

# Een script voor staal

Architectenbureau ONL uit Rotterdam heeft langs de A2 in Utrecht een geluidswal ontworpen. In de geluidswal (Acoustic Barrier) is de showroom (Cockpit) van autodealer Hessing geïntegreerd. Beide zijn met computermodellen ontworpen en geproduceerd volgens een zogeheten file-to-factory proces dat het economisch produceren van 44.000 verschillende onderdelen mogelijk maakt. Deze 'mass customisation' vereiste al in een vroeg stadium samenwerking tussen de architect en staalbouwer Meijers Staalbouw uit Serooskerke.

## ir. J.P. den Hollander

Jan-Pieter den Hollander is projectleider bij Bouwen met Staal.

## Projectgegevens

Locatie Proostwetering, Utrecht  
• *Opdrachtgever* Projectbureau Leidse Rijn (Acoustic Barrier), Utrecht en Hessings Auto-bedrijven (Cockpit), De Bilt  
• *Architectuur* ONL (Oosterhuis Lénárd), Rotterdam • *Constructief ontwerp Acoustic Barrier* Faktor, Middelburg • *Constructief ontwerp Cockpit* Van der Vorm Engineering (fundering), Maarssen en Faktor (staalconstructie), Middelburg  
• *Uitvoering en Staalconstructie* Meijers Staalbouw, Serooskerke  
• *Glasproducent* Absoluut Glas-techniek (voorheen Pilkington Glastechniek) Venlo • *Start ontwerp* 2003 • *Oplevering* 2006 (Acoustic Barrier) en 2005 (Cockpit) • *Fotografie* Rob Hoekstra, ONL, Meijers Staalbouw

In 1998 kreeg ONL een eervolle vermelding voor het Zoutwaterpaviljoen op Neeltje Jans in Zeeland. De jury was te spreken over het 'aansturen van de productie middels computertekeningen'. In 2005 is dit zogeheten file-to-factory proces verder ontwikkeld voor de Acoustic Barrier en de Cockpit langs de A2 in Utrecht. De Acoustic Barrier is een geluidswal van 1,5 km lang en de Cockpit is de showroom van autodealer Hessing. Het gebouw heeft een oppervlak van 6400 m<sup>2</sup> en is als een verdikt volume geïntegreerd in de geluidswal. De architect vergelijkt het met een slang die een antilope heeft ingeslikt.

## Acoustic Barrier

De Acoustic Barrier heeft een bekleding van glasplaten die de vloeiende vorm gefacetteerd in driehoeken benaderen. De standaard productie-afmeting van het glas (b = 3,1 m) is uitgangspunt voor het raster dat wordt geprojecteerd op het volume (zie kader *From File...*). Constructief ziet ONL de glasplaten en staalconstructie als een verticaal schaalement dat wordt gefundeerd op poeren met een hart-op-hart afstand van 18 m. Constructeur Jan Pleijte van Konstruktieburo Faktor uit Middelburg wil de krachten in het geluidswal beperken en stelt een kleinere hart-op-hart afstand voor.

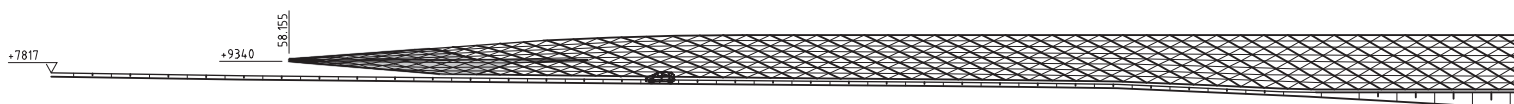
De krachten worden uiteindelijk per sectie van 9,3 m afgevoerd naar spanten op de poeren.

De spanten bestaan uit HEB 100 profielen en de secties zijn gebouwd met hoekstaal (80x80x8). Hoekstaal is makkelijk aan te sluiten met boutverbindingen en het glas kan direct worden gemonteerd op de hoekstalen. De verbinding tussen de hoekstalen wordt gevormd door een buis met aangelaste verbindingen. Dit onderdeel is productietechnisch gezien het lastigst. Voor ONL was dit ook het uitgangspunt: alle 'problemen' worden geconcentreerd in een aansluitdetail. De doorsnede van het geluidswal varieert over de hele lengte, maar niet elke doorsnede wordt berekend. De constructeur snijdt uit de geluidswal drie delen met voldoende informatie over het krachten spel: een regulier deel (twee secties) met een veel voorkomende doorsnede en twee delen met extreme doorsnedes.

De delen worden driedimensionaal doorgerekend. Basis voor de berekening is een digitaal bestand (dxf-file) van de architect dat direct wordt ingelezen in het rekenpakket. De data-overdracht is geen probleem: het rekenpakket voegt dicht op elkaar liggende knopen (enkele millimeters) samen. Zo worden fouten in de dxf-file gecorrigeerd zonder handmatige (lees: arbeidsintensieve) aanpassingen.

## Cockpit

De Cockpit ligt als een verdikking in de geluidswal en is specifiek ontworpen als





De Cockpit ligt in de Acoustic Barrier als een koplamp in de body van een Peugeot 307.

geïntegreerd onderdeel. Het driedimensionaal stramien (grid) is hier consequent doorgezet en opgerekt. Daardoor liggen de constructielijnen verder uit elkaar en is de gevel van de showroom optimaal transparant. Architect Kas Oosterhuis van ONL vergelijkt de Cockpit in de Acoustic Barrier met een slang, maar ook met een koplamp in de carrosserie van een Peugeot 307. De vorm van de lichaam vloeit door terwijl het materiaal en de functie veranderen.

Het constructief ontwerp van de Cockpit is een samenwerking tussen Konstruktieburo Faktor uit Middelburg en Van der Vorm Engineering uit Maarssen. Van der Vorm Engineering doet de fundering en Konstruktiebureau Faktor de staalconstructie. In het ontwerp stadium is de diameter (323,9 mm) en dikte (12,5 mm) van de buis bepaald met een 2D-rekenmodel. De constructie is ontworpen als ongeschoord raamwerk op de oneven assen en geschoord raamwerk op de even assen. Kritiek punt blijkt de horizontale vervorming door de gewichtsverdeling in de asymmetrische doorsnede. Het gebouw heeft de neiging om naar de snelwegzijde te hangen. Om deze vervorming te beperken zijn zware profielen nodig.

Naast de ongeschoorde raamwerken zorgen twee windverbanden voor de stijfheid van het gebouw. De windverbanden geven te hoge reactiekrachten op de fundering; de reactiekrachten moeten worden verspreid. In eerste

instantie kiest de constructeur voor extra windverbanden op de even assen, maar de architect stelde v-vormige kolommen voor in de garage en de showrooms. De kolommen zijn op de eerste en tweede verdieping gekoppeld aan horizontale schijven. Omdat de vloer in de bouw fase nog niet aanwezig is, zorgen hoekstalen (100x100x10) voor schijfwerking. De constructeurs maken het krachtenspel van schijven, v-kolommen, windverbanden en raamwerken inzichtelijk door het 2D-rekenmodel door te ontwikkelen naar vijf segmenten die later worden samengevoegd tot één 3D-rekenmodel van de hele Cockpit. De software berekent niet alleen de krachten, maar doet ook de sterktecontrole volgens de NEN 6770 en NEN 6771. Het model kreeg een eervolle vermelding bij de jaarlijkse wedstrijd van softwarehuis SCIA voor toepassing van hun programma SCIA ESA PT.

#### Kniklengten

De kniklengten van de buizen in de snelweggevel zijn verkort door de vloeren horizontaal te verbinden aan de gevel. Daarbij heeft de architect een voorkeur voor een aansluiting in de knopen. In het middengedeelte lopen de vloerliggers diagonaal naar de middenas en in het verticale vlak maakt de ligger een kleine knik aan het uiteinde. De liggers zijn scharnierend bevestigd aan de knoop, omdat er onvoldoende ruimte was voor een mo-

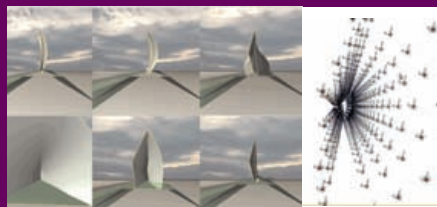
mentvaste verbinding. Het constructief detail in de snelweggevel van de Cockpit verschilt van dat in de geluidswal. De overspanning is groter en de architect heeft een voorkeur voor buizen. De buizen lopen over een diagonaal raster en verdelen de gevel in ruiten. Tussen de buizen loopt een horizontale koker (200x100x5) als trekstang. De horizontale zijde van de glasplaat ligt op de koker en de schuine zijden op de buizen van het raster. Op de buizen zijn drie lippen gelast voor het hoekprofiel dat dient als oplegging voor het glas. Omdat de buizen door (kleine) imperfecties niet helemaal rond zijn, zijn verticale slobgaten in de lippen opgenomen om de hoekprofielen te stellen. Theoretisch kan de verbinding tussen de buizen scharnierend zijn, maar vanwege de montage is gekozen voor momentvaste verbindingen. Daardoor kan Meijers Staalbouw de gevel zonder steigers bouwen. Oosterhuis: 'Het monteren van de gevel was een lust voor het oog. Alles paste precies'. Wel is de geometrie van de gevel in de bouw fase constant bijgehouden.

Aan de brandwerendheidseisen is voldaan met brandvertragende verf (30 minuten) en een sprinklerinstallatie (30 minuten). Zo wordt de basiseis van 120 minuten gereduceerd tot 60 minuten. Door de reductie voor de lage permanente vuurbelasting te benutten, resteren 30 minuten, die de buizen zelf verzorgen. ●

## From File...

**De schets** De Acoustic Barrier en de Cockpit zijn ontworpen vanuit een snelheid van 120 km/u en gestroomlijnd als een auto of een speedboot. De passerende automobilist ervaart één vloeiend geheel. Gevolg is dat de doorsnede permanent verloopt.

**De puntenwolk** Door het volume is een raster van lijnen gestoken met als gevolg een puntvormige intersectie. Deze punten vormen samen een puntenwolk. De puntenwolk kan worden geëxporteerd als dxf-file.



## ...to Factory

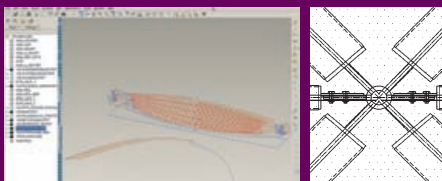
Al in de ontwerpfase wordt de staalbouwer gevraagd om mee te denken. Meijers Staalbouw heeft een pons-knip machine voor hoekstaal en strippen.

Directeur Henk Meijers denkt bij de eerste schetsen van ONL aan een constructie met hoekstalen: 'Hoogspanningsmasten worden al jaren zo gebouwd. Het grootste gedeelte van het tonnage (650 ton) zit in de hoekstalen die het skelet vormen van de Acoustic Barrier. Met een pons-knip machine is dit economisch te produceren'. In totaal gaat het om 44.000 verschillende hoekstalen. De productie van de Acoustic Barrier is opgedeeld in fasen, per stramien van 9,3 m. De hoekstalen krijgen elk een uniek nummer,

## Van CAD naar CAM

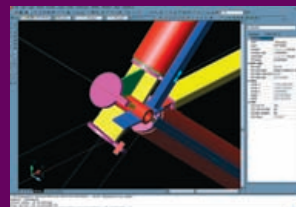
De staalbouwer werkt (in het algemeen) het ontwerp van de constructeur uit met een softwarepakket dat is ontwikkeld voor het detaileren van staalconstructies, bijvoorbeeld Bocad, X-Steel en Strucad. In dit pakket tekent hij de profilering die door de constructeur is aangegeven en ontwerpt hij de verbindingen. In principe maakt het programma geen controleberekening, maar het is vaak mogelijk een rekenmodule aan het pakket te koppelen. Wel hebben de programma's functies (macros) voor standaardverbindingen. Na de detaileringfase zit de staalconstructie volledig in de

**Het script – eerste fase** Met een script (MAX-script) programmeert ONL referentielijnen tussen de punten. De referentielijnen zijn de hartlijnen van de constructie en basis voor de communicatie met de bouwpartners.

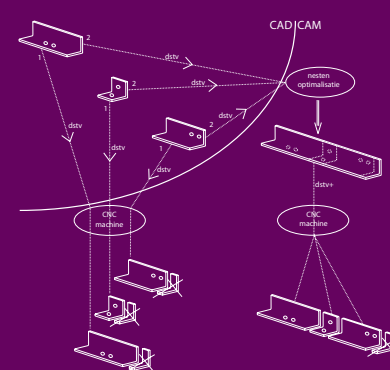


**De parameter** Samen met Meijers Staalbouw ontwikkeld ONL het principe van het detail dat gecontroleerd wordt door parameters. Zo sluiten op elk punt zes diagonalen aan onder specifieke hoeken. Voor ONL is dit (parametrische) detail de basis van het ontwerp: 'Eén gebouw met één detail'.

**Het script – tweede fase** Ondersteund door het parametrische detail schrijft Meijers een script (autolisp) dat een staalconstructie genereert over de referentielijnen van de architect. Het is in dit geval niet mogelijk om handmatig profiel voor profiel (44.000) aan de referentielijnen toe te kennen en de details uit te werken. Verder kan de constructie met geprogrammeerde routines worden gecontroleerd op toleranties, extremen en ontbrekende onderdelen. Daardoor blijft de hoeveelheid data handelbaar.



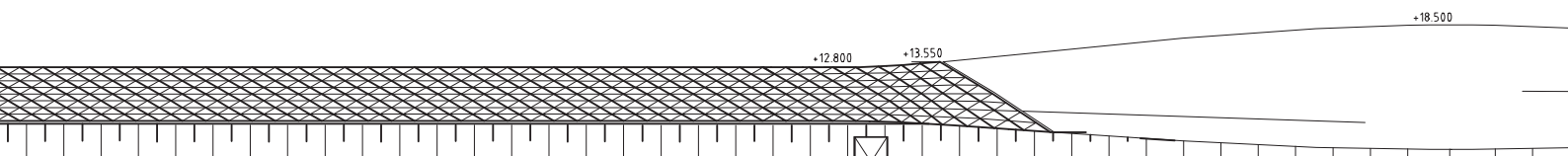
dat cruciaal is voor de logistiek. De geknipte onderdelen zijn bij Nedcoat in Alblasterdam verzinkt en geordend in containers per fase. De geluidswal bestaat, behalve uit hoekstalen, ook uit HEB 100 profielen voor de frames en horizontale buizen (ø 80x5). De buizen krijgen aangelaste verbindingsschijven die de verbinding vormen tussen de hoekstalen. De productie van de verbindingsschijven is arbeidsintensiever dan de hoekstalen. In feite wordt de complexiteit geconcentreerd in de knopen. Met een half automatisch proces worden de verbindingsschijven onder verschillende hoeken op de buis gelast. De arbeid per ton ligt hoog, maar het tonnage van deze onderdelen is laag.



In het ontwerp krijgen de verbindingsschijven afgeschuinde hoeken. Omdat de pons-knip machine uitsluitend rechte strippen verwerkt, is het ontwerp aangepast.

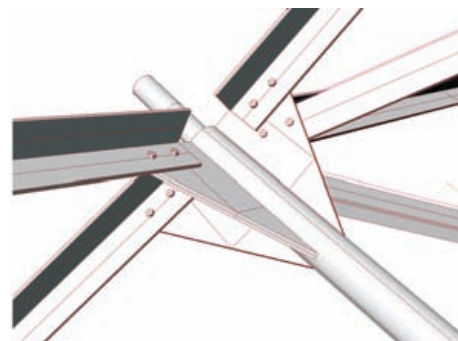
computer. Het programma genereert dan per constructie onderdeel (kopplaat, kolom, windverband enzovoort) een zogeheten dstv-file die de geometrie driedimensionaal beschrijft. Dit is een wereldwijde standaard die vrijwel alle bewerkingsmachines direct kunnen inlezen. Een andere mogelijkheid is dat de dstv-files eerst worden gestuurd naar de werkvoorbereider. Hij zorgt dat de vormen efficiënt in een patroon worden gezet, het zogeheten nesten, en stuurt ze naar de juiste machine. Elke fabrikant heeft zijn eigen type uitvoerfile. Op dit moment is een standaard in ontwikkeling (dstv+) voor geneste files.

Zowel voor de bestaande formaten als voor dstv+ geldt dat ze geen relaties definiëren tussen onderdelen. Daardoor is het (nog) niet goed mogelijk om lassen te automatiseren. Meijers Staalbouw werkt bij de Acoustic Barrier en de Cockpit op een iets andere wijze. Omdat het niet mogelijk is alle profielen met de hand over de referentielijnen te tekenen, worden deze met een script gegenereerd. Daartoe is een applicatie geschreven voor Autocad die het draadmodel vertaalt op twee manieren: werkplaatstekeningen en bestanden voor de aanvoer van de pons-knip machine.

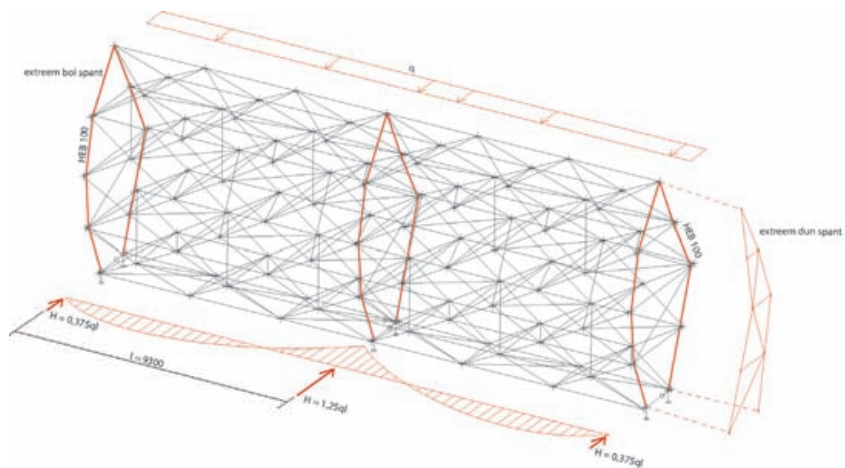




In het ontwerp krijgen de verbindingen afgeschuinde hoeken. Omdat de pons-knip machineuitsluitend rechte strippen verwerkt, is het ontwerp aangepast.

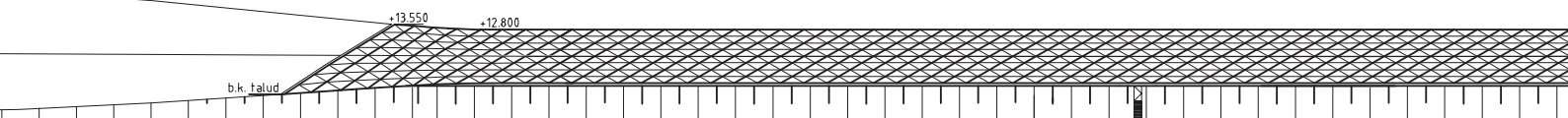


Achteraanzicht van de geluidswal. Het constructief raster wordt doorgezet in de showroom.

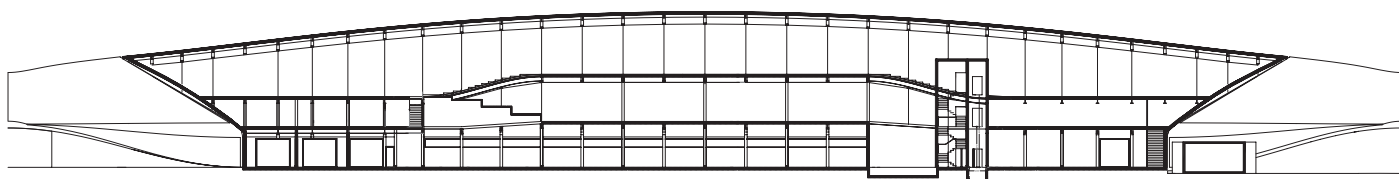


'Extreem' spant met een bolle doorsnede. Gekozen is voor een deel met twee secties. Daarmee kan de constructeur de (theoretisch) hoogste horizontale oplegreactie en het maximale moment in het spant bepalen.

Overgang Acoustic Barrier naar Cockpit.



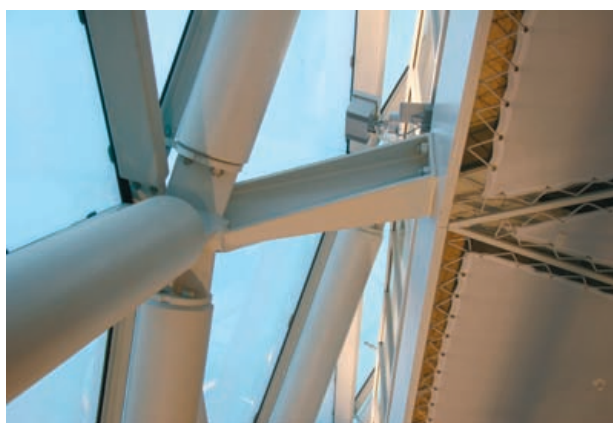




Tekening van de 'breedste' langdoorsnede van de cockpit.



Onder de horizontale kokerprofielen loopt een sprinklerinstallatie.



De vloerliggers sluiten aan op de knooppunten in de gevel en dienen als kniksteun.



Cockpit: achteraanzicht.



Cockpit: snelwegaanzicht.

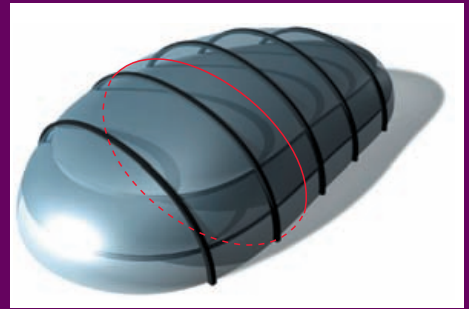
## Van vorm naar constructie

### 1. Afvalverwerking Zenderen (1995)

Het afvalverwerkingsstation is gemodelleerd met een serie ellipsvormige doorsnedes van verschillende afmetingen. De constructie bestaat uit gebogen vakwerkspanten die over de ellipsen lopen.



1. Afvalverwerking Zenderen.

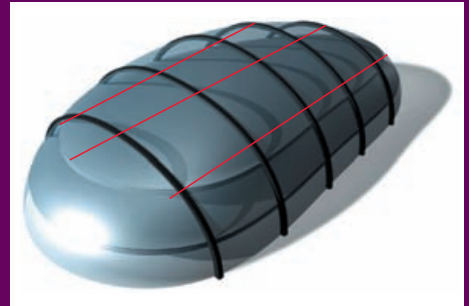


### 2. Zoutwaterpaviljoen Neeltje Jans (1997)

Het paviljoen is gestileerd met 16 contourlijnen op de lengte-as. De architect verdeelt de lijnen in lijnstukken op een geprojecteerd stramien van 2,4 m en maakt knopen op de lijnen. De constructie bestaat uit geknikte spanten van vollwandliggers die loodrecht op de contourlijnen lopen van knooppunt naar knooppunt.



2. Zoutwaterpaviljoen Neeltje Jans.



### 3. Acoustic Barrier/Cockpit (2005)

De Acoustic Barrier is een volume dat gestroomlijnd is met zes lijnen. Door het volume zijn rasterlijnen gestoken die een puntvormige intersectie hebben met het volume. De punten vormen een puntenwolk waartussen de referentielijnen worden geconstrueerd met een script. Voor de geluidswal is gekozen voor een constructie met hoekstalen en warmgewalste spanten die over de referentielijnen loopt.

De Cockpit heeft twee constructieprincipes. De transparante snelweggevel heeft een ruimtelijke buizenconstructie over de referentielijnen en de achterkant een conventionele spantconstructie van warmgewalste profielen.

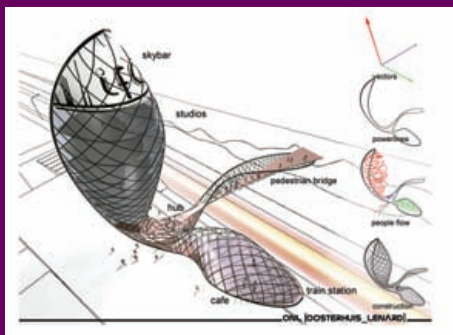


3. Acoustic Barrier/Cockpit.



### 4. Landmark Kaiserslautern (2007)

Leidraad voor het ontwerp is een doorgaande lijn in de driedimensionale ruimte. De lijn definieert drie onderdelen van het programma: op de x-as het treinstation, op de y-as een voetgangersbrug en op de z-as een toren met tien verdiepingen. Tussen de doorgaande lijn is een driehoeksraaster gespannen dat de constructielijnen bepaald. Zowel de dichte delen als de open delen worden gebouwd met een ruimtelijke constructie.



4. Landmark Kaiserslautern.

