

Het zonnedak van geperforeerde aluminium panelen loopt door over het gehele gebouw en vormt tevens de luifel.
(Foto: Ronald Tilleman)



Ingenieus dak regelt daglicht

Museum Voorlinden in Wassenaar is een daglichtmuseum. Om het daglicht te reguleren is het dak opgebouwd uit drie constructies: een aluminium zonnedak, een zwaar glasdak en een spanplafond. Ledverlichting is onzichtbaar verwerkt boven het glasdak.

Museum Voorlinden is een nieuw museum in Wassenaar dat ruimte zal bieden aan de collectie van opdrachtgever Joop van Caldenborgh (chemiebedrijf Caldic) en diverse leencollecties. Opdrachtgever Van Caldenborgh was zelf met een eigen projectteam nauw betrokken bij het ontwerp en bij de bouw. Samen met architect Dirk Jan Postel van Kraaijvanger Architects koos hij voor een daglichtmuseum, na een rondreis langs diverse musea in de wereld.

Daglicht is in musea een lastige. De uv-straling tast kunstwerken aan en de zonnewarmte zorgt voor verstoring van het gevoelige klimaat. Daglicht in een museum kan dan ook alleen met een uitgekend ontwerp. Arup deed dat internationaal eerder al voor andere musea en werd nu door Van Caldenborgh gevraagd voor het daglichtontwerp, alsmede de installaties, bouwfysica en brandveiligheid van Museum Voorlinden. Extra complicerende factor was dat de aanvullende verlichting onzichtbaar in de constructie moest worden geïntegreerd.

Mockup

Het daglichtontwerp voor het museum is gemaakt door Solmaz Esmailzadeh van Arup Amsterdam en Andrew Sedgwick van Arup Londen. Met Bart Kramer-Segers als projectleider tekende Arup voor het complete dakconcept. Computersimulaties speel-



Particulier museum

// Locatie: Buurtweg 90, Wassenaar

// Opdracht: Joop van Caldenborgh

// Bouw: september 2013 – juni 2016

Het dakconcept is getest in een mockup. (Foto: Hashmat Fagirzada)



Het zonnedak in aanbouw, met de buisjes aan de onderzijde van de aluminium cassettes. De kliklijsten van het glasdak zijn voorzien van led-uplighters. (Foto: Gideon Goedhart)

den daarin een belangrijke rol, maar het Hollandse licht laat zich uiteindelijk alleen in realiteit beoordelen. Daarom werd een mockup gebouwd op schaal 1:20 met twee mogelijke varianten van het zonnedak, waarna uiteindelijk een deel van het dak 1:1 werd gebouwd. Daarmee werden op verschillende momenten in het jaar metingen gedaan.

Glasdak

De belangrijkste scheidingsfunctie wordt gevormd door een glasdak, met een gering afschot, opgelegd op samengestelde stalen liggers. Dit glasdak is geëngineerd en gerealiseerd door TGM en vormt de waterkering en de thermische scheiding tussen binnen en buiten. Het glas moest voldoen aan hoge eisen van lichttoetreding, isolatiewaarde en transparantie. De gezamenlijke eisen leidden tot een pakket van triple glas met een totale dikte van 65,04 mm. Vanwege de gewenste heldere kleur is gekozen voor low iron. De folies zijn optimaal gekozen, waarmee een LTA van 0,73, een ZTA van 0,52 en een kleurweergave-index van 95% zijn bereikt. De folies sluiten uit dat uv-straling het museum binnendringt.

Zonnedak

Ruim 2 meter boven het glasdak is een zonnedak geplaatst dat bestaat uit aluminium panelen met perforaties. Dit dak is uitgewerkt door het projectteam van Museum Voorlinden in samenwerking met VDL Industrial Modules en Pieters Bouwtechniek. De perforaties zijn niet zomaar gaten, maar perforaties in de vorm van aluminium buizen met een afgeschuinde onderzijde. De buizen (diameter 125 mm) zijn aangebracht aan de onderzijde van het paneel en zijn aan de onderkant afgeschuind onder een hoek van 45°. Het laagste punt is aan de noordzijde geplaatst; het hoogste punt dus aan de zuidzijde. Daardoor kan licht vanuit het noorden – dat voor kunstbeleving als mooi wordt ervaren – indirect maar toch maximaal toetreden, terwijl toetreding van direct zonlicht wordt uitgesloten. In totaal zijn er 115.000 buizen aangebracht in 2550 panelen met elk 45 gaten. Het zonnedak is doorgezet in een grote luifel, waarmee ook de directe zoninstraling op de glazen kopgevels wordt geweerd. De hoogte van ruim 2 meter tussen zonnedak en glasdak is vooral gekozen met het oog op onderhoud van het glas- en het



Een museumzaal met het velum en daarboven het zonnedak. (Foto: Ronald Tilleman)

zonnedak. Ondanks alle voorzieningen kan op zeer zonnige dagen alsnog te veel licht binnenkomen. Om dit te voorkomen zijn schuivende afsluiters aangebracht op 656 panelen, die de 45 gaten desgewenst deels of volledig kunnen afsluiten.

Led boven glasdak

Maar alleen daglicht is niet voldoende; op donkere dagen en bij avondopeningen is ook kunstmatige verlichting nodig. Van Caldenborgh had de wens dat de armaturen daarvan niet zichtbaar zouden zijn. Arup heeft er in samenwerking met leverancier Proliad voor gekozen om ledverlichting boven het glasdak te plaatsen. Hierdoor geeft de verlichting ook geen ongewenste extra warmte af naar het binnenklimaat. De verlichting is geïntegreerd in een kliklijst die boven op de bouwkundige kliklijst van het glasdak is geplaatst. De leds zijn vanaf de kliklijst naar boven gericht (uplights) en belichten dus de onderkant van het aluminium zonnedak. Door de iets glanzende coating reflecteert het licht optimaal weer naar beneden, waardoor het veel meer ge-

spreid en diffuus wordt dan rechtstreekse verlichting. Het betekende wel dat de ledverlichting en de regelaars zich allemaal in het buitenklimaat bevinden en dus waterdicht moesten worden ingepakt. In totaal zijn er 2800 led-modules in 1900 meter uplights geplaatst, waarvan de aansturing door Kuijpers Installaties is uitgewerkt en gerealiseerd. De verlichting kan worden aangestuurd via de iPad.

Spanplafond

Onder het glasdak hebben het projectteam en Polyned een ingenieus velum (spanplafond) aangebracht, opgebouwd uit een frame met twee lagen. De onderste laag hiervan is translucet, wat de lichttoetreding nog diffuser maakt. Boven dit translucete doek is een tweede laag gespannen, bestaande uit microgeperforeerde folie. Deze laag is aangebracht vanuit oogpunt van akoestiek, maar zorgt er tevens voor dat stof niet op het translucete doek komt te liggen. De LTA van dit pakket is in de lichtberekeningen meegenomen.

De leds zijn vanaf de kliklijst naar boven gericht (uplights) en belichten de onderkant van het aluminium zonnedak



Het museum wordt naast het zonnedak gekenmerkt door strakke en slanke detailleringen.
(Foto: Ronald Tilleman)

Alles uit het zicht

Bij de bouw van Museum Voorlinden is hoog ingezet op perfectie in detaillering van constructie, materiaalkeuzes en afwerking. Installaties zijn onzichtbaar ingepast. Dat leidde tot bouwkundige hoogstandjes, zoals nood'aan'tjes en schijfwerking in de cassettes van het zonnedak.

Opdrachtgever Joop van Caldenborgh van Museum Voorlinden heeft niet alleen een duidelijke visie op kunst, maar ook op hoe zijn museum eruit zou moeten zien. De nadruk daarbij moet liggen op de kunst. Daar mag niets van afleiden. Een gevolg van dit streven was dat de zichtbare constructieve elementen heel slank moesten zijn en dat voorzieningen en installaties onzichtbaar moesten worden weggewerkt. Dat leidde er zelfs toe dat er in de glasgevel samengestelde kolommen zijn geplaatst die zo slank zijn dat ze op gespannen voet staan met de rekenregels. In samenwerking met Pieters Bouwtechniek is met een test in het Stevinlab (TU Delft) hun veiligheid ruimschoots aangetoond. Museum Voorlinden is gebouwd op een betonnen bak van 6,5 meter diep waarin de installatieruimte is gesitueerd, vertelt voormalig projectmanager en directievoerder Gideon Goedhart. Goedhart is inmiddels werkzaam bij ABT, maar was samen met Paul Theunissen en Joost Bonnema in dienst bij Van Caldenborgh om de bouw van het museum van begin tot eind tot een succes te maken. "We gingen voor minimaal rapportcijfer 9. Om dit te kunnen halen is het noodzakelijk dat je dicht bij de partijen

staat die deze kwaliteit daadwerkelijk moeten realiseren. Om die reden is ervoor gekozen om niet met één of twee aannemers te werken, maar om het project in wel twintig verschillende percelen te knippen. Elk perceel betrof een onderdeel van het gebouw, waarbij wij het nodig vonden om dicht bij de bouwer zelf te zitten. Daarbij hielp het uiteraard dat wij als privaat opdrachtgever ook de mogelijkheid hadden om zelf partijen te betrekken, die in onze overtuiging het streven naar kwaliteit oprecht deelden. Met de juiste attitude en door er tijd en energie in te steken, kom je tot goede oplossingen en detailleringen. En het resultaat spreekt voor zich!" aldus Goedhart.

Sterke binnenwanden

De betonnen kelderbak is gebouwd door bouwbedrijf M.J. de Nijs en Zonen. De wanden hiervan zijn zelfs uitgevoerd als schoonbeton. "Een nette ruimte nodigt uit om het ook netjes te houden", verklaart Goedhart die keuze. "Dat geldt ook voor de kabels en leidingen. Kuijpers Installaties heeft die perfect strak in lijn aangebracht."

Om deze installatieruimte ligt een kruipruimte van 1,5 meter diep, met alle leidingen naar de diverse museumruimtes. Waaronder ook de leidingen voor ventilatielucht, die via speciaal door de parketteur gemaakte houten inblaasroosters ingeblazen wordt door de vloer en wordt afgezogen boven het velum. Die leidingen gaan door de 800 mm dikke wanden naar boven. Deze wanden zijn bevestigd aan kolommen van de staalconstructie. Die zijn daarvoor voorzien van lippen waarop horizontale houten balken h.o.h. 600 mm zijn aangebracht. Tegen die balken is 2 x 18 mm multiplex bevestigd en 12 mm gestuukte gipsplaat als afwerking. "Die constructie is zo zwaar omdat op elke plaats aan de 5,26 meter hoge wand een kunstwerk tot 600 kg moet kunnen worden opgehangen." De wanden behoren tot het bouwkundige deel van het museum, dat is gerealiseerd door Cordeel Nederland.

De – deels in de wanden geïntegreerde – staalconstructie van het museum (ontworpen door Pieters Bouwtechniek) heeft geen windverbanden. In plaats daarvan is een deel van de kolommen momentvast gemonteerd op het beton. De tussenkolommen zijn met zware stalen kokers verbonden met de momentvast kolommen. Deze kokers dragen de samengestelde liggers van het glasdak. Ook hier konden geen windverbanden worden aangebracht. Als alternatief is het bovenliggende zonnedak gebruikt voor schijfwerking. Dit betekende dat aan de aluminium cassettes van het zonnedak een constructieve functie werd toegekend.

Aluminium cassettes

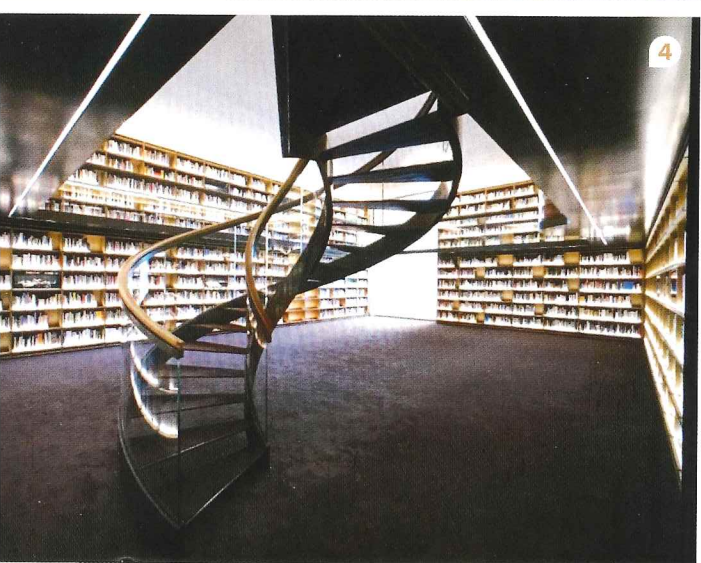
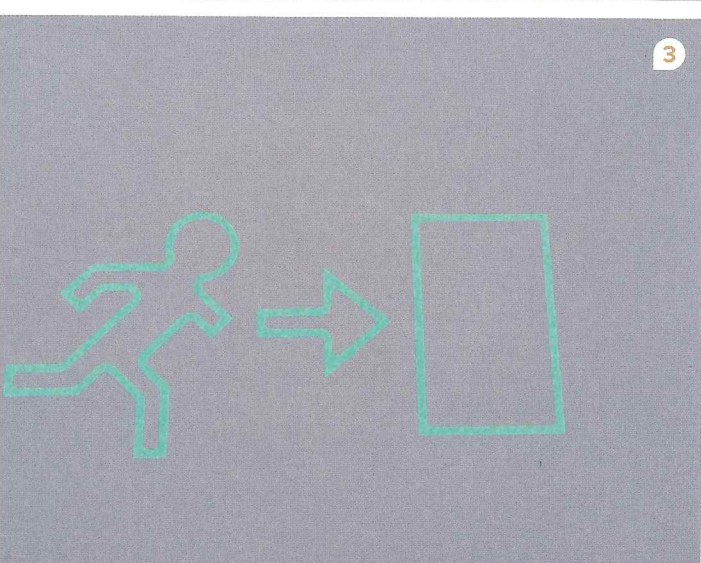
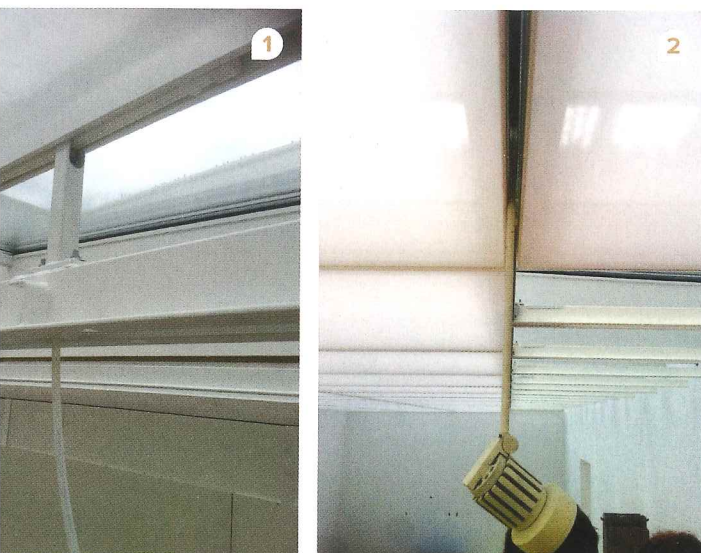
De aluminium cassettes van het zonnedak zijn opgelegd op een raster van IPE-liggers. Om de cassettes (2,40 x 1,0 m, met 45 robotisch gelaste perforatiebuizen) voldoende stijf te krijgen, heeft het bouwteam er samen met producent VDL Industrial Modules en Pieters Bouwtechniek voor gekozen om ze uit te voeren als een brodtrommel, met een in elkaar schuivende boven- en ondercassette. De onderste cassette is aan de bovenzijde (dus aan de binnenzijde van de trommel) voorzien van drie verstijvingsribben, die precies tussen de lichtdoorlatende buizen door zijn gelegd. Aan de bovenste cassettes zijn de perforatiebuizen gelast. De onderste cassette is voorzien van perforaties, waar de buizen van de bovenste plaat exact invallen, met daartussen hoogwaardige rubber ringen. De trommel is gevuld met een hardschuimplaat die precies op maat is geperforeerd. Vullen met schuim ging niet, omdat uit experimenten bleek dat het schuim te veel ging uitzetten en de trommel bol drukte. Om thermische uitzetting mogelijk te maken met behoud van schijfwerking, zijn de cassettes aan de ene zijde gefixeerd met bouten, terwijl de andere zijde is voorzien van slobgaten.

Schuivende panelen

Voor een deel van het museum was het nodig om het daglicht dat via het zonnedak binnenkomt, te kunnen dimmen. Daarvoor is een schuifstelsel ontwikkeld. Basis daarvan is een aluminiumplaat waarin de perforaties gelijk zitten met het zonnedak. Door deze plaat te schuiven worden de perforaties in het zonnedak deels of helemaal afgesloten. Daarvoor heeft elke plaat een eigen motortje met een schuivende pen. De platen zijn aan één lange zijde scharnierend om schoonmaak mogelijk te maken. In totaal zijn 656 panelen voorzien van dit schuifstelsel, met 42 sturingskasten. Om die onzichtbaar in de buurt van de motoren te kunnen wegwerken, zijn ze tussen de staalconstructie van dubbele IPE's gelegd.



1 // De zonnedakpanelen zijn gemaakt met behulp van een gekoelde lasmas. (Foto: Gideon Goedhart) 2 // Een aantal panelen zijn voorzien van een schuivende bovenplaat om de perforaties af te kunnen dichtten. (Foto: Kraaijvanger) 3 // Hier zijn een aantal panelen gesloten voor een test. (Foto: Gideon Goedhart) 4 // In de zalen zonder velum is het zonnedak goed te zien. (Foto: Ronald Tilleman)



Led-rail

Voor de aanlichting van de kunstwerken is in de diverse zalen een spanningsrail aangebracht, op een afstand van twee meter uit de wanden. Daarin kunnen op alle plaatsen spotjes worden geklikt, die worden aangestuurd middels een DMX-systeem en worden bediend via de iPad. Deze combinatie is speciaal ontwikkeld voor Museum Voorlinden door Kuijpers Installaties in samenwerking met Viabizzuno. In de zalen langs de lange gevels, wat zalen zonder daglicht zijn, is deze U-vormige rail strak in het stucwerk van het verlaagde plafond geïntegreerd. Hier is gekozen is voor een speciale rail met geïntegreerde ledlijnen in een sponnkinkje in de poten van de U-vorm. Deze ledlijnen zijn deels aangesloten op noodstroom, zodat ze tegelijk ook dienst doen als noodverlichting. In de zalen met een glasdak (TGM) is eveneens een U-vormige spanningsrail geplaatst. Die is strak weggewerkt tussen de panelen van het velum, dat als een verlaagd plafond onder het glasdak is gehangen. Deze panelen zijn 2 x 1,2 meter. Ze zijn gespannen aan driehoekige kokerliggers. Voor de ophanging van de velumpanelen zijn op 2 meter uit de wand vierkante stalen kokertjes aan de stalen dakliggers bevestigd. Aan deze kokers zijn dubbele L-profielen gehangen, die de zaal in de lengte overspannen. De spanningsrail is tussen deze L-profielen geplaatst. "De rail moet natuurlijk wel overal goed bereikbaar zijn. Dat betekent dat er veel tijd is gestoken in een strakke maatvoering, niet alleen van het plafond maar vooral van de hele staalconstructie", vertelt Goedhart.

Aspiratiedetectieleidingen

Deze zelfde dak- en plafondconstructie is ook benut voor het onzichtbaar aanbrengen van de rookmeldinstallatie. Arup heeft gekozen voor aspiratieleidingen, die met een kleine ventilator lucht aanzuigen uit de ruimte, met een meetunit in de kruipruimte. De aanzuigopeningen zijn opgenomen in de plafondconstructie; de leidingen lopen door de ophangbuisjes naar de onderzijde van de dakconstructie. Daar zijn ze weggewerkt tussen de dubbele stalen lippen. Via het dikke wandpakket gaan ze vervolgens naar de kruipruimte. In totaal heeft Kuijpers Installaties circa 1500 meter aan aspiratiedetectiepijpjes voor rookmelding aangebracht.

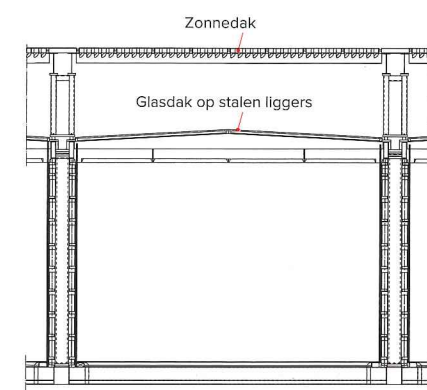
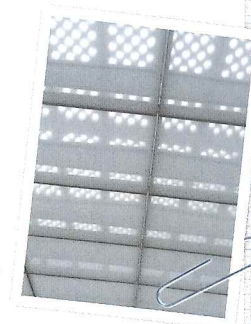
Nood'aan'tjes

Het gevoelige systeem voor rookdetectie in samenhang met een logische (vlucht)route door het gebouw, maakte het ook mogelijk om de vluchtwegbordjes onzichtbaar weg te werken. Normaliter moeten die in Nederland altijd aan staan, in tegenstelling tot bijvoorbeeld Frankrijk waar ze alleen hoeven te branden in geval van nood. In dit geval stemde de brandweer ermee in dat ze alleen in geval van nood aan zouden gaan. "In plaats van nooduitjes, hebben we ze daarom nood'aan'tjes genoemd", zegt Bart Kramer-Segers. Voor de ontwikkeling van de bordjes heeft Museum Voorlinden ledleverancier Proliad ingeschakeld. Na een ingenieus ontwikkeltraject is een systeem ontwikkeld dat onzichtbaar in het stucwerk van de wanden is opgenomen en dat alleen een vluchtend mannetje toont als de noodverlichting aangaat. Het zijn een aantal van de vele zorgvuldige en innovatieve details die het bouwteam van Museum Voorlinden ontworpen heeft, samen met vele aannemers en leveranciers. En tot slot ook nog met de Italiaanse interieurarchitect Andrea Milani, die onder meer voor de bibliotheek een kolomloze stalen wenteltrap ontwierp met glazen balustrades.

1 // Het velum is bevestigd aan L-profielen die met buisjes aan de dakliggers vastzitten. Daardoorheen voeren de aspiratiedetectieleidingen.
2 // Tussen de L-profielen is een U-vormige spanningsrail geplaatst voor spotjes. 3 // Een nood'aan'tje toont alleen een vluchtend mannetje als de noodverlichting brandt. (Foto's 1, 2, 3: Gideon Goedhart) 4 // In de bibliotheek staat een kolomloze stalen wenteltrap. (Foto: Pietro Savorelli)

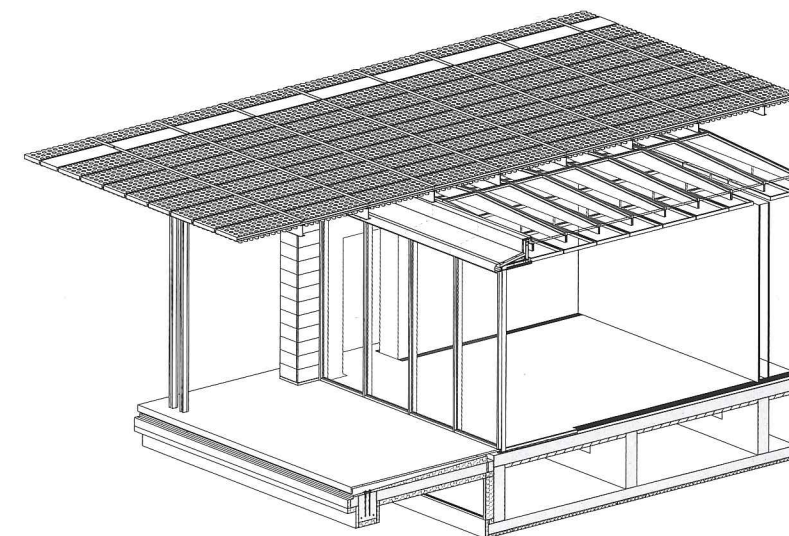


Projectgegevens // **Locatie:** Buurtweg 90, Wassenaar // **Opdrachtgever:** Joop van Caldenborgh, Museum Voorlinden // **Projectmanagement en directievoering:** Gideon Goedhart (nu ABT) // **Ontwerp:** Kraaijvanger Architects, Rotterdam, kraaijvanger.nl // **Interieurontwerp:** Studio Milani, Siena, Italië // **Ontwerp daglicht, installatie, brandveiligheid en bouwphysica:** Arup Amsterdam in samenwerking met Arup Londen, arup.com // **Constructieadviseur:** Pieters Bouwtechniek, Delft, pietersbouwtechniek.nl // **Uitvoering:** Cordeel Nederland (bouwkundig); Kuijpers Installaties (W-, E- en MR-techniek); TGM (glasdak en glasgevel); Bart Innenhausbau (interieur); Polyned (velum); Soares (parket); VDL Industrial Modules (zonnedak); Dura Vermeer (bouwkuip); De Nijs en Zonen (kelder); Viabizzuno (verlichting); Arredo di Pietra (natuursteengevel); VerAutomation (sturing zonnedakpanelen); Proliad (dakverlichtingssysteem) // **Bouwperiode:** september 2013 – juni 2016

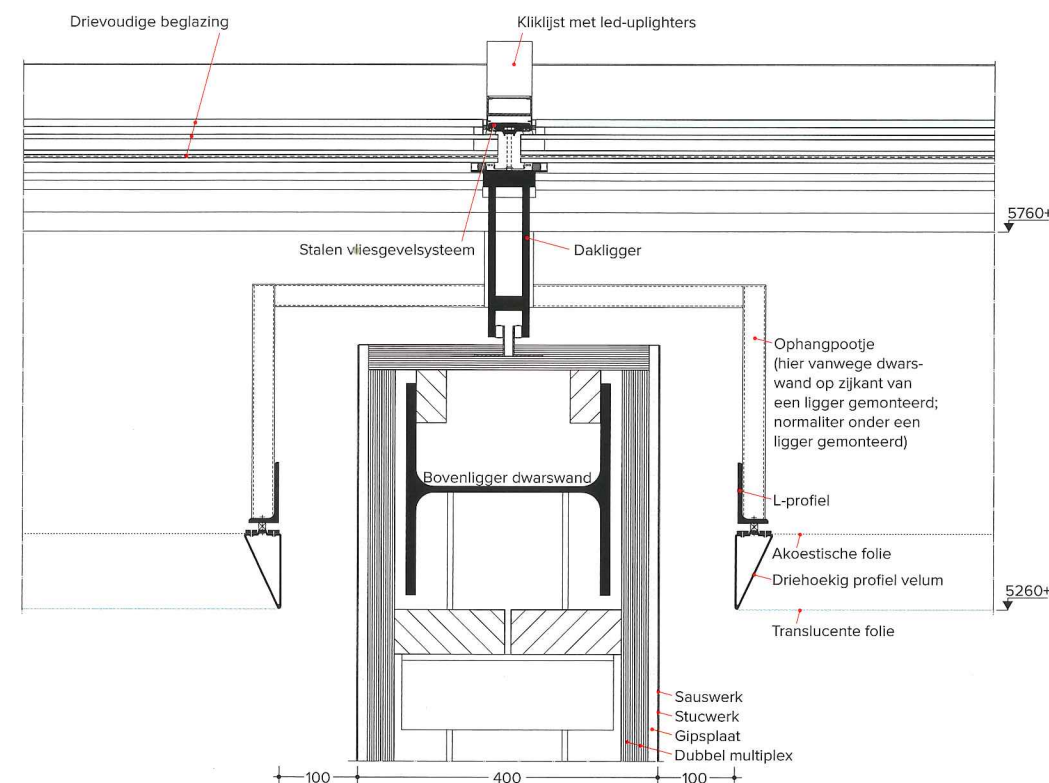


PRINCIPEDOORSNEDE

1:200



CONCEPT



DAKDETAIL

1:10