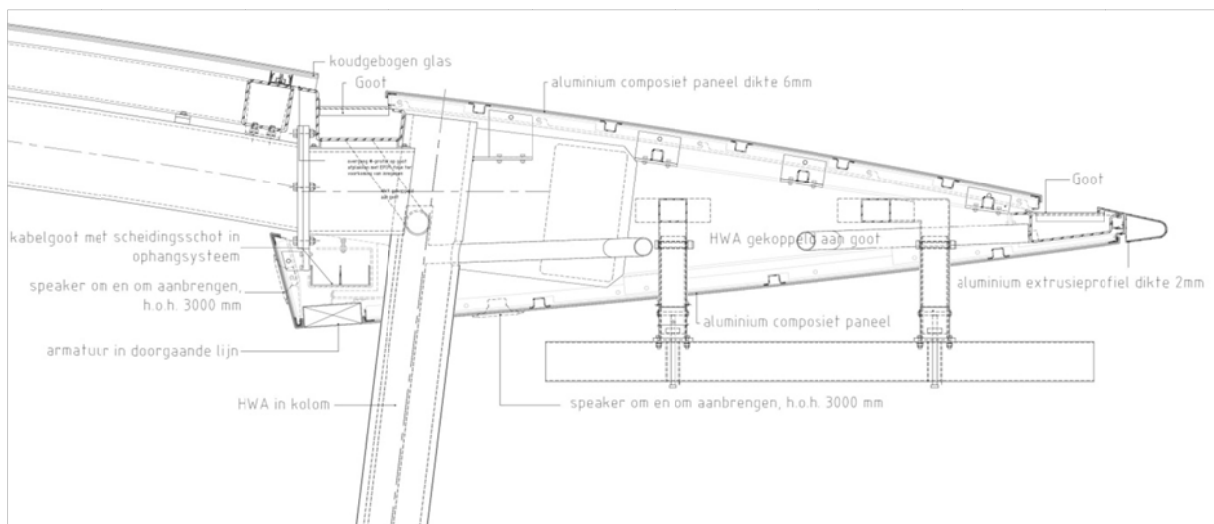


ie cellen in
nergie.

Het gehele dakvlak is in het midden uitgevoerd in koudgebogen glas. Door middel van het afschot van de dwarsliggers en de daar tussen liggende koppelkokers, kan het glas door de regen beter schoonspoelen. In het glas lang de sporen 5/7, 8/9 en 11/12 zijn fotovoltaïsche cellen toegepast. Deze zonnecellen zorgen voor opwekking van energie waardoor de verlichting, liften en de roltrappen op het station draaiende worden gehouden. Gezamenlijk zorgen de zonnecellen voor een energieopbrengst van ongeveer 85.000 kWh per jaar.

Dit staat gelijk aan het energieverbruik van 25 huishoudens tezamen. De zogehete 'buurtperrons' (1/2 en 3/4) krijgen ook nieuwe perronkappen maar dan zonder fotovoltaïsche cellen omdat de lichtopbrengst daar te gering is.^{5,12}

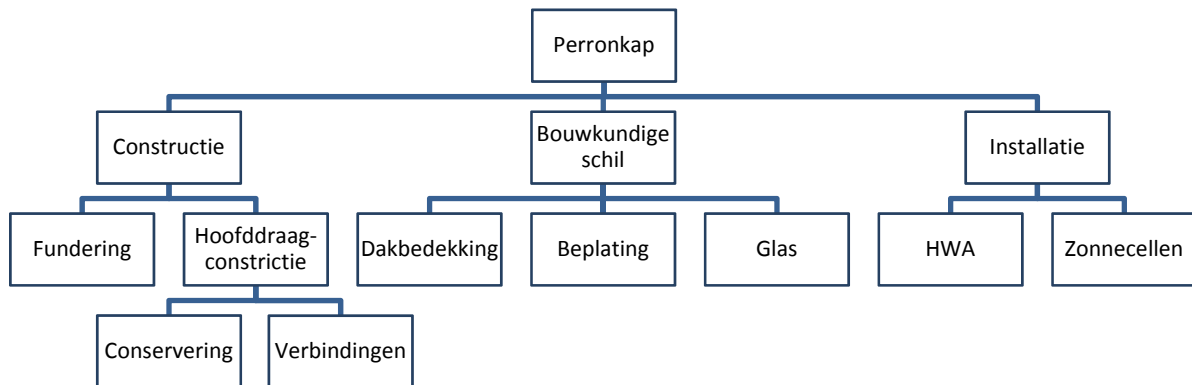
Aan de buitenzijde is gekozen voor een gesloten element met een vaste breedte van 2,40 meter. Deze vleugels hebben over de gehele lengte dezelfde maat en opbouw. De opbouw bestaat uit gecoate composiet aluminium platen van Alucobond. Aan de buitenzijde van de vleugel is tevens een tweede langsgoot toegepast ten behoeve van het afvoeren van hemelwater. Overige elementen zoals verlichting, telecom en bovenleidingsmasten worden in de constructie geïntegreerd.^{5,12}



Figuur 22: Gedetailleerde opbouw van de kapconstructie op station Utrecht Centraal.

3.2 Overeenkomsten

De in paragraaf 3.1 behandelde perronkappen zijn ontworpen door verschillende architecten. Echter zijn er een groot aantal overeenkomsten in de perronkappen waar te nemen. Dit is voornamelijk het geval op de aspecten als de constructie, omhulling en installaties. Om de verschillende onderdelen in de perronkap weer te geven en een juiste vergelijking te maken is onderstaande objectenboom opgesteld (tabel 2).



Tabel 2: De opbouw van een perronkap gespecificeerd in de meest voorkomende onderdelen

Zoals hierboven beschreven zijn er voornamelijk overeenkomsten te zien in de constructie, omhulling en installaties. De constructie is onderverdeeld in een drietal onderdelen. De perronoverkappingen zijn over het algemeen op staal gefundeerd. Alleen de fundering op station Utrecht centraal is opgebouwd uit stalenbuispalen met opgestorte poer. Het betonwerk is uitgevoerd in gewapend beton.

De profielen, afmetingen en bevestigingen verschillen sterk bij de hoofddraagconstructie. Voor de materialisatie zijn deze criteria echter niet van belang. Alle elementen zijn vervaardigd uit warmgewalst staal en beschikken over dezelfde staaleigenschappen. De verbindingen zijn veelal momentvast verbonden met bouten of lassen.

De constructie is voorzien van meerdere coatings. De hoofddraagconstructie is thermisch verzinkt of geverfd uitgevoerd. Onderdelen zoals de koppelkokers zijn aluminium gepoedercoat. Alleen bij station Amsterdam Rai bestaan deze liggers uit glas.

Alle vier de stations zijn in het midden voorzien van een grote lichtstraat uitgevoerd in koudgebogen glas (Freeformglass). De vleugels zijn omkleed met Gecoate composiet aluminium beplating. Bij station Arnhem is deze plating tevens doorgezet naar het middengedeelte rondom het glas. Alleen Station Europapark te Groningen is aan de bovenzijde voorzien van EPDM dakbedekking met isolatie. De onderzijde bestaat eveneens uit aluminium beplating.

Onder de installaties speelt de hemelwaterafvoer een grote rol en zijn de meeste overkappingen voornamelijk voorzien van twee goten en meerdere standleidingen. Op Utrecht Centraal zijn tevens in het koudgebogen glas fotonvoltaïsche cellen toegepast.

3.3 Cradle to Cradle gehalte

De materialen die in de perronoverkappingen zijn toegepast, zijn niet geselecteerd aan de hand van de Cradle to Cradle principes. De materialen kunnen compleet of deels binnen de kaders van Cradle to Cradle vallen of zijn compleet in strijd met de Cradle to Cradle principes. De materialen die momenteel zijn toegepast in de perronoverkappingen, zoals beschreven in de voorgaande paragraaf, zijn in deze paragraaf verder uitgediept aan de hand van de Cradle to Cradle principes.

De materialen moeten dus in staat zijn om individueel compleet terug te kunnen keren naar de biologische of technische kringloop. De materialen mogen daarbij geen schadelijke stoffen uitstoten en er moeten gunstige arbeidsomstandigheden aanwezig zijn. Daarnaast dient energie duurzaam te zijn opgewerkt en mogen de materialen geen vervuiling aanbrengen aan het oppervlakte water. Aan deze materialen is tevens een Cradle to Cradle percentage gehangen, afkomstig van het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (Nibe).⁵¹



Het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie is al meer dan 20 jaar een koploper op het gebied van milieubewust en gezond bouwen in Nederland. Een van de expertisevelden van het Nibe is de beoordeling van milieu- en gezondheidseffecten van bouwproducten.⁵¹

Het Nibe heeft allerlei materialen en producten voorzien van een Bron to Bron (B2B) percentage. Het percentage geeft aan in welke mate een materiaal of product voldoet aan de Cradle to Cradle principes. Voor het berekenen van dit percentage zijn zij zoveel mogelijk uit gegaan van de Cradle to Cradle certificering eisen. Deze eisen bestaan uit vijf toetsingscategorieën, namelijk,

- | | | |
|---------------------------|---|--|
| 1. Material Health | - | Mate waarin het materiaal gezond is (geen giftige stoffen) |
| 2. Material Reutilization | - | Mate waarin het materiaal wordt hergebruikt |
| 3. Renewable Energy Use | - | Mate waarin duurzame energie wordt gebruikt |
| 4. Water Stewardship | - | Mate waarin het product niet schadelijk is voor het water |
| 5. Social Responsibility | - | Maatschappelijke verantwoordelijkheid |

De eerste vier categorieën heeft het Nibe percentage, voor Social Responsibility is percentage beschikbaar. Per categorie percentage van 100% te behalen. Voor overall percentage krijgen de categorieën de volgende gewicht.

Dat betekent dat de maximaal te behalen percentage per categorie 25% bedraagt. Indien alle categorie scoren is het materiaal 100% Cradle to Cradle percentage minder is dan 25% wordt het resultaat als niet Cradle to Cradle. Zie bijlage 2 voor de van de bron to bron factor.

Voorbeeld 100% Cradle to Cradle gehalte

Voorbeeld beton 60% Cradle to Cradle gehalte

⁵¹ Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie . (2011). *Onze Missie*. Opgeroepen op november 01, 2012, van Nibe: <http://www.nibe.org/nl/over-nibe/onze-missie>

3.3.1 Fundering

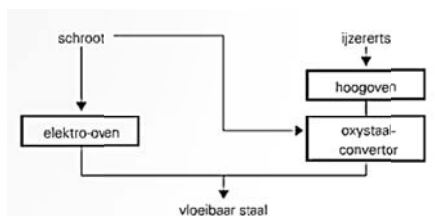
Het overgrote deel van de onderzochte perronoverkappingen is gefundeerd op staal. Utrecht centraal is als uitzondering gefundeerd op palen. Deze funderingen zijn allen voorzien van gewapend beton en zijn veelal ter plaatsen in het werk gestort. Doordat de funderingen niet prefab zijn uitgevoerd is hergebruik op een andere locatie niet mogelijk, waardoor het afvalproces van start gaat.

Beton is geen ideaal product binnen de Cradle to Cradle principes. Beton is opgebouwd uit de primaire grondstoffen zand, grind, cement en toeslagstoffen. Na gebruik kan het beton niet meer worden gescheiden naar zijn oorspronkelijke staat.

Gesloopt beton wordt voor 97,7% gerecycled. Echter wordt het grootste gedeelte van dit percentage gedowncycled. Gesloopt beton wordt namelijk omgezet in betongranulaat (beton dat is vormalen op grind niveau). Een gedeelte hiervan wordt gebruikt voor nieuw beton als grintvervangers, maar het overgrote deel wordt gebruikt voor funderingen in de wegenbouw.¹³

In het geval dat grint 100% vervangen kan worden door betongranulaat, wordt grint overbodig. Momenteel laat de regering echter een percentage van 20% betongranulaat toe omdat de constructieve eigenschappen van het beton dan niet negatief worden beïnvloed. Dit percentage is ook door Movares toegepast bij het betonwerk.

Buiten het feit of grint compleet vervangen kan worden, moeten er altijd primaire grondstoffen zoals zand en cement toegevoegd worden. Beton past dus niet compleet binnen één kringloop en kan tevens niet worden gescheiden. Echter ontstaat er geen afval door het gebruik van betongranulaat in de wegenbouw. Dit kan echter totdat de sector verzadigd is.^{40,52}



I. Zie

Naast het beton is er ook betonstaal toegepast in de fundering. Bij de omzetting van beton naar granulaat wordt het staal gefilterd. Het schroot (verzamelnaam voor gebruikt staal) wordt vervolgens tot vloeibaar staal omgesmolten. Het omsmelten van staal gebeurt op twee manieren. Door middel van het oxystaalproces en het elektrostaalproces. Bij het elektrostaalproces wordt het nieuwe staal voor 100% uit schroot vervaardigd. Bij het Oxystraalproces wordt ijzererts in hoogovens verwarmd waarna er 20% schroot wordt bijgevoegd om het erts af te koelen (figuur 25). De smeltertijden bevinden zich voornamelijk in Spanje en Turkije waardoor transport zorgt voor schadelijke uitstoot en materialen dus niet regionaal (250meter) gewonnen kunnen worden. Naast de uitstoot kost het omsmelten van staal, evenals het omvormen van beton tot granulaat veel energie die maar voor 3% duurzaam wordt opgewekt.⁴¹

Cradle to Cradle gehalte gewapend beton

75%	Materiaal gezond
65%	Materiaal hergebruik
3%	Duurzame energie
98%	Verantwoord waterbeheer

3.3.2 Hoofddraagconstructie

De hoofddraagconstructie van de overkappingen is opgebouwd uit warmgewalst staal. Na gebruik wordt het staal ingezameld of hergebruikt. Het schroot (verzamelnaam voor gebruikt staal) wordt evenals betonstaal omgesmolten tot vloeibaar staal.¹⁹

Staal is een bouw materiaal dat 100% kan terugkeren in de technische kringloop. Door schroot om te smelten tot nieuw staal kan het volledig worden vernieuwd zonder kwaliteitsverliezen. Staal is tevens geschikt voor upcycling. Het is mogelijk om vanuit laagwaardig schroot een staal kwaliteit te bereiken van S235 naar S460. Een hogere staalkwaliteit is gunstiger omdat er slanker gedetailleerd kan worden waardoor er 40% minder materiaal in het ontwerp nodig is. Daarnaast is staal uitermate demontabel waardoor het mogelijk wordt om (delen van) de constructie ook in andere projecten in te zetten. Circa 50% van de staalprofielen krijgt een tweede leven voordat deze tot schroot worden gerekend.⁴⁵

In de wereld is een grote vraag naar staal. De hoeveelheid schroot dekt echter maar 50% van de totale behoefte. De komende decennia moet daardoor nog gebruik gemaakt worden van primaire grondstoffenstoffen als ijzererts en kolen. Schroot blijft echter wel voortdurend toenemen waardoor het in de toekomst mogelijk wordt om compleet in de staalbehoefte te kunnen voorzien. Het maken van staal uit schroot kost circa 45% minder energie dan het maken van staal uit ijzererts. Daarnaast is de hoeveelheid energie voor upcycling evenveel als de energie die wordt gebruikt voor recycling. De energie die hiervoor wordt gebruikt is echter maar voor 6% duurzaam opgewekt.¹⁰

Staal vervaardigen uit schroot heeft tevens een positievere invloed op de werkomstandigheden. Tijdens het winnen van ijzererts door middel van boren en het opblazen van explosieven treden stofemissies op, die bij langdurige blootstelling gezondheidsklachten kunnen veroorzaken. Als staal compleet in de behoefte kan voorzien wordt het gehele productieproces gezonder.⁵¹

Cradle to Cradle gehalte warmgewalst staa

87%	Materiaal gezond
99%	Materiaal hergebruik
6%	Duurzame energie
99%	Verantwoord waterbeheer

3.3.3 Verbindingen

De productie van staal kost veel energie en arbeid, daarom is het vele male goedkoper om staal te hergebruiken. Zo bestaat de mogelijkheid om oude liggers uit de perronoverkappingen voor een nieuw gebouw te gebruiken. De constructie moet daarom demontabel en schadevrij van opzet zijn.⁴⁵

Het grootste gedeelte van de perronkappen is opgezet door middel van H- of I-vormige liggers. De bevestiging geschiedt door middel van boutverbindingen waardoor de constructie uit losse onderdelen is opgebouwd. Hierdoor is de constructie te demonteren met weinig energie, geluidhinder, stofvorming en zonder bouwafval. Dit valt binnen de Cradle to Cradle principes. In de kap zoals bij Groningen Europapark zijn de kokers samengesteld en momentvast verbonden door middel van lassen. Indien de kap gesloopt wordt kan het staal dus niet worden hergebruiken.⁴⁵

3.3.4 Conservering

Constructiestaal is een ideaal product binnen de Cradle to Cradle principes. Echter corrodeert onbehandeld staal bij blootstelling aan het buiten klimaat. Om de corrosie van de staalconstructie tegen te gaan zijn de profielen geconserveerd.

Bij de perronkappen zijn twee manieren van conserveren te onderscheiden. Het duplex-systeem kan zijn toegepast. Dit betekent dat de staalconstructie eerst thermisch is verzinkt en vervolgens geverfd. De andere methode bestaat enkel en compleet uit het verven van de staalconstructie. Dit is bijvoorbeeld uitgevoerd bij station Groningen Europapark en Arnhem.

Thermisch verzinken

Bij het thermisch verzinken wordt staal ondergedompeld in gesmolten zink. Het zink is verwarmd tot een temperatuur van 450°C. Het verwarmen van het zink kost veel energie en daarnaast zijn de zinkdampen zeer schadelijk voor de gezondheid. Tevens is zink een zwaar metaal en loogt uit in water. Echter is het voordeel van deze methode dat het zink, zelfs op de moeilijkst bereikbare plaatsen, het staal kan beschermen.^{33,43}

Zoals beschreven in paragraaf 3.3.2 staalconstructie wordt schroot omgesmolten tot vloeibaar staal. Bij deze omsmelting vervliegt de zinklaag en wordt het opgevangen en hergebruikt voor primair zink. Voor dit proces zijn er alsnog primaire grondstoffen nodig. Voor één kilogram zink is circa 18kg erts nodig.^{33,43}

Een aantal bedrijven hebben echter een Cradle to Cradle keurmerk bemachtigd voor verzinktstaal. Een van die bedrijven is Staco roosters. Zo stellen zij dat het verzinkt staal wordt ontzinkt in een zoutzuurbad. Uit het bad komt vervolgens 100% schoon staal dat verdergaat als schroot. De inhoud van het zoutzuurbad wordt gescheiden bij een chemisch bedrijf waarna er puur zink wordt overgehouden. Dit zink wordt vervolgens weer gebruikt bij het verzinkingsproces (bijlage 1).

Verven

ProRail heeft aan de conservering van staalconstructies eisen gesteld. Deze eisen zijn opgesteld zodat de constructie onderhoudsvrij en hufterproof is. De constructie dient namelijk voorzien te zijn van drie verflagen waarbij de dikte per conserveringssysteem verschilt. Bij het duplex-systeem zijn de lagen vele malen dunner dan wanneer de constructie compleet wordt geverfd. Dit komt doordat bij het duplex-systeem het staal al in een vroeger stadium is voorzien van een zinklaag.⁴³

Prorail stelt de volgende eisen aan een compleet geverfde constructie:

1 laag roestwerende epoxygrondverf, droge laagdikte minimaal 100 µm,

1 laag epoxyverf,

1 laag polyurethaan- of polysiloxaandekverf

De laagdikte dient minimaal 350 µm te bedragen (100 µm = 0,1mm).²⁹

Prorail stelt dat de eerste en tweede laag voorzien moeten zijn van verf op basis van Epoxy. Epoxy hecht namelijk zeer goed op veel verschillende ondergronden, daarnaast heeft het een goede roestwering. De derde verflaag op basis van Polyurethaan wordt toegepast omdat deze kras- en slijtvast is, bestand is tegen UV-straling en zelfs tegen schoonmaakmiddelen.⁴

Verven op basis van Epoxy en polyurethaan zijn schadelijker dan andere verfsoorten. Dit komt doordat beide verfsoorten zijn voorzien van agressieve verharders en verdunners. De verharders van epoxyverven kunnen bijvoorbeeld snelverdampende amines bevatten die schadelijk zijn voor de

ogen en luchtwegen, dat kan op termijn resulteren in astma. Ook de verharders van Polyurethaan brengen hetzelfde effect teweeg. Beide verven beschikken over een hoog gehalte aan snel verdampende oplosmiddelen. Het inademen van deze dampen kan zorgt voor gezondheidsklachten. Dat is ook de reden waarom deze verven alleen buiten gebruik mogen worden. Hier zit dan ook tevens het probleem. Alle schadelijke stoffen die het product uitstoot komen direct in de natuur terecht.⁴

Verf dat is aangebracht kan niet worden gerecycled. Voordat het staal wordt ontzinkt of wordt omgesmolten tot nieuw staal, wordt de verf afgebrand. De vele chemicaliën die in de verf zijn verwerkt komen daardoor in de lucht terecht die eveneens slecht zijn voor mens, dier en milieu. Verfsoorten op basis van Epoxy en polyurethaan kunnen dus niet worden teruggewonnen, gescheiden en/of gerecycled. Hierdoor vallen zij niet binnen de Cradle to Cradle principes.⁴

3.3.5 Dakbedekking

Bij Groningen Europapark is EPDM dakbedekking toegepast. EPDM is na bitumineuze dakbedekking het meest gebruikte product. EPDM zou namelijk duurzaam zijn door zijn lange levensduur (40 jaar) en doordat het niet onderhevig is aan weersinvloeden.⁴⁸

EPDM dakbedekking bestaat uit een synthetisch rubber. EPDM is een erg milieuonvriendelijk product door de vele giftige stoffen. Het product bevat onder andere de stoffen Ethyleen Propyleen Di, Monomeer, roet en zwavel. De stoffen kunnen na gebruik niet meer worden teruggewonnen waardoor er altijd primaire stoffen nodig zijn om EPDM dakbedekking te kunnen maken. 83,8% van het materiaal vergaat in de verbrandingsoven waarvan 6,3% wordt gedowncycled tot rubberen tegels en/of kunststof kratten. Het product kan dus niet volwaardig worden gerecycled en is slecht voor het milieu en zorgt voor waterverontreiniging.⁴⁸

Cradle to Cradle gehalte EPDM dakbedekking

0%	Materiaal gezond
4%	Materiaal hergebruik
1%	Duurzame energie
83%	Verantwoord waterbeheer

3.3.6 Beplating

De plafonds van de overkappingen zijn alle voorzien van aluminium beplating. Bij drie van de vier stations wordt de beplating zelfs doorgezet als dakbedekking. Echter komen de aluminium beplatingen niet bij dezelfde leveranciers vandaan. Er is onderscheid gemaakt tussen de beplating van de fabrikant Alucobond en Alpolic. Omdat Alpolic geen gedetailleerde informatie over de beplating kan geven wordt uitgegaan van de gegevens van de fabrikant Alucobond.³

De 4mm dikke beplating is opgebouwd uit een Aluminium-magnesium hydroxide met polymeer bindmiddel kern omhuld door twee aluminium panelen. Deze panelen zijn voor 85% vervaardigd uit gerecycled aluminium en voorzien van een PVDF poedercoating. Deze coating is namelijk voorzien van zinkdeeltjes waardoor het een goede corrosieweerstand heeft (bijlage 4).⁴⁶



Alucobond
1g.

Na gebruik worden de panelen van de kern gescheiden. Voordat de panelen worden gerecycled tot nieuw aluminium, wordt de coating verwijderd. Thermoplastische poeders zoals PVDF worden door verwarming weer vloeibaar waardoor het opnieuw kan worden gebruikt (reversibel proces). De kern van de beplating wordt door verhitting weer teruggebracht naar zijn oorspronkelijke staat waarna het kan dienen voor nieuwe beplating.^{3,9}

Cradle to Cradle gehalte aluminium beplating

74%	Materiaal gezond
85%	Materiaal hergebruik
9%	Duurzame energie
80%	Verantwoord waterbeheer

3.3.7 Glas

Het Freeformglass dat voor de lichtstraten wordt gebruikt is op de markt gebracht door BRS Building Systems in samenwerking met Movares. Het is een gelaagde glassoort dat koud-buigbaar is. Dat wil zeggen dat het glas recht naar de bouwplaats vervoerd kan worden om daar ter plekke tegen een gekromde draagconstructie gebogen en bevestigd kan worden.¹⁴

Glas is een ideaal product binnen de Cradle to Cradle principes. Glas is weliswaar na gebruik niet meer te scheiden in primaire stoffen. Maar glas kan wel compleet worden gerecycled zonder kwaliteitsverlies. Freeformglass is opgebouwd uit een aantal speciaal geharde ruiten die onderling zijn verbonden door enkele lagen van een bijzondere kunststoffolie. Volgens vlakglas recycling is zelfs gelaagd glas (voorzien van folies) compleet te hergebruiken. Primair glas wordt van zand, kalk en soda gemaakt, wat overigens in overvloed in de wereld beschikbaar is.^{14,37,53}

Het produceren van Freeformglass kost minder energie dan de productie van warm gebogen glas. Er is namelijk geen verhitting nodig om het glas te krommen omdat dit koud op de bouwplaats gebeurt. Het transport kan daardoor vele malen goedkoper omdat het alleen vlakke glasplaten betreft. Door de koude productie methode is het glas ook aanzienlijk lichter in gewicht waardoor de constructie lichter kan worden uitgevoerd, dit bespaard materiaal.¹⁴

Het Freeformglass is eventueel te voorzien van fotovoltaïsche cellen voor de opwekking van energie (3.3.9 Zonnecellen). De cellen zijn niet heel te verwijderen tussen het glas. Nadat het glas is verpulveren worden alle metalen en ander middelen verwijderd. Die metalen worden in hun eigen kringloop gerecycled.

In de Basiswerken van het NIBE wordt glas niet beoordeeld. Percentages zijn afkomstig uit de LCA.

Cradle to Cradle gehalte Freeformglass

77%	Materiaal gezond
80%	Materiaal hergebruik
3%	Duurzame energie
95%	Verantwoord waterbeheer

3.3.8 Hemelwaterafvoer

De meeste perronoverkapping zijn voorzien van twee goten. Aan de buitenzijde van de gesloten dakdelen lopen langsgoten ten behoeve van de hemelwaterafvoer, alsmede op de hoofdliggers geïntegreerde goten. De reden hiervoor is dat de goten bereikbaar moeten zijn. De goten langs de lichtstraal vallen binnen de veiligheidszone en kunnen worden onderhouden. De goten aan het uiteinde van de kap vallen buiten de veiligheidszone en zijn slechts toegepast om het comfort van de reiziger bij neerslag te vergoten.

De goten zijn in alle projecten uitgevoerd in (roestvast)staal eventueel voorzien van coatings. De score van het Cradle to Cradle percentage valt daardoor lager uit dan bij gewoon staal omdat er extra chemische middelen zijn toegevoegd aan de coatings.⁴⁵

Cradle to Cradle gehalte (roestvast) staal

72%	Materiaal gezond
62%	Materiaal hergebruik
2%	Duurzame energie
76%	Verantwoord waterbeheer

Het regenwater wordt via de goten afgevoerd naar de kolommen van de overkapping waar gebruik is gemaakt van PVC of PE leidingen. Braungart en McDonough zetten zich in het boek sterk af tegen deze kunststofmaterialen. PVC (Polyvinylchloride) is namelijk een zeer milieu onvriendelijke product. Zo bevat het product de kankerverwekkende stof Vinylchloride en chloor. Daarnaast komen er bij verbranding van PVC schadelijke stoffen voor de gezondheid vrij, namelijk Dioxines en allerlei andere zoutzuurdampen. PVC is een veelgebruikt product omdat het in aanschaf relatief goedkoop is. Echter kost het verwijderen ervan vijf keer zoveel.^{11,54}

PE (Polyetheen) is een minder agressieve vorm van kunststof. Er ontstaat namelijk weinig luchtvervuiling tijdens het productieproces maar bij de verbranding komt er koolstofdioxide vrij. Koolstofdioxide is een gas dat bijdraagt aan het broeikas effect, waardoor de aarde langzaam opwarmt. Daarnaast kan het materiaal goed worden hergebruikt door middel van omsmelting.⁵⁴ De HWA leidingen zijn aangesloten op het riool. De HWA verbinden zijn veelal uitgevoerd in spiegellassen. Er is geen gebruik gemaakt van een grijswatersysteem.¹⁷

Cradle to Cradle gehalte PVC (Polyvinylchloride)

0%	Materiaal gezond
47%	Materiaal hergebruik
2%	Duurzame energie
74%	Verantwoord waterbeheer

Cradle to Cradle gehalte PE (Polyetheen)

58%	Materiaal gezond
80%	Materiaal hergebruik
3%	Duurzame energie
93%	Verantwoord waterbeheer

3.3.9 Zonnecellen

In de perronkap van Utrecht Centraal zijn in het koudgebogen glas (freeformglass) zonnecellen geïntegreerd. Dit concept is momenteel in meerdere overkappingen toegepast en wordt in de toekomst vermoedelijk alleen maar meer. De opgewekte energie kan gebruikt worden voor de roltrappen, liften en verlichting op het station.¹⁷



eïntegreerd

BRS gebruikt uitsluitend polykristallijne zonnecellen in het koudgebogen glas wegens de buigbaarheid. Het integreren van de zonnecellen in het glas heeft een aantal grote voordelen. Door het glas te buigen kan er dunner glas worden toegepast, waardoor er meer licht op de zonnecellen valt en de opbrengst dus toeneemt. Door de zonnecellen tussen twee lagen glas te integreren, is het schoonmaken van boven- en onderzijde heel eenvoudig. Bovendien kan er met de verdeling van de cellen in het glas gespeeld worden.

Zo kan aan de zonnepzijde de hoeveelheid cellen geïntensiveerd worden om zo enerzijds te zorgen voor meer beschutting tegen zonlicht en anderzijds voor een hogere energie opbrengst. Door ruimte tussen de cellen te laten kan tegelijkertijd voor voldoende daglichttoetreding worden gezorgd.¹⁴

De cellen worden opgebouwd uit onbewerkt silicium. Deze stof is niet schadelijk voor mens, dier of milieu. Echter neemt de stof nauwelijks stroom op. Om ervoor te zorgen dat dit toch gebeurt wordt er aan de bovenzijde fosfor en aan de onderzijde borium toegepast. Beide stoffen zijn giftig en zijn slecht voor het zenuwstelsel, de nieren en de lever van de mens. Daarnaast kost de productie van deze cellen veel energie, dat niet duurzaam wordt opgewekt.^{14,17}

Een aantal bedrijven zamelen zonnecellen in voor Recycling. De manier waarop dit precies gebeurt is momenteel niet bekend. Wel geven de bedrijven aan dat 80% van de gerecyclede materialen opnieuw wordt gebruikt voor de zonnepanelen.

Het Nibe heeft geen gegevens beschikbaar over de (verschillende soorten) zonnecellen beschikbaar. Volgens de Cradle to Cradle principes moet een gebouw zelfvoorzienend zijn in zijn eigen energiebehoefte. Hieruit kan de conclusie worden getrokken dat de fotonvoltaïsche cellen binnen de Cradle to Cradle principes passen.

¹⁴ Civiele techniek. (2011). Freeformglass: lichtere staal/glas-constructies. *Civiele techniek*, pp. 19-22.

3.4 Deelconclusie

Er is naar voren gekomen dat de perronoverkappingen, van de vier verschillende stations, vele overeenkomsten hebben. Deze overeenkomsten zijn niet zo zeer te vinden in de verschillende afmetingen en vormen, maar voornamelijk in het materiaalgebruik. Door aan de materialen een Cradle to Cradle percentage te hangen, heb ik geprobeerd het Cradle to Cradle gehalte inzichtelijk te maken. Hierbij valt wel op te merken dat het overall percentage van elk materiaal slechts een benadering van het materiaal is.

Wat mij opvalt, is dat er bij de productie van de bovengenoemde materialen nauwelijks gebruik wordt gemaakt van duurzame energie zoals zonne-, wind- of waterkrachtenergie. Indien fabrikanten van de materialen zichzelf kunnen voorzien in de energiebehoefte kan het overall Cradle to Cradle percentage gemiddeld met 24% stijgen. Indien het materiaal op gaat voor het Cradle to Cradle certificaat is er al voldaan aan één van de vijf eisen.

Opvallend is dat het materiaal staal erg goed naar voren komt. Momenteel de meeste perronkappen vervaardigd uit staal. Dit komt voornamelijk door de grote voordelen die staal te bieden heeft ten opzichte van hout en beton. De overspanningen kunnen namelijk vele malen groter worden uitgevoerd met geringe afmetingen. Hierin zit dan ook tevens het probleem. De wereld vraagt momenteel om twee keer zoveel staal dan er aan schroot voorradig is. Hierdoor is er de komende decennia nog steeds een grote vraag naar primaire stoffen. Door het staal in de perronkappen met 50% te verminderen kan de spoorsector bijdrage aan het terugdringen van dit percentage. Een staalconstructie kent echter één groot nadeel. In het geval dat de elektrische bovenleiding knapt en op de stalen kap terechtkomt, dient de stoom te worden afgevoerd naar de bodem. Daardoor is het noodzakelijk dat staal onderling wordt doorverbonden door middel van koperen kabels. Koper is een zwaar materiaal dat tevens schadelijk is voor de omgeving en zelfs kan uitlogen in water.

De meeste afvalstoffen zijn te vinden in de conservering van de staalconstructie, doordat de constructie voornamelijk onderhoudsvrij uitgevoerd dient te worden. Zowel thermisch verzinken als verven zorgen voor slechte arbeidsomstandigheden. Ik vind het echter opmerkelijk dat een constructie die thermisch is verzinkt alsnog wordt voorzien van drie verflagen. Hoewel het zink de staalconstructie beter beschermd dan alleen een drie-laagse verflaag, is er wel een extra handeling nodig waarvan het productieproces erg giftig is. Staco roosters heeft een Cradle to Cradle certificaat weten te behalen waarbij te constateren valt dat het concept 'afval is voedsel' vele malen zwaarder weegt dan de arbeidsomstandigheden (materiaal gezond).

Het is duidelijk waarneembaar dat er een aantal materialen, die momenteel worden toegepast binnen de Cradle to Cradle principes vallen. Hierbij is te denken aan het koud gebogen glas (eventueel met zonnecellen om te voorzien in energiebehoefte), warmgewalst staal, stalen beplating en de PE HWA leidingen. Materialen die moeten worden geweerd zijn voornamelijk vervaardigd uit kunststof. Hierbij bedoel ik de PVC leidingen, EPDM dakbedekking en indien mogelijk de conserveringen.

Beton is een materiaal dat niet compleet kan terugkeren in één gesloten kringloop. Het is eventueel wel mogelijk om het product te verbeteren voor hergebruik. Hierbij is te denken aan het prefab uitvoeren van de fundering.

4. Variantoplossing perronkap

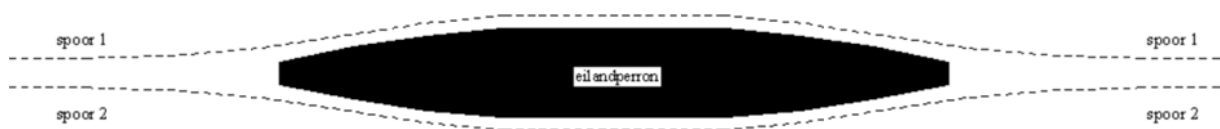
De bestaande perronoverkappingen beschikken over materialen die voor een groot gedeelte binnen de Cradle to Cradle principes passen. Echter kunnen een aantal materialen nog worden verbeterd of vervangen. De nieuwe geselecteerde materialen kunnen dan worden toegepast in de nieuwe perronoverkappingen voor basisstations. Basisstations kennen namelijk veelal dezelfde breedte en lengte maten waardoor de nieuwe perronkap als standaard element ingezet kan worden.

4.1 Eisen ProRail

Stations dienen veilig en betrouwbaar te zijn anders blijven reizigers weg. Het voorkomen van sociale onveiligheid begint met een goed ontwerp. Zowel op het perron als in de stationshal draait het om 'zien en gezien worden'. Goed overzicht, oriëntatiemogelijkheden, transparantie, goede verlichting en het voorkomen van dode hoeken en onoverzichtelijke plekken leveren daar een bijdrage aan. Echter is snelheid de eerste behoefte van de reiziger. Het station is een onderbreking in het traject van herkomst naar bestemming. Het in- en uitstappen is daarbij een belangrijke prioriteit evenals de bewegwijzering door het station(gebouw). Er dient dus genoeg ruimte aanwezig te zijn zodat reizigers zich gemakkelijk kunnen verplaatsen.³⁰

Een tweede behoefte is gemak, gevolgd door comfort. De reiziger probeert de tijd op het station zo veel mogelijk te beperken. Een uitzondering hierop zijn bezoekers. Indien de wachttijd niet beperkt kan worden, moeten er faciliteiten aanwezig zijn om het verblijf zo aangenaam en comfortabel mogelijk te maken. Naast bovengenoemde punten is de reisbeleving van de reiziger even belangrijk als bovengenoemde punten. Deze beleving wordt onder andere bepaald door de architectonische vormgeving, gebruikte materialen en kleuren.^{28,30,32}

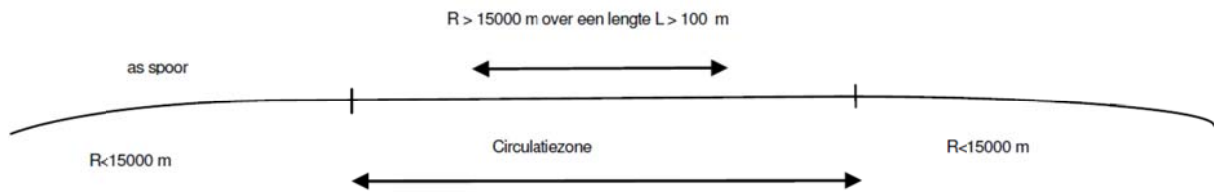
In Nederland zijn er drie soorten perronvormen te onderscheiden. Het eilandperron waarbij aan beide zijden treinen kunnen halteren (figuur 28), een zijperron waarbij één spoor aanwezig is en slechts één trein kan halteren en een kopperron waar aan één of twee zijden een trein kan halteren en waarbij het spoor eindigt door middel van stootjukken. Tijdens dit onderzoek is uitgegaan van een perronoverkapping op een eilandperron.³²



Figuur 27: Eilandperron tussen twee sporen waardoor aan beide kanten treinen kunnen halteren.

4.1.1 Perronlengte

Aan de lengte van perrons zijn eisen gesteld. Een perron dat rechtuit loopt dient over een lengte van 100 meter (circulatiezone) een boogstraal, met een radius groter dan 15000 meter, te hebben. De gebieden naast de circulatiezone (perronspoor) mogen een kleinere radius hebben indien deze groter zijn dan 1000 meter (figuur 29). Daarnaast dient het treinpersoneel te allen tijde, staande op een afstand van 2,40 meter, zowel de voor- als de achterkant van de trein te kunnen zien.³²



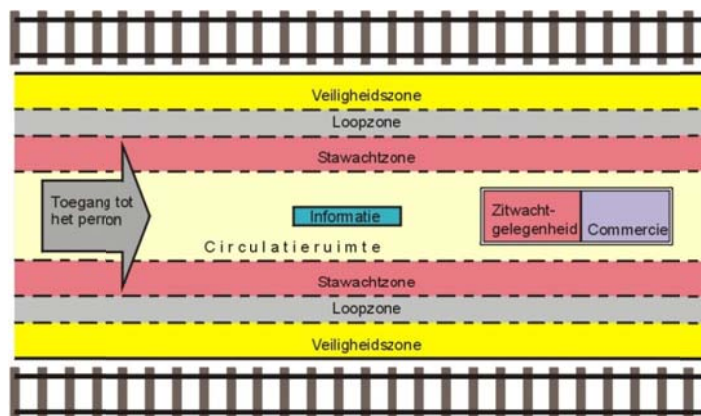
Figuur 28: De minimale eisen die gesteld worden aan de lengte en radius van de perrons.

4.1.2 Perronhoogte

De perronhoogte bij nieuwe perrons is vastgesteld op 760mm vanaf de bovenkant van de spoorstaven. De horizontale afstand tussen de zijkant van het perron tot het hart van het spoor bedraagt 1700mm. De perrons worden opgebouwd door middel van prefab betonnen perronkeerwandstukken. De gekoppelde elementen vormen gezamenlijk een keerwand. De stabiliteit wordt verkregen door de ruimte achter de keerwandstukken op te vullen met schoon zand. De bovenzijde van dit zandbed wordt afgedekt met verhardingsmaterialen zoals tegels.³²

4.1.3 Perronbreedte

De perronbreedte is opgebouwd door middel van verschillende zones. Afhankelijk van het aantal reizigers per dag kan een zone variëren. In het onderzoek wordt uitgegaan van een basisperron waarbij de minimale breedte maatgevend is. Direct aan de rand van het perron ligt de veiligheidszone, gevolgd door de loopzone, stawachtzone en de circulatieruimte (figuur 30).³²



Veiligheidszone

De veiligheidszone ligt direct aan de perronrand en heeft een breedte van 800mm. De zone scheidt zich visueel duidelijk van de andere zones door middel van een onderbroken witte lijn. In deze zones mogen geen obstakels worden geplaatst.^{28,32}

Loopzone

Aansluitend aan de veiligheidszone bevindt zich de loopzone van 800mm

breed. In deze zone verplaatsen reizigers zich die in- of uit de trein willen stappen. Een onderdeel van de looplijn is een 600mm brede markering voor visueel gehandicapten. Deze zone is tevens obstakelvrij.^{28,32}

Wachtzone

In de wachtzone van 800mm breed kan de reiziger op de trein wachten. Minimaal 20% van het oppervlakte van de wachtzone dient beschut te zijn tegen weersinvloeden. Deze beschutting dient gelijkmatig te zijn verdeeld over de lengte van de wachtzone waar de trein gemiddeld stopt. Eventuele obstakels mogen niet groter zijn dan 0,5m.^{1,28,32}

Circulatieruimte

De circulatieruimte bedraagt 40% van het netto oppervlakte van de overige zones. Deze ruimte geeft reizigers de gelegenheid om zich over het perron te verspreiden en ProRail om diverse voorzieningen in te passen. Hierbij kan gedacht worden aan informatievoorzieningen, zit- en wachtgelegenheid en rookzuilen.^{28,32}

De totale breedte van een eilandperron bedraagt 6,80 meter. Deze breedte is samengesteld uit: veiligheidzone (800mm) + loopzone (800mm) + stawachtzone (800mm) + circulatieruimte (2000mm) + stawachtzone (800mm) + loopzone (800mm) + veiligheidzone (800mm). Deze waarden zijn terug te vinden in bijlage 5.^{28,32}

4.1.4 Perronoverkapping

Een perronoverkapping kan een grote bijdrage leveren aan het belevingsniveau van de reiziger. Daarnaast heeft de overkapping het doel om de reizigers in de stawacht- en circulatiezone te beschutten tegen weersinvloeden. Om optimale beschutting te creëren mag de kap eventueel worden doorgezet tot 300mm voor de perronrand. In de lengterichting dient de kap op 50 meter voor de perronrand te stoppen.^{31,32}

De vrije hoogte tussen de bovenkant van het perron en de onderzijde van de bewegwijzering bedraagt 2,50 meter. De minimale hoogte van de kapconstructie is vastgesteld op 3,50 meter. De draagconstructie mag namelijk geen beklemming vormen in de veiligheids- en loopzone. Daarnaast mag de reiziger tijdens het verplaatsen niet worden gehinderd. Dit betekent dat er geen hangende voorwerpen lager dan 2,50 meter mogen worden opgehangen en dat uitstekende delen onder de 800mm verboden zijn.^{31,32}

De plaatsing van de kolommen kan dus uitsluitend gebeuren in de circulatiezone. Bij het plaatsen dient echter wel rekening te worden gehouden met stijgpunten. ProRail stelt dat de minimale trapbreedte 2,40 meter bedraagt. De afstand tot het eerste obstakel loodrecht op de trap dient meer dan 10 meter te zijn.^{31,32}

Het Arbobesluit stelt dat werkruimte die meer dan 2 uur per dag wordt gebruikt een minimaal daglicht toetreding van 0,05m² per m² moet hebben. Bij een perronkap komt dit al snel neer op 75% daglichttoetreding doordat deze niet gesloten is. Voor de belevingskwaliteit adviseert ProRail een lichtstrook toe te passen. Het glas dient echter beloopbaar te worden uitgevoerd ten behoeve van onderhoudswerkzaamheden evenals de overige toegepaste materialen en hemelwaterafvoer. Alle materialen die worden toegepast in de kap dienen bestand te zijn tegen koperslijpsel, welke vrijkomt van de bovenleidingen en wielen.³²

4.1.5 Bouwsnelheid

De opbouw van het perron en de overkapping dient zo kort mogelijk gehouden te worden om langdurige buitendienststelling van het spoor te voorkomen. Dit geldt voornamelijk voor stations langs trajecten die dagelijks worden gebruikt. Indien er veel ruimte rondom het station beschikbaar is, kan worden overwogen om de kap prefab aan te leveren. Indien dit niet mogelijk is zal de constructie ter plaatsen in elkaar gezet moeten worden. Hierbij heeft een boutverbinding de voorkeur omdat een lasverbinding veel tijd in beslag neemt.

4.1.6 Coatings

Prorail stelt eisen aan conserveringen van staal in nieuwbouwsituaties. De conserveringen hebben als doel om de onderliggende constructie te beschermen tegen atmosferische corrosie. Daarnaast kan verfraaiing een rol spelen.

Prorail maakt onderscheid tussen spoorbruggen en overige metaalwerken. Voor de perronoverkappingen wordt uitgegaan van overige metaalwerken. De constructie kan dan worden voorzien van een duplexsysteem of worden geschilderd. De volgende eisen worden gesteld aan een verf conservering²⁹

Matte afwerking

- 1 laag zinkepoxygrondverf, droge laagdikte minimaal 35 µm of 1 laag roestwerende epoxygrondverf, droge laagdikte minimaal 100 µm.
- 1 laag epoxyijzerglimmerverf,
- 1 laag epoxyijzerglimmerdekverf, met een onbeperkte overschildertijd.

De totale droge laagdikte van het systeem dient minimaal 335 µm te bedragen bij toepassing van een zinkepoxygrondverf en minimaal 400 µm te bedragen bij toepassing van een roestwerende epoxygrondverf.²⁹

Gladde afwerking

- 1 laag zinkepoxygrondverf, droge laagdikte minimaal 35 µm of 1 laag roestwerende epoxygrondverf, droge laagdikte minimaal 100 µm,
- 1 laag epoxyverf,
- 1 laag polyurethan- of polysiloxaandekverf, met een onbeperkte overschilderbaartijd.

De totale droge laagdikte van het systeem dient minimaal 285 µm te bedragen bij toepassing van een zinkepoxygrondverf en minimaal 350 µm te bedragen bij toepassing van een roestwerende epoxygrondverf.²⁹

Indien wordt gekozen voor een duplexsysteem (thermisch verzinken met verflaag) dient de dikte per laag dunner te worden uitgevoerd.²⁹

4.2 Materiaal verantwoording

De toegepaste materialen bij de onderzochte stations zijn in het voorgaande hoofdstuk vergeleken met de Cradle to Cradle principes. Er is duidelijk naar voren gekomen welke materialen wel binnen de Cradle to Cradle principes passen en welke materialen dat niet doen. Materialen die niet voldoen binnen de principes kunnen eventueel worden verbeterd of eventueel worden vervangen.

4.2.1 Fundering

Momenteel zijn de onderzochte perronkappen op staal gefundeerd door middel van in het werk gestort gewapend beton. Beton kan niet compleet terugkeren in de biologische of technische kringloop. Beton wordt namelijk gedowncycled tot betongranulaat waardoor voor het maken van beton altijd primaire stoffen nodig zijn.

Beton kan eventueel worden vervangen door kunststof, metselwerk of staal. Staal kan namelijk worden gerecycled naar dezelfde kwaliteit of hoger. Indien staal onbehandeld in de bodem wordt toegepast gaat het staal uitlogen en vergaat het langzaam. Momenteel is er echter maar 50% schroot van de totale staalaanvraag beschikbaar. Staal dient daarom zoveel mogelijk behouden te blijven. Bij de recycling van kunststof vindt er een downcycling plaats. Om het materiaal weer aan de gewenste eigenschappen te laten voldoen moeten er veel chemische middelen toegepast worden. Chemische middelen zijn slecht voor zowel het milieu als voor de arbeidsomstandigheden.^{10,11}

	Voordelen	Nadelen
Staal	Recyclebaar (technische kringloop)	Corrodeerd (loogt uit in water)
(Fundering op staal en paalfundering)		50% schroot van de staalaanvraag
		Eventuele conserveren
Kunststof	Onderhoudsvrij	Downcycling
(Fundering op staal)		Recycling mogelijk met chemicaliën
		Oliebasis (primaire stof)
Metselwerk	Geen schadelijke effecten	Veel ruimte nodig
(Fundering op staal)	Massa	Lange opbouw tijd
		Downcycling naar granulaat
Hout	Biologisch afbreekbaar	Rotting tpv grondwater
(Paalfundering)	Lokaal te verkrijgen	Betonopzetter nodig
	Juiste arbeidsomstandigheden	

Tabel 3: Vervangende materialen voor beton.

Zowel staal als kunststof zorgen voor schade aan flora en fauna in de bodem, metselwerk wordt evenals beton omgezet in granulaat en houten palen rotten als ze boven de grondwaterstand uitkomen. Momenteel is er dus geen oplossing om de fundering Cradle to Cradle te krijgen. Beton kan eventueel wel 'minder slecht' worden gefabriceerd door gebruik te maken van 100% betongranulaat, gerecyclede wapening uit schroot en het gehele funderingsblok in prefab uit te voeren. Door de fundering prefab uit te voeren kan de fundering na gebruik opnieuw worden ingezet voor een nieuwe perronkap op hetzelfde of een ander station.^{13,41,52}

4.2.2 Hoofddraagconstructie, verbinden en coatings

De hoofddraagconstructie is bij alle stations opgebouwd uit staal. In het voorgaande hoofdstuk(3.3.2) is naar voren gekomen dat staal een ideaal product is binnen de Cradle to Cradle principes. Er is echter momenteel maar 50% schroot beschikbaar van de totale staalbehoefte. Het is de vraag of er genoeg schroot voorradig is wanneer de primaire stof voor staal, namelijk ijzererts op is. Waar mogelijk moet het staal vervangen worden voor een alternatief materiaal.

Staal kan eventueel worden vervangen door hout of beton. Hierbij moet echter wel onderscheid gemaakt worden tussen materiaal voor de kolommen en voor de liggers. Hout in binnen de Cradle to Cradle principes de beste keuze. Hout is een product dat terug te brengen is in de biologische kringloop en dicht bij huis te verkrijgen is. Binnen de spooromgeving dient ook gekeken te worden naar de eisen van ProRail. Zo stelt ProRail dat kolommen hufterproof uitgevoerd dienen te worden. Dit betekent dat de kolommen kras- en slijtvast moet zijn. Daarnaast dient de kolom bestand te zijn tegen uv-straling, schoonmaakmiddelen en graffiti. Overigens moet een kap worden ontworpen zodat de eerste 35 jaar geen groot onderhoud hoeft plaats te vinden. Hout is tegen deze eisen niet bestand en is dus niet geschikt om als kolom toe te passen, staal is in dit geval de beste keuze. De liggers in de kap (3,50 meter vanaf bovenkant perron) kunnen wel in hout worden uitgevoerd omdat deze niet te bereiken is door vandalen. Hout kan worden geschilderd met milieuvriendelijke verven, mooi verduurzamen of worden veredeld (gemodificeerd). Een verlaag dient voor klein onderhoud om de vier jaar te worden vervangen^{11,29,31,45}

	Voordelen	Nadelen
Staal	Recyclebaar (technische kringloop)	Conserveren (schadelijke stoffen)
	Herbruikbaar	50% schroot van de staalaanvraag
	Hufterproof	
Beton	Onderhoudsvrij	Downcycling naar granulaat
	Hufterproof	Hergebruik bijna niet mogelijk
		Gebruik Primaire stoffen
Hout	Biologisch afbreekbaar	Niet hufterproof (kolom)
	Lokaal te verkrijgen	Onderhoudsgevoelig
	Juiste arbeidsomstandigheden	

Tabel 4: Vervangende materialen voor staal.

De staalconstructie kan op een aantal punten worden verbeterd. Kolommen en liggers dienen zoveel mogelijk te worden opgebouwd uit standaard profielen. Bij de sloop van de kap bestaat daardoor de mogelijkheid om de profielen te hergebruiken bij andere projecten, zoals een uitbouw van een woning. Het hergebruiken van de constructie vraagt echter om demontabel verbindingen. Dit kan worden opgelost door het gebruik van boutverbinden.⁴⁵

Kiezen voor een staalconstructie betekent dat de conservering uitgevoerd worden op basis van Epoxy en Polyurethaan. Hoewel de stoffen schadelijk zijn, zijn er momenteel nog geen alternatieve conserveringen beschikbaar die voldoen aan de Cradle to Cradle principes met dezelfde verfeigenschappen.^{4,29}

Het is een betere keuze om de gehele constructie te verven dan gebruik te maken van een duplex systeem. Een constructie die thermisch is verzinkt dient alsnog te worden geverfd. Het verzinken is dus een extra handeling waarbij de arbeidsomstandigheden niet optimaal zijn.⁴³

4.2.3 Dakbedekking en beplating

De toegepaste dakbedekking is een kunststofmateriaal en voldoet niet aan de eisen van de Cradle to Cradle principes. De bedekking kan eventueel worden vervangen door voor een sedumdak. Echter is dit niet wenselijk op een perronkap omdat het dak niet kan worden onderhouden ter plaatse van de veiligheidszone. Een andere optie is om platen van verzinktstaal toe te passen. Deze logen echter uit in het water en vergaan zonder coatings in een spooromgeving. Echter zijn de platen wel goed recyclebaar naar dezelfde kwaliteit.^{48,33,43}

Een andere verbetering is dakbedekking op basis van plantaardige membranen. Het Nederlandse bedrijf Derbigum heeft het allereerste een Cradle to Cradle dakbedekking ontwikkeld op basis van plantaardige oliën. Het materiaal is biologisch afbreekbaar en heeft een lange levensduur evenals kunststof dakbedekking. Het nadeel is echter dat het materiaal alleen in lichtgrijs leverbaar is. Dakranden van perronoverkapping verkleuren snel door koperslijpsel en de kleur lichtgrijs versterkt deze vervuiling extra. Daarnaast dient de dakbedekking te worden bevestigd door middel van lijm waarin veel oplosmiddelen zijn verwerkt.⁴⁸

	Voordelen	Nadelen
Staal	Recyclebaar (technische kringloop)	Loogt uit in water
		5 jarige levensduur spooromgeving
		50% schroot van de staalaanvraag
Plantaardig membraam	Biologisch afbreekbaar	Bevestiging door middel van lijm
	Lange levensduur (40 jaar)	Vuil onderhevig
		Duur in aanschaf
Sedumdak	Biologisch afbreekbaar	Niet onderhoudbaar veiligheidszone
	Zuiverd regenwater	
	Natuurlijke omgeving	

Tabel 5: Vervangende materialen voor dakbedekking.

EPDM dakbedekking kan het beste vervangen worden voor plantaardige membranen. De dakbedekking is Cradle to Cradle en kan terugkeren naar de natuur. Echter kan de dakbedekking ook worden vervangen voor beplating. De aluminium beplating die momenteel wordt toegepast wordt voor 85% hergebruikt. FSC Hout is echter een beter materiaal, maar alleen geschikt aan de onderzijde. Hout is biologisch afbreekbaar en lokaal te verkrijgen. Het nadeel is dat hout onderhouden moet worden en niet erg demontabel is.^{3,11}

	Voordelen	Nadelen
Aluminium beplating	Recyclebaar (technisch en biologisch)	10 jarige levensduur spooromgeving
	Onderhoudsvrij	Geconserveerd (schadelijke stoffen)
	Demontabel	
Hout	Biologisch afbreekbaar	Minder demontabel
	Lokaal te verkrijgen	Onderhoudsgevoelig
	Lange levensduur	

Tabel 6: Vervangende materialen voor Beplating.

Hout kan het beste aan de onderzijde van de vleugels worden toegepast. Als het hout in de loop der tijd moet worden onderhouden is dit gemakkelijk te bereiken vanaf het perron. De aluminium beplating heeft een betere werking op het dak. De platen zijn onderhoudsvrij en kunnen snel worden vervangen door de beperkte afmetingen. De aluminium platen zijn tevens goed bestand tegen water waardoor het dak goed waterdicht kan worden afgedicht.^{11,3}

4.2.4 Glas en zonnecellen

Het Freeformglass is een perfect product binnen de Cradle to Cradle principes omdat het kan worden gerecycled naar gelijkwaardige kwaliteit. Daarnaast zijn er vele voordelen zoals het buigen op de bouwplaats, de lage energiekosten en het verminderen van het transport.^{14,37,53}

De zonnecellen die geïntegreerd zijn in het dak voldoen aan het principe 'duurzame energie'. Het glas is gemakkelijk schoon te maken waardoor het rendement van de cellen niet wordt verlaagd. Daarnaast is door de bolling in het glas het rendement zelfs hoger dan bij vlakke plaatsing. Omdat het product een ontwikkeling is van Movares is dit de beste keuze voor de overkapping.¹⁴

4.2.5 Hemelwaterafvoer

In het voorgaande hoofdstuk is naar voren gekomen dat een PE leidingen beter zijn dan PVC leidingen. Als alternatief kan er worden gekozen voor een stalen standleiding. Staal is te recycleren en loogt nauwelijks uit indien deze is voorzien van een coating.⁴⁵

Cradle to Cradle gaat uit van een verantwoord waterbeheer. In de stations wordt daarom een grijswatersysteem toegepast om het water opnieuw te gebruiken. Door het opvangen van het regenwater kunnen bijvoorbeeld de toiletten worden doorgespoeld, stationshal worden schoongemaakt en eventueel de gevel worden gereinigd. Het grote voordeel van een grijswater systeem is dat het drinkwater wordt teruggedrongen en hemelwater opnieuw kan worden gebruikt. De kwaliteit van het water wordt beïnvloed door de kwaliteit van het dakmateriaal. Materialen zoals betonnen of keramische dakbedekking, glas en kunststof hebben een positief effect op de waterkwaliteit. Bitumineuze dakbedekkingen of sterk vervuilde daken passen niet binnen het grijswatersysteem. Voordat het water wordt opgeslagen worden stoffen, zand en bladen gefilterd.¹⁷

Een andere mogelijkheid om water meteen op te laten nemen door de ondergrond. Het laten opnemen van water is op een tweetal manieren uit te voeren. Ter plaatse van de HWA aansluiting op het perron wordt een grindbak gecreëerd. Het water vanaf het dak worden dan afgevoerd naar deze grindbak waarna het water in de zandbedding infiltreert. De tweede mogelijkheid is om de HWA te laten afwater bij het spoor. Rondom het spoor is veel grint toegepast dat kan dienen als grindbak. Water kan daardoor 'gezuiverd' in de grond infiltreren. Het voordeel van de tweede optie is dat er op de perrons geen ruimte gereserveerd dient te worden voor grindbakken.

4.2.6 Materiaallijst

Michael Braungart en William McDonough hebben in het boek 'Remake the way we make things' een stappenplan beschreven voor het selecteren van materialen. Dit stappenplan is terug te vinden in paragraaf 2.3.2 stappenplan. De belangrijkste stap is het opstellen van 'passieve stoffen-lijst'.

De materialen zijn ingedeeld in drie lijsten. De zwarte lijst is voorzien van materialen die geweerd dienen te worden in het nieuwe ontwerp. Hierop staat bijvoorbeeld de kunststof fundering, EPDM dakbedekking en PVC. Hieronder staan overigens ook de conservering. Echter zijn deze niet te voorkomen door de eisen die ProRail stelt aan staalconstructies.

De groene lijst vertegenwoordigt de materialen waarmee het ontwerp opgebouwd dient te worden, zoals het FSC hout en Freeformglass. De grijze lijst is voorzien van materialen die optioneel zijn.

Materialenlijst:	Goed	Eventueel toepasbaar	Slecht
Fundering	Prefab beton vv 100% betongranulaat en gerecyclede wapening	In SITU gestort beton	Kunststof en onbehandeld staal
Constructie - Kolommen	Staalconstructie vv standaard profielen	Staalconstructie vv samengestelde profielen	
Constructie - Liggers	FSC hout en staal	Beton	
Coarings			Verven op basis van Epoxy en Polyurethan, eventueel thermisch verzinkt (ProRail)
Verbindingen	Boutverbinding	Gelaste verbindgen	
Dakbedekking	Plantaardig membraam	Sedumdak	Staal en EPDM dakbedekking
Beplating	FSC hout toegepast in latten en/of platen	Aluminium beplating	
Glas	Freeformglass waar mogelijk voorzien van zonnecellen		
Hemelwaterafvoer	Stalen standleiding aangesloten op een grijswatersysteem	PE	PVC

Tabel 7: Materialenlijst

Zie voor de variantoplossing van de perronkap en de ontwerpverantwoording bijlage 6

4.3 Deelconclusie

De meeste materialen kunnen worden verbeterd of worden vervangen zodat ze binnen de Cradle to Cradle principes passen. Echter is dit niet mogelijk met beton. Beton is namelijk niet compleet terug te brengen binnen de biologische of technische kringloop. Voor het maken van beton zijn wel primaire stoffen nodig, maar beton brengt geen schade aan de flora en fauna. Dit is namelijk wel het geval als er wordt gewerkt met staal en kunststof materialen in de bodem. Er zijn ontwikkelingen aan de gang om beton te kunnen recyclen en ontwikkelingen om de primaire stoffen in beton te kunnen vervangen. Op dit moment kan het beton alleen worden verbeterd door middel van de toepassing van 100% betongranulaat, wapening vanuit gerecycled schroot te gebruiken en het maken van een prefab element.

Staal is een goed product binnen de Cradle to Cradle, zolang het maar boven de grond wordt toegepast. Ik ben van mening dat de grootste boosdoeners van staal de coatings zijn. Staal kan worden verbeterd door het toepassen van standaard profielen en demontabel verbinden. Maar de gehele constructie dient wel te zijn voorzien van een beschermingslaag op basis van Epoxy en Polyurethaan. Zolang er geen alternatieve verf wordt aangeboden die binnen de Cradle to Cradle principes valt maar wel met dezelfde verfeigenschappen heeft die ProRail eist, komen er schadelijke stoffen in de natuur terecht. Het thermisch verzinken van staal moet worden voorkomen. De constructie dient namelijk alsnog te worden voorzien van een verflaag waardoor het verzinken een extra handeling is waarbij de arbeidsomstandigheden niet optimaal zijn.

Hout is in mijn optiek het beste product om toe te passen bij perronoverkappingen welke vallen binnen de Cradle to Cradle principes. Hout kan terugkeren in de biologische kringloop en het conserveren van hout kan op verantwoorde wijze plaatsvinden. Echter bij toepassing van de fundering is hout onderhevig aan rotting ter plaatse van het grondwaterpeil. Hout kan ook niet als kolom worden toegepast vanwege de eisen die ProRail stelt ter voorkoming van vandalisme. Het is dus alleen mogelijk om hout in de kap toe te passen (boven de 3,5 meter). De houten kap kan het beste worden gecombineerd met het Freeformglass, dat ontwikkeld is door Movares. Door de combinatie van zonnecellen kan een station in zijn eigen energiebehoefte voorzien.

Het schoonmaken van het station en het spoelen van toiletten kost veel water. Er kan mijn inziens veel water worden bespaard door het toepassen van een grijswater systeem. Dit systeem dient echter wel een op een donkere en koude plaats te zijn geplaatst. Daarnaast neemt een grijswatersysteem wel veel ruimte in beslag.

5. Conclusie en aanbeveling

5.1 Conclusie

Cradle to Cradle is een geheel nieuwe denkwijze binnen het duurzame bouwen. Door de gedachte 'afval is voedsel' moet toekomstig afval worden voorkomen. Cradle to Cradle gaat enkel uit van gesloten kringlopen die door middel van duurzame energie worden opgewekt. Het is echter opmerkelijk dat het Cradle to Cradle principe geen aandacht besteedt aan de levensduur van een product. Een prefab element dat bijvoorbeeld een levensduur heeft van meer dan 100 jaar, is daarmee binnen de Cradle to Cradle principes slechter dan een stalenconstructie die slechts 50 jaar mee gaat. Dit is namelijk opmerkelijk omdat het productproces veel energie en arbeid met zich meebrengt.

Het overgrote deel van de materialen die in de perronoverkappingen worden toegepast kunnen goed terugkeren binnen de technische kringloop. Dit komt voornamelijk doordat het overgrote deel van de stations wordt opgebouwd uit warmgewalst staal. Uit deze rapportage is gebleken dat staal een goed product is binnen de Cradle to Cradle principes omdat het recyclebaar, en zelf upcyclebaar is. Echter is er maar 50% schroot beschikbaar van de totale wereldvraag naar staal. Hoewel ijzererts momenteel nog in overvloed te verkrijgen is, kan er op termijn een tekort ontstaan.

Materialen, waaronder hout, passen het beste binnen de principes. Maar als de hele wereld hout toepast is er in de toekomst een groot tekort. Hoewel hout het ideale materiaal is om mee te werken, kan het slechts maar beperkt worden toegepast in de perronkap. Dit komt door de eisen die ProRail stelt aan het onderhoud.

Over het algemeen kan er gesteld worden dat de perronkap voor het grootste gedeelte in Cradle to Cradle uitgevoerd kan worden als er niet gekeken wordt naar de eisen van ProRail. Echter zijn de perrons en dus ook de overkappingen eigendom van ProRail waardoor de ontwerper zich aan het Programma van Eisen vanuit ProRail dient te houden.

Er kan dus worden gesteld dat Cradle to Cradle meer is dan een filosofie en dat het weldegelijk toekomst heeft. Hierbij moet dan wel worden opgemerkt dat dit alleen te realiseren is als de opdrachtgever er in wilt investeren. Momenteel zijn er namelijk nog te weinig materialen die compleet binnen de Cradle to Cradle principes vallen. Daarnaast dient een gebouw met de weinige Cradle to Cradle materialen demontabel te worden ontwerpen. Deze criteria zorgen ervoor dat het ontwerpproces meer tijd met zich mee brengt dan gebruikelijk. De kosten nemen hierdoor dermate toe. Daarnaast is het de vraag of ProRail bereid is om te investeren in dure installaties zoals zonnecellen en een grijswatersysteem.

Met de huidige eisen die ProRail stelt in het OVS (ontwerpvoorschriften spoor) aan perronoverkappingen, is het niet mogelijk om de perronkap Cradle to Cradle uit te voeren.

5.2 Aanbeveling

Na aanleiding van de onderzoeksresultaten kan worden vastgesteld dat de grootste boosdoener te vinden is in coatings die worden toegepast om de staalconstructie, beplating en hout te beschermen. Er moeten coatings worden ontwikkeld die kunnen terugkeren in de biologische of technische kringloop die over dezelfde eigenschappen beschikken als verven op basis van Epoxy, Polyurethaan, PVDF, etc. Hierdoor kunnen de materialen voor het overgrote deel gezonder worden uitgevoerd.

Voor het conserveren van een constructie kan beter worden gekozen om de constructie enkel te voorzien van een verflaag. Thermisch verzinken is namelijk een extra handeling die moet worden uitgevoerd, omdat ProRail eist dat verzinkt staal ook voorzien moet worden van een verflaag. De zinkdampen die vrijkomen bij het verzinken leveren namelijk een schadelijke bijdrage aan de arbeidsomstandigheden.

Aan de andere kant kan ProRail ook een bijdrage leveren door de hoge eisen aan onderhoud te versoepelen, waardoor bijvoorbeeld ander soort verven en materialen toegepast kunnen worden. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de esthetiek van het station een kortere levensduur krijgt. Daarnaast moet ProRail overwegen of een thermisch verzinkte ligger weldegelijk geleverd moet worden. Immers zijn er ook thermisch verzinkte metalen voorzien van een Cradle to Cradle keurmerk. Een mogelijkheid om onder de conserveringen uit te komen is om te investeren in hufterproof hout. Hiermee wordt het grootste deel van de coatings overbodig.

Tijdens het ontwerp proces moeten organisaties proberen met standaard profielen een perronkap te ontwerpen. Standaard profielen kosten vele malen minder arbeid en kunnen eventueel nog worden ingezet in andere projecten. Samengestelde profielen moet dus worden voorkomen zoals bij Groningen Europapark het geval is.

Fabrikanten van de materialen moeten in de toekomst meer investeren in het gebruik van duurzame energie, zoals zonne, wind of waterkrachtenergie. Daarnaast dienen zij ook meer openheid te geven van de toegepaste middelen in hun producten. Aan de andere kant moet de recycling en rendement van zonnecellen enorm worden verbeterd.

Movares heeft een aantal medewerkers in dienst die over een geruime hoeveelheid materiaal kennis bevatten. Voornamelijk de medewerkers Laszlo Vakar en Mark van der Heide hebben hier een leidende rol in. Het is echter aan te raden om deze kennis meer onder het personeel te verspreiden en waar mogelijk te documenteren. De kennis over conserveringen zijn echter verouderd en/of beperkt en worden veelal aan de aannemer overgelaten. Ik adviseer Movares daarom om de kennis over de conserveringen te vergroten binnen het bedrijf zodat in de toekomst alternatieve conserveringen aangedragen kunnen worden.

6. Literatuurlijst

6.1. Boeken / Documenten

- ¹ Agentschap NL. (2010). *Cradle to Cradle en duurzaam inkopen*. Utrecht: Agentschap NL.
- ² Agentschap NL en gemeente Venlo. (2010). *Handreiking voor het bouwen met Cradle to Cradle*. Delft: BuildDesk Benelux.
- ³ Alucobond. (sd). *WE BELIEVE IN NATURE*. Zweden: Alucobond.
- ⁴ Arbouw. (2008). *Veilig werken met verf; Eigenschappen en risico's van verfsoorten*. Amsterdam : Arbouw.
- ⁵ Bahri, M. (2008). *OVT Utrecht Constructie Perronkappen*. Utrecht: Movares.
- ⁶ Beemster, W. (2011). *Cradle to Cradle*. (P. Bekkering, Red.) *Stedebouw & architectuur* , 28 (9), 34.
- ⁷ Bijsterveld, K. (2008). *Duurzaam. buildingbusiness* , 8, 9.
- ⁸ Boot, P. (2012). *Amsterdam RAI Voorontwerp / gedeeltelijk Definitief Ontwerp*. Utrecht: Movares.
- ⁹ Bosveld, j., & Raaijmakers, H. (2005). *Coaten van producten uit dunne plaat*. Zoetermeer: Vereniging FME-CWM.
- ¹⁰ Bouwen met staal. (2003). *MRPI-blad 9.1/00010/001*. Rotterdam: Bouwen met staal.
- ¹¹ Braungart, M., & McDonough, W. (2009). *Cradle to Cradle Afval = Voedsel*. Heeswijk: Search knowledge.
- ¹² Buurman, G. (2005). *Ontwerpbeschrijvingen Railtechniek Ontwerpverantwoording OVT Utrecht*. Utrecht: Movares.
- ¹³ Cement Thema. (2009). *Beton oneindig*. Boxtel: Cement.
- ¹⁴ Civiele techniek. (2011). *Freeformglass: lichtere staal/glas-constructies. Civiele techniek* , pp. 19-22.
- ¹⁵ Gansewinkel groep, van. (2012). *Cradle to Cradle: 10 dingen die het weten waard zijn*. Eindhoven: van Gansewinkel.
- ¹⁶ Hattum, R. v. (Regisseur). (2008). *Het nieuwe ondernemen*
- ¹⁷ Hegger, D., van Bilsum, J., & van der Meij, J. (2005). *OV Terminal Utrecht, Definitief Ontwerp, Werktuigbouwkundige Installaties*. Utrecht: Holland Railconsult.
- ¹⁸ Heijink, E., & Rol, A. (2005). *OV Terminal Utrecht Centraal Definitief Ontwerp Eindrapportage*. Utrecht: Movares.
- ¹⁹ Hollander, J. P. (2009). *Duurzaamheid en staal*. Zoetermeer: Bouwen met staal.
- ²⁰ InfoNu. (2012). *Cradle to Cradle: Haalbaar in Nederland* . Opgeroepen op 09 19, 2012, van InfoNu: <http://wetenschap.infonu.nl/onderzoek/96036-cradle-to-cradle-haalbaar-in-nederland.html>
- ²¹ Meadows, D. (1972). *Rapport van de Club van Rome; de grenzen aan de groei*. Utrecht: Spectrum.
- ²² Meadows, D., Randers, J., & Meadows, D. (2004). *Limits to growth the 30-year update*. Vermont: Chelsea Green.
- ²³ Movares. (2012). *Cradle to Cradle Stations*. Utrecht: Movares.
- ²⁴ Movares. (2010). *Station Groningen Europapark Vormgevingsdocument Definitief 3e nota*. Utrecht: Movares.
- ²⁵ Ommeren, M. v. (2008). *Sporen in Arnhem Constructief voorontwerp perronkappen en passerelle*. Utrecht: Movares.
- ²⁶ Ommeren, M. v. (2009). *Sporen in Arnhem Constructief Definitief Ontwerp perronkappen en passerelle*. Utrecht: Movares.
- ²⁷ Planbureau voor de Leefomgeving. (2008). *Een quick scan van het concept Cradle-to-Cradle in de context van het. Biltoven: Planbureau voor de Leefomgeving*.
- ²⁸ ProRail. (2005). *Basisstation 2005, deel A en B*. Utrecht: ProRail.
- ²⁹ ProRail. (2010). *Productspecificatie Conservering Staal Nieuwbouw*. Utrecht: ProRail.
- ³⁰ ProRail. (2010). *Richtlijn Ontwerp-, beheerrichtlijnen en afkeurnormen*. Utrecht: ProRail.
- ³¹ ProRail. (2012). *Ontwerpvoorschrift Perron- en Sporenkappen*. Utrecht: ProRail.
- ³² ProRail. (2012). *Ontwerpvoorschrift Perrons* . Utrecht: ProRail.
- ³³ Regionaal Dubo Consulentenschap. (2006). *Handleiding alternatieve materialen voor bouwmetalen*. zwolle: Regionaal Dubo Consulentenschap.
- ³⁴ Rijkswaterstaat. (2012). *Cradle to Cradle voor de gebouwde omgeving*. Eindhoven: Rijkswaterstraat
- ³⁵ RMNO. (2009). *Cradle to Cradl en duurzame gebiedsontwikkeling: naar een concrete realisering*. Den Haag: RMNO
- ³⁶ StudioSK, Movares. (2011). *Amsterdam RAI Voorontwerp stationsuitbreiding*. Utrecht: studioSK.
- ³⁷ Tuinenburg, T. (2010). *Nieuwsbrief*. Gouda: Vlakglas recycling.
- ³⁸ UNstudio. (2009). *Definitief Ontwerp Perronkappen Sporen in Arnhem*. Amsterdam: UNstudio.
- ³⁹ van Gansewinkel groep. (2012). *Cradle to Cradle: 10 dingen die het weten waard zijn*. Eindhoven: van Gansewinkel groep.
- ⁴⁰ Vogelaar, E. (2008). *Beantwoording kamervragen over een proef met alternatief beton- en metselzand*. Den Haag: Vrom.
- ⁴¹ Wapening in beton. (2006). *Van schrootafval naar nieuw staal*. Alkmaar: Wapening in beton.
- ⁴² Werf, M. v. (2009). *Cradle to Cradle in bedrijf*. Schiedam: Scriptum
- ⁴³ Woolley, T. (2008). *Thermisch verzinken en duurzaam bouwen; handleiding voor architecten*. Nieuwegein: Stichting doelmatig verzinken.

6.2 Websites

- ⁴⁴ Agentschap NL. (2010, 10 18). *Cradle to Cradle ontwerpprincipes*. Opgeroepen op september en oktober 2012, van Agentschap NL: <http://www.agentschapnl.nl/programmas-regelingen/cradle-cradle-ontwerpprincipes>
- ⁴⁵ Bouwen met staal. (2010). *Duurzaam in staal*. Opgeroepen op november 02, 2012, van Duurzaam in staal: <http://www.duurzaaminstaal.nl/>
- ⁴⁶ Colorcoat online. (sd). *Colorcoat® PVDF*. Opgeroepen op november 07, 2012, van Colorcoat online: http://www.colorcoat-online.nl/nl/producten/producten_voor_buiten/pvdf/
- ⁴⁷ Environmental Protection Agency. (sd). Opgeroepen op september 2012, van EPA: www.epa.gov
- ⁴⁸ EPDM Dakbedekking . (sd). Opgeroepen op november 13, 2012, van enerbouw: <http://www.enerbouw.nl/content/view/24/58/>
- ⁴⁹ EPEA. (sd). Opgeroepen op September en oktober 2012, van EPEA: www.epea.com
- ⁵⁰ Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie . (2011). *Onze Missie*. Opgeroepen op november 01, 2012, van Nibe: <http://www.nibe.org/nl/over-nibe/onze-missie>
- ⁵¹ Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie. (sd). *Basiswerken*. Opgeroepen op November 2012, van nibe.info: <http://www.nibe.info>
- ⁵² Nieuwamerongen, F. v. (2012, februari 02). *Beton en C2C, gaat dat samen?* Opgeroepen op oktober 31, 2012, van stede bouwarchitectuur: <http://www.stedebouwarchitectuur.nl/beton-en-c2c-gaat-dat-samen.98292.lynkx>
- ⁵³ VDA groep. (sd). *Wat mag wel/niet in de glasbak*. Opgeroepen op november 8, 2012, van Vlakglas recycling: <http://www.vlakglasrecycling.nl/>
- ⁵⁴ Vellinga, D. (2008, mei 23). *Plastic in het milieu*. Opgeroepen op november 8, 2012, van Infonu.nl: <http://dier-en-natuur.infonu.nl/milieu/19416-plastic-in-het-milieu.html>

6.3 Documentaire

- ⁵⁵ Hattum, R. v. (Regisseur). (2008). *Het nieuwe ondernemen* [Film].
- ⁵⁶ Leonard, A. (Regisseur). (2008). *Story of stuff* [Film].
- ⁵⁷ VPRO (Producent). (2006). *Tegenlicht: Afval is voedsel* [Film].

6.4 Presentatie

- ⁵⁸ Braungart, M. (2012, oktober 10). Dag van de duurzaamheid - Cradle to Cradle.

6.5 Afbeeldingenlijst

- AFBEELDING 1 Lineaire verloop van productie binnen het Eco-efficiency (Cradle to the Grave).
<http://2ndgreenrevolution.com/2009/12/02/interface-inc-using-lifecycle-assessments-to-measure-product-impacts/>
- AFBEELDING 2 Onderaan William McDonough, bovenaan Michael Braungart.
<http://greenatwork.com/blog/2009/05/14/from-principles-to-practices/>
- AFBEELDING 3 De onderverdeling van de wereld in twee gesloten kringlopen.
Rijkswaterstaat. (2012). *Cradle to Cradle voor de gebouwde omgeving*. Eindhoven: Rijkswaterstraat, 6
- AFBEELDING 4 Links de schematische weergave biologische kringloop, Rechts de schematische weergave technische kringloop.
<http://www.duurzaamondernemen.nl/>
- AFBEELDING 5 Samenhang tussen Ecology, Economy en Equity (economie, ecologie en rechtvaardigheid).
<http://www.archnewsnow.com/features/Feature79.htm>
- AFBEELDING 6 Cradle to Cradle keurmerk.
<http://www.futuras.nl/een-beter-ontwerp-voor-een-betere-wereld/>
- AFBEELDING 7 Plangebied rondom station Amsterdam Rai.
StudioSK, Movares. (2011). *Amsterdam Rai Voorontwerp stationsuitbreiding*. Utrecht: studioSK.
- AFBEELDING 8 De bestaande situatie uitgebreid met het nieuwe perron en bijbehorende perronkap.
StudioSK (onderdeel van Movares)
- AFBEELDING 9 3D impressie van de nieuwe perronkap op station Amsterdam Rai.
Movares, Revit Model station Amsterdam Rai
- AFBEELDING 10 Gedetailleerde opbouw van de kapconstructie op station Amsterdam Rai.
Movares, Revit Model station Amsterdam Rai
- AFBEELDING 11 Bovenaanzicht van de nieuwe perronoverkappingen op Arnhem Centraal.
UNstudio. (2009). *Definitief Ontwerp Perronkappen Sporen in Arnhem*. Amsterdam: UNstudio.
- AFBEELDING 12 3D impressie van de draagconstructie in de nieuwe perronkap van station Arnhem
Movares, Revit Model station Arnhem Centraal
- AFBEELDING 13 De perronkap in concept gemodelleerd met materiaal verwijzing.
UNstudio. (2009). *Definitief Ontwerp Perronkappen Sporen in Arnhem*. Amsterdam: UNstudio.
- AFBEELDING 14 Gedetailleerde opbouw van de kapconstructie op station Arnhem Centraal.
Movares, AutoCAD tekening
- AFBEELDING 15 Situatieschets van de omgeving rondom Europapark.
Movares. (2010). *Station Groningen Europapark Vormgevingsdocument Definitief 3e nota*. Utrecht: Movares.
- AFBEELDING 16 3D impressie van de draagconstructie in de perronkap van station Europapark
Movares. (2010). *Station Groningen Europapark Vormgevingsdocument Definitief 3e nota*. Utrecht: Movares.
- AFBEELDING 17 3D weergave van de titanium vleugels.
Movares. (2010). *Station Groningen Europapark Vormgevingsdocument Definitief 3e nota*. Utrecht: Movares.
- AFBEELDING 18 Schets van het materiaalgebruik in de perronkap van station Europapark.
Movares. (2010). *Station Groningen Europapark Vormgevingsdocument Definitief 3e nota*. Utrecht: Movares.
- AFBEELDING 29 3D impressie van van de toekomstige situatie rondom station Utrecht Centraal
<http://www.cu2030.nl/page/ovterminal>
- AFBEELDING 20 3D impressie van de draagconstructie in de perronkap van station Utrecht CS
Bahri, M. (2008). *OVT Utrecht Constructie Perronkappen*. Utrecht: Movares.
- AFBEELDING 21 3D impressie van de kolomaansluiting
Bahri, M. (2008). *OVT Utrecht Constructie Perronkappen*. Utrecht: Movares.
- AFBEELDING 22 Toepassing van fotovoltaïsche cellen in de perronkap voor het opwekken van energie
<http://www.cu2030.nl/page/ovterminal>

- AFBEELDING 23 Gedetailleerde opbouw van de kapconstructie op station Utrecht Centraal.
Movares, AutoCAD tekening
- AFBEELDING 24 Bron to Bron
<http://www.nibe.info/nl/b2b>
- AFBEELDING 25 Omsmeltingsproces van staal. Zie bijlage 4 voor het complete proces.
<http://www.cementonline.nl>
- AFBEELDING 26 Alucobond A2 bepaling.
<http://www.stylepark.com/en/3a-composites/alucobond-a2-bronze-metallic-504>
- AFBEELDING 27 Zonnecellen geïntegreerd in het Freeformglass
Civiele techniek. (2011). Freeformglass: lichtere staal/glas-constructies. *Civiele techniek*, pp. 19-22.
- AFBEELDING 28 Eilandperron twee sporen waardoor aan beide kanten treinen kunnen halteren.
ProRail. (2012). *Ontwerpvoorschrift Perrons*. Utrecht: ProRail.
- AFBEELDING 29 De minimale eisen die gesteld worden aan de lengte en radius van de perrons.
ProRail. (2012). *Ontwerpvoorschrift Perrons*. Utrecht: ProRail.
- AFBEELDING 30 Overzicht van de onderverdeling in zones van een perron.
ProRail. (2012). *Ontwerpvoorschrift Perrons*. Utrecht: ProRail.

6.6 Tabellenlijst

- TABEL 1 Overgang van Eco-Efficiëncy naar Eco-effectiviteit.
Braungart, M. (2012, oktober 10). Dag van de duurzaamheid - Cradle to Cradle.
- TABEL 2 De opbouw van een perronkap gespecificeerd in de meest voorkomende onderdelen
Eigen Tabel
- TABEL 3 Vervangende materialen voor beton.
Eigen Tabel
- TABEL 4 Vervangende materialen voor staal.
Eigen Tabel
- TABEL 5 Vervangende materialen voor dakbedekking.
Eigen Tabel
- TABEL 6 Vervangende materialen voor beplating.
Eigen Tabel
- TABEL 6 Materialenlijst
Eigen Tabel

7. Bijlagen

Bijlage 1 correspondentie

Van: Ellen Schins[SMTP:E.SCHINS@STACO.EU]

Verzonden: woensdag 7 november 2012 13:48:13

Aan: Wesley Kok

Onderwerp: RE: Cradle to Cradle keurmerk

Automatisch doorgezonden volgens een regel

Beste Wesley,

Ik heb onderstaande met onze algemeen directeur besproken en hij geeft het volgende aan:
Staal wordt 'ontzinkt' in een zoutzuurbad in onze eigen verzinkerijen. Dit is een speciaal bad wat alleen voor Cradle to Cradle ontzinken wordt gebruikt. Het ontzinkte staal is hierna 100% schoon voor recycling bij de hoogovens. De inhoud van het ontzinkbad wordt ter scheiding van de zoutzuuroplossing bij een chemisch bedrijf gescheiden, waarna het pure zink bij onze eigen dochter Recimal in zinkblokken wordt verwerkt. Deze zinkblokken gebruiken wij weer voor het verzinken. 100% cradle to cradle dus.

Indien je verder nog vragen hebt, hoor ik het graag.
Met vriendelijke groet / kind regards,

Staco Holding BV,
Ellen Schins

Van: Wesley Kok [mailto:wesley.kok@student.hu.nl]

Verzonden: maandag 29 oktober 2012 8:23

Aan: Info Staco NL

Onderwerp: Cradle to Cradle keurmerk

Geachte heer/mevrouw

Op het toegangskaartje voor de nationale staalbouw dag zag ik staan dat Staco roosters is voorzien van een Cradle to Cradle keurmerk. Na een bezoek aan de website werd mij duidelijk dat de stalenroosters thermisch verzinkt zijn en gerecycled kunnen worden.

Ik ben bouwkunde student aan de Hogeschool Utrecht en ben momenteel bezig met afstuderen. Mijn afstudeerscriptie gaat over het Cradle to Cradle maken van perronoverkappingen. Omdat deze overkappen veelal te maken hebben met weersinvloeden, zijn alle stalen draagconstructies voorzien van een duplexsysteem (thermisch verzinken en coaten).

Na een literatuurstudie is mij duidelijk geworden dat materialen die gerecycled worden, geen schadelijk stoffen mogen bevatten zoals de zink die wordt gebruikt bij het thermisch verzinken. Eventuele upcycling is mogelijk mits beide stoffen in twee aparte kringlopen te gebruiken zijn. Uit meerdere bronnen heb ik vernomen dat het zink tamelijk lastig te scheiden is van het staal en dat het een arbeidsintensief werk is.

Mijn vraag aan Staco roosters is op welke wijze zij het C2C keurmerk hebben verkregen. Is het daadwerkelijk mogelijk om het zink van het staal te scheiden of wordt er anders verzinkt dan gebruikelijk? Indien het mogelijk is zou ik hierover graag in gesprek gaan met iemand binnen uw organisatie die mij van deze informatie kan voorzien.

In afwachting op uw antwoord,

Met vriendelijke groet,
Wesley Kok

Bijlage 2 Bepaling Bron to Bron factor

In 2011 is een geheel nieuwe indicator aan de NIBE's Basiswerk toegevoegd: De Bron2Bron factor. Deze factor geeft een indicatie in hoeverre een bouwproduct aan het Cradle to Cradle principes voldoet.

De bron tot bron (B2B) factor probeert een brug te slaan tussen het LCA-rekenen van het TWIN2011-model en het C2C principe. De factor waarin B2B wordt uitgedrukt zegt iets over de mate waarin een materiaal of product voldoet aan het C2C principe. Voor het berekenen van de B2B factor worden zoveel mogelijk dezelfde uitgangspunten gebruikt als voor het C2C principe. Voor de C2C certificering zijn er vijf toetsingscategorieën, te weten:

1. Material Health
2. Material Reutilization
3. Renewable Energy Use
4. Water Stewardship
5. Social Responsibility

Voor het bepalen van de B2B-factor is eenzelfde indeling gebruikt. Ieder product bestaat uit vier verschillende factoren die uitgedrukt zijn in een percentage. Het percentage geeft de mate aan waarin een product voldoet aan de B2B-criteria. Voor social responsibility is (nog) geen factor bepaald, omdat hier nog niet voldoende gegevens voor beschikbaar zijn. Hieronder is per uitgangspunt aangegeven hoe er invulling is gegeven aan de B2B-factor.

Material Health

Om de factor te bepalen van Material Health is gekeken naar de aanwezigheid van bepaalde stoffen. Aan de hand van LCA gegevens is de hoeveelheid schadelijke stoffen bepaald die gebruikt worden voor een product. Daarbij gaat het niet alleen om de aanwezigheid van deze stoffen in het eindproduct, maar ook om het gebruik van dergelijke stoffen bij de verschillende productieprocessen. De stoffen waar het om gaat zijn gelijk aan de stoffen die genoemd worden bij de C2C-criteria, namelijk de zogenaamde x-lijststoffen, gehalogeneerde koolwaterstoffen, zware metalen en vluchtige organische stoffen. Een ander onderdeel van de Material Health betreft de oorsprong van hout. Indien van toepassing is bij de beoordeling meegewogen of het hout afkomstig is van illegale kap en of het afkomstig is van duurzaam beheerde bossen.

Material Reutilization

De factor voor de Material Reutilization heeft betrekking op de recyclingspercentages. De hoeveelheid gerecycled materiaal die gebruikt wordt bij de productie is voor 1/3 meegewogen. De hoeveelheid materiaal dat aan het einde van het leven van een product gerecycled kan worden is voor 2/3 meegewogen. Nagroeibare materialen (zoals bijvoorbeeld hout) worden in de B2B-factor beoordeeld als gerecycled materiaal. Hiermee zijn de technologische en de biologische kringloop zoals deze bij C2C worden onderscheiden samengevoegd.

Renewable Energy Use

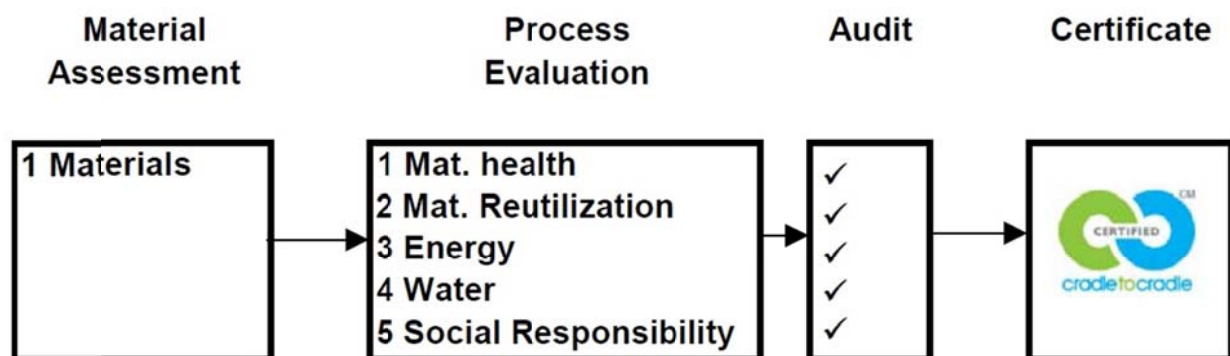
De verhouding tussen groene en grijze stroom komt tot uitdrukking in de factor Renewable Energy use. Hoe hoger het percentage des te groter het aandeel groene energie.

Onder groene energie wordt verstaan geothermische energie, wind- en zonne-energie, energie opgewekt met waterkracht en energie

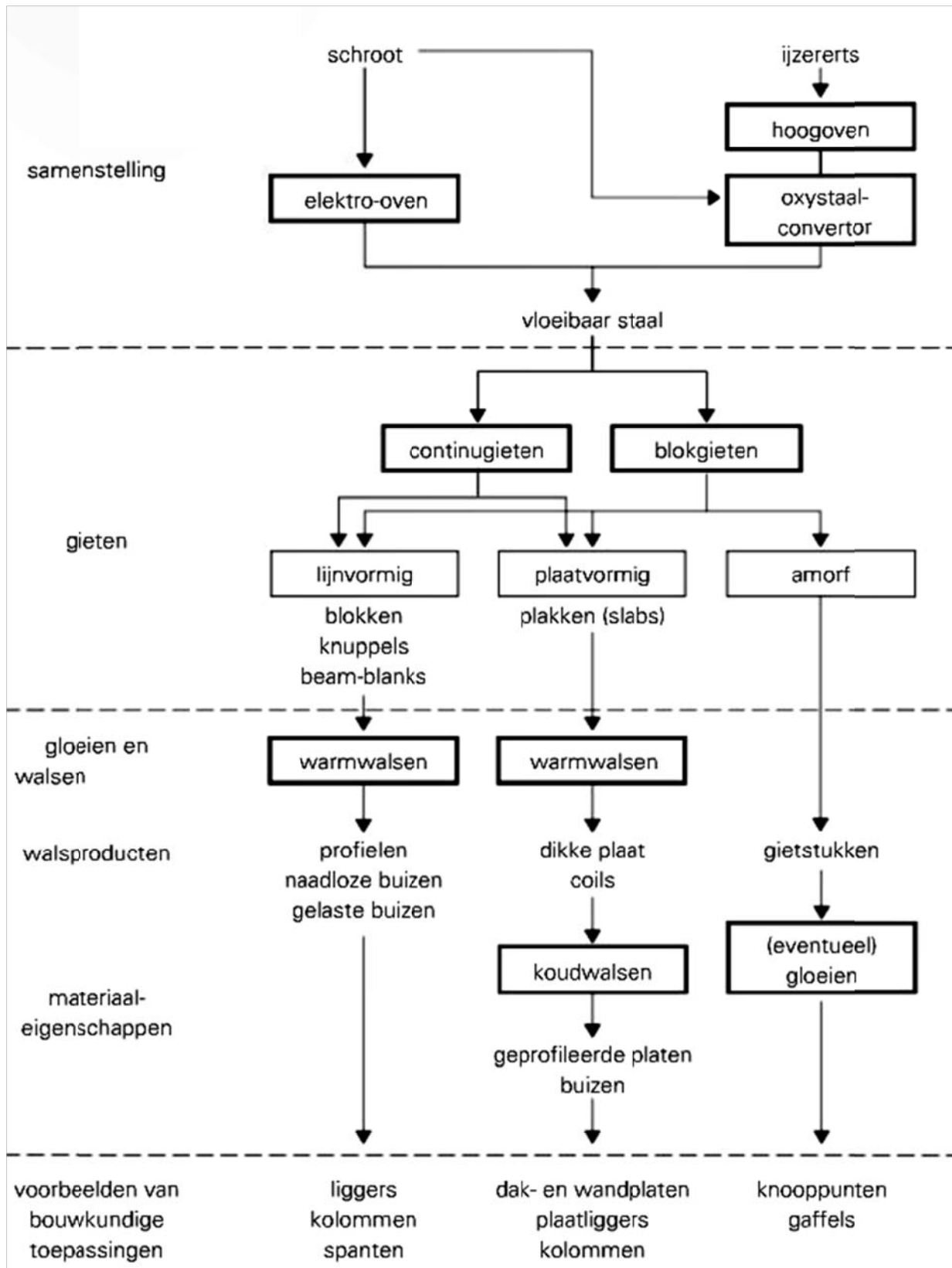
Water Stewardship

Voor de Water Stewardship criteria is een ander uitgangspunt genomen dan de C2C-criteria. Voor de B2B factor is gebruik gemaakt van dezelfde LCA gegevens van het milieueffectcategorie aquatische ecotoxiciteit zoetwater in de TWIN2011. Door materialen onderling met elkaar vergeleken te hebben is een grenswaarde bepaald. Aan de hand van deze grenswaarde is een factor bepaald. De B2B-factor Water zegt iets over de mate waarin materialen/producten waterverontreiniging veroorzaken gedurende het volledige productieproces in relatie tot andere materialen.

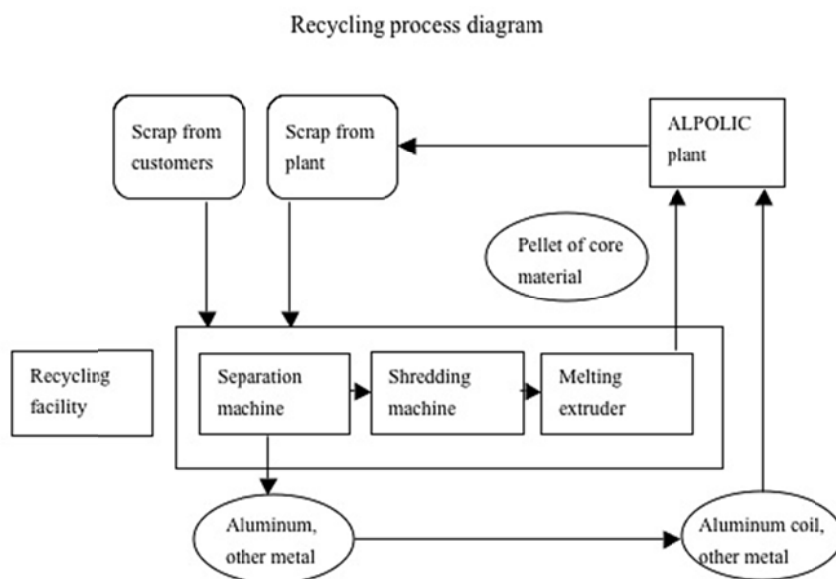
In de certificering wordt aangegeven dat het product aan alle uitgangspunten moet voldoen om het certificaat te kunnen krijgen. Alle uitgangspunten hebben daardoor dezelfde weging meegekregen om een totaal percentage te bepalen.



Bijlage 3 Omsmeltingsproces van schroot tot staal



Bijlage 4 Omsmeltingsproces van aluminium beplating



Bijlage 5 Breedte overzicht zones perronopbouw

Obstakelvrije zones				Minimaal vereiste bruto perronbreedte in m.	
1 Breedte Veiligheids- zone in m.	2 Breedte loopzone in m.	3 Breedte stawachtzone in m *)	4 Circulatie ruimte **)	5a Zijperron	5b Eilandper- ron
0,8	0,8	0,80 voor de 1e rij wachtenden per bak; 0,40 m voor elke volgende rij van 10 wachtenden per bak. - gelijkmatig verspreid over de treinlengte + 20%	Minimaal 40% van het netto oppervlak benodigd voor de deelprocessen (veiligheidszone, loopzone en Stawachtzone)	3.40	6,80

Bijlage 6 Ontwerpverantwoording

‘Zie volgende pagina’

Ontwerpverantwoording

Cradle to Cradle perronkap



Auteur:
Wesley Kok

In opdracht van:
Movares Nederland
Hogeschool Utrecht

Plaats en datum
Utrecht, 8 januari 2013

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Inleiding.....	5
1. Uitgangspunten	7
1.1 ProRail	7
1.2 Hoofddraagconstructie.....	7
1.3 Bouwkundige schil.....	8
1.4 Installaties	8
2. Ontwerp concept.....	9
2.1 Vorm	9
2.2 Elementopbouw	10
2.2.1 Spant.....	10
2.2.2 Langsliggers en glasdragers	10
2.2.3 Middendeel	11
2.2.4 Conservering.....	12
3. Constructie	13
3.1 Opbouw constructie	13
3.1.1 Fundering.....	13
3.1.2 kolommen.....	14
3.1.3 Portaalligger	14
3.1.4 Langsliggers	15
3.1.5 Glasdrager	15
3.2 Stabiliteit	16
4. Tekeningenlijst	17

Inleiding

Dit document is onderdeel van de het afstudeeronderzoek 'Perronoverkappingen zijn voedsel'. In deze ontwerpverantwoording is beschreven welke criteria van toepassing zijn geweest tot het ontwerp van de Cradle to Cradle perronkap. Gedurende het ontwerp van de perronoverkapping is uitgegaan van een perronkap met een standaard afmeting die in de toekomst geplaatst kan worden op een basisstation. Hierbij is uitgegaan van een perronbreedte van 6,80 meter.

De doelstelling van deze ontwerpverantwoording is het inzichtelijk maken van de keuzes die zijn gemaakt om een Cradle to Cradle perronkap te ontwerpen. Daarnaast geeft dit document inzicht in de uitwerking van de kapconstructie.

In de ontwerpverantwoording zijn allereerst alle uitgangspunten uit het onderzoek kort en bondig samengevat. Hierin staan onder andere de eisen die ProRail stelt aan stations en de geselecteerde materialen voor de kapconstructie. Het tweede gedeelte geeft een beschrijving over de hoofdelementen van het ontwerp waarna het rapport ingaat op de constructieve opbouw. Het rapport wordt afgesloten doormiddel van een 3D impressie en tekeningen.

1. Uitgangspunten

Het ontwerp is tot stand gekomen aan de hand van een aantal uitgangspunten zoals beschreven in hoofdstuk 4 “Variantoplossing perronkap”. In onderstaande paragrafen zijn deze uitgangspunten kort en bondig beschreven.

1.1 ProRail

Het overgrote deel van de Nederlandse stations zijn kleinschalig en vallen daarmee onder de categorie basisstation. Stations die een grotere omvang hebben kunnen worden ingedeeld onder de categorie gemiddeld- of sleutelstation. Om de Cradle to Cradle principes op grote school toe te passen, is uitgegaan van de eisen die betrekking hebben tot het basisstation.

De minimale perronbreedte van een eilandperron bij een basisstation bedraagt 6,80 meter. Deze breedte wordt opgebouwd uit een veiligheidszone van 0,80 meter, loopzone van 0,80, wachtzone van 0,80 meter en de circulatieruimte van 40% netto oppervlakte van de overige zones. Belangrijk hierbij is dat er geen obstakels in de veiligheids- en loopzone geplaatst mogen worden.

De perronlengte is per station verschillend. Bij het ontwerp is uitgegaan van een elementlengte van 10 meter. Afhankelijk van de perronlengte kunnen er meer of minder elementen worden toegepast. De elementlengte van 10 meter komt voort vanuit de eis omtrent stijpunten. De afstand tot het eerste obstakel loodrecht op het stijgpunt dient namelijk 10 meter te zijn.

De perronoverkapping heeft als doel om wachtende reizigers in de stuw- en circulatiezone te beschutten tegen weersinvloeden. De kap kan voor optimale beschutting tot 300mm voor de perronrand worden doorgezet. Bewegwijzering dient op 2,50 meter vanaf de bovenkant van het perron te worden aangebracht. De kapconstructie is op 3,50 meter vastgesteld.

De opbouwsnelheid van de kap dient zo beperkt mogelijk te worden gehouden en indien er staalconstructies worden toegepast dienen deze te worden voorzien van coatings.

1.2 Hoofddraagconstructie

De hoofddraagconstructie moet worden uitgevoerd in een combinatie van beton, hout en staal. In het onderzoek is naar voren gekomen dat er geen Cradle to Cradle materiaal voor de fundering beschikbaar is. Onbehandeld staal loogt uit in de bodem, hout rot ter plaatsen van de grondwaterstand en metselwerk wordt omgezet naar granulaat. Beton moet daardoor in de bodem toegepast blijven worden. Door het toepassen 100% betongranulaat in plaats van grind, gerecyclede wapening en het uitvoeren van de fundering als prefab element kan de betonconstructie optimaal worden verbeterd.

In het ontwerp wordt uitgegaan van een fundering op staal met toepassing van 100% betongranulaat, gerecycled beton en een prefab element. De fundering op staal kan eventueel worden vervangen door een fundering op palen. De palen dienen dan onder de grondwaterstand in hout te worden uitgevoerd en te worden voorzien van een betonopzetter om de hoogte tussen de paal en de kolom te overbruggen.

De kolommen van de overkappingen moeten bestand zijn tegen vandalisme. Hout is een materiaal dat niet bestand is tegen vandalisme en beton valt niet binnen de Cradle to Cradle principes. Staal is wel bestand tegen vandalisme en past daarnaast binnen de Cradle to Cradle principes omdat het kan worden gere- en geüpccycled zonder toevoegingen. Echter stelt ProRail eisen aan staalconstructies die in een spooromgeving worden toegepast. De constructie dient namelijk te worden voorzien van een verflaag of duplexsysteem. Beide systemen dienen te worden gecoat met verven op basis van Epoxy en Polyurethaan.

Hout is een product dat 100% binnen de Cradle to Cradle principes valt omdat het lokaal verkrijgbaar is, kan terugkeren naar de biologische kringloop en kan duurzaam worden geconserveerd. De kapconstructie zal daarom, boven de 3,50 meter, in hout worden uitgevoerd. Voor kleinere overspanningen wordt vurenhout, sterkte C18, gebruikt omdat deze houtsterkte lokaal te verkrijgen zijn. Voor grotere overspanningen worden gelamineerde liggers in houtsterkte D40 toegepast. Hoewel gelamineerde liggers worden opgebouwd uit houten lamellen die onderling zijn verlijmt, kan het hout nog redelijk goed worden gescheiden na gebruik. Een gelamineerde ligger past daardoor beter binnen de Cradle to Cradle principes dan geconserveerd staal.

Alle verbindingen dienen op de bouwplaats te worden gebout om de kap snel op te kunnen bouwen en na gebruik goed te kunnen scheiden. Gelasten verbindingen dienen vooraf te worden uitgevoerd.

1.3 Bouwkundige schil

Uit het onderzoek is gebleken dat hout en glas compleet binnen de Cradle to Cradle principes passen. Zoals beschreven is hout niet demontabel en daardoor niet gemakkelijk te vervangen. De houtenafwerking zal daarom enkel aan de onderzijde toegepast worden. De bovenzijde van de kap wordt uitgevoerd in koudgebogen glas (Freeformglass) voorzien van PV cellen. Het glas wordt gemonteerd doormiddel van aluminium glasprofielen met glasrubber. De rubbers zijn uitermate demontabel in vergelijking met kitvoegen en zijn van dermate lage kwaliteit dat recycling mogelijk is.

1.4 Installaties

De stations dient volgens de Cradle to Cradle principes in eigen energiebehoefte te kunnen voorzien. Door de toepassing van PV cellen in het koudgebogen glas kan energie opgewekt uit de zon.

De goot op het dak evenals de regenpijp worden uitgevoerd in roestvaststaal. Roestvaststaal heeft een schoner productieproces dan PE en PVC leidingen en is tevens te recyclen. Door de aansluiting van het HWA systeem op een grijswatersysteem kan water worden hergebruikt. Het uitlogen van het water is daardoor geen probleem meer omdat het water wordt gezuiverd voor hergebruik.

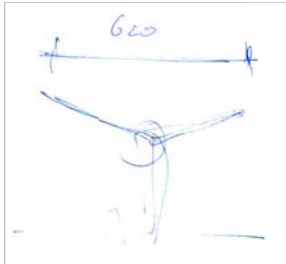
Voor transport in de bodem wordt de gresriolering van het bedrijf Euroceramic toegepast. Dit is momenteel de enigste leverancier in de wereld die een Cradle to Cradle keurmerk heeft weten te bemachtigen.¹

¹ http://www.euroceramic.nl/CMS/be_Ontwerp_gresriolering_nl.mfpx?ActiveID=3642

2. Ontwerp concept

2.1 Vorm

Bij perronoverkappingen wordt onderscheid gemaakt tussen een π -vormige en T-vormige overkapping. In het ontwerp is uitgegaan van een T-vormige overkapping om de volgende redenen.



Er is uitgegaan van een prefab fundering die ingezet kan worden voor elke perronoverkapping. Bij een paalfundering wordt de grootste kracht opgenomen door de palen. Bij een fundering op staal gaat het voornamelijk om de massa van het funderingsblok.

Bij een π -vormige perronkap worden de krachten verdeeld over twee kolommen en twee funderingspoeren. Bij een T-vormige overkapping is de reactiekracht tweemaal zo groot omdat deze moet worden opgenomen

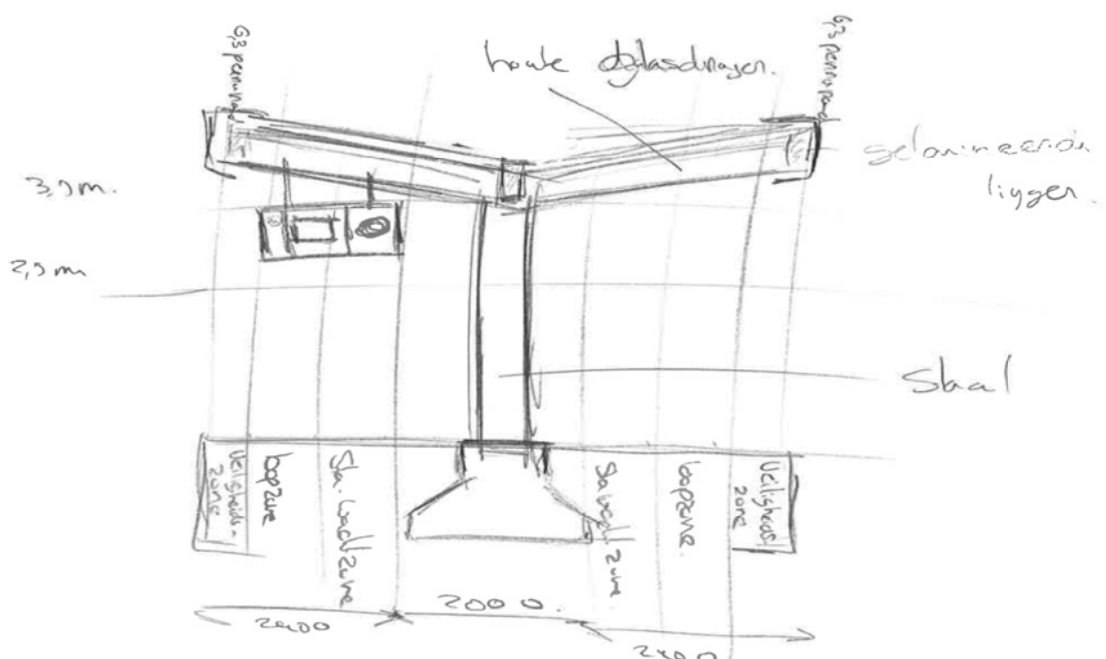
ap. door één kolom en één fundering.

Een ander voordeel om de fundering in het midden toe te passen, is dat deze gemakkelijk te bereiken is voor onderhoud. Indien er wordt gekozen voor een π -vormige perronkap is de kans relatief groot dat de fundering in de veiligheidszone komt te liggen, waardoor buitendienststelling van het spoor nodig essentieel is bij onderhoud.

Het toepassen van één kolom betekent ook het terugdringen van de stalen HWA leiding. De leiding wordt weggewerkt in de kolom en zal rechtstreeks aansluiten op de riolering voor het grijswatersysteem.

Door het toepassen van een T-vormige constructie wordt het overzicht over het perron vergroot. Aan beide kanten van de kolommen kan de reiziger zien en gezien worden.

De afmetingen van de perronoverkappingen zijn gedefinieerd aan de hand van de eisen van ProRail (OVS). De tot stand koming van het ontwerp is in afbeelding 2 weergegeven.



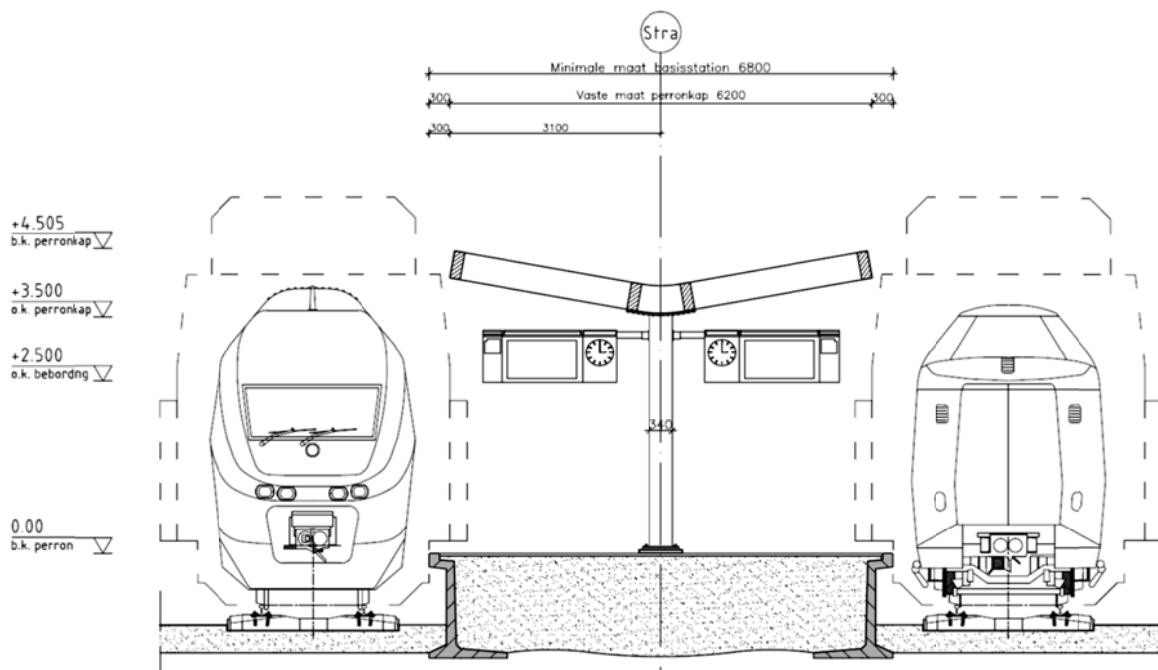
2.2 Elementopbouw

2.2.1 Portaal

De overkapping bestaat uit een T-vormig portaal, waarvan de kolom is uitgevoerd in een stalen HE340B profiel. De portaalligger die aan de kolom wordt bevestigd bestaat uit een gelamineerde ligger van 150x400mm. De ligger is ter plaatsen van de kolom 20 graden gebogen om het dak van afschot te voorzien. De portalen hebben een onderlinge h.o.h. afstand van 10 meter. De maat komt voort vanuit de eisen omtrent stijpunten. De afstand tot het eerste obstakel loodrecht op het stijppunt dient namelijk 10 meter te zijn.

2.2.2 Langsliggers en glasdragers

Aan het uiteinde van de portaalliggers is een gelamineerde langsligger van 150x400mm geplaatst die overspant van portaal naar portaal (lengte 10 meter). Op een afstand van 400mm vanuit het hart van het portaal worden eveneens aan weerszijde gelamineerde langsliggers van 150x400mm toegepast (zie afbeelding 3). De ruimte tussen de binnenste en buitenste langsligger vormt het transparante gedeelte van de kapconstructie. Het dak bestaat uit koudgebogen glas dat wordt gedragen door vurenhouten glasdragers van 46x156mm. Op de glasdragers zijn aluminium glasprofielen toegepast waarin het glas wordt opgelegd. Tevens zijn deze profielen voorzien van een interne goot voor het aan en afvoeren van kabels voor de PV panelen. De Cradle to Cradle principes gaat uit van het principe 'Sun is our income'. Dit betekent dat een station zichzelf moet kunnen voorzien in energiebehoefte. Om deze energie duurzaam op te wekken worden er in het koudgebogen glas zonnepanelen toegepast.



Figuur 3: Voorontwerp van de kapconstructie in concept.

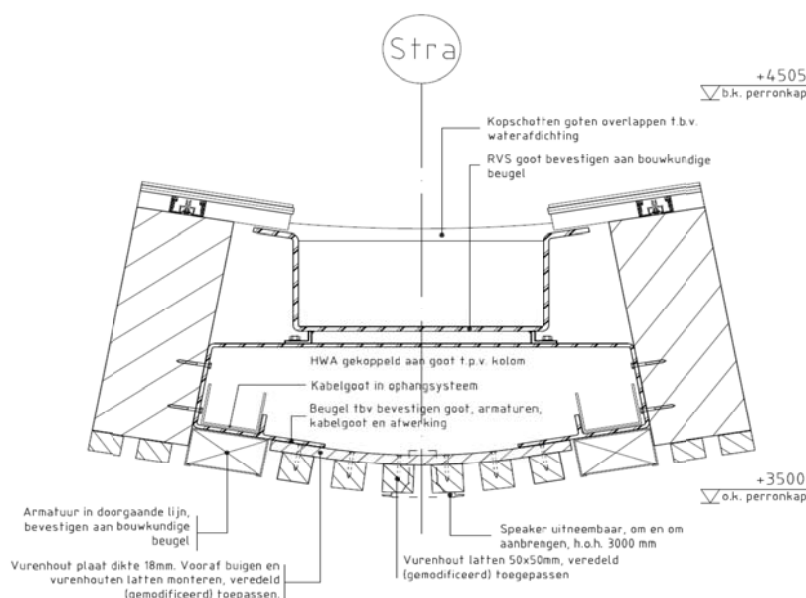
2.2.3 Middendeel

Het middendeel tussen de binnenste langsliggers vormt een verlaagd plafond. In het plafond zijn namelijk alle installaties geïntegreerd. Om het perron te verlichten zijn er aan beide zijde van het T-portaal armaturen in een doorlopende lijn bevestigd. Tussen de armaturen is een houten plaat bevestigd die vooraf, evenals de portaalligger, onder een hoek van 20 graden wordt gebogen. De onderzijde van de plaat en de liggers wordt afgewerkt met houten latten van 50x50mm en 35x50mm.

Om de afwerking en de installaties op een snelle en eenvoudige wijze te kunnen bevestigen, wordt er gebruik gemaakt van een standaard beugel (zie afbeelding 4). Aan de bovenzijde waar het glas samen komt is een goot toegepast. De goot kan aan de bovenzijde van de beugel op afschot worden bevestigd. De onderzijde is bestemd voor de bevestiging van de lichtarmaturen en afwerking. Tevens is er in de beugel een opstaande strip gelast om de kabelgoot te kunnen ophangen.

Alle leidingwegen van en naar kap zijn opgenomen in de zijkant van de kolom. Dit betekent dat dat de hemelwaterafvoer en elektra door één en dezelfde kolom gaat. De leidingzone wordt afgedekt middels afneembare kappen die met 7 inbus bouwverbindingen wordt vastgemaakt.

Bebording, camera's en overige installatieonderdelen worden bevestigd aan de zijkant van de kolom. Het koperdraad dat wordt toegepast om de installatie te laten functioneren wordt daarmee zo kort mogelijk gehouden. Daarnaast is het niet mogelijk om kabel in de gelamineerde liggers weg te werken waardoor er kabelgoten in het zicht komen. Dit moet worden voorkomen.



tail.

2.2.4 Conservering

De stalen HE340B kolom worden geconserveerd volgens de eisen van ProRail. Hierbij wordt uitgegaan van enkel een verflaag. Er wordt niet gekozen voor een duplex systeem omdat het thermisch verzinken een extra (schadelijk) proces is om de constructie te beschermen. De schilder die de verflaag aanbrengt is naar verwachting niet langer bezig om een dikkere verflaag aan te brengen dan bij een thermisch verzinkte constructie.

Het hout dat in de kapconstructie wordt toegepast wordt duurzaam geconserveerd. Dit wordt gedaan door het veredelen van hout. Bij het veredelen van hout, wordt hout onder een hoge temperatuur en de toevoeging van lucht behandeld. Hierdoor kan het hout 50 jaar onbehandeld in het buitenklimaat worden toegepast. Dit komt overeen met de levensduur waarop een perronoverkapping ontworpen dient te worden.

Veredeld hout is echter wel onderhevig aan weersinvloeden. Het hout zal in de loop der tijd een zilvergrijze tint krijgen. Esthetisch gezien kan de reiziger aan het hout aflezen hoe oud een perronoverkapping is omdat de kleur veranderd (zie afbeelding 5).



Figuur 5: Draaiwoning ECN Petten, direct na oplevering (links) en na 5 jaar blootstelling aan weer en wind (rechts).²

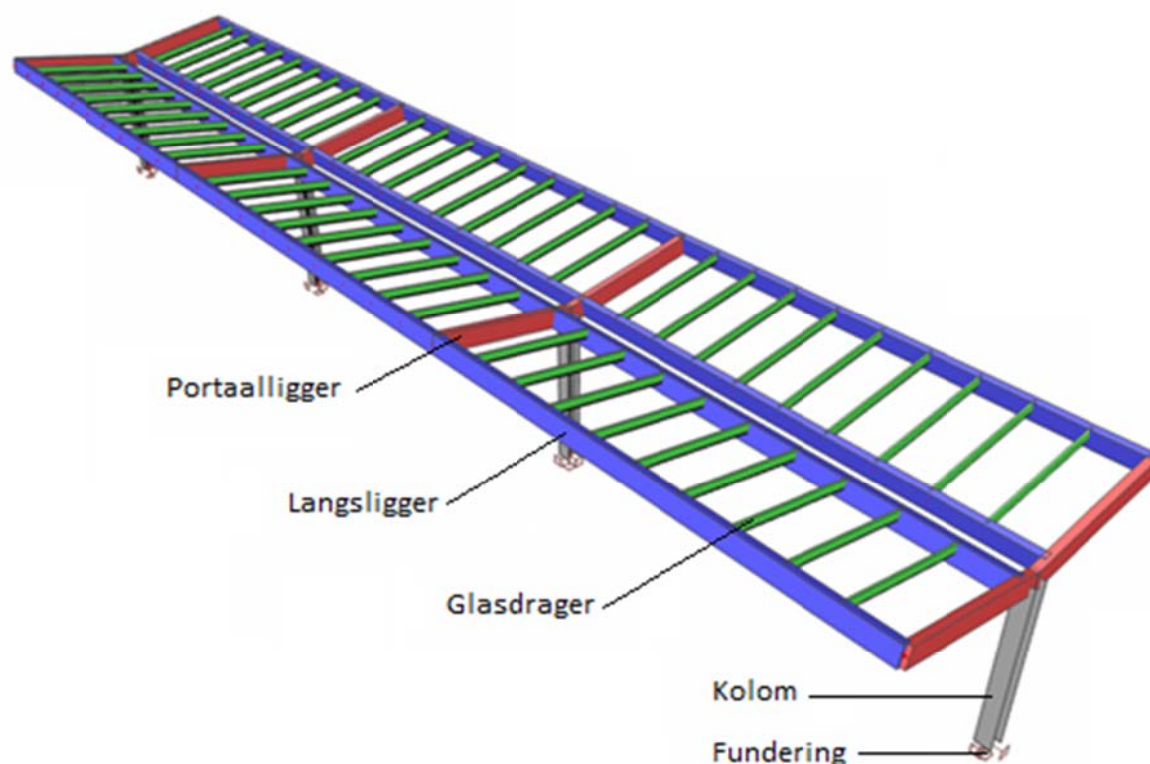
Schilderwerken bij hout worden hierbij voorkomen omdat deze om de vier jaar onderhouden moeten worden en daarnaast voorzien zijn van schadelijke stoffen.

² Plato International BV. (2008). *Vergrijzing van PlatoHOUT*. Arnhem: PlatoHOUT.

3. Constructie

3.1 Opbouw constructie

De constructie van de Cradle to Cradle perronoverkapping bestaat uit een aantal hoofdelementen. Deze hoofdelementen zijn hieronder weergegeven in afbeelding 6.



Figuur 6: Onderverdeling van de constructie in vijf hoofdelementen.

3.1.1 Fundering

De fundering wordt opgelegde op de draagkrachtige grond. De poer heeft een afmeting van 2,40 x 2,40 x 0,6 meter en een opstort van 0,64 x 0,6 x 0,4 meter. De totale hoogte van de poer bedraagt daardoor 1,0 meter. De opstort wordt 50mm boven het perron geplaatst om de kolommen te kunnen bevestigen. Indien de poer in loop der tijd verzakt, blijft de bestrating op het perron op de juiste hoogte.

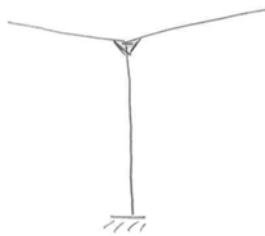
Indien een fundering op staal niet draagkrachtig genoeg blijkt te zijn voor de perronoverkapping, dient de fundering te worden gewijzigd naar een paalfundering. Hierbij wordt dan gebruik gemaakt van een houtenpaal die onder de grondwaterstand wordt ingebracht. De resterende hoogte van de houtenpaal tot de onderkant van de kolom wordt overbrugt doormiddel van een prefab betonnenopzetter.

3.1.2 kolommen

De kolommen zijn opgebouwd uit HE340B profielen en hebben een hoogte van 3,50 meter. De kolommen worden aan de onderzijde voorzien van een voetplaat. De voetplaat zorgt er voor dat de kolom momentvast kan worden verbonden met de fundering. Dit gebeurt doormiddel van bouten. Indien de constructie in de toekomst wordt afgebroken kunnen de materialen individueel worden gescheiden van elkaar. De stalen kolom kan eventueel in andere projecten worden ingezet en de fundering kan weer dienst doen voor de volgende perronkap.

De verbinding tussen de kolom en de fundering dient ondersabeld te worden. Er wordt geadviseerd om de ondersabeling zo schoon mogelijk aan te brengen omdat de mortel niet kan worden gerecycled.

3.1.3 Portaalligger



De portaalligger is opgebouwd uit een gelamineerde ligger van 150x400mm. De houtkwaliteit bedraagt D40. Deze sterkteklasse is gekozen omdat deze veelvuldig over de wereld voorkomt en daardoor in overvloed beschikbaar is.

De portaalligger vormt gezamenlijk met de HE340 kolom de stijve kern van de constructie. De portalen hebben een h.o.h. afstand van 10 meter en kragen 3,1 meter uit.

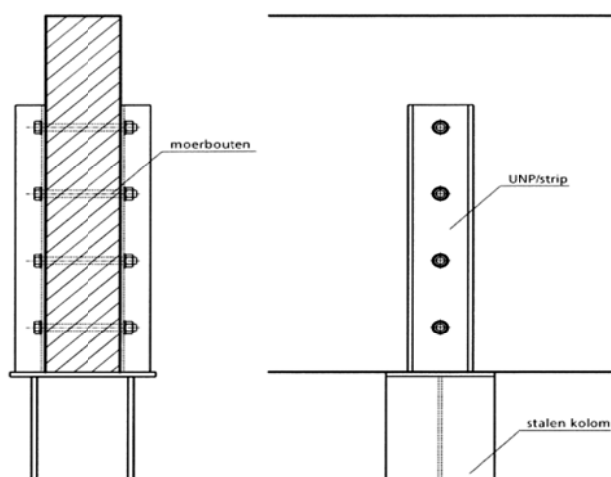
De portaalligger stijgt aan beide zijde van de kolom met 10 graden. Om verbinden zoveel mogelijk te voorkomen wordt de gelamineerde ligger voorzien van een bolling van 20 graden in het midden. Hierdoor blijft de houtenligger één geheel en kan de aansluiting met de kolom minder complex worden uitgevoerd.

Wegens de afstudeerperiode van drie maanden, zijn de berekeningen van verbindingen buiten wegen gelaten. Daarom zijn de verbindingen in de detailtekeningen in concept uitgewerkt. Indien de verbinding in een later stadium alsnog wordt berekend zal de verbinding in veel gevallen hetzelfde blijven. De plaatdiktes, aantal bouten en bout grote kunnen wijzigen.

De verbinding in afbeelding 8, 9 en 10 zijn als leidraad gebruikt voor de verbinding tussen de kolom, gelamineerde ligger, langsliggers en glasdragers. Het detail is afkomstig van de stichting gelijmde houtconstructies³. Zij geven veel informatie over verbindingen en andere zaken omtrent gelamineerde liggers.

De verbindingen van gelamineerde liggers kunnen op verschillende manieren worden gemaakt. Tijdens het ontwerp is geprobeerd om de liggers zo veel mogelijk blind te bevestigen waardoor bouten, platen en verbindingen niet zichtbaar zijn. Dit moet een bijdrage leveren esthetiek.

³ <http://www.gelijmde-houtconstructies.nl/Specificaties/Details.aspx>

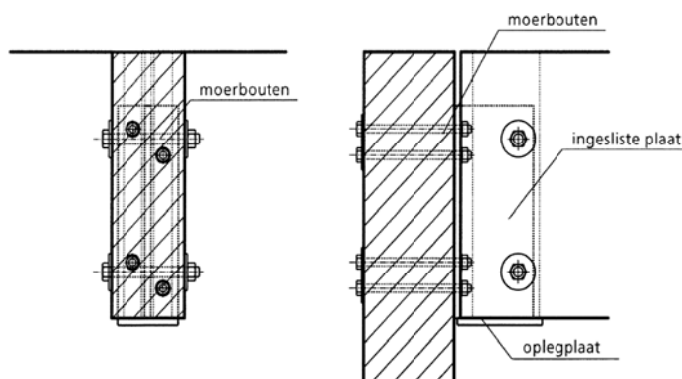


In het geval van de Cradle to Cradle perronoverkapping wordt op de HE340B een plaat gelast waarop aan beide kanten van de ligger een U-profiel wordt bevestigd. De ligger wordt tussen de U-profielen verbonden doormiddel van bouten. De hiernaast getoonde verbinding gaat uit van een doorgaande ligger over meerdere steunpunten, per verbinding verbonden met vier bouten. Door de uitkragende ligger bij de Cradle to Cradle perronoverkapping worden de bouten verlubbeld.

3.1.4 Langsliggers

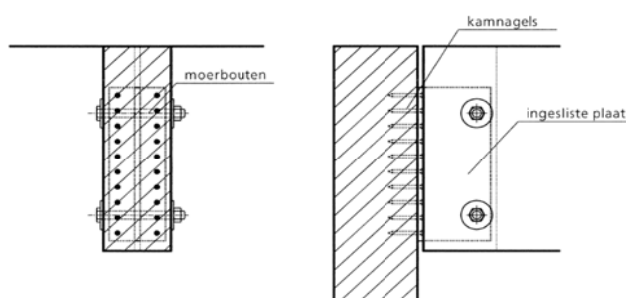
De vier langsliggers in de kapconstructie lopen evenwijdig aan het spoor. De liggers overspannen van portaal naar portaal circa 10 meter. Deze overspanning wordt gerealiseerd door gelamineerde liggers van 150x400mm. De liggers worden scharnierend verbonden met de portaalligger omdat de stabiliteit wordt ontleend vanuit de portalen.

Aan beide zijde van de portaalligger wordt een langsligger toegepast. Daardoor wordt er een T-profiel zowel links en rechts van de portaalligger gemonteerd. De profielen worden samengetrokken door bouten. Door de vooraf aangebrachte sleuf, kan de langsligger over het T-profiel zakken en bevestigd worden doormiddel van bouten.



3.1.5 Glasdrager

De glasdragers overspannen van langsligger naar langsligger circa 2,65 meter. De liggers zijn van vurenhout, sterkteklasse C18 uitgevoerd. Deze sterkte is gekozen omdat de overspanningen van het hout relatief klein zijn en de sterkteklasse C18 lokaal te verkrijgen is.



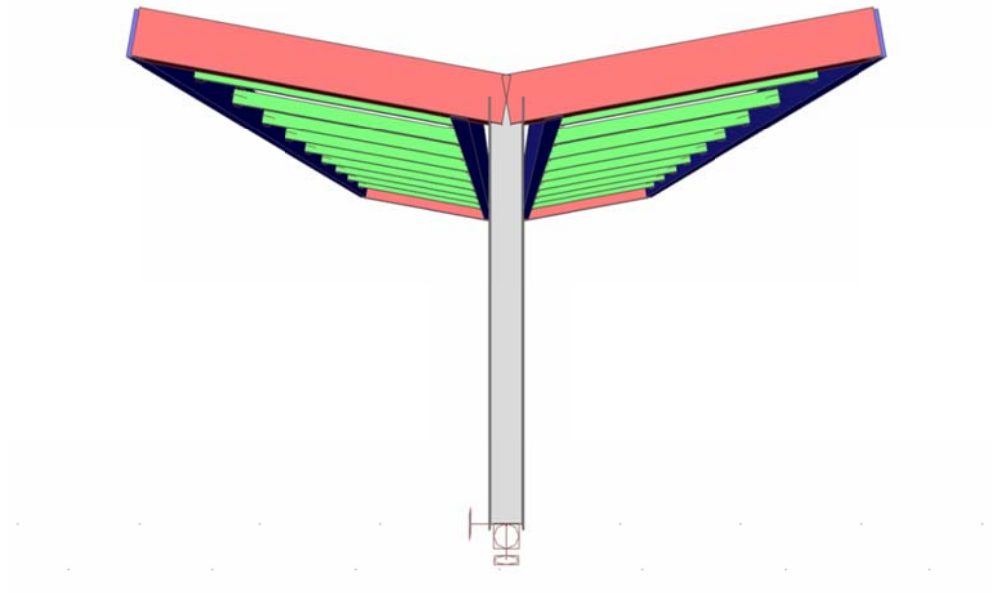
sligger.³

De afmeting is 46x156mm

De scharnierverbinding van de glasliggers geschied doormiddel van een T-profiel. Het T-profiel wordt doormiddel van kamnagels of schroeven aan de langsligger bevestigd. De glasdrager kan doormiddel van een vooraf aangebrachte sleuf over het T-profiel worden aangebracht. De verbinding wordt uitgevoerd doormiddel van stiften en niet met bouten zoals hiernaast getoond.

3.2 Stabiliteit

De stabiliteit van de kap wordt verkregen in het T-vormige portaal. De kolommen zijn momentvast verbonden met de fundering, welke op perronniveau wordt gerealiseerd. De portaalligger wordt tevens momentvast verbonden met de kolom. Het portaal is daardoor compleet ingeklemd en levert stabiliteit in de langs- als in de dwarsrichting.



Figuur 11:

4. Tekeningenlijst

<u>Omschrijving</u>	<u>Tek. Nr.</u>
3D impressie	1 t/m 5
Bovenaanzicht	ANZ 01
Vooraanzicht	ANZ 02
Zijaanzicht	ANZ 03
Doorsnede 01 en 02	DSN 01
Doorsnede 01, 02 en 03	DSN 02
Kolom aansluiting fundering op staal	Detail 01
Vrije overspanning perronkap	Detail 02
Aansluiting portaalligger op kolom	Detail 03
Aansluiting portaalligger – langsligger	Detail 04
Glasdetail	Detail 05
Gootdetail	Detail 06



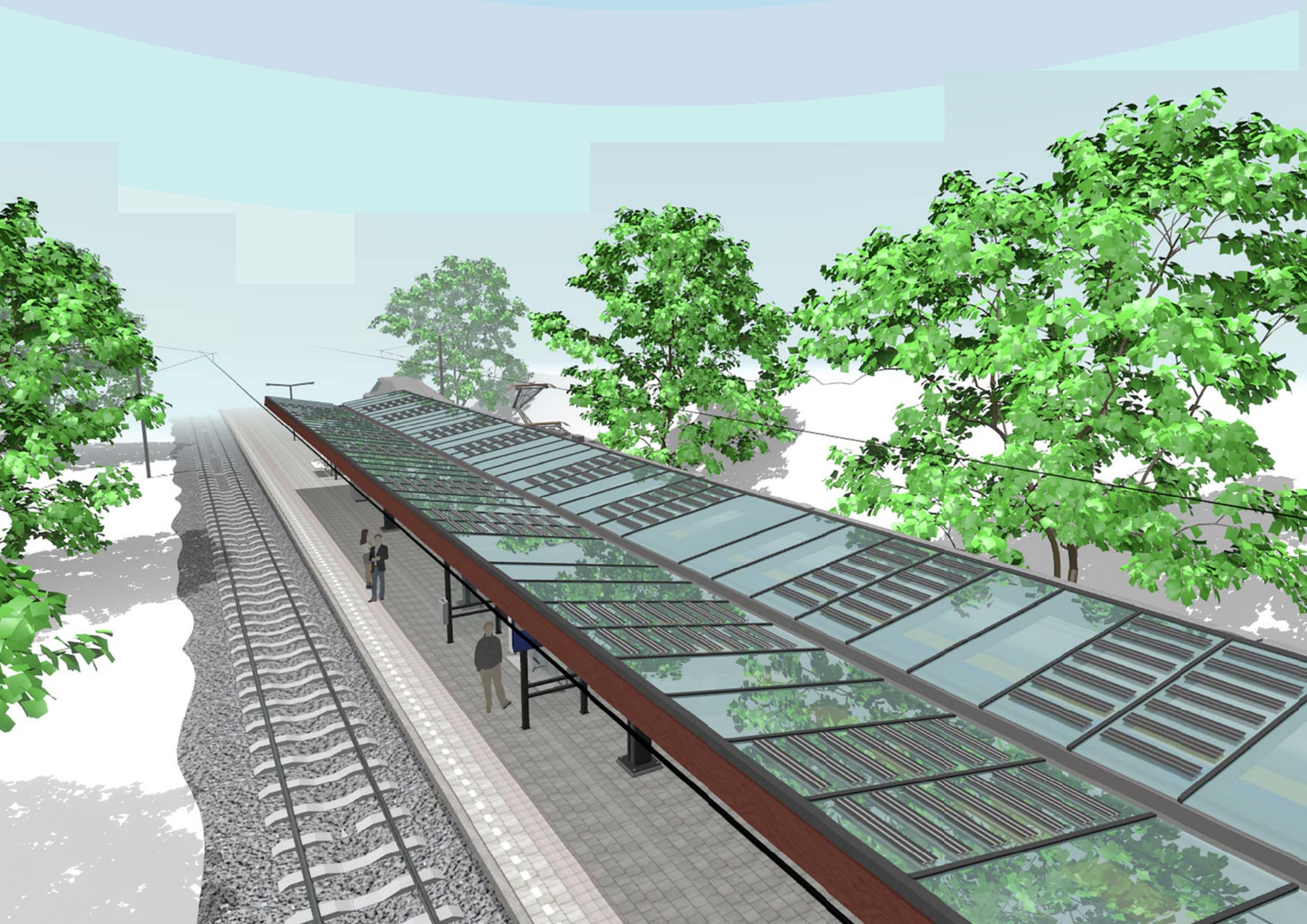


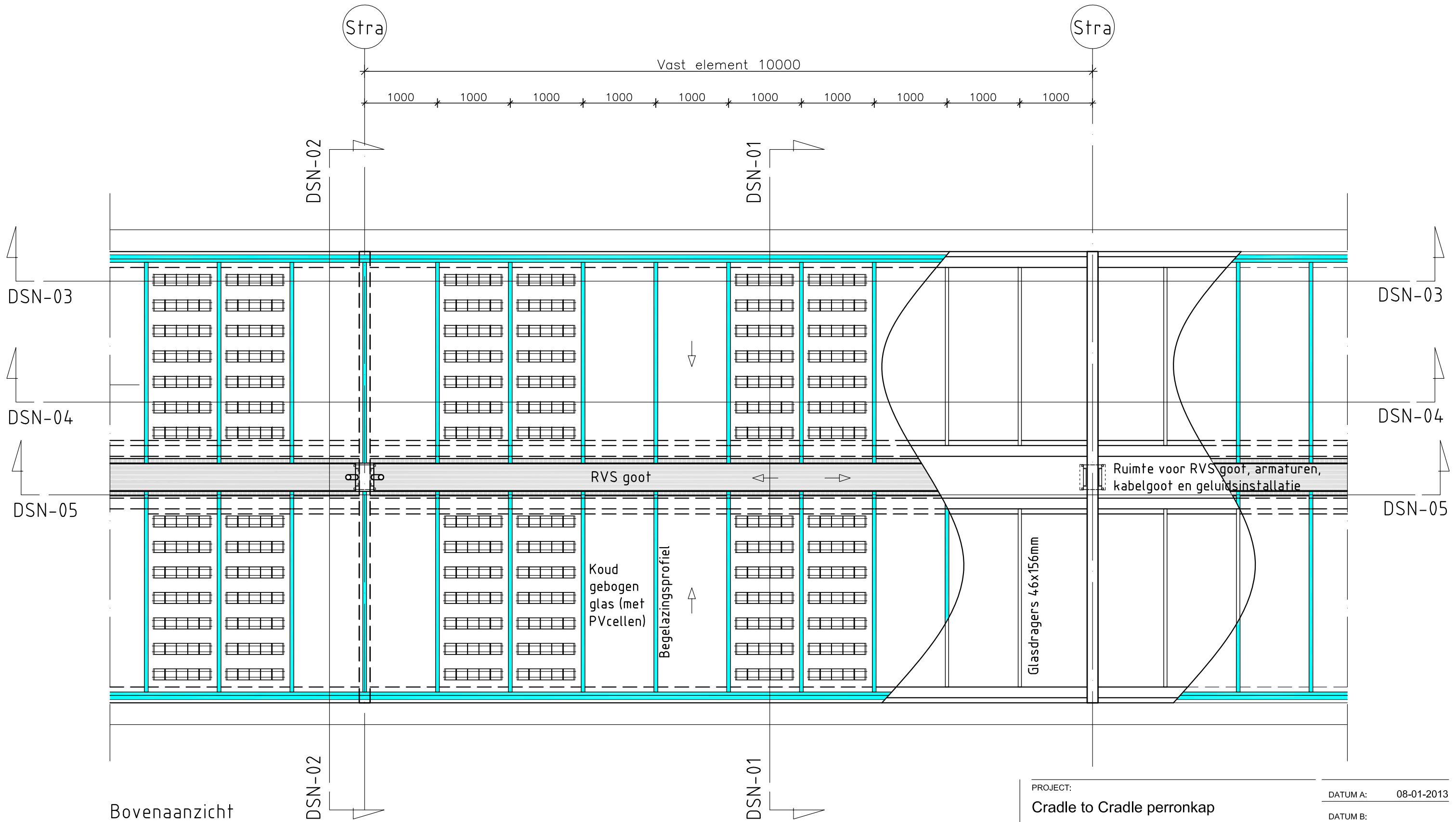
5 09:52 +5 minuten
Utrecht Centraal
via Putten, Nijmegen, Amersfoort
Kat, Amersfoort

5 09:52 +5 minuten
Utrecht Centraal
via Putten, Nijmegen, Amersfoort
Kat, Amersfoort

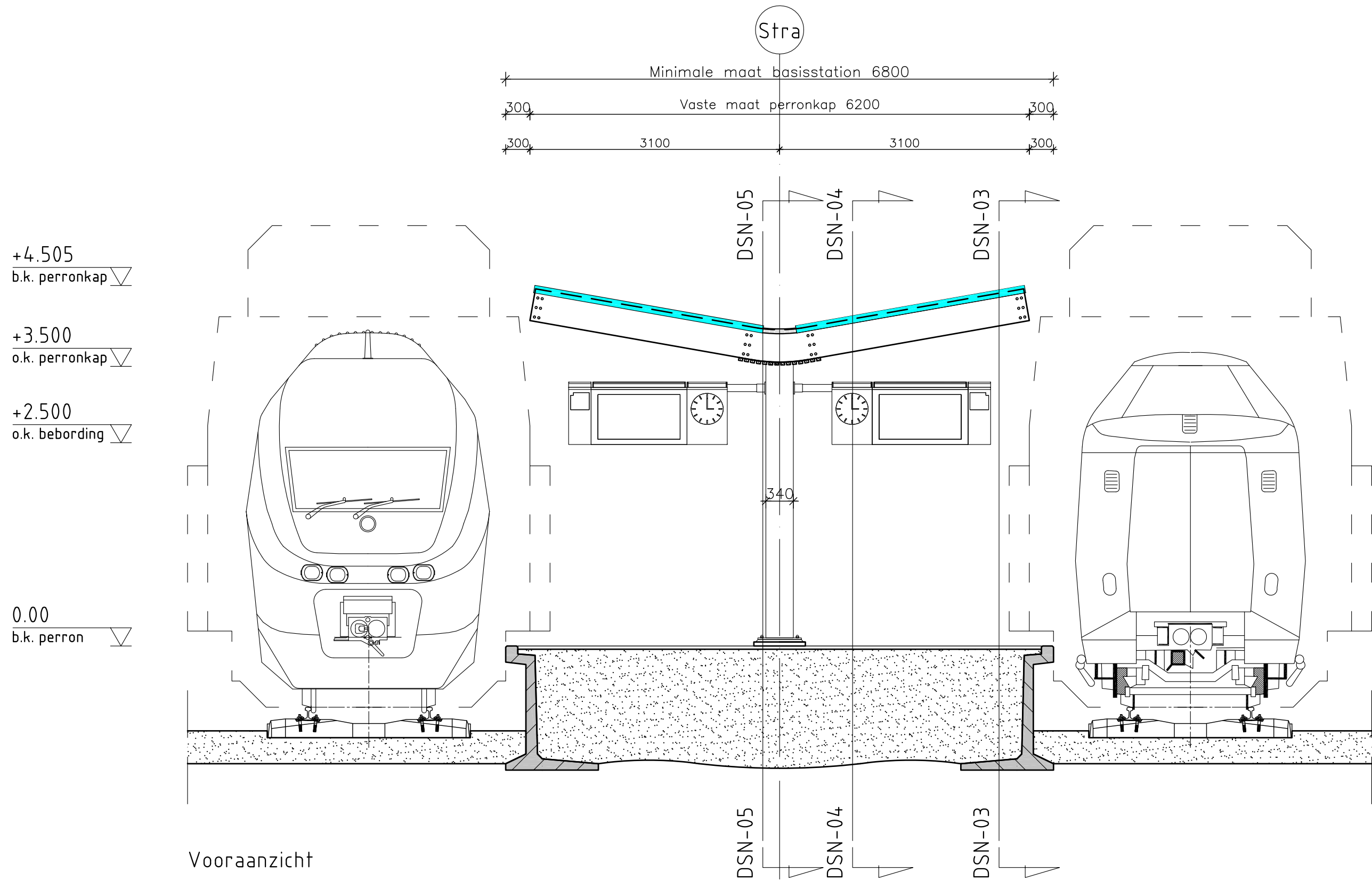




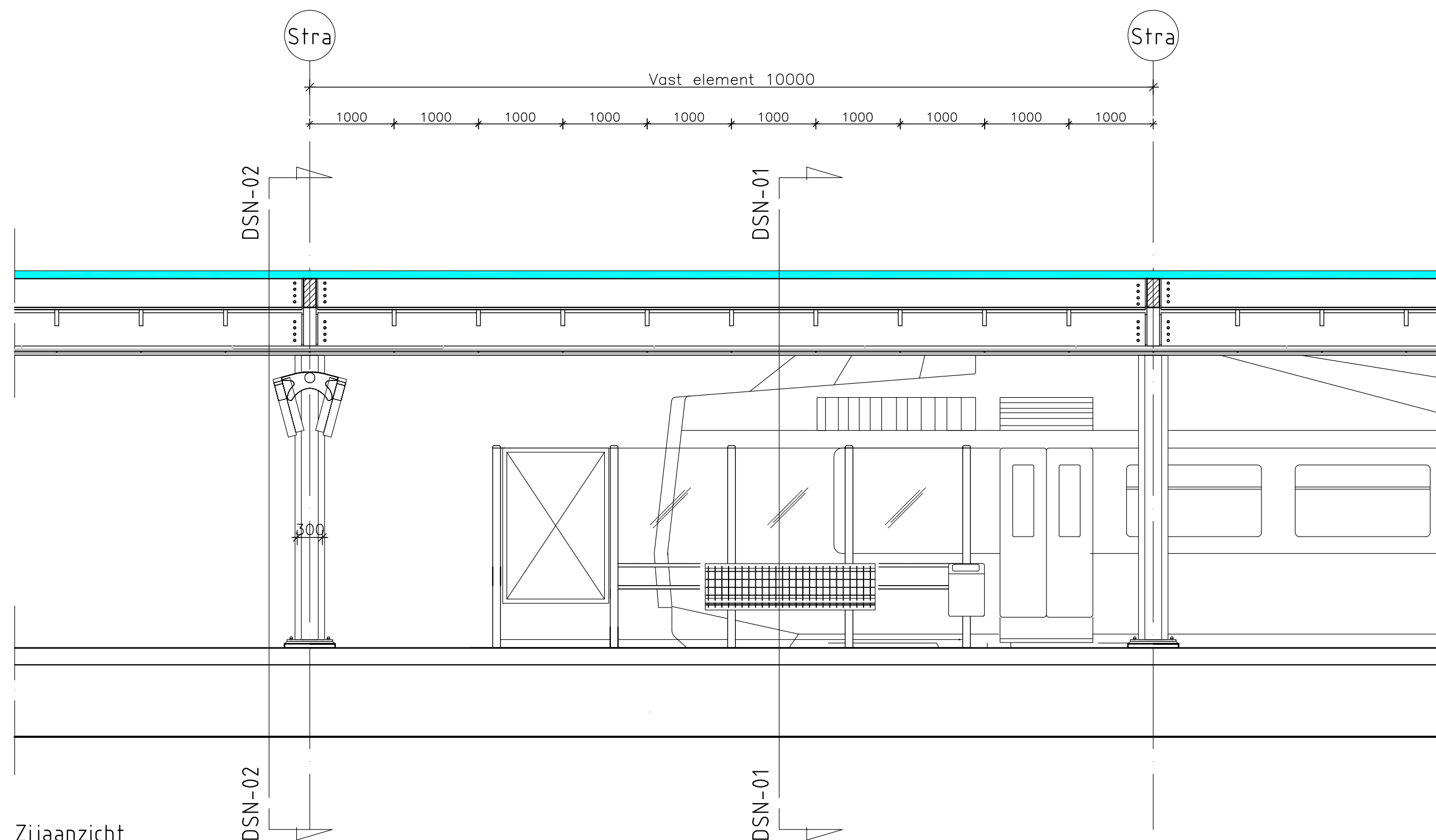




PROJECT:	DATUM A:
Cradle to Cradle perronkap	08-01-2013
OPDRACHTGEVER:	DATUM B:
Hogeschool Utrecht	
ONDERWERP:	DATUM C:
Voorontwerp	
Bovenaanzicht	GETEKEND: W. Kok
	SCHAAL: 1:50
	FORMAAT: A3
	TEKENINGNUMMER:
	ANZ 01



PROJECT:	Cradle to Cradle perronkap	DATUM A:	08-01-2013
OPDRACHTGEVER:	Hogeschool Utrecht	DATUM B:	
ONDERWERP:	Voorontwerp Vooraanzicht	DATUM C:	
		GETEKEND:	W. Kok
		SCHAAL:	1:50
		FORMAAT:	A3
		TEKENINGNUMMER:	ANZ 02



+4.505
b.k. perronkap

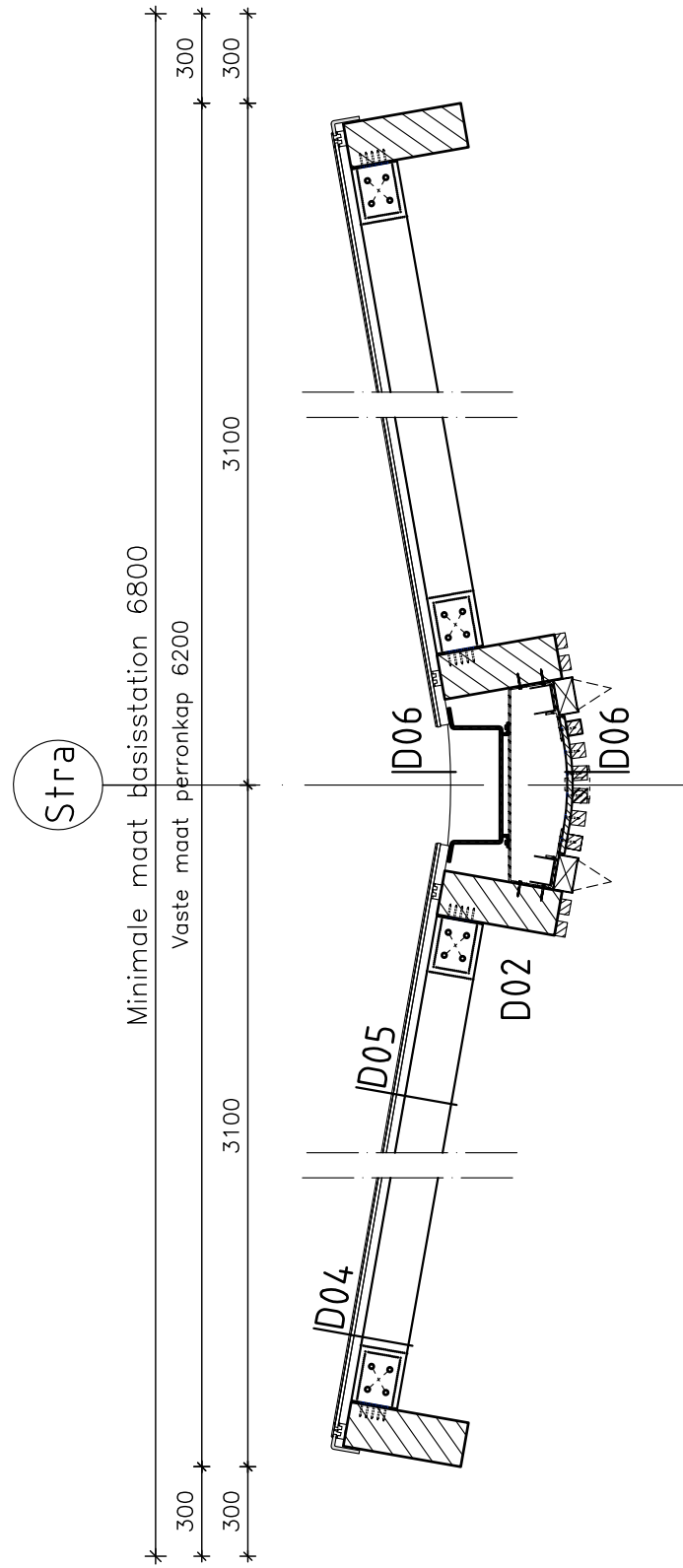
+3.500
o.k. perronkap

+2.500
o.k. bebording

0.00
b.k. perron

Zijaanzicht

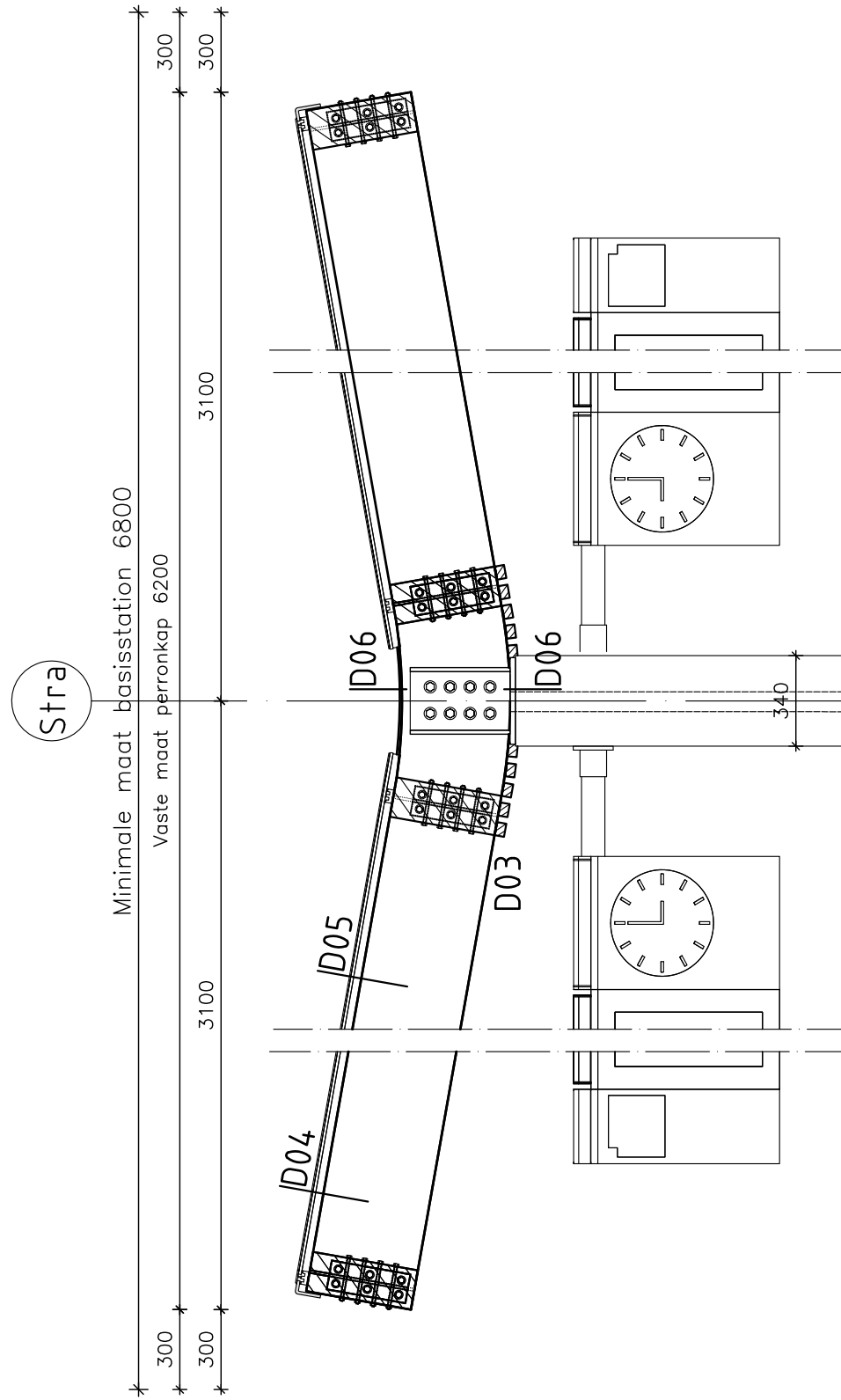
PROJECT:	Datum A: 08-01-2013
Cradle to Cradle perronkap	Datum B:
OPDRACHTGEVER:	Datum C:
Hogeschool Utrecht	GETEKEND: W. Kok
ONDERWERP:	SCHAAL: 1:50
Voorontwerp	FORMAAT: A3
Zijaanzicht	TEKENINGNUMMER:
	ANZ 03



DSN-01

+4.505
b.k. perronkap

+3.500
o.k. perronkap



DSN-02

+4.505
b.k. perronkap

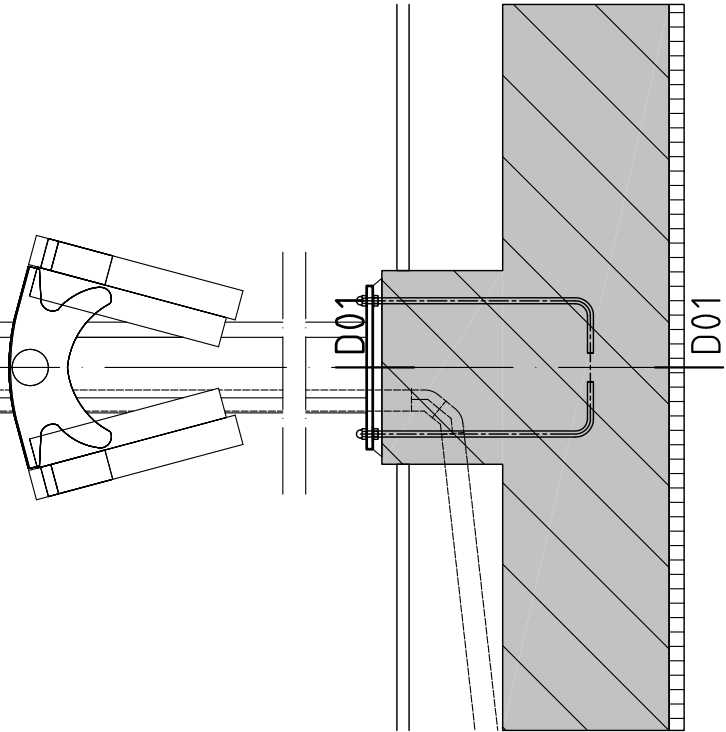
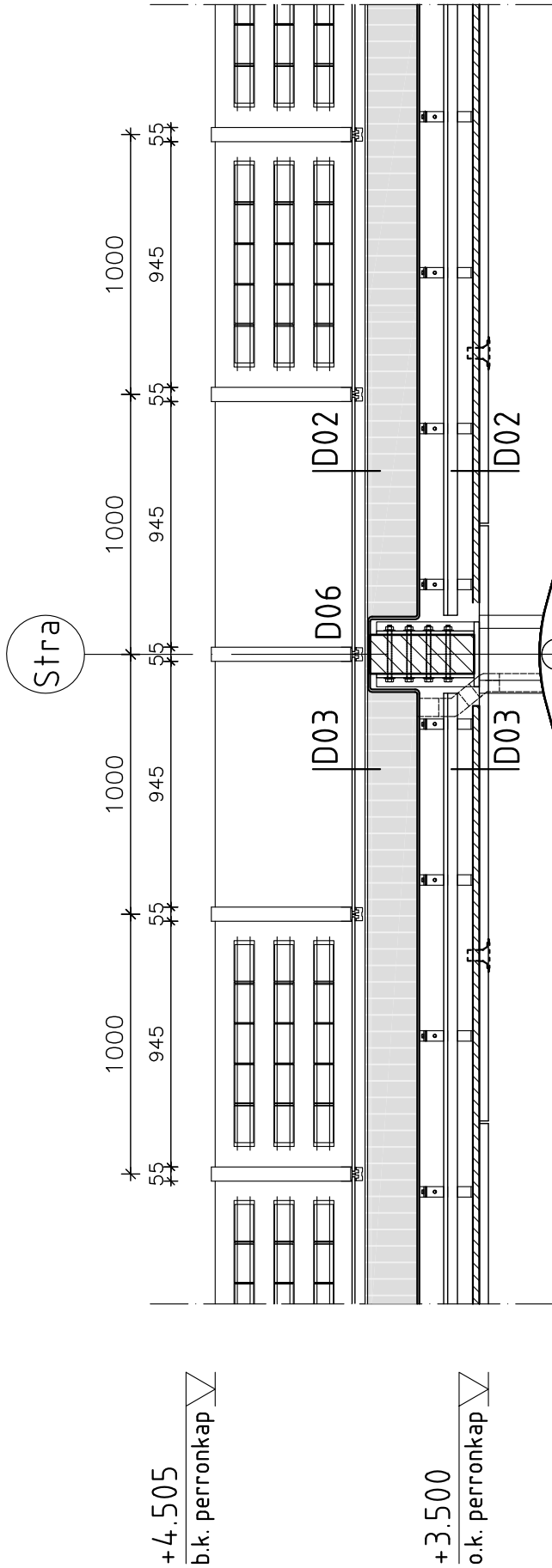
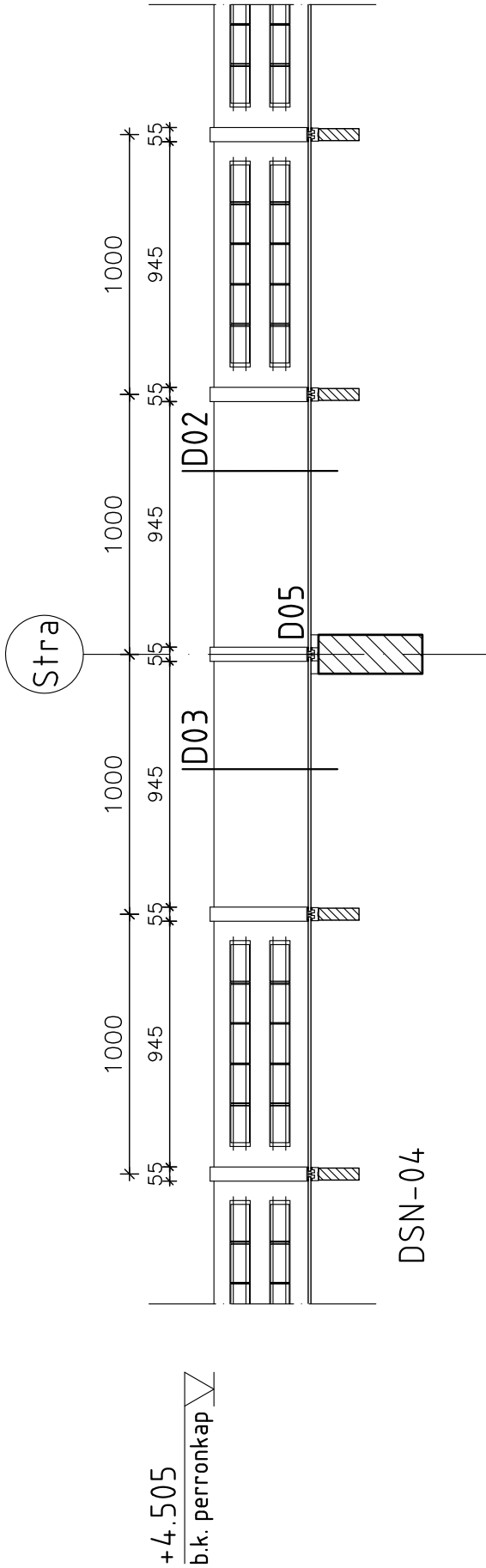
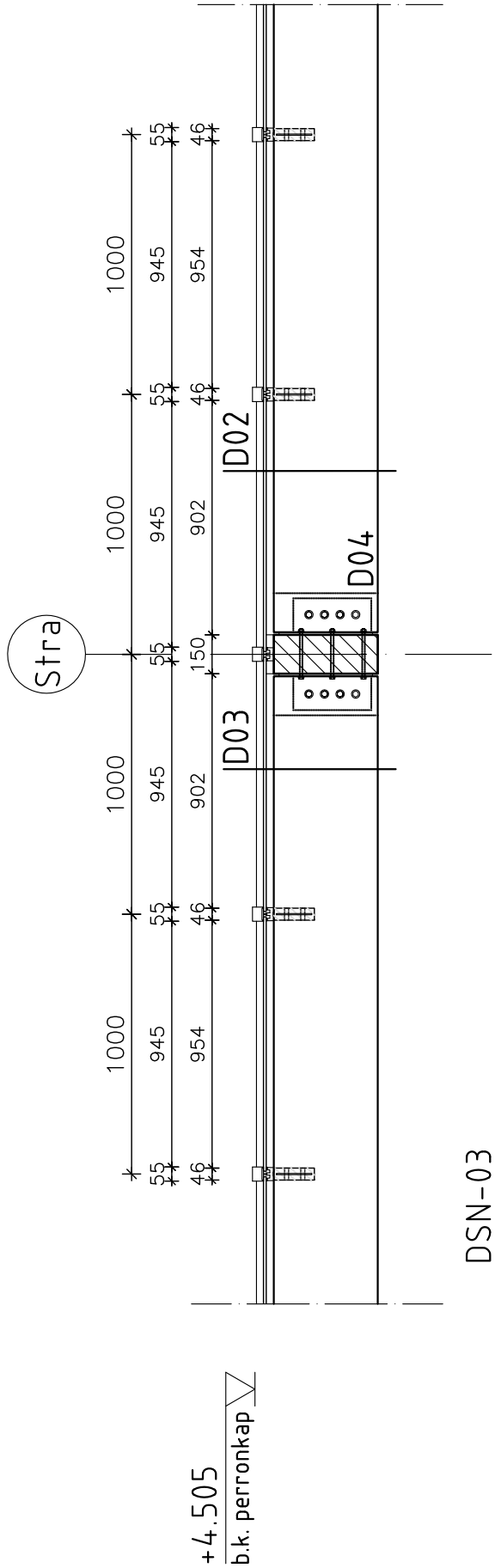
+3.500
o.k. perronkap

+2.500
o.k. bebording

0.00
b.k. perron

950
o.k. fundering

PROJECT:	Cradle to Cradle perronkap	DATUM A:	08-01-2013
OPDRACHTGEVER:	Hogeschool Utrecht	DATUM B:	
ONDERWERP:	Voorontwerp Doorsnede 01 en 02	DATUM C:	
		GETEKEND:	W. Kok
		SCHAAL:	1:25
		FORMAAT:	A3
		TEKENINGNUMMER:	



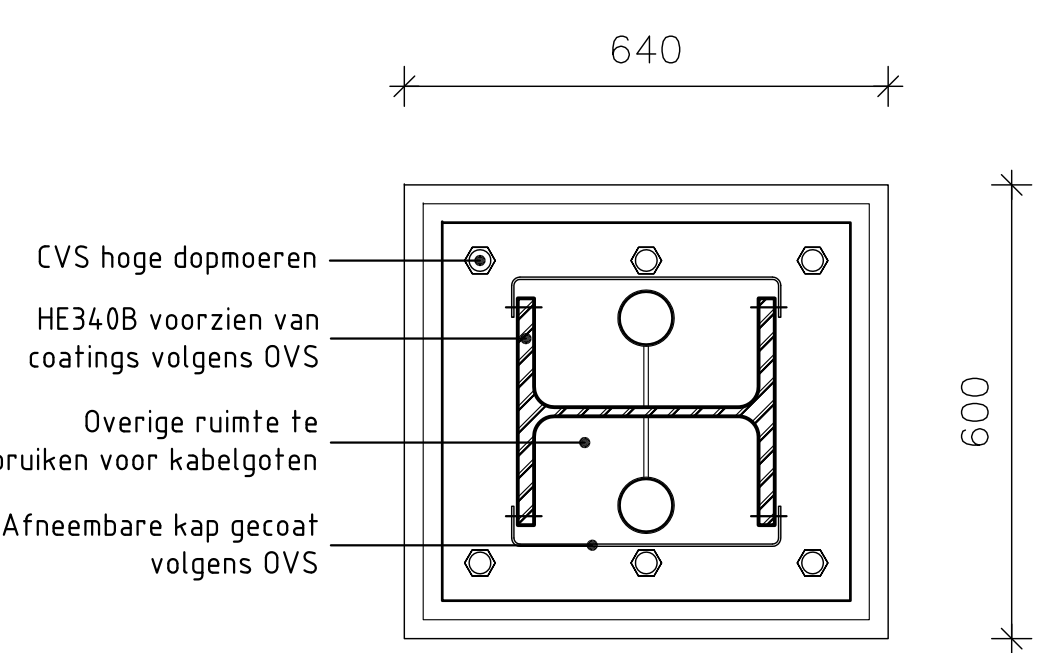
DSN-05

+2.500
o.k. bebording

0.00
b.k. perron

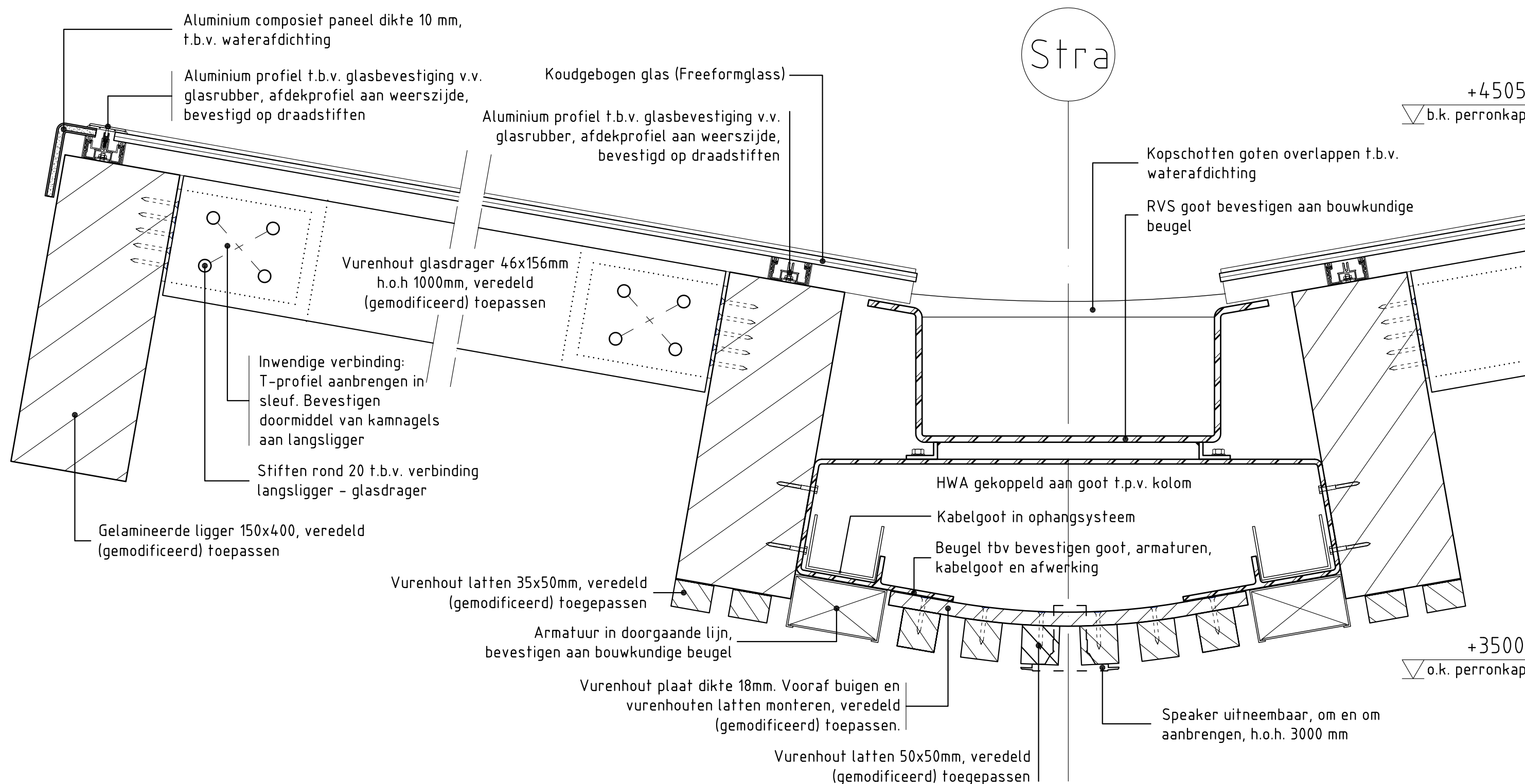
950
o.k. fundering

PROJECT:	Cradle to Cradle perronkap	DATUM A:	08-01-2013
OPDRACHTGEVER:	Hogeschool Utrecht	DATUM B:	
ONDERWERP:	Voorontwerp Doorsnede 03, 04 en 05	DATUM C:	
		GETEKEND:	W. Kok
		SCHAAL:	1:25
		FORMAAT:	A3
		TEKENINGNUMMER:	DSN 02



950
 ▽ o.k. funding

PROJECT:		DATUM A:	08-01-2013
Cradle to Cradle perronkap		DATUM B:	
		DATUM C:	
OPDRACHTGEVER:		GETEKEND:	W. Kok
Hogeschool Utrecht		SCHAAL:	1:10
		FORMAAT:	A3
ONDERWERP:		TEKENINGNUMMER:	
Voorontwerp			
Kolom aansluiting fundering op staal			



PROJECT:
Cradle to Cradle perronkap

OPDRACHTGEVER:
Hogeschool Utrecht

ONDERWERP:
Voorontwerp
Vrije overspanning perronkap

DATUM A: 08-01-2013

DATUM B:

DATUM C:

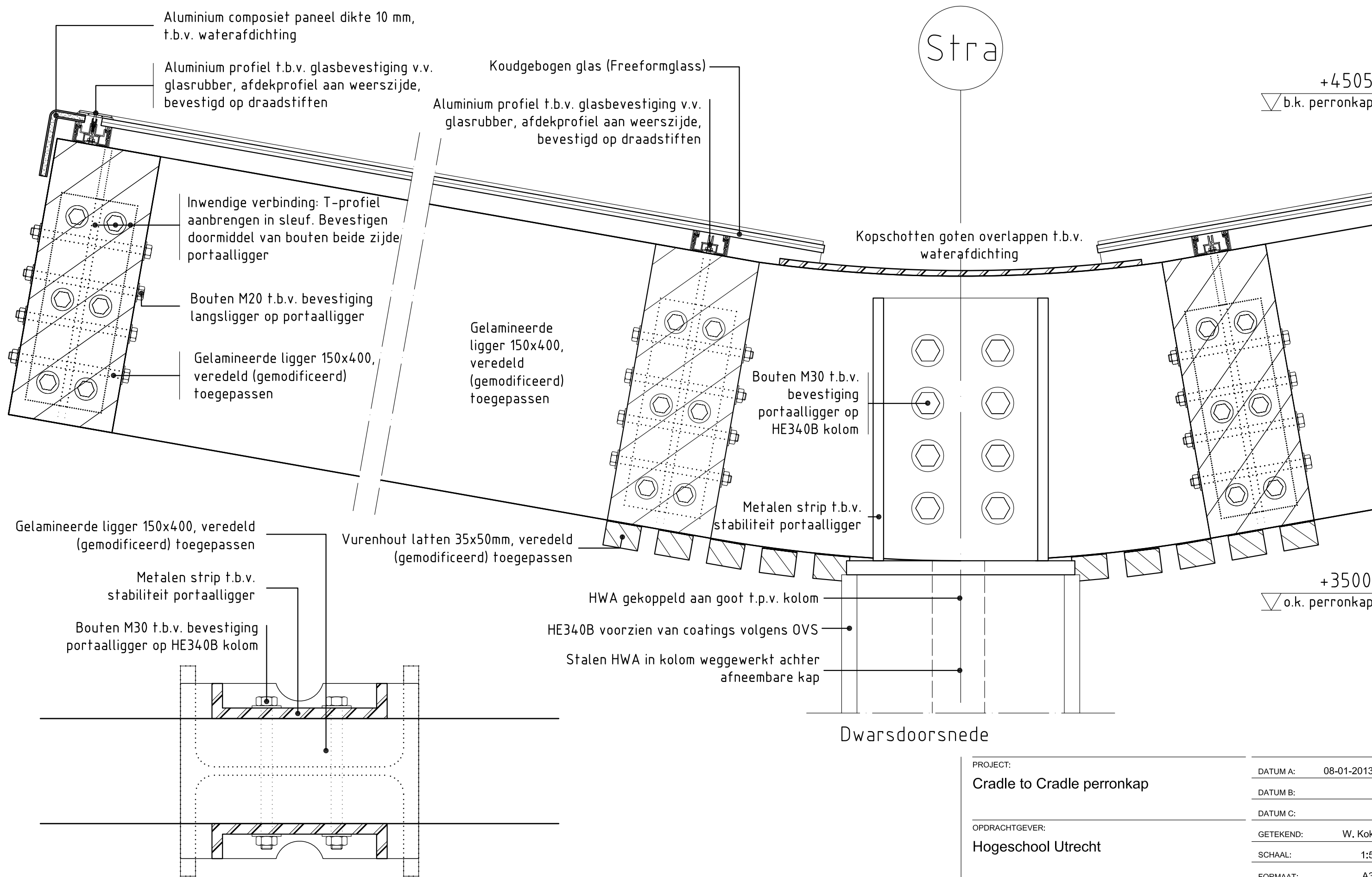
GETEKEND: W. Kok

SCHAAL: 1:5

FORMAAT: A3

TEKENINGNUMMER:

Detail 02

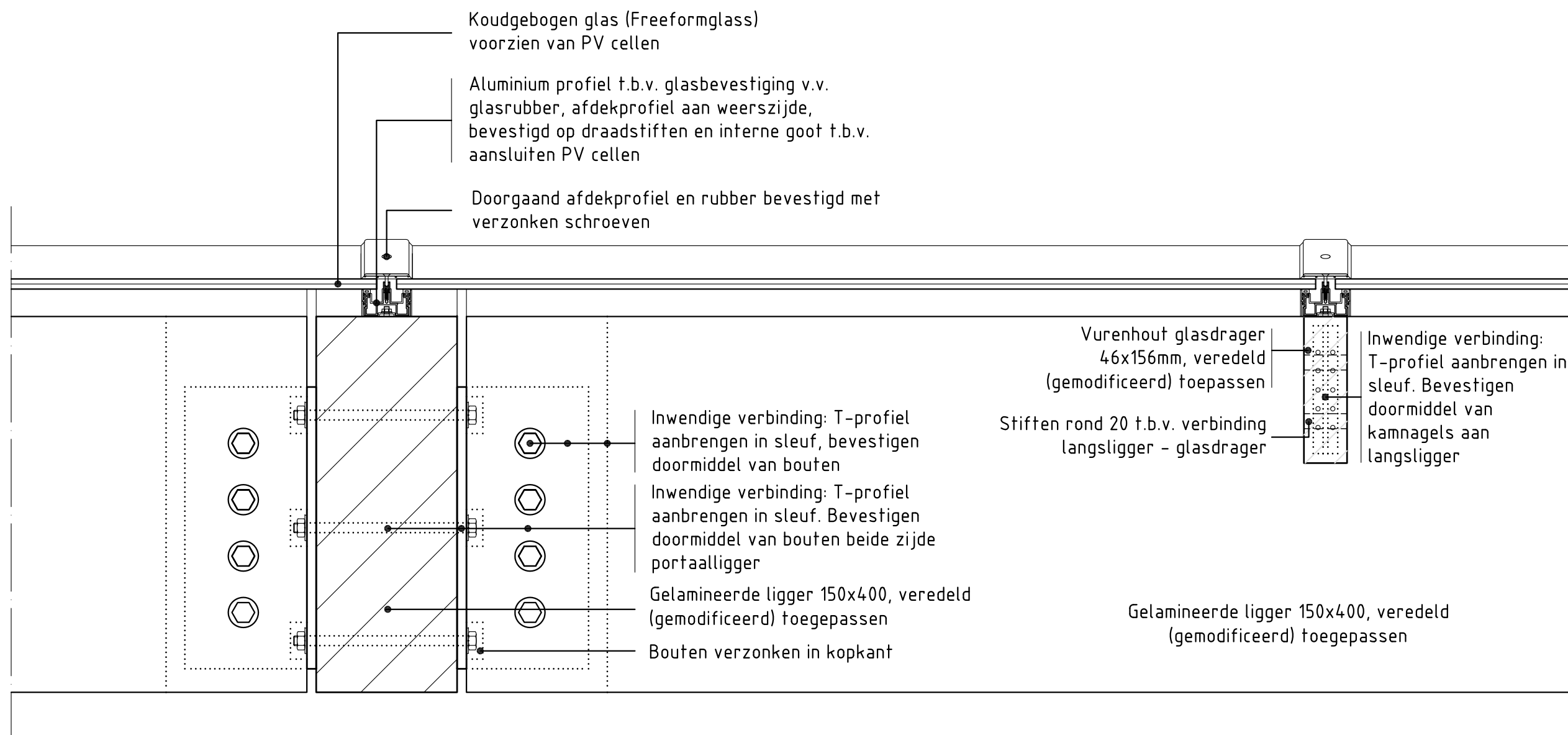


Horizontale doorsnede

Dwarsdoorsnede

PROJECT:	Cradle to Cradle perronkap	DATUM A:	08-01-2013
OPDRACHTGEVER:	Hogeschool Utrecht	DATUM B:	
ONDERWERP:	Voorontwerp Aansluiting portaalligger op kolom	DATUM C:	
		GETEKEND:	W. Kok
		SCHAAL:	1:5
		FORMAAT:	A3
		TEKENINGNUMMER:	

Detail 03

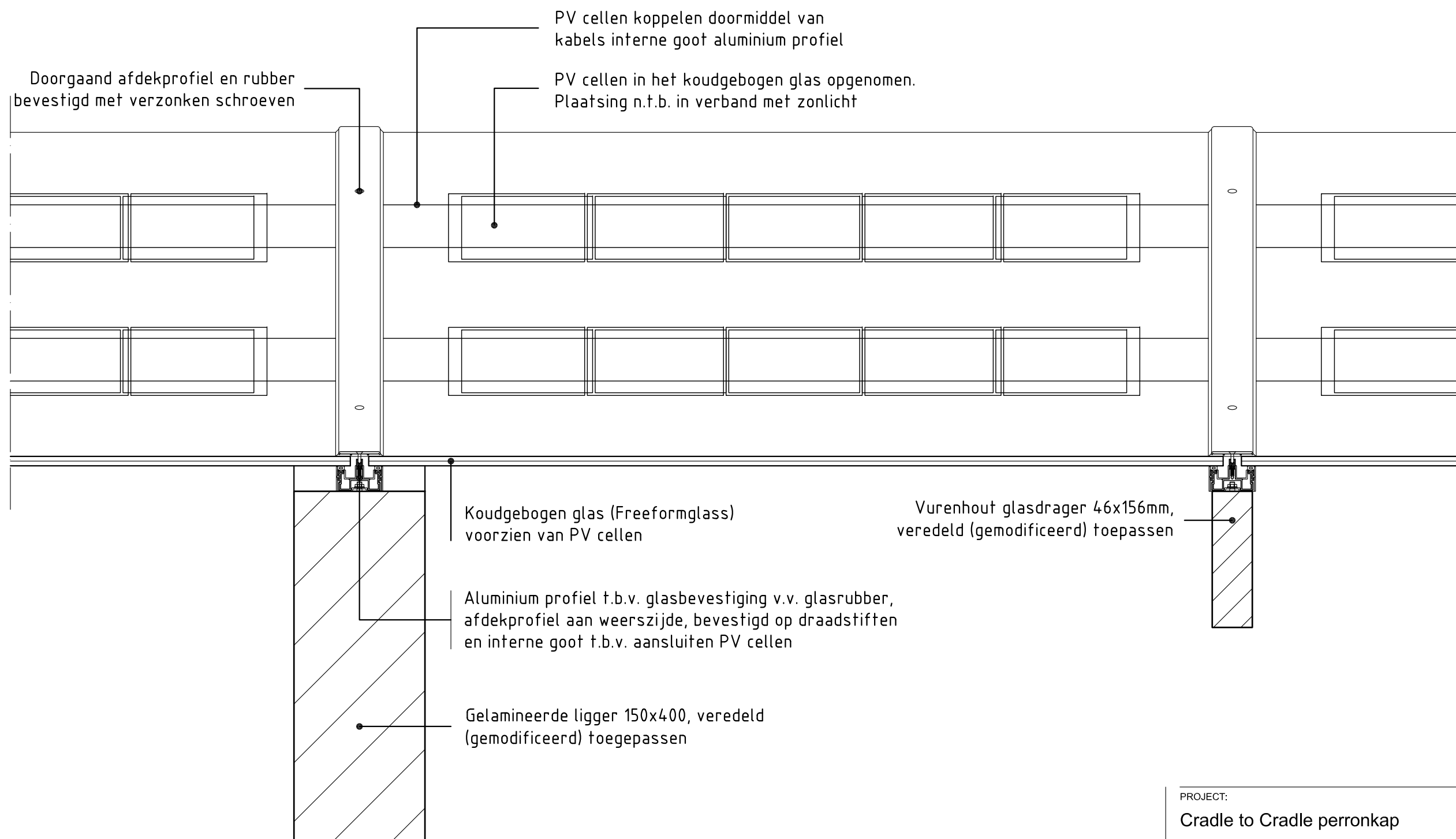


+4505
b.k. perronkap

+4045
o.k. langsligger

PROJECT:	DATUM A:	08-01-2013
Cradle to Cradle perronkap	DATUM B:	
	DATUM C:	
OPDRACHTGEVER:	GETEKEND:	W. Kok
Hogeschool Utrecht	SCHAAL:	1:5
	FORMAAT:	A3
ONDERWERP:	TEKENINGNUMMER:	
Voorontwerp		
Aansluiting portaalligger - langsligger		

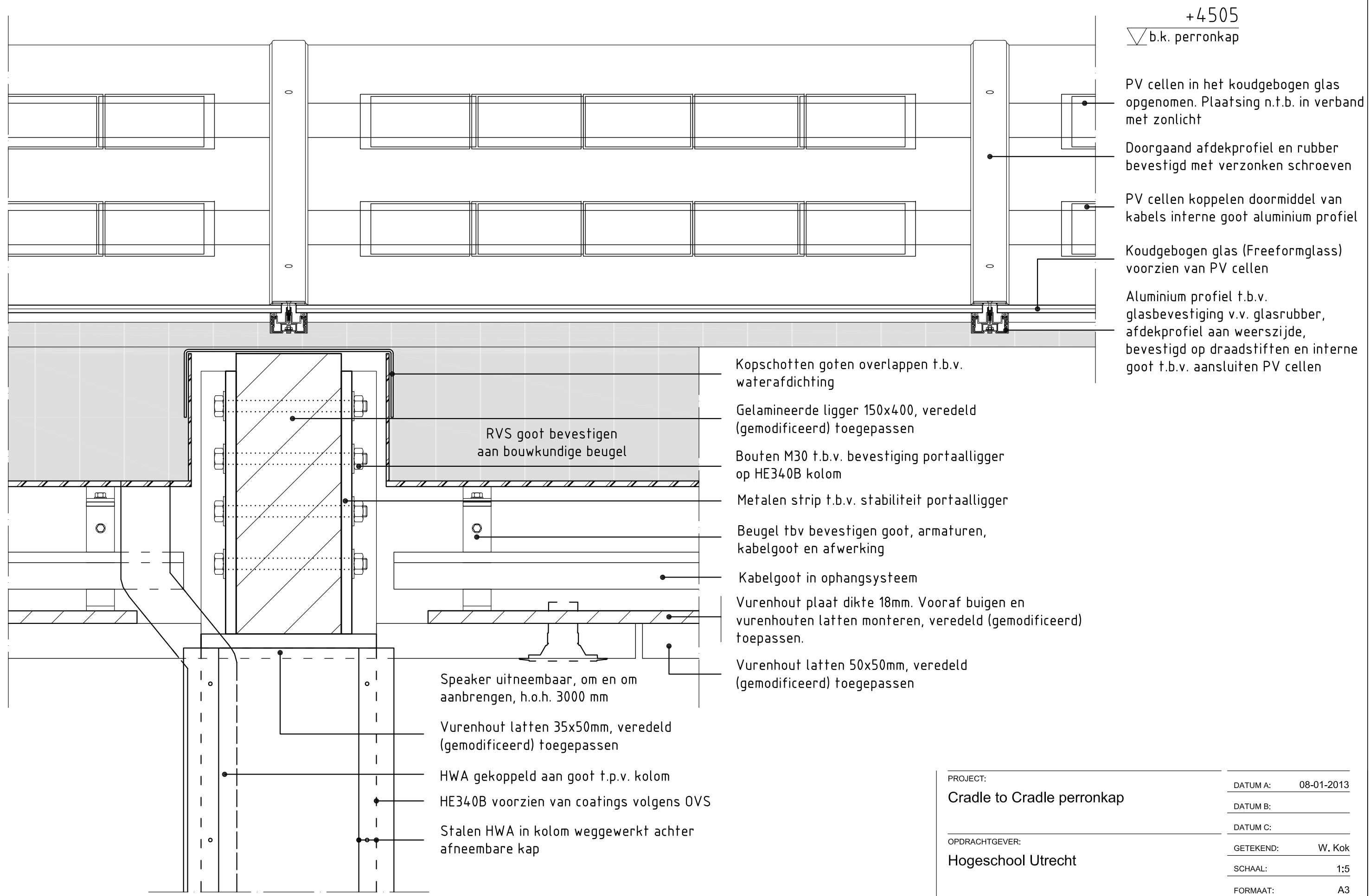
Detail 04



+4505
b.k. perronkap

PROJECT:	DATUM A:	08-01-2013
Cradle to Cradle perronkap	DATUM B:	
	DATUM C:	
OPDRACHTGEVER:	GETEKEND:	W. Kok
Hogeschool Utrecht	SCHAAL:	1:5
	FORMAAT:	A3
ONDERWERP:	TEKENINGNUMMER:	
Voorontwerp Glasdetail		

Detail 05



PROJECT:	DATUM A:
Cradle to Cradle perronkap	08-01-2013
OPDRACHTGEVER:	DATUM B:
Hogeschool Utrecht	DATUM C:
ONDERWERP:	GETEKEND:
Voorontwerp	W. Kok
Gootdetail	SCHAAL:
	1:5
	FORMAAT:
	A3
	TEKENINGNUMMER:

Detail 06

Cradle to Cradle perronoverkapping

Constructief Voorontwerp

Opdrachtgever **Movares Nederland B.V.**
Hogeschool Utrecht

Ondertekenaar **Movares Nederland B.V.**
W. Kok

Utrecht, 8 januari 2013
Concept

© 2012, Movares Nederland B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Movares Nederland B.V.

Inhoudsopgave

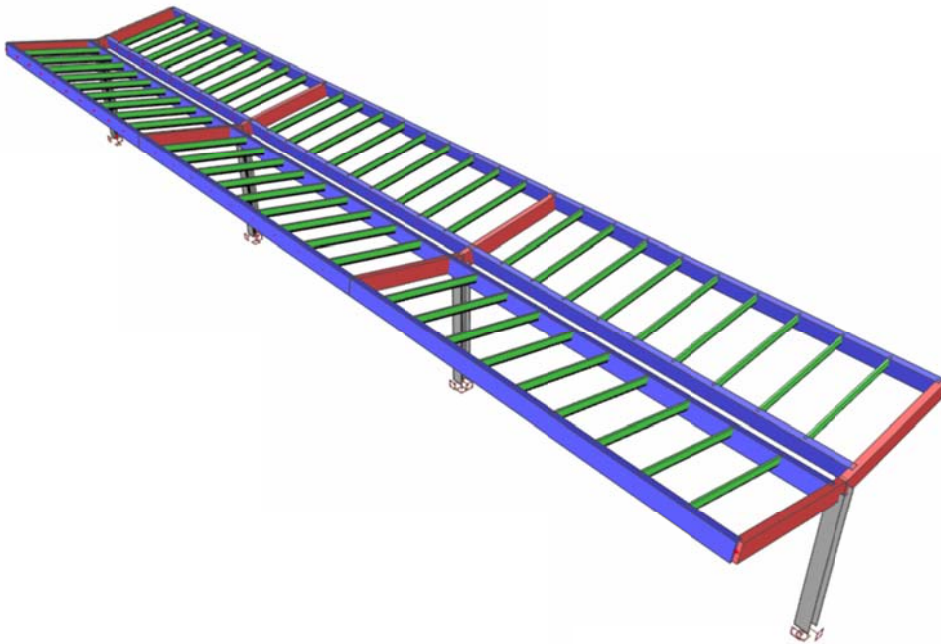
1	Beschrijving van de constructie	7
2	Uitgangspunten	9
2.1	Nationale Normen	9
2.2	Materiaaleigenschappen	9
2.3	Veiligheidsklasse en referentieperiode	10
2.4	Belastingfactoren	10
2.5	Toelaatbare Vervormingen	10
2.6	Rekensoftware	10
3	Belastinggevallen	11
3.1	Permanente belasting	11
3.1.1.	<i>Eigengewicht staalconstructie</i>	11
3.1.2.	<i>Rustende belasting</i>	11
3.2	Veranderlijke belasting	11
3.3	Sneeuwbelasting	11
3.4	Windbelasting	11
3.4.1.	<i>De algemene uitgangspunten</i>	11
3.4.2.	<i>Winddruk en –zuiging</i>	11
3.4.3.	<i>Winddruk en –zuiging loodrecht op de kap</i>	12
3.4.4.	<i>Windwrijving loodrecht op de kap</i>	12
3.4.5.	<i>Winddruk op kolom</i>	12
4	Rekenmodel	13
4.1	Schematisering van constructieonderdelen	13
4.2	Schematisering van de knopen	13
4.3	Lastgroepen	13
5	Resultaten	15
5.1	Fundering	15
5.2	Kolom	16
5.3	Portaalligger	17
5.4	Langsligger	18
5.5	Glasdrager	19
	Bijlage I: Document rekenmodel	20
	Bijlage II: Toets fundering	21
	Bijlage III: Toets kolom	22
	Bijlage IV: Toets gelamineerde portaalligger	23
	Bijlage V: Toets gelamineerde langsligger	24
	Bijlage VI: Toets glasdragers	25
	Colofon	26

Inleiding

In dit rapport zijn de uitgangspunten en resultaten vastgelegd voor de hoofdberekening van de Cradle to Cradle perronkap. Het rapport bevat een korte omschrijving van de constructie, gevolgd door de uitgangspunten, belastinggevallen, belastingcombinaties en berekeningen.

De berekeningen hebben betrekking op de fundering, kolom, portaalligger, langsliggers en glasdragers van de Cradle to Cradle perronkap. De uitkomsten zijn verwerkt in het kapdetail.

Het modelleren van de overkapping geschiedt in een EEM-programma. Daarbij wordt gebruikgemaakt van het programma ESA PT. Het modelleren gebeurt aan de hand van een kapdeel van drie overspanningen ($3 \times 10 = 30\text{m}$). Hierdoor ontstaat zowel een constructie-, als funderingstechnisch representatief beeld.



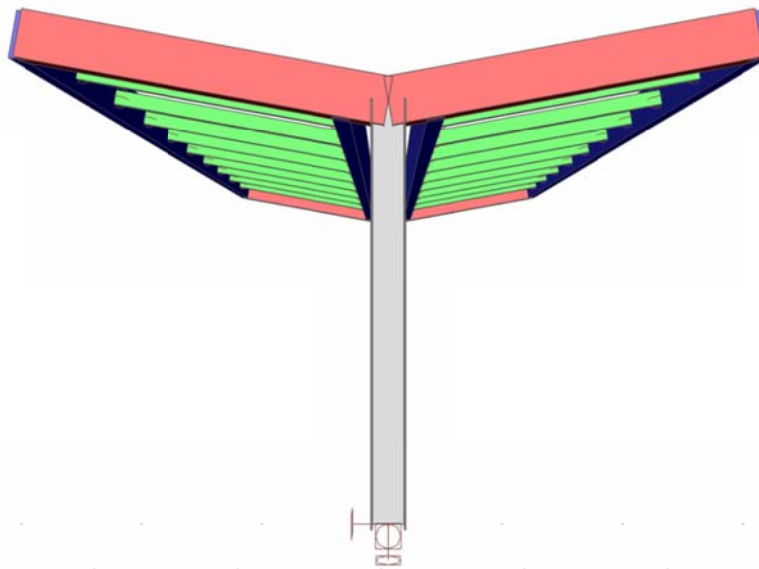
Draagconstructie weergegeven over drie overspannen

1 Beschrijving van de constructie

De Cradle to Cradle perronkap heeft een standaard elementlengte van 10 meter en een vaste breedte van 6,2 meter. De kap wordt gedragen door een T-vormig spant, samengesteld uit een stalen HE320B kolom en een gelamineerde 150x400mm ligger. Het hoogste punt van het spant is gelegen op 4,5 meter boven het perron.

Tussen de ingeklemde spanten, zijn in het horizontale deel gelamineerde langsliggers van 150x400mm scharnierend toegepast. Haaks hiertussen worden er glasdragers aangebracht. De glasdragers worden hart op hart 1,0 meter uit elkaar aangebracht en overspannen van ligger naar ligger (circa 2,7 meter). Over de glasdragers worden aluminium gepoedercoaten glasprofielen bevestigd waarin het Freeformglass wordt aangebracht. Hierdoor kan het dak waterdicht worden uitgevoerd.

De ruimte in het midden van de kapconstructie biedt aan de bovenzijde plaats voor het aanbrengen van een gootconstructie. De ruimte onder de goot is gereserveerd voor de doorvoer van HWA-leidingen, lichtarmatuur, omroepinstallatie en kabelgoten. De onderzijde wordt afgewerkt middels gemodificeerde houten latten.



Aanzicht perronoverkapping

2 Uitgangspunten

2.1 Nationale Normen

Bij het toetsten van de constructie is gebruikt gemaakt van de Eurocode NEN-EN.
De volgende delen zijn gebruikt:

Nationale norm	Titel
NEN-EN 1990	Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1991-1-1	Belastingen op constructies – Deel 1-1: Algemene belastingen Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen
NEN-EN 1991-1-3	Belastingen op constructies – Deel 1-3: Algemene belastingen – Sneeuwbelasting
NEN-EN 1991-1-4	Belastingen op constructies – Deel 1-4: Algemene belastingen – Windbelasting
NEN-EN 1992-1-1	Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
NEN-EN 1993-1-1	Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
NEN-EN 1995-1-1	Ontwerp en berekening van houtconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen

2.2 Materiaaleigenschappen

Tenzij anders aangegeven:

- Staal (walsprofiel) minimaal S235
 $P = 7850 \text{ kg/m}^3$
 $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$
 $f_{y,d} = 235 \text{ N/mm}^2$
- Hout, minimaal houtsterkteklasse D40
 $P = 550 \text{ kg/m}^3$
 $E_0 = 13000 \text{ N/mm}^2$
 $f_{m,k} = 40 \text{ N/mm}^2$
- Hout, minimaal houtsterkteklasse C24
 $P = 320 \text{ kg/m}^3$
 $E_0 = 9000 \text{ N/mm}^2$
 $f_{m,k} = 18 \text{ N/mm}^2$
- Glas (*Freeformglass*)
 $P = 2500 \text{ kg/m}^3$
 $E = 70 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$
 $\alpha = 8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

2.3 Veiligheidsklasse en referentieperiode

Gevolgklasse: CC2
Ontwerplevensduur: 50 jaar

2.4 Belastingfactoren

Voor gevolgklasse 2a gelden de volgende UGT en BGT-belastingcombinaties:

Belastingfactoren t.b.v. BGT:

Permanente belasting	1,0
Veranderlijke belasting	1,0

Belastingfactoren t.b.v. UGT:

Permanente belasting	1,2
Alleen permanent	1,35
Veranderlijke belasting	1,5

$1,35G + 1,5\psi Q$
 $1,2G + 1,5Q$

NB: voor alle op de constructie werkende veranderlijke belasting geldt: $\psi=0$.

2.5 Toelaatbare Vervormingen

$u_{\text{eind,verticaal}}$	$1/250L$
$u_{\text{bijkomend,verticaal}}$	$1/250L$
$u_{\text{horizontaal}}$	$1/150L$

2.6 Rekensoftware

SCIA Engineer 2012.0.1049

3 Belastinggevallen

3.1 Permanente belasting

3.1.1. Eigengewicht staalconstructie

Het eigengewicht van de staalconstructie wordt automatisch gegenereerd door de rekensoftware SCIA Engineer.

3.1.2. Rustende belasting

Transparant dakdeel:

G_{glas}	9mm Freeformglass incl. aansluitingen glas	0,30 kN/m ²
-------------------	--	------------------------

Dicht dakdeel:

$G_{\text{beplating}}$	Houten tengels inclusief opbouwframe	0,30 kN/m ²
------------------------	--------------------------------------	------------------------

3.2 Veranderlijke belasting

Q_{personen}	Maximaal 10m ² , dakhelling 10°	1,0 kN/m ²
-----------------------	--	-----------------------

3.3 Sneeuwbelasting

Q_{sneeuw}	dakhelling 10°	0,56 kN/m ²
---------------------	----------------	------------------------

3.4 Windbelasting

3.4.1. De algemene uitgangspunten (conform NB.4)

Windgebied I, onbebouwd gebied

Bouwhoogte: 5,5 meter boven maaiveld

dakhelling bovenzijde 10°

$q_p = 0,78 \text{ kN/m}^2$

$C_s C_d = 1,0$

$\gamma = 1,0$ (blokkering hellende overkapping en trein)

3.4.2. Winddruk en -zuiging (conform NEN-EN 1991-1-4 tabel 7.1)

Helling = 10°

$\gamma = 1,0$, globale belasting.

$C_f = -1,4 / 0,4$

$Q_{\text{wind1;zuiging}} = -1,4 * 0,78 = -1,09 \text{ kN/m}^2$

$Q_{\text{wind1;druk}} = +0,4 * 0,78 = 0,31 \text{ kN/m}^2$

NB

Er wordt gerekend met het windgebied waarin de meeste windbelasting voorkomt.

3.4.3. *Winddruk en -zuiging loodrecht op de kap (conform NEN-EN 1991-1-4 tabel 7.1)*

$$h/b = 300/6200 = 0,04$$

$$\text{Zone} = \text{D en E}$$

$$C_{pe} = +0,7 / -0,3$$

$$Q_{\text{wind2;druk}} = +0,7 * 0,78 * 0,3\text{m} = 0,16 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{\text{wind2;zuiging}} = -0,3 * 0,78 * 0,3\text{m} = -0,07 \text{ kN/m}$$

3.4.4. *Windwrijving loodrecht op de kap (conform NEN-EN 1991-1-4 tabel 7.10)*

$$C_{fr} = 0,01 \text{ Glas oppervlakte}$$

$$Q_{\text{wind2;wrijving}} = 0,01 * 0,78 * 6,2\text{m} * 2 = 0,1 \text{ kN/m}^2$$

NB windwrijving aan onder- en bovenkant kap (omgerekend naar wind op glasliggers)

3.4.5. *Winddruk op kolom*

$$d/b = 340/300 = 1,1$$

$$c_f = 2,1$$

$$Q_{\text{wind3;druk}} = 2,1 * 0,78 * 0,34\text{m} = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

4 Rekenmodel

4.1 Schematisering van constructieonderdelen

De constructiegeometrie is ingevoerd conform de hartlijnen van de constructie zonder excentrische aansluitingen.

4.2 Schematisering van de knopen

Alle knopen zijn in principe scharnierend met elkaar verbonden met uitzondering van:

- De gelamineerde ligger die onderdeel uitmaakt van het T-spant (momentvast).
- De kolomvoet ter plaatsen van de fundering (momentvast).

4.3 Lastgroepen

In de berekening wordt gebruik gemaakt van lastgroepen voor de windlast en voor sneeuwlast. Hierdoor worden automatisch zowel symmetrische als asymmetrische belastinggevallen beschouwd (respectievelijk: dak vol belast, dak half belast).

5 Resultaten

5.1 Fundering

- Toets kantelveiligheid

$$F_{v,t,d} * 0,5 * L = 211,68 \text{ kNm}$$

$$M_{d,oz} = 135 \text{ kNm}$$

$$U.C. = 1,57 > 1,5$$

- Toets trek

$$F_{r,d,trek} = 22,1 \text{ kN}$$

$$F_{v,d} = 110,4 \text{ kN}$$

$$U.C. = 0,2 < 1,0$$

- Toets draagkracht

$$\sigma_{o,d} = 95,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_t = 100 \text{ N/mm}^2$$

$$U.C. = 0,95 < 1,0$$

Zie bijlage 2 voor de exacte berekeningen

Tijdens de toetsing is uitgegaan van een grondwaterstand lager dan 1,5 meter.

5.2 Kolom

- Toets sterkte (buiging, dwarskracht en normaalkracht)

$$U.C. = 0,55$$

- Toets stabiliteit

$$U.C.1 = 0,24$$

$$U.C.2 = 0,18$$

- Toets stijfheid

$$U_{\text{bijkomend}} = 6,7 \text{ mm}$$

$$U_{\text{bijkomend}} < 21 \text{ mm}$$

$$U.C. = 0,32$$

$$U_{\text{eind}} = 6,7 \text{ mm}$$

$$U_{\text{eind}} < 28 \text{ mm}$$

$$U.C. = 0,24$$

Zie bijlage 3 voor de exacte berekeningen

5.3 Portaalligger

- Toets sterkte (buiging)

$$\sigma_{\text{optredend}} = 26,37 \text{ N/mm}^2$$
$$\sigma < 29,95 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{U.C.} = 0,880$$

- Toets sterkte (afschuiving)

$$\sigma_{\text{optredend}} = 1,61 \text{ N/mm}^2$$
$$\sigma < 2,88 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{U.C.} = 0,561$$

- Toets stabiliteit

$$\sigma_{\text{optredend}} = 26,37 \text{ N/mm}^2$$
$$K_{\text{crit}} = 1,00$$
$$\sigma < k_{\text{crit}} * 29,95 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{U.C.} = 0,880$$

- Toets stijfheid

$$U_{\text{horizontaal}} = 11,0 \text{ mm}$$
$$U_{\text{horizontaal}} < 20,67 \text{ mm}$$

$$\text{U.C.} = 0,53$$

$$U_{\text{bijkomend}} = 15,2 \text{ mm}$$
$$U_{\text{bijkomend}} < 18,3 \text{ mm}$$

$$\text{U.C.} = 0,82$$

$$U_{\text{eind}} = 23,2 \text{ mm}$$
$$U_{\text{eind}} < 24,8 \text{ mm}$$

$$\text{U.C.} = 0,94$$

Zie bijlage 4 voor de exacte berekeningen

5.4 Langsligger

- Toets sterkte (buiging)

$$\sigma_{\text{optredend}} = 10,37 \text{ N/mm}^2$$
$$\sigma < 29,95 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{U.C.} = 0,346$$

- Toets sterkte (afschuiving)

$$\sigma_{\text{optredend}} = 0,38 \text{ N/mm}^2$$
$$\sigma < 2,88 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{U.C.} = 0,133$$

- Toets stabiliteit

$$\sigma_{\text{optredend}} = 10,37 \text{ N/mm}^2$$
$$K_{\text{crit}} = 0,93$$
$$\sigma < k_{\text{crit}} * 29,95 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{U.C.} = 0,372$$

- Toets stijfheid

$$U_{\text{bijkomend}} = 23,97 \text{ mm}$$
$$U_{\text{bijkomend}} < 30 \text{ mm}$$

$$\text{U.C.} = 0,80$$

$$U_{\text{eind}} = 39,75 \text{ mm}$$
$$U_{\text{eind}} < 40 \text{ mm}$$

$$\text{U.C.} = 0,99$$

Zie bijlage 5 voor de exacte berekeningen

5.5 Glasdrager

- Toets sterkte (buiging)

$$\sigma_{\text{optredend}} = 9,43 \text{ N/mm}^2$$
$$\sigma < 12,34 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{U.C.} = 0,765$$

- Toets sterkte (afschuiving)

$$\sigma_{\text{optredend}} = 0,54 \text{ N/mm}^2$$
$$\sigma < 2,35 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{U.C.} = 0,229$$

- Toets stabiliteit

$$\sigma_{\text{optredend}} = 9,43 \text{ N/mm}^2$$
$$K_{\text{crit}} = 0,995$$
$$\sigma < k_{\text{crit}} * 12,34 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{U.C.} = 0,768$$

- Toets stijfheid

$$U_{\text{bijkomend}} = 5,04 \text{ mm}$$
$$U_{\text{bijkomend}} < 8,21 \text{ mm}$$

$$\text{U.C.} = 0,61$$

$$U_{\text{eind}} = 7,02 \text{ mm}$$
$$U_{\text{eind}} < 10,94 \text{ mm}$$

$$\text{U.C.} = 0,64$$

Zie bijlage 6 voor de exacte berekeningen

Bijlage I: Document rekenmodel

1. Project

Licentienaam	Hewlett-Packard
Project	Cradle to Cradle perronoverkapping
Onderdeel	Compleet model
Omschrijving	Perronoverkapping
Auteur	W. Kok
Datum	10. 12. 2012
Constructie	Raamwerk XYZ
Aantal knopen :	132
Aantal staven :	78
Aantal platen :	0
Aantal vaste lichamen :	0
Aantal gebruikte doorsneden :	4
Aantal belastingsgevallen :	10
Aantal gebruikte materialen :	3
Gravitatieversnelling [m/sec ²]	9,810
Nationale norm	EC - EN

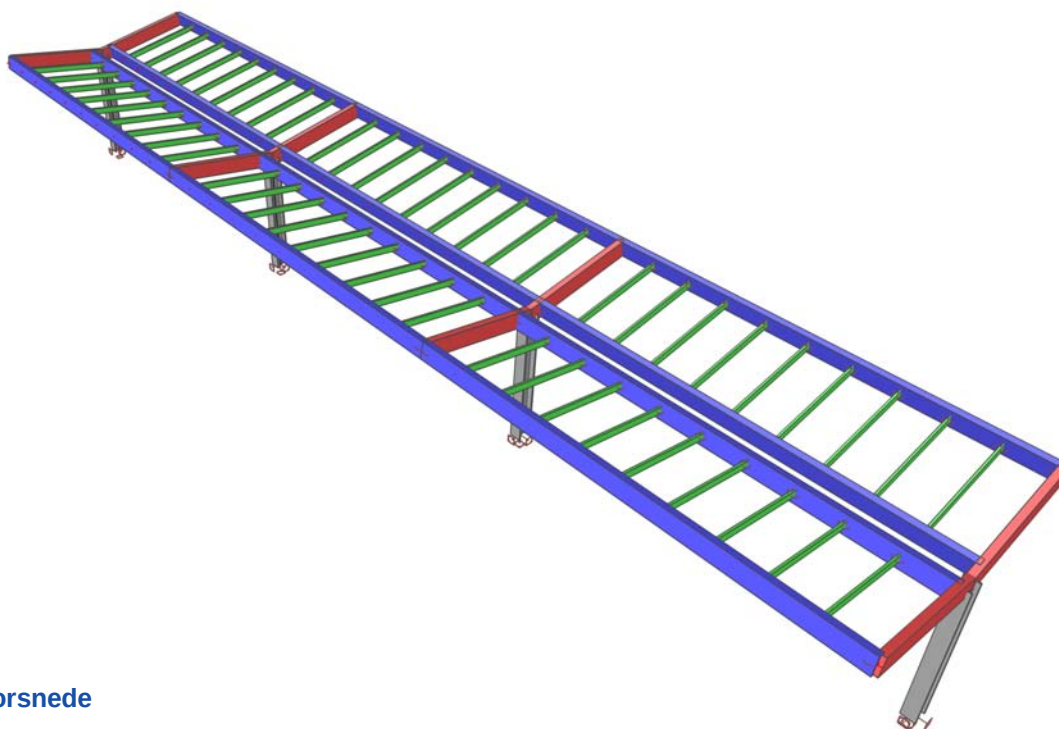
2. Inhoudsopgave

1. Project	1
2. Inhoudsopgave	1
3. Overzicht constructie	2
3.1. Impressie	2
3.1.1. 3D aanzicht	2
3.1.2. Dwarsdoorsnede	2
3.1.3. Constructief overzicht	3
3.1.4. Knoopondersteuning	3
3.2. Materialen	4
3.2.1. Doorsneden	4
4. Belastingen	6
4.1. Belastinggevallen	6
4.2. Combinaties	6
4.3. Resultaatklassen	7
5. Resultaten	8
5.1. Reacties	8
5.2. Interne krachten in kolom	9
5.2.1. Maximale dwarskracht	9
5.2.2. Maximale moment	9
5.2.3. Maxi normaalkracht	10
5.2.4. Interne krachten in kolom	10
5.3. Interne krachten portaalligger	11
5.3.1. Maximale dwarskracht	11
5.3.2. Maximale moment	11
5.3.3. Interne krachten van portaalligger	12
5.4. Interne krachten in Langsligger	12
5.5. Interne krachten in glasdrager	12
5.6. Vervorming	13
5.6.1. Vervorming constructie	13
5.6.2. Vervorming kolom	14
5.6.3. Vervorming ligger	14

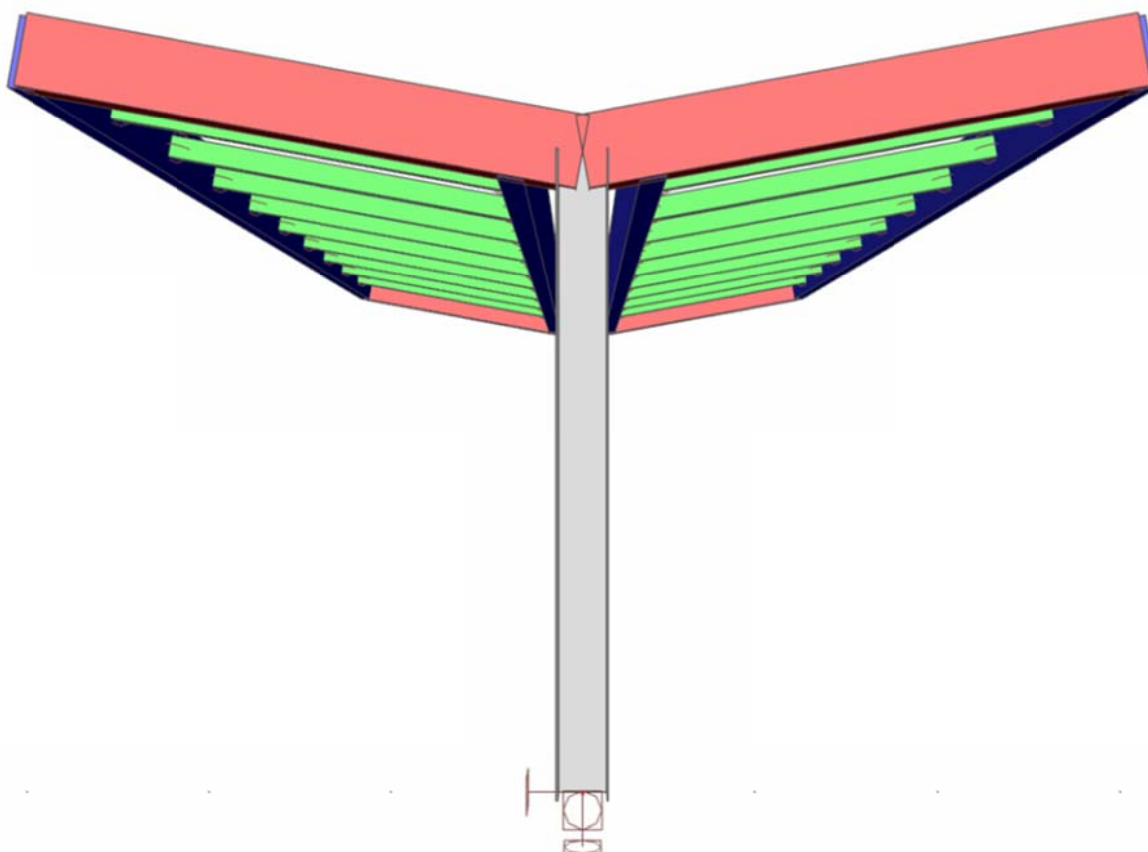
3. Overzicht constructie

3.1. Impressie

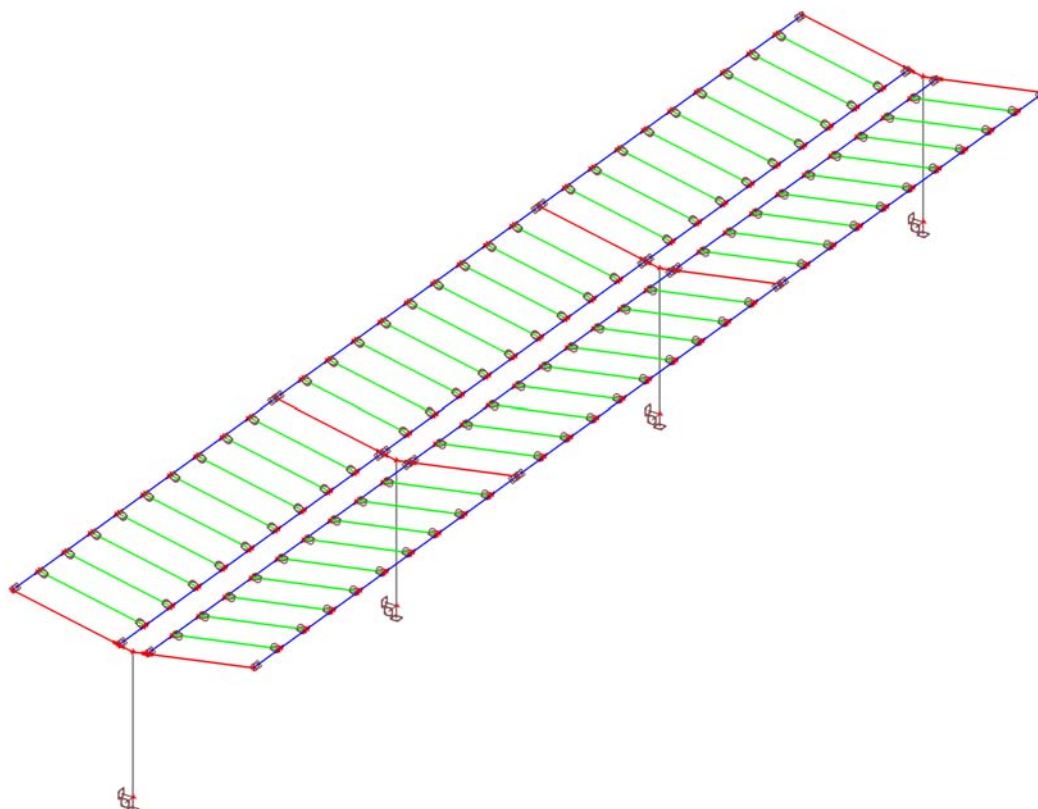
3.1.1. 3D aanzicht



3.1.2. Dwarsdoorsnede



3.1.3. Constructief overzicht



3.1.4. Knoopondersteuningen

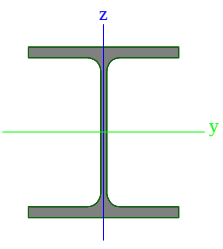
Naam	Knoop	Systeem	Type	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz
------	-------	---------	------	---	---	---	----	----	----

Sn1	K1	GCS	Standaard	Vast	Vast	Vast	Vast	Vast	Vast
Sn2	K3	GCS	Standaard	Vast	Vast	Vast	Vast	Vast	Vast
Sn3	K5	GCS	Standaard	Vast	Vast	Vast	Vast	Vast	Vast
Sn4	K7	GCS	Standaard	Vast	Vast	Vast	Vast	Vast	Vast

3.2. Materialen

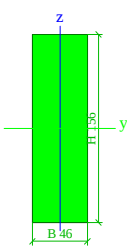
3.2.1. Doorsneden

Naam	CS1	
Type	HEB340	
Bron omschrijving	Profil Arbed / Structural shapes / Edition Octobre 1995	
Onderdeelmateriaal	S 235	
Bouwwijze	gewalst	
Knik y-y, z-z	b	c



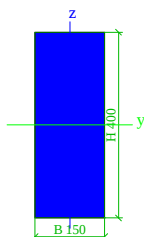
A [m ²]	1,7090e-02	
A y, z [m ²]	1,1063e-02	3,6382e-03
I y, z [m ⁴]	3,6660e-04	9,6900e-05
I w [m ⁶], t [m ⁴]	2,4622e-06	2,5720e-06
Wel y, z [m ³]	2,1560e-03	6,4600e-04
Wpl y, z [m ³]	2,4000e-03	9,8600e-04
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	150	170
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	1,8094e+00	

Naam	CS2	
Type	RECT	
Uitgebreid	46; 156	
Onderdeelmateriaal	C18	
Bouwwijze	hout	
Knik y-y, z-z	b	b
EEM berekening	x	



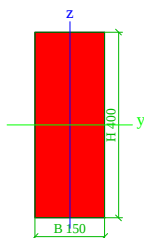
A [m ²]	7,1760e-03	
A y, z [m ²]	7,1760e-03	7,1760e-03
I y, z [m ⁴]	1,4553e-05	1,2654e-06
I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+00	4,5382e-06
Wel y, z [m ³]	1,8658e-04	5,5016e-05
Wpl y, z [m ³]	2,7986e-04	8,2524e-05
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	23	78
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	4,0400e-01	

Naam	CS3	
Type	RECT	
Uitgebreid	150; 400	
Onderdeelmateriaal	D40	
Bouwwijze	hout	
Knik y-y, z-z	b	b
EEM berekening	*	



A [m ²]	6,0000e-02	
A y, z [m ²]	6,0000e-02	6,0000e-02
I y, z [m ⁴]	8,0000e-04	1,1250e-04
I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+00	4,0105e-04
Wel y, z [m ³]	4,0000e-03	1,5000e-03
Wpl y, z [m ³]	6,0000e-03	2,2500e-03
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	75	200
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	1,1000e+00	

Naam	CS4	
Type	RECT	
Uitgebreid	150; 400	
Onderdeelmateriaal	D40	
Bouwwijze	hout	
Knik y-y, z-z	b	b
EEM berekening	*	



A [m ²]	6,0000e-02	
A y, z [m ²]	8,0000e-02	8,0000e-02
I y, z [m ⁴]	8,0000e-04	1,1250e-04
I w [m ⁶], t [m ⁴]	0,0000e+00	0,0000e+00
Wel y, z [m ³]	4,0000e-03	1,5000e-03
Wpl y, z [m ³]	6,0000e-03	2,2500e-03
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	75	200
alpha [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	1,1000e+00	

4. Belastingen

4.1. Belastingsgevallen

Naam	Omschrijving	Actie type	Lastgroep	Belastingtype	Spec	Richting	Duur	'Master' belastingsgeval
BG1	Draagconstructie	Permanent	LG1	Eigen gewicht		-Z		
BG2	Gglas + afwerking	Permanent	LG1	Standaard				
BG3	Qsneeuw	Variabel	LG2	Statisch	Standaard		Kort	Geen
BG4	Qwind; Links; Neer	Variabel	LG2	Statisch	Standaard		Kort	Geen
BG5	Qwind; Rechts; Neer	Variabel	LG2	Statisch	Standaard		Kort	Geen
BG6	Qwind; Links; Op	Variabel	LG2	Statisch	Standaard		Kort	Geen
BG7	Qwind; Rechts; Op	Variabel	LG2	Statisch	Standaard		Kort	Geen
BG8	Personen	Variabel	LG2	Statisch	Standaard		Kort	Geen
BG9	Wind loodrecht links	Variabel	LG2	Statisch	Standaard		Kort	Geen
BG10	Wind loodrecht rechts	Variabel	LG2	Statisch	Standaard		Kort	Geen

4.2. Combinaties

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
UGT1	Permanente belasting	Lineair - UGT	BG1 - Draagconstructie	1,35
			BG2 - Gglas + afwerking	1,35
BGT1	Permanente belasting	Lineair - BGT	BG1 - Draagconstructie	1,00
			BG2 - Gglas + afwerking	1,00
UGT2	Sneeuw	Lineair - UGT	BG1 - Draagconstructie	1,20
			BG2 - Gglas + afwerking	1,20
			BG3 - Qsneeuw	1,50
BGT2	Sneeuw	Lineair - BGT	BG1 - Draagconstructie	1,00
			BG2 - Gglas + afwerking	1,00
			BG3 - Qsneeuw	1,00
UGT3	Winddruk	Lineair - UGT	BG1 - Draagconstructie	1,20
			BG2 - Gglas + afwerking	1,20
			BG4 - Qwind; Links; Neer	1,50
			BG5 - Qwind; Rechts; Neer	1,50
BGT3	Winddruk	Lineair - BGT	BG1 - Draagconstructie	1,00
			BG2 - Gglas + afwerking	1,00
			BG4 - Qwind; Links; Neer	1,00
			BG5 - Qwind; Rechts; Neer	1,00
UGT4	Windzuiging	Lineair - UGT	BG1 - Draagconstructie	1,20
			BG2 - Gglas + afwerking	1,20
			BG6 - Qwind; Links; Op	1,50
			BG7 - Qwind; Rechts; Op	1,50
BGT4	Windzuiging	Lineair - BGT	BG1 - Draagconstructie	1,00
			BG2 - Gglas + afwerking	1,00
			BG6 - Qwind; Links; Op	1,00
			BG7 - Qwind; Rechts; Op	1,00
UGT5	Winddruk en -zuiging	Lineair - UGT	BG1 - Draagconstructie	1,20
			BG2 - Gglas + afwerking	1,20
			BG4 - Qwind; Links; Neer	1,50
			BG7 - Qwind; Rechts; Op	1,50
			BG9 - Wind loodrecht links	1,50
BGT5	Winddruk en -zuiging	Lineair - BGT	BG1 - Draagconstructie	1,00
			BG2 - Gglas + afwerking	1,00
			BG4 - Qwind; Links; Neer	1,00
			BG7 - Qwind; Rechts; Op	1,00
			BG9 - Wind loodrecht links	1,00
UGT6	Winddruk en -zuiging	Lineair - UGT	BG1 - Draagconstructie	1,20
			BG2 - Gglas + afwerking	1,20
			BG5 - Qwind; Rechts; Neer	1,50
			BG6 - Qwind; Links; Op	1,50

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
UGT6	Winddruk en -zuiging	Lineair - UGT	BG10 - Wind loodrecht rechts	1,50
BGT6	Winddruk en -zuiging	Lineair - BGT	BG1 - Draagconstructie BG2 - Gglas + afwerking BG5 - Qwind; Rechts; Neer BG6 - Qwind; Links; Op BG10 - Wind loodrecht rechts	1,00 1,00 1,00 1,00 1,00
UGT7	Personen	Lineair - UGT	BG1 - Draagconstructie BG2 - Gglas + afwerking BG8 - Personen	1,20 1,20 1,50
BGT7	Personen	Lineair - UGT	BG1 - Draagconstructie BG2 - Gglas + afwerking BG8 - Personen	1,00 1,00 1,00

4.3. Resultaatklassen

Naam	Lijst
Alle UGT	UGT1 - Linear - UGT
	UGT2 - Linear - UGT
	UGT3 - Linear - UGT
	UGT4 - Linear - UGT
	UGT5 - Linear - UGT
	UGT6 - Linear - UGT
	UGT7 - Linear - UGT

Naam	Lijst
Alle BGT	BGT1 - Lineair - BGT
	BGT2 - Lineair - BGT
	BGT3 - Lineair - BGT
	BGT4 - Lineair - BGT
	BGT5 - Lineair - BGT
	BGT6 - Lineair - BGT
	BGT7 - Lineair - BGT

5. Resultaten

5.1. Reacties

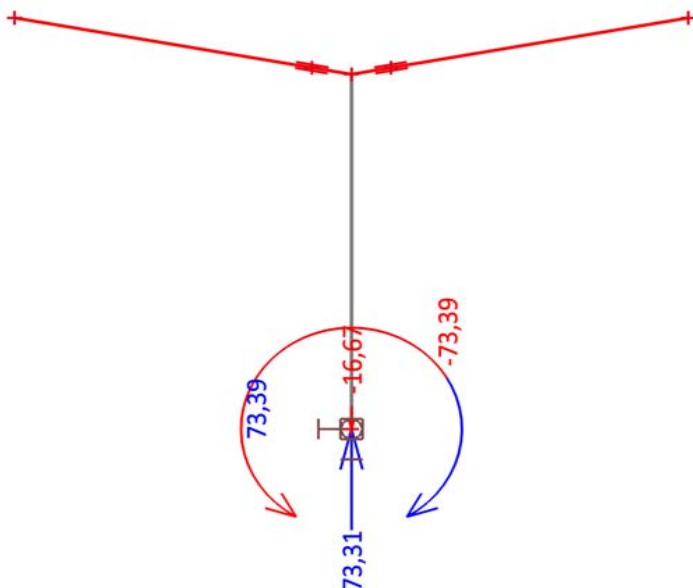
Lineaire berekening, Extreem : Knoop

Selectie : Alle

Klasse : Alle BGT

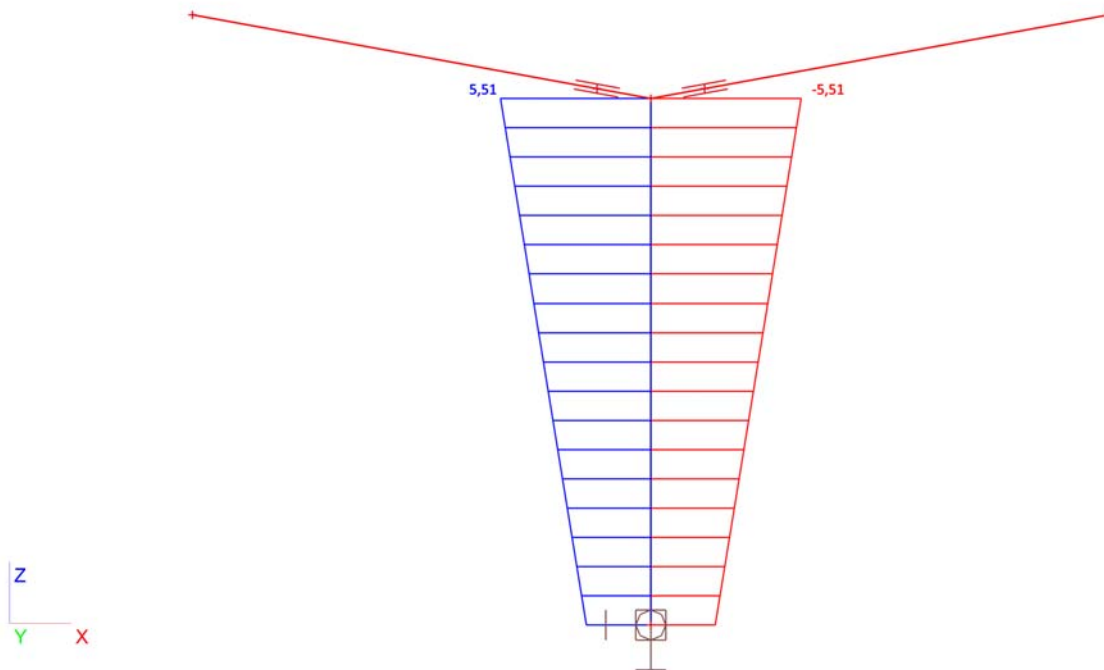
Steunpunt	BG	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Sn1/K1	BGT6/1	-0,13	0,00	13,65	0,00	-40,14	0,00
Sn1/K1	BGT5/2	0,13	0,00	13,65	0,00	40,14	0,00
Sn1/K1	BGT1/3	0,00	0,00	25,48	0,00	0,00	0,00
Sn1/K1	BGT4/4	0,00	0,00	-7,57	0,00	0,00	0,00
Sn1/K1	BGT2/5	0,00	0,00	42,46	0,00	0,00	0,00
Sn2/K3	BGT6/1	-1,57	0,00	21,50	0,00	-73,39	0,00
Sn2/K3	BGT5/2	1,57	0,00	21,50	0,00	73,39	0,00
Sn2/K3	BGT1/3	0,00	0,00	42,77	0,00	0,00	0,00
Sn2/K3	BGT4/4	0,00	0,00	-16,67	0,00	0,00	0,00
Sn2/K3	BGT2/5	0,00	0,00	73,31	0,00	0,00	0,00
Sn3/K5	BGT6/1	-1,57	0,00	21,50	0,00	-73,39	0,00
Sn3/K5	BGT5/2	1,57	0,00	21,50	0,00	73,39	0,00
Sn3/K5	BGT1/3	0,00	0,00	42,77	0,00	0,00	0,00
Sn3/K5	BGT4/4	0,00	0,00	-16,67	0,00	0,00	0,00
Sn3/K5	BGT2/5	0,00	0,00	73,31	0,00	0,00	0,00
Sn4/K7	BGT6/1	-0,13	0,00	13,65	0,00	-40,14	0,00
Sn4/K7	BGT5/2	0,13	0,00	13,65	0,00	40,14	0,00
Sn4/K7	BGT1/3	0,00	0,00	25,48	0,00	0,00	0,00
Sn4/K7	BGT4/4	0,00	0,00	-7,57	0,00	0,00	0,00
Sn4/K7	BGT2/5	0,00	0,00	42,46	0,00	0,00	0,00

5.2. Reacties; Rz, My

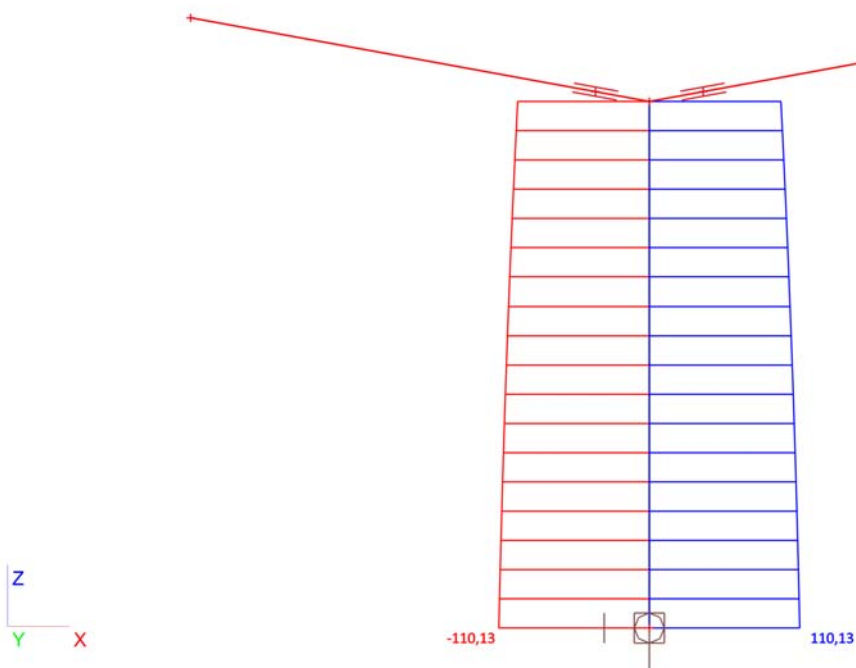


5.2. Interne krachten in kolom

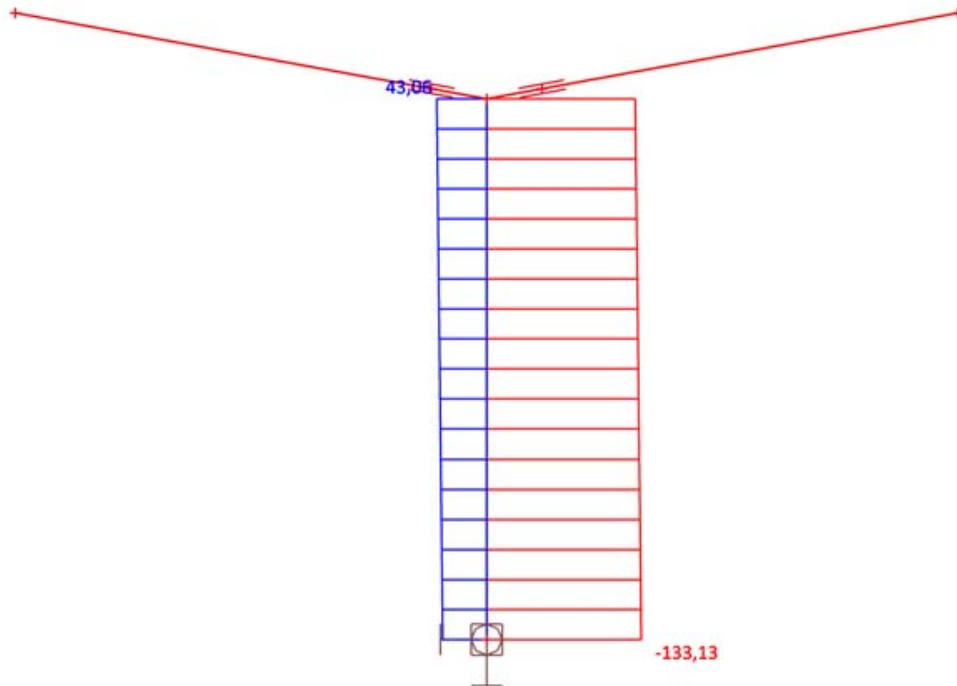
5.2.1. Maximale dwarskracht



5.2.2. Maximale moment



5.2.3. Maximale normaalkracht



5.2.4. Interne krachten in kolom

Lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : Hoofd

Selectie : Alle

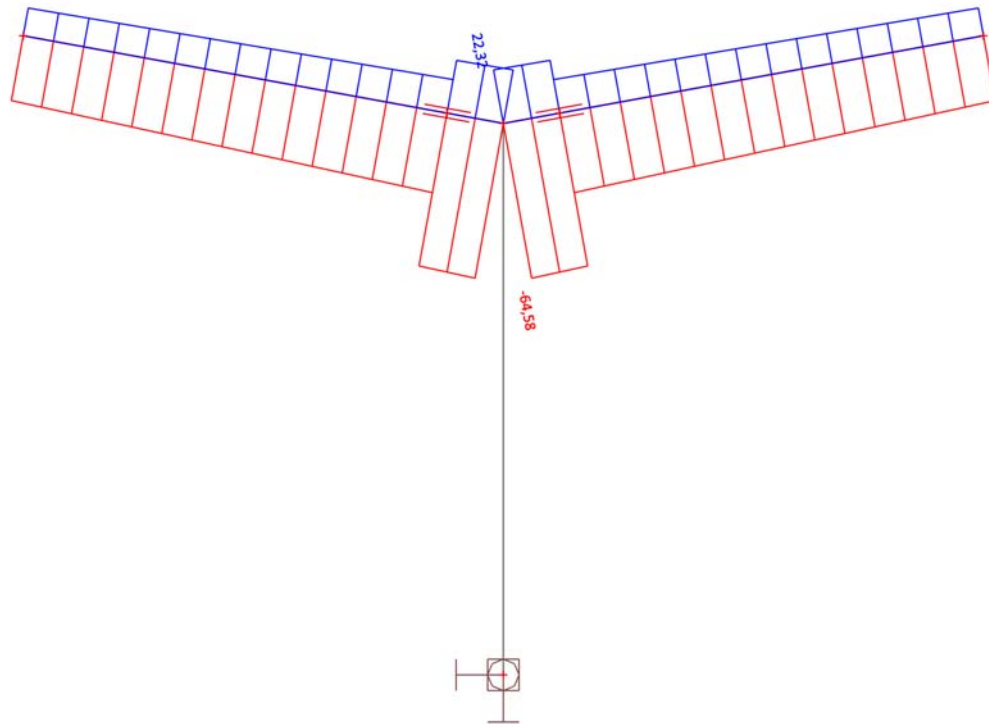
Klasse : Alle UGT

Doorsnede : CS1 - HEB340

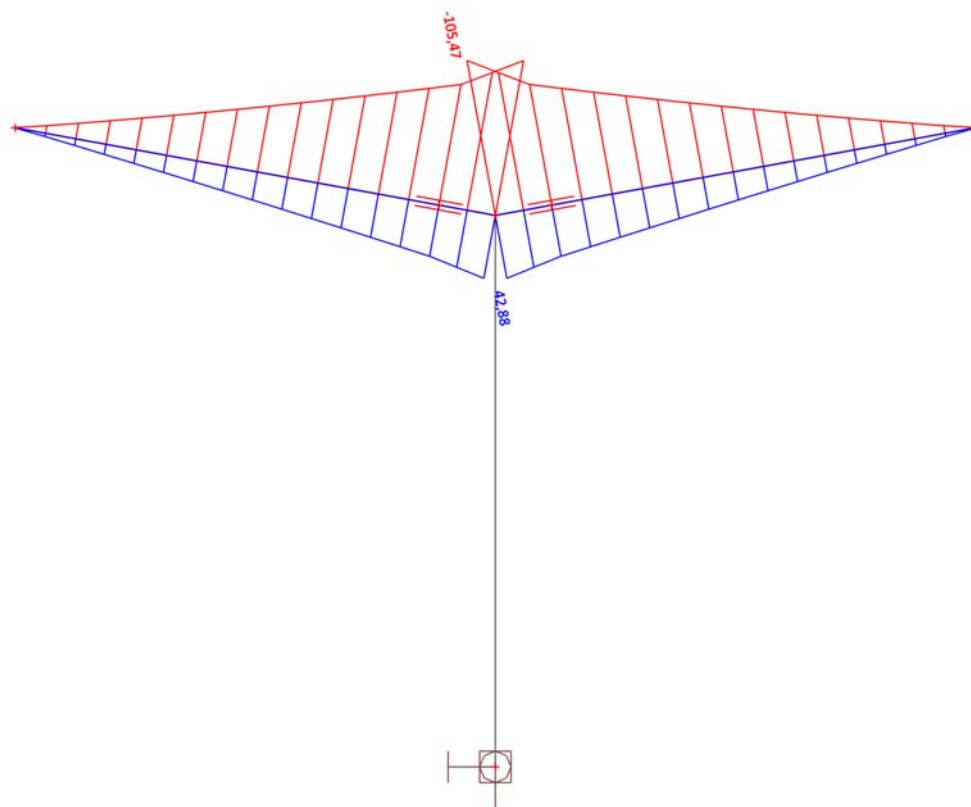
Staaf	BG	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
S2	UGT7/3	0,000	-133,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S2	UGT4/4	3,500	43,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S1	UGT1/6	0,000	-34,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S2	UGT5/1	3,500	-14,21	0,00	-5,51	0,00	96,36	0,00
S2	UGT6/2	3,500	-14,21	0,00	5,51	0,00	-96,36	0,00
S2	UGT6/2	0,000	-19,74	0,00	2,36	0,00	-110,13	0,00
S2	UGT5/1	0,000	-19,74	0,00	-2,36	0,00	110,13	0,00
S1	UGT6/2	0,000	-13,15	0,00	0,19	0,00	-60,16	0,00

5.3. Interne krachten portaalligger

5.3.1. Maximale dwarskracht



5.3.2. Maximale moment



5.3.3. Interne krachten van portaalligger

Lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : Hoofd
Selectie : Alle
Klasse : Alle UGT
Doorsnede : CS4 - RECT (150; 400)

Staaf	BG	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
-------	----	-----------	-----------	------------	------------	-------------	-------------	-------------

S7	UGT5/1	3,099	-6,22	0,00	-35,19	0,00	-54,19	0,00
S6	UGT7/3	2,736	-1,27	0,00	-34,95	0,00	-45,63	0,00
S9	UGT7/3	2,736	-1,27	0,00	-34,95	0,00	-45,63	0,00
S7	UGT7/3	3,099	-2,38	0,00	-64,58	0,00	-105,47	0,00
S7	UGT4/4	3,099	-2,38	0,00	22,32	0,00	42,88	0,00
S9	UGT5/1	0,000	-1,56	0,00	-6,80	0,00	-0,17	0,00
S6	UGT5/1	0,000	-1,56	0,00	-6,80	0,00	-0,17	0,00

5.4. Interne krachten in Langsligger

Lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : Hoofd
Selectie : Alle
Klasse : Alle UGT
Doorsnede : CS3 - RECT (150; 400)

Staaf	BG	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
-------	----	-----------	-----------	------------	------------	-------------	-------------	-------------

S15	UGT1/6	0,000	0,00	0,56	4,83	0,07	0,00	0,00
S17	UGT5/1	10,000	0,00	-1,52	-6,81	-0,17	0,00	0,00
S15	UGT5/1	0,000	0,00	1,52	6,81	0,17	0,00	0,00
S18	UGT7/3	10,000	0,00	-0,47	-15,30	0,05	0,00	0,00
S20	UGT7/3	0,000	0,00	0,47	15,30	-0,05	0,00	0,00
S17	UGT7/3	0,000	0,00	0,44	13,52	-0,20	0,00	0,00
S15	UGT7/3	0,000	0,00	0,44	13,53	0,20	0,00	0,00
S15	UGT4/4	5,000	0,00	0,02	-0,85	-0,09	-16,56	1,45
S18	UGT7/3	5,000	0,00	0,02	-1,29	0,05	41,46	1,11
S21	UGT6/2	5,000	0,00	-0,08	0,58	0,00	23,78	-3,64
S19	UGT5/1	5,000	0,00	0,08	0,58	0,00	23,78	3,64

5.5. Interne krachten in glasdrager

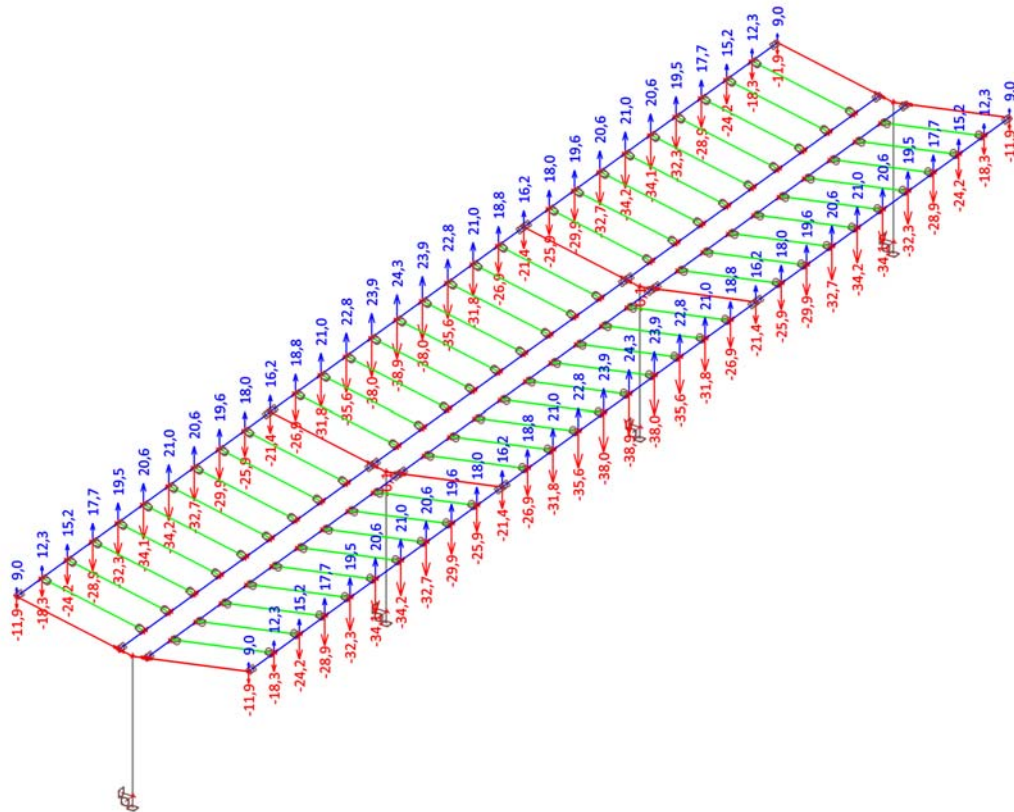
Lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : Hoofd
Selectie : Alle
Klasse : Alle UGT
Doorsnede : CS2 - RECT (46; 156)

Staaf	BG	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
-------	----	-----------	-----------	------------	------------	-------------	-------------	-------------

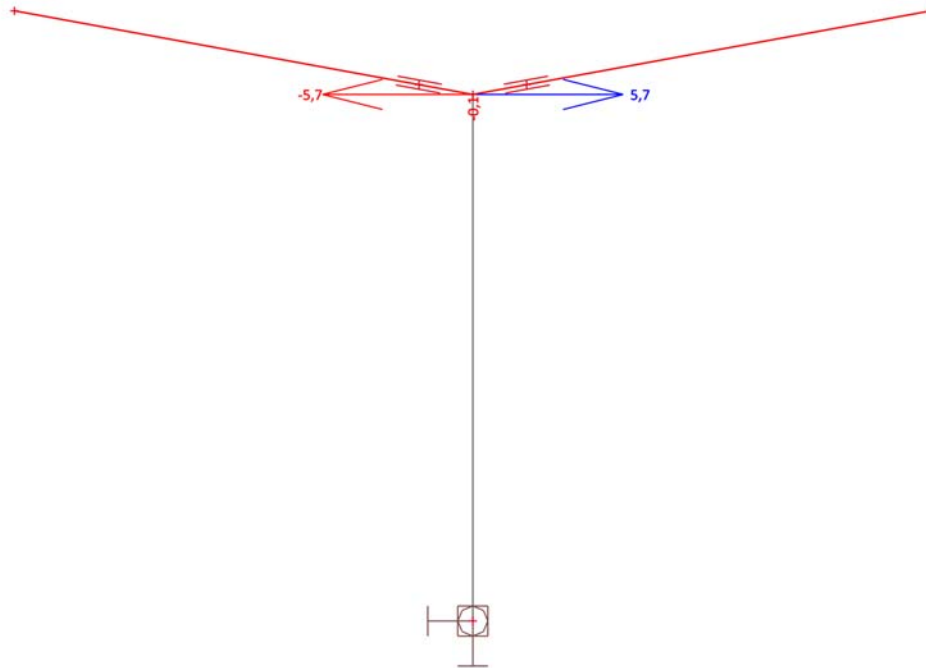
S36	UGT6/2	0,000	0,09	0,00	-1,71	0,00	0,00	0,00
S27	UGT6/2	0,000	0,09	0,00	-1,71	0,00	0,00	0,00
S27	UGT7/3	2,736	0,02	0,00	-2,58	0,00	0,00	0,00
S27	UGT7/3	0,000	0,04	0,00	2,58	0,00	0,00	0,00
S35	UGT5/1	0,000	-0,18	0,00	1,16	0,00	0,00	0,00
S53	UGT5/1	0,000	-0,18	0,00	1,16	0,00	0,00	0,00
S27	UGT4/4	1,368	0,03	0,00	0,00	0,00	-1,17	0,00
S27	UGT7/3	1,368	0,03	0,00	0,00	0,00	1,76	0,00
S27	UGT2/5	0,000	0,04	0,00	1,68	0,00	0,00	0,00

5.6. Vervorming

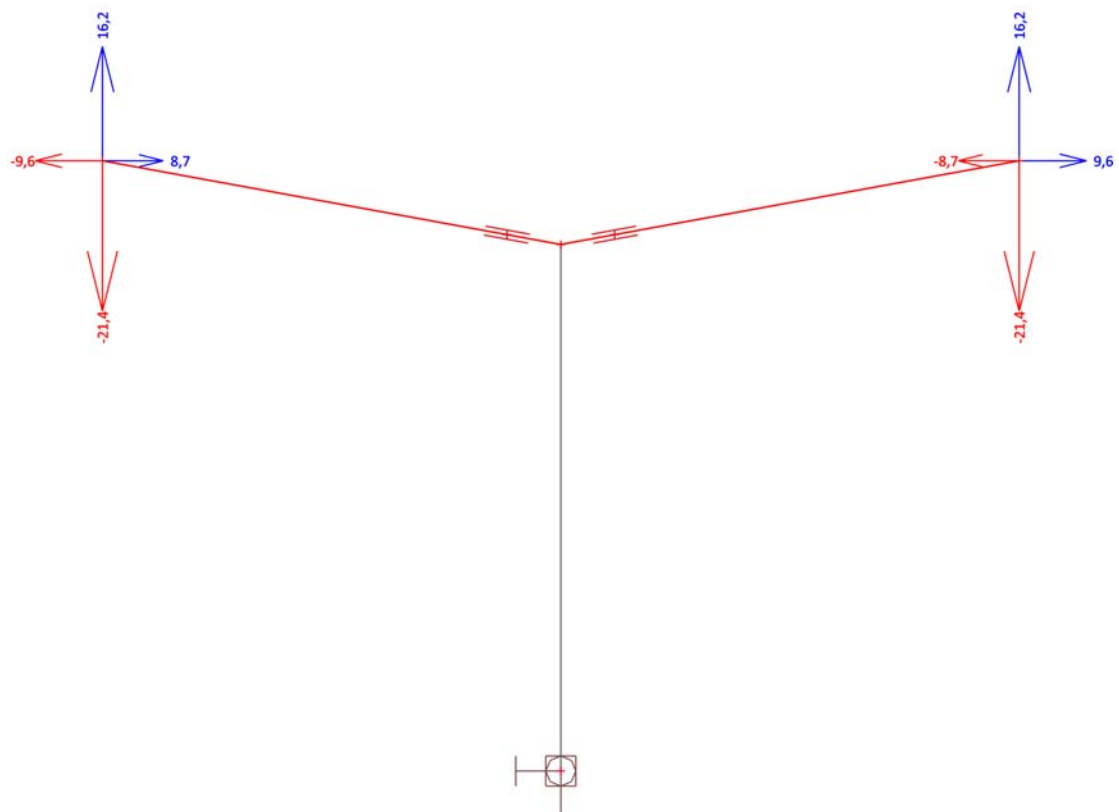
5.6.1. Vervorming constructie



5.6.2. Vervorming kolom



5.6.3. Vervorming ligger



Bijlage II: Toets fundering

Fundering Cradle to Cradle perronkap

3.1 Belastingen:

Reactiekracht op bovenzijde fundering	Fv,kap,rep	(kN)	73,31	
Horizontaal windbelasting op kap	Fh,kap,rep	(kN)	16,5	(Winddruk, -wrijving en -zuiging)
Moment bovenzijde fundering:	Mkap,rep	(kNm)	73,39	
Afstand bovenzijde onderzijde poer	a	(m)	1,00	
Moment onderzijde fundering	Mrep, oz	(kNm)	90	(=Mrep + a * Fh,rep)
Moment Kantelveiligheid	Md, oz		135	(=Mrep,oz * 1,5)
Hoogte poer:	h1	(m)	0,6	
Lengte poer:	L	(m)	2,40	
Breedte poer:	B	(m)	2,40	
Afstand opstort tot rand (b)	Lrand	(m)	0,88	
Afstand opstort tot rand (a)	Lopstort	(m)	0,90	
Breedte opstort	b opstort	(m)	0,64	
Diepte opstort	d opstort	(m)	0,60	
Hoogte opstort	h opstort	(m)	0,40	
Volumiek gewicht beton:	γb	(kN/m³)	25	
Massa poer:	Fv,poer	(kN)	86,4	(=γb * h1 * B * L)
Hoogte grondlichaam op poer	h2	(m)	0,35	
Hoogte grondwaterstand	h grw	(m)	-1,50	(= t.o.v. maaiveld)
Volumiek gewicht water	γw	(kN/m³)	10,00	
Massa grondwaterdruk	Fv,wtd,rep	(kN)	0,00	(nvt)
Volumiek gewicht grond	γgr	(kN/m³)	18,00	
Massa grondlichaam	Fv,grond,rep	(kN)	36,3	(=γgr * h2 * B * L)
Massa verticaal	Fv,rep	(kN)	122,7	(=Fv,poer + Fv,grond - Fv,water)
	Fv,d	(kN)	110,4	(0,9 * Fv,poer + Fv,grond) - (1,2 * Fv,water)
Druk poer	Fr,rep,druk	(kN)	146,7	(Fv,kap,rep + Mkap,rep)
	Fr,d,druk	(kN)	198,1	(1,2 * Fv,kap,rep) + (1,5 * Mkap,rep)
Trek poer	Fr,rep,trek	(kN)	-0,1	(Fv,kap,rep - Mkap,rep)
	Fr,d,trek	(kN)	-22,1	(1,2 * Fv,kap,rep) - (1,5 * Mkap,rep)

3.2 Excentriciteit en effectieve breedte:

Totale verticale belasting:	Fv,totaal,rep	(kN)	196,0	$(=Fv,poer+Fv,grond+Fv,kap,rep-Fv,water)$	
- minimaal	Fv,totaal,d	(kN)	176,4	$(=0,9*Fv,totaal)$	
- maximaal	Fv,totaal,d	(kN)	294	$(=1,5*Fv,totaal)$	
Windmoment onderzijde poer	Md,oz	(kNm)	135	$(=1,5*Mrep,oz)$	
Excentriciteit belasting	e	(m)	0,81	$(=Md\ oz/Fv,d)$	
Effectieve breedte poer	Beff	(m)	0,77	$(=2\{0,5L-e\})$	goed
Effectief vlak	Aeff	(m²)	1,85	$(=Beff*B)$	

Controle kantelveiligheid		1,57	Akkoord
NB. Kantelveiligheid moet voldoen aan > 1,5	$(=(Fv,t,d*1/2*L)/(Md,oz))$		
Controle uittrekken poer		0,20	Akkoord
Eis waar moet voldoen aan < 1,0	$(=(Fr,d,trek/Fv,d))$		

3.3 Grondspanning:

Effectieve breedte poer	Beff	(m)	0,77	
Effectief vlak	Aeff	(kN)	1,85	
Spanning onder de poer (rekenwaarde)	Sigma,o,d	(kN/m²)	95,2	$(Fv,t,d)/Aeff)$
Spanning boven poer (rekenwaarde)	Sigma,b,d	(kN/m²)	30,6	$(Fv,t,d)/A)$
Verskil spanning (rekenwaarde)	Qr,beton	(kN/m²)	64,6	$(sigma,o,d-sigma,b,d)$
Toelaatbare spanning (Geotechniek)	Sigma,t	(kN/m²)	100,0	
Drukpunt		(m)	0,76	$(1,5*Mrep\ oz)/(0,9*Fv,t,rep))$
Totaal drukpunt tot rand	tot rand	(m)	0,44	$(1/2\ L\ fund - Drukpunt)$
Controle draagkracht			0,95	Akkoord
EIS Sigma,o,d / Sigma,t <1,0	$(=(Sigma,o,d)/(Sigma,t))$			

Bijlage III: Toets kolom

NEN-EN 1993-1-1:2006, art. 6.2.10: Buiging, dwarskracht en normaalkracht

Toetsing sterkte van op enkele buiging, normaalkracht en dwarskracht belaste staven

Constructieonderdeel: Kolom Cradle to Cradle perronkap

Toepassingsgebied

Doorsnedeklasse: 1, 2 & 3
Enkel voor I- & H-profielen
Enkel voor enkele buiging en normaalkracht en/of dwarskracht

Profiel eigenschappen

Profielsoort	HEB	
Profieltype	HE320B	
Oppervlak doorsnede (A)	1,61E+04	[mm ²]
Traagheidsmoment sterke as (I_y)	3,08E+08	[mm ⁴]
Traagheidsmoment zwakke as (I_z)	9,24E+07	[mm ⁴]
Traagheidsstraal om sterke as (i_y)	1,38E+02	[mm]
Traagheidsstraal om zwakke as (i_z)	7,57E+01	[mm]
Weerstandsmoment sterke as ($W_{y,el}$)	1,93E+06	[mm ³]
Weerstandsmoment zwakke as ($W_{z,el}$)	6,16E+05	[mm ³]
Weerstandsmoment sterke as ($W_{y,pl}$)	2,15E+06	[mm ³]
Weerstandsmoment zwakke as ($W_{z,pl}$)	9,32E+05	[mm ³]
Wringingstraagheidsmoment (I_t)	2,30E+06	[mm ⁴]
Welvingstraagheidsmoment (I_{wa})	2,07E+12	[mm ⁶]
Hoogte (h)	320	[mm ²]
Breedte (b)	300	[mm ²]
Dikte lijf (t_w)	11,5	[mm ²]
Dikte flens (t_f)	20,5	[mm ²]
Afrondingsstraal (r)	27,0	[mm]

Geometrische en fysische eigenschappen

Buigingsas	z-z	
Doorsnedeklasse	2	(tabel 5.2)
(Indien gekozen wordt voor klasse 3 moeten alle indices 'pl' gelezen worden als 'el')		
Vloeispanning (f_y)	235	[N/mm ²]
Elasticiteitsmodulus (E)	2,1E+05	[N/mm ²]
Afschuivingsmodulus (G)	8,1E+04	[N/mm ²]
Partiële veiligheidsfactoren (γ_{Mi})	γ_{M0}	1,00 [-]
(Conform Nederlandse NB art. 6.1)	γ_{M1}	1,00 [-]
	γ_{M2}	1,25 [-]

Optredende krachten & momenten

Normaalkracht	133,1	[kN]
Dwarskracht (V_{Ed})	5,5	[kN]
Moment (M_{Ed})	110,1	[kNm]

Controle invloed dwarskracht en normaalkracht op momentweerstand (Volgens NEN 6770 art. 11.3.1.1)

$$a_1 = 2,38E-01 \quad [-]$$

$$a_1 = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} \text{ maar } \leq 0,5$$

$$a_2 = \text{n.v.t.} \quad [-]$$

$$a_2 = a_1 \cdot (1 - p)$$

$$p = \text{n.v.t.} \quad [-]$$

$$p = \left(2 \cdot \frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

$$q = 1,03E+00 \quad [-]$$

$$q = 1,03 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl,Rd}} \right)^2}$$

$$N_{pl,Rd} = 3,79E+03 \quad [\text{kN}]$$

$$N_{V,y,Rd} = \text{n.v.t.} \quad [\text{kN}]$$

$$N_{V,z,Rd} = 3,88E+03 \quad [\text{kN}]$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y$$

$$N_{V,y,Rd} = N_{pl,Rd} - p \cdot A_w \cdot f_y$$

$$N_{V,z,Rd} = N_{pl,Rd} - 2 \cdot (1 - q) \cdot b \cdot t_f \cdot f$$

$$A_{z,v} = \text{n.v.t.} \quad [\text{mm}^2]$$

(Volgens NEN 6770 art. 11.2.4)

$$A_{y,v} = 1,23E+04 \quad [\text{mm}^2]$$

(Volgens NEN 6770 art. 11.2.4)

$$V_{z,pl,Rd} = \text{n.v.t.} \quad [\text{kN}]$$

$$V_{y,pl,Rd} = 1,67E+03 \quad [\text{kN}]$$

$$V_{i,pl,Rd} = A_{i,v} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

$$M_{y,pl,Rd} = \text{n.v.t.} \quad [\text{kNm}]$$

$$M_{z,pl,Rd} = 2,19E+02 \quad [\text{kNm}]$$

$$M_{i,pl,Rd} = \frac{W_{i,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M_0}}$$

$$M_{V,y,Rd} = \text{n.v.t.} \quad [\text{kNm}]$$

$$M_{V,z,Rd} = 2,26E+02 \quad [\text{kNm}]$$

$$M_{V,y,Rd} = M_{y,pl,Rd} - \frac{p \cdot A_w^2 \cdot f_y}{4 \cdot t_w}$$

$$M_{V,z,Rd} = q \cdot M_{z,pl,Rd}$$

Buiging om y-y as (Volgens NEN 6770 art. 11.3.1.1)

Voorwaarde 1: n.v.t.

(Volgens NEN 6770 art. 11.3.1.1 tabel 10)

Voorwaarde 2: n.v.t.

(Volgens NEN 6770 art. 11.3.1.1 tabel 10)

Buiging om z-z as (Volgens NEN 6770 art. 11.3.1.1)

Voorwaarde 1: Invloed dwarskracht is verwaarloosbaar

(Volgens NEN 6770 art. 11.3.1.1 tabel 11)

Voorwaarde 2: Invloed normaalkracht is verwaarloosbaar

(Volgens NEN 6770 art. 11.3.1.1 tabel 11)

Controle (Volgens NEN 6770 art. 11.3.1.1)

Controle Buiging y-y:

n.v.t.

Controle Buiging z-z:

(Volgens NEN 6770 art. 11.3.1.1 tabel 11)

Unity check Buiging y-y:	n.v.t.	Conclusie:	n.v.t.
Unity check Buiging z-z:	0,50	Conclusie:	Voldoet

Conclusie controle sterkte:	Profiel voldoet
------------------------------------	------------------------

NEN-EN 1993-1-1:2006, art. 6.3.3: Prismatische, op buiging en druk belaste staven

Toetsing stabiliteit van op buiging en druk belaste staven

Constructieonderdeel: **Kolom Cradle to Cradle perronkap**

Toepassingsgebied

Doorsnedeklasse: 1, 2 & 3
Enkel voor buizen, kokers, I- & H-profielen

Profiel eigenschappen

Profielsoort	HEB	
Profieltype	HE320B	
Oppervlak doorsnede (A)	1,61E+04	[mm ²]
Traagheidsmoment sterke as (I_y)	3,08E+08	[mm ⁴]
Traagheidsmoment zwakke as (I_z)	9,24E+07	[mm ⁴]
Traagheidsstraal om sterke as (i_y)	1,38E+02	[mm]
Traagheidsstraal om zwakke as (i_z)	7,57E+01	[mm]
Weerstandsmoment sterke as ($W_{el,y}$)	1,93E+06	[mm ³]
Weerstandsmoment zwakke as ($W_{el,z}$)	6,16E+05	[mm ³]
Weerstandsmoment sterke as ($W_{pl,y}$)	2,15E+06	[mm ³]
Weerstandsmoment zwakke as ($W_{pl,z}$)	9,32E+05	[mm ³]
Wringingstraagheidsmoment (I_t)	2,30E+06	[mm ⁴]
Welvingstraagheidsmoment (I_{wa})	2,07E+12	[mm ⁶]
Hoogte (h)	320	[mm ²]
Breedte (b)	300	[mm ²]
Dikte lijf (t_w)	11,5	[mm ²]
Dikte flens (t_f)	20,5	[mm ²]
h/b	1,1	[-]

Geometrische en fysische eigenschappen

	Knik om y-y	Knik om z-z	Kip om y-y	
Kniklengte staaf (L)	7000	7000	0	[mm]
Stabiliteitskromme	c	c	a	(tabel 6.2)
Doorsnedeklasse	2	2	1	(tabel 5.2)
Schoring	Ongeschoord	Ongeschoord		

(Indien gekozen wordt voor klasse 3 moeten alle indices ' $_{pl}$ ' gelezen worden als ' $_{el}$ ')

Gevoeligheid voor torsie	Koker-/buisprofiel niet gevoelig voor torsie		
Vloeispanning (f_y)		235	[N/mm ²]
Elasticiteitsmodulus (E)		2,1E+05	[N/mm ²]
Afschuivingsmodulus (G)		8,1E+04	[N/mm ²]
Partiële veiligheidsfactoren (γ_{Mi})	γ_{M0}	1,00	[-]
(Conform Nederlandse NB art. 6.1)	γ_{M1}	1,00	[-]
	γ_{M2}	1,25	[-]

Optredende kracht en momenten

Normaal drukkracht (N_{Ed})	
Grootste moment om sterke as aan uiteinde staaf ($M_{y,st,Ed,max}$)	
Moment om sterke as in het midden van de staaf ($M_{y,mid,Ed,max}$)	
Kleinste moment om sterke as aan uiteinde staaf ($M_{y,st,Ed,min}$)	
Grootste moment om zwakke as aan uiteinde staaf ($M_{z,st,Ed,max}$)	
Moment om zwakke as in het midden van de staaf ($M_{z,mid,Ed,max}$)	
Kleinste moment om zwakke as aan uiteinde staaf ($M_{z,st,Ed,min}$)	
Positie aangrijpen belasting	
Belastinggeval voor moment om sterke as	
β (enkel invoeren voor belastinggeval 1)	
Momentenverloop moment om sterke as	
Momentenverloop moment om zwakke as	
Belastingverdeling moment om sterke as	
Belastingverdeling moment om zwakke as	

133,1	[kN]
110,1	[kNm]
110,8	[kNm]
110,8	[kNm]
0,0	[kNm]
0,0	[kNm]
0,0	[kNm]
Middellijn	
1	(Volgens NEN 6771 art. 12.2.5.3b)
1,00	(Volgens NEN 6771 art. 12.2.5.3b)
1	(Volgens EC3 Bijlage B tabel B.3)
1	(Volgens EC3 Bijlage B tabel B.3)
Gelijkmatig	(Volgens EC3 Bijlage B tabel B.3)
Gelijkmatig	(Volgens EC3 Bijlage B tabel B.3)

Knik parameters (Volgens NEN 6770 art. 12.1)

$N_{y,cr}$	1,30E+04 [kN]
$N_{z,cr}$	3,91E+03 [kN]

$$N_{i,cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_i}{l_{i,buc}^2}$$

Knik parameters (Volgens NEN-EN 1993-1-1 art. 6.3.1)

λ_y	0,54 [-]
λ_z	0,99 [-]
χ_y	0,82 [-]
χ_z	0,55 [-]

$$\lambda_i = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{i,cr}}}$$

(Volgens formule 6.49)

(Volgens formule 6.49)

Kip parameters (Volgens NEN 6771 art. 12.2.1 & 12.2.5)

α	n.v.t. [-]
----------	------------

$$\alpha = \frac{h \cdot t_f \cdot 10^{12}}{t_w^3 \cdot b \cdot l_g^2}$$

h/t_w	n.v.t. [-]
K_{red}	n.v.t. [-]

$$\text{als } \frac{h}{t_w} \leq 75 \text{ dan geldt } k_{red} = 1$$

$$\text{als } \frac{h}{t_w} > 75 \text{ dan geldt } k_{red} = -5,4 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha + 1,03 \leq 1,0$$

C_1	n.v.t. [-]
C_2	n.v.t. [-]

(volgens NEN 6771 art. 12.2.5.3b tabel 9)

(volgens NEN 6771 art. 12.2.5.3b tabel 9)

S	n.v.t. [-]
-----	------------

$$S = \sqrt{\frac{E \cdot I_{wa}}{G \cdot I_t}}$$

C	n.v.t. [-]
-----	------------

$$C = \frac{\pi \cdot C_1 \cdot l_g}{l_{kip}} \left[\sqrt{1 + \frac{\pi^2 \cdot S^2}{l_{kip}^2} \cdot (C_2^2 + 1)} + \frac{\pi \cdot C_2 \cdot S}{l_{kip}} \right]$$

M_{ke}	n.v.t. [Nmm]
----------	--------------

$$M_{ke} = k_{red} \cdot \frac{C}{l_g} \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}$$

Kip parameters (Volgens NEN-EN 1993-1-1 art. 6.3.2) M_{cr} n.v.t. [kNm] λ_{LT} n.v.t. [-] χ_{LT} 1,00 [-]

$$M_{cr} = M_{ke}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

(volgens formule 6.52)

Equivalente momentverdelingsfactoren (Volgens NEN-1993-1-1 Bijlage B tabel B.3) ψ_y 1,01 [-] α_y n.v.t. [-] ψ_y 0,00 [-] α_y n.v.t. [-] C_{my} 0,90 [-] C_{mz} 0,90 [-] C_{mLT} 1,00 [-]**Interactiefactoren (Volgens NEN-1993-1-1 Bijlage B)***I-profielen niet gevoelig voor torsie (volgens tabel B.1):* k_{yy} n.v.t. [-] k_{yz} n.v.t. [-] k_{zy} n.v.t. [-] k_{zz} n.v.t. [-]*Koker-/buisprofielen niet gevoelig voor torsie (volgens tabel B.1):* k_{yy} 0,91 [-] k_{yz} 0,57 [-] k_{zy} 0,55 [-] k_{zz} 0,95 [-]

NB: NEN-EN 1993-1-1 geeft geen interactiefactoren voor buisprofielen, daarom worden dezelfde formules gebruikt als voor kokerprofielen.

Profielen gevoelig voor torsie (volgens tabel B.2): k_{yy} n.v.t. [-] k_{yz} n.v.t. [-] k_{zy} n.v.t. [-] k_{zz} n.v.t. [-]

Controle 1 van de staaf op stabiliteit:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

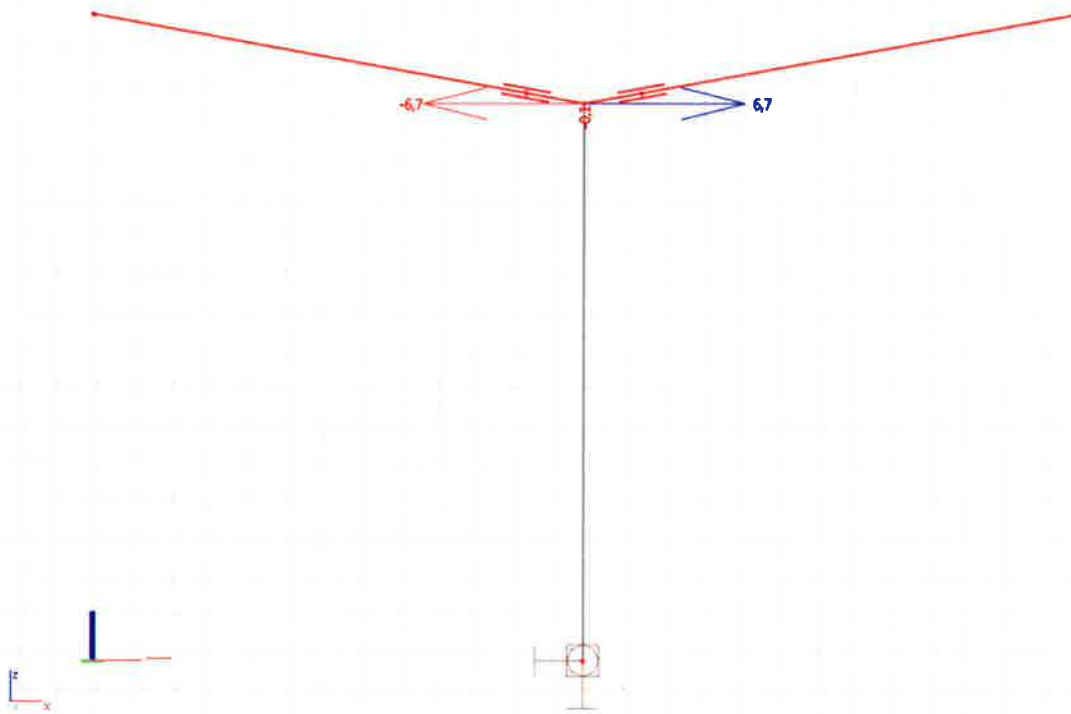
Controle 2 van de staaf op stabiliteit:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

Unity check 1:	0,24	Conclusie:	Voldoet
Unity check 2:	0,18	Conclusie:	Voldoet

Conclusie controle stabiliteit: Profiel voldoet

Verwarming



figuur: verwarming klasse BGT

- toets verwarming

 $U_{\text{horizontaal}} : \text{WVT}$

$$U_{\text{eind}} = 0,004 \cdot L = 0,004 \cdot 3500 \cdot 2 = 28 \text{ mm}$$

$$\rightarrow 6,7 / 28 = 0,24$$

voldoet

$$U_{\text{bijhaard}} = 0,003 \cdot L = 0,003 \cdot 3500 \cdot 2 = 21 \text{ mm}$$

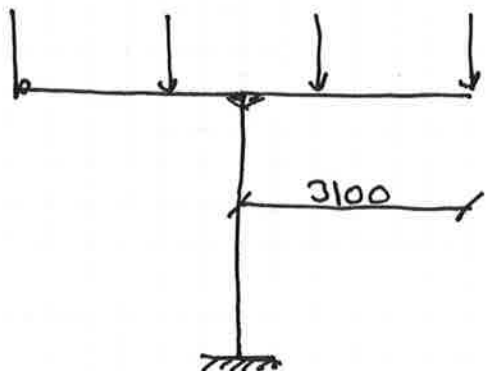
$$\rightarrow 6,7 / 21 = 0,32$$

voldoet

Wt eigen gewicht heeft geen invloed op de
verwarming

Bijlage IV: Toets gelamineerde portaalligger

gekombineerde portaal liggeer



$$m_{ed} = 105,47 \text{ kN/m} \quad f_{m,k} = 40 \text{ N/mm}^2$$

$$U_{ed} = 64,58 \text{ kN/m} \quad f_{v,k} = 4 \text{ N/mm}^2$$

hout steekklasse = D40

limietklasse II: overdekte open ruimte

houtafmeting $150 \times 400 \text{ mm}$

$$\rightarrow \gamma_m = 1,25$$

$$k_{mod} = 0,9 \text{ (kontinuïteit)}$$

$$k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,1} = \left(\frac{600}{400}\right)^{0,1} = 1,04$$

- toets steek

$$\sigma_{m,d} = m_{ed} / w_x = 105,47 \cdot 10^6 / \frac{1}{6} \cdot 150 \cdot 400^2 = 26,37 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot k_h \cdot k_{mod} / \gamma_m = 40 \cdot 1,04 \cdot 0,9 / 1,25 = 29,95 \text{ N/mm}^2$$

$$U.C. = \sigma_{m,d} / f_{m,d} = 26,37 / 29,95 = 0,880 \quad \text{Voldoet}$$

- toets steek

$$\sigma_{ed} = 3 \cdot U_{ed} / (2 \cdot b \cdot h) = 3 \cdot 64,58 \cdot 10^3 / (2 \cdot 150 \cdot 400) = 1,61 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = f_{v,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m = 4 \cdot 0,9 / 1,25 = 2,88 \text{ N/mm}^2$$

$$U.C. = \sigma_{ed} / f_{v,d} = 1,61 / 2,88 = 0,561 \quad \text{Voldoet}$$

- toets stabiliteit

$$M_{y, \text{crit}} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tw}}}{l_{ef}}$$

$$E_{0,05} = 5400 \text{ N/mm}^2$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 150^3 = 112,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$G_{0,05} = 880 \text{ N/mm}^2$$

$$I_{tw} = \frac{1}{3} \cdot 150^3 \cdot 400 = 450 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$l_{ef} = 0,3 \cdot 3000 = 2400 \text{ mm} \quad (\text{puntlast op het niet ondersteunde uiteinde van de balk})$$

$$\rightarrow M_{y, \text{crit}} = 819,76 \cdot 10^6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m, \text{crit}} = M_{y, \text{crit}} / W_y = 819,76 \cdot 10^6 / \frac{1}{6} \cdot 150 \cdot 400^2 = 204,94 \text{ N/mm}^2$$

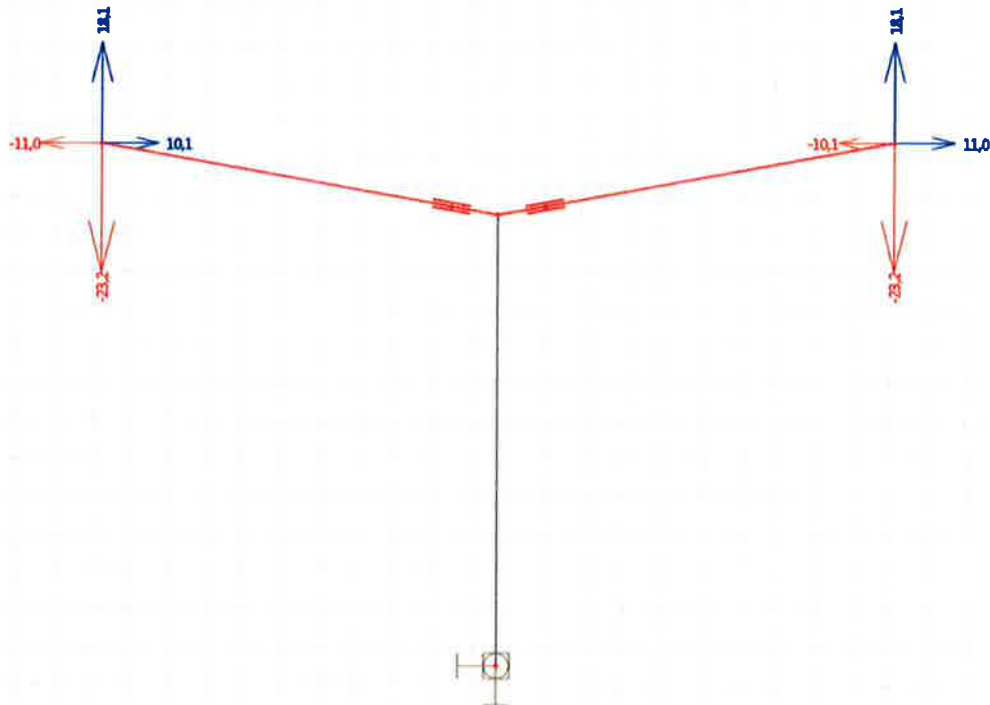
$$\lambda_{rel, m} = \sqrt{f_{m, k} / \sigma_{m, \text{crit}}} = \sqrt{40 / 204,94} = 0,44$$

$$\rightarrow k_{crit} = 1 \quad (0,44 < 0,75)$$

$$k.c. = \sigma_{m, x, d} / k_{crit} \cdot f_{m, d} = 26,37 / 1 \cdot 29,95 = 0,880$$

Voldoet

Uervorming



figuur 1: Uervorming klasse BGT

- toets Uervorming

$$U_{\text{horizontaal}} = L/150 = 3100/150 = 20,67$$

$$\rightarrow 11/20,67 = 0,53$$

Voldoet

$$U_{\text{vert}} = 0,004 \cdot L = 0,004 \cdot 3100 \cdot 2 = 24,8$$

$$\rightarrow 23,2/24,8 = 0,94$$

Voldoet

$$U_{\text{bi-hoekend}} = 23,2 - 8,0 = 15,2$$

$$= 0,003 \cdot L = 0,003 \cdot 3100 \cdot 2 = 18,6$$

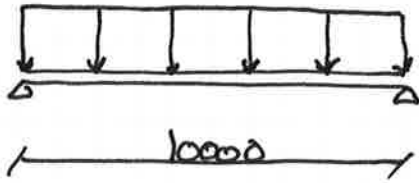
$$\rightarrow 15,2/18,6 = 0,82$$

Voldoet

N.B. Uervorming eigen gewicht is 98 (Uon)

Bijlage V: Toets gelamineerde langsligger

Gekombineerde ligger



$$m_{ed} = 41,46 \text{ kN/m}$$

$$f_{m,k} = 40 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{ed} = 15,30 \text{ kN/m}$$

$$f_{v,k} = 4 \text{ N/mm}^2$$

houtsterkteklasse = D40

limaatklasse II: overdekte open ruimte

houtafmeting = 150x400 mm (gekombineerd hout)

$$\rightarrow \gamma_m = 1,25$$

$$k_{mod} = 0,9 \text{ (houtdurend)}$$

$$k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,1} = \left(\frac{600}{400}\right)^{0,1} = 1,04$$

- toets sterkte

$$\sigma_{m,ed} = m_{ed} / w_x = 41,46 \cdot 10^6 / \frac{1}{6} \cdot 150 \cdot 400^2 = 10,37 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot k_h \cdot k_{mod} / \gamma_m = 40 \cdot 1,04 \cdot 0,9 / 1,25 = 29,95 \text{ N/mm}^2$$

$$u.c. : \sigma_{m,ed} / f_{m,d} = 10,37 / 29,95 = 0,346 \quad \underline{\text{Volddoet}}$$

- toets sterkte

$$\sigma_{ed} = v_{ed} \cdot 3 / 2 \cdot b \cdot h = 3 \cdot 15,3 \cdot 10^3 / 2 \cdot 150 \cdot 400 = 0,38 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = f_{v,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m = 4 \cdot 0,9 / 1,25 = 2,88 \text{ N/mm}^2$$

$$u.c. : \sigma_{ed} / f_{v,d} = 0,38 / 2,88 = 0,133 \quad \underline{\text{Volddoet}}$$

- toets stabiliteit

$$M_{y, \text{crit}} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tw}}}{l_{ef}}$$

$$E_{0,05} = 9400 \text{ N/mm}^2$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 150^3 = 112,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$G_{0,05} = 880 \text{ N/mm}^2$$

$$I_{tw} = \frac{1}{3} \cdot 150^3 \cdot 400 = 450 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$l_{ef} = 0,9 \cdot 10000 = 9000 \text{ mm (gelijkmatis verdeelde bel.)}$$

$$\rightarrow M_{y, \text{crit}} = 225,89 \cdot 10^6 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{m, \text{crit}} = M_{y, \text{crit}} / W_y = 225,89 / \frac{1}{8} \cdot 150 \cdot 400^2 = 56,47 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel, m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m, \text{crit}}} = \sqrt{40 / 56,47} = 0,84$$

$$\rightarrow 1,56 \cdot 0,75 \cdot 0,84 = 0,93 \text{ (k_{crit})}$$

$$u.c. = \sigma_{m, \text{red}} / k_{crit} \cdot f_{m,d} = 10,37 / 0,93 \cdot 29,95 = 0,372$$

Voldoet

Verwarming

$$G_{\text{permanent}} = 0,96 \text{ kW/m}$$

$$G_{\text{sneeuw}} = 0,69 \text{ kW/m} (\psi=0)$$

$$E_0 = 11000 \cdot L_{\text{mod}} = 11000 \cdot 0,9 = 9900$$

$$I_x = 12 \cdot 150 \cdot 400^3 = 800 \cdot 10^6$$

$$L_{\text{def}} = 0,8 \text{ (tabel 2.2)}$$

- toets verwarming

$$u_{\text{on}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{G_{\text{plb}} \cdot L^4}{E_0 \cdot I_x} = \frac{5 \cdot 0,96 \cdot 10000^4}{384 \cdot 9900 \cdot 800 \cdot 10^6} = 15,78 \text{ mm}$$

$$u_{\text{krupp}} = u_{\text{on}} \cdot L_{\text{def}} = 15,78 \cdot 0,8 = 12,63 \text{ mm}$$

$$u_{\text{elastisch}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{G_{\text{sneeuw}} \cdot L^4}{E_0 \cdot I_x} = \frac{0,69 \cdot 5 \cdot 10000^4}{384 \cdot 9900 \cdot 800 \cdot 10^6} = 11,34 \text{ mm}$$

$$u_{\text{eind}} = 15,78 + 12,63 + 11,34 = 39,75 \text{ mm}$$

$$u_{\text{bij}} = 12,63 + 11,34 = 23,97 \text{ mm}$$

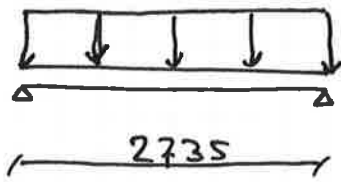
$$u_{\text{eind}} < 0,004 \cdot L \quad 0,004 \cdot 10000 = 40 \text{ mm} \rightarrow 39,75 / 40 = 0,99$$

$$u_{\text{bij}} < 0,003 \cdot L \quad 0,003 \cdot 10000 = 30 \text{ mm} \rightarrow 23,97 / 30 = 0,8$$

Voldoet

Bijlage VI: Toets glasdragers

houten glasdeuren



h.o.h. 1,0 meter

$M_{ed} = 1,76 \text{ kNm}$ (scia)

$f_{m,l} = 18 \text{ N/mm}^2$

$V_{ed} = 2,58 \text{ kNm}$ (scia)

$f_{v,k} = 3,4 \text{ N/mm}^2$

hardsteekklasse = C18

klimaatklasse II: overdekte open ruimte

hout afmeting = $46 \times 156 \text{ mm}$ (gezaagd hout)

$$\gamma_m = 1,3$$

$k_{mod} = 0,9$ (hout dwarsend)

$$k_h = \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} = \left(\frac{150}{156} \right)^{0,2} = 0,99$$

- toets sterkte

$$\sigma_{m,y,d} = M_{ed} / W_x = 1,76 \cdot 10^6 / \frac{1}{6} \cdot 46 \cdot 156^2 = 9,43 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = (f_{m,k} / \gamma_m) \cdot k_h \cdot k_{mod} = (18 / 1,3) \cdot 0,99 \cdot 0,9 = 12,34 \text{ N/mm}^2$$

$$U.C. = \sigma_{m,y,d} / f_{m,d} = 9,43 / 12,34 = 0,765 \quad \underline{\text{Voldoet}}$$

- toets sterkte

$$\sigma_{ed} = 3V_{ed} / 2 \cdot b \cdot h = 2,58 \cdot 10^3 \cdot 3 / 2 \cdot 46 \cdot 156 = 0,54$$

$$f_{v,d} = f_{v,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m = 3,4 \cdot 0,9 / 1,3 = 2,35$$

$$U.C. = \sigma_{ed} / f_{v,d} = 0,54 / 2,35 = 0,229 \quad \underline{\text{Voldoet}}$$

- toets Stabiliteit

$$M_{x,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_2 \cdot G_{0,05} \cdot I_{tw}}}{l_{ef}}$$

$$E_{0,05} = 6000 \text{ N/mm}^2$$

$$I_2 = \frac{1}{12} \cdot 156 \cdot 46^3 = 1,27 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$G_{0,05} = 560 \text{ N/mm}^2$$

$$I_{tw} = \frac{1}{3} \cdot 46^3 \cdot 156 = 5,06 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$l_{ef} = 99 \cdot 2735 = 2461,5 \text{ mm} \quad (\text{gedijstatisch vereenvoudigde bel.})$$

$$\rightarrow m_{x,crit} = 5,92 \cdot 10^6 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = M_{x,crit} / W_y = 5,92 \cdot 10^6 / \frac{1}{8} \cdot 46 \cdot 156^2 = 31,73 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{mk} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{18 / 31,73} = 0,753$$

$$\rightarrow k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,753 = 0,995$$

$$\eta_{\sigma} = \sigma_{m,y,d} / k_{crit} \cdot f_{m,d} = 9,47 / 0,995 \cdot 12,34 = 0,768$$

Voldoet

Verouwing

$$G_{\text{permanent}} = 0,32 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{sneeuw}} = 0,56 \text{ kN/m} \quad (\psi = 0)$$

$$E_0 = 9000 \cdot k_{\text{mod}} = 9000 \cdot 0,9 = 8100 \text{ N/mm}^2$$

$$I_x = \frac{1}{12} \cdot 46 \cdot 156^3 = 14,55 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$k_{\text{def}} = 0,8 \quad (\text{tabel 3.2})$$

- Toets Verouwing

$$u_{\text{on}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{G_{\text{pb}} \cdot L^4}{E_0 \cdot I_x} = \frac{5 \cdot 0,32 \cdot 2735^4}{384 \cdot 8100 \cdot 14,55 \cdot 10^6} = 1,98 \text{ mm}$$

$$u_{\text{krup}} = u_{\text{on}} \cdot k_{\text{def}} = 1,98 \cdot 0,8 = 1,58 \text{ mm}$$

$$u_{\text{elastisch}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{\text{sneeuw}} \cdot L^4}{E_0 \cdot I_x} = \frac{5 \cdot 0,56 \cdot 2735^4}{384 \cdot 8100 \cdot 14,55 \cdot 10^6} = 3,46$$

$$u_{\text{eind}} = 1,98 + 1,58 + 3,46 = 7,02 \text{ mm}$$

$$u_{\text{bg}} = 1,58 + 3,46 = 5,04 \text{ mm}$$

$$u_{\text{eind}} \leq 0,004 \cdot L = 0,004 \cdot 2735 = 10,94 \rightarrow 7,02/10,94 = 0,64$$

$$u_{\text{bg}} \leq 0,003 \cdot L = 0,003 \cdot 2735 = 8,21 \rightarrow 5,04/8,21 = 0,61$$

Voldoet

Colofon

Opdrachtgever Movares Nederland B.V.
Hogeschool Utrecht

Uitgave Movares Nederland B.V.

Telefoon

Projectnummer Cradle to Cradle perronkap

Opgesteld door W. Kok